

# REMOTE SENSING ONDERSTEUND WATERBEHEER



RAPPORT

2003  
**10A**

REMOTE SENSING ONDERSTEUND WATERBEHEER Pilot studies

Toepassingsmogelijkheden van vlakdekkende verdampingsinformatie

RAPPORT

2003  
10A

ISBN 90.5773.227.0



# COLOFON

RAPPORT REMOTE SENSING ONDERSTEUND WATERBEHEER  
Toepassingsmogelijkheden van vlakdekkende verdampingsinformatie

## BEGELEIDINGSCOMMISSIE

De BegeleidingsCommissie bestond uit vertegenwoordigers van wetenschappelijke instituten en waterbeheerders werkzaam bij de betrokken waterschappen:

dr. ir. J.M. Schouvenaars (vz.)	Wetterskip Boarn en Klif
dr. J.V. Witter	Hoogheemraadschap van West-Brabant
ir. A.C.W. Lambrechts	Waterschap Rijn en IJssel
ir. H. van Norel	Waterschap Hunze en AA's
dr. ir. P.J.T. van Bakel	Alterra
dr. ir. R. Booij	Plant Research International
ing. J.M.M. Bouwmans (tot 2001)	Dienst Landelijk Gebied
ir. M.J.G. Talsma	STOWA

AUTEURS	dr. W.G.M. Bastiaanse	WaterWatch
	ir. E.J.M. Noordman	WaterWatch
	ir. G. Hiemstra	WeerOnline

BEELD WaterWatch

## VISUELE IDENTITEIT

Made of man, visual identity under construction, Rotterdam

### Hoofdrapport

STOWA rapportnummer 2003-10  
ISBN 90.5773.215.7

### Deelrapport - Pilot Studies

STOWA rapportnummer 2003-10a  
ISBN 90.5773.227.0

BESTELLEN Hageman Fulfilment POSTBUS 1110, 3300 CC Zwijndrecht,  
TEL 078 629 33 32 FAX 078 610 42 87 EMAIL [info@hageman.nl](mailto:info@hageman.nl)  
onder vermelding van ISBN of STOWA rapportnummer en een duidelijk afleveradres.

# LEESWIJZER

De rapportage van het onderzoek REMOTE SENSING ONDERSTEUND WATERBEHEER bestaat uit een Hoofdrapport en een Deelrapport (met hierin 5 pilot studies). Voor u ligt het Deelrapport, dat bestaat uit de volgende delen:

<b>PILOT STUDIE 1</b>	DE WATERBALANS VAN POLDERS OPNIEUW BEKEKEN	1
<b>PILOT STUDIE 2</b>	DROOGLEGGING EN GRASGROEI VAN EEN KLEI-OP-VEEN GEBIED	41
<b>PILOT STUDIE 3</b>	BODEMVOCHT EN VERDROGINGSBESTRIJDING IN OOST-GELDERLAND	73
<b>PILOT STUDIE 4</b>	REMOTE SENSING ALS ONDERSTEUNING VAN HET PEILBEHEER IN DE VEENKOLONIËN	113
<b>PILOT STUDIE 5</b>	NAAR EEN SATELLIET INSTRUMENTARIUM VOOR BEREKENING	151



# DE WATERBALANS VAN POLDERS OPNIEUW BEKEKEN

## PILOT STUDIE 1

## INHOUD

	SAMENVATTING	3
1	ALGEMEEN	4
1.1	Probleembeschrijving	4
1.2	Doelstelling	4
1.3	Het studiegebied	5
2	MATERIAAL EN METHODEN	10
2.1	Algemene hydrologische data	10

2.2	Digitale data	11
2.3	Methoden	13
3	RESULTATEN	16
3.1	Waterbalans geselecteerde polders 1995	16
3.2	Waterbalans Vugtpolder	21
3.3	Potentiële vs. actuele verdamping	21
3.4	Sturen op verdampingstekorten	24
3.5	Conclusies	28
4	TOEPASSINGEN VAN REMOTE SENSING IN HET WATERBEHEER	30
5	AANBEVELINGEN	32
	LITERATUUR	33
	BIJLAGEN	
1	VOORBEELD WATERBALANS MARK VLIET BOEZEM	35
2	DETAIL LOCATIE VUGTPOLDER	37
3	WEKELIJKSE WATERBALANS VAN POLDERS 4, 5 EN 6 VAN HOOGHEEMRAADSCHAP VAN WEST-BRABANT GEDURENDE 1995	39

# SAMENVATTING

Het Hoogheemraadschap van West-Brabant is vanuit de optiek van kwantitatief waterbeheer geïnteresseerd in de waterbalans van het stroomgebied van de Mark-Vliet boezem. Het Hoogheemraadschap publiceert reeds geruime tijd de maandelijkse waterbalans van het stroomgebied van de Mark en Vliet. Vooral de beschikbaarheid van water ten behoeve van de landbouwproductie in de aangelegen polders wordt door het Hoogheemraadschap kritisch gevolgd. Er wordt water vanuit het boezemsysteem in de polders ingelaten, en weer uitgeslagen bij wateroverschotten.

Zoals in vele regionale waterbalansen, zijn termen onbekend of worden ze op een paar punten gemeten en vervolgens naar vlakdekkende informatie geëxtrapoleerd. Deze termen zijn totale hoeveelheid ingelaten/uitgeslagen water, actuele verdamping van het bodem-vegetatie systeem, veranderingen van de bodemvochtvoorraad en de uitwisseling met de diepe ondergrond via kwel en wegzijging (i.e. verticale flux). In deze studie is op twee wijzen gebruik gemaakt van remote sensing: actuele verdamping en bodemvocht in de wortelzone. Het doel was te verkennen of de waterbalans van de polders met behulp van remote sensing beter in kaart kan worden gebracht.

De aanvoer- en afvoerschattingen tussen de boezem en de omringende polders zijn bekend verondersteld en de verticale flux is als restterm van de waterbalans uitgerekend. In eerste instantie is de waterbalans op jaarbasis bestudeerd om effecten van wateropslag in de bodem te elimineren. Op jaarbasis blijft er een zekere mate van onzekerheid in de verdeling tussen verticale flux enerzijds en aan/afvoer via het oppervlaktestelsel bestaan. Er zijn meerdere versies van de waterbalans mogelijk en de balans is dus niet uniek. Voor de praktijk is dit onvoldoende nauwkeurig om wateraanvoer op maandbasis te baseren.

Satellietschattingen van bodemvocht worden niet met genoeg regelmaat verkregen (ong. 2 beelden per maand) om deze gegevens operationeel in te zetten voor de berekeningen van maandelijkse bergingsveranderingen. Bovendien wordt de satellietinformatie alleen verkregen als het zonnig weer is, hetgeen een bias vormt op de schatting van het bodemvochtgehalte. Voor de verandering van de berging in de bodem moet de ruimtelijke variatie in grondwaterstand bekend zijn, hetgeen zonder intensief netwerk van peilbuizen niet mogelijk is. Ook moet kennis van bergingscoëfficiënten beschikbaar zijn. Al deze gegevens zijn niet operationeel beschikbaar. De consequentie is dat wekelijkse en maandelijkse veranderingen van bergingsverandering niet operationeel kan worden bepaald.

Het verdampingstekort (potentiële – actuele verdamping) uit remote sensing en meteorologische metingen aan de grond is echter wel wekelijks beschikbaar, en dat biedt perspectieven bij het monitoren van de verdroging van agrarische hoofdstructuur en natuurgebieden op een kortere tijdsschaal. De wekelijkse aanvoer van gebiedsvreemd water kan hierop worden afgestemd. Het dient verder onderzocht te worden hoe de wateraanvoer en verdeling van het water zo efficiënt mogelijk kan geschieden.



# 1

## ALGEMEEN

### 1.1 PROBLEEMBESCHRIJVING

De waterbalans van het stroomgebied vormt de basis voor het beheer van de Mark-Vliet boezem. Het stroomgebied bestaat uit de rivieren de Mark en Vliet, hun bovenlopen en de poldergebieden langs Mark en Vliet. Het Hoogheemraadschap van West-Brabant stelt maandelijks een waterbalans van de Mark en de Vliet op. Problemen met betrekking tot deze waterbalans zijn de nauwkeurigheid en de mate van ruimtelijk detail. Hierdoor is onvoldoende duidelijk of het landbouwwater efficiënt wordt ingezet.

Voor een goed beheer van de Mark en Vliet dient de hydrologische wisselwerking tussen beide rivieren en de aangelegen polders te worden beschreven. Voor het inlaten van oppervlaktewater dient rekening met het vochttekort in de landbouw en natuur te worden gehouden. Voor het uitmalen dient het neerslagoverschot bekend te zijn. Dit betekent dat regenval, bodemvocht, actuele verdamping en potentiële verdamping moeten worden gekwantificeerd. Dit gebeurt thans aan de hand van puntmetingen, waarbij dient te worden opgemerkt dat puntmetingen van actuele verdamping en bodemvocht niet operationeel mogelijk zijn. Bij gebrek aan meer informatie wordt de werkelijke verdamping van het bodem-water-plant-atmosfeer systeem vaak benaderd via de referentiegewasverdamping. Indien de verdamping met een betere nauwkeurigheid kan worden vastgesteld, kan indirect ook de verticale flux met meer zekerheid worden vastgesteld.

Het beleid van het Hoogheemraadschap is erop gericht de waterbalans op weekbasis te gaan schatten, maar het ontbreekt aan data. In deze STOWA studie zal worden nagegaan in hoeverre remote sensing gegevens de leemtes in de data kunnen wegnemen.

### 1.2 DOELSTELLING

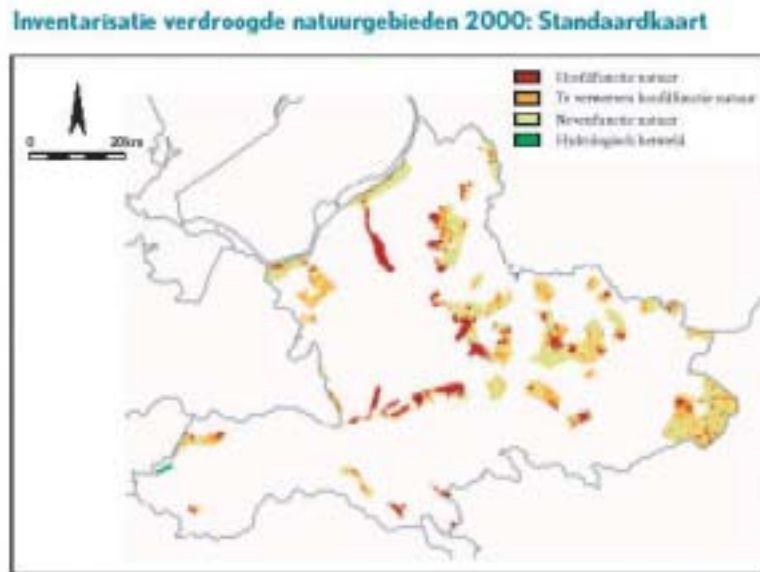
De doelstelling van dit project is: Het verbeteren van de hydrologische beschrijving van het stroomgebied van de Mark-Vliet boezem door het kwantificeren van de wekelijkse waterbalans van de aangelegen polders.

Deze doelstelling kan slechts worden gerealiseerd door schattingen van waterstromingen op een onafhankelijke wijze te toetsen via veld- en remote sensing metingen. Er is in deze studie gekozen voor het gebruik van de energiebalansmethode om de actuele verdamping van het bodem-water-plant-atmosfeer systeem te bepalen.

Ofschoon het Hoogheemraadschap verscheidene stroomgebieden onder beheer heeft, zal alleen het stroomgebied van de Mark-Vliet boezem worden bestudeerd en met name de hydrologische condities in een aantal geselecteerde poldergebieden. Dezelfde methode kan op de andere stroomgebieden in een latere fase worden toegepast.

### 1.3 HET STUDIEGEBIED

Het studiegebied is gelegen in het westelijk deel van de provincie Noord-Brabant. Het bestaat uit een gedeelte van het stroomgebied van de Mark en de Vliet, namelijk de polders die landbouwwater inlaten vanuit beide rivieren (Figuur 1). Deze zijn gelegen langs de benedenloop van beide rivieren. Allereerst zal de hydrologie van het gehele stroomgebied van de Mark en de Vliet kort worden toegelicht, daarna wordt de aandacht specifiek gericht op de kleipolders langs de benedenloop van beide rivieren en wel in het bijzonder op de inlaatgebieden.



FIGUUR 1 STROOMGEBIED VAN DE MARK EN DE VLIET. HET GEARCEERDE GEBIED GEEFT DE LOCATIE VAN POLDERS 4, 5 EN 6 WEER, DIE HET DAADWERKELIJKE GEBIED VAN STUDIE ZIJN.

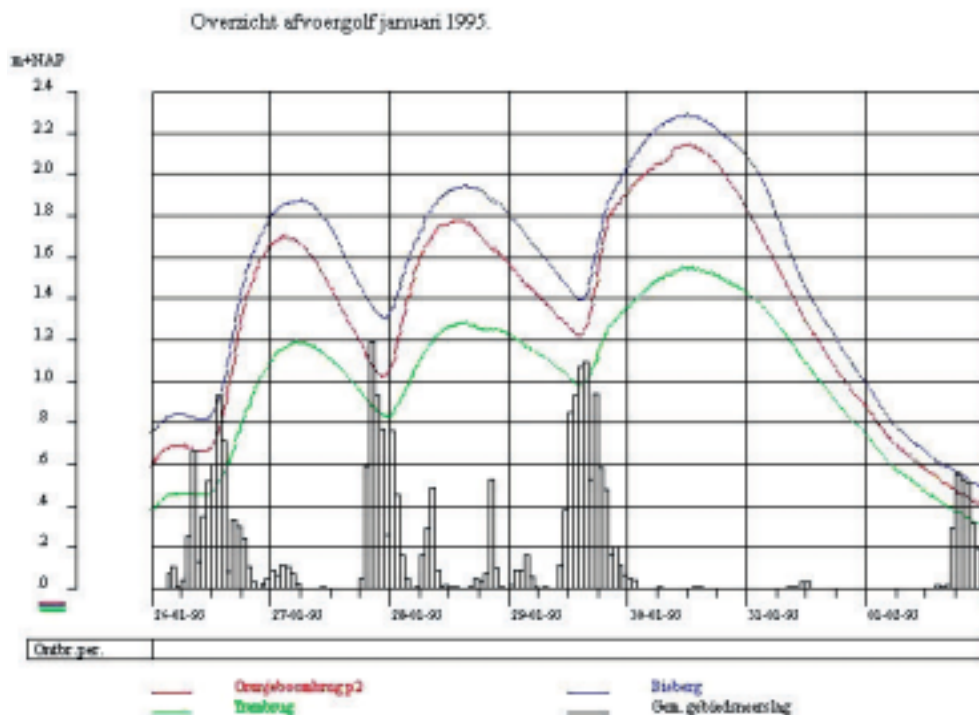
#### HYDROLOGIE VAN HET STROOMGEBIED VAN DE MARK EN DE VLIET

Het stroomgebied van de Mark en de Vliet is ongeveer 140.000 ha groot. De bovenlopen van de Mark (de Aa of Weerijs en de Bovenmark) en van de Vliet (de Molenbeek) ontspringen in België (zie Figuur 1). Het Belgische deel van het stroomgebied is circa 40.000 ha groot. Met de aanleg van het Mark-Vliet kanaal in 1985 zijn de stroomgebieden van Mark en Vliet aan elkaar gekoppeld. Beide rivieren waren aanvankelijk getijdenrivieren, die uitmondde in de Zeeuwse delta. Met de bouw van scheepvaartsluizen in de mondingen van de Vliet en de Mark in de twintiger jaren van de negentiende eeuw kregen beide rivieren een schijngetij, doordat via deze sluizen bij laag water in de delta geloosd werd. Met de totstandkoming van het Volkerak-Zoommeer in 1987 is ook het schijngetij verdwenen en kennen beide rivieren een min of meer constant peil op circa NAP. Sindsdien staan de sluizen ook permanent open.

Het zuidelijke deel van het stroomgebied van beide rivieren bestaat uit licht glooiende, Pleistocene zandgronden. Aan de Belgisch-Nederlandse grens ligt het maaiveld op ongeveer 20 à 25 m + NAP. Het noordelijke deel van het stroomgebied bestaat uit Holocene kleigronden. De overgangszone – historisch ook het vestigingsgebied van de mens getuige de stedenband, zie Figuur 1 – is een zone waar diepe kwel vanuit de zuidelijke, hogere gronden,

uittreedt. In deze zone komt ook nog plaatselijk veen voor, vaak op geringe diepte onder een recentere klei afzetting.

Mark en Vliet zijn typische regenrivieren en omdat het stroomgebied relatief klein is, kunnen zich zeer snel afvoerpieken voordoen (zie Figuur 2). Aan de snelle afvoerpieken zijn ook debet de rivierverbeteringen van Mark en Vliet en de daarop volgende beeknormalisaties en ruilverkavelingen. Deze veranderingen deden zich voor na de Tweede Wereldoorlog en waren erop gericht om de landbouwkundige productie snel te doen toenemen. In Witter en Raats (2001) zijn de effecten van de rivierverbetering, beeknormalisaties en ruilverkavelingen in West-Brabant geanalyseerd. Onder invloed van de in de zestiger jaren van de vorige eeuw uitgevoerde beeknormalisaties en ruilverkavelingen blijkt het hydrologische systeem uit evenwicht te zijn geraakt. In droge jaren is de afvoer afgenomen en ook de gemiddelde grond- en oppervlaktewaterstanden in West-Brabant zijn gedaald, met zo'n 10 à 20 cm. De piekafvoeren zijn daarentegen toegenomen, zowel de jaarlijkse afvoeren in natte jaren (met zo'n 20%) als de piekafvoeren op dagbasis (met meer dan 30%). Ook de maximale waterstanden bij een herhalingstijd van 50 jaar zijn fors toegenomen. Bovendien is de ruimte voor het watersysteem afgenomen, doordat een oppervlak van circa 2000 ha aan oeverlanden en voorheen regelmatig onderlopende beekdalen onttrokken is aan het watersysteem. Tezamen met de steeds intensievere ontwatering en afwatering en de grotere drooglegging, heeft dit ertoe geleid dat het watersysteem anders reageert op neerslag dan vroeger.



FIGUUR 2 VORBEELD VAN EEN SNELLE AFVOERPIEK VAN DE MARK.

## HYDROLOGIE VAN DE INLAATGEBIEDEN

De bestudeerde inlaatgebieden (polders 4, 5 en 6) liggen langs de benedenlopen van de Mark en de Vliet (zie Figuur 1). Het gaat in totaal om zo'n 32.000 ha landbouwgrond die rechtstreeks vanuit de Mark en Vliet water inlaten. Deze inlaat van landbouwwater op zo'n grote schaal is recent, namelijk sinds de totstandkoming van het Volkerak-Zoommeer in 1987. De afvoer van beide rivieren in de zomer is onvoldoende om de wateraanvoer naar de polders te waarborgen. Maar sinds de komst van het Volkerak-Zoommeer kan zoet water uit het meer in de zomer de rivieren opstromen ten behoeve van de aanvoer van landbouwwater. Op zich is er dus water genoeg, echter op termijn is er reden voor zorg:

- De klimaatwijziging zal leiden tot kansen op een groter neerslagtekort in de zomer (KNMI, 2001), waardoor de behoefte aan landbouwwater toeneemt;
- De beschikbaarheid van water vanuit het meer en vanuit de grote rivieren neemt af, enerzijds vanwege de al genoemde klimaatwijziging, anderzijds omdat in de delta een natuurlijker waterbeheer wordt voorgestaan. Daarbij zal de in het kader van het Deltaplan ontstane compartimentering van de delta deels worden opgeheven, waardoor delen van de delta weer zout of brak zullen worden. Het is denkbaar dat over enige tientallen jaren het Volkerak-Zoommeer weer brak is.

De gevolgen van deze ontwikkelingen zijn dat er vaker water in de polders zal moeten worden ingelaten, maar dat er minder water daarvoor beschikbaar is. In verband hiermee is het van belang de ingelaten hoeveelheden water te kennen en er zorg voor te dragen dat het water efficiënt gebruikt wordt.

Daartoe wordt door het Hoogheemraadschap van West-Brabant maandelijks een hydrologisch overzicht van de Mark-Vliet boezem uitgebracht (zie Bijlage I voor een voorbeeld). Dit hydrologisch overzicht wordt ook voor andere doelen uitgebracht, met name als controle op het gevoerde peilbeheer en voor de evaluatie van hoogwater golven. In het hydrologisch overzicht wordt de inlaat van landbouwwater vanuit de Mark en de Vliet berekend op grond van een viertal inlaatpunten waar de aanvoer gemeten kan worden. Deze hoeveelheden worden vervolgens geëxtrapoleerd naar de vele andere inlaatpunten in het gebied. Op grond van de aldus geëxtrapoleerde inlaat vanuit de boezem en op grond van gemeten afvoeren van bovenlopen en van poldergemalen en de afvoeren bij Benedensas en Dintelsas wordt maandelijks een waterbalans van de Mark-Vliet boezem opgesteld (zie eveneens Bijlage I). De inlaat is daarin de meest onzekere factor; zie voor een bespreking van de nauwkeurigheid van de termen in deze waterbalans en in de waterbalans van de poldergebieden Hoofdstuk 2.

## MAANDELIJKSE WATERBALANS BOEZEMSYSTEEM

Voor de zomermaanden april t/m september is in Tabel 1 een overzicht gegeven van de gemiddelde maandafvoer, de gemiddelde inlaat naar de aangelegen polders en de gemiddelde restfout als percentage van de gemiddelde afvoer. Deze gegevens komen uit de huidige waterbalans. Hieruit blijkt:

Er wordt in de zomermaanden juli en augustus gemiddeld relatief veel water ten opzichte van de beschikbare afvoer ingelaten: gemiddeld 30 à 40%. Echter, in individuele maanden is de ingelaten hoeveelheid water regelmatig vele malen groter dan de afvoer. Voorbeeld is augustus '95: afvoer is - 2,1 miljoen m<sup>3</sup>; ingelaten hoeveelheid is 13,6 miljoen m<sup>3</sup>! In mm waterschijf is de ingelaten hoeveelheid vrij gering.

De gemiddelde restfout is acceptabel in termen van het huidige waterbeheer, maar te hoog als er in de toekomst sprake zou zijn van een watertekort. Dat blijkt vooral na nadere analyse van Tabel 1. Alhoewel de restfout ten opzichte van de afvoer relatief bescheiden is, is ze dat niet ten opzichte van de ingelaten hoeveelheden. De maanden zonder of met een geringe inlaat (< 2 miljoen m<sup>3</sup>) buiten beschouwing latend, bedraagt de absolute restfout gemiddeld 63 % van de ingelaten hoeveelheid. In de drietal maanden in de beschouwde periode overtreft de restfout zelfs de ingelaten hoeveelheden.

**TABEL 1.1** MARK-VLIET BOEZEM: GEMIDDELDE MAANDAFVOER, GEMIDDELDE INLAAT VAN LANDBOUWATER EN RESTFOUT IN DE WATERBALANS<sup>1</sup> (1995 T/M 2000).

Maand	Gemiddelde maandafvoer (m <sup>3</sup> /s)	Gemiddelde inlaat (m <sup>3</sup> /s)	Gemiddelde inlaat (mm/maand)	Restfout als % van de gemiddelde maandafvoer
April	9,0	0,3	2,5	-1,3
Mei	5,7	0,7	5,8	2,5
Juni	7,2	0,9	7,2	1,9
Juli	6,1	1,6	13,1	14,8
Augustus	6,3	2,6	21,7	28,3
September	11,8	0,7	5,6	9,7

Bovengenoemde punten geven in feite de motivatie voor dit onderzoek aan. Er lijkt enige ruimte te zijn voor efficiënter watergebruik, maar kennis van het probleem én het operationeel beheersen van de inlaatstromen wordt bemoeilijkt doordat we niet weten hoe groot die stromen zijn. Meting daarvan aan de inlaatpunten is niet de goede oplossingsrichting: in een dergelijk vlak gebied moet voor de aanvoer van water maximaal gebruik worden gemaakt van de topografie en dat betekent veel inlaatpunten met weinig verval over het kunstwerk. Beter is het om op grond van een waterbalans van de inlaatgebieden de wateraanvoer te kunnen schatten. Daarbij zou de waterbalans over perioden met een duur van hooguit enkele dagen opgesteld moeten worden, om aan te sluiten bij de wensen en mogelijkheden om de inlaat van water ook daadwerkelijk te regelen.

In verband daarmee gingen de gedachten uit naar de mogelijkheden die remote sensing biedt om deze waterbalans op te stellen: kennis van de actuele verdamping en van de vochtvoorraad in de bovengrond. Remote sensing kan ook waardevolle informatie over neerslag opleveren. In het specifieke geval van West-Brabant zijn echter voldoende neerslaggegevens aanwezig op grond van een meetnet van 10 registrerende neerslagmeters in het gebied, die gecalibreerd worden aan de hand van dagneerslagmeters. Daarnaast staan in het gebied nog 17 neerslagmeters van het KNMI. Mocht de aanpak van remote sensing en waterbalansen te hoog gegrepen zijn ('primary objective'), dan zou een 'second best' optie kunnen zijn om op basis van de remote sensing schattingen van de actuele verdamping het operationele waterinlaat beheer uit te voeren. De kwantificeren van verticale flux en andere termen van de waterbalans worden in het laatste geval volledig beschouwing gelaten.

<sup>1</sup> Gedefiniëerd als: Afvoer bovenlopen Mark-Vliet + polderlozingen op Mark-Vliet = inlaten + afvoer Mark-Vliet + restfout

## DE STUDIEGEBIEDEN IN STRIKTE ZIN

Het studiegebied beslaat drie clusters van poldergebieden die elk beheerd worden door een inliggend waterschap. Het poldergebied 4 (dit cijfer verwijst naar de nummering in Figuur 1) is in beheer bij waterschap Mark en Weerij, poldergebied 5 is in beheer bij waterschap Land van Nassau en poldergebied 6 bij waterschap Het Scheldekwartier. Zij worden in dit rapport als één geheel beschouwd en hebben samen een oppervlakte van ongeveer 39000 ha. Gebied 4 is ongeveer 7000 ha, gebied 5 ongeveer 13000 ha en gebied 6 ongeveer 19000 ha. Op enkele plaatsen is er sprake van hoger gelegen gronden. Dit geldt vooral voor de polders van gebied 6. Het water dat voor de polders van dit waterschap wordt ingelaten, wordt effectief voor maar een gedeelte van de gronden gebruikt. Over het algemeen zijn de polders echter vlak en liggen ze onder het niveau van het waterpeil van de Mark-Vliet boezem, zodat wateraanvoer onder vrij verval mogelijk is. De poldergebieden kunnen worden onderverdeeld in stedelijk en landelijk gebied.

De grote stedelijke gebieden in West-Brabant (Roozendaal, Bergen op Zoom, Etten-Leur, Breda, Oosterhout) bevinden zich buiten deze poldergebieden, met uitzondering van een gedeelte van Breda dat binnen het poldergebied van waterschap Mark en Weerij valt, zodat het grootste gedeelte van de poldergebieden als landelijk gebied kan worden beschouwd. Binnen dit landelijk gebied is het aandeel bos niet groot, er is vooral landbouw. Tevens wordt ten behoeve van de afwatering van het gebied water uitgeslagen op de boezem met behulp van gemalen. Enkele gebieden binnen de polders van het Land van Nassau laten water in vanuit de boezem maar lozen op het Hollands Diep.

Aan de Vugtpolder wordt in dit rapport extra aandacht besteed omdat van dit gebied meer metingen beschikbaar zijn. De Vugtpolder valt onder beheer van Waterschap Mark en Weerij en ligt ten noordoosten van Breda, ingeklemd tussen Breda, Oosterhout, het Markkanaal en de A27 (zie bijlage II). Dit gebied heeft één punt waar water wordt ingelaten vanuit het Markkanaal en tevens één punt waar water wordt uitgelaten naar het boezemwater. Het gebied beslaat ongeveer 7000 ha en loopt globaal gezien van oost naar west af. Aangezien een groot gedeelte van de Vugtpolder uit hoog gelegen gronden bestaat kan daarvoor geen water worden ingelaten via het inlaatpunt aan het Markkanaal. Het ingelaten water via die inlaat komt daardoor ten goede aan circa 500 ha. Op Teteringen na is er geen stedelijk gebied van belang binnen de Vugtpolder. De rest van de grond bestaat voor ongeveer 20 % uit bouwland, 56 % uit grasland, 1 % uit tuinbouw en 22 % uit boomkwekerijen en bosgebieden.

# 2

## MATERIAAL EN METHODEN

### 2.1 ALGEMENE HYDROLOGISCHE DATA

In deze studie zijn zowel traditionele hydrologische gegevens als met behulp van remote sensing gemeten gegevens gebruikt. In dit hoofdstuk worden de gebruikte hydrologische gegevens besproken:

#### 1 AFVOEREN VAN BOVENLOPEN VAN MARK EN VLIET NAAR DE BOEZEM

De bovenlopen monden via stuwen uit in de Mark. Deze bovenlopen (beken) draineren zo'n 100.000 ha, dat is ongeveer 70 % van het totale stroomgebied. De stuwen zijn geijkt; de waterstanden ter plaatse worden met een onnauwkeurigheid van maximaal 3 mm gemeten. De random fout in de afvoer voor een willekeurige stuw is onder normale omstandigheden (dwz. niet verdrinken, geen 'overland flow' langs de stuw) maximaal 5 %. Door sommatie wordt de totale afvoer van alle bovenlopen berekend. Aangezien de fouten in de verschillende afvoeren onafhankelijk van elkaar verondersteld mogen worden en ze elk een random fout hebben, is de relatieve fout in de totale afvoer van alle bovenlopen kleiner dan 5 %.

#### 2 AFVOEREN VAN POLDERGEMALEN NAAR DE MARK EN DE VLIET

De polders beslaan zo'n 40.000 ha, ongeveer 30 % van het totale stroomgebied. Via circa 15 poldergemalen wordt het overtollige water afgevoerd naar de Mark. De afvoer-capaciteit van de poldergemalen is bekend, evenals de draaiuren. Op grond van deze gegevens wordt de totale polderafvoer berekend. Omdat er nogal veel ontbrekende waarnemingen zijn, wordt de relatieve fout in de afvoer van één enkel poldergemaal geschat op 20 %. Aangezien de fouten in de verschillende afvoeren onafhankelijk van elkaar verondersteld mogen worden, is de relatieve fout in de totale afvoer kleiner. Er kan echter nog wel een aanzienlijke fout aanwezig zijn doordat het aantal maaluren tussen gemalen onderling verschilt. Een foutenmarge van 20% wordt echter gehanteerd in de verdere analyses.

#### 3 AFVOER VAN MARK EN VLIET

Deze wordt gemeten bij Bovensas en bij Dintelsas met behulp van akoestische debiet-meetapparatuur (twee meetkruisen op twee hoogtes). De afvoer van de Vliet bij Benedensas wordt berekend uit de gemeten afvoer bij Bovensas, vermeerderd met de afvoer van de benedenstrooms van Bovensas langs de Vliet gelegen gemalen. De apparatuur is geijkt en wordt intensief onderhouden. De relatieve fout is voor elk van beide meetlocaties maximaal 5 %.

#### 4 INLAAT VAN LANDBOUWWATER VANUIT DE MARK

Deze wordt in de waterbalans van de boezem berekend aan de hand van de gemeten inlaat op een viertal locaties (Vugtpolder, Houtse Akkers, Laakdijk en De Hillen). Deze vier inlaatpunten bedienen gezamenlijk 5700 ha landbouwgrond. De gemeten hoeveelheden worden vervolgens geëxtrapoleerd naar de overige 26700 ha landbouwgrond waar inlaat van water vanuit de Mark en de Vliet plaatsvindt. De relatieve fout op elk van de vier meetlocaties wordt geschat op 30 % (zie ook Tabel 1.1, alhoewel deze hierover geen definitief uitsluitel

kan geven). Ook hier geldt, evenals bij de stuwafoeren (punt 1) en de gemaalfoeren (punt 2), dat de fouten in de inlaathoeveelheden op elk van de vier beschouwde locaties onafhankelijk van elkaar zijn. Naar verwachting is de relatieve fout van de totale inlaat dus geringer, maar desondanks zal een foutenmarge van 30% in acht worden gehouden.

#### 5 **NEERSLAG**

Deze post in de waterbalans van de inlaatpolders wordt berekend op grond van de waarnemingen van 17 dagneerslagmeters van het KNMI in West-Brabant en 10 registrerende neerslagmeters van het HWB. Gezien de lengte van de beschouwde periodes (meerdere dagen), de middeling over meerdere meetlocaties en de precisie van de uitgangsmetingen zelf, is de relatieve fout in deze balanspost zeer gering, zie ook Witter (1984) voor de fout in gebiedsgemiddelden van de neerslag. Hier is deze fout op 5 % gesteld.

#### 6 **KWEL**

Zoals al vermeld, treedt er kwel op grotendeels in de overgangszone tussen zand en klei gelegen inlaatgebieden. Kwantificering hiervan is moeilijk, met name omdat er nog geen consensus is over de omvang van de kwel, zie bijvoorbeeld TNO (1992), Hendriks (1990) en TNO (2001) voor verschillende inschattingen over het gebied en de mate van voorkomen van kwel. Hier is gebruik gemaakt van de meest recente informatie uit TNO (2001). De onderlinge verschillen lopen op tot 100% en er wordt daarom met een relatieve fout van 100 % verder gerekend.

#### 7 **GRONDWATERSTANDEN**

Ten behoeve van de post 'verandering bodemvocht voorraad' in de waterbalans van de inlaatgebieden, wordt gebruik gemaakt van de ligging van de grondwaterspiegel ten opzichte van het maaiveld. Dit betreft veertiendaagse metingen op een negental locaties, die zowel naar tijd als naar plaats geëxtrapoleerd worden. De fout in de puntmetingen is gering, de fout vanwege de extrapolatie naar plaats eveneens (dit zijn relatief vlakke, peilbeheerste gebieden). De meeste zorgen baart de extrapolatie naar tijd. De relatieve fout van de waterberging van de eerste 2 meter onder maaiveld is op 50 % per maand gesteld.

De overige gegevens in dit rapport zijn gemeten door gebruik te maken van remote sensing technieken. Zij worden besproken in Hoofdstuk 2.2.

## 2.2 **DIGITALE DATA**

Er zijn historische Advanced Very High Resolution Radiometer beelden van de National Oceanic Atmospheric Administration satelliet (NOAA-AVHRR) gebruikt. De historische beelden zijn via internet (<http://www.saa.noaa.gov>) vanuit de Amerikaanse database verkregen. Deze beelden bevatten een band in het rode, een band in het nabij-infrarode en twee banden in het thermisch infrarode gedeelte van het stralingsspectrum. De NOAA-AVHRR beelden hebben een ruimtelijke resolutie van 1,1 km en zijn met hun dagelijkse overkomst geschikter om de temporele variatie van hydrologische systemen te bestuderen dan hoge resolutiebeelden (b.v. 30 m ruimtelijke resolutie) die niet met voldoende regelmaat beschikbaar zijn (eens per 16 dagen). De beschikbaarheid van beelden hangt sterk van de aanwezigheid van bewolking af. Sluierbewolking op grote hoogte is genoeg om het meetsignaal te verstoren. Dit betekent in de praktijk dat de meeste opnamen boven Nederland niet bruikbaar



zijn. Tabel 2.1 geeft weer dat er in het groeiseizoen (april t/m september) in Nederland gemiddeld een goed NOAA beeld eens per 10 tot 14 dagen kan worden verkregen.

TABEL 2.1 OVERZICHT VAN GESLAAGDE NOAA OPNAMENS VAN NEDERLAND

Maand	1995	1998	1999	Gemiddeld
April	2	1	0	1
Mei	3	4	3	3
Juni	2	1	2	2
Juli	3	1	3	2
Augustus	3	3	3	3
September	1	3	2	2

De vertaling van de spectrale stralingswaardes gemeten door de NOAA satelliet naar verdamping en bodemvocht vindt plaats via daartoe speciaal ontwikkelde remote sensing algoritmes (een satelliet meet geen verdamping of bodemvocht). Deze algoritmes zijn gebaseerd op standaard thermo-dynamica en turbulentie theorieën nabij het aardoppervlak in relatie tot spectrale stralingseigenschappen. Een vochtig landoppervlak heeft een lage reflectie in het zichtbare en nabij-infrarode venster. De thermisch infrarode straling is bij een nat oppervlak laag (een nat oppervlak is koel). De aanwezigheid van vegetatie uit zich in een hoge nabij-infrarode reflectie. Dergelijke stralingseigenschappen worden in het SEBAL algoritme (Surface Energy Balance Algorithm for Land) gebruikt om de energiehuishouding uit te rekenen. SEBAL is ontworpen door (BASTIAANSEN (1995) en vervolgens verder doorontwikkeld (BASTIAANSEN ET AL., 1998, BASTIAANSEN, 2000; BASTIAANSEN EN ALLEN, 2002).

Omdat bewolking zich grillig in de tijd gedraagt, is de beschikbaarheid van bodemvocht-schattingen vanuit satellietmetingen – inherent-onregelmatig. Tabel 2.1 geeft weer dat er 2 tot 3 beelden per maand kunnen worden verkregen. Op deze onbewolkte dagen is de bodem doorgaans droger dan op natte dagen, dus zit er per definitie een bias in de bodemvocht schattingen op basis van satelliet metingen. Om de temporele variaties van bodemvocht-schattingen vanuit satellieten verkregen op individuele momenten enigszins te reduceren, zijn de waarden voortschrijdend gemiddeld. Dit wil zeggen dat voor een week  $n$  ook waarnemingen van voorafgaande en volgende weken zijn verwerkt:

$$M_n = \frac{M_{n-2} + M_{n-1} + M_n + M_{n+1} + M_{n+2}}{5}$$

Het probleem van gelimiteerde beschikbaarheid van NOAA satellietbeelden heeft geen impact op de continuïteit van tijdsreeksen van de actuele en potentiële verdamping. Dit kan worden toegeschreven aan de afhankelijk van verdampingsberekeningen van meteorologische grondwaarnemingen. Dagelijkse meteorologische metingen zijn gebruikt om onder bewolkte condities actuele en potentiële verdamping uit te rekenen. Het verschil tussen actuele en potentiële verdamping is volledig terug te brengen op de waarde van de verdampingsweerstand. Als de verdampingsweerstand gelijk is aan de minimale gewasweerstand die bij een bepaalde bodembedekking en bladerontwikkeling hoort, is er sprake van poten-

tiele verdamping,  $ET_{pot}$ . Als de verdampingsweerstand hoger is, zal het landoppervlak minder verdampen,  $ET_{act}$ .

Het bewerken van de satellietbeelden heeft in een Erdas Imagine omgeving plaats gevonden, en de resultaten zijn in een ArcInfo grid format aan het Hoogheemraadschap overgedragen. Het Hoogheemraadschap heeft de interpretatie en vergelijking met andere hydrologische data in een ArcView omgeving uitgevoerd.

## 2.3 METHODEN

Diverse informatiebronnen kunnen worden geraadpleegd voor het opstellen van een waterbalans. Dit zijn (i) puntmetingen, (ii) remote sensing metingen en eventueel (iii) uitkomsten van hydrologische model studies. Alle termen tezamen dienen een sluitende waterbalans op te leveren. De fout komt aan het licht als de balans niet sluitend is (tenzij fouten in individuele termen toevalligerwijze elkaar opheffen). Bij het optreden van een sluitingsfout, kan de fout worden gemaskeerd door het principe van water conservering te gebruiken; De waterbalans wordt kloppend gemaakt door de termen waarvan de fout het grootste is aan te passen, zodanig dat er een sluitende balans ontstaat. Dit is het principe van de waterbalans residu methode. De omvang van de fout wordt bepaald door de procentuele fout die aan de gevolgde methode ten grondslag ligt en de absolute omvang van de water flux. Per polder luidt de waterbalans per tijdsperiode T als volgt:

Ingelaten uit de boezem + Neerslag + Verticale flux =

Uitgeslagen naar de boezem + Verdamping + RWZI +  $\Delta B_{Open\ water}$  +  $\Delta B_{Bodem}$

Waarin (per periode T):

- 1 INGELATEN UIT DE BOEZEM de hoeveelheid water die vanuit de boezem wordt ingelaten naar de polders. [ $m^3$ ]
- 2 NEERSLAG de neerslag die op de polder valt. [ $m^3$ ]
- 3 KWEL het water dat vanuit hoger gelegen gebieden en hoger gelegen rivieren in de polders opkwelt. Deze term wordt positief genomen als het kwelwater de polder instroomt. [ $m^3$ ]
- 4 UITGESLAGEN NAAR DE BOEZEM de hoeveelheid water die door de polders wordt geloosd op het boezemwater. [ $m^3$ ]
- 5 VERDAMPING de hoeveelheid water die uit de polders (planten, bodem en open water) verdamppt. [ $m^3$ ]
- 6 RWZI de hoeveelheid afvalwater die via persleidingen naar de rioolwaterzuiverings inrichtingen (RWZI's) Bath en Nieuwveer wordt verpompt. [ $m^3$ ]
- 7  $\Delta B_{Open\ water}$  de verandering van de hoeveelheid water die in de slootjes en overig open water van de polders wordt geborgen. [ $m^3$ ]
- 8  $\Delta B_{Bodem}$  de verandering van de berging in de bodem door de stijging/daling van de grondwaterspiegel en de verandering van de het bodemvochtgehalte in de onverzadigde zone [ $m^3$ ]

Voor het vaststellen van de bergingsveranderingen in de bodem,  $\Delta B_{\text{Bodem}}$ , kunnen er drie zones in de bodem worden onderscheiden:

- I DE WORTELZONE**
- II HET GEBIED TUSSEN DE WORTELZONE EN DE GRONDWATERSPIEGEL**
- III HET GEBIED BENEDEN DE GRONDWATERSPIEGEL**

Om de bergingsverandering te berekenen wordt de hoeveelheid bodemvocht (B) tot een diepte van 2 meter beneden maaiveld berekend door het vocht in de drie genoemde zones I, II en III apart te berekenen en te sommeren. Hierna wordt  $\Delta B_{\text{Bodem}}$  voor week n bepaald door de waarde van B voor week n-1 af te trekken van de waarde van B voor week n. Bij het berekenen van B zijn de volgende aannames gedaan:

- De gebiedsgemiddelde porositeit van de bodem is 43%. Deze aanname is gedaan op basis van de landelijke bodem-porositeitskaart van Alterra met een resolutie van 5 km. Deze reeds bestaande kaart is tot stand gekomen door de dominante bodemsoort in een 5 km grid aan te wijzen en via de Staringreeks te vertalen naar een porositeit. Dit is grove informatie. Informatie over porositeit is wenselijk om de hoeveel opgeslagen water in de verzadigde zone te beschrijven.
- Lineair verloop: er is een lineair verloop aangenomen voor het verloop van het vochtgehalte tussen de onderkant van de wortelzone en de grondwaterspiegel. Dit is volgens de theorie van een evenwichtsprofiel niet gerechtvaardigd, maar het werkelijke verloop van bodemvocht potentialen is onbekend en dus moeilijk te voorspellen.
- Remote sensing: De remote sensing metingen geven het vochtgehalte van de gehele wortelzone weer.
- Voor de dikte van de wortelzone is een schatting gemaakt op basis van de verdeling van het Landgebruik tussen akkerbouw, gras en braakliggende grond aan de hand van 'Brabants water in beeld' (TNO, 2000). Per week is er voor de polders van West-Brabant een tabel gegenereerd.
- De gemiddelde grondwaterspiegel per week is bepaald aan de hand van de grondwaterstanden van 9 grondwaterstandbuizen in de poldergebieden gelegen aan de Mark-Vliet boezem. Dit schiet flink tekort waardoor de werkelijke grondwaterstanden aanzienlijke afwijkingen kunnen vertonen.

#### **OPSTELLEN WATERBALANSEN**

In deze studie is ervan uitgegaan eerst de fout op jaarbasis te bepalen met gebruikmaking van alle mogelijke informatiebronnen. Vervolgens zijn bepaalde informatiebronnen verworpen en is via de residu methode een billijke waterbalans op jaarbasis opgesteld. Er is voor de jaarbalans gekozen omdat dit effecten van bergingsveranderingen reduceert. Omdat de absolute onzekerheid in de verticale flux het hoogst is (zie Hoofdstuk 1.3), is kwel/wegzijging in deze studie als de residu uitgerekend. Vervolgens is de jaarbalans opgesplitst naar weekwaarden.

## KADER 1

**CONTROLEERBAARHEID****Hoe kan worden beoordeeld of een waterbalans goed is, en bijvoorbeeld beter wordt t.o.v. de balans zoals die via de conventionele manier wordt opgesteld ?**

Om deze vraag te beantwoorden zijn er een drietal beoordelingswijzen opgesteld.

TEN EERSTE zal de sluiting van de waterbalans worden bestudeerd. Als alle termen goed zijn geschat, moet de sluitfout klein zijn. D.w.z. het verschil tussen instroming en uitstroming van de polders moet ongeveer gelijk zijn aan de bergingsveranderingen. Deze hypothese zal worden getoetst.

TEN TWEEDE is een klein studiegebied beschouwd waarvan relatief veel metingen bekend zijn; de Vugtpolder. De waterinlaat naar de Vugtpolder wordt nauwkeurig gemeten, waarmee de werkelijke verdamping van het landelijke gebied als restterm uit de waterbalans kan worden uitgerekend. De aldus verkregen waarde moet met de remote sensing schattingen van verdamping overeenkomen.

TEN DERDE zal de verdamping worden vergeleken met de verdampingsberekeningen volgens de Makkink referentiegewasverdamping. De met behulp van remote sensing gegevens berekende waarde voor verdamping wordt vergeleken met de door het KNMI maandelijks voor het hoofdstation Gilze-Rijen berekende referentiegewas verdamping van Makkink, vermenigvuldigd met een standaard gewasfactor  $f$ . Dit is overigens een kwalitatieve controle omdat het Makkink concept sterk empirische componenten herbergt en de gewasfactor uit algemene tabellen wordt gebruikt.

# 3

## RESULTATEN

### 3.1 WATERBALANS GESELECTEERDE POLDERS 1995

Het onderzoek heeft zich gericht op de jaren 1995, 1998 en 1999. De zomers van deze jaren kunnen hydrologisch worden beschouwd als droog (1995), gemiddeld (1999) en nat (1998). De waterbalans van polders 4, 5 en 6 is alleen voor de zomerperiode van 1995 opgesteld. De periode dat er tijdens het groeiseizoen water wordt ingelaten naar de poldergebieden, heeft de meeste interesse bij het Hoogheemraadschap. Dit is van april tot en met september (week 13 tot en met 39). De gegevens van de jaren 1998 en 1999 zijn slechts gebruikt om het aanvoeren van water te evalueren op basis van het verdampingsgedrag waargenomen met satellietbeelden.

#### WATERBALANS OP JAARBASIS

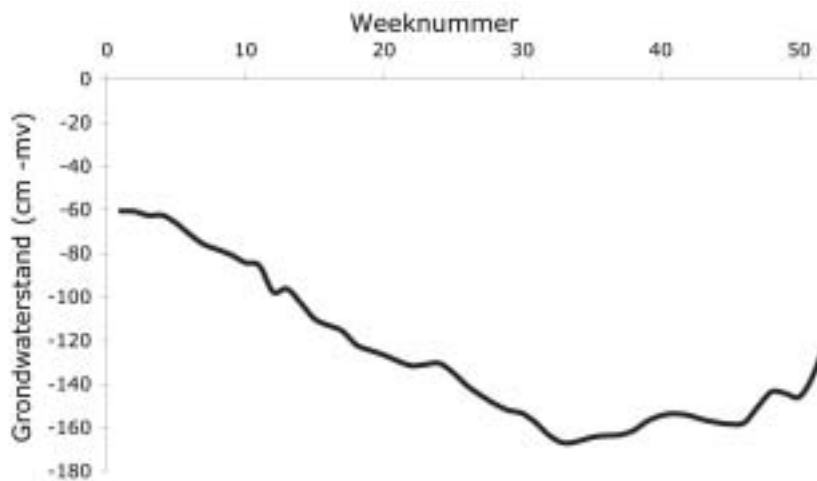
Tabel 3.1 geeft de metingen en schattingen van de waterbalans voor 1995 op jaarbasis weer. Er is in eerste instantie voor de jaarbalans gekozen om fouten ten gevolge van bergingsveranderingen te elimineren.

TABEL 3.1 GESCHATTE WATERBALANS TERMEN VOOR POLDERS 4, 5 EN 6 (TOTAAL 39.200 HA) OP JAARBASIS VOOR GEHEEL 1995

	Term	Methode van bepalen	Hoeveelheid (in mm)	Foutenmarge (in mm)
In	Neerslag	27 regenmeters + geostatistiek	735	± 37 (5%)
In	Verticale flux	TNO model studie	130	± 130 (100 %)
In	Ingelaten	4 inlaatpunten	53	± 16 (30 %)
Uit	Verdamping	remote sensing	489	± 49 (10 %)
Uit	Uitgeslagen	15 gemalen	269	± 54 (20%)
Uit	$\Delta B_{\text{bodem}}$	remote sensing wortelzone en 7 grondwaterstanden	-96	± 48 (50%)

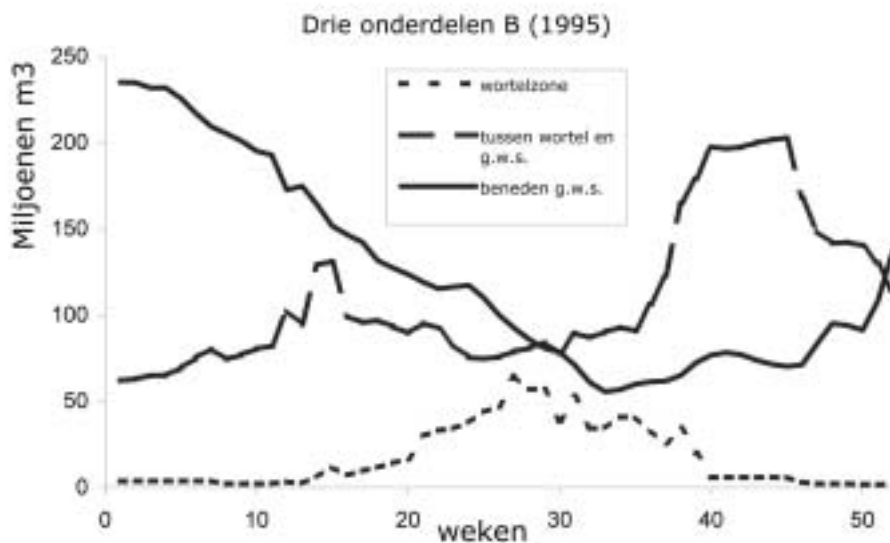
Opvallend voor de jaarbalans is dat er meer water de polders ingaat (918 mm) dan er via verdamping en malen uit verdwijnt (758 mm). Dit levert een positieve berging van 160 mm, terwijl er juist een negatieve berging van 96 mm wordt waargenomen! Ondanks de hoge totale wateraanvoer term, daalt de grondwaterstand en wordt het niveau geldend voor het begin van het jaar niet meer bereikt (zie Fig. 3.1), hetgeen typerend is voor een droog jaar. De sluitfout in de waterbalans wordt bepaald door de eerste schattingen van alle individuele termen te gebruiken, en na te gaan of er sprake van een massabalans is. De sluitfout tussen totaal in, totaal uit en bergingsverandering in de bodem is met 256 mm zeer groot. Dit betekent dat:

- De totale hoeveelheid water wat de polders ingaat minder is dan geschat.
- De totale hoeveelheid water wat de polders uitgaat meer is dan wordt vermoed.
- De bergingsverandering niet juist berekend is.
- Een combinatie van bovenstaande factoren.



FIGUUR 3.1 HET GEMIDDELDE VERLOOP VAN DE GRONDWATERSTAND GEDURENDE 1995 IN DE POLDERS 4, 5 EN 6 OP BASIS VAN 7 GRONDWATERSTANDBUIZEN

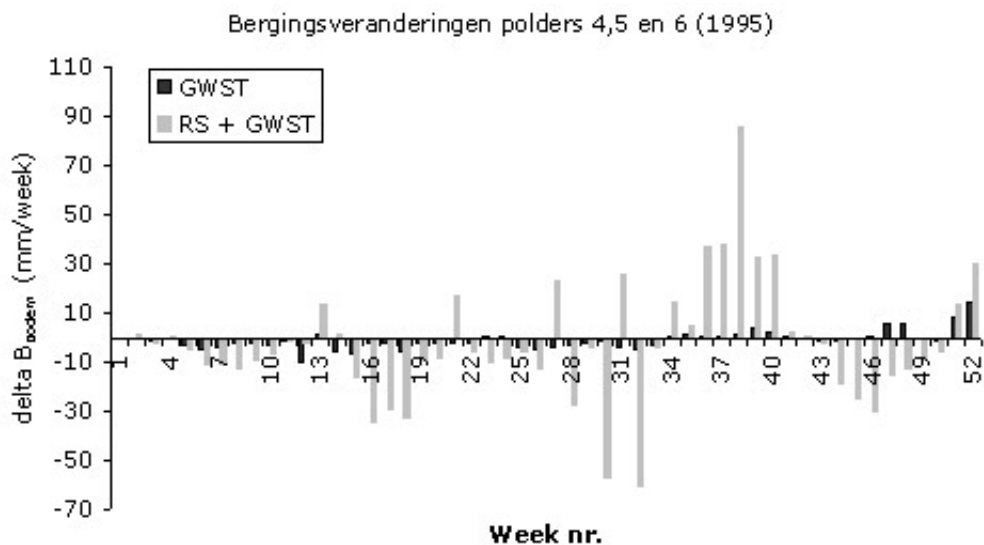
Doordat de grondwaterstand uitzakt, zal de berging in het profiel afnemen. De totale berging voor een diepte van 2 m beneden maaiveld wordt voornamelijk door de berging in de capillaire zone tussen de wortelzone en de grondwaterstand gedictieerd. Veranderingen van waterberging in de capillaire zone worden dus beïnvloed door zowel het vochtgehalte in de wortelzone alsmede de diepte van de grondwaterstand. Dientengevolge kunnen de waarden voor  $\Delta B_{\text{Bodem}}$  tussen twee opeenvolgende weken in absolute termen aanzienlijk oplopen. Als deze verandering van vochtinhoud op weekbasis niet nauwkeurig kan worden bepaald, zal de restterm van de waterbalans ook niet kunnen worden opgelost. Het fluctuatie effect van  $\Delta B_{\text{Bodem}}$  vertaalt zich dan ten alle tijden naar de restterm van de waterbalans.



FIGUUR 3.2 BEREKENDE BERGING IN DE BODEM OP BASIS VAN DE GRONDWATERSTAND EN REMOTE SENSING SCHATTINGEN VAN BODEMVOCHT IN DE WORTELZONE

De wetenschap dat er – relatief grote – aannames zijn gedaan omtrent de porositeit, de grondwaterstand, het verloop van het vochtprofiel in de onverzadigde zone, de lengte van

de wortelzone en alle ruimtelijke variaties van deze parameters, bevestigt de indruk dat  $\Delta B_{\text{Bodem}}$  een onzekere term is. Figuur 3.3 geeft aan dat de waarden van  $\Delta B_{\text{Bodem}}$  een geleidelijker en meer 'steady' verloop krijgen als alleen grondwaterstand informatie wordt gebruikt i.p.v. remote sensing gecombineert met grondwaterstanden.



FIGUUR 3.3 BERGINGSVERANDERINGEN VAN BODEMVOCHT TUSSEN MAAIVELD EN TWEE METER DIEPTE GESCHAT MET REMOTE SENSING EN GRONDWATERSTANDSINFORMATIE (RS+GWST) EN ZONDER GEBRUIK VAN REMOTE SENSING METINGEN (GWST). DE METHODE ZONDER REMOTE SENSING METINGEN BERUST OP GRONDWATERSTANDFLUCTUATIES EN EEN BERGINGS-COEFFICIENT

De resultaten beschreven in Figuren 3.2 en 3.3 geven weer dat de bodemvocht gehalten in de wortelzone op basis van remote sensing metingen de kwantitatieve analyse alleen maar verslechteren doordat verschillen tussen opeenvolgende NOAA beelden onacceptabel hoog kunnen zijn. In de hierna volgende analyses is daarom gebruik gemaakt van bergingsberekeningen op basis van een bergingscoëfficiënt ( $\mu=0.10$ ) en de grondwaterstandsfluctuaties ( $\Delta G_{\text{wst}}$ ) afgeleid van de 7 grondwaterstandsbuizen:

$$\Delta B_{\text{Bodem}} = \mu \Delta G_{\text{wst}}$$

De uitkomsten van de bovenstaande formule zijn gebruikt om de bergingsveranderingen per weekinterval te schatten. Figuur 3.3 geeft aan dat de bergingsveranderingen op basis van grondwaterstanden (GWST) veel geringer zijn dan wanneer remote sensing metingen worden meegenomen (RS+GWST). Hierdoor wordt de invloed van  $\Delta B_{\text{Bodem}}$  op de waterbalans geringer.

De actuele verdamping gemeten met eddy correlatie systemen (zie hoofdrapport) is 10 tot 15% hoger dan de remote sensing schattingen van de verdamping. Ofschoon dit zeker niet voor alle fysiografische eenheden in Nederland geldt, kan er wel uit worden afgeleid dat de actuele verdamping wel eens hoger zou kunnen zijn dat in eerste instantie geschat in Tabel 3.1. Omdat de grootste foutenmarge in de verticale flux zit opgeborgen (100 % mogelijke afwijking of te wel 130 mm/jr), is in het hierna beschrevene de verticale flux als residu uitgerekend. Omdat de polders tezamen bekend staan als een netto kwelgebied, moet de verticale

flux positief zijn. Dit lukt alleen door gebruik van de toelaatbare foutenmarges te maken. Immers, de aanvoer moet worden verkleind en de afvoer worden vergroot. De hydrologische consequentie van deze bijstelling is dat er minder verticale flux optreedt dan in eerste instantie verwacht. Dit heeft waarschijnlijk te maken dat het hier om een netto kwel gaat; een gedeelte van de kwel die vanuit de zuidelijker gelegen hogere gronden binnenkomt, zal aan de noordelijke zijde van de polders weer verdwijnen richting Hollands diep. Het netto kwelgedrag is nauw verbonden aan de exacte grens van de polders en hun positie in de regionale geo-hydrologische context.

De eerste schatting van de waterbalans na het toepassen van toelaatbare correctiefactoren (regenval -5%, verdamping +10%, verticale flux -100%, aanvoer -30%, uitgeslagen +20% en berging -50%) levert een plausibele waterbalans op. Deze balans geldt nog steeds voor de jaarbasis om de effecten van bergingsveranderingen – en foutieve  $\Delta B_{\text{Bodem}}$  schattingen te reduceren. De kans dat deze balans werkelijk voorkomt is zeer klein omdat voor bijna alle waterbalans termen de maximaal mogelijke marge moet worden gebruikt. Vanuit dit oogpunt kan de voorlopige conclusie worden getrokken dat de waterbalans van de polders nauwelijks sluitend te krijgen is.

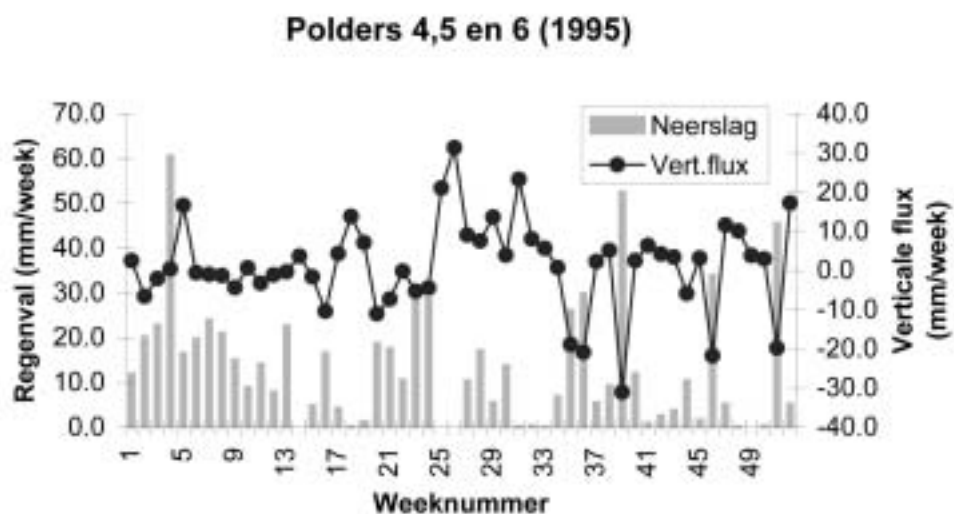
TABEL 3.2 HERZIENE WATERBALANS TERMEN VOOR POLDERS 4, 5 EN 6 (TOTAAL 39.200 HA) OP JAARBASIS VOOR 1995

Nr.	Term	Methode van bepalen	Hoeveelheid (in mm)
In	Neerslag	27 regenmeters + geostatistiek	698
In	Verticale flux	Restterm	69
In	Ingelaten	4 inlaatpunten	46
<b>In</b>	<b>TOTAAL</b>		<b>813</b>
Uit	Verdamping	remote sensing	538
Uit	Uitgeslagen	15 gemalen	323
Uit	$\Delta$ Berging	7 grondwaterstanden	-48
<b>Uit</b>	<b>TOTAAL</b>		<b>813</b>

#### WATERBALANS OP WEEKBASIS

Wetende dat er forse correctie percentages op de jaarbalans van toepassing zijn om een sluitende massabalans te krijgen, is vervolgens bekeken hoeverre dat gevolgen heeft voor de weekbalansen. Bij het toepassen van de waterbalans correctie-percentages op weekbasis, ontstaat de mogelijkheid de waterbalans voor elke week in het zomerseizoen te bepalen (2e schatting Tabel 3.3). Omdat de verticale flux op weekbasis ook als residu wordt beschouwd, zijn de resultaten gevoelig voor de bergingsberekeningen en dus indirect van de grondwaterstandwaarnemingen. Dit levert een gevarieerd beeld van de verticale flux op (zie Fig. 3.4). De wekelijkse fluctuatie van de grondwaterstand is weergegeven in bijlage III.





FIGUUR 3.4 VERTICALE FLUX UITGEREKEND ALS RESIDU VAN DE WATERBALANS (1E SCHATTING). POSITIEF IS KWEL, NEGATIEF IS WEGZIJJING

Omdat de waterbalans slechts onder grove aannamen tot stand is gekomen – inlaten en uitlaten moesten drastisch worden bijgesteld om een sluitend geheel tussen grondwaterstand verloop en neerslagoverschot te krijgen – ontstaat er een aanzienlijke onzekerheid over de gepresenteerde waterbalans op weekbasis. Een wekelijkse waterbalans is weergegeven in bijlage III. Er kunnen echter geen uitspraken over de nauwkeurigheid worden gedaan; Het kan goed of fout zijn. Slechts kan worden volstaan met de opmerking dat de getallen reëel zijn. Louter vanwege de grotere onnauwkeurigheid waarmee in- en uitgelaten hoeveelheden water bekend zijn, is de exercitie herhaald voor de Vugtpolder.

TABEL 3.3 WATERBALANS ZOMERPERIODE 1995 VOOR POLDER 4, 5 EN 6, GEBASEERD OP DE RESIDU METHODE EN BERGINGSVERANDERINGEN IN DE BODEM GEBASEERD OP GRONDWATERSTANDMETINGEN. DE CUMULATIEVE WAARDEN HEBBEN BETREKKING OP DE ZOMERPERIODE VAN WEEK 13 T/M 39.

(in mm)		Eerste schatting (zonder foutcorrectie en afgeleid uit Tabel 3.1)	Tweede schatting (met foutcorrectie)
In	Neerslag	350	333
In	Verticale flux	65	49
In	Ingelaten	53	46
<b>In</b>	<b>Totaal</b>	<b>468</b>	<b>428</b>
Uit	Verdamping	372	409
Uit	Uitgeslagen	58	69
Uit	$\Delta$ Berging	22	-50
<b>Uit</b>	<b>Totaal</b>	<b>452</b>	<b>428</b>
	<b>Sluitfout</b>	<b>16</b>	<b>0</b>

### 3.2 WATERBALANS VUGTPOLDER

Omdat de Vugtpolder één van de vier gebieden is waar de inlaat daadwerkelijk wordt gemeeten, heeft de waterbalans er gedurende de zomerperiode een extra zekerheid. De beoordeling van de waterbalans zal wederom geschieden aan de hand van de verticale flux residu benadering. De Vugtpolder is een gebied met hoge en lage gronden. Het is waarschijnlijk dat het hoge gebied een negatieve verticale flux (wegzijging) en het lage gebied een positieve verticale flux (kwel) heeft (TAUW, 2000). Globaal gezien draineert het oostelijke gebied naar het Markkanaal terwijl het zuidelijke gebied vanuit het Markkanaal infiltreert. Het is dus geen sinecure om voor de gehele Vugtpolder een gemiddelde waarde voor de verticale flux a priori vast te stellen; een residu benadering lijkt dan beter.

In Tabel 3.4 is de balans voor de gehele zomerperiode tussen week 13 t/m 39 gegeven. Volgens de 1e schatting (dus geen correctieterm toegepast) is er totaal meer water de polder ingelaten (478 mm) dan er is uitgelaten (427 mm), waardoor de verwachte bergingsverandering 51 mm is. De metingen geven echter aan dat de berging – zoals verwacht mag worden voor een zomerperiode - met 169 mm is afgenomen. De verdere bestudering van de individuele weken laat zien dat  $\Delta B_{\text{Bodem}}$  wederom in grote mate schommelt. De in de tabel vermelde foutenmarges zijn echter voldoende om  $\Delta B_{\text{Bodem}}$  en verticale flux met elkaar in overeenstemming te brengen. De termen berging en verticale flux hebben de hoogste onzekerheden in de waterhoeveelheden, en door de berging te verlagen en de verticale flux te verhogen kan op eenvoudige wijze een sluitende waterbalans worden verkregen. Dit betekent dat de waterbalans niet op unieke wijze is op te lossen, zelfs niet voor kleine polders waar de in- en uitlaten relatief nauwkeurig bekend mogen worden verondersteld. De termen berging en verticale flux zijn kwantitatief niet goed te schatten.

TABEL 3.4 WATERBALANS VUGTPOLDER, ZOMER 1995

(in mm)		Eerste schatting	Acceptabele fout
In	Ingelaten	58	
In	Neerslag	326	16.3 (5%)
In	Verticale flux	95	94.5 (100%)
<b>In</b>	<b>Totaal</b>	<b>478</b>	
Uit	Uitgeslagen	28	5.6 (20%)
Uit	Verdamping	399	39.9 (10%)
Uit	$\Delta B_{\text{Bodem}}$	169	84.7 (50%)
<b>Uit</b>	<b>Totaal</b>	<b>596</b>	
	<b>Fout</b>	<b>119</b>	

### 3.3 POTENTIËLE VS. ACTUELE VERDAMPING

De formule van Makkink (MAKKINK, 1957; DOORENBOS AND PRUITT, 1977; DE BRUIN, 1987) is in Nederland gekozen voor de berekening van de referentiegewasverdamping. Dit is de verdamping van een goed van bodemvocht voorzien grasland wat niet aan ziektes en/of plagen onderhevig is. Met behulp van gewasfactoren kan de potentiële verdamping worden berekend aan de hand van de referentiewaarde  $ET_{\text{ref}}$ :

$$ET_{pot} = f * ET_{ref}$$

waarin  $ET_{pot}$  de potentiële verdamping weergeeft,  $ET_{ref}$  de referentie gewasverdamping en  $f$  de gewasfactor is. De gewasfactor is gewas afhankelijk en varieert met het ontwikkelingsstadium en de daaraan verbonden bio-fysische condities van het aardoppervlak. Ervan uitgaande dat de Makkink vergelijking  $ET_{ref}$  van grasland goed beschrijft en  $f$  voor homogene gewassen redelijk bekend is, kan door de vergelijking tussen  $ET_{rs}$  en  $ET_{pot}$  een kwalitatieve indicatie worden gegeven voor de juistheid van  $ET_{rs}$ . Omdat de remote sensing benadering de actuele verdamping weergeeft, is er een verschil tussen  $ET_{pot}$  en  $ET_{rs}$  te verwachten:

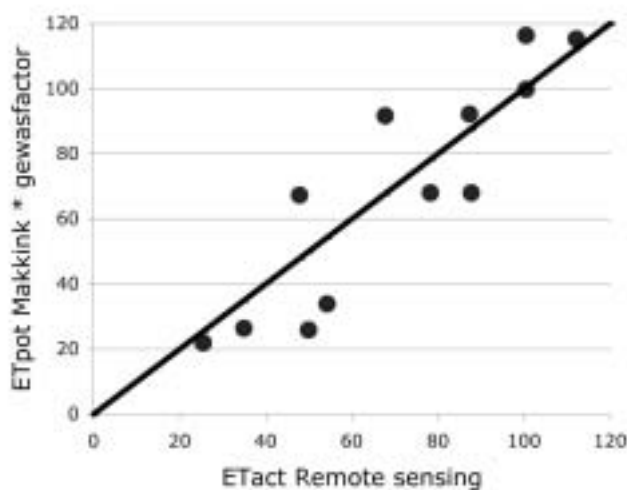
$$ET_{rs} \leq ET_{pot}$$

Voor de gewassen in de polders 4,5 en 6 is aangenomen dat 25 % van de landbouw uit grasland bestaat en 75 % uit akkerbouw. Er is aangenomen dat van de 75 % akkerbouw 1/3 bestaat uit granen, 1/3 uit aardappelen en 1/3 uit suikerbieten. Tabel 3.5 geeft de gewasfactoren voor deze gewassen (FEDDES, 1987). Er is aan de hand van de verdeling van de gewassen een 'gemiddelde' gewasfactor  $f_{gem}$  voor het gehele poldergebied uitgerekend.

**TABEL 3.5**      **GEWASFACTOREN F PER DECADE (10 DAGEN) EN GEMIDDELD PER MAAND VOOR LANDBOUWGEWASSEN**  
(NAAR FEDDES, 1987)

	April	Mei	juni	Juli	augustus	september
GRANEN	0.7/0.8/0.9	1.0/1.0/1.0	1.2/1.2/1.2	1.0/0.9/0.8	0.6/-/-	-/-/-
Gemiddeld	<b>0.8</b>	<b>1.0</b>	<b>1.2</b>	<b>0.9</b>	<b>0.2</b>	-
AARDAPPELEN	-/-/-	-/0.7/0.9	1.1/1.2/1.2	1.2/1.1/1.1	1.1/1.1/1.1	0.7/-/-
Gemiddeld	-	<b>0.53</b>	<b>1.17</b>	<b>1.13</b>	<b>1.1</b>	<b>0.23</b>
SUIKERBIETEN	-/-/-	0.5/0.5/0.5	0.8/1.0/1.0	1.1/1.1/1.1	1.1/1.2/1.2	1.2/1.1/1.1
Gemiddeld	-	<b>0.5</b>	<b>0.9</b>	<b>1.1</b>	<b>1.17</b>	<b>1.13</b>
GRAS	1.0/1.0/1.0	1.0/1.0/1.0	1.0/1.0/1.0	1.0/1.0/1.0	1.0/1.0/1.0	1.0/1.0/1.0
Gemiddeld	<b>1.0</b>	<b>1.0</b>	<b>1.0</b>	<b>1.0</b>	<b>1.0</b>	<b>1.0</b>
<b><math>f_{gem}</math></b>	<b>0.45</b>	<b>0.76</b>	<b>1.07</b>	<b>1.03</b>	<b>0.87</b>	<b>0.59</b>

Voor de vergelijking tussen  $ET_{rs}$  en  $ET_{pot}$  worden zowel 1995 en 1999 beschouwd. Figuur 3.5 geeft weer dat er een lineair verband bestaat, maar dat er wel een aanzienlijke spreiding voorkomt. Op basis van gedetailleerde veldexperimenten voor remote sensing verdamping was een foutenmarge van 10 tot 15 % geconstateerd. De gewasfactor die gebruikt is om de potentiële verdamping af te leiden uit de referentieverdamping is gezien zijn algemene karakter, ook niet foutloos. Des te onzekerder wordt de  $f$ -waarde als hij is afgeleid uit een globale inschatting van het landgebruik in de polders. Voor de potentiële verdamping wordt derhalve een fout van 15 % aangehouden, waarin ook de onzekerheid van  $ET_{ref}$  zit opgesloten.



FIGUUR 3.5 TOTALE MAANDELIJKSE VERDAMPING VOOR HET ZOMERSEIZOEN VAN 1995 EN 1999 IN POLDERS 4, 5 EN 6

De Vugtpolder bestaat vooral uit grasland (72 %) en maïs (28 %). Met behulp van GIS zijn er specifieke landbouwgebieden uitgelicht. De aldus verkregen verdampingswaarde heeft geen versturende invloed van bomen, wegen en dorpen. Voor de droge zomer van 1995 blijkt dat de actuele verdamping met 364 mm lager is dan de potentiële verdamping (416 mm), hetgeen voldoet aan de verwachtingen. Voor alle maanden in 1995 blijkt dat de remote sensing verdamping  $ET_{act}$  lager is dan de potentiële verdamping  $ET_{pot}$ . Gemiddeld genomen is de actuele verdamping 24% lager dan de potentiële verdamping. Dit spreekt vóór de theorie dat de remote sensing verdamping de actuele situatie van het gewas weergeeft, en dat de werkelijke verdamping van het landelijk gebied bij de potentiële verdamping achterblijft. De neerslagverdeling in Nederland is zodanig dat er meestal wel periodes van bodemvocht tekort zijn waardoor er vochtstress optreedt. Dit wijst er tevens op dat het toepassen van potentiële verdamping in waterbalans studies niet correct is. Hier heeft remote sensing een toegevoegde waarde. Tabel 3.6 geeft de verschillen tussen  $ET_{RS}$  en  $ET_{pot}$  op maandelijkse basis weer.

TABEL 3.6 VERDAMPINGSBEREKENINGEN OP CONVENTIONELE WIJZE (MAKKINK EN GEWASFACTOR F) EN MET BEHULP VAN REMOTE SENSING GEGEVENS VOOR 1995

	Remote sensing $ET_{act}$ (mm)	Conventioneel $ET_{pot}$ (mm)	Vershil (%)
April	27.0	35.1	23.0
Mei	50.6	80.4	37.0
Juni	82.6	87.0	5.0
Juli	96.8	122.4	20.9
Augustus	76.1	111.3	31.6
September	36.0	47.3	23.8
<b>Totaal</b>	<b>369.1</b>	<b>483.5</b>	<b>23.7</b>

De potentiële verdamping in 1999 is zonder correctie met 411 mm systematisch lager dan de actuele verdamping (483 mm), ofschoon de totale waarden nog wel binnen de fouten range

vallen. Dit betekent dat de potentiële verdamping best 473 mm kan zijn en de actuele verdamping 420 mm. Hier kan geen eenduidigheid over worden verkregen zonder aanvullende veldexperimenten.

### 3.4 STUREN OP VERDAMPINGSTEKORTEN

Omdat gebleken is dat waterbalansen niet uniek zijn, en er dus geen eenduidig beheeradvies aan kan worden ontleend, zijn tevens de mogelijkheden bestudeerd om louter op basis van verdampingsgegevens de hydrologische condities af te leiden en eventueel meer of minder water aan te voeren. Immers, bij een dalende grondwaterstand en een afname van bodemvocht in de wortelzone, zal het verschil tussen actuele en potentiële verdamping groter worden. Bij een te nat beheer krijgt een gedeelte van het wortelstelsel aëratieproblemen wat zich ook uit in een toename van het verschil in  $ET_{act}$  en  $ET_{pot}$ . Dit verschil, wat hier met verdampingstekort wordt weergegeven, kan met remote sensing schattingen van  $ET_{pot} - ET_{act}$  worden gedetecteerd, zonder daarvoor enige voorinformatie over het bodemtype, het bodemvocht of de grondwaterstand te kennen.

De berekeningsprocedure voor potentiële verdamping gebaseerd op gestandaardiseerde gewasfactoren voor pixels met een heterogeen landgebruik is vanuit de optiek van f-waarden (die alleen voor homogene gewassen geldig zijn), niet wenselijk. Er is daarom gekozen de potentiële verdamping op basis van de 'one-step' Penman-Monteith vergelijking uit te voeren (PENMAN, 1948; MONTEITH, 1965; ALLEN ET AL., 1998). Dit betekent dat er geen referentiegewas wordt gedefinieerd, maar rechtstreeks vegetatie-eigenschappen van een pixel worden toegekend aan de energiebalans-combinatie vergelijking van Penman-Monteith. Deze bio-fysische parameters zijn albedo, minimale gewasweerstand en de ruwheidslengte voor impuls en warmte transport. Hiermee zijn gewasfactoren geëlimineerd. De minimale gewasweerstand is in deze studie op 40 s/m gesteld.

In deze sectie wordt het verdampingsgedrag vergeleken met het inlaatbeleid. Omdat de inlaat hoeveelheden op maandbasis bekend zijn, is de verdamping in Fig. 3.7 op maandelijkse intervallen gebaseerd. De ingelaten hoeveelheid water verhoogt via het proces van capillaire opstijging de verdamping. De maandelijkse hoeveelheid ingelaten water is ongeveer de capillaire opstijging ten gevolge van infiltratie vermeerderd met de open water verdamping uit de sloten (0.3 tot 1.0 mm/dag). Omdat over langere periodes wordt gekeken, zijn vertraging en naijl effecten minimaal.

Het verschil tussen  $ET_{act}$  en  $ET_{pot}$  is het grootst voor de warme zomer van 1995 en het kleinst voor de natte zomer van 1998. De wateraanvoer begint in het algemeen pas vormen aan te nemen gedurende juli en augustus. Dit is feitelijk te laat, omdat de meeste akkerbouwgewassen in juni al een volledige bodembedekking behalen en vanaf dan de zonnestraling maximaal kunnen onderscheppen. Het omzetten van zonnestraling naar droge stof productie via de light use efficiency wordt vooral door bodemvocht gereguleerd. Gedurende augustus 1995 blijft  $ET_{act}$  aanzienlijk achter bij  $ET_{pot}$ . Er was toen niet genoeg water in het Mark-Vliet boezem aanwezig om nog water in de polders te kunnen inlaten. De remedie was oppervlakte water uit het Volkerak te halen.

Over de nauwkeurigheid van de potentiële verdamping bestaan twijfels omdat een mini-

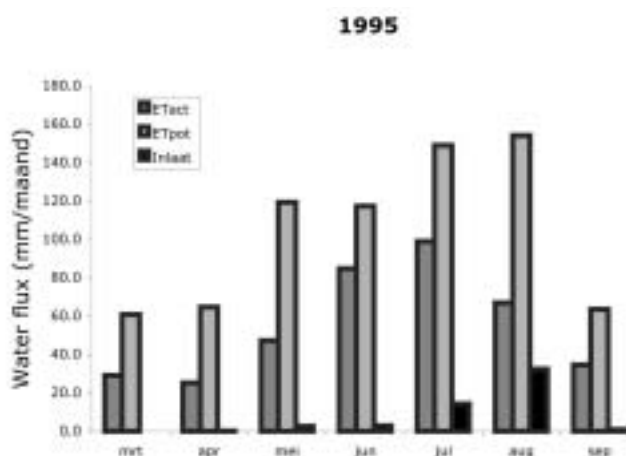
male gewasweerstand van 40 s/m vaak niet gehaald wordt, en de werkelijke weerstand ten alle tijden hoger ligt. Dat kan vooral worden toegeschreven aan het verhoogde dampspanningstekort en de verhoogde temperatuur in de zomer, hetgeen door JARVIS (1976) en STEWART (1988) al lang geleden fysisch is aangetoond. Zij hebben beiden correctiefactoren op de gewasweerstand beschreven. Als deze correctiefactoren waren meegenomen in de totstandkoming van Tabel 3.7 en Figuur 3.6, was de relatieve verdamping hoger geweest en het verdampingstekort lager. In toekomstige studies dient hiermee rekening te worden gehouden.

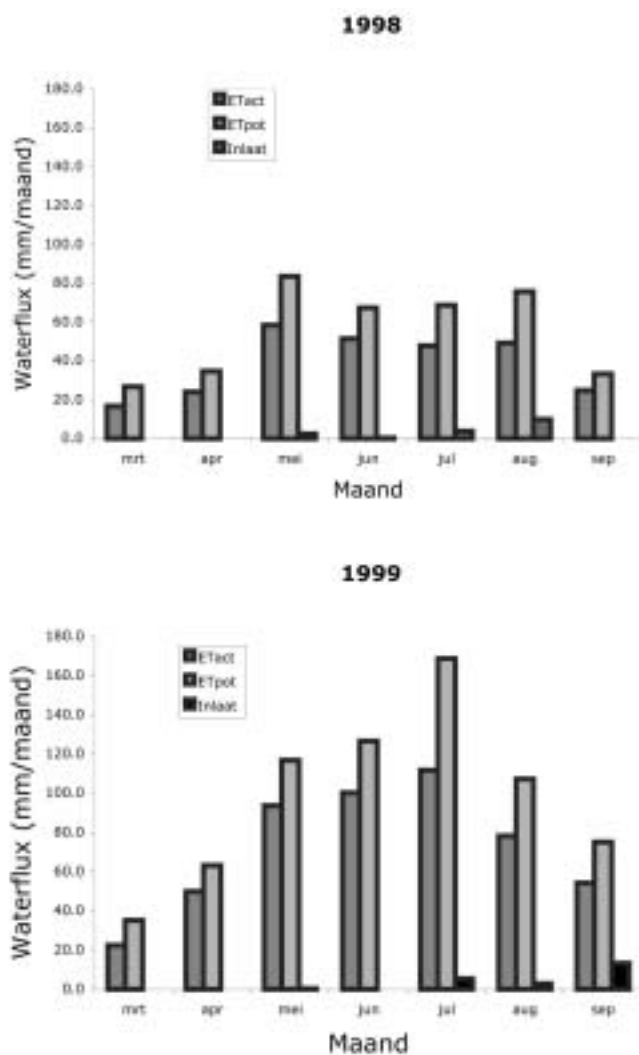
TABEL 3.7 RELATIEVE VERDAMPING (-) IN DE WEST-BRABANTSE POLDERS 4, 5 EN 6. DE INLAAT HOEVEELHEDEN ZIJN TUSSEN HAAKJES WEERGEGEVEN (MM/MAAND)

Maand	1995	1998	1999
April	0.39 (0.2)	0.69 (0.0)	0.79 (0.0)
Mei	0.40 (2.6)	0.70 (2.5)	0.80 (0.3)
Juni	0.72 (2.9)	0.76 (0.3)	0.79 (0.0)
Juli	0.66 (14.3)	0.70 (3.9)	0.66 (5.4)
Augustus	0.43 (32.4)	0.65 (9.9)	0.73 (2.9)
September	0.54 (0.8)	0.74 (0.0)	0.72 (13.2)

In 1998 was de situatie geheel anders. De zomer kenmerkte zich door weinig uren zonneschijn, en de netto straling en verdamping was diensgevolge laag. De verhouding tussen actuele en potentiële verdamping was veel hoger dan in 1995. In augustus gaat de potentiële verdamping ten gevolge van onbewolkt weer plotseling omhoog, maar de wateraanvoer komt tijdig op gang om de reductie in gewasverdamping te managen. Tabel 3.7 geeft aan dat een relatieve verdamping van 70 tot 75 % normaal is voor de West-Brabantse kleigebieden. Dergelijke bevindingen waren ook al geconstateerd voor het verband tussen  $ET_{act}$  en  $ET_{pot}$  op basis van de Makkink berekeningen. Dit komt naast bodemsoort, o.a. door de aanwezigheid van kale grond.

Het zomerseizoen van 1999 was meer wisselvallig. De maand juli kenmerkte zich door droog weer en er is sprake van een aanzienlijk verdampingstekort  $ET_{pot} - ET_{act}$ . Het boezemwater moest toen ook voor doorspoeling van blauwalgen in het Volkerak worden aangewend, en het water kon niet aan de landbouw worden toegekend. Dit tekort wordt in augustus weggenomen, en consumptieaardappelen en bieten kunnen zich dan nog herstellen. In september is meer water ingelaten dan in juli.

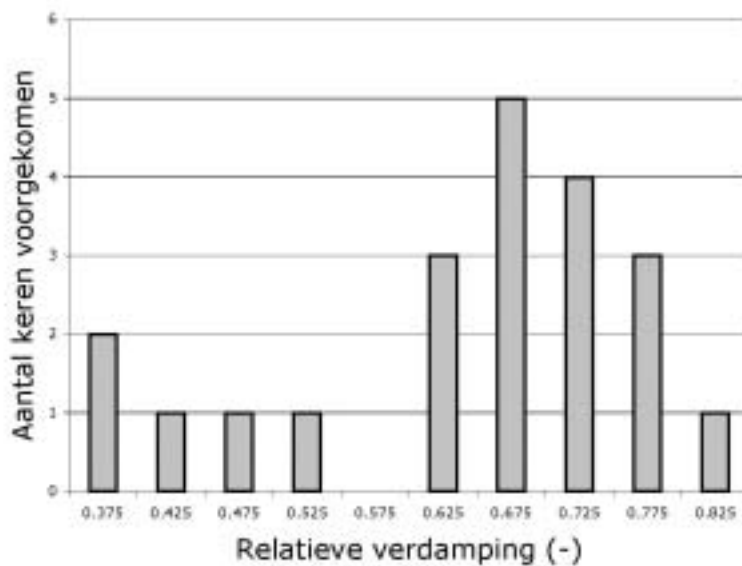




FIGUUR 3.6 HET VERDAMPINGSGEDRAG GEDURENDE DE ZOMERMAANDEN VOOR POLDERS 4, 5 EN 6 IN RELATIE TOT WATERAANVOER

Figuur 3.6 geeft weer dat er in het algemeen kan worden geconcludeerd dat met het inlaten van water vanuit de boezem laat wordt aangevangen. De frequentieverdeling van de relatieve verdamping in de zomermaanden (april t/m september) van 1995, 1998 en 1999 geeft weer dat er een aanzienlijke spreiding is. Een relatieve verdamping van 0.5 en minder komt voor als de bodem in het voorjaar nog niet volledig bedekt is. Dit gebeurt wederom in de nazomer als granen en poot aardappelen geoogst zijn. Dit kan nauwelijks door het waterbeheer worden beïnvloed. Maar een relatieve verdamping van 0.70 in juni t/m augustus is voor de landbouwkundige productie niet optimaal. De onderzochte gebieden hebben wel een infiltratiestelsel, maar de resultaten geven weer dat droogteschade niet kan worden voorkomen.

Er is thans geen enkele manier voorhanden om de relatieve verdamping te monitoren. Het gebruik van remote sensing data kan dit verbeteren, en vooral aangeven wanneer met water inlaten moet worden begonnen. Door op weekbasis met verdamping te gaan monitoren, kan worden besloten eerder met water inlaten in het seizoen aan te vangen. Ook kan dan beter met boeren worden overlegd of ze uit het oppervlaktewater willen beregenen, en wat hun motieven zijn om het niet te doen.

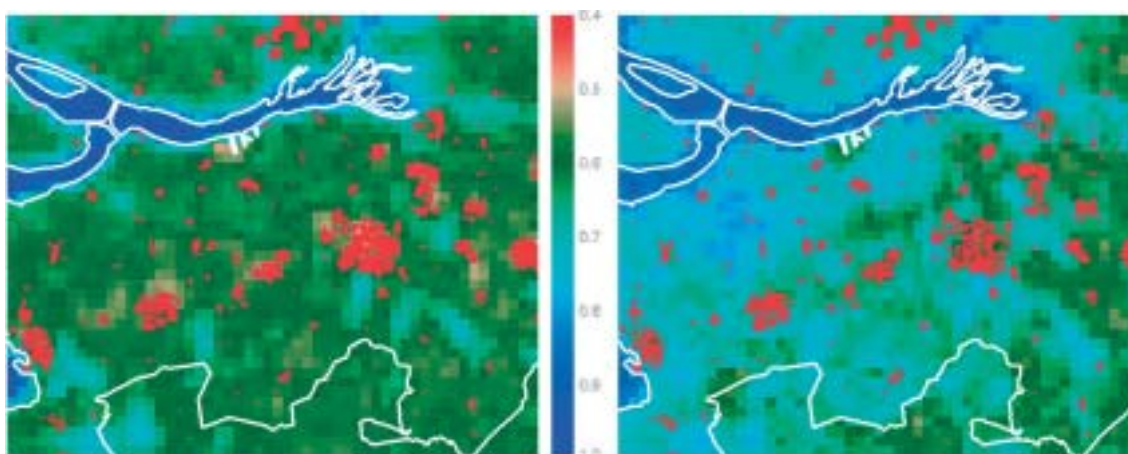


FIGUUR 3.7 FREQUENTIEVERDELING VAN DE RELATIEVE VERDAMPING ( $ET_{ACT}/ET_{POT}$ ) VOOR DE ZOMERMAANDEN VAN 1995, 1998 EN 1999. HET TOTALE GEBIED VAN POLDERS 4, 5 EN 6 IS IN BESCHOUWING GENOMEN. EFFECTEN VAN NIET BODEMBE-DEKKENDE EN GEOOGSTE GEWASSEN ZITTEN IN DE GRAFIEK VERWERKT

Omdat remote sensing beelden uit raster data bestaan, kan naast vlakdekkende informatie ook de ruimtelijke variabiliteit in beeld worden gebracht. Gedurende de zomer van 1995 is het gehele beheersgebied van het Hoogheemraadschap van West-Brabant vrij uniform droog (groene kleur in Fig. 3.8). De bosopstanden hebben een opvallend hogere relatieve verdamping dan de landbouwgebieden hetgeen erop duidt dat ze het water van grotere diepte onttrekken omdat mag worden aangenomen dat de toplaag uitgedroogd is. Opvallend is dat de Oude Prinslandse Polder tussen Fijnaart en Dinteloord zelfs in 1995 vochtig blijft. Ook het gebied rond de Schelde-Rijnverbinding blijft opvallend nat wat op mogelijke kwel vanuit het kanaal kan duiden. Nagegaan dient te worden of dit ook met ander landgebruik te maken kan hebben.

Gedurende de natte zomer van 1998 heeft het grootste gedeelte van het noordwestelijke kleigebied een relatieve verdamping tussen de 80 en 100 %. De Vugtpolder is relatief droog in vergelijking tot de andere poldergebieden. De hoger gelegen zandgronden met een diepe grondwaterstand hebben in het algemeen een grotere reductie in verdamping dan de laag gelegen kleipolders met een schakering van ondiepe grondwaterstanden. De regionale patronen in verdamping komen met de verwachte regionale kwel- en wegzijgingspatronen overeen. De bossen hebben – net zoals in 1995 – een relatieve verdamping van 90 tot 100%. De verdampingskleuren van bossen tussen 1995 en 1998 zijn nagenoeg gelijk; zij schijnen niet erg gevoelig voor invloeden van het weer te zijn.





FIGUUR 3.8 RUIMTELIJKE PATRONEN VAN RELatieve VERDAMPING ALS GEMIDDELDE VOOR DE MAANDEN JUNI, JULI EN AUGUSTUS. EEN DROOG (1995) EN NAT JAAR (1998) IS IN BESCHOUWING). DE POLYGONEN GEVEN STEDELIJK GEBIED WEER

De ruimtelijke resolutie van de 1 km NOAA pixels in Fig. 3.8 is vooral bedoeld om regionale verschillen in kaart te brengen. Het verschil tussen polders kan hiermee worden gekwantificeerd. Voor het bestuderen van de relatie tussen landgebruik en droogteverschijnselen moeten meer gedetailleerde Landsat beelden worden gebruikt. Voor meer informatie hierover wordt naar de deelrapporten van Wetterskip Boarn en Klif en Waterschap Rijn en IJssel verwezen.

### 3.5 CONCLUSIES

De waterbalans van het Mark-Vliet systeem met de vele omliggende polders is onvoldoende gekwantificeerd. Volgens de huidige methode bij HvW wordt de verdamping samen met de bergingsverandering en verticale flux als sluitpost genomen. Dit betekent dat de balans altijd gesloten is, maar niet bekend is hoeveel water er verdampt, dus ook niet of er waterstress van de gewassen optreedt. De nauwkeurigheid van de balans is niet vast te stellen, dus ook de oppervlaktewater uitwisseling tussen de polders en de boezem is niet zeker.

De in deze studie toegepaste remote sensing schattingen van verdamping dragen bij tot het verkleinen van de onzekerheid in de waterbalans, maar dit leidt niet tot een unieke waterbalans. Er blijven teveel onzekere marges tussen bergingsveranderingen ten gevolge van grondwaterstandfluctuaties, verticale flux en in- en uitlaten van oppervlaktewater aanwezig. Gezien de heterogene aard van de bodemeigenschappen en terreinhoogte, is de extrapolatie van hydrologische puntmetingen niet vanzelfsprekend. Zelfs voor een kleine polder zoals de Vugtpolder, kan er geen eenduidige waterbalans worden verkregen. Dit betekent voor de praktijk dat een wekelijkse en maandelijkse waterbalans niet kan worden opgesteld. De verticale flux is samen met de bergingsverandering de moeilijkst te bepalen term van de waterbalans. Toekomstige remote sensing en GIS studies zouden zich meer op bergingsveranderingen moeten oriënteren en bezien of verticale flux dan geëlimineerd kan worden.

Een van de huidige bottlenecks is dat de bodemvocht schattingen op basis van remote sensing beelden een bias hebben en niet genoeg continuïteit leveren. Dit laatste probleem kan

gedeeltelijk worden opgelost door een simpel waterbudget bij te houden waarbij regenval en verdamping als invoer gegevens worden gebruikt. Voor een kwantitatief goede beschrijving van het hydrologische systeem en de waterbalans dienen remote sensing metingen met model simulaties te worden geïntegreerd (B.V. DROOGERS EN BASTIAANSEN, 2002; JHORAR ET AL., 2002).

De actuele verdamping van de Westbrabantse akkerbouw en grasland bedraagt ongeveer 70 tot 75 % van de potentiële verdamping. Dit betekent dat het gebied in de zomer gevoelig voor droogte is. Er kan sprake zijn van een overschatting van de potentiële verdamping doordat het feedback mechanisme van atmosferische dampspanning op de opening van huidmondjes niet goed is meegenomen. Hiervoor zijn in de literatuur echter correctiefactoren beschikbaar.

Remote sensing kan voor de korte termijn bijdragen aan het operationele waterbeheer in de vorm van actuele en potentiële verdamping. Uit hun verschil en hun ratio kan belangrijke hydrologische informatie worden afgeleid, zonder daarbij de waterbalans expliciet te hoeven oplossen. De ruimtelijke resolutie van NOAA is voldoende om individuele polder gebieden te monitoren. Voor het bestuderen van de relatie tussen landgebruik en droogteschade zijn Landsat beelden met 30 m resolutie noodzakelijk.

## 4

## TOEPASSINGEN VAN REMOTE SENSING IN HET WATERBEHEER

Met betrekking tot wateraanvoer is het probleem voor de waterbeheerder om vast te stellen of de gewasproductie (gemeten over relatief korte tijdsintervallen, zodat er snel en adequaat ingegrepen kan worden) achterblijft bij de mogelijkheden. In principe is het mogelijk om met behulp van remote sensing hierin inzicht te verkrijgen.

Als de gewasproductie niet achterblijft, blijft er een probleem voor de waterbeheerder, namelijk de vraag of het water wel efficiënt gebruikt wordt. Met andere woorden: kan de optimale gewasproductie ook niet met minder water worden bereikt? Dat vergt kennis van de waterbalans van de inlaatgebieden over korte tijdsintervallen; ook daarbij kan remote sensing hulp bieden. Echter, zoals uit de resultaten van deze studie blijkt, is dit nog een aantal bruggen te ver. De redenen hiervoor zijn dat de termen in de waterbalans van de inlaatgebieden die te maken hebben met kwel en met de verandering in berging onvoldoende nauwkeurig geschat kunnen worden. Dit heeft zowel te maken met onvoldoende inzicht in de grondwaterstanden en grondwaterstromingen (op grond van traditionele metingen), als met beperkingen van de remote sensing technieken om de capillaire vochtvoorraad te schatten.

Als de gewasproductie wél achterblijft, is er een ander probleem voor de waterbeheerder, namelijk de vraag of hij het probleem kan verhelpen. Zoals eerder bij de bespreking van Tabel 1.1 is aangegeven, is dat vaak niet het geval omdat er thans sprake is van grote watertekorten in maanden dat er veel water ingelaten wordt, zij het dat in het geval van de Mark en de Vliet dit tekort gemaskeerd wordt, doordat uit het Volkerak-Zoommeer onbeperkt water aangevoerd kan worden. Maar ook zonder een watertekort, is het nog maar de vraag of de waterbeheerder effectief kan optreden. Als het aanvoerwater zijn weg naar de plant moet vinden via capillaire opstijging, zijn relatief kleine hoeveelheden aanvoerwater voldoende, orde van grootte van enkele mm's per dag, omdat dit proces gewoon niet sneller gaat. Als beregening toegestaan is, is vaak het beschikbare verhang en de aanvoercapaciteit van het slotenstelsel de bottleneck: één fikse beregeningsinstallatie soupeert het beschikbare aanvoerwater op. Het is niet voor niets dat het aantal inlaatpunten vanuit de Mark en de Vliet zo groot is (in totaal circa 100).

De conclusie moet zijn dat remote sensing technieken de waterbeheerder verder kunnen helpen bij het nagaan of de waterhuishoudkundige voorwaarden voor de landbouw gebruiksfunctie voldoende gewaarborgd zijn. De stappen verder, naar efficiënt watergebruik en naar het verhelpen van eventuele tekorten, vereisen nog verdere studie en verdere ontwikkelingen, onder andere op het gebied van remote sensing, maar ook op andere gebieden.

De beoordeling van het gebruik van remote sensing waarden van verdamping en bodemvocht voor de balans van de Mark-Vliet boezem kan worden samengevat in de volgende conclusies, geldend voor het groeiseizoen:

- De berekende inlaat voor het gehele groeiseizoen 1995 en 1999 (tabel 3.1 en 3.2) is in overstemming te brengen met de hoeveelheden voor die jaren bij het Hoogheemraadschap bekend zijn, als de foutenmarges worden meegenomen.
- Bestudering van de temporele variaties van de waterstanden leert dat bergingsveranderingen in de bodem ongeloofwaardig zijn. Een nauwkeurigere bepaling van  $\Delta B_{\text{Bodem}}$  is gewenst
- $\Delta B_{\text{Bodem}}$ : de waarde voor  $\Delta B_{\text{Bodem}}$  is aan te veel andere onzekerheden onderhevig (aannames omtrent porositeit, grondwaterstanden, verloop vochtprofiel in de onverzadigde zone) om de sterk fluctuerende waarden aan de remote sensing bepaling van het bodemvocht alleen toe te schrijven. Het is aan te bevelen een nieuwe parameterisatie van grondwaterstand, bodemvocht in de wortelzone en het totale vochtgehalte in de onverzadigde zone te ontwikkelen.
- In de berekening van potentiële verdamping dient een correctie term voor het effect van dampspanningstekort en temperatuur te worden opgenomen. Dan kan voor elk pixel met een heterogeen landgebruik de potentiële verdamping worden uitgerekend zonder het gebruik van gewasfactoren voor homogene gewassen.

## KADER 2

## CONCLUSIES

**ACTUELE VERDAMPING**

Het kwantificeren van de actuele- en potentiële verdamping vanuit polders gelegen in het boezemsysteem van het Mark-Vliet kan met behulp van remote sensing gegevens op een operationele manier worden ingezet. Tijdens de uitvoering van het project is gekozen voor de weekbasis, maar dit kan technisch gezien ook op dagbasis. Er blijkt een aanzienlijk hoog verdampingstekort te zijn, vooral tijdens droge en hete zomers. Dit is wezenlijke informatie voor waterbalans studies. Een correctie op de minimale verdampingsweerstand tijdens hete dagen met een lage luchtvochtigheid is noodzakelijk. Remote sensing metingen van het verdampingstekort zijn een efficiëntere methode om de noodzaak tot het aanvoeren van gebiedsvreemd water tijdig vast te stellen.

**BODEMVOCHT**

Het gebruik van bodemvochtschattingen uit satellietbeelden voldoet niet aan de vereiste tijd- en ruimtecomponenten. Slechts bij onbewolkt weer kan een beeld worden verkregen. Bovendien kan de bodemvochtinhoud tussen de wortelzone en het freatische niveau niet worden vastgesteld. Het beveelt de aandacht gedetailleerde informatie over het grondwaterstandsverloop in de berekening van bodemvocht in de onverzadigde zone op te nemen. Dit vereist de installatie van meer peilbuizen.

**WATERBALANS**

Een volledige waterbalans – dus inclusief kwel en wegzijging - kan niet met voldoende zekerheid op basis van alle huidige gegevens worden vastgesteld. De waterbalans in de polders is met gebruikmaking van alle beschikbare technieken niet uniek te verkrijgen. Voor het vaststellen van de waterbalans op weekbasis moet naast de verticale flux, de berging in de onverzadigde zone met meer zekerheid kunnen worden vastgesteld.

# 5

## AANBEVELINGEN

### WATERBALANS

Voor het opstellen van de waterbalans van poldergebieden dienen alle termen ervan bekend te zijn. Uit dit onderzoek is gebleken dat vooral de termen in de waterbalans die met het bodemvocht en met kwel/inzijging te maken hebben, slechts met grote onnauwkeurigheid bepaald kunnen worden. Remote sensing technieken lijken wat dit betreft geen hulp te kunnen bieden. Meer onderzoek is nodig om na te gaan of deze termen op praktische wijze, waarbij de kosten ook in verhouding zijn met de baten, bepaald kunnen worden.

### ACTUELE VERDAMPING

Het is aanbevelingswaardig te bestuderen in hoeverre en op welke wijze de in dit onderzoek geïllustreerde methode om met behulp van remote sensing technieken 'on-line' verdampingstekorten vast te stellen, in het operationele waterbeheer geïntegreerd kan worden.

### VERVOLG ONDERZOEK

Nader onderzoek is nodig naar de praktische conclusies die uit verdampingstekorten dienen te worden getrokken:

- Is er vanuit de optiek van het boerenbedrijf behoefte aan meer water (maar dan via beregening, omdat de geconstateerde watertekorten optreden terwijl via de drainbuizen water onder in het profiel wordt aangevoerd)?
- Wordt er niet beregend omdat dit vanuit een bedrijfseconomisch oogpunt niet loont?
- Is er daarbij sprake van een (potentieel?) watertekort?
- Hoe verhouden de verdampingstekorten zich ten opzichte van bodemtype en grondwaterstand?
- Is er genoeg aanvoercapaciteit om het verdampingstekort te ondervangen?
- Hoe zal deze situatie zich ontwikkelen in de toekomst (klimaatverandering, wellicht andere wijzen van landbouwproductie)?

# LITERATUUR

ALLEN, R.G., W.O. PRUITT, J.A. BUSINGER, L.J. FRITSCHEN, M.E. JENSEN AND F.H. QUINN, 1996. **Chapter 4, Evaporation and transpiration, in ASCE Handbook of hydrology**, New York: 125-252

ALLEN, R.G., L.S. PEREIRA, D. RAES AND M. SMITH, 1998. **Crop evapotranspiration, guidelines for computing crop water requirements**, FAO Irrigation and Drainage paper no. 56, FAO, Rome, Italy: 300 pp.

BASTIAANSEN, W.G.M., 1995. **Regionalization of flux densities and moisture indicators in heterogeneous terrain**, Ph.D. Thesis, Department of Water Resources, Wageningen Agricultural University

BASTIAANSEN, W.G.M., M. MENENTI, R.A. FEDDES AND A.A.M. HOLTSLAG, 1998. **A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL)**, part 1: formulation, J. of Hydr. 212-213 (special issue): 198-212

BASTIAANSEN, W.G.M. 2000. **SEBAL-based sensible and latent heat fluxes in the irrigated Gediz Basin**, Turkey, J. of Hydr. 229: 87-100

BASTIAANSEN, W.G.M. AND R.G. ALLEN, 2002. **Adjustments of SEBAL for routine applications**, J. of Irrigation and Drainage Engineering, American Society of Civil Engineering (ASCE)

BRUIN, DE, H.A.R., 1987. **From Penman to Makkink, in (ed) Hooghart, Evaporation and weather**, Technical Meeting 44, Ede, 25 maart 1987, Proceedings and Information no. 39, TNO Committee on Hydrological Research, Den Haag: 5-31

DOORENBOS, J. AND W.O. PRUITT, 1977. **Guidelines for predicting crop water requirements**, FAO Irrigation and Drainage Paper 24, FAO, Rome, Italy: 144 pp.

DROOGERS, P. AND W.G.M. BASTIAANSEN, 2002. **Evaporation in irrigation performance and water accounting frameworks: an assessment from combined hydrological and remote sensing modelling**, Int. J. of Irrigation and Drainage Engineering, American Society of Civil Engineering (ASCE), February issue

FEDDES, R.A., 1987. **Crop factors in relation to Makkink reference-crop evapotranspiration, in (ed) Hooghart, Evaporation and weather**, Technical Meeting 44, Ede, 25 maart 1987, Proceedings and Information no. 39, TNO Committee on Hydrological Research, Den Haag: 33-45

HENDRIKS, R.F.A., 1990. **Effecten van aanvoer van gebiedsvreemd water op de waterkwaliteit in een kwelgebied**. Staring Centrum Rapport No. 100, Wageningen.

JARVIS, P.G., 1976. **The interpretation of the variations in leaf water potential and stomatal conductance found in canopies in the field**, Phil. Trans. R. Soc. London, B 273: 593-610

KNMI, 2001. **Weer en water in de 21e eeuw**, een samenvatting van het derde IPCC klimaatrapport voor het Nederlandse waterbeheer: 8 pp.

JHORAR, R.K., W.G.M. BASTIAANSEN, J.C. VAN DAM AND R.A. FEDDES, 2002. **Inverse modeling of evapotranspiration fluxes for homogeneous soils**, J. of Hydr.

MAKKINK, G.F., 1957. **Testing the Penman formula by means of lysimeters**, J. Int. of Water Eng. 11: 277-288

MONTEITH, J.L., 1965. **Evaporation and environment**, Proc. Symp. Soc. Exp. Biol. 19: 205-234

PENMAN, H.L., 1948. **Natural evapotranspiration from open water, bare soil and grass**, Proc. Roy. Soc. A. 193: 120-145

STEWART, J.B., 1988. **Modeling surface conductance of pine forest**, Agr. and Forest Met. 43: 339-353

TAUW, 2000.

TNO, 1992. **Hydrologische systeemkartering West-Brabant**. TNO Delft.

TNO, 2001. **Watersystemen in beeld**. TNO rapport NITG 00-10-A, Delft.

WITTER, V.J., 1984. **Heterogeneity of Dutch rainfall**. Thesis Wageningen Agricultural University.

WITTER, V.J. EN T. RAATS, 2001. **Hydrological criteria for durable water systems. Regional management of Water Resources** (Proceedings of a symposium held during the Sixth IAHS Scientific Assembly of Maastricht, the Netherlands, July 2001). IAHS Publication no. 268: 231-237

BIJLAGE 1

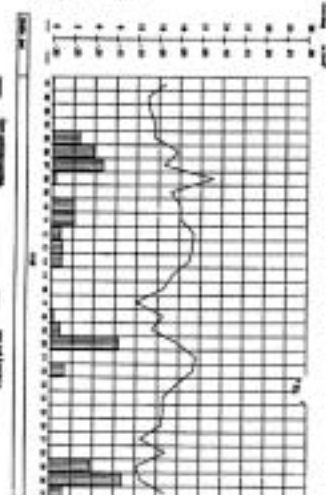
VOORBEELD WATERBALANS MARK VLIET BOEZEM

Hydrologisch maandoorzicht,  
 oktober 1999  
 West-Brabantse waterschappen



Met 79,5 m³ per ha, 2000 en val overdag bij 1,5 m normale stand. De gemiddelde grondwaterstand was 51,7 cm tegen 52,1 cm normaal. De maximale daling was 4,4 cm in november en 3,0 cm in februari 2000. De verandering was hoger dan normaal (0,15 cm tegen 0,13 cm normaal). De maximale bijdragen van vliet lagen aan de gronden afvoer van de rivier 1999-2000 - 1998. Dit is te zien op de kaart.

Ma: 139210 m³ 1999  
 Ma: 57902310 m³ 2000  
 Ma: 5241513 m³ 2001  
 De polder van de Mark-Vlietwaterschap (polder 1) is 4000



afvoer in 1000 m³ per ha - 18,200 m³

	Ma	Me	Ju	Ok
1. Bovenland	418	417	418	418
2. Bovenland	418	417	418	418
3. Landbouw	402	198	198	418
4. Bovenland	418	418	418	418
5. Bovenland	418	418	418	418

	Ma	Me	Ju	Ok
<b>afvoer in 1000 m³</b>	418	417	418	418
1. Bovenland	418	417	418	418
2. Bovenland	418	417	418	418
3. Landbouw	402	198	198	418
4. Bovenland	418	418	418	418
5. Bovenland	418	418	418	418

	Ma	Me	Ju	Ok
<b>afvoer in 1000 m³</b>	418	417	418	418
1. Bovenland	418	417	418	418
2. Bovenland	418	417	418	418
3. Landbouw	402	198	198	418
4. Bovenland	418	418	418	418
5. Bovenland	418	418	418	418

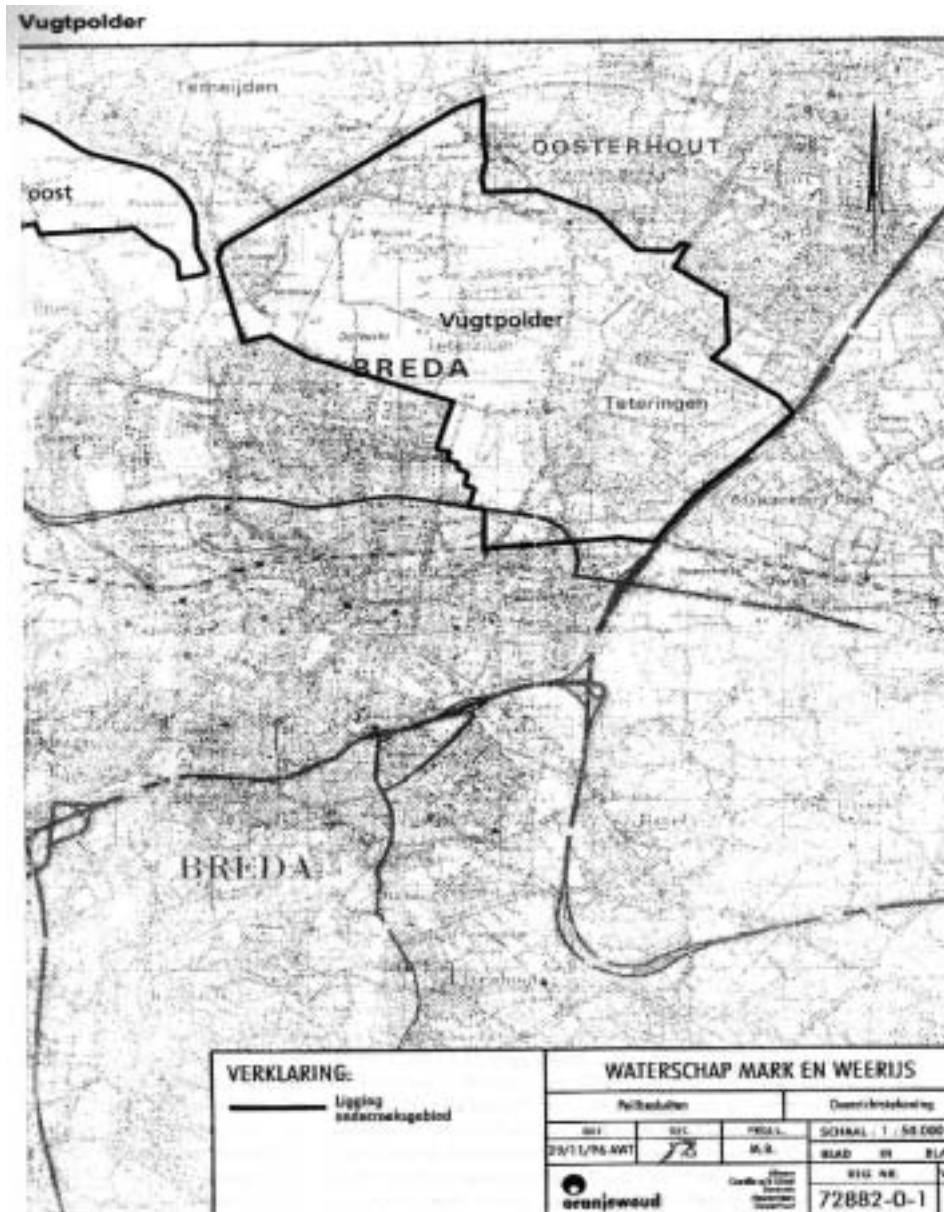
DV 540





BIJLAGE 2

# DETAIL LOCATIE VUGTPOLDER





## BIJLAGE 3

## WEKELIJKSE WATERBALANS VAN POLDERS 4, 5 EN 6 VAN

## HOOGHEEMRAADSCHAP VAN WEST-BRABANT GEDURENDE 1995

Week	HWB	R.S.	Restterm	HWB	R.S.	TNO	TNO
	(in mm) Inlaat	(in mm) Neerslag	(in mm) Vert.flux	(in mm) Uitgeslag	(in mm) Verdamp	Berging	Gwst
1	0.0	11.9	2.5	11.7	2.7	0.0	-0.6053
2	0.0	20.2	-6.6	10.8	2.9	-0.1	-0.6063
3	0.0	22.9	-2.0	13.2	9.2	-1.5	-0.6244
4	0.0	60.7	0.4	52.7	8.3	0.0	-0.6239
5	0.0	16.5	16.6	30.5	5.7	-3.0	-0.6599
6	0.0	19.8	-0.6	17.1	6.5	-4.4	-0.7123
7	0.0	24.0	-1.0	15.9	10.9	-3.8	-0.7576
8	0.0	21.1	-1.3	18.4	3.4	-2.0	-0.7813
9	0.0	15.1	-4.4	8.6	4.3	-2.2	-0.8070
10	0.0	9.0	0.7	6.6	5.9	-2.9	-0.8411
11	0.0	14.2	-3.2	6.4	5.7	-1.2	-0.8551
12	0.0	7.9	-1.1	5.8	11.1	-10.1	-0.9754
13	0.0	22.7	-0.3	12.0	9.2	1.1	-0.9620
14	0.0	0.0	3.7	2.9	6.2	-5.4	-1.0268
15	0.0	4.9	-1.6	3.8	5.7	-6.1	-1.0998
16	0.0	16.7	-10.4	3.7	5.1	-2.5	-1.1298
17	0.0	4.3	4.3	2.6	8.4	-2.2	-1.1558
18	0.6	0.1	13.8	1.1	18.7	-5.3	-1.2184
19	0.6	1.3	7.1	2.0	9.0	-2.1	-1.2437
20	0.6	18.8	-11.0	2.1	8.2	-1.8	-1.2657
21	0.6	17.7	-7.3	1.4	11.8	-2.2	-1.2924
22	0.6	10.6	-0.1	1.2	11.7	-1.9	-1.3149
23	0.6	28.7	-5.3	3.9	19.7	0.5	-1.3088
24	0.6	28.7	-4.5	4.7	19.7	0.4	-1.3036
25	0.6	0.0	21.0	1.5	23.8	-3.6	-1.3469
26	1.2	0.0	31.3	0.7	36.8	-4.9	-1.4054
27	2.8	10.4	9.1	1.3	24.8	-3.8	-1.4506
28	2.8	17.2	7.6	1.9	29.0	-3.3	-1.4898
29	2.8	5.6	13.6	1.5	23.0	-2.5	-1.5193
30	2.8	13.8	3.9	2.7	19.0	-1.2	-1.5334
31	5.7	0.2	23.3	2.6	30.3	-3.8	-1.5782
32	6.2	0.3	8.0	1.0	18.6	-5.0	-1.6372
33	6.2	0.1	5.7	0.9	13.8	-2.7	-1.6693
34	6.2	7.0	0.8	1.9	11.4	0.6	-1.6620
35	3.6	26.1	-18.9	0.9	8.5	1.5	-1.6437
36	0.2	29.8	-20.9	1.6	6.8	0.7	-1.6353

Week	HWB	R.S.	Restterm	HWB	R.S.	TNO	TNO
	(in mm)	(in mm)	(in mm)	(in mm)	(in mm)		
	Inlaat	Neerslag	Vert.flux	Uitgeslag	Verdamp	$\Delta$ Berging	Gwst
37	0.2	5.6	2.3	1.8	6.0	0.2	-1.6324
38	0.2	9.3	5.1	1.0	12.0	1.6	-1.6133
39	0.2	52.6	-31.1	6.3	11.7	3.6	-1.5700
40	0.0	12.1	2.5	4.1	8.3	2.2	-1.5437
41	0.0	1.0	6.4	2.2	4.5	0.7	-1.5349
42	0.0	2.6	4.3	1.8	5.7	-0.6	-1.5423
43	0.0	3.8	3.4	1.7	7.2	-1.6	-1.5612
44	0.0	10.5	-5.8	1.7	4.0	-1.1	-1.5746
45	0.0	1.7	3.2	1.5	4.1	-0.7	-1.5824
46	0.0	34.0	-21.7	4.1	7.7	0.5	-1.5769
47	0.0	5.2	11.6	5.9	4.7	6.1	-1.5040
48	0.0	0.2	10.1	3.4	1.0	5.8	-1.4346
49	0.0	0.0	3.9	1.7	2.7	-0.6	-1.4416
50	0.0	0.3	3.0	2.3	2.3	-1.3	-1.4576
51	0.0	45.5	-19.8	17.4	0.0	8.3	-1.3590
52	0.0	5.2	17.2	7.8	0.0	14.6	-1.1851
	<b>46.0</b>	<b>697.8</b>	<b>67.8</b>	<b>322.5</b>	<b>537.7</b>	<b>-48.7</b>	

# DROOGLEGGING EN GRASGROEI VAN EEN KLEI-OP-VEEN GEBIED

## PILOT STUDIE 2

## INHOUD

	SAMENVATTING	43
1	ALGEMEEN	45
1.1	Probleembeschrijving	45
1.2	Polder Wollegaast	45
1.3	Doelstellingen	47
1.4	Beoogde resultaten	48
2	MATERIAAL EN METHODEN	49
2.1	Algemene hydrologische data	49

2.2	Digitale informatie	49
2.3	Methoden	50
3	RESULTATEN	52
3.1	Landsat satelliet	52
3.2	NOAA satelliet	54
4	TOEPASSINGEN VAN REMOTE SENSING IN HET WATERBEHEER	56
4.1	Mogelijkheden voor voorbereidend waterbeheer	56
4.2	Mogelijkheden voor uitvoerend waterbeheer	58
5	AANBEVELINGEN	59
5.1	Algemene en organisatorische aspecten	59
5.2	Knelpunten	59
	LITERATUURLIJST	61
	BIJLAGEN	
1	RELATIES TUSSEN DROOGLEGGING EN GEÏNTERPRETEERDE SATELLIETMETINGEN VOOR 30 JULI 1999	63
2	RELATIES TUSSEN DROOGLEGGING EN GEÏNTERPRETEERDE SATELLIETMETINGEN VOOR 18 OKTOBER 1999	65
3	RELATIES TUSSEN GEDISCRETISEERDE DROOGLEGGING EN GEÏNTERPRETEERDE SATELLIETMETINGEN VOOR 30 JULI 1999	67
4	RELATIES TUSSEN GEDISCRETISEERDE DROOGLEGGING EN GEÏNTERPRETEERDE SATELLIETMETINGEN VOOR 18 OKTOBER 1999	69

# SAMENVATTING

Het Wetterskip Boarn en Klif is een peilbesluit in de polder Wollegaast aan het voorbereiden. Wollegaast is een typisch Fries weidegebied met een klei-op-veen bodemprofiel. De optimale drooglegging hangt van diverse factoren af. Een daarvan is droogte- en natschade van de grasgroei. In het kader van deze STOWA studie is onderzocht in hoeverre remote sensing kan bijdragen in het voorbereiden van een peilbesluit. De doelstellingen van deze remote sensing studie luiden:

- Kwantificeren van de actuele verdamping, bodemvocht en grasgroei voor de polder Wollegaast met behulp van satellietmetingen
- Bepalen van de relatie tussen actuele verdamping, bodemvocht en grasgroei versus de drooglegging voor de huidige situatie
- Uitspraken doen over de gewenste drooglegging vanuit het oogpunt van droogte- en natschade.

De drooglegging is digitaal in een GIS bestand vastgelegd. De actuele verdamping, bodemvocht en grasgroei zijn met behulp van Landsat en NOAA satelliet metingen en remote sensing algoritmes berekend. Alle gegevens zijn digitaal. Er is een vergelijking tussen drooglegging enerzijds en verdamping en grasgroei anderzijds gemaakt waarin tevens de invloed van het bodemtype is betrokken. Uit deze analyse komt geen duidelijke relatie tussen drooglegging en verdamping cq. grasgroei naar voren. Zelfs niet als er naar bodemtype wordt uitgesplitst. Wel blijkt dat de grasgroei in de herfst op de minerale gronden hoger is dan in de klei-op-veen gronden.

Voor individuele dagen waarop Landsat beelden zijn gebruikt blijkt dat de ruimtelijke variatie in grasgroei vooral met bedrijfsvoering te maken heeft; de patronen in grasgroei komen overeen met de grenzen van percelen. De invloed van het waterbeheer in de polder is niet in patronen van grasgroei terug te vinden. Om het effect van locale ingrepen weg te nemen, is met behulp van de NOAA beelden een gesommeerde verdamping en biomassagroei uiterekend voor het gehele groeiseizoen en voor eenheden van 100 ha. Zelfs dan blijkt er geen significant verband tussen verdamping cq. grasgroei en drooglegging aantoonbaar. Wel kan kwantitatief worden vastgesteld dat de verdamping bij een drooglegging van 0.50 m het hoogst is, en dit suggereert dat een ondiepe drooglegging van ongeveer 0.50 m geen negatieve gevolgen voor de grasgroei heeft. Er mag niet worden geconcludeerd dat een ondiepe drooglegging tot een hogere gras productie leidt.

Een mogelijke verklaring voor het niet kunnen vaststellen van een kwantitatief verband, zelfs niet na sommatie van verdamping en grasgroei over een seizoen van 7 maanden, duidt er op dat geheel andere factoren een dominante rol hebben. Mogelijke oorzaken worden gegeven, maar er heeft geen toetsing plaats gevonden. Mocht het zo zijn dat de grondwaterstand de verklarende factor – en er dus geen goed verband tussen drooglegging en grondwaterstand bestaat, dan heeft dit gevolgen voor grondwater - gerelateerd - peilbeheer in het algemeen. Het is aanbevelingswaardig een dergelijke remote sensing studie te herhalen voor



gebieden waar zowel de grondwaterstand en de drooglegging met een grote mate van ruimtelijk detail bekend zijn.

De conclusie is dat met de toepassing van satellietbeelden geen kwantitatieve verbanden tussen drooglegging en verdamping cq. grasgroei in de polder Wollegaast kunnen worden aangetoond. Dat betekent voor het Waterschap dat het wenselijke peil vooral door andere factoren dan de grasland productie kan worden bepaald.

# 1

## ALGEMEEN

### 1.1 PROBLEEMBESCHRIJVING

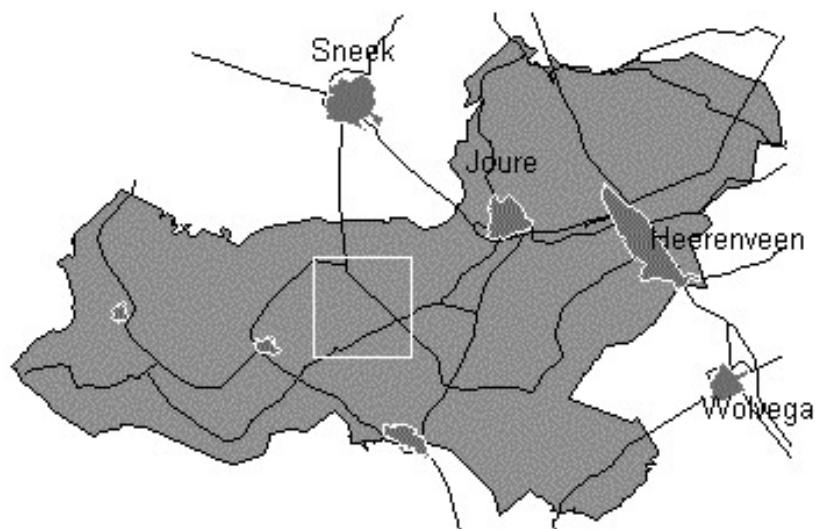
Wetterskip Boarn en Klif is gevestigd in Joure en werkt aan de voorbereiding van het peilbesluit voor de polder Wollegaast gelegen aan het Slotermeer nabij Spannenburg. Deze polder is typerend voor de natte klei-op-veen gebieden van zuidwest Friesland. De polder Wollegaast heeft een sterk variërende ontwateringbasis en het waterschap bereidt hier, in verband met de noodzakelijke vervanging van enkele kleine gemalen, een nieuw peilbesluit voor. Vanuit het oogpunt van arbeidsbesparing, streeft het waterschap ernaar de variatie in de peilklassen te verkleinen en grotere peileenheden te creëren.

De drooglegging (het verschil tussen maaiveld en het open water peil) varieert als gevolg van een sterk variërend open waterpeil en een wisselende maaiveldhoogte. Bij het kiezen van de gewenste drooglegging spelen een aantal factoren een rol. De draagkracht moet voldoende zijn om met tractoren het land op te gaan. Een aantal ingelanden wil drainagesystemen aanleggen, of heeft ze al. Het slootpeil moet voldoende laag zijn om de drains te kunnen laten afwateren. Een dieper peil kan echter maaivelddaling door oxidatie van het veen tot gevolg hebben. Bovendien, zou een dieper peil ook droogteschade kunnen opleveren.

Ofschoon het waterschap het concept van grondwater-gerelateerd-peilbeheer wil navolgen, bestaat er geen overeenstemming tussen alle betrokkenen over de gewenste drooglegging. Wetterskip Boarn en Klif vindt dat droogteschade ook als een factor in het peilbesluit moet worden meegenomen, maar daar zijn weinig tot geen gegevens over beschikbaar.

### 1.2 POLDER WOLLEGAAST

De Polder Wollegaast ligt in zuidwest Friesland aan de oostzijde van het Slotermeer, tussen Sloten, Spannenburg en Woudsend (fig. 1). Het totale gebied beslaat 1900 ha. Het is een klei-op-veen gebied met zandopduikingen waarop zich vaak de bebouwingen bevinden. Het veentype kan het beste worden omschreven als veenmosveen (waardveengronden). Waardveen-gronden zijn gedefinieerd als 'gewone rauwveengronden met een kleidek, waarin geen bovengrond voorkomt die voldoet aan de definitie van de minerale eerdlaag' (DE BAKKER EN SCHELLING, 1966). De classificatie veengrond is van toepassing als 'tussen 0-80 cm diepte meer dan de helft van de dikte uit moerig materiaal bestaat\*'. Als er niet voldoende moerig materiaal aanwezig is, wordt het als een klei-op-zand profiel geïdentificeerd. Op de hoger gelegen zandkoppen is er nauwelijks klei afgezet. De codes voor de dominerende bodemsoorten zijn kV (rauwveengrond met dun zavel- of kleidek), kWp/U15T (moerige podzolgrond met dun zavel- of kleidek) en Hn/Zn (zand). De meerderheid van de bodems is geïdentificeerd als rauwveengrond (62%). De gehanteerde benaming in dit rapport voor kV is klei-op-veen, voor kWp is moerige podzol en voor Hn/Zn is zand.

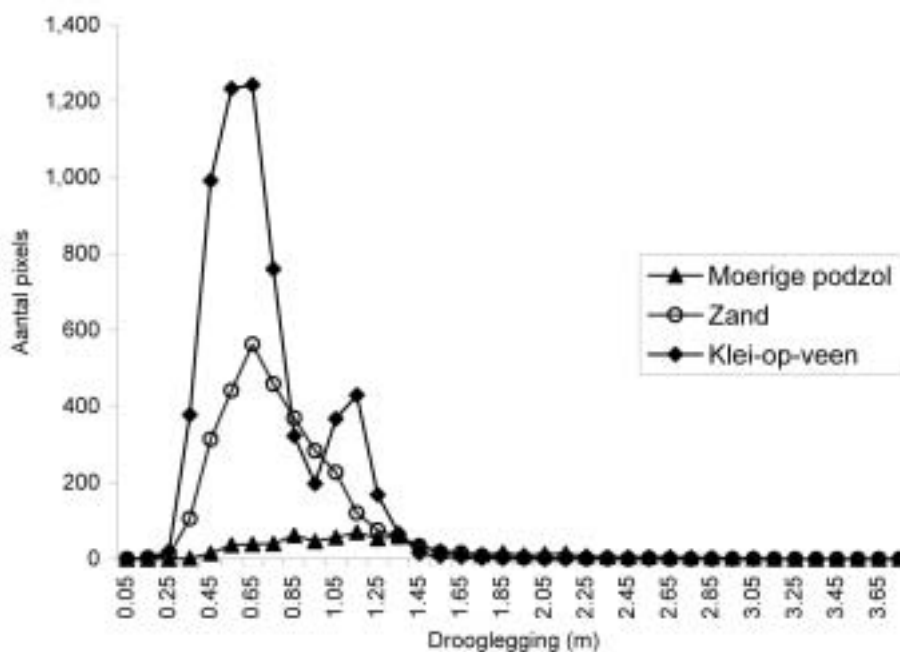


FIGUUR 1 LOCATIE VAN WETTERSKIP BOARN EN KLIF IN ZUIDOOST FRIESLAND. DE POLDER WOLLEGAAST LIGT IN HET WITTE KADER.

Het maaiveld aan de zuidoostelijke zijde van het Slotermeer ligt lager dan de rest van de polder en de drooglegging is diensgevolge ondieper (zie plaat 2). De meest voorkomende grondwatertrap is GT II (GHG<40cm, GLG 50-80cm) op de lagere delen en GT III (GHG<40, GLG 80-120cm) op de hogere delen. Omdat er sinds de opnamen van de zestiger jaren al veel peilen verlaagd zijn, komt GT III ook in de lage delen voor. Het landgebruik bestaat overwegend uit grasland (90%), daarnaast wordt er maïs verbouwd. De slootafstand varieert ruwweg tussen 50 tot 100 m. Het overtollige water wordt uitgemalen op het Friese boezem, waaruit ook water kan worden ingelaten.

Het huidige peilbeleid vertoont een grote variatie in drooglegging. Dit kan worden toegeschreven aan de variabele maaiveldhoogte en het grote aantal van ca. 60 peilvakken. Er zijn in totaal 25 zomerpeil klassen. De verandering van zomer naar winterpeil wordt in september - oktober gerealiseerd en in april-mei wordt het peil weer kunstmatig verhoogd voor de nieuwe zomer. Figuur 2 toont aan dat 95% van de spreiding in drooglegging tussen 20cm en 195cm ligt en dat de gemiddelde waarde ca. 90 cm bedraagt. Dat is een forse variatie voor een gebied van 1900 ha. De klei-op-veengronden hebben een duidelijk ondiepere drooglegging dan de zandgronden. Er zijn twee pieken in het histogram van klei-op-veengronden waarneembaar: rond 60cm en bij ca. 110 cm. Dit kan worden toegeschreven aan het wel of niet aanwezig zijn van een onderbemalingssysteem.

Wanneer, zoals gebruikelijk, informatie over de actuele verdamping en grasgroei ontbreekt, wordt bij het bepalen van de droogleggingnormen voornamelijk gelet op eisen die ingelanden in het voorjaar aan de bewerkbaarheid en beweidbaarheid van de percelen (draagkracht) stellen. Ook zijn er wensen voor het aanbrengen van drainage wat een grotere verdroging vereist. Voor veenweidegebieden is het peilbeleid gericht op een gemiddelde drooglegging van 90 cm per peilvak. Wetterskip Boarn en Klif gaat er vanuit beheertechneisch oogpunt steeds meer toe over niet langer hogere zomerpeilen te hanteren. Dat betekent dat steeds meer gedurende het gehele jaar het peil vast ligt op gemiddeld 90 cm.



FIGUUR 2 HISTOGRAM VAN DE HUIDIGE DROOGLEGGING IN WOLLEGAAST NAAR BODEMSOORT (2000)

### 1.3 DOELSTELLINGEN

Satellieten meten onder onbewolkte condities de spectrale stralingseigenschappen van het landoppervlak waaruit de reflectie en temperatuur van het gewas kan worden afgeleid. Deze op afstand verrichtte metingen kunnen met fysisch gebaseerde vertaalalgoritmes worden omgezet naar verdamping en grasgroei. Dit levert de mogelijkheid om digitale kaarten van verdamping, bodemvocht en grasgroei te maken, zonder daarbij de waterbalans expliciet op te lossen. In het kader van deze STOWA studie is onderzocht in hoeverre deze additionele uit satellieten afgeleide parameters kunnen bijdragen in het voorbereiden van een peilbesluit. De doelstellingen van deze remote sensing studie luiden:

- Kwantificeren van de actuele verdamping, bodemvocht en grasgroei voor de polder Wollegaast met behulp van satellietmetingen.
- Bepalen van de relatie tussen actuele verdamping, bodemvocht en grasgroei versus de drooglegging voor de huidige situatie.
- Uitspraken doen over de gewenste drooglegging vanuit het oogpunt van droogte- en natshade.

Het overkoepelende STOWA project bestaat uit 4 pilots, die elk een bijdrage leveren aan het oplossen van algemeen geformuleerde onderzoeksvragen om de mogelijkheden en beperkingen van remote sensing technologie te identificeren. De pilot van Wetterskip Boarn en Klif is vooral bedoeld om onderzoeksvragen 2 en 6 op te lossen:

VRAAG 2 **Kunnen remote sensing-beelden de agro-hydrologische condities beter in kaart brengen dan conventioneel vergaarde metingen van open waterpeil en grondwaterstand?**

VRAAG 6 **Wat zijn de vereiste ruimte- en tijdsresolutie van vlakdekkende informatie voor de diverse toepassingen in het waterbeheer ?**

#### 1.4 BEOOGDE RESULTATEN

Het beoogde resultaat bestaat uit het vaststellen van de relatie tussen drooglegging (verschil tussen maaiveld en open waterpeil) enerzijds en agro-hydrologische parameters anderzijds (actuele verdamping, biomassagroei, bodemvocht en verdampingstekort). De hieruit naar verwachting af te leiden optimale drooglegging voor grasgroei kan als nieuwe informatie in het totale besluitvormingsproces omtrent het peilbesluit worden meegenomen. De drooglegging is optimaal als verdamping, biomassagroei en bodemvocht hoog zijn en het verdampingstekort laag is ( $ET_{pot}-ET_{act}^*$ ). De optimum drooglegging moet betrekking op een gemiddeld hydrologisch jaar hebben.

Naast deze specifieke resultaten die aanleiding waren voor het uitvoeren van deze pilot studie, worden er ook resultaten verwacht waarmee de toegenomen waarde van hoge-resolutie-satellietbeelden is te beoordelen. Landsat met een resolutie van 30m is veel duurder in aanschaf (*f* 1500,- tot *f* 3500,-) dan de lage resolutie NOAA beelden met een pixel grootte van 1 km. De vraag is of die investering meerwaarde heeft.

\*  $ET_{pot}$ =potentiële evapotranspiratie,  $ET_{act}$  is actuele evapotranspiratie

# 2

## MATERIAAL EN METHODEN

### 2.1 ALGEMENE HYDROLOGISCHE DATA

Wetterskip Boarn en Klif heeft veel puntmetingen van open water peilen. Het grote oppervlak open water en de geringe drooglegging maakt het noodzakelijk om hier veel aandacht aan te besteden. De peilen worden zoveel mogelijk door stuwen gereguleerd. Het aantal grondwaterstandbuizen blijft ver achter bij het aantal meetpunten van de open water peilen. De fluctuatie van de grondwaterstand en de ruimtelijke patronen daarvan zijn dan ook niet goed bekend. In Wollegaast zijn 5 grondwaterstands peilbuizen. Dit betekent dat er niet genoeg informatie is om de relatie tussen grondwaterstand en grasgroei te bestuderen. De regenval is afkomstig van KNMI meetstations, aangevuld met eigen stations. De referentiegewasverdamping wordt ook door het KNMI geleverd.

### 2.2 DIGITALE INFORMATIE

Wetterskip Boarn en Klif beschikt over de digitale bestanden van onder andere de terreinhoogte, peilvakken, peilen en bodemtype. De locatie van de watergangen en alle bemalen beheerseenheden zijn gedigitaliseerd. De terreinhoogtekaart is gebaseerd op het Algemene Hoogtekaart Nederland (AHN) bestand van Rijkswaterstaat. Ofschoon Wetterskip Boarn en Klif over goed uitgeruste GIS-faciliteiten beschikt, is er nog geen directe ervaring opgedaan met het gebruik van remote sensing informatie als invoergegeven in GIS systemen.

De GLG en GHG informatie is verouderd en daarom niet geschikt bevonden om hiermee verdere analyses uit te voeren. Een afdruk van de digitale droogleggingkaart (AHN min zomerpeil) is weergegeven in plaat 2. De nieuwe versie van het AHN bestand met een resolutie van 5 meter was nog niet beschikbaar bij het uitvoeren van de studie, zodat er met een oudere versie is gewerkt die een ruimtelijke resolutie van 25 meter heeft. De niet graslandgebieden zijn uit de dataset verwijderd om verstoringen in de relatie tussen drooglegging en grasproductie ten gevolge van ander landgebruik uit te sluiten. De open plaatsen in plaat 2 zijn de niet-graslandgebieden.

In het kader van deze studie, waren er financiële middelen om een tweetal Landsat-7 Enhanced Thematic Mapper beelden aan te schaffen. Omdat 1999 als studiejaar is gekozen en Landsat-7 pas sinds juli 1999 operationeel is, waren er weinig mogelijkheden voor de keuze van het beeldmateriaal. Van augustus en september 1999 zijn geen goede beelden beschikbaar. Dit is een tekortkoming in de temporele resolutie van Landsat. In overleg met het waterschap is gekozen de opnames voor 30 juli 1999 en 18 oktober 1999 te analyseren. Tijdens de dagen direct voorafgaande aan de opname van 30 juli is er geen regen gevallen, en de 3 dagen voorafgaande aan 18 oktober had een cumulatieve neerslag van 5 mm. Dit betekent dat de zomerverdamping niet door effecten van recente regenval wordt beïnvloed. Als er sprake van droogteschade is, dan zou zich dat op 30 juli moeten manifesteren.

Daarnaast zijn er historische Advanced Very High Resolution Radiometer beelden van de

National Oceanic Atmospheric Administration (NOAA-AVHRR) via internet (<http://www.saa.noaa.gov>) vanuit de Amerikaanse database verkregen. Deze beelden zijn gratis. De NOAA-AVHRR beelden hebben een ruimtelijke resolutie van 1 km en zijn met hun dagelijkse overkomst geschikter om de temporele variatie te bestuderen. In deze studie zijn de NOAA pixels via een cubic convolution resamplingsmethode omgezet naar de Rijksdriehoeksmeting. Er zijn in totaal 14 NOAA beelden uit 1995 in het groeiseizoen tussen 1 april en 1 oktober gebruikt. Het gemiddelde interval tussen twee opeenvolgende beelden is dus 12 dagen. Door gebruik te maken van de dagelijkse KNMI meteorologische gegevens, is er voor elke week wel een verdampingsbeeld gemaakt, zodat er een continue tijdsreeks ontstaat. Er is voor 1995 gekozen omdat er toen een droge zomer was en effecten van droogteschade gemakkelijker detecteerbaar zijn.

De volgende agro-hydrologische parameters zijn uit satellietmetingen afgeleid:

- De actuele gewasverdamping
- Het verdampingstekort (potentiële minus actuele verdamping)
- Het relatieve bodemvochtgehalte gemiddeld over de gehele wortelzone
- De bovengrondse biomassagroei hetgeen direct met de grasproductie samenhangt

## 2.3 METHODEN

De onderzoeksvraag die moet worden beantwoord is of er een verband bestaat tussen de drooglegging en de verdamping cq. grasgroei. Omdat er in het gebied meerdere bodemtypes voorkomen, o.a. omdat de dikte van het kleidek verschillend is, is er tevens een analyse per bodemtype uitgevoerd. Dit kan i.v.m. de benodigde ruimtelijke detaillering alleen met Landsat beelden geschieden. De volgende analyses zijn uitgevoerd:

- De drooglegging is vergeleken met individuele Landsat beelden
- De drooglegging is gediscetiseerd in klassen van 10 cm interval en de bodemsoort in 3 typen. Er is een vergelijking gemaakt met de resultaten van individuele Landsat beelden
- De drooglegging is na een middeling naar 100 ha eenheden vergeleken met gesommeerde verdamping- en gewasgroeiwaardes over een periode van 7 maanden. Hier zijn de NOAA beelden voor gebruikt

Het AHN bestand komt voort uit metingen met een laseraltimeter en de zomerpeilen worden afgelezen in het veld. De betrouwbaarheid van de droogleggingkaart kan daarom als zijnde hoog worden geclassificeerd. De remote sensing parameterkaarten zijn door het fysisch-gebaseerde algoritme SEBAL vervaardigd. De nauwkeurigheden van dit algoritme voor de Nederlandse situatie staat in het hoofdrapport beschreven, en met een fout van 10 tot 20% (bij het achterwege blijven van een calibratie) moet in het algemeen rekening worden gehouden.

### KADER 1

#### VERDAMPING EN GRASGROEI

Gras groeit niet zonder kooldioxide, water en zonlicht. Via de huidmondjes wordt kooldioxide ingenomen en waterdamp afgevoerd. Actuele gewasgroei is proportioneel met de actuele verdamping en biomassagroei. Biomassagroei is niet hetzelfde als grasproductie, maar er bestaat wel een lineair verband tussen deze twee parameters, waardoor de ruimtelijke patronen gelijk zijn. Het verdampingstekort is een maat voor de opbrengstdepressie

ten gevolge van niet optimale bodemvochtcondities. Dit kan zowel door droogte- als door natschade worden veroorzaakt

De NOAA beelden zijn gebruikt om de gesommeerde waarden van verdamping en grasgroei over het groeiseizoen te schatten. Hiermee is de factor 'toevalligheid', die in elk instantaan Landsat beeld zit, tot een minimum beperkt. Effecten van momenten van inscharen, kunstmest strooien en maaien zijn in een gesommeerde waarde vereffend.



# 3

## RESULTATEN

### 3.1 LANDSAT SATELLIET

#### DE SITUATIE VAN 30 JULI 1999

Kleurenplaat 1 geeft het resultaat van de bovengrondse biomassagroei van de twee Landsat beelden weer. De productie is op 30 juli ten gevolge van de zonnestraling veel hoger dan in oktober. Er valt opmerkelijk veel ruimtelijk verschil in de biomassagroei waar te nemen. Op 30 juli 1999 is er een variatie tussen 75 tot 255 kg/ha/d waarneembaar, terwijl op 18 oktober de range tussen 27.5 tot 112.5 kg/ha/d loopt. Hieruit kan worden geconcludeerd dat grasgroei in Wollegaast op specifieke dagen zeker niet homogeen is. Maar kan deze variatie aan alleen droogleggingverschillen worden toegeschreven? De rechthoekige vormen van de grasgroei komen overeen met de perceelsgrenzen waaruit blijkt dat de bedrijfsvoering een belangrijke factor voor de grasproductie is. Er is geen grootschalig patroon waarneembaar wat visueel gezien met de droogleggingkaart overeenkomt, of met de lagere maaiveldsligging aan de zuidoost zijde van het Slotermeer.

De relatie tussen drooglegging en verdamping cq. grasgroei kan worden onderzocht door een digitale koppeling te maken tussen deze bestanden. Een grafische weergave van de resultaten is weergegeven in de bijlagen. In bijlage 1 en 2 is geen verder onderscheid naar bodemtype gemaakt. De resultaten van het Landsat beeld van 30 juli vertonen geen statistisch verband; de gemiddelde  $R^2$  tussen alle bestanden is  $R^2=0,04$ . Dit betekent dat er (i) een fout in de GIS/RS data zit, of (ii) dat er in werkelijkheid geen verband bestaat tussen deze 2 parameters door een vee complexere veldsituatie die niet gekwantificeerd is. Wat betreft fouten in de GIS/RS data moet worden vermeld dat het in deze studie gehanteerde SEBAL-CASA gewasgroeimodel gebaseerd op remote sensing metingen slechts in het buitenland gevalideerd is (BASTIAANSEN EN ALI, 2003; SAMARASINGHE, 2003). Gezien het feit dat SEBAL een fysisch gebaseerd remote sensing algoritme betreft, is er geen reden aan te nemen dat de berekeningen van de remote sensing parameters in Wollegaast fout zouden zijn, maar gevalideerd zijn ze niet.

Een verdamping van 6mm/d komt voornamelijk voor bij een drooglegging van 0,65 m (bijlage 1). De hoge grasverdamping komt voor het grootste deel alleen voor in een nauw traject van de drooglegging tussen 0,55 en 0,70 m, daarbuiten helemaal niet. Dezelfde trend is waarneembaar voor het bodemvocht; de natste wortelzones komen voor tussen de 0,55 tot 0,75 m drooglegging. Het effect van bodemtypes is verder onderzocht en grafisch weergegeven in Bijlage 3. Voor het bevorderen van de visuele inzichtelijkheid zijn de datapunten vervangen door de gemiddelde waarde en hun standaardafwijking per discreet interval van de drooglegging. De grasgroei van de klei-op-veengronden is 13% hoger (gemiddeld 161kg/ha/d) dan voor de minerale gronden. Bijlage 3 toont aan dat de drooglegging van klei-op-veengronden tot marginale verschillen in biomassagroei resulteert. De hoogste waarden (>160 kg/ha/d) worden tussen de 0,45 en 0,65 m gevonden. De hoogste biomassagroei voor moerige podzol (>150 kg/ha/d) treedt op tussen 0,55 en 0,75 m. Voor zand zijn niet veel effec-

ten waarneembaar, behalve dat bij een drooglegging <0,35m natschade ontstaat.

#### DE SITUATIE VAN 18 OKTOBER 1999

De Landsat analyses voor 18 oktober geven een ander beeld weer. Aan het einde van het groeiseizoen is de actuele verdamping door verminderde zonnestraling en een lagere temperatuur gedaald tot waarden van ongeveer 1mm/d. Discretisaties in intervallen van minder dan 0,1 mm/d worden dan zo minimal dat het niet zinvol is ze presenteren. Uit bijlage 2 blijkt geen enkele duidelijke optimale waarde voor de drooglegging. Bijlage 4 geeft weer dat voor de klei-op-veen gronden de hoogste grasgroei (>75 kg/ha/d) voorkomt in pixels met een drooglegging van 0.25 tot 0.45 m en dan weer van 1.35 tot 1.65 m. Hier kan geen duidelijke conclusie uit worden getrokken. Voor moerige podzol gronden treedt er ook een dubbele maxima in de grasgroei op: rond 1,45m en bij 2,55 m. Voor zandgronden ligt er een klein maximum bij een drooglegging van 1,25 m, maar zijn de verschillen minuscuul.

Tabel 1 is vervaardigd om de relatie tussen de twee Landsat beelden en het effect van bodemtype te beoordelen. Daartoe zijn de gemiddelde grasgroei, de 10% laagste, de 10% hoogste en de extreme waarden uitgerekend voor de twee momenten in het groeiseizoen (zomer en herfst) en voor de drie geselecteerde bodemtypes. In de zomer periode is de gemiddelde grasgroei op klei-op-veengronden 6.4 % hoger dan voor de minerale gronden. In de herfst vertoont de zandgrond met 87.5 kg/ha/d een 40% hogere grasgroei dan de klei-op-veen grond (62,5 kg/ha/d) en 29.6 % meer groei dan de moerige podzol (67.5 kg/ha/d). Dit geeft weer dat bodemsoort een niet te verwaarlozen invloed op grasgroei in de herfst heeft. Daaruit kan worden geconcludeerd dat, bij een ruimtelijke resolutie van 30 m, de rol van bodemtype niet te verwaarlozen is in de relatie tussen drooglegging en grasgroei.

De 10% hoogste grasgroei bij klei-op-veengronden komt voor bij een drooglegging van 0,45 tot 0,55 m. Dat blijkt ook uit bijlage 3 en 4. De grasproductie op moerige podzol gronden lijken gebaat te hebben bij een grotere drooglegging in de herfst, evenals de zandgronden die bij een drooglegging van 0.85 tot 0.95 m in de herfst meer grasgroei vertonen. In de zomerresultaten van zowel de moerige podzol als de zandgrond zit geen systematisch verband, waardoor er niet veel kan worden geconcludeerd. Het niet voorkomen van een algemeen verband tussen de overschrijdingsfrequentie van een bepaalde biomassagroei en de drooglegging suggereert dat de drooglegging minimale effecten op de biomassagroei heeft.

**TABEL 1** VERBAND TUSSEN BIOMASSAGROEI EN DE MEEST DAARBIJ VOORKOMENDE DROOGLEGGING UITGEWERKT PER BODEMSOORT. DE DROOGLEGGING IS WEERGEGEVEN TUSSEN HAKEN, ALLES IN kg/ha/d.

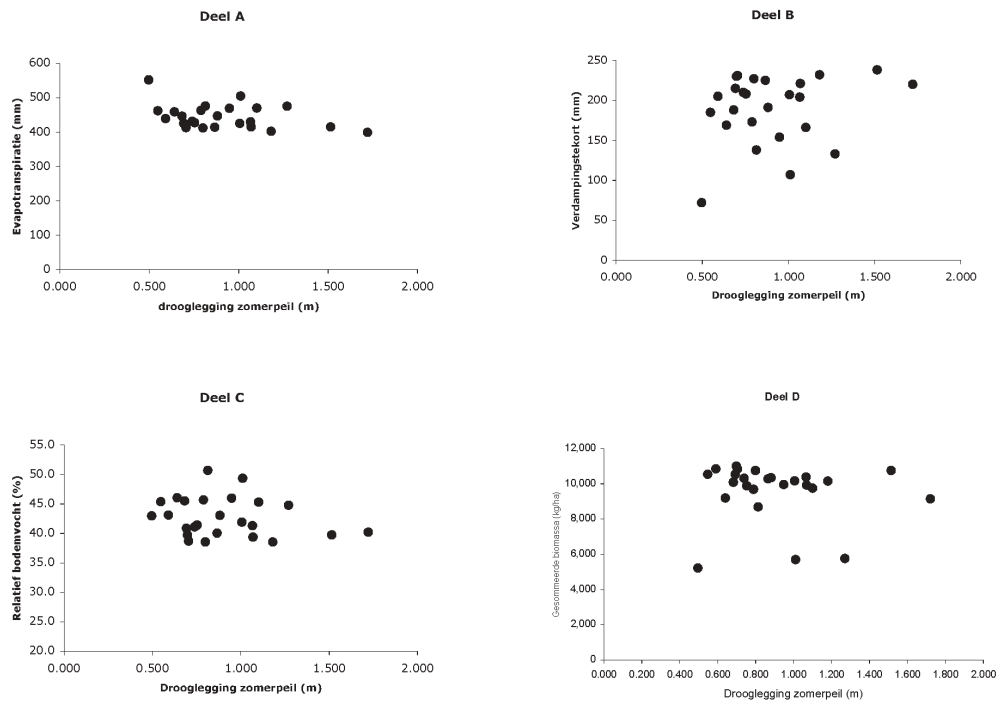
Combinatie	Minimale groei	10% laagste groei	Gemiddelde groei	10% hoogste groei	Maximale groei
Klei-op-veen herfst	27.5 (0.65)	37.5 (0.45)	62.5 (0.55)	92.5 (1.05)	102.5 (0.45)
Klei-op-veen zomer	75.0 (0.55)	95.0 (0.55)	165.0 (0.65)	235.0 (0.55)	255.0 (0.45)
Moerige podzol herfst	37.5 (0.85)	42.5 (1.15)	67.5 (1.15)	92.5 (0.95)	97.5 (1.15)
Moerige podzol zomer	75.0 (1.05)	95.0 (0.85)	155.0 (0.85)	215.0 (0.65)	235.0 (0.95)
Zand herfst	37.5 (1.25)	42.5 (0.75)	87.5 (0.75)	107.5 (0.85)	112.5 (0.95)
Zand zomer	65.0 (0.95)	85.0 (0.85)	155.0 (0.75)	205.0 (0.65)	225.0 (0.95)

### 3.2 NOAA SATELLIET

Voor het uitsluiten van toevalligheden op basis van de geanalyseerde Landsat gegevens van twee dagen in het groeiseizoen en ook het elimineren van de bedrijfsvoering, zijn NOAA beelden van 1995 geanalyseerd (figuur 3). De gesommeerde waarden voor de periode tussen 3 april en 1 oktober zijn hierna verder in beschouwing genomen. Het dient te worden opgemerkt dat 1995 een droge zomer was en dat deze periode uitermate geschikt is om de capillaire nalevering vanuit het grondwater te bestuderen. De grove NOAA pixels met afmetingen van 1km \* 1km (100 ha) resulteren in een beperkt aantal punten om de regressie met drooglegging uit te voeren. Het AHN bestand met 25 meter pixels is overeenkomstig het NOAA grid omgezet naar het 1km grid van de Rijksdriehoeksmeting. Er zijn 23 NOAA pixels in de analyses betrokken die na het aggregeren van de drooglegginggegevens een range tussen 0,45 en 1,7 m vertonen. Op deze schaal zijn de effecten van bodemtype en bedrijfsvoering geëlimineerd terwijl er toch een range in droogtelegging blijft bestaan. Dit is ideale dataset om effecten van het peilbeheer te bestuderen.

Alle verbanden blijken statistisch slecht te zijn. De correlatiecoëfficiënt ( $R^2$ ) varieert tussen de 0,01 en 0,12. Daarom kan met de NOAA beelden, evenals de Landsat beelden, alleen kwalitatieve uitspraken worden gedaan. Met een kwalitatieve uitspraak wordt bedoeld dat er wel informatie aanwezig is, maar dat die informatie geen trend in alle datapunten oplevert waarmee harde uitspraken kunnen worden gemaakt. Figuur 3A geeft aan dat een drooglegging van 50cm tot de hoogste verdamping leidt (565mm/seizoen). Dergelijke gesommeerde waarden zijn gedurende 1995 experimenteel waargenomen in Nederland (500 tot 700 mm/jr) en worden vermeld in het hoofdrapport van deze STOWA studie. Overeenkomstig is de verdampingstekort ( $ET_{pot} - ET_{act}$ ) met 72mm in 180 dagen (0,4mm/d) erg laag (fig. 3B). Dit geeft aan dat een drooglegging van rond de 50cm in de polder Wollegaast zelfs in een droge zomer zoals in 1995 het geval was, nauwelijks tot droogteschade leidt. Het vochtgehalte en de gesommeerde biomassa geven weinig resultaten weer.

De tijdstap grootte van de NOAA beelden is voldoende om het gesommeerde gedrag te beschrijven. De ruimtelijke resolutie van 100 ha leidt tot genoeg spreiding in drooglegging, maar deze resolutie is onvoldoende om bedrijfsvoering en bodemeffecten te analyseren. Dit is een tekortkoming van de NOAA resoluties. Het voordeel is echter dat juist dan andere factoren zoals de hydrologie kunnen worden bestudeerd. Maar dat levert in dit geval niets op.



**FIGUUR 3** RELATIE TUSSEN DROOGLEGGING OP BASIS VAN HET ZOMERPEIL EN DE GESOMMEERDE WAARDES VAN VERDAMPING (DEEL A), VERDAMPINGSTEKORT (DEEL B), BIOMASSA (DEEL C) EN RELATIEF BODEMVOCHTGEHALTE (GEMIDDELDE, DEEL D) OP BASIS VAN DE NOAA BEELDEN. VOOR ALLE DEELGRAFIEKEN IS DE PERIODE TUSSEN 3 APRIL T/M 1 OKTOBER 1995 (N=23) VAN TOEPASSING.

# 4

## TOEPASSINGEN VAN REMOTE SENSING IN HET WATERBEHEER

### 4.1 MOGELIJKHEDEN VOOR VOORBEREIDEND WATERBEHEER

Het nemen van peilbesluiten en het grondwater-gerelateerd peilbeheer vindt traditioneel plaats op basis van hydrologische puntmetingen, aangevuld met reacties en wensen van de ingelanden. De grondwaterstandsdiepte binnen een peilvak is niet overal gelijk, maar varieert als gevolg van verschillen in maaiveldhoogte, afstand tot de waterlopen, verschillen in bodemopbouw, begroeiing etc. In Wollegaast zijn slechts enkele grondwaterstandbuizen beschikbaar. Dit is onvoldoende om een gefundeerde analyse tussen grondwaterstand en drooglegging enerzijds en grondwaterstand en grasgroei anderzijds te ondernemen. In de plaats van grondwaterstanden als een maat voor de groeicondities zijn in deze studie de groeicondities aan de hand van remote sensing technieken geschat die landelijk met regelmaat worden opgenomen.

#### KADER 2

#### HYDROLOGISCHE CONCLUSIES

- De relaties tussen uit Landsat beelden afgeleide agrohydrologische parameters en drooglegging zijn niet significant en de correlatiecoëfficiënt is laag in alle gevallen. Er kan geen verband worden aangetoond, ook niet als dit per bodemsoort wordt bekeken. De ruimtelijke patronen in grasgroei op individuele dagen komen overeen met perceelsgrenzen en hebben daarom te maken met de bedrijfsvoering en niet met het waterbeheer van de polder. Er zijn naar schatting minimaal 4 Landsat beelden in een seizoen nodig om de tekorten van deze 'snapshots' via middeling weg te nemen.
- In de zomer zijn de productieniveaus van de klei-op-veen gronden 6.4 % hoger dan van de minerale gronden. In de herfst leveren zandgronden 40% meer opbrengst dan de klei-op-veen gronden.
- De gesommeerde verdamping en biomassagroei voor discrete gebieden van 100 ha over een periode van 7 maanden is uitgerekend om effecten van bodem en lokale bedrijfsvoering weg te nemen. Ook hier kan geen kwantitatief verband met drooglegging worden vastgesteld, omdat drooglegging en bodemtype verschillende effecten op de grasgroei hebben.
- Omdat er voor eenheden van 100 ha geen verband met drooglegging kan worden aangetoond, moeten de variaties in grasgroei (die duidelijk aanwezig zijn) aan andere factoren worden toegeschreven. Dit is bij gebrek aan gegevens niet verder onderzocht.
- In een droog jaar zoals 1995 treedt er nauwelijks verdampingstekort op bij een drooglegging van ca. 0,50 m. Dit betekent dat hoge peilen (0,45 tot 0,65 m) zeker niet nadelig voor de grasgroei hoeven te zijn.

Deze pilot studie toont aan dat verdamping en biomassagroei op specifieke dagen meer te maken hebben met het weilandbeheer dan met de drooglegging. In de herfst speelt het bodemtype ook een rol. Het is achteraf wenselijk geweest om een aantal extra Landsat opnames uit het voorjaar ter beschikking gehad te hebben; de grasproductie van het jonge gras is dan hoog en de eerste twee sneden leveren zo'n 40% van de totale opbrengst. Maar dit was technisch gezien niet uitvoerbaar omdat Landsat-7 toen nog niet operationeel was. Bij 4 beelden of meer kan de lokale variatie van de grasgroei over de gehele zomer met meer zekerheid worden vastgesteld. De 2 Landsat beelden zijn daarvoor niet toereikend gebleken.

**TABEL 2** VOOR- EN NADELEN VAN HOGE- EN LAGE RESOLUTIE SATELLIETBEELDEN VOOR HET KWANTITATIEF BESCHRIJVEN VAN HYDROLOGISCHE GEWASGROEICONDITIES

Satelliet	Nadeel	Voordeel
Landsat	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Genereert ruis in regressie- modellen</li> <li>• Het zijn moment opnames</li> <li>• Een goede tijdreeks kan niet worden opgebouwd</li> <li>• Relatief duur</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verschillen zijn tot op perceelsniveau te bestuderen</li> <li>• Mogelijkheden voor ruimtelijke statistiek</li> <li>• Aansluiting bij overige GIS bestanden zoals bodem, kunstmest is mogelijk</li> </ul>
NOAA	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ruimtelijke resolutie groter dan peilvakken</li> <li>• Detailinformatie uit bestaande hoge resolutie GIS bestanden is niet te benutten.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mogelijkheid tot sommeren van waarden over een groei seizoen</li> <li>• Effecten van locale factoren kunnen worden geëlimineerd</li> </ul>

De verklarende factoren die de relatie verdamping cq. gewasgroei met drooglegging diffuus maken, kunnen als volgt worden samengevat:

- Het vochtgehalte in de wortelzone en daarmee de water opname door de wortels wordt meer beïnvloed door de grondwaterstand en kwel, dan door drooglegging.
- De bodem is nu ingedeeld in 3 bodemsoorten, maar in werkelijkheid komt er een rijkere scharkering van bodemprofielen en kleidikte voor.
- De drainageweerstand in deze klei-op-veengronden is waarschijnlijk hoog waardoor het concept van grondwater-gerelateerd-peilbeheer niet kan worden toegepast.
- De invoerbestanden van zowel remote sensing alsmede van GIS zijn onvoldoende nauwkeurig.
- De gewasgroei wordt door factoren anders dan drooglegging bepaald, in grote waarschijnlijkheid door de bedrijfsvoering (inscharen, maaien, kunstmest) en de condities van de grasmatten (leeftijd, open plekken, grassoort, vertrapping, nutriënten, grashoogte, kleur).

De relatie tussen drooglegging en gewasgroei is afhankelijk van bodemtype. Bij eenzelfde drooglegging is er een geheel verschillende grasgroei, die waarschijnlijk aan het grondwaterregime gecombineerd is. Het detail van grondwatergegevens zal nooit zo groot zijn als haalbaar met behulp van remote sensing opnames. De toepassing van remote sensing verruimt het inzicht in de ruimtelijke variatie van bodemeigenschappen. In tegenstelling tot veld- en modelstudies, biedt remote sensing geen inzicht in de verklarende factoren. Remote sensing draagt meer bij aan patroonherkenning dan aan processtudies.

De pilot van Wetterskip Boarn en Klif is vooral bedoeld om onderzoeksvragen 2 en 6 op te lossen:

**VRAAG 2** **Kunnen remote sensing-beelden de agro-hydrologische condities beter in kaart brengen dan conventioneel vergaarde metingen van open waterpeil en grondwaterstand**

De resultaten geven weer dat de agro-hydrologische condities in kaart kunnen worden gebracht m.b.v. remote sensing. Bij een ruimtelijke resolutie van 30m op bepaalde dagen blijkt dat vooral bedrijfsvoering een grote invloed op de grasgroei en verdamping heeft. Over een langere periode van 7 maanden blijkt er nauwelijks invloed van het huidige peilbeheer detecteerbaar te zijn. Omdat er geen grondwaterstand informatie aanwezig is – althans niet voldoende voor een analyse – is niet onderzocht of remote sensing informatie beter is dan informatie over de grondwaterstand. Het is meer gebruikt als een vervanger van.

**VRAAG 6** **Wat zijn de vereiste ruimte- en tijdsresolutie van vlakdekkende informatie voor de diverse toepassingen in het waterbeheer ?**

Voor een nauwkeurige analyse waarbij effecten van bedrijfsvoering en bodemtype dienen te worden meegenomen, is informatie met 30 m resolutie en met minimaal 4 beelden per groeiseizoen noodzakelijk. Als het gaat om de totale jaaropbrengst te weten in relatie tot het peilbeheer, kan met NOAA beelden van 1 km worden volstaan.

Wetterskip Boarn en Klif heeft de resultaten van deze studie niet kunnen betrekken bij de opstelling van het peilbesluit omdat de wenselijkheid van bepaalde peilen niet naar voren is gekomen. Dit geeft aan dat factoren anders dan grasproductie het optimale peil bepalen. Deze conclusie is specifiek voor polder Wollegaast.

### KADER 3

#### CONCLUSIES

Het beoogde inzicht tussen drooglegging en gewasgroei is niet verkregen. De relaties zijn statistisch gezien niet significant, wat er op duidt dat gewasverdamping en gewasgroei gedurende de zomer en herfst niet met slechts drooglegging als verklarende parameter kunnen worden beschreven.

Er is meer informatie nodig om de relaties tussen grasgroei, bodemtype, bedrijfsvoering, grondwaterstand en drooglegging definitiever te kunnen vast te stellen. Een satellietopname van het voorjaar, wanneer grasgroei intensief is, wordt wenselijk geacht. Indien met meer gegevens wordt bevestigd dat er inderdaad nauwelijks een verband tussen drooglegging en gewasgroei bestaat, dan heeft dit mogelijk gevolgen voor het algemene concept van grondwater-gerelateerd peilbeheer van andere klei-op-veen gebieden.

Remote sensing draagt bij aan een gedetailleerde patroonherkenning, maar niet aan de processtudies. Om hydrologische processen beter te verklaren moet meer kwantitatieve GIS analyses worden gemaakt of hydrologische modellen worden ingezet

## 4.2 MOGELIJKHEDEN VOOR UITVOEREND WATERBEHEER

De mogelijkheden voor uitvoerend waterbeheer zijn voor pilot 2 niet van toepassing.

# 5

## AANBEVELINGEN

### 5.1 ALGEMENE EN ORGANISATORISCHE ASPECTEN

Remote sensing metingen geven extra parameters die behulpzaam zijn bij het voorbereiden van ingrepen in het waterbeheer. Dat de verwachte relatie tussen drooglegging en agro-hydrologische parameters voor Wollegaast niet wordt gevonden hoeft niet te betekenen dat de metingen of de gebruikte algoritmes niet goed zijn (validaties in het hoofdrapport tonen aan dat ze redelijk tot goed betrouwbaar zijn). Voor klei-op-veen gebieden is de situatie blijkbaar complexer en kan niet met een simpele regressievergelijking worden afgedaan.

Omdat er nauwelijks alternatieve operationele oplossingen zijn, kan de in dit rapport beschreven SEBAL remote sensing methode voor het beschrijven van de hydrologische condities in de wortelzone worden gebruikt. Daarbij moet met een foutenmarge van 10 tot 20% in de veradampingsschattingen rekening worden gehouden (BASTIAANSEN ET AL, 1998; KITE AND DROOGERS, 2000; ALLEN ET AL, 2001; SINTONEN, 2001; HEMAKUMARA ET AL., 2003). Het is aanbevelingswaardig een validatie studie naar de nauwkeurigheid van gewasgroei berekeningen gebaseerd op remote sensing metingen uit te voeren. Gezien de dominantie van grasland in het Nederlandse landschap, kunnen hier veel waterbeheer studies baat bij hebben.

Het waterschap zal zich bij het vaststellen van het nieuwe peilbesluit voor wat betreft de landbouwkundige aspecten dan ook voornamelijk kunnen laten leiden door wensen t.a.v. draagkracht en bewerkbaarheid in het voorjaar, de mogelijkheden voor drainage en problemen die kunnen ontstaan door oxidatie. Wat betreft duurzaamheid is het gewenst maai-velddaling zoveel mogelijk te bestrijden. De voorlopige resultaten van de remote sensing studie geven weer dat plaatsen met verschillende drooglegging dezelfde gewasgroei kan hebben en dat plaatsen met dezelfde drooglegging verschillende grasgroei kan optreden. Dit betekent dat de drooglegging niet dominant op de grasgroei is.

Ofschoon remote sensing technieken 15 tot 20 jaar geleden in verband met vliegtuigopnames nog erg duur waren, is de prijs door het gebruik van satellietbeelden sterk gedaald. Doordat een Landsat beeld 3,4 miljoen hectare dekt, is het waterschapsbreed inzetten van de techniek – of zelfs op provinciale schaal - een voordeel.

### 5.2 KNELPUNTEN

Het knelpunt in de Wollegaast studie was het gebrek aan grondwaterstandbuizen, informatie over grondwatertrappen en het ontbreken van gegevens over de bedrijfsvoering op individuele landbouwbedrijven. Dat had misschien uitsluitsel kunnen geven of er een relatie tussen grondwaterstand vs. gewasverdamping bestaat, maar ook tussen grondwaterstand vs. drooglegging.



Een multi-regressie model lijkt meer potentieel te hebben om de verdamping cq. gewasgroei patronen te verklaren. Het verzamelen van bedrijf- en beheersinformatie is echter een arbeidsintensieve zaak die alleen in het kader van uitvoerige onderzoeken op geringe schaal zou kunnen worden uitgevoerd.

# LITERATUURLIJST

ALLEN, R.G., W.G.M. BASTIAANSEN, M. TASUMI AND A. MORSE, 2001. **Evapotranspiration on the watershed scale using the SEBAL model and Landsat image**, American Society for Agricultural Engineering (ASEA), Annual International Meeting, Sacramento, California, July 30-August 1, paper number 01-2224

BAKKER, DE, H. EN J. SCHELLING, 1966. **Systeem van bodemclassificatie voor Nederland, de hogere niveaus**, STIBOKA, Alterra, Wageningen

BASTIAANSEN, W.G.M., H. PELGRUM, J. WANG, Y.MA, J.F. MORENO, G.J. ROERINK AND T. VAN DER WAL, 1998. **A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL), Part 2 validation**, J. of Hydr. 212-213: 213-229

BASTIAANSEN, W.G.M. AND S. ALI, 2003. **A new crop yield forecasting model based on satellite measurements applied across the Indus Basin**, Pakistan, Agriculture, Ecosystems and Environment (94): 321-340

COMMISSIE GRONDWATERWET WATERLEIDINGBEDRIJVEN, 1984. **Landbouwkundige aspecten van grondwateronttrekking**. Berekening van schade als gevolg van kunstmatige verlaging van de grondwaterstand

HEMAKUMARA, H.M., L. CHANDRAPALA EN A. MOENE, 2003. **Evapotranspiration fluxes over mixed vegetation areas measured from large aperture scintillometer**, Agricultural Water Management 58: 109-122

KITE, G.W. AND P. DROOGERS, 2000. **Comparing evapotranspiration estimates from satellites, hydrological models and field data**, J. of Hydr. 229: 3-18

SAMARASINGHE, S., 2003. **Growth and yields of Sri Lanka's major crops interpreted from public domain satellites**, Agricultural Water Management 58: 145-157

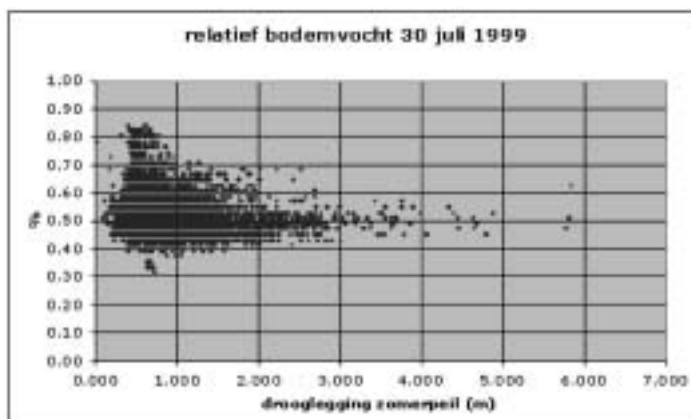
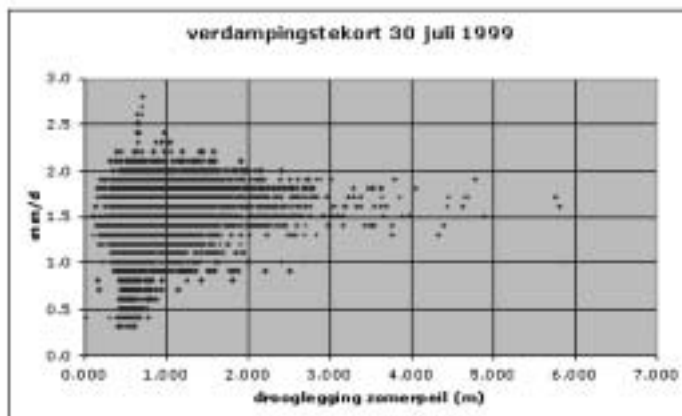
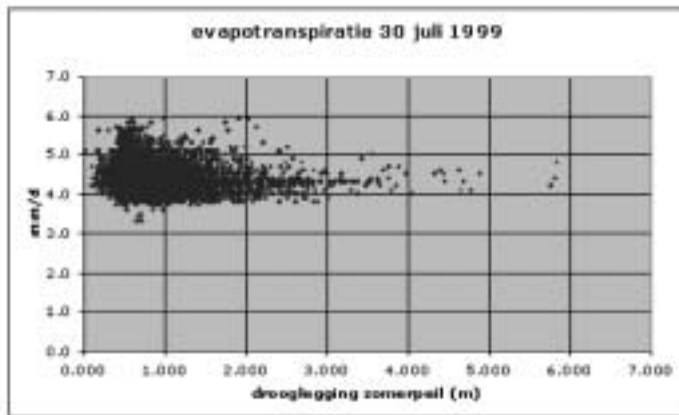
SINTONEN, K., 2001. **Validation of a remote sensing algorithm to estimate evapotranspiration on an operational basis: The Surface Energy Balance for Land (SEBAL) algorithm**, KNMI internal report, De Bilt: 78 pp.

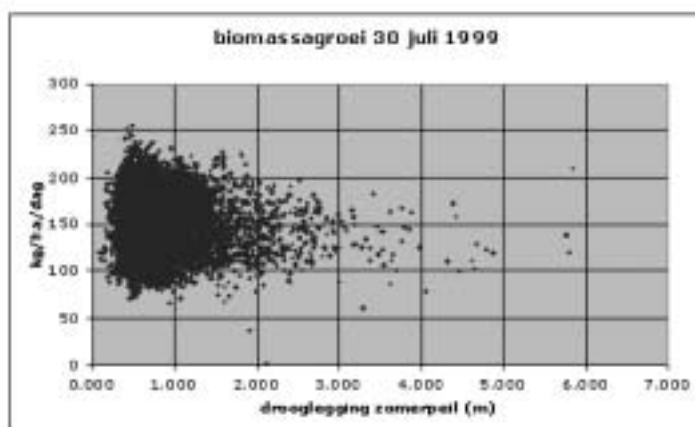


## BIJLAGE 1

RELATIES TUSSEN DROOGLEGGING EN  
GEÏNTERPRETEERDE SATELLIETMETINGEN

VOOR 30 JULI 1999

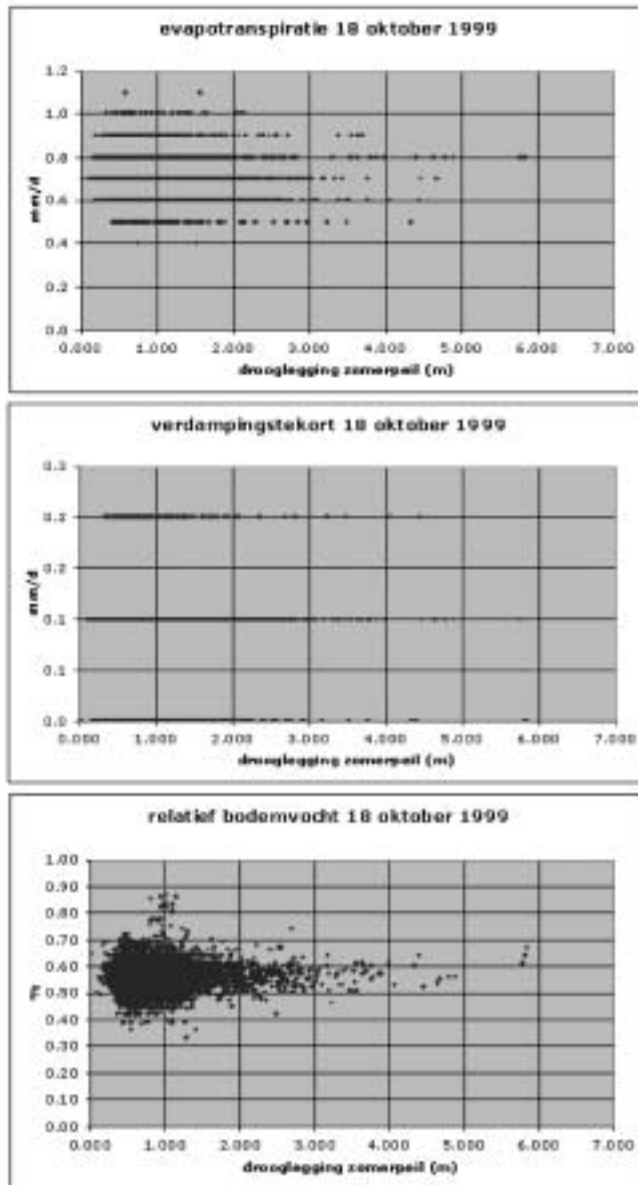


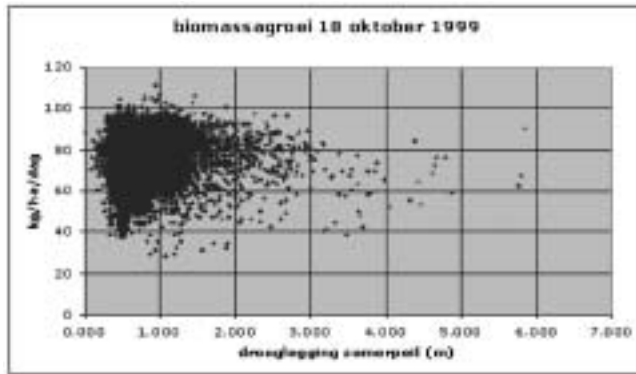


## BIJLAGE 2

# RELATIES TUSSEN DROOGLEGGING EN GEÏNTERPRETEERDE SATELLIETMETINGEN

VOOR 18 OKTOBER 1999

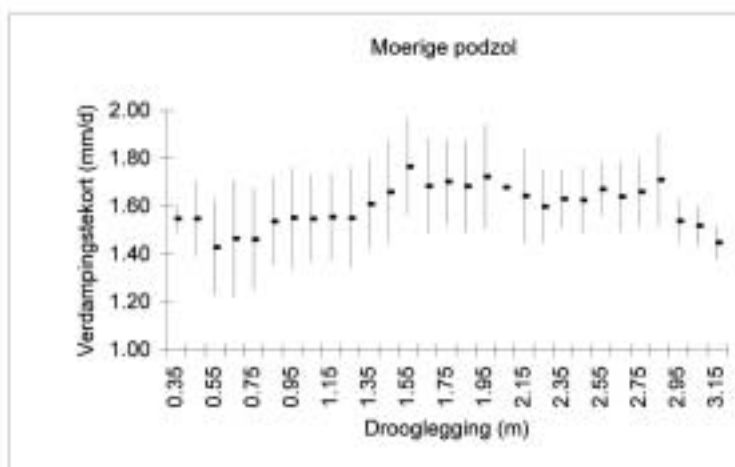
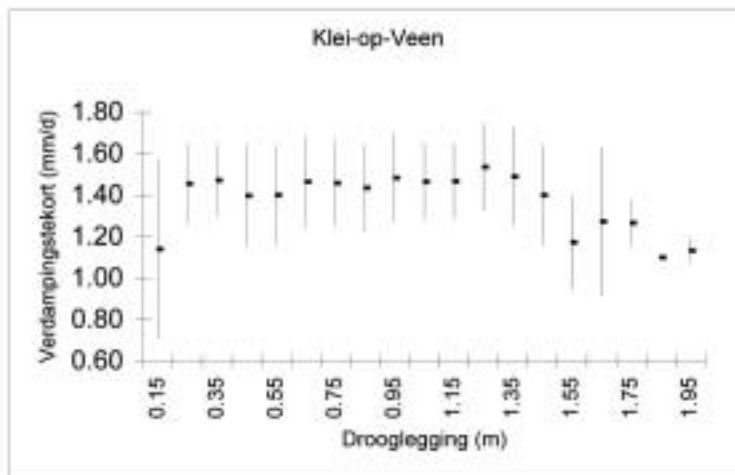
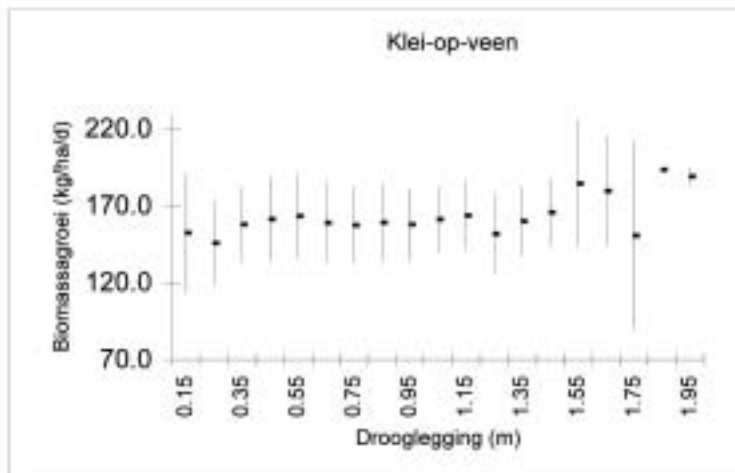




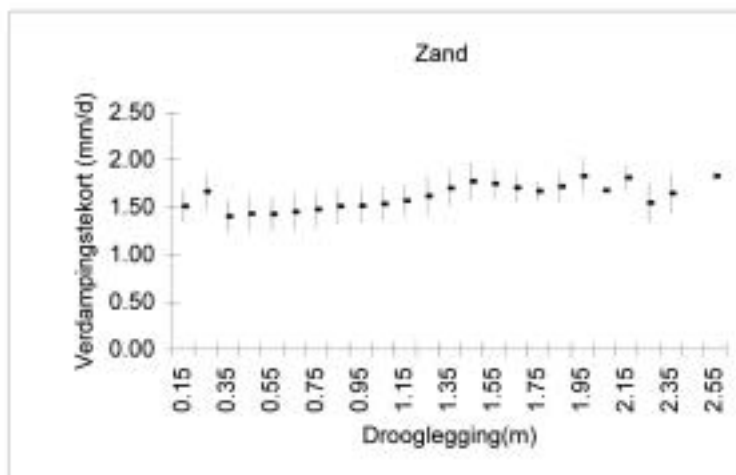
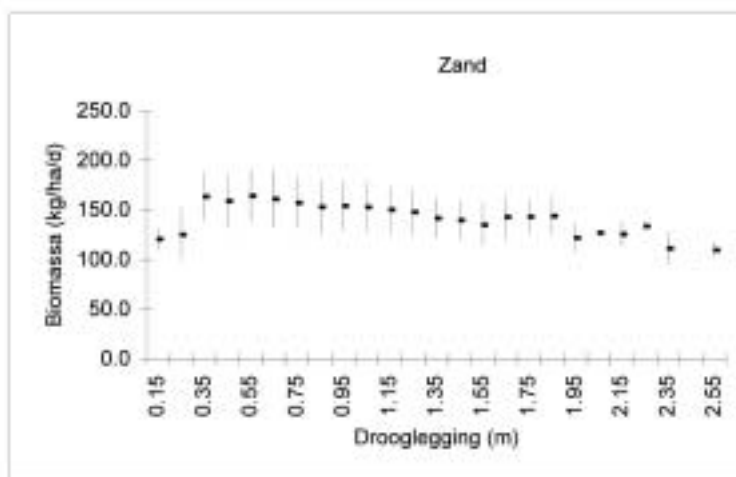
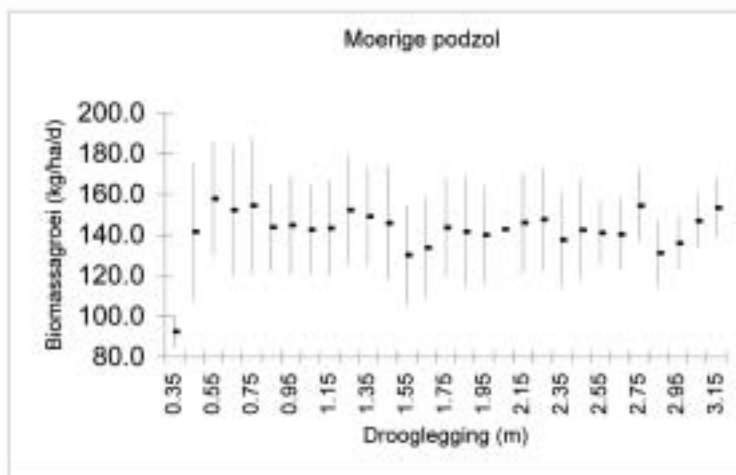
## BIJLAGE 3

# RELATIES TUSSEN GEDISCRETISEERDE DROOGLEGGING EN GEÏNTERPRETEERDE SATELLIETMETINGEN

VOOR 30 JULI 1999



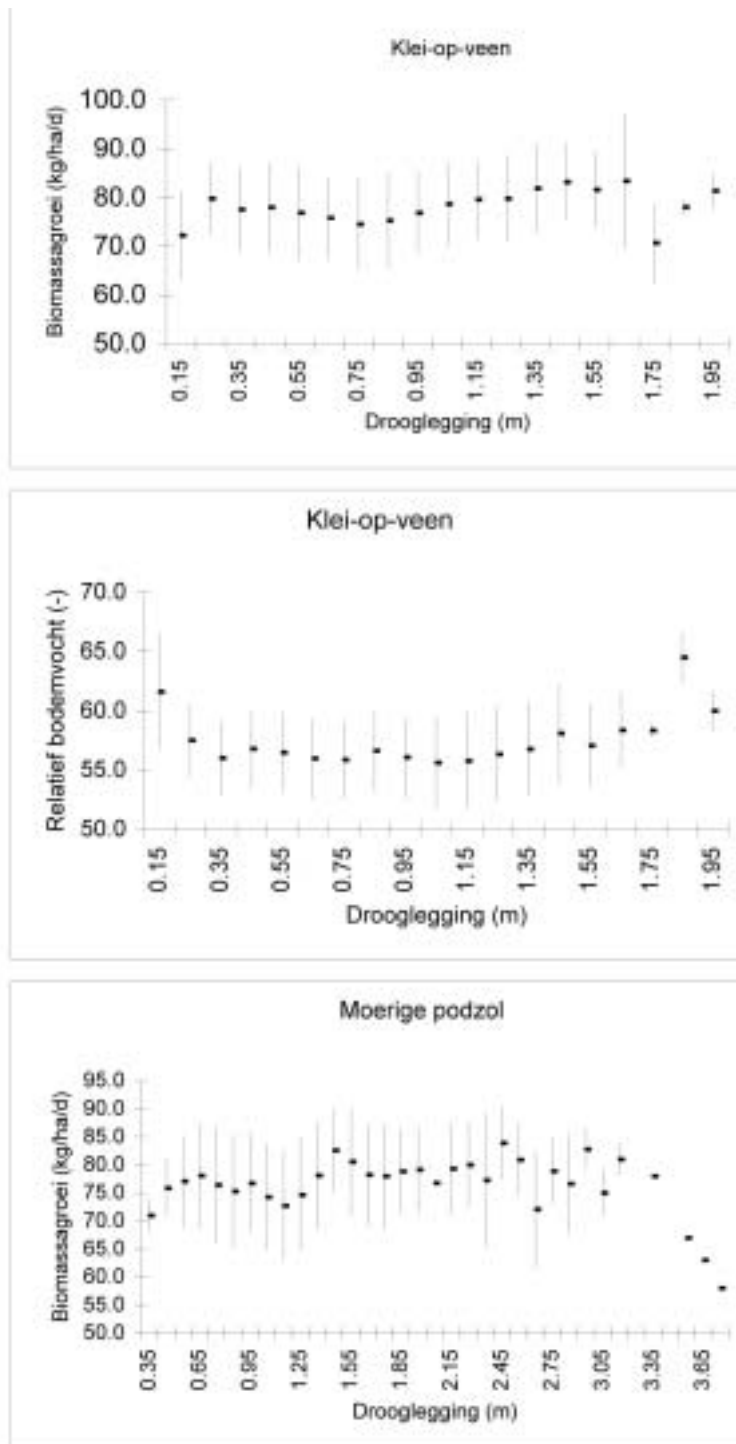


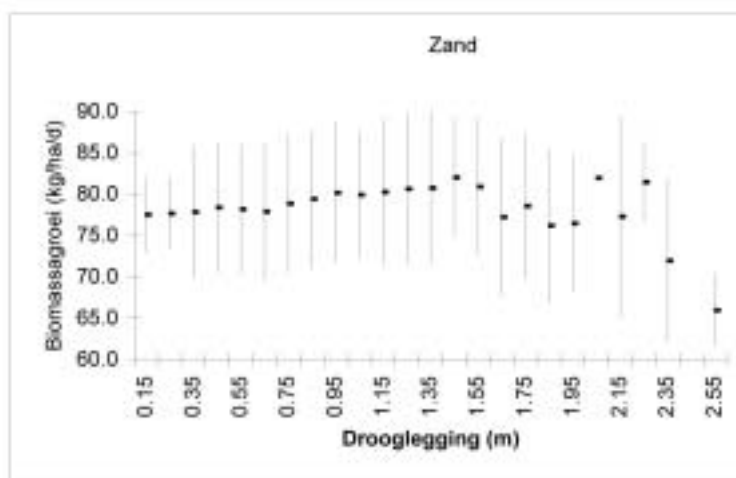
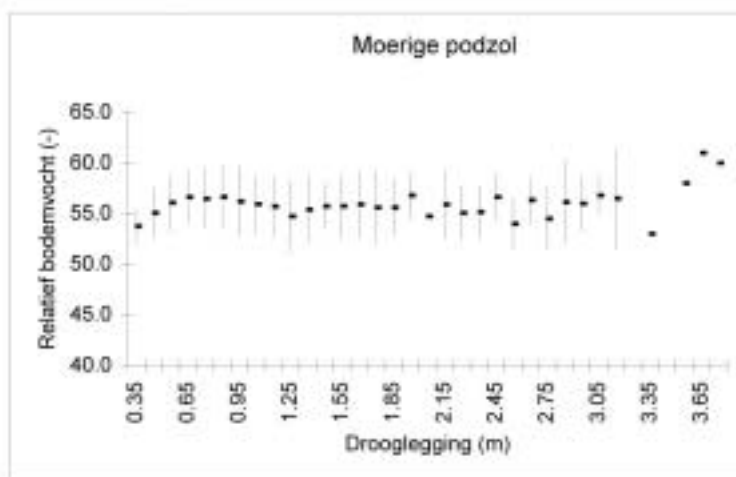
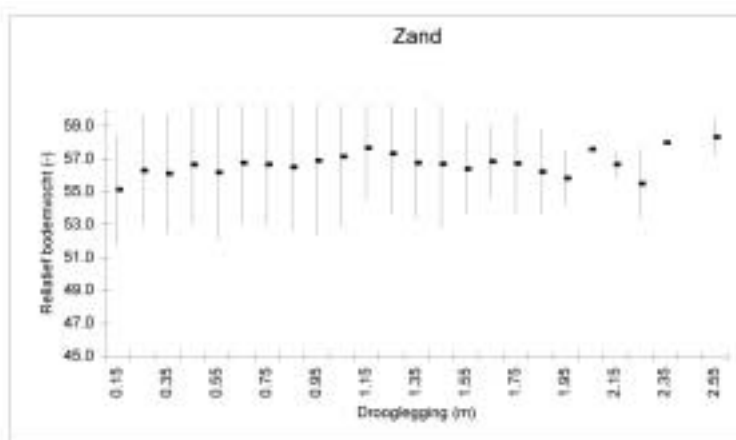


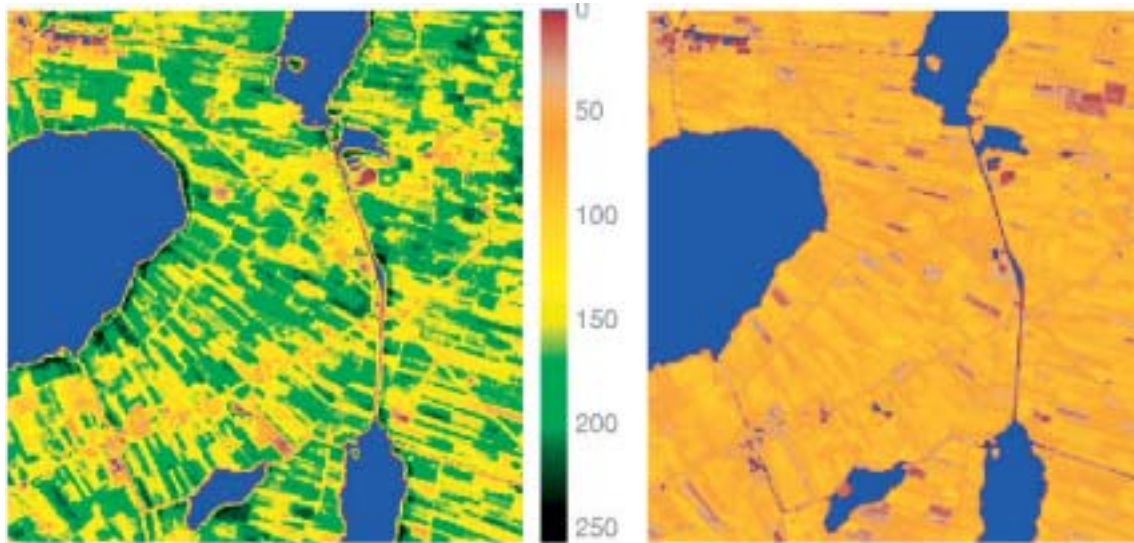
## BIJLAGE 4

# RELATIES TUSSEN GEDISCRETISEERDE DROOGLEGGING EN GEÏNTERPRETEERDE SATELLIETMETINGEN

VOOR 18 OKTOBER 1999







DEEL A: 30 JULI 1999

DEEL B: 18 OKTOBER 1999

PLAAT 1      DETAILPATRONEN VAN DE BOVENGRONDSE BIOMASSAGROEI IN WOLLEGAAST TIJDENS TWEE MOMENTEN IN HET GROEI-SEIZOEN. DEEL A IS HET LANDSAT BEELD VAN 30 JULI 1999 EN DEEL B VAN 18 OKTOBER 1999. DE BIOMASSAGROEI IS UITGEDRUKT IN kg/ha/dag.

PLAAT 2      DROOGLEGGINGKAART VAN DE POLDER WOLLEGAAST ONDER BEHEER VAN WETTERSKIP BOARN EN KLIF (ANNO 2000). DE DROOGLEGGING VARIEERT TUSSEN 0,05 TOT 2,8M EN 95% VAN DE WAARDES LIGT VALT TUSSEN DE 0,20 EN 1,95M.



2



# BODEMVOCHT EN VERDROGINGSBESTRIJDING IN OOST-GELDERLAND

## PILOT STUDIE 3

## INHOUD

	SAMENVATTING	75
1	ALGEMEEN	77
1.1	Probleembeschrijving	77
1.2	Doelstellingen	79
1.3	Geografische uiteenzetting studiegebied	79
2	MATERIAAL EN METHODEN	80
2.1	Gebieden met anti-verdrogingsingrepen	80
2.2	Huidige meetgegevens	82

2.3	Materiaal	83
2.4	Methoden	84
3	RESULTATEN	86
3.1	Regenval	86
3.2	NOAA 2	87
3.3	Landsat	95
3.4	Verschillen met conventionele methoden	97
4	TOEPASSINGEN VAN REMOTE SENSING IN HET WATERBEHEER	100
4.1	Vorbereiding anti-verdrogingsingrepen	100
4.2	Monitoren anti-verdrogingsingrepen	100
5	BLIJVENDE BEPERKINGEN	102
	LITERATUURLIJST	104
	BIJLAGEN	
1	GEMETEN GRONDWATERSTAND VAN ENKELE ANTI-VERDROGINGSPROJECTEN IN OOST GELDERLAND	107
2	BODEMVOCHTMETINGEN VERRICHT DOOR TIME DOMAIN REFLECTOMETER INSTRUMENTEN BIJ MAATSCHAP FOKKINK NABIJ LANDGOED DE WIERSSE	111

# SAMENVATTING

Remote sensing kan geen grondwaterstanden meten, maar wel een schatting van het bodemvochtgehalte in de wortelzone maken<sup>1</sup>. Er is een kaart van het vochtgehalte in de bovengrond voor augustus 1995 gemaakt waarop droogtegevoelige- en natte gebieden te vinden zijn. De zomer van 1995 was uitzonderlijk droog en als het bodemvochtgehalte aan het einde van de zomer nog steeds hoog is, duidt dat op aanwezigheid van kwel. De hoge/lage gedeeltes van Oost Gelderland zijn duidelijk herkenbaar, alsmede de effecten van landgebruik en bodemtype. Of het bodemvocht voldoet aan het gewenste regime kan niet worden beoordeeld omdat vochtminnende plantensoorten, bossen en landbouw verschillende eisen hebben. Door het ontbreken van een referentiekader kunnen remote sensing beelden van bodemvocht niet worden gebruikt om vast te stellen of een gebied aan verdroging leidt. Wel kan kwantitatief worden bepaald wat de natheid van de bovengrond is en of een gebied droger of natter wordt.

Er is een bodemvocht herstelkaart voor het gehele gebied van Waterschap Rijn en IJssel voor de periode tussen 1995/96 en 2002/02 gemaakt. Gebieden met veranderingen zijn geïdentificeerd. De bodemvocht herstelkaart is genormaliseerd met het gemiddelde bodemvocht van een typisch dekzand landschap ter grootte van 8100 ha. Dit is een methode om klimatologische effecten op veranderende bodemvochtgehalten te vereffenen. Het vertelt niets over de oorzaken waarom het vochtgehalte in de bodem verandert.

Voor een aantal door het Waterschap uitgevoerde anti-verdrogingsprojecten zijn de veranderingen van het gemiddelde bodemvocht op een schaal van 1 km over het zomerhalfjaar voor de periode tussen 1995 t/m 2002 bestudeerd. Het blijkt dat het genormaliseerde bodemvocht in Zelledijk elk jaar 1.5 % hoger wordt ( $R^2 = 0.96$ ) en dat het vochtgehalte bij 't Zand en de Varsselse enk systematisch afneemt (respectievelijk  $R^2 = 0.74$ ;  $0.69$ ). Omdat de meeste ingrepen in de periode 1998-2001 plaats vond, is er een langere NOAA tijdreeks gemaakt om de gevolgen na genoemde periode te detecteren. De veranderingen zijn groter dan de onnauwkeurigheden van de remote sensing methode. Van de in totaal 7 onderzochte anti-verdrogingsgebieden, kan er voor 1 worden vastgesteld dat het gebied natter wordt, voor 2 gebieden dat het droger wordt en voor 4 gebieden dat er geen wijziging optreedt. Omdat veranderingen in bodemvocht niets over ecologisch herstel zegt – en er ook gebiedsvreemd water kan zijn aangevoerd – kan het hydrologische herstel in stikte zin niet worden geëvalueerd.

Voor de bepaling van bodemvocht condities op specifieke percelen en terreinen, kunnen Landsat beelden met een resolutie van 30 m worden gebruikt. Een vergelijking van bodemvocht patronen tijdens een typische uitdroging in mei 2000 geeft een scherpe overgang

<sup>1</sup> Voor methode en nauwkeurigheden, zie hoofdrapport STOWA studie



tussen anti-verdrogingsgebieden en hun omgeving weer. De anti-verdrogingsgebieden worden nauwelijks droger terwijl de omgeving snel uitdroogt. Daaruit kan niet worden afgeleid of het anti-verdrogingsgebied natter is geworden ten gevolge van kunstmatige ingrepen (het kan historisch al natter zijn geweest). De resultaten worden beïnvloed door de verschillende vormen van landgebruik en in vervolgstudies moet daar voor worden gecorrigeerd.

Metingen van de NOAA satelliet worden vanaf het begin van de jaren 80 geregistreerd en zijn dus geschikt om achteraf een lange tijdserie van het bodemvochtgedrag voor geheel Nederland te reconstrueren. Dit is een voordeel, omdat in de praktijk vaak pas bij aanvang van een project met meten begonnen (kan) word(en)t en er dus geen langere historische basis is.

De natheid van een gebied wordt doorgaans in grond- of oppervlaktewaterstanden uitgedrukt. Grondwaterstandfluctuaties vertonen ook klimatologische effecten, en zijn dus niet bij voorbaat de beste oplossing voor het evalueren van vernatting. Bovendien hebben grondwaterstanden in een hellend gebied zoals Oost Gelderland een zeer lokaal karakter. Het monitoren van km-hokken heeft het voordeel dat een geïntegreerde waarde voor heterogene landoppervlakten in geaccidenteerd terrein kan worden gekregen. Het beoordelen van anti-verdrogingsingrepen op basis van veranderingen in bodemvocht is extra informatie ten opzichte van informatie over grondwaterstandfluctuaties. Anti-verdrogingsdeskundigen dienen de toegevoegde waarde van bodemvocht als standplaatsfactor voor het bestrijden van verdroging op regionale schaal te evalueren.

# 1

## ALGEMEEN

### 1.1 PROBLEEMBESCHRIJVING

Een beleid gericht op snelle ontwatering en grondwater onttrekking voor de landbouw, drinkwatervoorziening en de industrie, hebben de grondwaterstand in Oost Nederland gedurende de afgelopen 50 jaar systematisch doen laten dalen. Er wordt minder water in het gebied geborgen. Dit leidt in het dekzandlandschap van de Achterhoek tot watertekorten, voor zowel landbouw, bosbouw en natuurterreinen. In het beheersgebied van Waterschap Rijn en IJssel liggen 36 verdroogde natuurgebieden en de landbouw meldt dat het tekort aan grondwater voelbaar is.

Als reactie op deze problematiek wordt er in de Vierde Nota Waterhuishouding (1997) dan ook het landelijke doel gesteld dat in 2010 voor 40% van de natuurterreinen, de verdroging moet zijn teruggedrongen t.o.v. de situatie in 1985. Er is een landelijke inventarisatie van verdroogde gebieden en projecten verdrogingsbestrijding opgesteld die sinds 1994 kaarten van de toestand van de verdroging uitbrengt. De laatste verdrogingskaart van Gelderland dateert van 2000 en is weergegeven in Figuur 1.

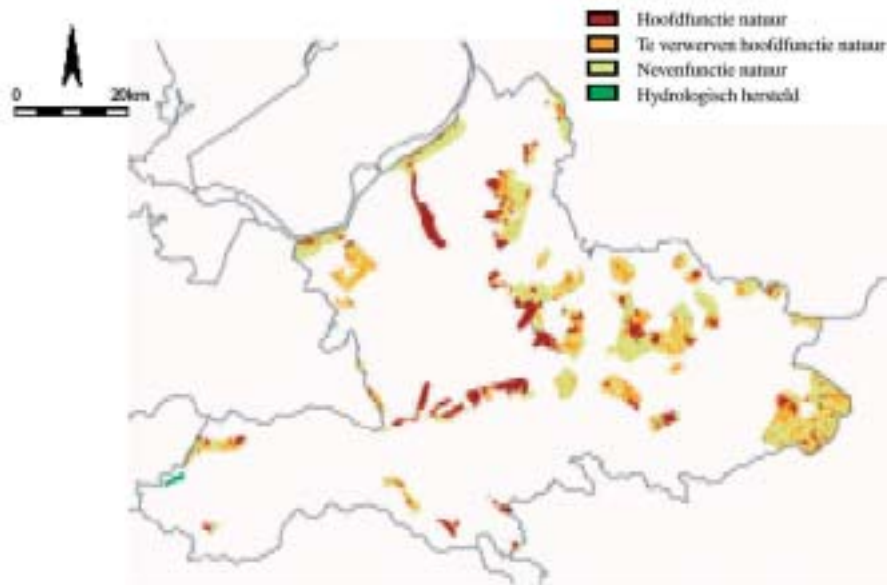
#### KADER 1

#### JARGON VERDROGING EN VOCHTTEKORT

Vochttekort in de landbouw ontstaat door lagere grondwaterstanden, gedurende het groeiseizoen, een afnemend bodemvochtgehalte. Hierdoor ontstaat een tekort aan vocht voor een maximale productie van landbouwgewassen.

Verdroging van de natuur is schade aan land- en waternatuur als gevolg van te lage grondwaterstanden, vermindering van kwelstromen of het droogvallen van wateren. Verdroging betreft expliciet de natuur. BRON WATERSCHAP RIJN EN IJSSEL

Ter bestrijding van de verdroging zoals gedefinieerd in kader 1, dient de grondwaterstand en het vochtgehalte in de onverzadigde te stijgen, zodanig dat karakteristieke grondwaterafhankelijke ecologische waardes floreren. Als voor bestrijdingssymptoom water van onvoldoende kwaliteit moet worden aangevoerd, dan wordt dit ook als verdroogd aangemerkt. In door het waterschap aangewezen anti-verdrogingsgebieden zijn de volgende maatregelen mogelijk: het verhogen van de drainagebasis door middel van stuwen of bodemophoging en het infiltreren van water van elders.



FIGUUR 1 STANDAARDKAART VOOR 2000, OPGESTELD DOOR DE PROVINCIE GELDERLAND EN RIJKSINSTITUUT VOOR INTEGRAAL ZOETWATERBEHEER EN AFVALBEHANDELING (RIZA)

Er is technische tevredenheid als het gebied natter wordt, cq. de grondwaterstand en het bodemvochtgehalte stijgen tijdens het groeiseizoen, maar op een zodanige manier dat dit door de boeren (landbouw), boswachters (bosbouw) en natuurbeheerders geaccepteerd wordt. Er is niet altijd een streefpeil of een ander hard meetbaar getal dat wordt nagestreefd. In samenspraak met de betrokken agrariërs wordt bekeken welk peil maximaal mogelijk is, zonder dat er schade aan de landbouw optreedt, en toch het aantal verdroogde gebieden kan worden teruggebracht. Dit is hydrologisch herstel. De gevolgen van een hogere grondwaterstand voor de bedrijfsvoering wordt uitgedrukt in gewasopbrengst, soortensamenstelling van grassen, bereidbaarheid/draagkracht van percelen en grondwaterkwaliteit. Om uitspraken te doen over het effect van de maatregelen worden de eerste jaren na het uitvoeren van een vernattingsproject de grondwaterstanden intensief gemeten.

De reactie in de vorm van natuurwaarden is het ecologische herstel. Het monitoren van kwelafhankelijke of vochtminnende plantensoorten zijn dan indicatief voor vochtiger omstandigheden. Omdat dit niet op systematische wijze wordt vastgelegd, is het moeilijk, dan wel onmogelijk, een kwantitatieve tijdserie te genereren. Een eerste stap op weg naar een betere monitoring van anti-verdrogingsprojecten wordt gegeven door het Nationaal Onderzoek Verdroging (1999).

De in dit rapport beschreven remote onderzoek heeft alleen betrekking op hydrologisch herstel omdat ecologisch herstel op voorhand niet met remote sensing detecteerbaar is. Omdat remote sensing niet de grondwaterstand kan meten, wordt de aandacht op het vochtgehalte van de bodem gelegd. In veel gevallen is het vochtgehalte op fysische wijze gekoppeld aan de grondwaterstand (anders zou de grondwaterstand in algemene zin niet als een standplaats factor kunnen worden gebruikt).

Het optimaliseren van de meetinspanning rondom verdrogingsbestrijding wordt wenselijk

geacht om ingrepen te onderbouwen en de gevolgen over een langere periode te kunnen evalueren. In deze studie zal worden nagegaan of remote sensing schattingen van bodemvocht een aanvulling zijn op traditionele data. De basis gedachte is dat een natter wordende bovengrond verdroging in landbouw en natuur doet afnemen.

## 1.2 DOELSTELLINGEN

In het project wordt onderzocht of ruimtelijke informatie over neerslag uit regenradarbeelden en bodemvocht uit satellietbeelden mogelijkheden biedt om de gevolgen van verdrogingsbestrijding in Oost Gelderland beter te kwantificeren. Het is nadrukkelijk niet de bedoeling om veldmetingen te vervangen. Er zal worden nagegaan of deze remote sensing informatie toegevoegde waarde geeft op de huidige informatievoorziening met grondwaterstanden (hydrologisch herstel). De regenradar beelden zijn gebruikt om de ruimtelijke verschillen in regenval te beschrijven.

De algemene doelstelling van deze pilot studie luidt:

Optimaliseren van de meetinspanning om het effect van verdrogingsbestrijding vast te stellen.

De specifieke doelstellingen luiden:

- Bruikbaarheid van remote sensing bodemvocht technieken toetsen om de gevolgen van waterconserving op het hydrologisch herstel over een langere periode te kwantificeren.
- Waterschapsbrede bodemvocht patronen in kaart brengen.
- Evalueren van anti-verdrogingsprojecten rondom de benedenloop van de Baakse Beek en rondom pompstation 't Klooser.

## 1.3 GEOGRAFISCHE UITEENZETTING STUDIEGEBIED

Waterschap Rijn en IJssel beheert een gebied van 200,000 ha in Oost-Gelderland (Achterhoek en Liemers); het zuid-oostelijk deel van de Veluwe en het zuiden van Overijssel. Op de Veluwezoom na, vormt de IJssel de westelijke grens van het beheersgebied.

Samen met Twente, Salland en grote delen van Drenthe, maakt de Achterhoek deel uit van het Oostnederlands dekzandlandschap. Het kleinschalige, bosrijke en verspreide hoeven landschap is kenmerkend voor dit gebied. Het landgebruik laat zich het best kenmerken door grasland en maïspcelen afgewisseld met verspreide bosopstanden. Geologisch gezien is het gebied een opgevuld gletsjerbekken. Het voor dekzanden typerende reliëf is opgebouwd uit afwisselende ondiepe, deels afvoerloze laagten en zacht glooiende, lage en langgerekte ruggen en koppen. De beekdalen zijn relatief natte gronden. De hogere delen zoals de Lochemse berg en Montferland raakten in het Holoceen bedekt met bos. In de afvoerloze laagten trad veenvorming op, terwijl langs de beken klei werd afgezet. Het meest voorkomende bodemtype is een veldpodzolgrond. De Liemers bestaat vooral uit polder- en ooi-vaaggronden.

De belangrijkste beken in het gebied zijn de Berkel, de Schipbeek, de Baaksebeek, de Slinge en de Bielheimerbeek. De beekdalen hebben vaak een GT III (GHG<40 cm, 80<GLG<120 cm) en de bosgebieden een GT VI, VII of nog droger (GHG>80, GLG>120). Het bekenstelsel watert op de IJssel af. Er zijn in het gebied 3500 km watergangen, 26 gemalen en honderden stuwen.

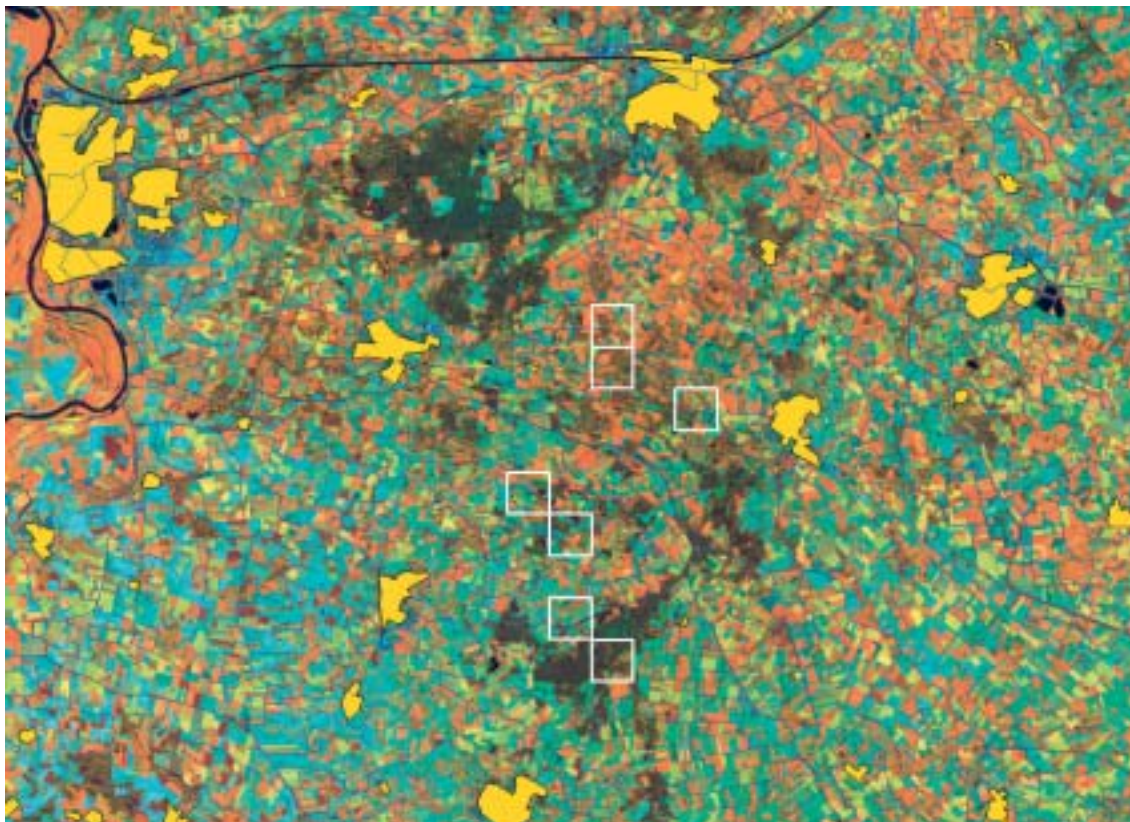
# 2

## MATERIAAL EN METHODEN

### 2.1 GEBIEDEN MET ANTI-VERDROGINGSINGREPEN

Beekdalen in een geaccidenteerd terrein zijn vaak kwelgebieden en trekken het grondwater vanuit de hoger gelegen ruggen naar zich toe. Van oudsher zijn deze kwelgebieden te nat voor het uitoefenen van landbouw, derhalve zijn bossen en lomrijke landgoederen gevestigd in deze gebieden. De dalende grondwaterstanden – ook in de hoger gelegen delen – hebben er toe geleid dat kalkrijke kwelstromen afnamem.

Dit onderzoek richt zich op het analyseren van de effecten van anti-verdrogings maatregelen in de benedenloop van de Baakse Beek enerzijds en rond de drinkwateronttrekking 't Klooster anderzijds (zie Figuur 2). De False Colour Composite van Figuur 2 is gebaseerd op een infrarode band 4 (rood afgebeeld), nog een infrarode band 5 (groen afgebeeld) en een zichtbare band 3 (blauw afgebeeld) om verschillen in landgebruik en vochtsituaties voor het menselijk oog detecteerbaar te maken. De bosgebieden zijn donkerbruin, de graslandpercelen oranje-rood en kale grond is blauw.



FIGUUR 2 FALSE COLOUR COMPOSITE (FCC) GEBASEERD OP DE LANDSAT-7 OPNAME VAN 14 MEI 2000 VAN HET BEHEERSGEBIED VAN WATERSCHAP RIJN EN IJSSEL. DE ANTI-VERDROGINGSGEBIEDEN DIE IN DEZE STUDIE SPECIFIEK WORDEN ONDERZOCHT ZIJN ALS WITTE 1 KM HOKKEN WEERGEGEVEN.

De Baakse beek ontstaat op het Oost-Nederlandse plateau en stroomt van zuidoost naar noordwest. Als gevolg van de ruilverkaveling Aalten-Lichtenvoorden begin jaren '60, verdween het bergend vermogen (de sponswerking) van de veengebieden in het bovenstroomse gebied van de Baakse beek. Nu is de Baakse beek 6 maanden per jaar droog (Bosgroep, 1999).

Bij het verdrogingsbestrijdingsproject 't Zand nabij onttrekkingspunt 't Klooster wordt water uit de Veengoot ingelaten. Op deze manier wordt een deel van de hoeveelheid water dat onttrokken wordt uit het grondwater aangevuld met oppervlaktewater. Hierdoor is de grondwaterstanddaling en het intrekgebied kleiner. Het verdroging bestrijdingsproject is vanaf 1998 in uitvoering.

De gebieden met anti-verdrogingsingrepen zijn toegekend aan het standaard 1 km grid van de Rijksdriehoeksmeting. Figuur 2 geeft weer dat deze hokken zijn gelegen in het gebied tussen Lochem (NO), Ruurlo (ZO), Hengelo (ZW) en Warnsveld (NW). Er is gekozen voor 1 km-hokken omdat dit met de pixel grootte van de NOAA satelliet overeenkomt (zie sectie 2.3.1). Een samenvatting van de aard van de ingrepen is weergegeven in kader 2.

## KADER 2

#### GEKOZEN ANTI-VERDROGINGSGBIEDEN VOOR DE HUIDIGE REMOTE SENSING STUDIE

##### 'T SPALDER

Km-hok 223.5 - 458.5 herbergt traditioneel natte vegetatie en ligt net ten zuiden van de Wildenborch. De Baakse Beek loopt dwars van oost naar west door dit gebied heen.

Er hebben in 2000 geen vernattingsmaatregelen plaatsgevonden, maar het is wel de bedoeling dit in de nabije toekomst te gaan uitvoeren.

##### 'T MEDLER

't Medler ligt benedenstrooms van de Wiersse aan de Baakse beek. In kilometer hok 223.5 - 457.5 rondom het Elsenbos en Huize 't Medler hebben gedurende 2000 daadwerkelijk verdrogingsbestrijdingsmaatregelen plaats gevonden. De peilen zijn opgezet in een groot deel van het hok en rabatten zijn volgepompt met behulp van een pomp. Vanaf 6 april 2000 is er gestart met vernatten. Eind september 2000 zijn de stuwen weer omlaag gezet en is gestopt met het inlaten van water.

##### DE WIERSSE

In km-hok 225.5 - 456.5 van de kleine Wiersse was er in 1999 geen wateraanvoer in de watergangen ten noorden en zuiden van de Baakse Beek. In 2000 was dat wel het geval, maar er zijn in tegenstelling tot 't Medler geen peilen opgezet. De intensiteit van de ingrepen is dus minder. De eigenaar beheert de stuwen.

##### HELDERBOOM

Het km-hok 221.5 - 454.5 rond de Helderboom en 't Stapelbroek is een typisch graslandgebied in een beekdal.

##### ZELLEDIJK

Het km-hok 222.5 - 453.5 bestaat uit een natuurgebied in een beekdal. Er wordt getracht kwelfluxen in het doelgebied te laten toenemen door grondwaterstanden in het ingreepgebied te laten stijgen door infiltratie van water.

**VARSELSE ENK**

Het km-hok 222.5-451.5 van de Varselse Enk laat zich het beste karakteriseren door een bijna jaarrond hangwaterprofiel en een landbouwkundig gebruik. Dit gebied ligt binnen de invloedssfeer van het pompstation en verdrogingsbestrijdingsproject 't Klooster.

**'T ZAND**

Het gebied omsloten in km-hok 223.5 - 450.5 en bestaat voornamelijk uit het naaldbos van 't Olde Schot en 't Zand.

**TABEL 1** GEBIEDEN WAAR VERDROGGINGSBESTRIJDINGSMAATREGELEN ZIJN GETROFFEN

Km-hok	Gebied	Start ingrepen	Aard ingrepen
223.5 - 458.5	't Spalder	2001	onbekend
223.5 - 457.5	't Medler	2000	peilen opzetten, inundatie
225.5 - 456.5	de Wiersse	2000	extra water aanvoer
221.5 - 454.5	Helderboom	1998	onbekend
222.5 - 453.5	Zelledijk	1998	infiltratie
222.5 - 451.5	Varselse Enk	1998	onbekend
223.5 - 450.5	't Zand	1998	wateraanvoer

## 2.2 HUIDIGE MEETGEGEVENS

Het Waterschap meet de resultaten van het vernattingsproces d.m.v. peilbuizen. Grondwaterstandsmetingen van enkele peilbuizen zijn opgenomen in Bijlage 1. Het waterschap neemt tweewekelijks grond- en oppervlaktewaterstanden op een groot aantal locaties in het projectgebied op. In een aantal peilbuizen wordt daarnaast tweemaal per jaar de grondwaterkwaliteit bemonsterd. De kwaliteit van het oppervlaktewater op een aantal vaste locaties wordt maandelijks gecontroleerd.

Meten van de grondwaterstand m.b.v. peilbuizen heeft naast voordelen ook beperkingen:

- het geeft geen informatie over het bodemvocht dat beschikbaar is voor planten;
- het is een dure manier van meten (automatische drukopnemer: €1200; uitleesunit €500);
- het geeft slechts puntinformatie hetgeen in een hellend gebied een beperkte waarde heeft;
- er is een lange reeks nodig om specifieke effecten ten gevolge van vernatting te kunnen isoleren van andere effecten

Anti-verdrogingsingrepen hebben het algemene doel grondwaterstanden te verhogen (zie kader 1) en de daaraan gekoppelde natuurwaarde te verhogen. Bij een succesvolle ingreep neemt het bodemvocht en de verdamping toe. De vochtigheid van een bodem is moeilijk te meten omdat daarvoor dure automatische meetsystemen noodzakelijk zijn (logger: € 1400; 1 sensor: € 800). Er worden door Waterschap Rijn en IJssel geen systematische bodemvochtmetingen verzameld. In het kader van een onderzoeksproject naar omgang met vernatting, heeft Alterra gedurende de periode 1998 t/m 2000 automatische bodemvochtmetingen rondom de Wiersse en de Wildenborch uitgevoerd (PROJECTGROEP OMGAAN MET VERNATTING,

2000). Enkele resultaten van deze bodemvochtmetingen van de Wiersse zijn opgenomen in Bijlage 2. Er zijn twee verticale vochtprofielen continue gemeten. Het ene vochtprofiel lag op de esgrond en de andere in het dal. Ook op de Wildenborch is een dergelijke serie verzameld. Het bodemvocht is eerst gemiddeld over een diepte van 0 - 62.5 cm -m.v. en vervolgens vertaald naar wekelijks gemiddelde waarden. Een diepte van 62.5 geeft de situatie in de wortelzone van een heterogeen hoevenlandschap weer.

Het ecologische herstel is gebaseerd op behoud en toename van natuurwaarden. De verdrogingskaart wordt opgesteld aan de hand van groei- en standplaatsfactoren. Het beoordelen van natuurwaarden is vrij subjectief waarbij een flink portie 'expert judgement' van de terreinbeheerder komt kijken.

## 2.3 MATERIAAL

### NOAA GEGEVENS

In het geval van een geslaagde verdrogingsbestrijding, zal het bodemvochtgehalte in de loop der tijd hoger moeten worden dan de gemiddelde situatie. Dit kan slechts worden vastgesteld door een langere tijdserie te nemen waarin verschillende zomer en winters zijn verwerkt. Dit betekent dat er feitelijk over meerdere jaren moet worden gemeten met een interval van een week of minimaal een maand. Voor het vervullen van deze randvoorwaarden komt maar èèn satelliet systeem in aanmerking en dat is de National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) omdat deze dagelijkse opnamen van Nederland maakt. NOAA heeft een thermische Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) met een ruimtelijke resolutie van 1.1 km. Alleen voor onbewolkte dagen kan een goede opname worden gemaakt. Voor de meeste maanden kan in het Nederlandse klimaat wel aan de voorwaarde van 2 tot 3 geslaagde metingen worden voldaan (zie ook andere deel-rapporten).

Voor de vernattinganalyse uit dit deelproject in Oost-Gelderland is gebruik gemaakt van NOAA-AVHRR metingen over de jaren 1995, 1996, 1998, 1999, 2000, 2001 en 2002. Het ontbrekende jaar in deze reeks is 1997. De huidige remote sensing studie zou zich aanvankelijk richten op 1995, 1998 en 1999. Door het beschikbaar zijn van een langere tijdserie bij het opstellen van deze rapportage, zijn meerdere jaren in de tijdserie opgenomen. Dit was noodzakelijk om iets over de situatie na 2000 - toen alle ingrepen plaatsvonden - te kunnen zeggen.

### LANDSAT GEGEVENS

De 1 km grootte NOAA pixels zijn bij voorbaat niet geschikt om het locale effect van een vernattingsingreep in een nauw beekdal op de directe omgeving te beschrijven. Bij wijze van test zijn daarom een tweetal Landsat beelden met 30 m pixels aangeschaft. Er trad een snel drogende periode gedurende mei 2000 op. Deze periode is geschikt om te zien welke percelen, bossen en natuurgebieden nat blijven en welke daadwerkelijk uitdrogen. De volgende beelden zijn aangeschaft en bewerkt:

- Landsat 5 van 6 mei 2000;
- Landsat 7 van 14 mei 2000.

Met de Landsat beelden zijn, eveneens als de NOAA beelden, bodemvochtgehaltenes uitgerekend. De gevolgde rekenmethode en specificaties van de satellieteigenschappen staan



beschreven in het hoofdrapport. Meer informatie is te vinden in BASTIAANSEN ET AL. (1997), BASTIAANSEN (2000) EN SCOTT ET AL. (2003).

## 2.4 METHODEN

Na jaren van remote sensing onderzoek zijn er wisselende successen in het detecteren van bodemvocht bekend, en de nauwkeurigheid zit vooral in de keuze van het elektromagnetische spectrum (zichtbaar, infrarood, microgolven) in relatie tot het landschap (ruwheid, vochtgehalte in vegetatie, bodembedekking). Tabel 2 geeft een beknopt overzicht van de diverse technische mogelijkheden.

In deze studie is gekozen om bodemvocht in de wortelzone te schatten op basis van thermisch infrarode straling. De oppervlaktetemperatuur wordt m.b.v. het SEBAL model eerst vertaald naar de latente energie die gebruikt wordt voor verdamping. De actuele verdamping wordt geregeld via het openen van de huidmondjes. De huidmondjes-weerstand kan op een bio-fysische wijze worden gekoppeld met het bodemvocht in de wortelzone. De huidmondjes zijn namelijk alleen maar open bij een lage potentiaal in plant en bodem, hetgeen overeenkomt met een hoog vochtgehalte. Bij een kale bodem heeft het bodemvocht betrekking op de bovenste paar centimeter waaruit het water direct de atmosfeer in verdamp. De vochtigheid van de bodem ( $\theta$ ) wordt uitgedrukt als een fractie van het bodemvochtgehalte bij verzadiging ( $\theta_{sat}$ ). Omdat het om relatieve waardes gaat, worden fouten over de dichtheid en porositeit van de bodem uitgesloten.

**TABEL 2** BEKNOPT OVERZICHT VAN ALTERNATIEVE MOGELIJKHEDEN OM BODEMVOCHT UIT SATELLIETMETINGEN AF TE LEIDEN (NAAR SCOTT ET AL., 2003)

Spectrum	Advantage	Disadvantage
Passive microwave	<ul style="list-style-type: none"> <li>• All weather conditions technique</li> <li>• Good physical basis</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Soil moisture only retrievable from the top layer and for light vegetation</li> <li>• Large pixel size from satellites</li> <li>• Aircraft acquisitions are expensive</li> </ul>
Active microwave (SAR)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• All weather conditions technique</li> <li>• Good physical basis</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Moisture estimates affected by surface roughness</li> <li>• Aircraft based measurements have a penetration depth limited to a few decimeters</li> <li>• Satellite based measurements are expensive</li> </ul>
Visible	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Simple to operate</li> <li>• Applicable at a range of spatial and temporal scales</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cloud free conditions required</li> <li>• Strong empirical character</li> </ul>
Thermal infrared	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Provides an integrated soil moisture value for the root zone</li> <li>• Good physical basis</li> <li>• Applicable at a range of spatial and temporal scales</li> <li>• Cost effective technique</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cloud free conditions required</li> <li>• Depth of the root zone is variable across an image</li> </ul>

Ofschoon de tijdserie (1995 t/m 2002) kort is om uitspraken over systematische vernatting te kunnen doen, zal er toch een trend analyse in Hoofdstuk 3 worden gedemonstreerd. Het is technisch mogelijk gearchiveerde NOAA beelden vanaf 1982 te gebruiken en achteraf een serie van de laatste 20 jaar over geheel Nederland te vervaardigen. De trend analyse in bodemvocht oriënteert zich op de zomerhalfjaren van 1 april t/m 1 oktober omdat verdroging vooral op het groeiseizoen betrekking heeft.

Traditioneel ingewonnen grondwaterstand informatie wordt vergeleken met de bodemvochtmetingen van Alterra om te begrijpen of er een relatie in deze hydrologisch grootheden zit (Sectie 3.2.1). De dynamiek van de peilbuis wordt vergeleken met de waargenomen variatie in zomerneerslag om aan te tonen hoe groot het klimatologische effect is.

De absolute hoeveelheid regenval en de verdeling in tijd heeft grote gevolgen voor het bodemvocht en de grondwaterstand. Een gekozen beheersgebied kan dus natter worden als gevolg van klimatologische processen en niet door met mensenhand uitgevoerde ingrepen. Dit maakt de evaluatie van anti-verdroging maatregelen tot een moeizame zaak. Om aan het euvel van klimatologische invloeden tegemoet te komen, wordt voorgesteld de bodemvocht waardes van anti-verdrogingsgebieden te vergelijken met de waarde van een sub-regio dat uit een vergelijkbaar landgebruik en bodemopbouw bestaat en aan hetzelfde regenval patroon onderhevig is geweest. De intensiteit van het aantal verdrogingsingrepen in het referentiegebied moet laag zijn om verschillen te kunnen constateren. Na overleg met het Waterschap is het gebied tussen km-hokken 218-227 en 452-460 (8100 ha) aangewezen als een representatieve sub-regio. Er is aangenomen dat de reikwijdte van de vernattingsingreep beperkt is en dus hydrologisch onafhankelijk van de rest van het landschap kan worden beschouwd.

De kracht van de remote sensing methode is dat het regionale situaties op een consistente manier meet. Ter illustratie is het verschil in bodemvochtsituaties tussen 1996 en 2000 uitgerekend. Het bodemvochtgehalte is gemiddeld over het zomerhalfjaar (1 april t/m 30 september). Een pixel van 1.1 x 1.1 km is een fractie van het 8100 ha referentiegebied. Het gemiddelde bodemvocht voor een zeker zomerseizoen,  $\theta_t$ , en een gegeven pixel (x,y), wordt als volgt uitgerekend:

$$\theta_t^{x,y} = \int (\theta(t)/\theta(t)_{sat})^{x,y} dt / \int (\theta(t)/\theta(t)_{sat})^{regio} dt \quad (-) \quad [1]$$

Het bodemvochtherstel  $\Delta_t \theta$  per pixel (x,y) wordt uitgerekend als:

$$\Delta_t \theta^{x,y} = (\theta_{2000}^{x,y} - \theta_{1996}^{x,y}) / \theta_{1996}^{x,y} \quad (-) \quad [2]$$

In deze studie is het gemiddelde van 1995 en 1996 aan het jaar 1996 toegekend.

#### KADER 3

##### UITSLUITEN VAN KLIMATOLOGISCHE EFFECTEN OP VERNATTING

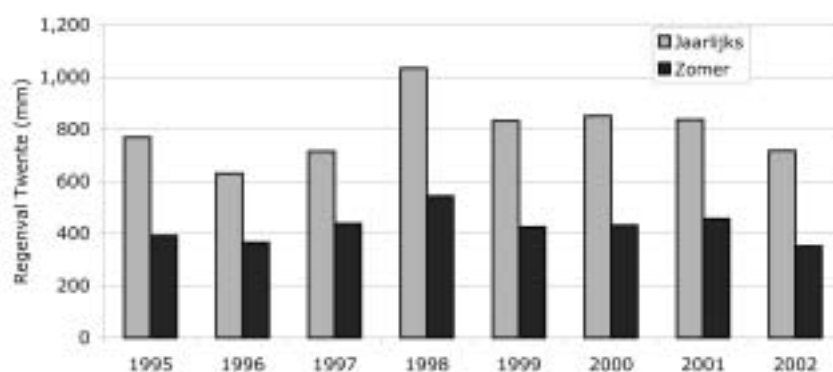
De doelstelling van anti-verdrogingsprojecten is verdroogde natuur- en landbouwgebieden natter te maken dan hun omgeving. Als het bodemvochtgehalte in de wortelzone over een periode van 7 jaar systematisch hoger wordt t.o.v. een sub-regio van 8100 ha dat weinig menselijke ingrepen kent, dan kan worden geconstateerd dat het gebied natter wordt. Daaruit kan niet worden afgeleid of de verdroging volgens de definitie van kader 1 bestreden is.

# 3

## RESULTATEN

### 3.1 REGENVAL

De zomerhalfjaren van 1995 en 1996 waren droog (392 en 365 mm respectievelijk op vliegbasis Twente) terwijl de zomer van 1998 juist erg nat was (543 mm). Zoveel regen als in 1998 komt maar een paar keer per eeuw voor (1033 mm/jr). Het regende niet alleen veel, maar vooral ook vaak want over 1998 waren er maar 2 droge weken over het gehele zomerhalfjaar. Figuur 3 geeft de maandelijkse neerslag over een periode van 7 jaar. Een samenvatting van de statistieken is in Tabel 3 weergegeven.



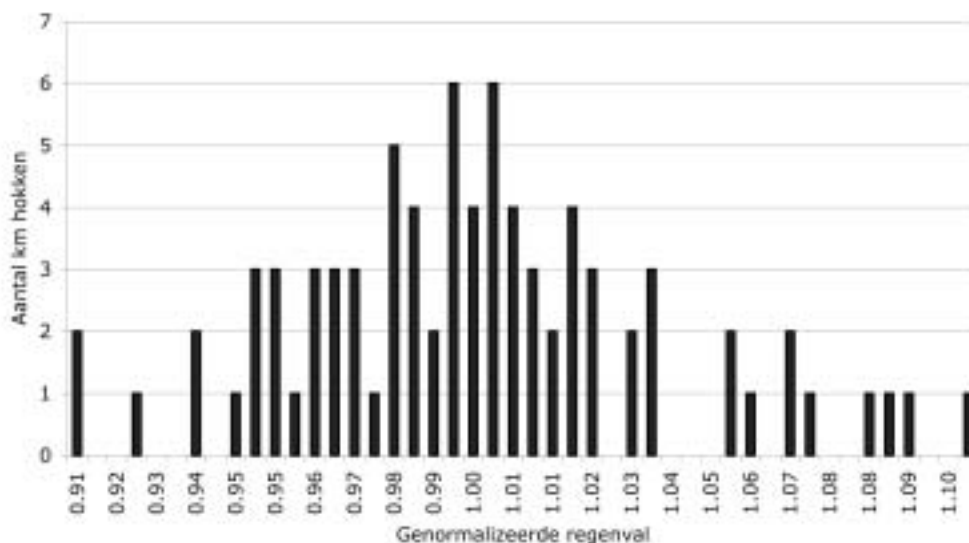
FIGUUR 3 GEMETEN NEERSLAG 1995 TOT 2002 OP HET KNMI STATION VAN VliegBasis TWENTE

TABEL 3 SAMENVATTING REGENSTATISTIEKEN VAN VliegBasis TWENTE

Jaar	Totale zomerneerslag (in mm)	Totale jaarneerslag	Aantal weken zonder regen in het zomerhalfjaar
1995	391.5	768.2	6
1996	365.5	630.3	6
1997	438.1	714.4	3
1998	543.2	1033.4	2
1999	425.0	831.2	3
2000	431.1	850.1	1
2001	456.4	836.2	1
2002	351.8	717.2	1

Om tot verdere conclusies te komen over de verdeling van neerslag over de anti-verdrogingsgebieden, moet de ruimtelijke variatie worden bestudeerd. De regenradarbeelden van het KNMI over de zomerhalfjaren zijn de basis voor het maken van deze analyse. De radarbeelden zijn gekalibreerd met regenmeters voor 2001 en 2002. De regenval analyse van de

8100 ha grootte sub-regio toont aan dat de standaard deviatie voor een zomerhalfjaar kleiner is dan 6 % (zie Figuur 4). De maximale afwijking t.o.v. het regionale gemiddelde is 10 %, zowel 10% minder als 10% meer regenval. Een afwijking van 10% is gelijk aan ongeveer 40 mm extra/minder water over een periode van 6 maanden (<0.4 mm/d). Voor de eenvoud zal verder worden uitgegaan van een homogeen verdeelde neerslag en dat elk van de 81 hokken eenzelfde hoeveelheid neerslag heeft ontvangen.



FIGUUR 4 FREQUENTIEVERDELING VAN DE GESOMMEERDE REGENVAL OVER HET ZOMERHALFJAAR AFGELEID UIT RADARBEELDEN VOOR 2001 EN 2002 VOOR ALLE 81 HOKKEN, GENORMALISEERD VOOR DE GEMIDDELDE REGENVAL VAN DE GEHELE SUB-REGIO ( $N_{X,Y}/N_{GEM}$ )

### 3.2 NOAA

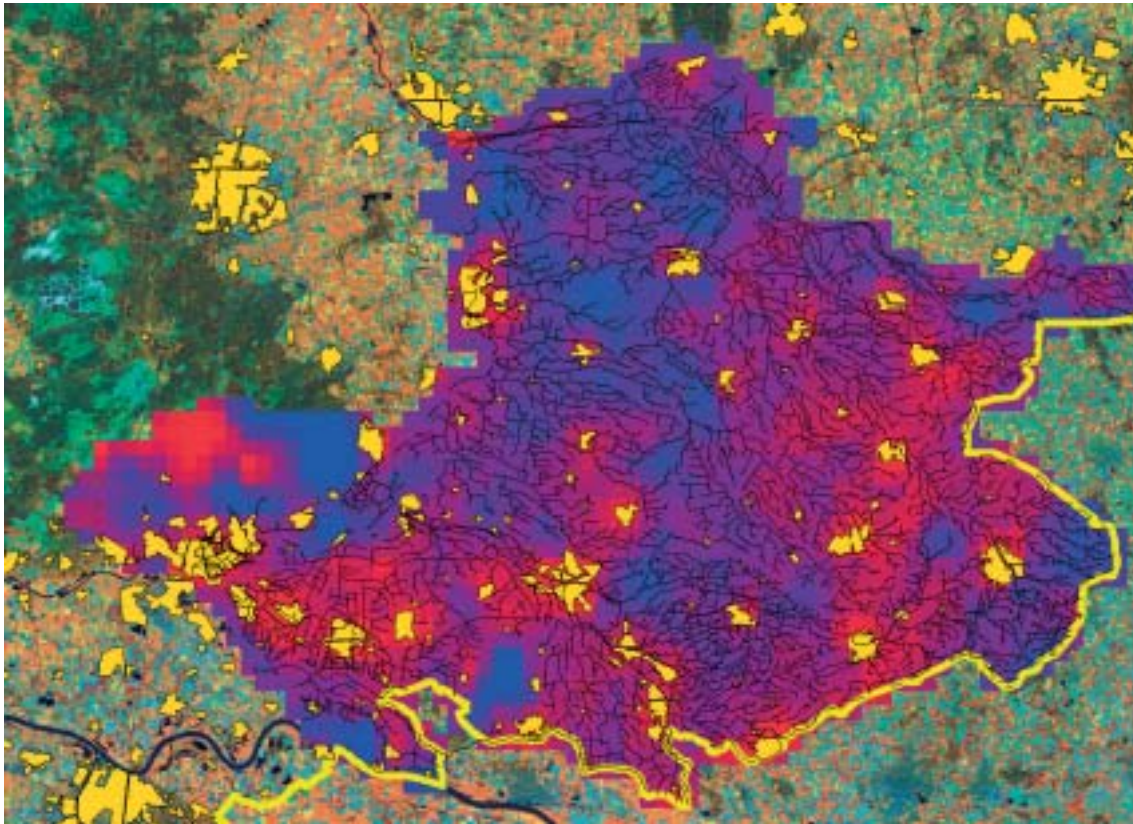
De ruimtelijke en temporele patronen in bodemvocht geven de verandering van het bodemwater-atmosfeer systeem weer. Het vergelijken van verschillen is slechts zinvol als de verschillen de onnauwkeurigheid van de remote sensing techniek overtreffen. De nauwkeurigheid van de remote sensing methode is weergegeven in het hoofdrapport. Het blijkt dat de gemiddelde fout (50% kans) in het schatten van bodemvocht voor buitenlandse condities (Spanje, VS, Mexico, Pakistan)  $0.03 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$  of kleiner is. In 90% van alle gevallen is de fout maximaal  $0.08 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ . Deze fout neemt af als er meerdere beelden in de tijd worden gemiddeld. Dit betekent dat de gemiddelde fout over een groeiseizoen ongeveer  $0.02 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  is. Bij een verzadigd vochtgehalte van  $0.35 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  is dit gelijk aan relatieve verschillen van 6%. Dus ruimtelijke en temporele verschillen die groter dan 6 % zijn, geven een significant verschil weer. Verschillen die kleiner zijn dan 6% liggen in de ruis.

De regionale verschillen in bodemvocht komen het beste tot uiting tijdens een droog jaar. Gebieden die tijdens condities met een aanhoudend neerslagtekort toch nat blijven, zijn typisch gebieden met een grote beschikbare vochtvoorraad zoals bossen en beekdalen. Bossen hebben een diep wortelend systeem zodat ze minder gevoelig zijn voor droogte. Figuur 5 geeft de vochttoestand in augustus 1995 weer (het gemiddelde van week 29 t/m 32 is genomen). Elk individueel pixel herbergt verschillende vormen van landgebruik en bodemtypen. Het bodemvochtgehalte geeft dus de gemiddelde vochttoestand in het land-

schap weer. Het beeld ontstaat dat vooral de hoger gelegen zandruggen een laag vochtgehalte in de wortelzone hebben. Het overwegend landbouwgebied tussen Doetinchem, Aalten en Ulft vertoont ook lage bodemvochtgehalten die niet aan de ruis van de remote sensing methode kunnen worden toegeschreven.

De bossen op de Veluwezoom tussen Velp en Dieren, de Lochemse berg en het Montferland hebben aan het einde van de zomer nog steeds genoeg vocht ter beschikking. Zij zitten allemaal in de klasse van 40 tot 50 % van het vochtgehalte bij volledige verzadiging. Bij een bodemporositeit van zeg  $0.35 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  is dit equivalent aan  $0.16 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  of 160 mm/m bodemkolom. Veluwe bossen met een worteldiepte van 2 meter hebben dan nog steeds 320 mm in het profiel opgeslagen. Ook de landgoederen tussen Lochem en Zutphen zijn vochtig, evenals de natuurterreinen rond de Ratumsche beek ten oosten van Winterswijk. Of dit vochtgehalte ook voldoet aan de eisen van vochtminnende plantensoorten is niet duidelijk. Om daar uitspraken over te kunnen doen moet meer over het gewenste bodemvocht van deze flora bekend zijn en moet er bovendien naar kleine pixels worden gekeken, omdat de vochtminnende soorten niet op een schaal van 100 ha dominant aanwezig zijn. Het is goed mogelijk dat het vochtgehalte voor de vochtminnende soorten ten koste gaat van de vitaliteit van bomen. Wanneer is het dan goed? Het ontbreken van een goede referentiewaarde voor bodemvocht maakt het onmogelijk te concluderen of het landschap nat genoeg is.

De grootste reducties in bodemvocht ontstaan op de rug die de kleigebieden van de Liemers van de hogere zandgronden in het oosten afscheidt. Dit is typisch de as van de bebouwingen van Ulft-Terborg-Doetinchem-Wehl-Didam-Zevenaar-Duiven-Arnhem. Het relatieve vochtgehalte is daar 25 tot 32 %, dat is bij een bodemporositeit van  $0.45 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  voor klei, een absoluut vochtgehalte van ongeveer  $0.14 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ . Dit vochtgehalte is gelijk aan het vochtgehalte van de natte zandgebieden, maar het water is met veel meer potentiaal in de bodem gebonden en dus niet gemakkelijk voor planten beschikbaar. Dit voorbeeld geeft aan dat grondwaterstand niet alles over de hydrologische standplaats kan zeggen. De as met het lint aan bebouwingen lopende van Aalten-Lichtenvoorde-Groenlo en Eibergen vertoont ook een laag vochtgehalte.



FIGUUR 5 REGIONALE SCHAAL BODEMVOCHT CONDITIES IN AUGUSTUS 1995 (WEEK 29 T/M 32). EXTREEM BLAUW KOMT OVEREEN MET 50% EN ROOD MET 25% VAN HET BODEMVOCHT BIJ VOLLEDIGE VERZADIGING.

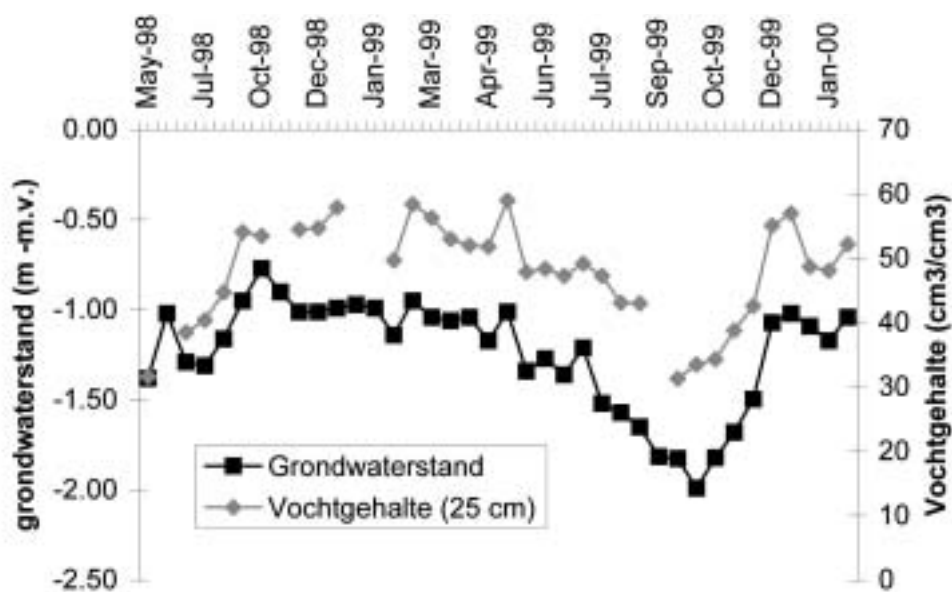
De bodemvochtgegevens van Alterra (PROJECTGROEP OMGAAN MET VERNATTING, 2000) zijn gebruikt om de overeenkomst tussen bodemvocht en grondwaterstand te bekijken. Het maximaal gemeten bodemvochtgehalte op een diepte van 25 en 50 cm is gebruikt als een maat voor de bodemporositeit. De veldmetingen zijn tevens gebruikt om een vergelijking met bodemvocht geschat uit satellietmetingen te maken.

Het dynamische bodemvocht gedrag duidt typisch op een snelle reactie, hetgeen typerend voor waarden nabij het maaiveld is. Bijlage 2 geeft weer dat de verandering op 25 cm diepte groot zijn in vergelijking tot de veranderingen op 75 en 100 cm diepte (beekdal). Dit komt overeen met de veranderingen nabij het maaiveld ten gevolge van infiltratie. Het vochtgehalte op 100 cm diepte is temporeel gezien veel stabiel vanwege een langzame doch stabiele hoeveelheid kwelstroom. Een GT III heeft een GLG tussen 80 en 120 cm diep en de diepste sensor zal dus veelvuldig het verzadigd bodemvochtgehalte meten. Het beekdal heeft een maximum vochtgehalte op 100 cm van  $\theta_{\text{sat}}=0.38 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ . De esgrond komt niet hoger dan

$\theta_{\text{sat}}=0.34 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ , hetgeen kan duiden dat de grondwaterstand dieper dan 100 cm zit, of dat er van een andere bodemporositeit sprake is.

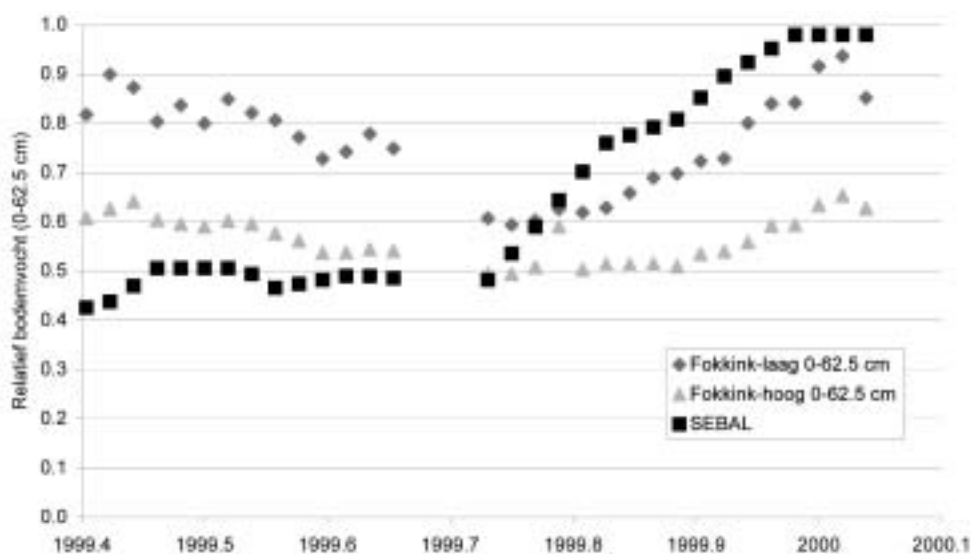
Voor het bodemvochtgehalte in de wortelzone zijn vooral de sensoren op 25 en 50 cm diepte van belang. Het bodemvocht in 1999 vertoont een geleidelijke verlaging over het voorjaar en de zomer; op het einde van de zomer duikt het vochtgehalte in september pas echt omlaag. Helaas zijn er van de Wiersse geen grondwaterstandsmetingen beschikbaar.

Grondwaterstandsmetingen op de nabij gelegen gebieden 't Medler en 't Spalder vertonen echter hetzelfde gedrag. Omdat de locaties verschillen, kan een kwantitatieve analyse niet worden uitgevoerd, maar kwalitatief blijkt dat het bodemvocht in de wortelzone een goede overeenkomst vertoont met het verloop van de grondwaterstand. Een samenvatting hiervan is weergegeven in Figuur 6. Er kunnen nu twee belangrijke conclusies worden getrokken: (i) het bodemvochtgehalte en grondwaterstand zijn bij ondiepe grondwaterstanden sterk aan elkaar gekoppeld (dat is ook wat op theoretische gronden valt te verwachten) en (ii) veranderingen in het bodemvocht hebben bij een ondiepe grondwaterstand betrekking op veranderingen in de grondwaterstand. Dit betekent niet dat veranderingen van de grondwaterstand uit veranderingen van bodemvocht kunnen worden afgeleid omdat deze relatie plaats afhankelijk is.



FIGUUR 6 VERLOOP VAN GRONDWATERSTAND OP 'T MEDLER EN HET BODEMVOCHTGEHALTE VAN HET BEEKDAL IN DE WIERSSE. BEIDE PARAMETERS ZIJN GEBASEERD OP VELDMETINGEN.

De vergelijking met remote sensing metingen voor 1999 is weergegeven in Figuur 7. Er is een zomer - winterpatroon zichtbaar in zowel de veld- als de remote sensing metingen. Het relatieve bodemvocht ligt in de zomer van 1999 veelvuldig tussen de 40 en 60 %, terwijl dat voor de wintermaanden naar 70 tot 90 % oploopt. In het voorjaar liggen de remote sensing schattingen van bodemvocht in de buurt van de hoger gelegen esgrond, terwijl in het najaar en winter het vochtgehalte uit remote sensing meer het gedrag van een beekdal vertoont. Omdat er een aanzienlijke vochtverschillen tussen de vlak bij elkaar ( $\pm 200$  m) verzamelde bodemvochtprofielen bestaat, en elke meting een geringe representativiteit heeft, is het niet mogelijk een rechtstreekse vergelijking tussen de remote sensing schatting en de veldmetingen te maken. Hiervoor dient een speciaal experiment met veel tegelijkertijd opererende bodemvochtsensoren te worden ontworpen.



FIGUUR 7 BODEMVOCHT GEMETEN DOOR ALTERRA NABIJ DE WIERSSE EN GESCHAT VANUIT DE NOAA SATELLIET VOOR KM-HOK 225, 457

De remote sensing resultaten van het bodemvocht van de in Tabel 1 gespecificeerde km-hokken is weergegeven in Tabel 4. Het blijkt dat 't Spalder en 't Medler vaak tot de gebieden met het hoogste bodemvocht in de zomerperiode behoren ( $\geq 51.5\%$ ). Tabel 5 in sectie 3.4 confirmeert dat 't Spalder inderdaad een zeer ondiepe grondwaterstand heeft. Maar voor 't Medler is dit niet het geval (zie Figuur 6). Dit betekent dat de relatie tussen bodemvochtgehalte en grondwaterstand standplaats afhankelijk is en dat dus grondwaterstand niet uit het bodemvochtgehalte kan worden afgeleid. Het verschil tussen jaren onderling is aanzienlijk, vooral het verschil tussen 2001 en 2002 is niet verklaarbaar. Er zijn helaas geen peilbuismetingen voor 2001 en 2002 beschikbaar om dit te verifiëren.

TABEL 4 RELATIEF BODEMVOCHTGEHALTE IN DE WORTELZONE GEMIDDELD OVER HET ZOMERHALFJAAR

	223,500	223,500	225,500	221,500	222,500	222,500	223,500	
	458,500	457,500	456,500	454,500	453,500	451,500	450,500	8100 ha
	'T SPALDER	'T MEDLER	DE WIERSSE	HELDERBOOM	ZELLEDIJK	VARSSELSE ENK	'T ZAND	SUB -REGIO
zomer 1995	40.4	41.9	38.3	38.2	37.1	41.3	44.3	38.6
zomer 1996	58.0	57.1	55.7	53.7	50.7	53.6	55.5	53.0
zomer 1998	57.5	57.4	58.3	58.7	56.7	58.0	62.3	57.4
zomer 1999	57.5	55.7	58.7	55.4	58.1	56.0	59.9	57.4
zomer 2000	47.1	45.1	43.1	43.1	43.1	42.2	43.1	42.5
zomer 2001	34.2	34.6	35.3	33.7	35.4	31.1	35.0	34.3
zomer 2002	68.1	69.0	64.9	65.6	65.5	60.6	62.0	62.8
<b>gemiddeld</b>	<b>51.8</b>	<b>51.5</b>	<b>50.6</b>	<b>49.8</b>	<b>49.5</b>	<b>49.0</b>	<b>51.7</b>	<b>49.4</b>

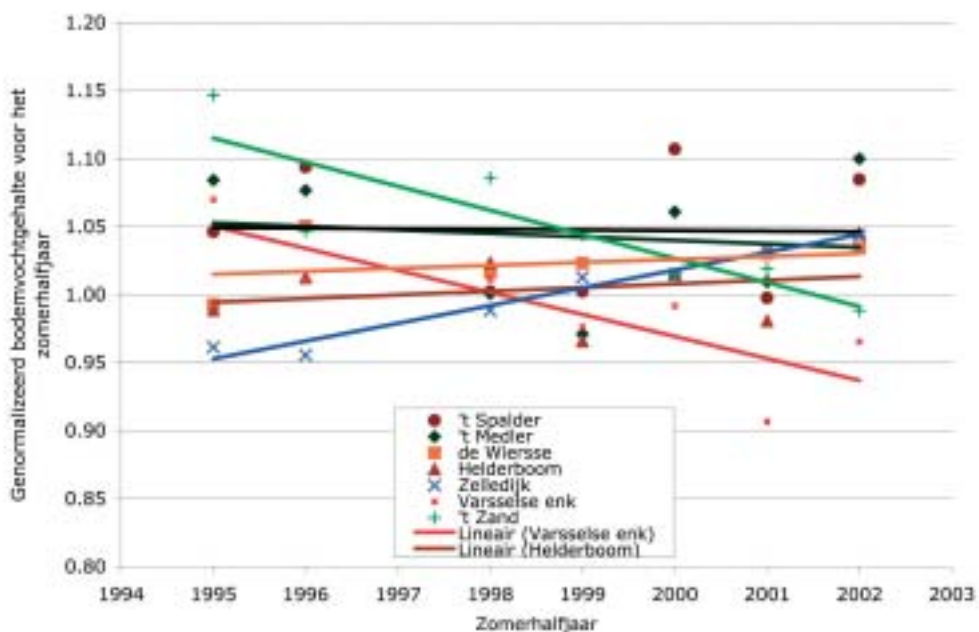
Het bodemvochtgedrag van de 7 anti-verdrogingsgebieden over een tijdspad van 7 jaar is weergegeven in Figuur 8. De klimatologische invloeden zijn vereffend door de sub-regionale waarden van het referentiegebied in de meest rechtse kolom van Tabel 4 in beschouwing



te nemen. Figuur 8 geeft een duidelijk beeld: De beschikbaarheid van bodemvocht voor de vegetatie in Zelledijk wordt groter, in 't Zand en de Varssele Enk wordt de beschikbaarheid van bodemvocht kleiner en voor de overige gebieden blijkt er over meerdere jaren geen systematische trend waarneembaar. Het droger worden van de bovengrond betekent niet automatisch dat er sprake van een dalende grondwaterstand is; het kan ook door andere factoren worden veroorzaakt. De remote sensing techniek geeft echter wel een signaal af zodat terreinbeheerders en het Waterschap een inspectie kunnen uitvoeren.

#### 'T SPALDER

Huize 't Spalder en haar directe omgeving heeft in 3 van de 7 onderzochte zomers het hoogste vochtgehalte en is regelmatig 10% natter dan de 8100 ha grootte sub-regio. Voor de onderzochte periode is 't Spalder bos gelegen aan de Baakse Beek met 51.8 % het meest nat. Grondwaterstanden in Bijlage 1 bevestigen dat dit een zeer nat gebied is. Figuur 7 laat geen systematische trend voor 't Spalder zien, behalve dat het in 2000 heel nat was. In 2001 en 2002 was het weer droger, dus er kan geen conclusie worden getrokken of het gebied systematisch natter wordt.



FIGUUR 8 DEDRAG VAN GENORMALISEERD BODEMVOCHT IN DE PERIODE 1995 T/M 2002 (BEHALVE 1997) GEMIDDELD OVER HET ZOMERHALFJAAR

#### HUIZE 'T MEDLER

De ingrijpen lijken niet het gewenste vernattingseffect teweeg te hebben gebracht; in 2000 en 2002 was 't Medler natter dan de rest van de streek, maar dat was in 1996 ook al het geval. In 2001 was het genormaliseerde vochtgehalte juist laag, maar dat geldt voor alle onderzochte gebieden. De regenval in 2001 was met 431 mm in de zomer niet uitzonderlijk laag en moet dus aan andere factoren dan regenval worden toegeschreven. Tabel 1 geeft aan dat vanaf 2000 de vernattingsingrepen in 't Medler meer intensief zijn dan op de Wiersse. Dit vindt zijn weergave in een hoger vochtgehalte voor 't Medler in 2000, en 2002.

**DE WIERSSE**

Het genormaliseerde bodemvochtgehalte rond Huize de Wiersse is met 50.6 % redelijk hoog en hoger dan het gemiddelde van de sub-regio (49.4). Het gebied is qua natheid 1 heel stabiel in de tijd, want de jaren onderling zijn nagenoeg hetzelfde. In 1996 is het gebied een tijdlang extra nat geweest, maar daarna stelt zich een stabiel evenwicht in. Dit kan duiden op een flexibel en alert waterbeheer van het landgoed. Het is bekend dat de terreineigenaar hier veel aandacht aan besteed.

**HELDERBOOM**

De graslanden rond het Helderboom en 't Stapelbroek blijken goed de gemiddelde condities van de sub-regio te beschrijven. Het bestaat voor 60% uit grasland, 20% bouwland en 20% bosopstanden. Het gebied wordt niet systematisch droger of natter ten opzichte van het regionale gemiddelde bodemvocht.

**ZELLEDIJK**

De resultaten laten een duidelijke tendens naar nattere omstandigheden zien. In een periode van 7 jaar is het genormaliseerde bodemvochtgehalte gebied van 0.95 tot 1.05 monotoon gestegen. Dit is een toename van 10% in 7 jaar, oftewel 1.5 % per jaar. Merk op dat een verschil van 10% significant is vanuit de optiek van 6% afwijking in de remote sensing methode. De correlatie tussen genormaliseerd bodemvocht en tijd is hoog ( $R^2=0.96;n=7$ ). Het heeft er alle schijn van dat dit een succesvolle anti-verdrogingsingreep is, althans dit gebied wordt in verloop van tijd systematisch natter dan de directe omgeving. Het is interessant deze bevindingen van bodemvocht te vergelijken met de grondwaterstand, maar uit de variatie van bijlage 1 kan niet veel worden geconcludeerd omdat effecten van regenval niet verevend zijn.

**KADER 4****BELANGRIJKSTE INTERIM CONCLUSIES**

- De effecten van klimaat op de vochttoestand van de bodem zijn groter dan de verdrogingsbestrijdingsmaatregelen zelf. Om effecten van weersinvloeden te elimineren is de sub-regionale gemiddelde vochttoestand als referentie genomen.
- Zelledijk wordt systematisch natter ( $R^2=0.96$ ) en de Varsselse Enk ( $R^2=0.69$ ) en 't Zand ( $R^2=0.74$ ) worden systematisch droger. De verschillen zijn groter dan de ruis in de remote sensing methode. In de overige anti-verdrogingsgebieden is de bodemvochttoestand over een periode van 7 jaar meer een gevolg van klimatologisch verschijnselen en korte termijn ingrepen in het waterbeheer.
- De anti-verdrogingsingrepen rondom 't Medler en de Wiersse hebben geen detecteerbaar lange termijn effect gehad; Wel is er een korte termijn effect in 2000 en 2002 waarneembaar waarbij 't Medler natter is dan de Wiersse.

**VARSELSE ENK**

Het genormaliseerde bodemvochtgehalte is van 1.05 gedaald tot 0.94. Behalve Zelledijk is geen van de anti-verdrogingsgebieden tijdens de zomer van 2001 natter geworden ten opzichte van voorgaande jaren. Opmerkelijk is dat de Varsselse enk er in de droge zomer van 1995 qua vochtvoorziening nog goed voorstond. De correlatie coefficient is  $R^2=0.69$  ( $n=7$ ), dus er kan worden geconcludeerd dat het bodemvocht gehalte in dit gebied daalt. Of dit tot verdroging leidt is gezien de definitie van effect op natuurwaarden in kader 1 niet te zeggen.

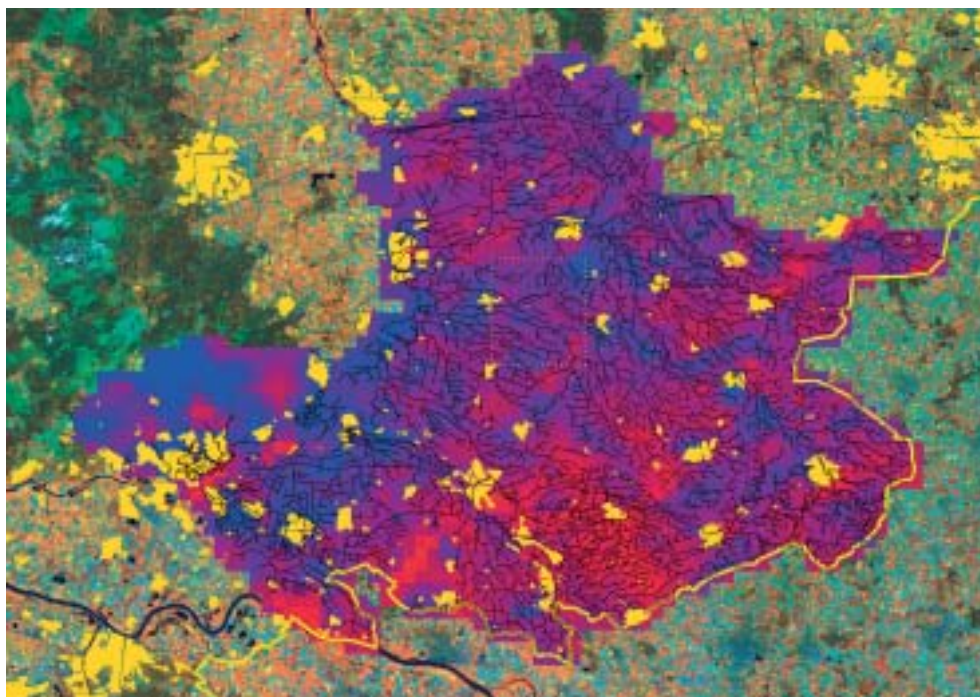
**'T ZAND**

Dit homogene bosgebied was in 1995 het natste van de omgeving maar is met dezelfde snelheid uitgedroogd als de Varsselse enk want de lineaire lijnen in Figuur 7 liggen evenwijdig aan elkaar. Het vermoeden bestaat dat de effecten van extra oppervlaktewater aanvoer minder zijn dan de dalende grondwaterstanden door onttrekking. Dit dient aan de hand van grondwaterstanden te worden geverifieerd. De correlatiecoëfficiënt is  $R^2=0.74$  ( $n=7$ ) en de verandering is groter dan de ruis in de remote sensing methode.

**OOST GELDERLAND**

De provinciale verdrogingskaart 1996 was de eerste actualisering en deze geeft de situatie weer van de verdroogde gebieden tot medio 1996. De verdrogingskaart 1998 is de tweede actualisering en die van 2000 is de derde update. Omdat de definities van verdroging aan veranderingen onderhevig zijn en de teamsamenstelling van de provinciale en landelijke experts verandert, dient een vergelijking met de nodige zorgvuldigheid in acht te worden genomen. Feitelijk betekent dit dat er geen operationele methode bestaat om voor een langere periode de veranderingen in verdroging vast te stellen.

De bodemvocht herstelkaart voor alle vormen van landgebruik is weergegeven in Figuur 9. Wat opvalt is dat de bouwvoor van de streek rondom de Slinge en de Barchemse veengoot natter is geworden. Ook voor de zuidkant van de IJssel tussen Zutphen en Dieren kan een toegenomen bodemvochtgehalte worden geconstateerd.



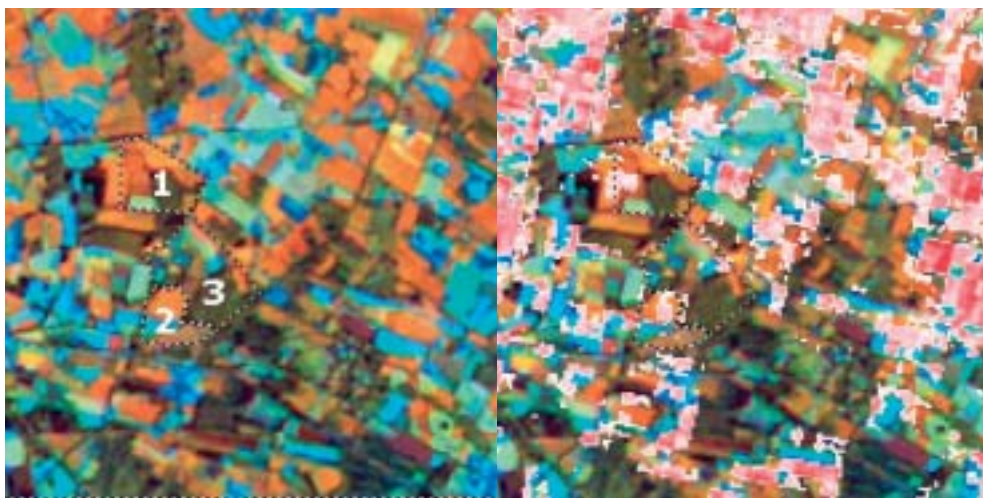
**FIGUUR 9** BODEMVOCHT HERSTELKAART GEBASEERD OP NOAA METINGEN IN DE PERIODE 1995/96 EN DE PERIODE 2002/02. DE VOCHTGEHALTES ZIJN GENORMALISEERD VOOR KLIMATOLOGISCHE INVLOEDEN. BLAUW IS EEN BEVOCHTING VAN 15%, ROOD IS EEN UITDROGING VAN 15% IN EEN PERIODE VAN 6 JAAR TIJD.

De rode gebieden hebben een verlaging van 15% in genormaliseerd bodemvocht gedurende een periode van 6 jaar tijd. Het verdrogingsherstel - in de toch al droge - driehoek tussen Doetinchem, Aalten en Ulft blijft uit. Montferland komt eruit als een gebied waar het bodemvocht daalt gedurende de 2e helft van de negentiger jaren. Dit was destijds ook in de 3e nota waterhuishouding opgemerkt (MINISTERIE VAN VERKEER EN WATERSTAAT, 1989).

De bodemvochtherstelkaart geeft cruciale informatie over vochttekort voor landbouw en natuurterreinen en hoe dit in de loop der tijd verandert. Voor gebieden met een ondiepe grondwaterstand is er een verband met veranderingen in de grondwaterstand. Als de grondwaterstand dieper dan 2 meter is, wordt het vochtgehalte in de wortelzone meer bepaald door infiltratie en is het verband met de grondwaterstand minder duidelijk. Omdat verdroging betrekking heeft op veranderende natuurwaarden, geeft Figuur 9 geen informatie over verdroging en het voldoende nat zijn voor een zeker gedefinieerd landgebruik.

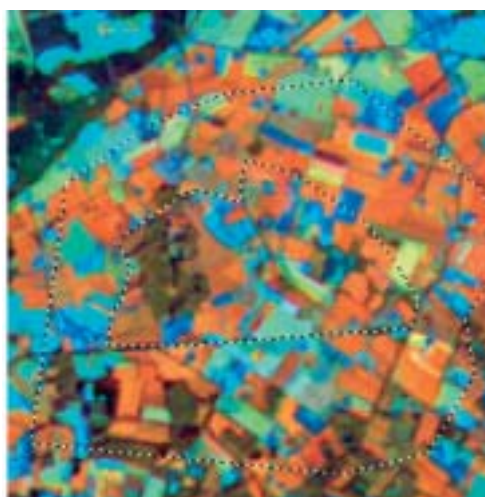
### 3.3 LANDSAT

Voor 4 anti-verdrogingsgebieden is een detailanalyse met Landsat beelden uitgewerkt. Deze gebieden zijn de Wiersse/'t Medler, de Wildenborch, Hackfort en Ampsen. Van deze gebieden is het relatieve bodemvocht op 6 mei vergeleken met het relatieve bodemvocht op 14 mei. De temperaturen in de week tussen 6 en 14 mei kwam boven de 28°C en er was sprake van een hoge verdamping omdat de bodemprofielen nog vol zijn van de winterperiode. De hypothese is dat 14 mei een lager vochtgehalte heeft en dat de verschillen met 6 mei een maat voor de droogtegevoeligheid zijn. Gebieden met weinig of geen verschil in vochtgehalte zijn dus de natte gebieden met veel berging van vocht in de wortelzone.



FIGUUR 10A  
DE WIERSSE / 'T MEDLER

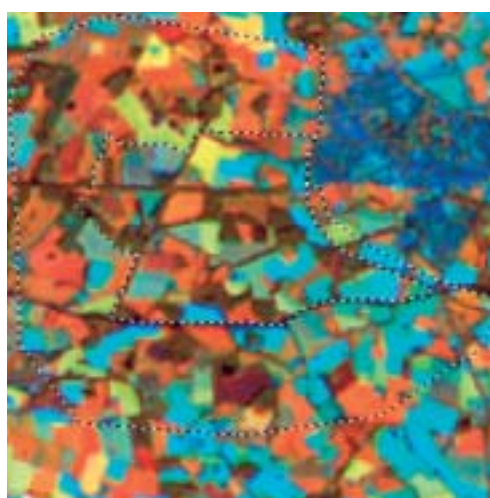
FIGUUR 10B  
MAX. VERLAGING VAN HET BODEMVOCHT 24%



FIGUUR 10C  
DE WILDENBORCH



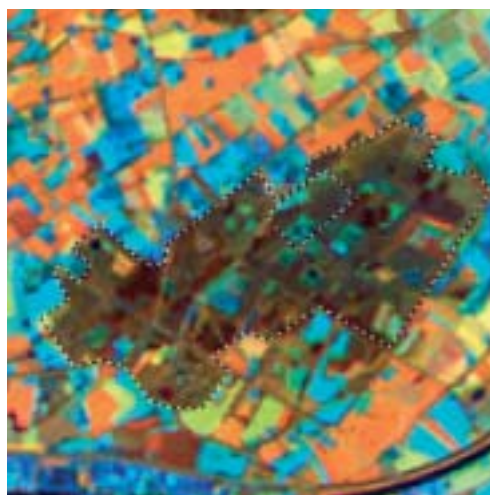
FIGUUR 10D  
MAX. VERLAGING VAN HET BODEMVOCHT 26%



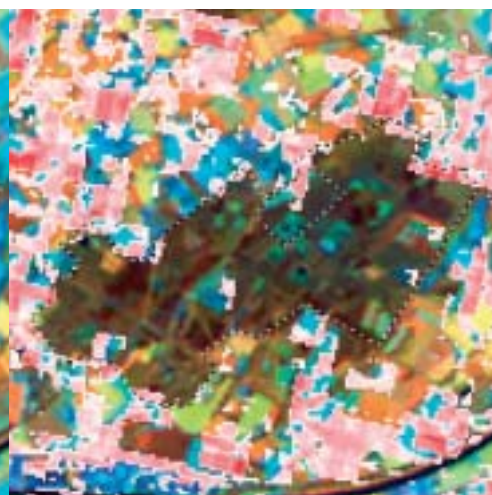
FIGUUR 10E  
HACKFORT



FIGUUR 10F  
MAX. VERLAGING VAN HET BODEMVOCHT 35%



FIGUUR 10G  
AMPSEN



FIGUUR 10H  
MAX. VERLAGING VAN HET BODEMVOCHT 30%

FIGUUR 10  
OPDROGINGSKAART VAN MEI 2000 IN ANTI-VERDROGINGSGEBIEDEN. DE INTENSITEIT VAN RODE KLEUR GEEFT DE MATE VAN UITDROGING WEER.

De intensiteit van rode kleur geeft de mate van uitdroging weer (zie Figuur 10). Gebieden met onveranderd bodemvocht of die natter zijn geworden, zijn niet gemarkeerd. De diepte waarover vocht door het wortelstelsel wordt onttrokken is variabel, waardoor het uitdrogen gepaard gaat met een gedrag dat landgebruik afhankelijk is.

Bij de bovenste figuur van De Wiersse zijn drie deelgebieden rond Huize 't Medler aangegeven. Deelgebied 1 lijkt naar het idee van het waterschap qua hydrologisch 'gedrag' erg op deelgebied 3. In gebied 3 worden sinds april 2000 de peilen opgezet. Beide gebieden bestaan deels uit grasland, deels uit loofbos, in ongeveer gelijke verhoudingen. Deelgebied 2 wordt sinds februari 2000 onderbemalen. Dit gebied droogt tussen 6 en 14 mei uit, in tegenstelling tot het grasland dat zich in de rechterhelft van gebied 3 bevindt (het uiterste zuidwestelijke puntje van deze helft is Huize 't Medler zelf). In deelgebied 1 droogt een klein deel van het grasland uit. Een groter deel blijft, met stukken grasland ten westen en zuiden ervan, nat. In het gebied waar in de bestudeerde periode de peilen zijn opgezet, wordt dus geen uitdroging geconstateerd. Maar ook de Wiersse en het Zwarte Veen wat een paar honderd meter ten noorden van de Wiersse ligt heeft geen enkel spoor van uitdroging. De Wildenborch wordt in het noordoostelijke gedeelte getroffen door uitdroging, en de droogtegevoeligheid is dus hier niet homogeen verdeeld.

Het verdrogingsbestrijdingsproject Hackfort ligt aan de Veengoot ten noorden van Wichmond 2 kilometer van de monding op de IJssel en aan de Hackfortsch beek die op de Veengoot draineert. Het bestrijdingsgebied heeft de vorm van een gekantelde U-vorm. Figuur 10 laat zien dat het deelgebied ten noorden van de Baakse weg en Hackfortse laan natter blijft dan het deelgebied ten zuiden van de weg. Vooral het gebied rond de Riethuis vertoont verdroging verschijnselen. De anti-verdroging rond Huize Hackfort is zeer effectief en de verdrogingsgrenzen op Figuur 10 komen zeer frappant met de grenzen van het projectgebied overeen.

Het Ampense veld ligt aan de noordkant van het Twentekanaal, tegenover Lochem. Dit gebied wordt nauwelijks met een uitdrogingsfase geconfronteerd en heeft dus een aanzienlijk vochthoudend vermogen. Alleen op de oostflanken van Coeverden neemt het bodemvocht af. Figuur 10 laat zien dat het bos inclusief de landerijen van de Ouden Ampsen aan de zuidoost zijde van het bos een flink stuk natter is dan de omgeving.

#### KADER 5

##### LOCALE VERSCHILLEN IN VERNATTINGSINGREPEN

Uit Figuur 10 blijkt dat een zeer gedetailleerd beeld kan worden verkregen over de uitdrogingsgevoeligheid van de verschillende vernattingsgebieden. De meeste gebieden vertonen minder uitdroging dan hun omgeving dus dat betekent dat de anti-verdrogingsgebieden meer bodemvocht heeft geborgen. Dat kan echter altijd al zo geweest zijn en kan niet aan de recente ingrepen worden toegeschreven. Om deze onzekerheid uit te sluiten, moeten Landsat beelden verspreid over een langere periode worden geanalyseerd.

#### 3.4 VERSCHILLEN MET CONVENTIONELE METHODEN

Traditioneel wordt het resultaat van de verdrogingsbestrijding via peilbuizen gemeten. Tabel 5 geeft een samenvatting van de gemiddelde grondwaterstand in de zomerperiode weer.

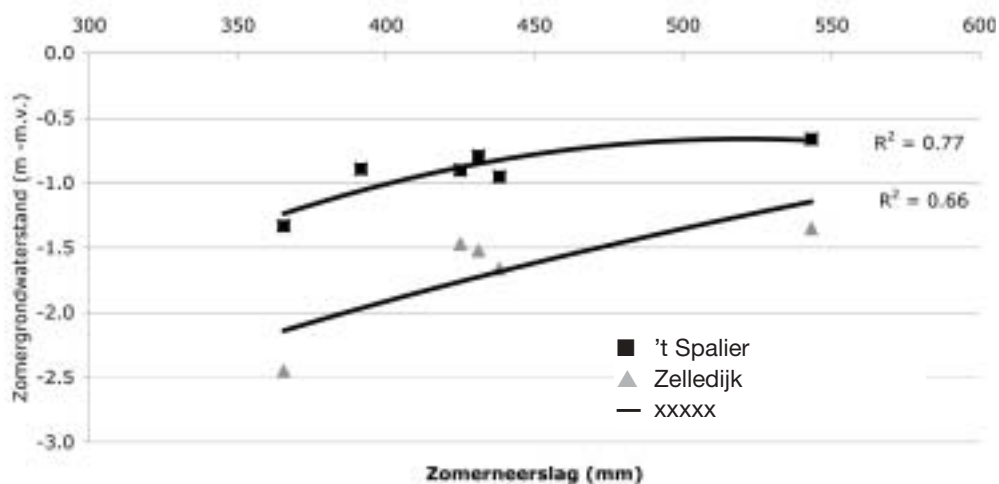
De gegevens voor 't Spalder en Zelledijk (deze tijdserie is langer) zijn tegen de neerslag van Tabel 1 uitgezet (zie Figuur 11). Daaruit blijkt dat bij een lagere zomerneerslag, de grondwaterstand daalt. Het omgekeerde is ook waar. De variatie in de zomergrondwaterstand kan voor 77 en 66 % voor 't Spalder en Zelledijk worden verklaart uit de zomerneerslag. Dit betekent dat stijgingen van de grondwaterstand niet aan het conserveren van water kan worden toegeschreven.

TABEL 5 GEMIDDELTE JAARLIJKSE GRONDWATERSTAND (M-M.V.)

De gemiddelde grondwaterstand van het zomerhalfjaar is tussen haken weergegeven

Locatie	1995	1996	1997	1998	1999	2000
't Spalder	0.78 (0.89)	1.09 (1.33)	0.82 (0.95)	0.63 (0.66)	0.79 (0.90)	0.68 (0.79)
't Medler	-	-	-	1.11 (1.19)	1.33 (1.40)	1.18 (1.27)
de Wiersse	-	-	-	-	-	-
Helderboom	-	-	-	0.26 (0.37)	0.58 (0.66)	0.44 (0.56)
Zelledijk	1.46 (-)	2.26 (2.45)	1.63(1.66)	1.21 (1.35)	1.44 (1.47)	1.23 (1.32)
Varsselse enk	-	-	-	1.42 (1.56)	1.47 (1.48)	-
't Zand	-	-	-	3.32 (3.45)	3.34 (3.37)	-

De consequentie is dat er een lange tijdserie nodig is om het effect van klimatologie te vereffenen. De methode gebaseerd op het normaliseren met de regionaal gemiddelde waarde is niet toepasbaar omdat de gemiddelde grondwaterstand voor een hellend dekzandlandschap niet eenvoudig kan worden vastgesteld.



FIGUUR 11 EMPIRISCH VERBAND TUSSEN CUMULATIEVE ZOMERNEERSLAG EN DE GEMIDDELTE GRONDWATERSTAND IN HET ZOMERHALFJAAR VOOR 2 ANTI-VERDROGINGSPROJECTEN

Een gebied is verdroogd als de actuele waterhuishoudkundige situatie afwijkt van de gewenste situatie. Voor elke combinatie van landgebruik en bodemtype dient het optimale grondwaterregime en bodemvochtgehalte te worden vastgesteld. De conventionele methode is het toepassen van standaard tabellen voor droogte en natschade (b.v. HELP, VAN WIJK ET AL., 1986). Deze tabellen zijn vooral op landbouwgewassen georiënteerd. Het model DEMNAT is

voor natuurterreinen opgezet en is gebaseerd op PH, stikstofbeschikbaarheid en grondwaterstand. Een dosis-effect relatie beschrijft de veranderingen in de soortensamenstelling van gespecificeerde ecotypen (NOV, 3-3). Over het algemeen heerst het gevoel dat de ideale grondwaterstand voor bossen nog veel leemtes kent (SCHOONDERWOERD EN BASTIAANSEN, 2001; DROOGERS, 2002A,B)

Grondwaterstandsmetingen zijn wel geschikt om vast te stellen of een gebied natter wordt ten opzichte van de opgeving, maar niet of dit wordt veroorzaakt door water conservering. Dezelfde motivatie geldt voor het op grote schaal installeren van bodemvochtsensoren. De geschetste remote sensing methode geniet hier het voordeel dat een gebiedsgeïntegreerde waarde wordt verkregen. Een alternatieve oplossing is dynamische simulatiemodellen in te zetten die effecten van water conservering/extra aanvoer onafhankelijk van regenval kunnen berekenen (b.v. VAN DER BOLT ET AL., 1996)

Verdrogingsdeskundigen van RIZA en IPO ondersteunen de stelling dat de huidige monitoringstechnieken niet ideaal zijn en dat er naar een ander meetsysteem moet worden gestreefd: 'Het rapporteren over de voortgang van de verdrogingsbestrijding blijft tot op heden afhankelijk van deskundigenoordelen en is niet gebaseerd op objectieve meetgegevens. Juist daaraan blijkt echter veel behoefte te zijn om meer verantwoorde uitspraken te kunnen doen over het feitelijke herstel en de toestand van de verdroogde natuur in Nederland'. Het dient verder te worden onderzocht of informatie over bodemvocht als èèn van de standplaatsfactoren voor verdroging in brede kring gesteund wordt.



# 4

## TOEPASSINGEN VAN REMOTE SENSING IN HET WATERBEHEER

### 4.1 VOORBEREIDING ANTI-VERDROGINGSINGREPEN

Bij het voorbereiden van ingrepen in de waterhuishouding moet eerst de huidige situatie goed worden vastgelegd (de nulsituatie). Het maken van een bodemvocht kaart aan de hand van NOAA satellieten zoals in Figuur 5, biedt de mogelijkheid om op systematische wijze voor een groot beheersgebied de natheid in de bouwvoor of wortelzone van de vegetatie vast te leggen. Het regionale bodemvochtgehalte heeft betrekking op alle vormen van landgebruik. Landsat beelden zoals weergegeven in Figuur 10 kunnen het vochtgehalte vastleggen voor specifieke percelen en vormen van landgebruik (zie ook pilot studie Hunze en AA's). Satelliet beelden kunnen ook voor historische reeksen worden ingezet.

Om de verdroging op te heffen zal de toekomstige grondwatersituatie in principe gelijk moeten zijn aan de gewenste grondwatersituatie; de gewenste waarde zal per ecotoop en standplaats verschillen. Het is niet ondenkbaar dat een dergelijk regime is op te stellen voor het bodemvochtgehalte. Vanuit praktische overwegingen wordt dit niet gedaan, misschien wel omdat daar nooit naar gevraagd is. Een verdere integratie met de digitale bodemkaart maakt het mogelijk om het gewenste bodemvochtgehalte en grondwater regime te koppelen aan het landgebruik. Dit biedt kansen om de mate van verdroging objectief vast te stellen en ingrepen te evalueren.

### 4.2 MONITOREN ANTI-VERDROGINGSINGREPEN

Aan het monitoren m.b.v. grondwaterstanden kleven een aantal nadelen. Alleen bij lange tijdseries kan het klimaat effect worden verwijderd (RUNHAAR ET AL., 2001). De tijdserie in Oost-Gelderland is te kort voor evaluatie omdat de vernattingsingrepen pas eind jaren negentig zijn uitgevoerd. Bovendien hebben grondwaterstanden in een hellend gebied zoals Oost Gelderland een zeer lokaal karakter. Het regionaal middelen van individuele buismetingen is niet vanzelfsprekend. Het hydrologisch modelleren van deze gebieden is technisch gezien mogelijk, maar geen sinecure (b.v. QUERNER, 1993).

Het monitoren van bodemvocht op basis van km-hokken heeft het voordeel dat een geïntegreerde waarde voor heterogene landoppervlakten in geaccidenteerd terrein kan worden gekregen. Figuur 8 geeft aan dat er statistisch significante correlaties voor veranderingen in bodemvocht kunnen worden onderscheiden en dat daar geen lange tijdseries voor nodig zijn (n=7 jaar). Voorwaarde is dat er een normalisatie voor klimatologische effecten plaats vindt, hetgeen kan worden bereikt door de sub-regionale waarde van bodemvocht mee in beschouwing te nemen. De aanwijzing van een sub-regio is aan randvoorwaarden verbonden. Een daarvan is dat regenradar metingen worden gebruikt om te verifiëren of locale ver-

schillen niet aan variaties in regenval te wijten zijn. De standaard deviatie voor Oost-Gelderland was 6% en regenval is voor de eenvoud verder homogeen verondersteld. Andere belangrijke voorwaarden zijn dat anti-verdrogingsingrepen op landschapsschaal qua omvang niet relevant zijn en dat de bodem en het landgebruik vergelijkbaar is met het gebied waar de vernatting plaats vindt.

De methode van genormaliseerd bodemvocht kan ook worden gebruikt om bodemvocht-herstelkaarten op provinciale en landelijke schaal te maken. Vooral op landelijk niveau heeft dat voordelen omdat alle provincies nu afzonderlijk van elkaar werken en er verschillende methodes op na houden. Het is technisch mogelijk dit vanaf 1980 retrospectief te doen.

Om te weten wat het effect van vernatting op de omgeving van smalle beekdalen is, dienen Landsat beelden te worden ingezet. Figuur 10 geeft aan dat in de 4 gekozen anti-verdrogingsgebieden de bodem langer nat blijft dan in hun directe omgeving. Hier zit ook een effect van landgebruik in verdisconteerd (anti-verdrogingsgebieden bestaan vooral uit bossen). Bossen zijn veel beter in staat om in droge perioden water te vinden. Omdat de omgeving sneller uitdroogt, is het plausibel aan te nemen dat de omgeving in ieder geval droger is dan het vernattingsgebied. In de toekomst moet de uitdroging in het voorjaar per landgebruikers klasse worden bestudeerd.

Of de omgeving ook daadwerkelijk natschade ondervindt kan aan de hand van biomassa-groei schattingen worden geconstateerd (zie pilot Boarn en Klif). Het is aanbevolen de biomassa-productie per eenheid landgebruik verder te bestuderen omdat dit technisch gezien met remote sensing gegevens mogelijk is.

Het gebruik van bodemvocht als een parameter om vochttekort en verdroging uit te drukken vergt een omslag in denkwijze. Nederland heeft om vele goede redenen gekozen om grondwaterstanden te bestuderen, waarbij het geaccepteerd is dat grondwaterstand als een parameter voor de vochtcondities wordt beschouwd. Dit is bij ondiepe grondwaterstanden correct, maar hoeft geldig te zijn bij grondwaterstanden dieper dan bijvoorbeeld 2 m. Op theoretische gronden is het uitdrukken van de vochtcondities d.m.v. bodemvocht of de bodempotentiaal fysisch gezien correct. Deze optie is echter niet praktisch gebleken omdat bodemvocht moeilijk te meten is. De in deze remote sensing gepresenteerde methode kan nieuw solas bieden.

# 5

## BLIJVENDE BEPERKINGEN

Sensoren (en dus ook satellieten) meten fenomenen. De oorzaak van een drogere of nattere bodem kan niet worden afgeleid uit een meting. Ditzelfde geldt ook voor veldmetingen.

Remote sensing is een 'mooi weer' techniek. Nederland heeft niet veel dagen dat het gehele land onbewolkt is. Dit betekent dat het aantal geslaagde opnamen van Landsat en NOAA beperkt zijn. Dit vormt een beperking voor het afleiden van wekelijkse waarden van bodemvocht. In deze studie zijn radarmetingen van regenval en een simpel waterbalans model gebruikt om het bodemvocht te schatten voor weken als er geen goede NOAA opname was. Deze bodemvocht parameterisatie dient verder te worden ontwikkeld en getoetst voor Nederlandse omstandigheden, vooral de vermindering van bodemvocht ten gevolge van afvoer en wegzijging naar het grondwater. De remote sensing methode is vooral ontwikkeld voor- en getest in het buitenland. Een vergelijking tussen 1 km<sup>2</sup> pixels met schatting van bodemvocht en gemeten bodemvocht van een beperkt gebied  $\pm 25\text{m}^2$ , zoals uitgevoerd voor de Wiersse, is gebleken niet vanzelfsprekend te zijn. Er dient een speciaal veld experiment hiervoor te worden ontworpen. Dit betekent dat er een absolute fout is, die wellicht wordt geëlimineerd als het genormaliseerde bodemvocht in beschouwing wordt genomen.

Na het verfijnen van een operationele methode om wekelijks bodemvocht in een grid van 1 km te monitoren, kan dit nog niet worden aangewend om verdroging te kwantificeren zolang er geen streefwaarden van bodemvocht bestaan. Optimale bodemvocht getallen dienen te worden ontwikkeld.

Het aanvoeren van gebiedsvreemd water om de natuur en landbouw nat te houden valt ook onder de noemer van hydrologisch verdroogd. Satellieten kunnen geen onderscheid naar het origine van het bodemvocht maken en dus in de meest strikte zin niet bijdragen aan het meten van verdroging.

Herstel van verdroogde gebieden wordt o.a. geëvalueerd op basis van karakteristieke grondwaterafhankelijke ecologische waarden. Operationele aardobservatie satellieten kunnen het aanwezig zijn van specifieke natuurlijke plantensoorten niet onderscheiden en kunnen dus niet voor het monitoren van ecologische herstel worden gebruikt.

Er is een confusie tussen vochttekort (deze remote sensing studie) en verdroging (landelijke definities). Dit kan worden opgelost als het vochtgehalte van natuurgebieden worden onderzocht. Maar deze gebieden zijn vaak zeer kleinschalig en minder geschikt voor de grove 1 km NOAA pixels.

KADER 6

**INGREDIËNTEN VOOR EEN MOGELIJKE VERVOLGSTUDIE**

- Bestuderen van de rol van bodemvocht in de wortelzone in relatie tot grondwaterstand
- Nauwkeurigheden van bodemvochtschattingen uit remote sensing voor de weken zonder satellietopname
- Ontwikkelen van een referentiekader voor een optimaal bodemvocht en grondwater regime voor verschillende vormen van landgebruik
- Tijdserie bodemvochtherstelkaarten op basis van 5 jaar intervallen van 1980 tot heden voor het gehele land

# LITERATUURLIJST

BOLT, VAN DER, F...J.E., P. GROENENDIJK EN H.P. OOSTEROM, 1996. **Nutrientenbelasting van grond- en oppervlaktewater in de stroomgebieden van de Beerze, de Reusel en de Rosep**, DLO Staring Centrum Rapport 306

BASTIAANSEN, W.G.M., H. PELGRUM, P. DROOGERS, H.A.R. DE BRUIN AND M. MENENTI, 1997. **Area-average estimates of evaporation, wetness indicators and top soil moisture during two golden days in EFEDA**, Agr. and Forest Met. 87: 119-137

BASTIAANSEN, W.G.M., D.J. MOLDEN AND I.W. MAKIN, 2000. **Remote sensing for irrigated agriculture: examples from research of possible applications**, Agricultural Water Management, 46(2): 137-155

BOSGROEP GELDERLAND, 1999. **Verdrogingsbestrijding de Wiersse & 't Medler**

DROOGERS, P., 2002A. **Water-bodem-boom relaties op landgoed Duindigt** (interne notitie FutureWater, Bureau Silve)

DROOGERS, P., 2002B. **Water-boom relaties Parkboszone Amsterdamse Bos** (interne notitie FutureWater, Bureau Silve)

MINISTERIE VAN VERKEER EN WATERSTAAT, 1989. **Water voor nu en later, 3e Nota Waterhuishouding**, SDU uitgeverij, 's Gravenhage, 21 250, nrs. 1-2: 297 pp.

NATIONAAL ONDERZOEK VERDROGING, 1999. **Standaard meetprotocol verdroging, voorlopige richtlijnen voor monitoring van anti-verdrogingsprojecten**, NOV rapport 15-1

NOV, 1998. **Vergelijking van de modellen DEMNAT en NICHE voor het natuurreservaat Stroothuizen**, R. van Ek, A.J.M. Jansen, M. van der Linden, A.F.M. Meuleman, J. Runhaar, J.P.M. Witte en A.C. Zuidhof, Nationaal Onderzoek Verdroging (NOV)

PROJECTGROEP OMGAAN MET VERNATTING, 2000. **Omgaan met vernatting**, CLM publicatie 451-2000, (auteurs) D. Boland, J.A. Bleumink, Th. Vellinga en J.G. Kroes: 86 pp.

QUERNER, E.P., 1993. **Aquatic weed control within an integrated water management framework**, dissertatie, Vakgroep Waterhuishouding, Wageningen Universiteit : 204 pp.

RIZA EN IPO, 2000. **Verdrogingskaart 2000 van Nederland, Landelijke inventarisatie van verdroogde gebieden en projecten verdrogingsbestrijding**

RUNHAAR, J., G. VAN WIRDUM EN C.M.A. HENDRIKS, 2001. **Naar een meetnet verdroging**, Alterra rapport 108

SCHOONDERWOERD, H. EN W.G.M. BASTIAANSEN, 2001. **Het effect van biotische en abiotische factoren op de vitaliteit van enkele loofbossen op het landgoed Staverden**, Silve Report 02-11: 77 pp.

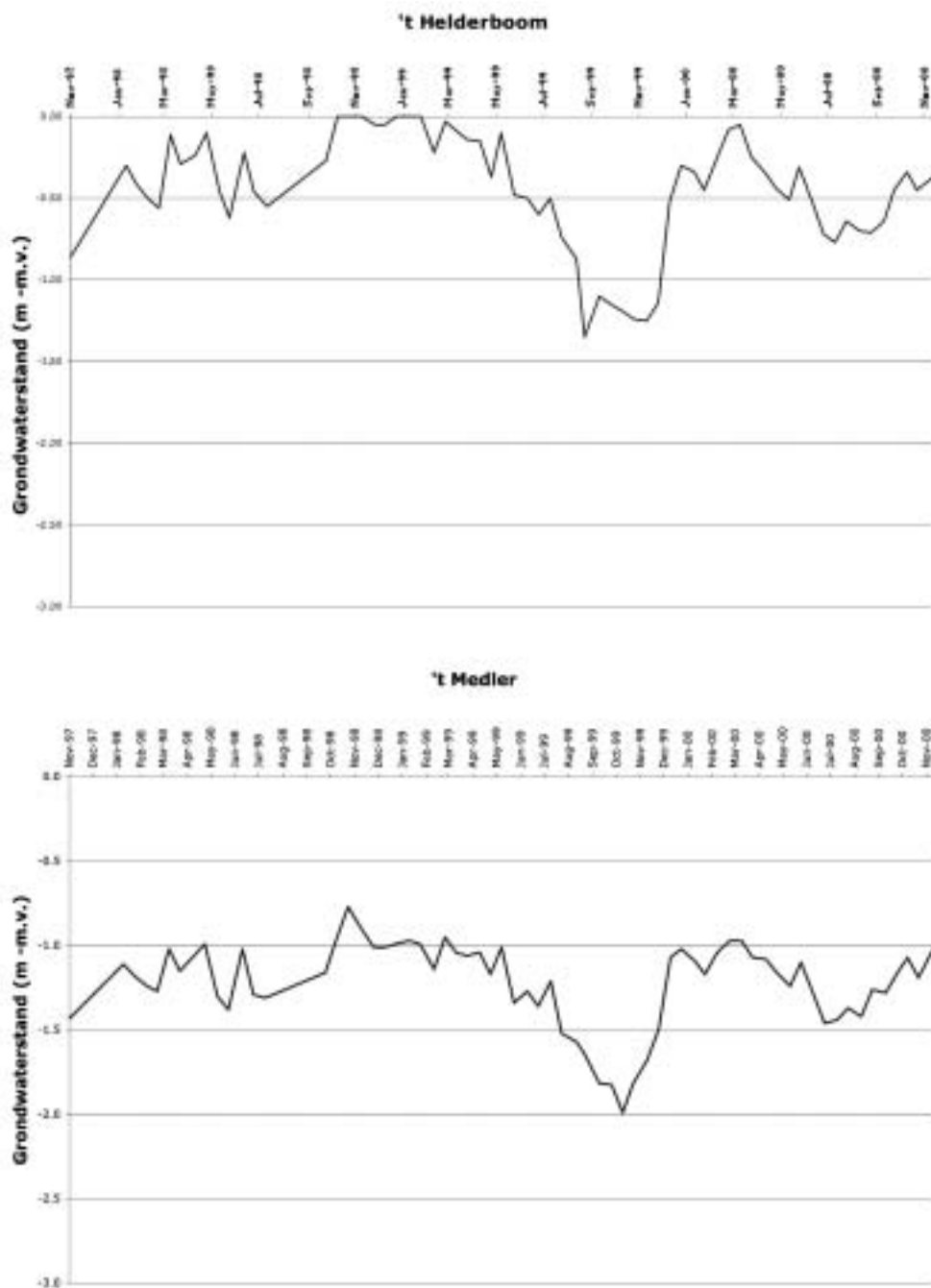
SCOTT, C.A., W.G.M. BASTIAANSEN AND M.D. AHMAD, 2003. **Mapping Root Zone Soil Moisture using Remotely Sensed Optical Imagery**, ASCE J. of Irrigation and Drainage Engineering (accepted)

WIJK, VAN, A.L.M., R.A. FEDDES, J.G. WESSELING EN J. BUITENDIJK, 1986. **Effecten van grondsoort en ontwatering op de opbrengst van akkerbouwgewassen**. ICW Rapport 31: 130 pp.

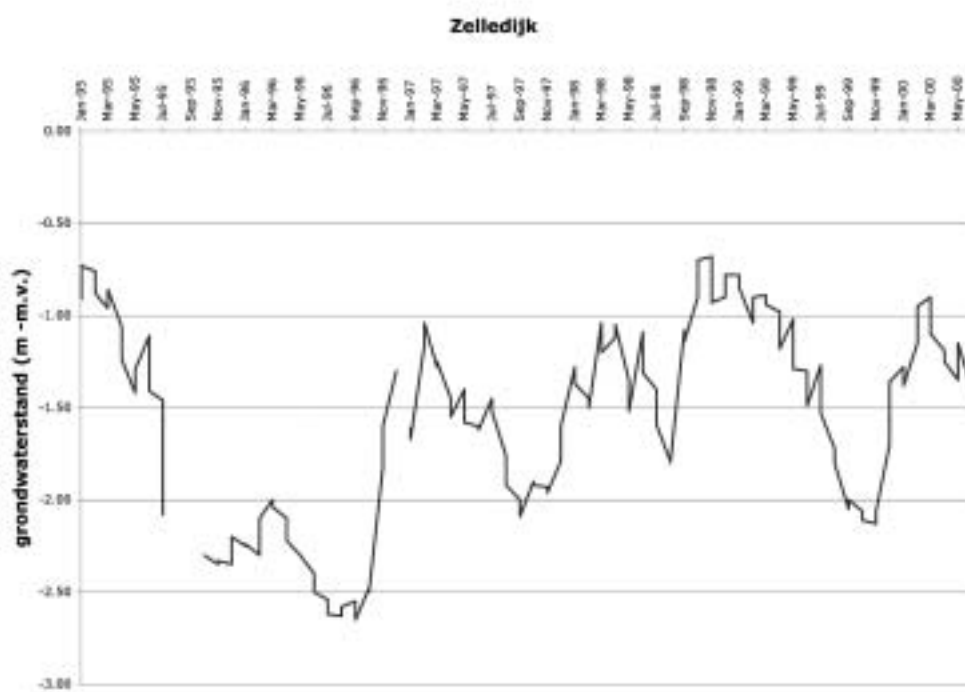
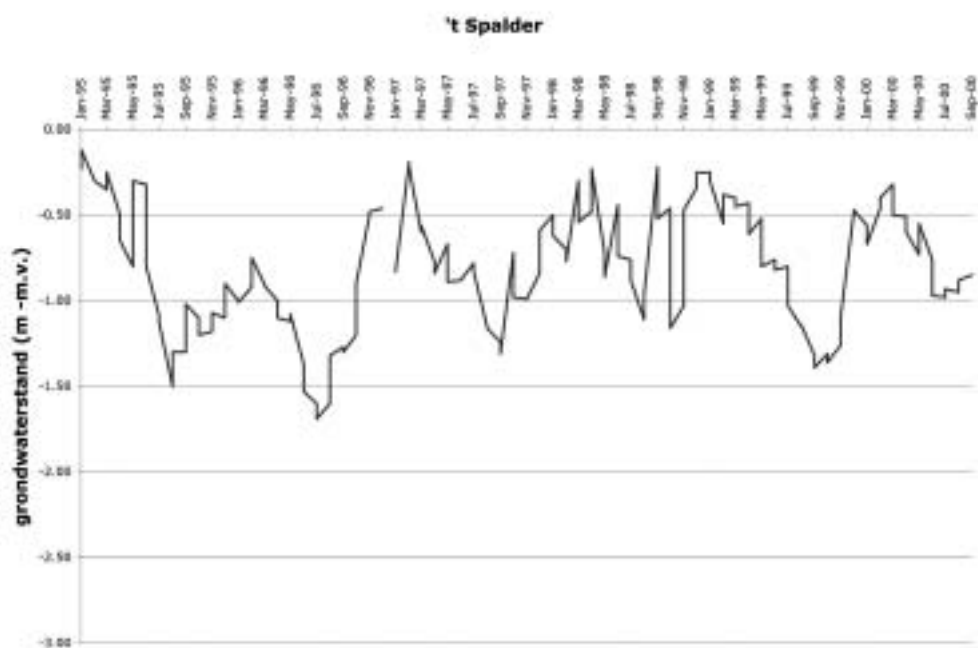


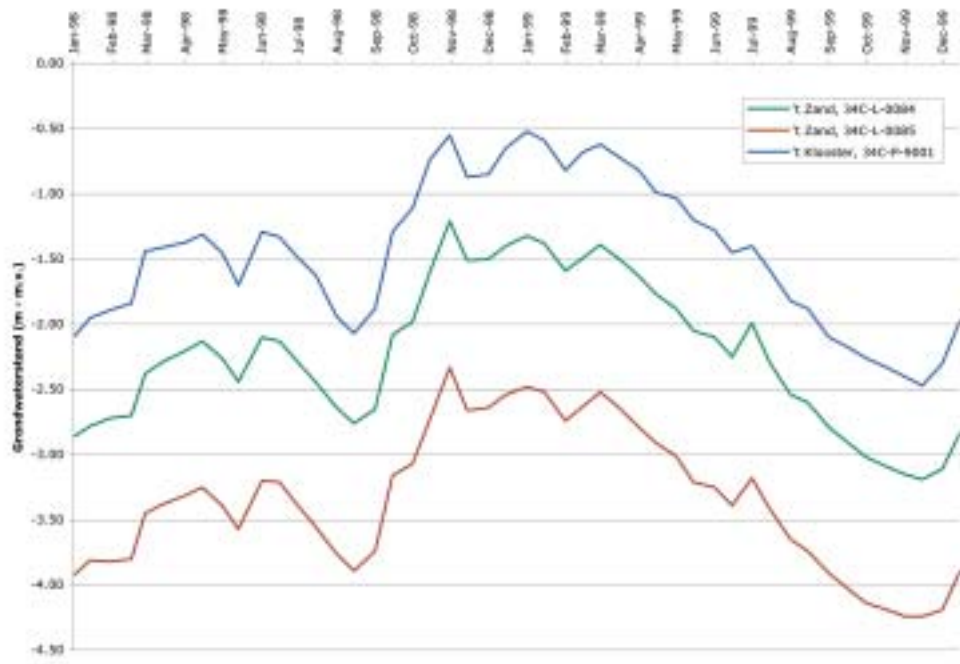
## BIJLAGE 1

# GEMETEN GRONDWATERSTAND VAN ENKELE ANTI-VERDROGINGSPROJECTEN IN OOST GELDERLAND









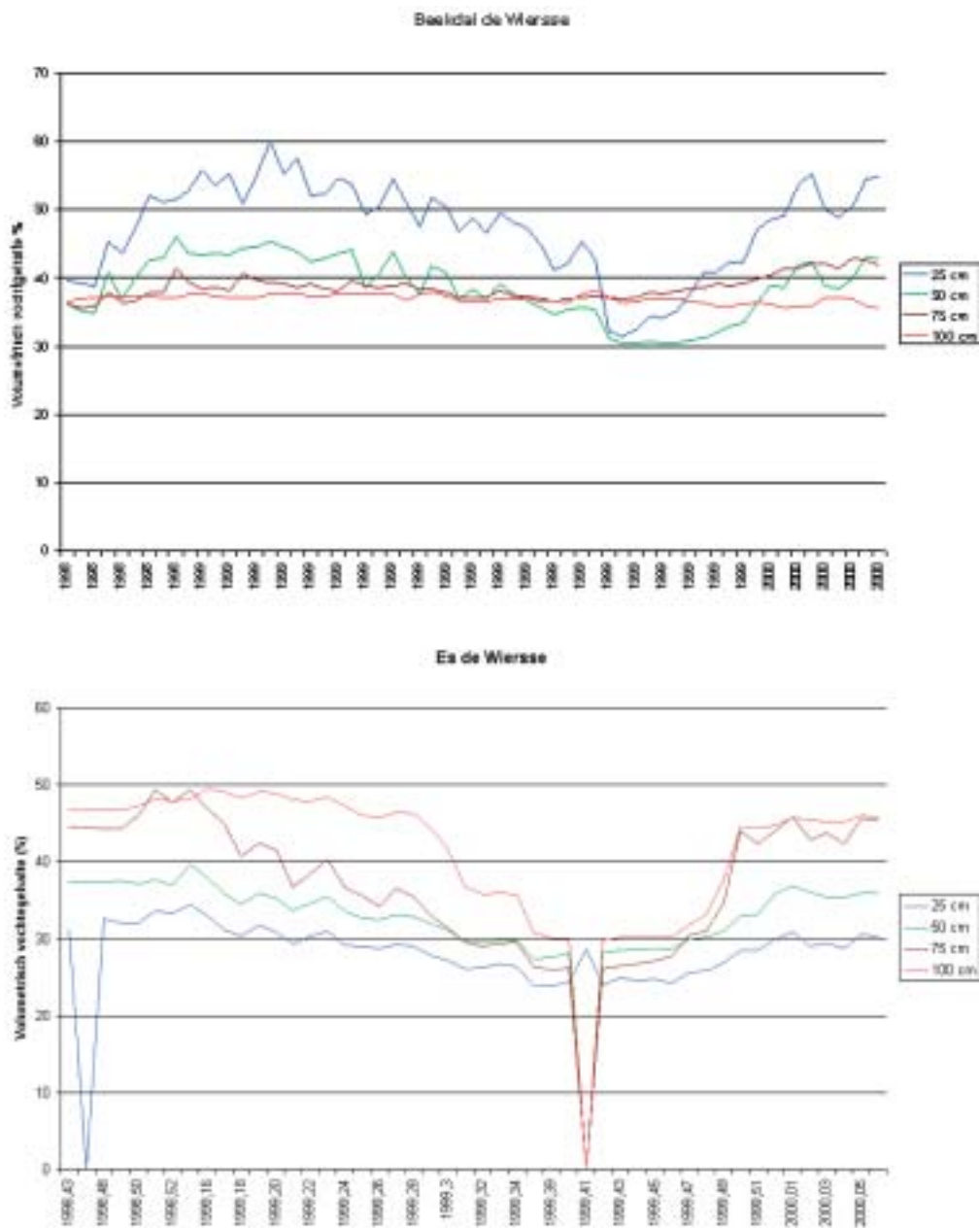


BIJLAGE 2

# BODEMVOCHTMETINGEN VERRICHT DOOR TIME DOMAIN

REFLECTOMETER INSTRUMENTEN BIJ MAATSCHAP FOKKINK

NABIJ LANDGOED DE WIERSSE **BRON ALTERRA**



3



# REMOTE SENSING ALS ONDERSTEUNING VAN HET PEILBEHEER IN DE VEENKOLONIËN

## PILOT STUDIE 4

## INHOUD

	SAMENVATTING	115
1	ALGEMEEN	116
1.1	Grondwaterafhankelijk peilbeheer	116
1.2	Probleembeschrijving	116
1.3	Doelstellingen	117
1.4	Het belang van operationeel peilbeheer	117
1.5	Geografische uiteenzetting studiegebied in relatie tot peilbeheer	118

2	MATERIAAL EN METHODEN	120
2.1	Huidige meetmethoden	120
2.2	Geografische informatie	120
2.3	Methoden	121
2.4	SWW model	123
3	RESULTATEN	125
3.1	Operationele fase (meetgegevens 2000)	125
3.2	Evaluerende fase (meetgegevens '95, '98, '99)	129
4	TOEPASSINGEN VAN REMOTE SENSING IN HET WATERBEHEER	135
4.1	Mogelijkheden voor voorbereidend waterbeheer	135
4.2	Mogelijkheden voor uitvoerend waterbeheer	135
5	AANBEVELINGEN	138
5.1	Algemene en organisatorische aspecten	138
5.2	Blijvende obstakels	139
	REFERENTIES	140
	BIJLAGEN	
1	METEOROLOGISCHE CONDITIES IN DE ONDERZOCHE STUDIE JAREN	143
2	VOORBEELD VAN SWW MODEL SIMULATIES EN REMOTE SENSING SCHATTINGEN VOOR HET PEILVAK 150 (BOEKWEITWEG) VOOR DE JAREN 1995, 1998 EN 1999	145
3	VERGELIJKING VAN REMOTE SENSING MEETGEGEVENS MET VELDMETINGEN EN BEREKENINGEN VAN HET SWW MODEL.	149

# SAMENVATTING

Er is een landelijke trend om meer aandacht aan grondwaterafhankelijk peilbeheer te besteden. Het centrale gedachtegoed is dat via open water peilen de grondwaterstand, bodemvochtgehalte en verdamping kunnen worden beïnvloed. In deze pilot studie is bestudeerd of remote sensing schattingen van bodemvocht en verdamping daarbij van dienst kunnen zijn.

De doelrealisatie van grondwaterafhankelijk peilbeheer kan worden getoetst m.b.v. biomassaproductiecijfers en verdampingstekorten. Een voorbeeld van biomassaproducties op provinciale schaal is uitgewerkt om zones met meer en minder vitaliteit aan te wijzen. Op locale schaal kan dit tevens worden gedaan m.b.v. Landsat beelden om daarmee landgebruik in de doelrealisatie te betrekken. Omdat waterschap Hunze en AA's de beschikking over digitale GIS bestanden heeft, kunnen bodemvocht, verdamping en biomassaproductie tevens per eenheid bodemtype en per eenheid landgebruik worden bestudeerd.

Uit de meetgegevens blijkt dat er overeenkomsten bestaan tussen de adviespeilen die worden afgeleid door het numerieke beslissingsondersteunende SWW model, de werkelijke stuwpeilen en de verdampingstekorten die met remote sensing worden gemeten. Op momenten dat aanzienlijke verdampingstekorten worden geconstateerd door remote sensing beelden, wordt door het SWW model het advies gegeven om de peilen naar boven toe bij te stellen, of worden de peilen door de beheerder al kunstmatig verhoogd. Statistische verbanden zijn moeilijk te leggen omdat de meteorologie een veel kortere tijdschaal herbergt dan het trage grondwatersysteem.

Het gebruik van de remote sensing gegevens voor het peilbeheer dient verder aan meer testen te worden onderworpen. Vooral de vertaling van verdamping en verdampingstekort naar een praktische beheersstrategie van de stuwen vergt een stuk praktijkervaring wat nog verder moet worden opgebouwd. Een bodemvochtafhankelijk peilbeheer blijkt technisch gezien niet mogelijk omdat er teveel onzekerheid in het totale vochtgehalte van de wortelzone bestaat. Geavanceerde technieken spreken hier elkaar tegen.

De landbouwkundige opbrengst in het kleigebied is significant hoger dan in de veenkolonieën, althans voor het jaar 2000. Omdat de gewasgroei, verdamping en bodemvocht in de zand- en veengebieden lager is dan in de kleigebieden, lijkt het aanbevelingswaardig na te gaan of het stuwbeheer in de zand en veengebieden gedurende de zomer categorisch dient te worden aangepast, of dat dit vanwege andere aspecten niet mogelijk is.

Remote sensing beelden zouden vaker en sneller beschikbaar moeten zijn om een rol van betekenis te hebben in het uitvoerende waterbeheer. In de studieperiode van 2000 was de gemiddelde levertijd 2 à 4 dagen. Dit kan technisch gezien sterk worden verkort. Omdat de verdampingsgegevens continue vanuit remote sensing en grondmetingen kunnen worden aangeleverd, kan dit uiteindelijk tot een operationeel product leiden.



# 1

## ALGEMEEN

### 1.1 GRONDWATERAFHANKELIJK PEILBEHEER

Volgens de 4e Nota Waterhuishouding is het een taak van de provincies het Gewenste Grondwater Regime (GGR) aan te geven. Dit dient afgestemd te zijn op de grondwaterwensen van de verschillende functies van het landelijk gebied die in het Provinciaal Omgeving Plan (POP) zijn vastgelegd. Door de projectgroep Waterlood (Unie van Waterschappen en DLG) zijn in 1998 nieuwe ideeën aangereikt voor de inrichting en het beheer van watersystemen (Projectgroep Waterlood, 1998). Hierbij wordt een op het grondwater georiënteerde aanpak voor inrichting en beheer van oppervlaktewatersystemen voorgestaan.

Het is een taak van waterschappen om in beheersplannen en peilbesluiten aan te geven hoe middels het peilbeheer het GGR kan worden bereikt. Peilbeheer is het dagelijkse beheer van de oppervlaktewaterstand. Waterschap Hunze en Aa's voert een grondwaterafhankelijk peilbeheer in het gehele beheersgebied, uitgezonderd het kleigebied.

### 1.2 PROBLEEMBESCHRIJVING

Grondwaterstandafhankelijk peilbeheer houdt in dat de oppervlaktewaterpeilen worden ingesteld op basis van een bekende grondwaterstand. Deze laatste is dan gemeten of berekend aan de hand van computermodellen of een combinatie van beiden. Een veldmeting van grondwaterstand heeft zijn beperkingen; een peilbuis geeft puntinformatie die moet worden vertaald naar een gebied waarvoor de peilbuis representatief wordt verondersteld (bijv. een peilvak). Het kiezen van representatieve locaties voor deze meetpunten is moeilijk, temeer daar de peilbuizen op een bereikbare plaats dienen te staan. De keuze van een representatieve locatie is vaak moeilijk te verenigen met de aanwezige verschillen in maaiveldhoogte (VAN BAKEL EN BIERKENS, 1999).

Het meten van grondwaterstanden gebeurt bij het waterschap Hunze en AA's voor het overgrote deel handmatig. Dit is arbeidsintensief, levert een beperkte gegevensdichtheid (1x per week) en het duurt enige tijd voordat gegevens beschikbaar komen (aantal dagen). Sinds 2001 wordt proefgedraaid met andere methoden om de inwinning van informatie van peilbuizen te automatiseren (registratie met digitale peilschalen en datatransport via telemetrie). De eerste bevindingen zijn positief en waterschap Hunze en Aa's wil deze meetnet dit jaar verder uitbreiden met peilbuizen op telemetrie.

Voor het optimaliseren van groeiomstandigheden is het van belang om inzicht te hebben in de vochtvoorraad in de wortelzone. In dit verband zou het beter zijn om een bodemvochtafhankelijk peilbeheer te voeren in plaats van een grondwaterstandafhankelijk peilbeheer. Op dit moment wordt de hoeveelheid bodemvocht in de wortelzone berekend met modellen aan de hand van informatie over grondwaterstanden en neerslag/verdamping. Een grondwaterstand of een hoeveelheid bodemvocht berekend met simulatiemodellen heeft de

bepkeringen dat het sterk afhankelijk van modelinvoer gegevens is. De hoeveelheid bodemvocht in de wortelzone en de grondwaterstand wordt berekend aan de hand van informatie over neerslag en verdamping en het toekennen van hydraulische eigenschappen aan het bodemprofiel.

Verbeteringen van numerieke simulatiemodellen kunnen op velerlei manieren tot stand komen, maar vooral door het verbeteren van de invoergegevens en ijking van de diverse termen van de waterbalans. Er is thans een algemene beweging gaande die tracht via assimilatie van remote sensing gegevens de nauwkeurigheid van hydrologische modellen te verbeteren (TROCH EN VAN LOON, 2001; JHORAR ET AL., 2002; DROOGERS EN BASTIAANSEN, 2002).

### 1.3 DOELSTELLINGEN

De algemene doelstelling van de in dit beschreven project is het testen van de toepasbaarheid van remote sensing beelden als ondersteuning bij het voorbereidende en uitvoerende peilbeheer.

Het is vermeldenswaardig te noemen dat er in eerdere remote sensing studies opnamen m.b.v. een vliegtuigscanner van de veenkolonien gemaakt zijn met het doel kennis over de waterhuishouding te vergroten (BIJKERK, 1992; NIEUWENHUIS, 1992). Remote sensing beelden kunnen een schatting geven van (i) de vochtvoorraad in de wortelzone, (ii) het verdampingstekort ten gevolge van wateroverlast (aëratie problemen) of watertekort, en (iii) de biomassaproductie zonder daarvoor de grondwaterstand hoeven te weten. Specifiek zal worden gekeken in hoeverre de fasering in zomer- en winterpeilen en het wekelijkse stuwbeheer kan worden ondersteund met remote sensing gegevens. De specifieke onderzoeksvragen zijn:

- 1 Zijn er verbanden aan te geven tussen enerzijds de meetgegevens die via remote sensing worden verkregen en anderzijds het gevoerde peilbeheer en de adviezen van het beslissingsondersteunende model SWW dat het waterschap gebruikt bij het peilbeheer?
- 2 Zijn deze verbanden bruikbaar om in te zetten als ondersteuning van het peilbeheer en kan het peilbeheer hiermee worden verbeterd?

Het remote sensing onderzoek dient te resulteren in inzichten of het gevoerde peilbeheer wel tot het gewenste bodemvocht en verdamping niveaus leidt en of het dagelijkse en gefaseerde peilbeheer met de onafhankelijk verkregen remote sensing gegevens kan worden ondersteund.

### 1.4 HET BELANG VAN OPERATIONEEL PEILBEHEER

Waterschap Hunze en Aa's streeft naar een efficiënt en doelmatig waterbeheer tegen de laagst mogelijk maatschappelijke kosten. Daaronder wordt verstaan:

#### **VERMINDERING VAN WATERAANVOER**

Door de optimalisatie van het grondwaterafhankelijk peilbeheer kan meer gebiedseigen water worden vastgehouden. Hierdoor kan de aanvoer van gebiedsvreemd water worden beperkt. Naast een besparing in de wateraanvoerkosten biedt dit voordelen ten aanzien van de waterkwaliteit.

### VERMINDERING VAN NAT- EN DROOGTESCHADE

De optimalisatie van grondwaterafhankelijk peilbeheer levert tevens een vermindering van nat- en droogteschade op. Hierdoor zal de biomassaproductie stijgen. Door te sturen op een bandbreedte van gewenste grondwaterstanden kan met het peilbeheer het gewenste grondwaterregime zo goed mogelijk worden nagestreefd. Het sturen op een bandbreedte van gewenste grondwaterstanden geldt zowel voor landbouw als natuur.

### AFVLAKKING AFVOERDYNAMIEK

Door de optimalisatie van het grondwaterafhankelijk peilbeheer worden de hoogste grondwaterstanden verlaagd. Daardoor nemen ook de hoge afvoeren af. Daarnaast zal door het vasthouden van water in het voorjaar, de basisafvoer van beken in de zomer verhogen. Dit komt overeen met de doelstellingen van het waterbeleid voor de 21e eeuw: vasthouden, bergen, afvoeren.

## 1.5 GEOGRAFISCHE UITEENZETTING STUDIEGEBIED IN RELATIE TOT PEILBEHEER

Tabel 1.1 bevat een opsomming van de onderscheiden deelgebieden met bijbehorende eigenschappen t.a.v. peilbeheer. De begrenzing van de deelgebieden is weergegeven in Figuur 1.1. De begrenzing van deelgebieden is gemaakt op basis van gebiedseigenschappen die van belang zijn voor het peilbeheer.

In het gebied waar flexibel peilbeheer wordt voorgesteld, liggen goede mogelijkheden om middels het peilbeheer een gewenst grondwaterregime te realiseren. Dit komt door de wateraanvoermogelijkheden, het beperkte reliëf, de overwegend gunstige bodemopbouw en de overwegend hoge slootdichtheid. Dit geldt in hoge mate voor de gearceerde gebieden van Fig. 1.1, waar het verwachte rendement van flexibel peilbeheer dan ook hoog is. Het gebied bestaat ruwweg uit aardappelen (40%), suikerbieten (20%), granen (20%) en graslanden (20%). De groeiperiode waarin gewassen boven de grond staan vindt plaats tussen begin mei (week 19) en begin oktober (week 40).

TABEL 1.1 DIVERSITEIT IN PEILBEHEER IN HET BEHEERSGEBIED VAN WATERSCHAP HUNZE EN AA'S

Gebied	Peilbeheer	Eigenschappen
Kleigebied	Vaste peilen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Wateraanvoer</li> <li>• Zeer trage interactie tussen grond- en oppervlaktewater</li> <li>• Weinig reliëf</li> </ul>
Hondsrug en Drentse Aa gebied	Conserveren	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Geen wateraanvoer</li> <li>• Overwegend trage interactie tussen grond- en oppervlaktewater</li> <li>• Veel reliëf</li> </ul>
Overig gebied	Flexibel peilbeheer	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Overwegend wateraanvoer</li> <li>• Overwegend snelle interactie tussen grond- en oppervlaktewater</li> <li>• Overwegend weinig reliëf</li> </ul>

### KLEIGEBIED: VASTE PEILEN

In het kleigebied worden vaste zomer- en winterpeilen toegepast. Hier wordt geen grondwaterafhankelijk peilbeheer gevoerd. In het kleigebied is de relatie tussen oppervlaktewater en grondwater zo traag dat het hier geen zin heeft om een grondwaterafhankelijk peilbeheer te voeren. Het keuzemoment wanneer het zomer- of winterpeil wordt ingesteld, wordt bepaald door wensen ten aanzien van: beregening, veedrenking, bespuiten van gewassen en verzilting bestrijding. Uiteraard zal bij extreme weersomstandigheden wel flexibel met het peil worden omgegaan. Zo zal in een natte zomer het zomerpeil worden verlaagd.

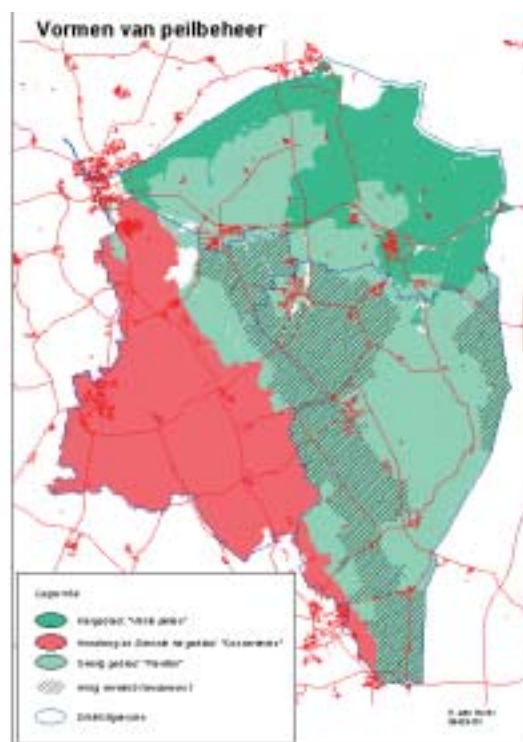
### HONDRUG EN DRENTSE AA GEBIED: CONSERVEREN

In het Hondsrug en Drentse Aa gebied wordt uitgegaan van flexibel peilbeheer met het accent op waterconservering. Met flexibel peilbeheer wordt bedoeld dat het oppervlaktewaterpeil variabel wordt ingesteld afhankelijk van het gemeten grondwaterstandverloop. De grens tussen het westelijk en het overig gebied wordt gevormd door de wateraanvoergrens. Omdat het westelijk gebied niet van wateraanvoer kan worden voorzien, wordt in dit gebied veel aandacht besteed aan het conserveren van water. Het accent ligt hierbij op het voorjaar. In deze periode dalen de grondwaterstanden en door op het juiste moment de stuwen op te zetten kan zoveel mogelijk water in het gebied worden vastgehouden zonder natschade te veroorzaken. De keuze van dit moment wordt gebaseerd op het gemeten grondwaterstandverloop en de weersverwachtingen.

### OVERIG GEBIED: FLEXIBEL PEILBEHEER

In het overig gebied wordt uitgegaan van flexibel peilbeheer waarbij gedurende het gehele groeiseizoen een optimaal peil wordt ingesteld op basis van het gemeten of berekende grondwaterstandverloop. Er is sprake van een maximum- en een minimumpeil. De ruimte tussen het minimum en maximum peil is ingedeeld in fases. Afhankelijk van veld- en weersomstandigheden wordt gekozen voor een bepaalde fase. Dit wordt gedurende het groeiseizoen wekelijks bekeken. De peilbeheerders maken gedurende het groeiseizoen wekelijks een ronde langs de stuwen en peilbuizen.

FIGUUR 1.1 PEILBEHEER BIJ WATERSCHAP HUNZE EN AA'S



# 2

## MATERIAAL EN METHODEN

### 2.1 HUIDIGE MEETMETHODEN

#### ALGEMEEN

Ter ondersteuning van het peilbeheer wordt met een meetnet van peilbuizen de grondwaterstand gemeten. In de huidige situatie worden metingen handmatig uitgevoerd met een frequentie van 1 keer per 7 dagen (alleen in het groeiseizoen). Nadeel van de huidige meetmethode is dat er gemiddeld meer dan één week tijd zit tussen de meting en de interpretatie van de meting. Voor de optimalisatie van het grondwaterafhankelijk peilbeheer is behoefte aan een sneller inzicht in en reageren op de actuele situatie. De echte winst wordt pas gehaald als snel kan worden ingespeeld op veranderingen in de grondwaterstand. Daarnaast is er voor de optimalisatie van het peilbeheer een hogere meetdichtheid nodig dan in de huidige situatie.

Met nieuwe technische ontwikkelingen is het mogelijk om grondwaterstanden geautomatiseerd waar te nemen en meetgegevens via GSM naar een centrale post te sturen (peilbuizen op telemetrie). Door het grondwaterstandverloop te presenteren ten opzichte van een bandbreedte van het gewenste grondwaterregime wordt op een praktische manier inzichtelijk welke acties moeten worden ondernomen. Door de introductie van peilbuizen op telemetrie worden meetgegevens sneller ingewonnen en kan sneller ingespeeld worden op veranderende situaties. Doordat vaker gemeten wordt kunnen ook effecten van korte neerslagpieken beter worden betrokken in het peilbeheer. Voorlopig zal het grootste deel van de grondwaterstands meetpunten nog handmatig worden gemeten.

Waterschap Hunze en Aa's heeft een eigen meetnet van regenmeters verdeeld over het beheersgebied. Naast de berichtgeving over het weer in de media, maakt het waterschap gebruik van meteorologische gegevens die op het internet voorhanden zijn.

De stuwen en gemalen van het hoofdsysteem zijn voor het overgrote deel op afstand bedienbaar. Dit geldt niet voor de stuwen en gemalen in het regionale systeem. De stuwen van het regionale systeem moeten met de hand worden bediend hetgeen arbeidsintensief is door de grote afstanden tussen de stuwen onderling. Dit is ook de reden dat het bijstellen van de stuwen maximaal wekelijks gebeurt.

### 2.2 GEOGRAFISCHE INFORMATIE

#### REMOTE SENSING

Waterschap Hunze en Aa's heeft de beschikking over verschillende soorten digitale informatie. Men is in het bezit van de Landelijke Grondgebruikskartering Nederland (LGN) waarin met een detail van 30 m het gebruik in 22 klassen is ingedeeld. Het Algemene Hoogtebestand Nederland (AHN) is ook beschikbaar om daarmee de grondwaterstanden en droogleggingen ten opzichte van maaiveld nauwkeurig in beeld te brengen. De ruimtelijke

resolutie van het AHN bestand bedraagt 5 m. Zowel LGN als AHN zijn gebaseerd op remote sensing opnamen. Voor de totstandkoming van LGN zijn Landsat satellieten gebruikt (Thunnissen en Noordman, 1997) terwijl voor het AHN een laser altimeter aan boord van een vliegtuig gebruikt is. Er wordt bij het waterschap nog geen gebruik gemaakt van dynamische remote sensing om daarmee processen van het bodem-water-plant-atmosfeer systeem continue te beschrijven.

### GIS

Het waterschap beheert diverse digitale bestanden waaronder de bodemkaart, bestanden van peilvakken, leidingvakken, locatie van kunstwerken etc. Deze informatie kan onderling aan elkaar worden gekoppeld maar ook worden vergeleken met remote sensing beelden. Hiermee ontstaan mogelijkheden om de waterbalans per eenheid landgebruik, per bodemtype of per peilvak te analyseren. Dergelijke exercities worden binnen het waterschap op project basis uitgevoerd. Er wordt gebruik gemaakt van ArcView software en werknemers hebben toegang tot de bestanden zodat waterbeheerders zelf analyses kunnen uitvoeren zonder afhankelijk van interne GIS experts te zijn.

## 2.3 METHODEN

De uitvoering van dit remote sensing project is opgedeeld in twee delen:

- Operationele fase
- Evaluerende fase

De operationele fase is uitgevoerd waarbij remote sensing beelden zijn gebruikt om een vergelijking met het dagelijks peilbeheer te maken. Voor dit deel van de studie zijn satelliet beelden opgenomen met de National Oceanic and Atmospheric Administration – Advanced Very High Resolution Radiometer (NOAA-AVHRR) gebruikt. Deze NOAA-AVHRR heeft 5 spectrale banden met een ruimtelijke resolutie van 1.1 km. Momenteel zijn NOAA14 en NOAA16 beiden operationeel en worden er 2 beelden overdag en 2 beelden 's nachts van geheel Nederland gemaakt. Het KNMI beschikt over een ontvangstation en de beelden worden bij overkomst gelijk naar de aarde doorgestuurd. Voor deze pilot studie zijn dagbeelden van NOAA-14 gebruikt.

Het totale groeiseizoen tussen medio maart en 1 oktober 2000 is bestudeerd. Elk goed wolkenvrij beeld is geïnterpreteerd. Daarmee is een onregelmatige reeks van dagbeelden ontstaan. Er zijn weken bij met 4 tot 5 beelden en het is ook voorgevallen dat er 4 weken achter elkaar geen goed beeld werd verkregen. De ruwe beelden verkregen van het KNMI bestaan uit reflectie en temperatuur waardes. Deze waardes worden via het Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL) omgezet naar dagelijkse verdamping, bodemvocht en biomassa-productie (BASTIAANSEN ET AL., 1998). Tevens zijn er weektotale van potentiële verdamping, actuele verdamping en biomassa-productie gemaakt door beelden op onbewolkte dagen te integreren met routine metingen op de KNMI hoofdstations voor bewolkte dagen. Hierdoor ontstaat een continue tijdreeks. De dag- en weekbeelden zijn door het waterschap geanalyseerd en vergeleken met de praktijk van het peilbeheer.

Naast de operationele fase is er een evaluerende fase uitgevoerd om achteraf een totaal onafhankelijke indruk te krijgen van de overheersende hydrologische processen en het gevoerde

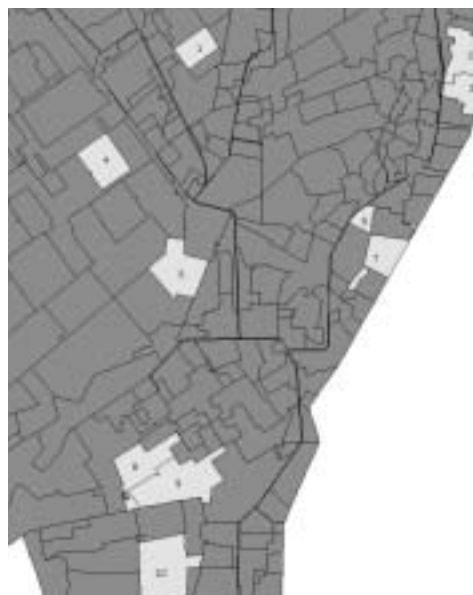
peilbeheer in de veenkoloniën bij een schakering van weerscondities. Hiervoor zijn historische NOAA-AVHRR beelden gebruikt. Om een goede vergelijking te maken is het van belang dat een evenwichtige set van jaren wordt geëvalueerd, met zowel droge, gemiddelde als natte jaren. De drie geselecteerde jaren zijn:

1995	nat voorjaar, 1e helft zomer nat, 2e helft zomer zeer droog
1998	hele jaar nat
1999	nat voorjaar, zomer gemiddeld

Het neerslagoverschot (neerslag - referentiegewasverdamping) is voor de geselecteerde jaren weergegeven in Bijlage 1. Gedurende juli en augustus 1995 is het neerslagoverschot negatief. Zonder aanvoer van gebiedsvreemd water vindt er dan een substantiële uitdroging plaats. Het neerslagoverschot geeft voor 1998 een uitzonderlijk nat jaar weer. Het neerslagoverschot is bijna het gehele jaar positief. Slechts een paar weken in augustus (week 31 t/m 33) geven een neerslagtekort weer. Voor het jaar 1999 geldt dat ook de meeste weken in de zomer een positief neerslagoverschot hebben, maar de omvang is geringer dan die van 1998. Daarmee lijkt de keuze van deze drie jaren gerechtvaardigd.

Fig. 2.1 geeft de peilvakken weer die zijn gebruikt voor de evaluerende fase van het project. Er zijn tien peilvakken in beschouwing genomen. Alle peilvakken bestaan vrijwel volledig uit bouwlandpercelen en liggen in het veenkoloniale gebied. Dit gebied is bekend om zijn fabrieksaardappelen. De bodemsoort en enkele bodem fysische eigenschappen zijn weergegeven in Tabel 2.1. De bodemgegevens zijn ontleend aan de Staringreeks (WÖSTEN ET AL., 1986). De bewortelingsdiepte van de aardappels zijn ontleend aan het SWW model (PEERDEMAN, 1990). Gemiddeld genomen is het vochtgehalte bij veldcapaciteit 78% van het vochtgehalte bij volledige verzadiging. Voor deze peilvakken zijn de SWW en de SEBAL berekeningen van 1995, 1998 en 1999 met elkaar vergeleken.

**FIGUUR 2.1** LOCATIE GESELECTEERDE PEILVAKKEN  
VOOR DE EVALUERENDE FASE IN HET GEBIED  
TUSSEN EMMEN EN STADSKANAAL



Om ook ervaring op te doen met hoge resolutie beelden, is een Landsat-7 opname van 30 juli 1999 gebruikt. De door remote sensing waargenomen verdampingstekorten zijn vergeleken met een gebied waarvan de mate van doelrealisatie voor de functies landbouw en natuur

m.b.v. gestandaardiseerde droogte en natschade functies berekend is. Dit test gebied ligt nabij Onstwedde.

**TABEL 2.1** BODEMGEGEVENS VAN DE ONDERZOCHE PEILVAKKEN IN HET VEENKOLONIALE GEBIED. DE CODE BIJ DE KOLOM BODEMSOORT IS BESCHREVEN IN BAKKER EN DE SCHELLING (1966)

Code uit Fig. 2.1	Peilvak	Bodemsoort	Vochtgehalte bij veldcapaciteit in $\text{cm}^3/\text{cm}^3$	Vochtgehalte bij verzadiging in $\text{cm}^3/\text{cm}^3$	Diepte wortels aardappels in cm
1	990	Veen, Ivz	0.60	0.76	45
2	150	Veen, Ivp	0.43	0.57	40
3	140	Veen, Ivp	0.43	0.57	40
4	1468	Veen, Iwz	0.60	0.76	45
5	1420	Veen, Iwz	0.60	0.76	45
6	382 (380)	Zand, Pzn21	0.26	0.39	50
7	360	Veen, Zwz	0.58	0.63	45
8	279 (207)	Zand, Hn21	0.26	0.39	50
9	272	Veen, Ivp	0.43	0.57	40
10	194	Veen, Ivz	0.60	0.76	45

#### 2.4 SWW MODEL

Het numerieke SWW model (Simulatie Waterbeheer Waterschappen) is geschikt om de effecten van peilbeheer op de grondwaterstand te bestuderen. Door het op niveau houden van de slootwaterstand infiltreert in periodes met een tekort aan neerslag, water in het bodemprofiel en vult het bodemvocht aan (PEERDEMAN EN NIJHOF, 1992). Tevens kan wateroverlast ten gevolge van hoge grondwaterstanden worden beschreven. Het model domein is beperkt tot het gebied wat destijds onder beheer was van het voormalige waterschap Dollardzijlvest. Dit is het gebied wat aan Duitsland grenst en verder ruwweg tussen Emmen, Veendam en de Dollard ligt opgesloten (o.a. Reiderland, Westerwolde en Oostermoer).

De regionale verdeling van de stijghoogtes vormt de onderrand conditie van een 1D kolom model wat de verticale waterbeweging volgens de Richard's vergelijking in de verzadigde/onverzadigde zone uitrekent. Waterlopen worden aan de hand van een schematisatie van afstanden en dieptes beschreven. Via deze wijze kan de verdeling van gebiedsvreemd water worden uitgerekend en kunnen peilen in de waterlopen worden gesimuleerd. SWW herkent een netwerk van stuwen waarmee kunstmatige ingrepen in het oppervlakte-watersysteem kunnen worden nagebootst. Er is een interactie tussen het oppervlakte- en grondwater via een netwerk van drainage weerstanden. Dit is cruciaal om de concepten van grondwaterafhankelijk peilbeheer te simuleren. Het voordeel van het model is dat het de interactie tussen diverse deelsystemen beschrijft.

De resultaten zijn sterk afhankelijk van de kwaliteit van de invoer gegevens en de ijking van het model. De invoergegevens bestaan uit landgebruik, worteldieptes, droogte- en natgevoeligheden van diverse vegetatietypes, hydraulische weerstanden, drainage weerstanden, water retentie karakteristieken, hydraulische doorlatendheden, maaiveldshoogte, dwarsprofielen van waterlopen, maaiveldshoogte, stuwaafmetingen, meteorologische gegevens en



meer. IJking vindt doorgaans plaats aan de hand van gemeten stijghoogtes, grondwaterstanden en debieten (VAN BAKEL, 1986). Meer specifieke informatie over het SWW model is te vinden in Peerdeman (1990).

Het SWW model wordt sinds 1990 een maal per week toegepast voor het veenkoloniale gebied. Op basis van de gesimuleerde grondwaterstand, wordt een adviespeil door het model uitgerekend. De vertaling van grondwaterstanden en of de niveaus dalen of stijgen gebeurt aan de hand van een look-up tabel die door ervaring tot stand is gekomen. Het hoogste adviespeil is -70 cm. Deze adviespeilen worden doorgegeven aan de buitendienst die de stuwen instellen. De buitendienst beoordeelt dit adviespeil en kan hiervan afwijken vanwege hun specifieke gebiedskennis en de korte termijn weersvoorspellingen.

Omdat remote sensing niet de complete waterbalans uitrekent – er zijn geen technieken die aanvoer, afvoer, kwel, wegzijging kunnen schatten – mogen satellietmetingen niet als een vervanger van het geavanceerde SWW model worden beschouwd. Als onafhankelijke schatting, kunnen de remote sensing gegevens wel worden gebruikt om modelvoorspellingen te verbeteren en het model op zekere aspecten te ijken.

Aangezien het SWW model niet meer hardware matig wordt ondersteund, wordt het gebruik ervan stil gelegd. In opdracht van STOWA en in samenwerking met een aantal waterschappen wordt nieuwe beslissingsondersteunende programmatuur ontwikkeld (AQUA-SWAP). Met name de gebruikersvriendelijkheid zal worden verbeterd en daarnaast zullen ook neerslagvoorspellingen worden opgenomen. Het bestaande beslissingsondersteunende model Aquarius (STOWA, 1997) vormt de basis van de nieuwe programmatuur en het programma SWAP (VAN DAM ET AL., 1997) wordt opgenomen als model voor de onverzadigde zone. AQUA-SWAP zal op strategische plekken in het watersysteem worden ingezet en ook worden gebruikt om evaluaties te maken.

# 3

## RESULTATEN

### 3.1 OPERATIONELE FASE (MEETGEGEVENS 2000)

De beelden zijn na berekening met het Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL) aan het waterschap in een Arc Info Grid formaat beschikbaar gesteld. Omdat het om kleine bestanden ging kon dit per e-mail geschieden. Bij het beschikbaar zijn van een onbewolkt dagbeeld (NOAA14 maakt elke middag een opname), werd dit beeld zo snel mogelijk doorgestuurd. In de praktijk kostte het 2 tot 4 dagen om dit te realiseren. Voor een gedeelte is deze tijdsduur te wijten aan handmatige procedures omdat het hier om een pilot studie ging. Door de meteorologische gegevens automatisch in te lezen en te verwerken, wordt een aanzienlijke tijdswinst gemaakt. De datanavigatie tussen de ontvanger van de NOAA gegevens (KNMI) en het remote sensing adviesbureau (WaterWatch) kan worden versneld door alle satellietbeelden door te sturen i.p.v. alleen visueel door het KNMI geïnspecteerde en goed bevonden beelden. De beperkende factor in de tijdsschakel is dan nog het toepassen van de SEBAL modellering. Gedurende de uitvoering van de pilot studie moesten de energiebalans berekeningen handmatig geschieden maar thans is hiervoor de nodige software ontwikkeld. Deze achtergrond wordt hier geschetst om aan te geven dat anno 2002 het tijds-pad tussen satellietopname en aanlevering van de producten bij het waterschap korter is.

De ontsluiting van de data aan de ontvangende kant bleek tijdens de proef van belangrijke aard te zijn voor het adequaat ondersteunen van het peilbeheer. Aandachtspunten hierbij zijn de interne verspreiding en het snel en eenduidig presenteren van de data. Het is van belang om zowel inzicht te hebben in het ruimtelijke beeld als in het verloop in de tijd van de verschillende variabelen. De ruimtelijke beelden waren met GIS toepassingen goed inzichtelijk te maken, maar het verloop in de tijd bleek een stuk lastiger presentabel te zijn. Het presentabel maken van de data vereiste relatief veel tijd van een GIS specialist, dit werk zou kunnen worden geautomatiseerd. Een voorbeeld van zo'n bewerking is het berekenen van gemiddelden per peilvak. Inmiddels is software voor het ontsluiten van de data ten behoeve van het peilbeheer door een collega waterschap ontwikkeld. In de daarvoor ontwikkelde GIS tool is een eerste aanzet opgenomen met beslisregels waarmee adviezen voor het peilbeheer worden afgeleid.

Bij peilbeheerders bestaat nog veel 'drempelvrees' om de remote sensing gegevens toe te passen. Men twijfelt veelal aan de betrouwbaarheid van de data, omdat men niet weet hoe de gegevens tot stand komen. Tijdens de operationele sessie bleek dat het van belang is om peilbeheerders die met de beelden werken goed op de hoogte te stellen van de betrouwbaarheid van de data en de manier waarop de data worden verkregen. Hiermee wordt draagvlak gecreëerd om de informatie ook daadwerkelijk toe te passen.

Een voorbeeld van de NOAA dag producten is weergegeven in Fig. 3.1. Het beeld is opgenomen op 18 juni 2000. De metingen van het verdampingstekort kunnen worden gebruikt wanneer de gewassen een gesloten bladerdek hebben. Kale bodem verdamping geeft name-

lijk geen zinvolle informatie over de vochtbeschikbaarheid voor de vegetatie. Voordat het gewas 'gesloten' is, is het gemeten verdampingstekort een mix van bodem- en gewasverdamping.

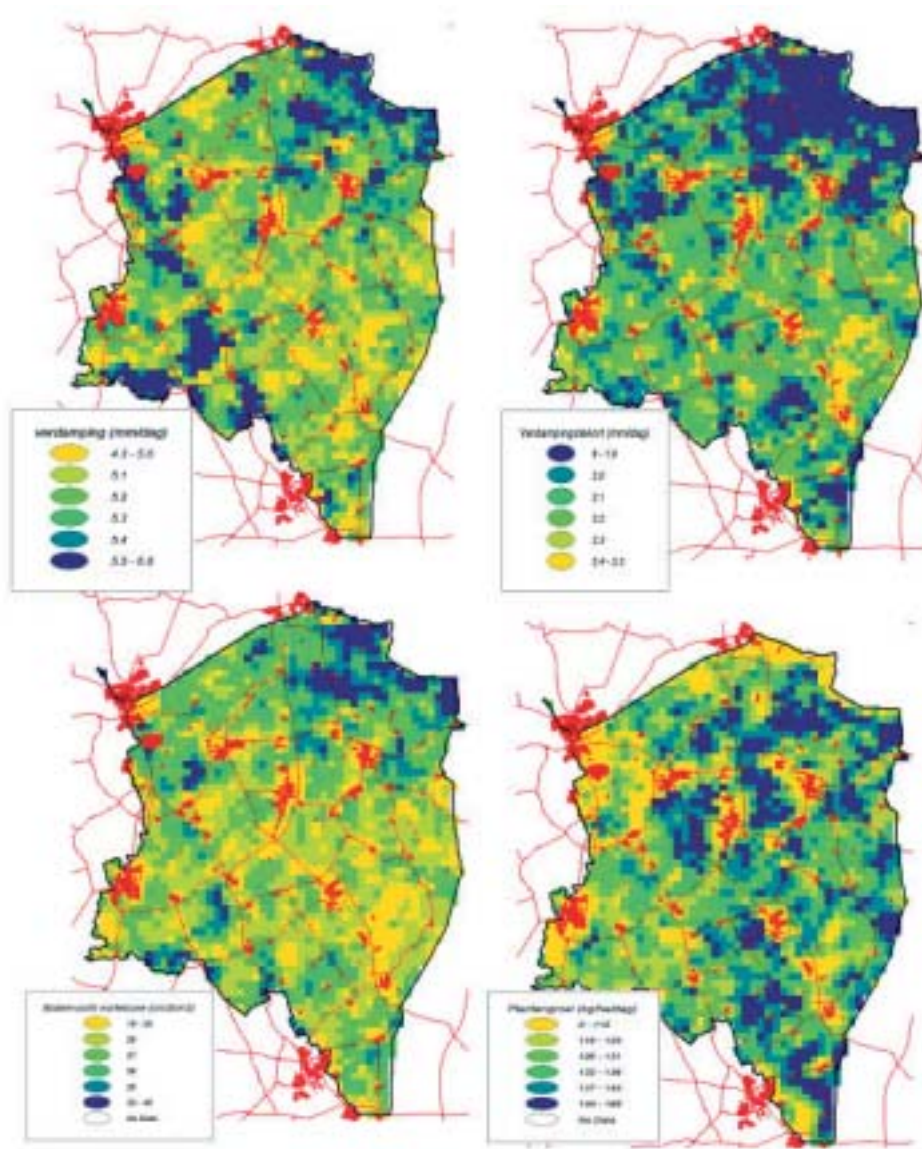
De actuele verdamping van de bossen op de Hondsrug is op een zomerse dag hoger dan de omringende akkerbouwgebieden. Dit geldt niet voor de zeekleigebieden, waar de gewasverdamping gelijk is aan de bosverdamping. Het Westerwolde ten oosten van Stadskanaal heeft de laagste verdamping en het grootste verdampingstekort ( $ET_{pot} - ET_{act}$ ). Ondanks wateraanvoer kan de grondwaterstand en het bodemvochtgehalte niet op peil worden gehouden om aan de verdampingsvraag te voldoen. Er is blijkbaar meer afvoer via verdamping dan aanvoer via infiltratie. De nauwkeurigheid in de berekening van de potentiële verdamping is cruciaal voor het vaststellen van het verdampingstekort. Het gaat hierbij vooral om de berekening van de gewasweerstand als het bodemvocht gemakkelijk beschikbaar is. De remote sensing berekeningen waren aanvankelijk gebaseerd op een minimale weerstand van 40 s/m hetgeen een typische waarde voor aardappelen is (NIEUWENHUIS, 1982; in het SWW model wordt zelfs 30 s/m gebruikt). De ervaring leert dat dit tot grote  $ET_{pot} - ET_{act}$  waardes leidt en thans is deze waarde variabel gemaakt volgens het concept van het Jarvis-Stewart model (JARVIS, 1976; STEWART, 1988). De minimale gewasweerstand is nu een functie van Leaf Area Index met een bovengrens van 90 s/m.

De poldervaag gronden in het zeeklei hebben nauwelijks met bodemvochtproblemen te maken, ofschoon er niet eens een grondwaterafhankelijk peilbeheer wordt gevoerd (zie Fig. 1.1). Het bodemvochtgehalte blijft boven de  $0.30 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ . Deze eigenschappen hebben waarschijnlijk met de natuurlijke rijkdom en het enorme landbouw potentiaal van deze gronden te maken. Het gebied van de Hondsrug en de Drentse Aa met waterconservering toont aan dat de verdamping vrij hoog is (blijkbaar wordt het water dus goed geconserveerd), maar dat de vegetatie maar matig groeit. Dit kan duiden op een zuurstofgebrek in de bodem (het is te nat), maar het kan ook duiden op het aanwezig zijn van minder productieve natuurterreinen. De boodschap hier is dat droog- en natschade zich afzonderlijk manifesteren in remote sensing parameters. Droogteschade manifesteert zich in  $ET_{pot} - ET_{act}$  en natschade uit zich in een reductie van de biomassaproductie.

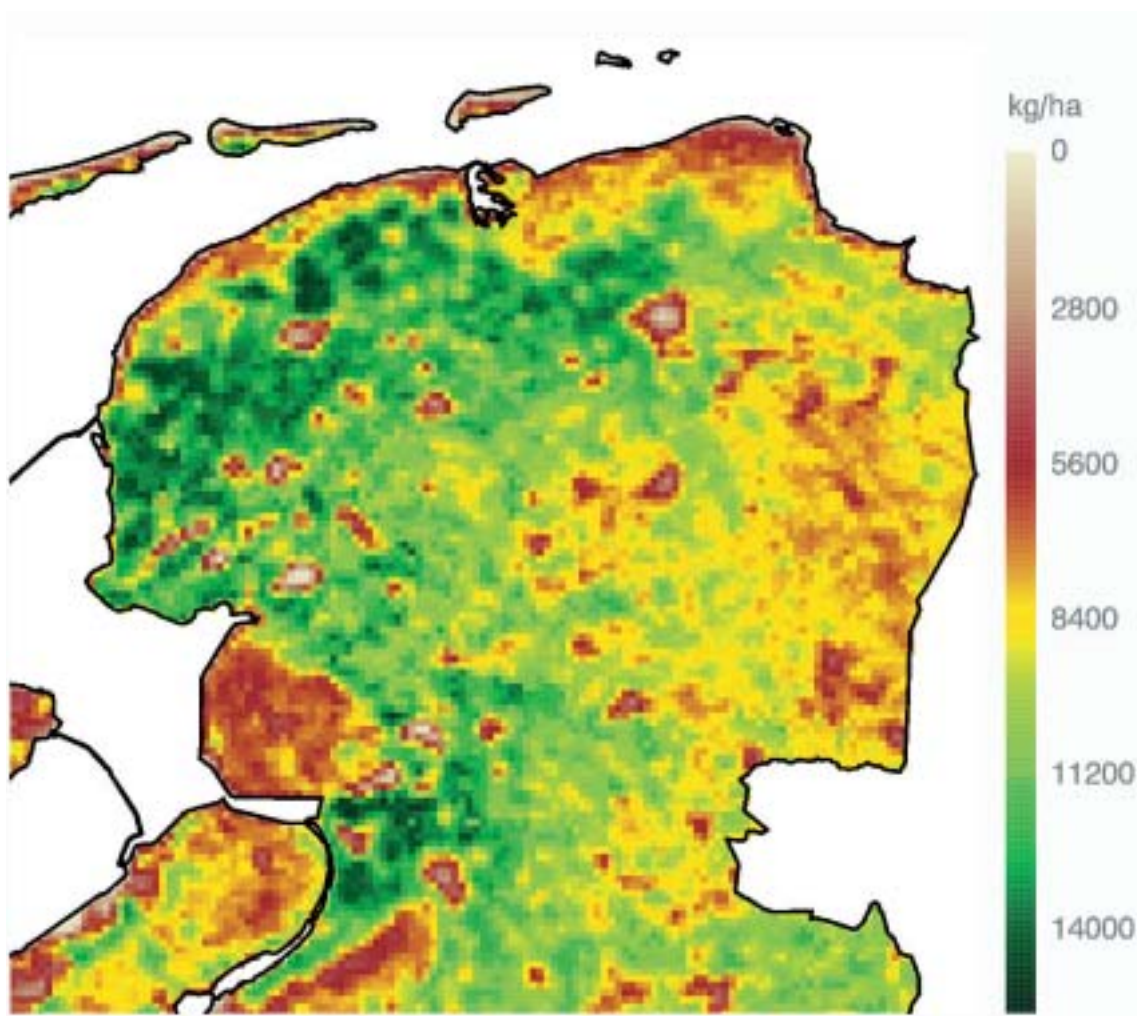
De hoogste gewasgroei in de zomer vindt niet in het kustgebied plaats, maar wat meer landinwaarts. Dit kan o.a. worden toegeschreven aan het meer intensief voorkomen van granen in het meest Noordelijke gedeelte van de Oldambt die dan al aan het afrijpen zijn. Hoge waardes voor biomassaproductie komen verrassend genoeg als clusters door het gehele gebied van waterschap Hunze en AA's voor. Dit zijn mogelijk clusters van hydrologische eenheden waar met het gevoerde peilbeheer de opbrengst substantieel kan worden beïnvloed. Het heeft niet met het aanwezig zijn van bosopstanden te maken. Dit aspect is interessant om in een vervolgstudie aan een nadere analyse te ontwerpen.

Kijkend naar de totale biomassaproductie over het groeiseizoen van 2000 (zie Fig. 3.2), kan worden gesteld dat het Oldambt met een biomassaproductie van 10 ton/ha (dat is ruwweg equivalent aan 8.5 ton droge stof productie in de knollen oftewel 42.5 ton/ha vers product) meer produceert dan de veenkoloniale gebieden (biomassaproductie 7.5 ton/ha, i.e. 32 ton/ha vers product). Het Reiderland ten Oosten van Winschoten (omgeving Beerta-Bellingwolde) vertoont in 2000 de hoogste biomassaproductie. Van de veenkoloniale gebie-

den heeft de omgeving Vlagtwedde de hoogste gewasopbrengsten. De graslandgebieden van het Westerkwartier en Friesland hebben volgens Fig. 3.2 een hogere biomassa productie dan de akkerbouwgebieden, maar dit komt louter doordat dit een weidegebied is.



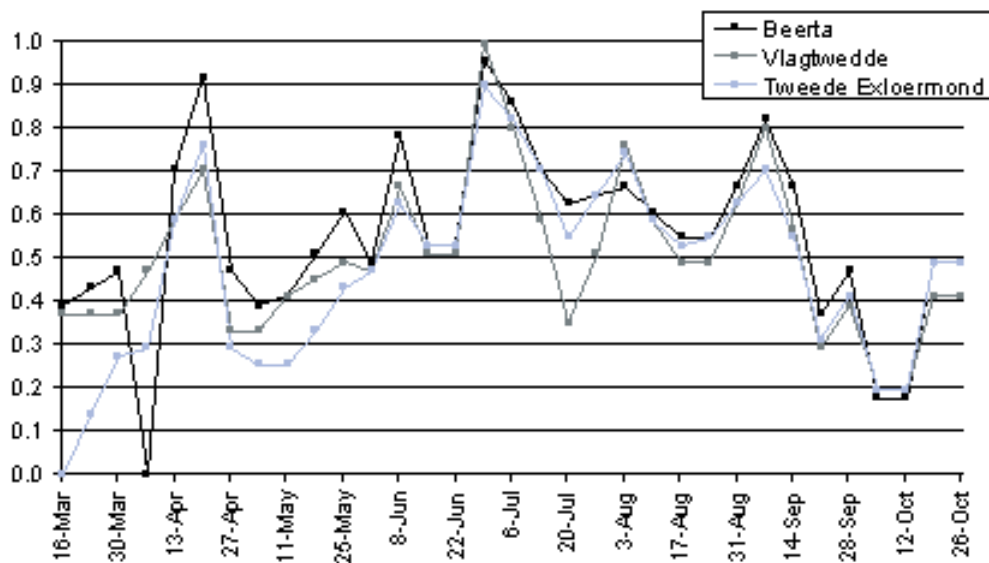
FIGUUR 3.1 VOORBEELD VAN DAGELIJKSE REMOTE SENSING PRODUCTEN VOOR HET PEILBEHEER GEBASEERD OP NOAA-14 DATA. HET VOORBEELD IS OPGENOMEN OP 8 JUNI 2000



FIGUUR 3.2 TOTALE BIOMASSAPRODUCTIE VOOR DE PERIODE 20 MAART JUNI T/M 17 SEPTEMBER 2000

De remote sensing schattingen van het bodemvocht zijn gebaseerd op het bodemvochtgehalte in de wortelzone. Bij onbegroeide gronden zegt de meting iets over de bovenste centimeters van de bodem (deel van de bodem dat bijdraagt aan kale grondverdamping). Er is vooral gekeken naar de periode maart t/m mei (week 10 en 20). In deze periode is de biomassa productie beperkt, en geven de bodemvochtmetingen een indruk van de bewerkbaarheid van de percelen. Dit geldt vooral voor de braak liggende gronden van het veenkoloniale gebied. Figuur 3.3 geeft het verloop van het bodemvochtgehalte voor een drietal 100 ha pixels weer. De kilometerhokken van de rijksdriehoeksmeting zijn tussen haakjes weergegeven:

- ii Beerta, Oldambt, zeekleigebied (x=270; y=578)
- iii Vlagtwedde, Westerwolde, zandgebied (x=271; y=560)
- iv Tweede Exloërmond, veengebied (x=261, y=548)



FIGUUR 3.3 BODEMVOCHTVERLOOP VAN DRIE GESELECTEERDE KILOMETERHOKKEN GEDURENDE HET GROEISEIZOEN VAN 2000

Het lage winterpeil en wegblijven van regenval maakt het studiegebied eind maart en begin april droog (relatief vochtgehalte minder dan 50%). Deze periode is geschikt om het land te bewerken. Fig. 3.3 toont aan dat de bodem vanaf begin mei t/m begin juni steeds vochtiger wordt. De grondwaterstand was eind april vrij hoog en is gedurende mei iets gezakt omdat het neerslagoverschot positief was (zie bijlage 1). Begin juni is het peil definitief op de zomerhoogtes gekomen. Gedurende juli en augustus zit het vochtgehalte iets onder veldcapaciteit, enkele pieken ten gevolge van hevige neerslag nagelaten. Afhankelijk van het bodem type zal het relatieve vochtgehalte bij veldcapaciteit tussen  $q/q_{sat}=0.70$  tot  $0.80$  bedragen. De bodem is dus eigenlijk iets te droog voor een optimale agrarische productie. De remote sensing bodemvochtmetingen van, Vlagtwedde en Tweede Exloërmond geven een structureel droger beeld te zien dan de bodems in het Oldambt (zie ook Fig. 3.1) hetgeen aan de hoge retentie eigenschappen van de zeeklei kan worden toegeschreven. De dalgronden in de veenkoloniën zijn, ondanks wateraanvoer, moeilijk op veldcapaciteit te houden. Het voorbeeld van Fig. 3.3 geeft aan dat deze informatie kan worden verkregen zonder grondwaterstanden of andere hydrologische metingen.

Tijdens de operationele sessie zijn de beelden op een oriënterende wijze gebruikt als ondersteuning van het peilbeheer. Om de beelden in de toekomst op een systematische wijze te gebruiken, is behoefte aan praktische beslisregels waarmee adviezen voor het peilbeheer kunnen worden afgeleid. Het verdient aanbeveling om hier nader onderzoek naar te verrichten.

### 3.2 EVALUERENDE FASE (MEETGEGEVENS '95, '98, '99)

De gegevens voor het evaluerende peilbeheer zijn ontleend aan veldmetingen, simulaties met het SWW model en remote sensing schattingen van hydrologische processen (zie Tabel 3.1). De modeluitvoer van het SWW model voor de jaren 1995, 1998 en 1999 is voor de specifieke peilvakken verzameld. De meetgegevens van remote sensing zijn per jaar en per peilvak in één grafiek gepresenteerd met de meetgegevens van het operationele peilbeheer en

de resultaten van het SWW model (zie bijlage 2)<sup>1</sup>. In bijlage 3 worden de remote sensing meetgegevens vergeleken met de resultaten van SWW. In deze studie ligt de nadruk op het zoeken naar verbanden die mogelijk kunnen worden benut bij de ondersteuning van het peilbeheer. De nadruk ligt niet op het verklaren van verschillen die optreden tussen de uitkomsten van de verschillende technieken. In tabel 3.1 is weergegeven welke gegevens vanuit de verschillende bronnen van informatie kunnen worden verkregen.

Door meetgegevens gezamenlijk in beschouwing te nemen is getracht om verbanden te zoeken tussen enerzijds de meetgegevens die via remote sensing worden verkregen en anderzijds het daadwerkelijk gevoerde peilbeheer en het geadviseerde peilbeheer door het model SWW. De volgende drie verbanden sprongen hierbij in het oog:

- 1 verband tussen de meting van het verdampingstekort en het peilbeheer gedurende het groeiseizoen;
- 2 verband tussen bodemvochtmetingen en het peilbeheer in het voorjaar;
- 3 verband tussen de meting van de biomassagroei en het peilbeheer aan het eind van het groeiseizoen.

In het onderstaande worden de verbanden toegelicht.

#### **VERBAND TUSSEN DE METING VAN HET VERDAMPINGSTEKORT EN HET PEILBEHEER GEDURENDE HET GROEISEIZOEN**

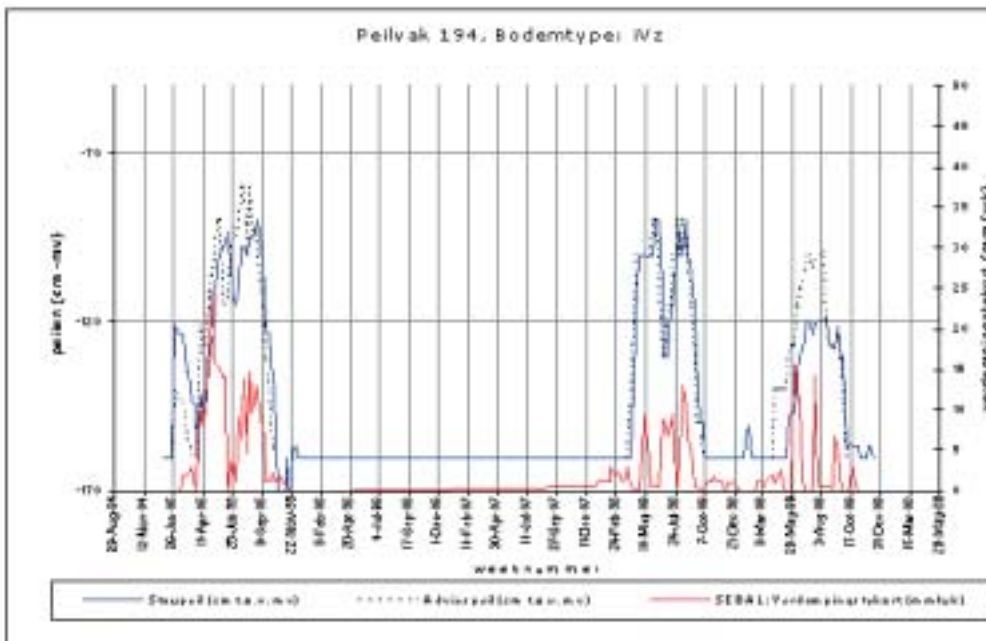
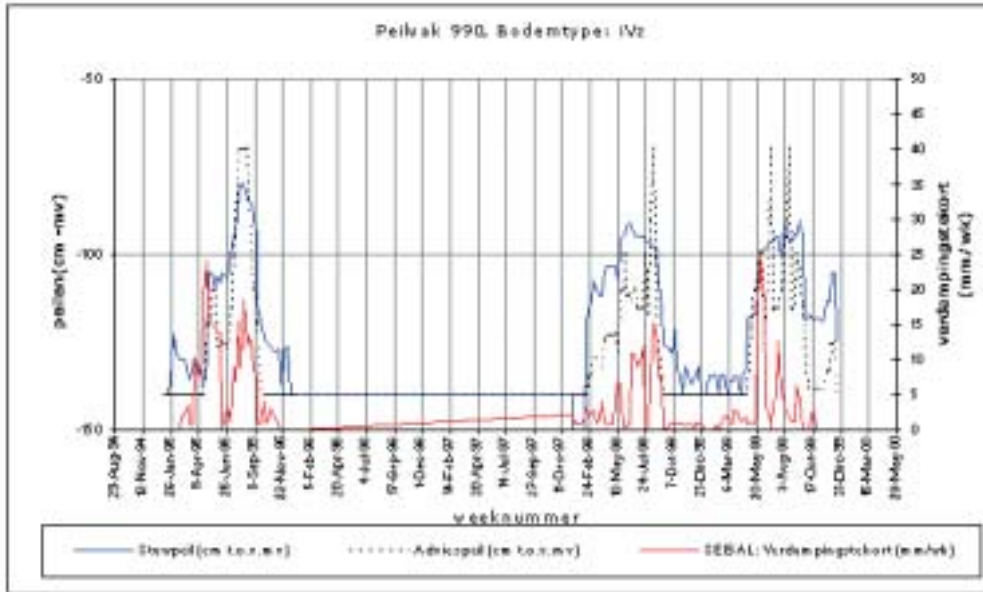
Fig 3.4 is opgenomen om te laten zien dat er een verband bestaat tussen het werkelijke stuwbeheer, de SWW adviespeilen en het verdampingstekort uit remote sensing. De metingen van het verdampingstekort kunnen pas gebruikt worden wanneer de gewassen een gesloten bladerdek hebben. Voordat het gewas 'gesloten' is, is het gemeten verdampingstekort namelijk een mix van bodem- en gewasverdamping.

Uit de meetgegevens blijkt dat er overeenkomsten bestaan tussen de adviespeilen die worden afgeleid door het beslissingsondersteunende model en de verdampingstekorten die met remote sensing worden gemeten. Juist die momenten dat verdampingstekorten worden gemeten met remote sensing, wordt door SWW het advies gegeven om de peilen bij te stellen. De analyse van peilvak 990 in Fig. 3.4 geeft aan dat verdampingstekorten nooit helemaal kunnen worden voorkomen. De stuwpeilen in peilvak 990 komen niet hoger dan 80 cm -mv, ook niet in de droger zomer van 1995. Het adviespeil van SWW is wel hoger, maar de peilbeheerder neemt waarschijnlijk niet het risico meer water in het gebied te bergen dan hij/zij nodig acht. De hoogste pieken in SEBAL verdampingstekort treden op als het werkelijke peil lager is dan het adviespeil. Gedurende 1995 is een goede overeenkomst tussen het adviespeil en het verdampingstekort waarneembaar. Een hoog peil gaat gepaard met een hoog verdampingstekort omdat het bodemprofiel uitdroogt en het model dat herkent als een noodzakelijke aanvulling. Het adviespeil voor de overgang naar de winter periode komt in alle 3 studie jaren goed met het verdampingstekort overeen. De beheerder van peilvak 990 houdt het hoge zomerpeil nog wat langer vast.

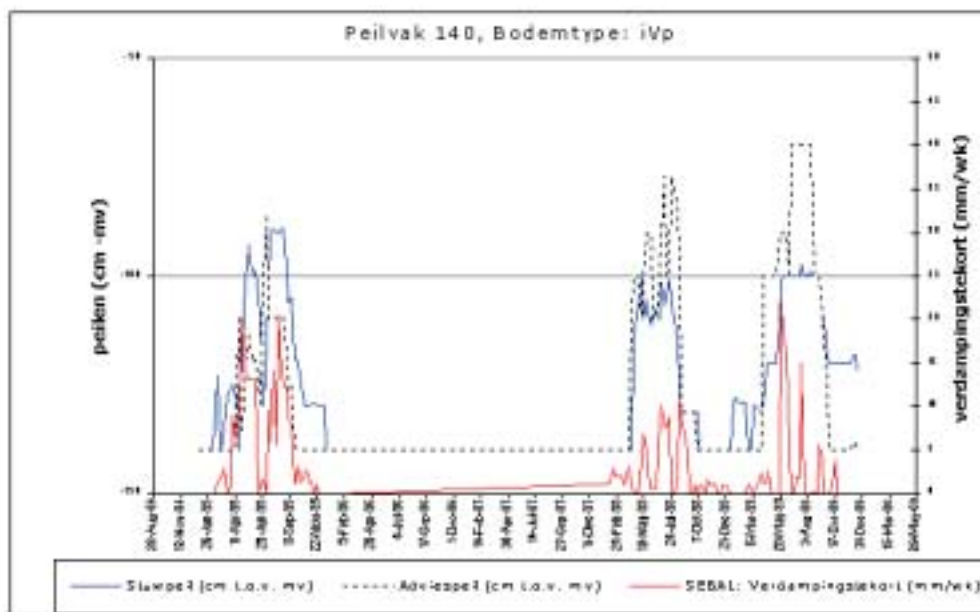
De beheerder van peilvak 194 schijnt meer fiducia in het SWW model te hebben, want de verschillen tussen het adviespeil en het werkelijke peil zijn vrij gering. Het grootste verdampingstekort treedt op in het voorjaar van 1995 als het peil nog vrij laag is (150 cm -mv) en de regens uitblijven. Het peil varieert in de zomer tussen de 90 en 130 cm -mv. Als in 1998

<sup>1</sup> In bijlage 2 zijn voor één peilvak de grafieken opgenomen. Als onderdeel van de studie zijn de gegevens van tien peilvakken bestudeerd. Vanwege de leesbaarheid van dit rapport zijn niet al deze gegevens opgenomen.

het peil op het laagste niveau van 130 cm -mv zit, treedt er een tekort aan water op. Dit wekt de suggestie dat de peilen hoger kunnen worden opgezet, maar dat is alleen bekeken vanuit de optiek van verdampingsmanagement. Zomerse onweersbuien moeten ook kunnen worden gebufferd en de praktijk moet vele – soms tegenstrijdige – adviezen bundelen.







FIGUUR 3.4 VERDAMPINGSTEKORT UIT SEBAL IN RELATIE TOT HET WERKELIJK UITGEVOERDE STUWBEHEER EN DE ADVIESPEILEN UIT SWW

Peilvak 140 is een ander voorbeeld van een verband tussen adviespeil en SEBAL verdampingstekort. Het SWW model adviseert wederom hogere peilen als het SEBAL verdampingstekort  $>5$  mm/wk. Blijkbaar induceert het model een uitdrogend profiel (de bodem is dan nog wel steeds nat), en wil dat compenseren door de peilen te verhogen. Opvallend is dat de temporele verschillen van peilvak 140 groot zijn. Het venige bodemtype (iVp) laat veel variaties in verdampingstekorten en peilen zien. Over het algemeen kan worden geconstateerd dat de adviespeilen niet worden gehanteerd en dat dat gedrag wordt gereflecteerd in een verdampingstekort.

#### VERBAND TUSSEN METING VAN HET BODEMVOCHT EN HET PEILBEHEER IN HET VOORJAAR

De bodemvochtmetingen geven een indruk van het bodemvochtgehalte in de wortelzone. Bij onbegroeide gronden zegt de meting iets over de bovenste centimeters van de bodem (deel van de bodem dat bijdraagt aan kale grond verdamping).

Er is gekeken naar de periode tussen week 10 en 20. In deze periode is de biomassagroei beperkt, en geven de bodemvochtmetingen een indruk van het vochtgehalte van de bovenste centimeters van de bodem, hetgeen een maat is voor de bewerkbaarheid van de percelen. Na week 20 wordt het verloop van de metingen van het bodemvochtgehalte beïnvloed door de ontwikkeling van de wortelzone. Daarom zijn de metingen na week 20 niet gebruikt. Bovendien zal over het algemeen in week 20 het zomerpeil al bereikt zijn.

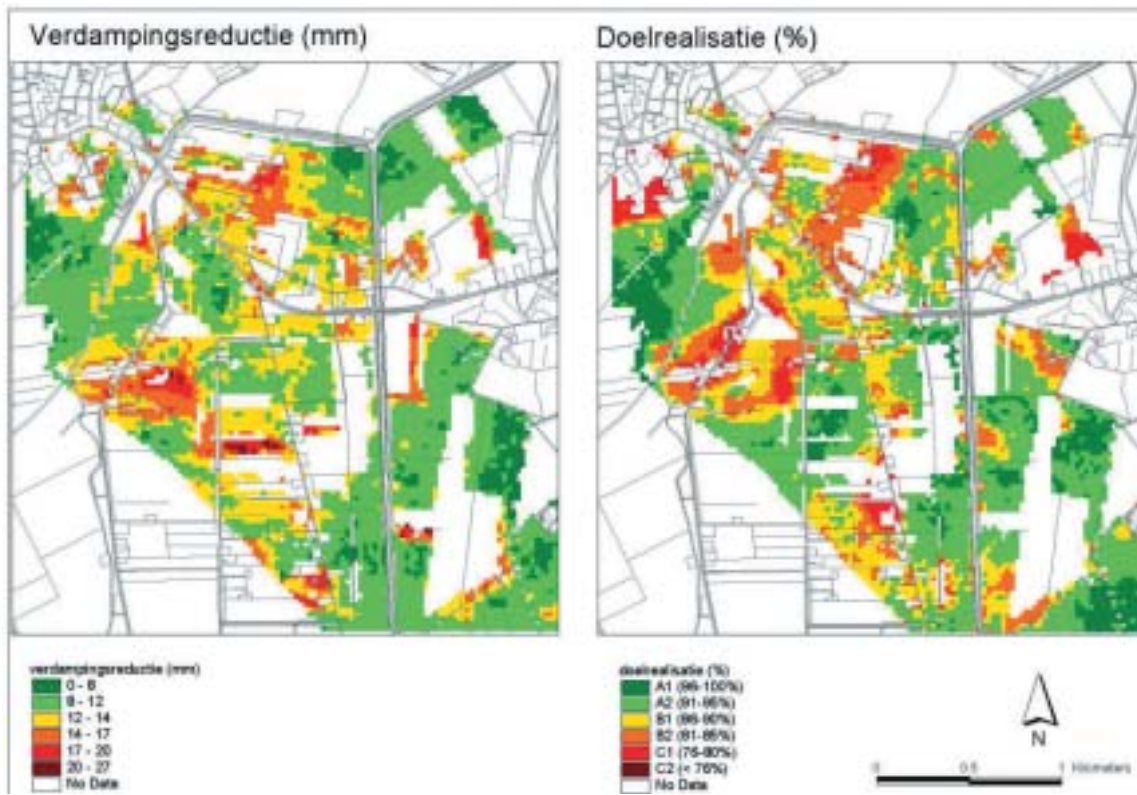
Uit de meetgegevens blijkt dat de periode dat de stuwpeilen worden opgezet tot zomerpeilen samenvalt met de periode dat het bodemvochtgehalte een dalende trend ingezet heeft. Mogelijk kan in de toekomst van dit verband gebruik worden gemaakt bij de ondersteuning van het peilbeheer. Voor het afleiden van een goede beheersstrategie is meer inzicht nodig in de relatie tussen de bodemvochtmetingen en de bewerkbaarheid van de grond.

#### **VERBAND TUSSEN METING VAN BIOMASSAGROEI EN HET PEILBEHEER AAN HET EIND VAN HET GROEISEIZOEN**

Uit de meetgegevens blijkt dat er een verband is tussen de dalende trend van de biomassa-groei en de dalende trend van de adviespeilen die uit het beslissing ondersteunende model komen. De meetgegevens in beschouwing nemende wordt dus de verwachting gewekt dat de meting van de biomassa-groei kan worden gebruikt bij het peilbeheer aan het eind van het groeiseizoen. Echter, ook hier geldt dat het lastig is om dit vertalen in een praktische beheersstrategie op basis van de gegevens die nu voor handen zijn. Ook hier is nader onderzoek gewenst.

#### **VERBAND MET DOELREALISATIE**

De realisatie van het gewenste grondwaterbeheer hangt mede af van het landgebruik en de daarbij passende hydrologische omstandigheden, zodanig dat er geen schade aan functie-doelstellingen worden gedaan (PROJECTGROEP WATERNOOD, 1998). Ofschoon Fig. 3.2 op supra-provinciaal niveau aangeeft of de groeisituatie goed is, kan daarmee geen informatie over de lokale situatie met verschillen in landgebruik worden afgeleid. Daarom is een Landsat beeld genomen met een ruimtelijk detail van 30 m (Fig. 3.5). In grove lijnen komen de resultaten tussen de doelrealisatie en de verdampingstekorten overeen, maar op detailniveau zijn er ook heel wat verschillen detecteerbaar. In totaliteit lijkt de rode fractie met de meeste droogteschade volgens de remote sensing niet zo groot te zijn als verwacht op basis van de doelrealisatie. Dit kan voortkomen uit de sterk vereenvoudigde droogteschade functies, of een grondwaterstand die niet goed gesimuleerd is. De remote sensing methode is erg simpel ( $ET_{pot} - ET_{act}$ ) en heeft geen enkele invoer gegeven uit het bewuste gebied nodig. Dat maakt deze Landsat methode aantrekkelijk om op uitgebreide schaal de doelrealisatie op een onafhankelijke manier te schatten.



FIGUUR 3.5 VERDAMPINGSREDUCTIE GEÏNTERPRETEERD UIT EEN HOGE RESOLUTIE LANDSAT BEELD (31 JULI 1999) EN DE DOELREALISATIE AAN DE HAND VAN LANDGEBRUIK, BODEMSOORT EN GEMODELLEERDE GRONDWATERSTAND

## 4

# TOEPASSINGEN VAN REMOTE SENSING IN HET WATERBEHEER

## 4.1 MOGELIJKHEDEN VOOR VOORBEREIDEND WATERBEHEER

Er is een landelijke trend om meer aandacht aan grondwaterafhankelijk peilbeheer te besteden. Het centrale gedachtegoed is dat via open water peilen de grondwaterstand, bodemvochtgehalte en verdamping kunnen worden beïnvloed. In deze pilot studie is bestudeerd of remote sensing schattingen van bodemvocht en verdamping daarbij van dienst kunnen zijn. Verdamping beschrijft het effect van de hydrologische toestand op de groei van gewassen, bossen en natuurterreinen. Verdamping is dus een directe maat voor de waterhuishouding van de bodem. Het geeft – indien gecombineerd met biomassaproductie - rechtstreeks de droogte- en natschade weer en kan dus vertellen of het grondwaterregime goed is. Dat is anderzijds via schaarse metingen van de grondwaterstand en generieke droogte- en natschade tabellen op regionale schaal minder nauwkeurig te realiseren.

De doelrealisatie van grondwaterafhankelijk peilbeheer kan worden getoetst m.b.v. biomassaproductiecijfers en verdampingstekorten. Een voorbeeld van biomassaproducties op provinciale schaal is uitgewerkt om zones met meer en minder vitaliteit aan te wijzen. Dit is een goede methode om voor grotere gebieden op eenduidige manier de droogte en natschade te kwantificeren, en de relatie met peilbeheer vast te stellen. Een reeks van meerdere jaren met provinciaal dekkende NOAA beelden en alle aanwezige peilvakken is een methode om snel inzicht in het hydrologisch functioneren van deelsystemen te krijgen. Op lokale schaal kan dit tevens worden gedaan m.b.v. Landsat beelden om daarmee landgebruik in de doelrealisatie te betrekken. Omdat waterschap Hunze en AA's de beschikking over digitale GIS bestanden heeft, kunnen bodemvocht, verdamping en biomassaproductie tevens per eenheid bodemtype en per eenheid landgebruik worden bestudeerd.

## 4.2 MOGELIJKHEDEN VOOR UITVOEREND WATERBEHEER

Uit de meetgegevens blijkt dat er overeenkomsten bestaan tussen de adviespeilen die worden afgeleid door het beslissingsondersteunende SWW model, de werkelijke stuwpeilen en de verdampingstekorten die met remote sensing worden gemeten (zie Fig. 3.6). Op momenten dat aanzienlijke verdampingstekorten worden geconstateerd door remote sensing beelden, wordt door SWW het advies gegeven om de peilen naar boven toe bij te stellen, of worden de peilen door de beheerder al kunstmatig verhoogd. Statistische verbanden zijn moeilijk te leggen omdat de meteorologie een veel kortere tijdschaal herbergt dan het trage grondwatersysteem. Er is bijvoorbeeld geen verband te trekken tussen peilen, grondwaterstanden en verdamping afgeleid uit het SWW model.

Het gebruik van de remote sensing gegevens voor het peilbeheer dient verder aan meer testen te worden onderworpen. Vooral de vertaling van verdamping en verdampingstekort

naar een praktische beheersstrategie van de stuwen vergt een stuk praktijkervaring wat nog verder moet worden opgebouwd.

Een bodemvochtafhankelijk peilbeheer blijkt technisch gezien niet mogelijk omdat er teveel onzekerheid in het totale vochtgehalte van de wortelzone bestaat. Geavanceerde technieken spreken hier elkaar tegen. Het SWW model houdt het bodemvocht rond veldcapaciteit, ook in de droge zomer van 1995. Een permanent nat profiel is niet waarschijnlijk, en dit is een manco van veel hydrologische modellen die bodemvochtstroming met de Richard's vergelijking uitrekenen. De bodemvocht schattingen uit remote sensing daarentegen, vertonen teveel fluctuatie in de tijd, hetgeen ook niet waarschijnlijk is. Er moeten meer veldcampagnes worden georganiseerd om dit dilemma op te lossen. Een ander bezwaar is dat bodemvocht alleen op onbewolkte dagen wordt verkregen, en dergelijke periodes kenmerken zich door uitdroging. Dit levert een bias in de resultaten op.

Regenval en referentie verdamping zijn meteorologisch bepaald, en daar kan door het waterschap niet veel aan worden gestuurd. De gevolgen van een negatief neerslagoverschot op de bodemvochtvoorraad kunnen echter worden beperkt. Uit de analyses blijkt dat het gevoerde peilbeheer niet altijd tot het gewenste bodemvocht en verdampingsniveau leidt. Ofschoon dit ook aan landgebruik is gekoppeld, is het opvallend dat er veel lokale verschillen zijn, die niet uit landgebruik alleen kunnen worden verklaard. Gedeeltelijk kunnen de verschillen aan bodemtypes worden toegeschreven. De landbouwkundige opbrengst in het kleigebied is significant hoger dan in de veenkoloniën, althans voor het jaar 2000. Omdat de gewasgroei, verdamping en bodemvocht in de zand- en veengebieden lager is dan in de kleigebieden, lijkt het aanbevelingswaardig na te gaan of het stuwbeheer in de zand en veengebieden gedurende de zomer categorisch dient te worden aangepast, of dat dit vanwege andere aspecten niet mogelijk is.

Remote sensing beelden zouden vaker en sneller beschikbaar moeten zijn om een rol van betekenis te hebben in het uitvoerende waterbeheer. In de studieperiode van 2000 was de gemiddelde levertijd 2 à 4 dagen. Dit kan technisch gezien sterk worden verkort. Omdat de verdampingsgegevens continue vanuit remote sensing en grondmetingen kunnen worden aangeleverd, kan dit uiteindelijk tot een operationeel product leiden.

Een goede ontsluiting van gegevens bij de ontvangende partij is belangrijk. Gegevens moeten gemakkelijk, snel en eenduidig kunnen worden geraadpleegd door alle relevante personen bij de ontvangende partij. Grote delen van het verspreiden en ontsluiten van de informatie kunnen worden geautomatiseerd.

**ANTWOORD OP DE ONDERZOEKSVRAGEN**

Zijn er verbanden aan te geven tussen enerzijds de meetgegevens die via remote sensing worden verkregen en anderzijds het gevoerde peilbeheer en de adviezen van het beslissing ondersteunende model SWW dat het waterschap gebruikt bij het peilbeheer?

Bij het gezamenlijk in beschouwing nemen van de meetgegevens sprongen de volgende drie verbanden in het oog:

- 1 verband tussen de meting van het verdampingstekort en het peilbeheer gedurende het groeiseizoen;**
- 2 verband tussen bodemvochtmetingen en het peilbeheer in het voorjaar;**
- 3 verband tussen de meting van de biomassagroei en het peilbeheer aan het eind van het groeiseizoen.**

Zijn deze verbanden bruikbaar om in te zetten als ondersteuning van het peilbeheer en kan het peilbeheer hiermee worden verbeterd?

**1 Meting van het verdampingstekort en het peilbeheer gedurende het groeiseizoen.**

Inzicht in de verdampingstekorten van een gebied zijn wezenlijk belang voor het peilbeheer gedurende het groeiseizoen. Indien uit remote sensing beelden blijkt dat bepaalde delen van het gebied verdampingstekorten vertonen kan dit een aanleiding zijn voor de peilbeheerder om de stuwpeilen in dat gebied te verhogen. Voordelen van de remote sensing techniek zijn dat vlakdekkende informatie kan worden verkregen en dat de meetgegevens snel beschikbaar zijn. De vertaling naar een praktische beheersstrategie is een lastig punt. Uiteindelijk willen we naar een set van objectieve beslisregels waaruit een advies komt ten aanzien van het peilbeheer. Hier is meer onderzoek voor nodig. Mogelijke oplossingsrichtingen zijn het inzetten van meetgegevens vanuit remote sensing in bestaande modellen (bijv. Aqua-swap) of eenvoudige waterbalansen om uiteindelijk adviezen af te leiden ter ondersteuning van het peilbeheer.

**2 Bodemvochtmetingen en het peilbeheer in het voorjaar.**

In het algemeen kan gesteld worden dat waterbeheerders die een flexibel peilbeheer voeren vooral in het voorjaar een sterke behoefte hebben aan actuele informatie over de bewerkbaarheid van de grond. Dit in verband met het dilemma om enerzijds in het voorjaar zoveel mogelijk gebiedseigen water vast te willen houden en anderzijds de bewerkbaarheid van de gronden mogelijk te willen maken. Met het verkrijgen van objectieve gegevens over de bewerkbaarheid van de gronden kunnen beter onderbouwde beslissingen worden genomen bij de gefaseerde opbouw van winter- naar zomerpeil.

Het principe van bodemvochtafhankelijk peilbeheer gedurende het groeiseizoen is ook onderzocht. De vertaling van remote sensing meetgegevens naar bodemvocht is echter nog te onzeker. Dit heeft met name te maken met de variërende worteldiepte tijdens het groeiseizoen.

**3 Meting van de biomassagroei en het peilbeheer aan het eind van het groeiseizoen.**

Het afbouwen van het zomerpeil naar winterpeil hangt nauw samen met het afrijpen van de gewassen. Het afrijpen van gewassen kan uit de wekelijkse biomassaproductie worden afgeleid. Met dit gegeven kunnen beslissingen worden ondersteund met betrekking tot de gefaseerde afbouw van het zomer naar het winterpeil.

# 5

## AANBEVELINGEN

### 5.1 ALGEMENE EN ORGANISATORISCHE ASPECTEN

Remote sensing is een extra bron van informatie bij het peilbeheer (zie tabel 3.1) die in Nederland nauwelijks wordt benut. Er is de nodige vooruitgang geboekt met het ontwikkelen van interpretatie-algoritmes tussen straling en hydrologische processen aan het landoppervlak. Er zijn tevens duidelijke verbanden gesignaleerd tussen het peilbeheer en de hydrologische parameters gebaseerd op remote sensing.

Er is behoefte aan meer ervaring om de remote data door het waterschap naar informatie en beslissingen om te zetten. Dit is slechts mogelijk als de remote sensing gegevens met gebiedseigenschappen zoals grondwaterstand, landgebruik, drainageweestanden e.d. worden geïntegreerd. Een peilbeheerder moet kunnen zien hoe de hydrologische situatie in zijn/haar peilvak is, zonder van een remote sensing specialist afhankelijk te zijn. Hiervoor dienen applicatie tools te worden ontwikkeld waarin de wensen van de beheerders verwerkt zijn. Een eerste prototype van een GIS applicatie tool wordt thans ontwikkeld bij een collega waterschap. Daarmee komt ook de discussie op gang hoe remote sensing als een nieuwe vorm van informatie het beste binnen de organisatie kan worden uitgezet. Het is niet ondenkbaar dat verschillende afdelingen met dezelfde informatie kunnen werken. Daarbij valt te denken aan de district hydrologen die de dagelijkse verantwoording hebben voor het waterbeheer, maar ook aan desk hydrologen die modelstudies voor het verkennen van waterconservering en optimalisatie van het grondwaterbeheer uitvoeren. Het is dus aanbevolen om de remote sensing gegevens toegankelijk te maken voor een breder intern gebruik.

Ofschoon in deze pilot studie is gekeken naar grove NOAA beelden om daarmee de algehele situatie in peilvakken te beschrijven, zou er ook meer ervaring met gedetailleerde Landsat beelden kunnen worden opgedaan. De informatie uit Landsat beelden is interessant voor ingelanden, en kan hen helpen bij het beheer van hun bedrijf. Hiermee wordt de participatie van boeren in het waterbeheer gestimuleerd. De NOAA en Landsat beelden kunnen gecombineerd worden ingezet om de doelrealisatie van het grondwaterbeheer te evalueren.

Ofschoon er wel een verband tussen peilbeheer en remote sensing gegevens is geconstateerd, is het prematuur te concluderen dat deze nieuwe techniek operationeel kan worden ingezet. Daar is meer applicatie gericht onderzoek voor nodig. Er is nader onderzoek gewenst naar de maatstaven tussen verdamping, biomassa-productie en stuwpeilen. Het SWW model is voor een periode van meer dan 15 jaar toegepast op het voormalige beheersgebied van Waterschap de Veenmarken. Het model heeft geholpen beslissingen in het waterbeheer te nemen, o.a. doordat er ervaring is opgebouwd hoe de modelberekeningen dienen te worden geïnterpreteerd. Een dergelijke fase van ervaring is ook noodzakelijk om de verhouding tussen remote sensing en peilbeheer te verkennen.

## 5.2 BLIJVENDE OBSTAKELS

Vanuit de landelijke visie op waterbeheer wordt grondwater als leidraad voor het peilbeheer voorgestaan. Remote sensing technieken kunnen geen grondwaterstanden waarnemen, maar wel verdamping en verdampingstekorten en dat biedt andere en nieuwe mogelijkheden die niet in beleidsdocumenten zijn opgenomen.

Een blijvende obstakel voor remote sensing data is dat er alleen onder onbewolkte condities goede satelliet beelden kunnen worden verkregen. Onder bewolkte condities is er geen satelliet beeld voorhanden, maar dan is de verdamping laag en zijn de negatieve gevolgen beperkt. De negatieve gevolgen daarvan voor verdampingsstudies is dus beperkt. De problemen ontstaan bij het bodemvocht, want het bodemvocht op bewolkte dagen is wel belangrijk maar kan niet worden bepaald. Het inzetten van radarbeelden kan soelaas bieden in het voorjaar als het land nog kaal is, maar dit is geen oplossing als er vegetatie staat, omdat vegetatie veel versturende effecten op de radarmeting geeft. Bovendien zijn radarmetingen duur.

Meer onderzoek en veldstudies zijn noodzakelijk om een nieuwe bodemvocht parameterisatie te ontwikkelen, waarbij per pixel een waterbudget wordt uitgerekend, ook als het bewolkt weer is. Regenval zou als variabele in de berekening van bodemvocht mee moeten worden genomen, maar ook eenvoudige correcties voor het aan- en afvoer van water. Daarbij zouden empirische relaties tussen neerslagoverschot en afvoer kunnen worden ontwikkeld.

### KADER 2

#### VERVOLG ACTIES

Het verder uitontwikkelen van remote sensing technieken als ondersteuning van het peilbeheer in de veenkoloniën moet in twee richtingen plaats vinden, te weten (i) toetsing van relaties tussen hydrologische parameters waarneembaar met remote sensing en sturing mechanismen en (ii) eigen ervaring opdoen om de inzetbaarheid voor andere vraagstukken te toetsen.

#### (i) VASTLEGGEN RELATIES EN VERBANDEN

- 1 De relatie tussen bodemvochtgehalte van de kale grond vs. berijdbaarheid en bewerkbaarheid. Door een alert peilbeheer kunnen de gewassen tijdig worden gezaaid en gepoot en water worden geconserveerd; Maar de streefgetallen van bodemvocht zijn niet bekend.
- 2 Het opstellen van beheersstrategieën voor een beheer van het zomerpeil dat is gebaseerd op verdamping en verdampingstekorten uit remote sensing. Hiervoor is een link naar landgebruik en bodemtype noodzakelijk, omdat natte veengebieden met bestemming natuur een andere optimum parameters hebben dan gedraineerde landbouw.
- 3 Het opstellen van beheersstrategieën voor het afbouwen van het zomer- naar het winterpeil waarbij gebruik gemaakt wordt van metingen van biomassagroei.

#### (ii) EIGEN ERVARING OPBOUWEN

- 1 Toegankelijk maken van remote sensing gegevens op de werkvloer bij het Waterschap Hunze en AA's, zoals dat ook met GIS data wordt voorgestaan.
- 2 Doelrealisaties onafhankelijk toetsen aan de hand van Landsat (lokaal) en NOAA satelliet beelden (provinciaal)
- 3 Herijken van numerieke hydrologische modellen.



# REFERENTIES

BAKEL, VAN, P.J.T., 1986. **Planning, design and operation of surface water management systems**, proefschrift, Landbouw Universiteit, Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Wageningen: 118 pp.

BAKEL, VAN, P.J.T., W. BEEKMAN EN G. NIJHOF, 1989. **Ontwikkeling en toepassing van het simulatiemodel SWW als begeleidingssysteem voor het kwantitatieve oppervlaktewaterbeheer**, Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, nota 1912, Wageningen.

BAKEL, VAN, P.J.T. EN M.F.P. BIERKENS, 1999. **Omgaan met maaiveldshoogteverschillen bij het peilbeheer**, H<sub>2</sub>O 32: 15-17

BAKKER, DE, H. EN J. SCHELLING, 1966. **Systeem van bodemclassificatie voor Nederland, de hogere niveaus**, Centrum voor Landbouwpublicaties en Landbouwdocumentatie, Wageningen, 217 pp.

BASTIAANSEN, W.G.M., M. MENENTI, R.A. FEDDES AND A.A.M. HOLTSLAG, 1998. **A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL)**, 1. formulation, J. of Hydr. 212-213: 198-212

BIJKERK, A.J., 1992. **De hydrologische interpretatie voor het proefgebied Gasselternijveen met remote sensing en hydrologische modellen**, Rapport 191, DLO-Staring Centrum, Wageningen: 98 pp.

DAM, VAN, J.C., J. HUYGEN, J.G. WESSELING, R.A. FEDDES, P. KABAT, P.E.V. VAN WALSUM, P. GROENENDIJK EN C.A. VAN DIEPEN. **Theory of SWAP version 2.0, simulation of water flow, solute transport and plant growth in the soil-water-atmosphere-plant environment**, Report 71, Vakgroep Waterhuishouding, Landbouwuniversiteit Wageningen: 167 pp.

DROOGERS, P. AND W.G.M. BASTIAANSEN, 2000. **Evaporation in irrigation performance and water accounting frameworks: an assessment from combined hydrological and remote sensing modeling**, ASCE Irrigation and Drainage Engineering vol. 128(1): 11-18

JARVIS, P.G., 1976. **The interpretation of the variations in leaf water potential and stomatal conductance found in canopies in the field**, Phil. Trans. R. Soc. London, B273: 593-610

JHORAR, R.K., W.G.M. BASTIAANSEN, R.A. FEDDES EN J.C. VAN DAM, 2002. **Inversely estimating soil hydraulic functions using evapotranspiration fluxes**, J. of Hydr. 258: 198-213

LOON, VAN. E.E. AND P.A. TROCH, 2001. **Book of abstracts, international workshop on catchment scale hydrologic modeling and data assimilation**, September 3-5, 2001, Vakgroep Waterhuishouding, Wageningen Universiteit: 151 pp.

NIEUWENHUIS, G.J.A. EN C.L. PALLAND, 1982. **Verdamping van aardappelen en de meting daarvan via remote sensing**. ICW Rapport 2. Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Wageningen.

NIEUWENHUIS, G.J.A., 1992. **Toepassing remote sensing voor het waterhuishoudingsplan Drenthe**, DLO-Staring Centrum Rapport 208, Wageningen: 37 pp.

PEERDEMAN, C.P., 1990. **Handleiding Simulatiemodel voor waterbeheer door waterschappen, SWW**, een bewerking van ICW nota 1912, intern document DLO-Staring Centrum

PEERDEMAN, C.P. EN G. NIJHOF, 1992. **Computer-ondersteund waterbeheer met behulp van het programma Simulatie Waterbeheer Waterschappen**, Waterschap Dollardzijlvest: 50 pp.

PROJECTGROEP WATERNOOD, 1998. **Grondwater als leidraad voor het oppervlaktewater**; DLG publicatie 1998/2, DLG, Utrecht

SCHUURMANS, J.M., 2001. **Assimilating remotely sensed soil moisture and latent heat fluxes in a distributed hydrological model**, M.Sc. thesis, Vakgroep Waterhuishouding, Wageningen Universiteit: 48 pp. + annexes

SCOTT, C.A., W.G.M. BASTIAANSEN AND M.D. AHMAD, 2002. **Mapping root zone soil moisture using remotely sensed optical imagery**, Int. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, American Society of Civil Engineers (ASCE)

STEWART, J.B., 1988. **Modeling surface conductance of pine forest**, Agr and Forest Met. 43: 339-353

STOWA, 1997. **Dynamische sturing van watersystemen; ontwerp en beheer van regionale water systemen**. Uitgebreide samenvatting dissertatie Lobbrecht. STOWA rapport 97-35, Hageman Verpakkers BV, Zoetermeer, NL.

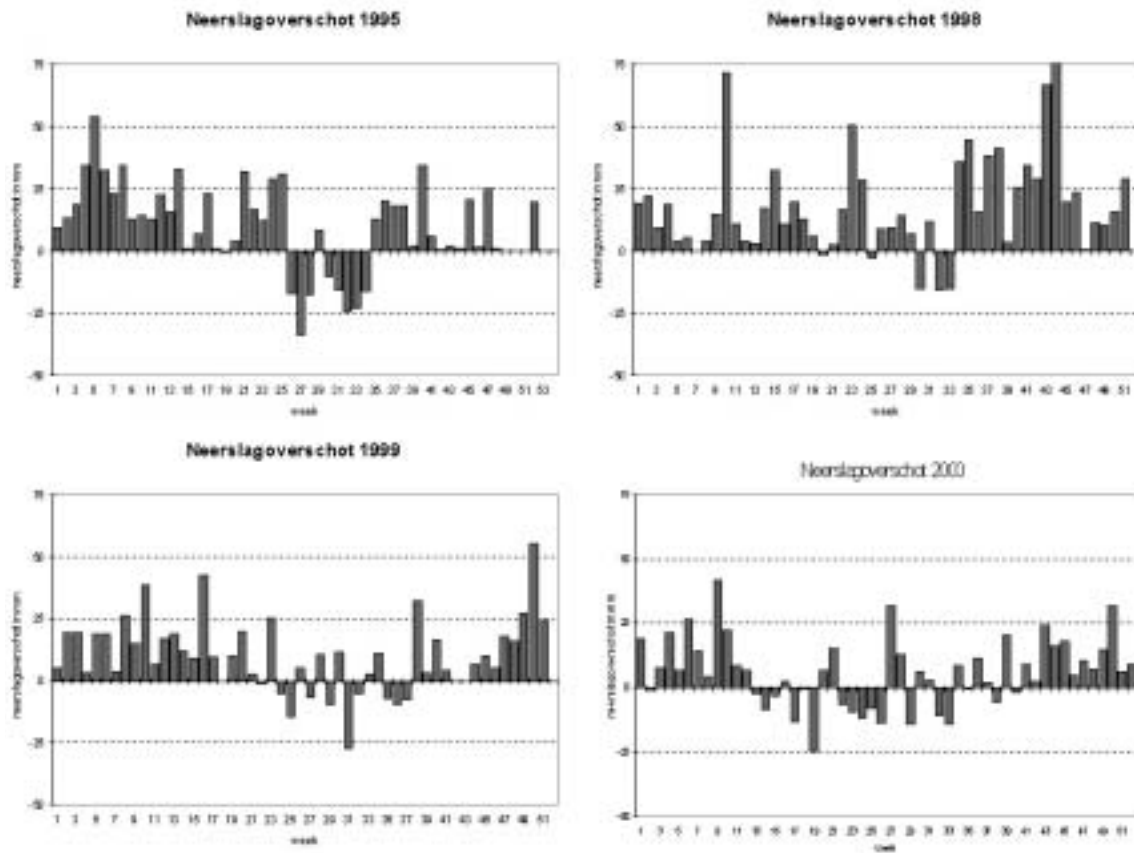
THUNNISSEN, H.A.M. EN E.J.M. NOORDMAN, 1997. **Grondgebruikskartering met behulp van satellietbeelden**, Het Waterschap 16: 559-563

WOSTEN, J.H.M., M.H. BANNINK EN J. BEUVING, 1986. **Waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken van boven- en ondergronden in Nederland: de Staringreeks**, Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, rapport 18, Wageningen.



BIJLAGE 1

# METEOROLOGISCHE CONDITIES IN DE ONDERZOCHE STUDIE JAREN

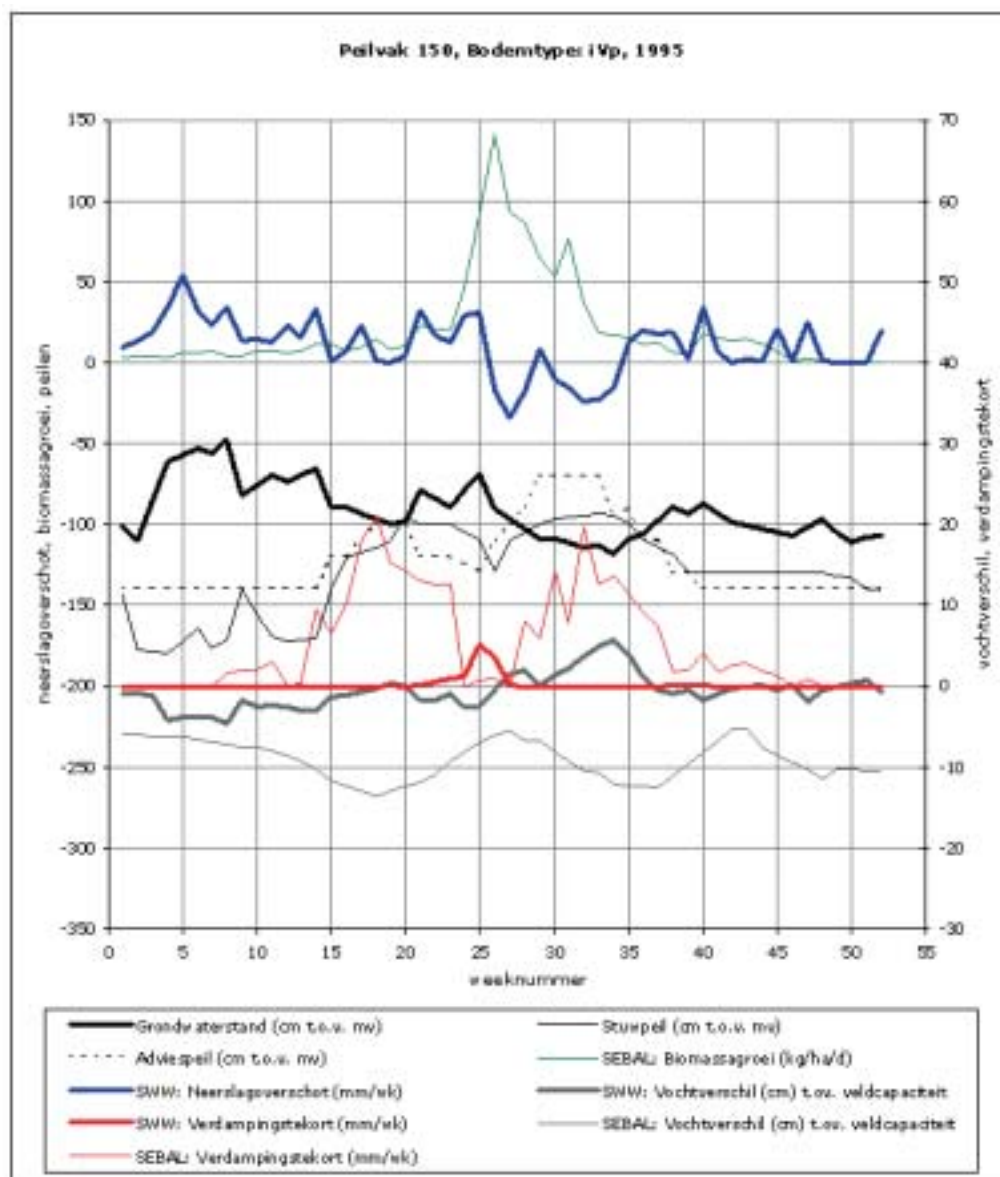


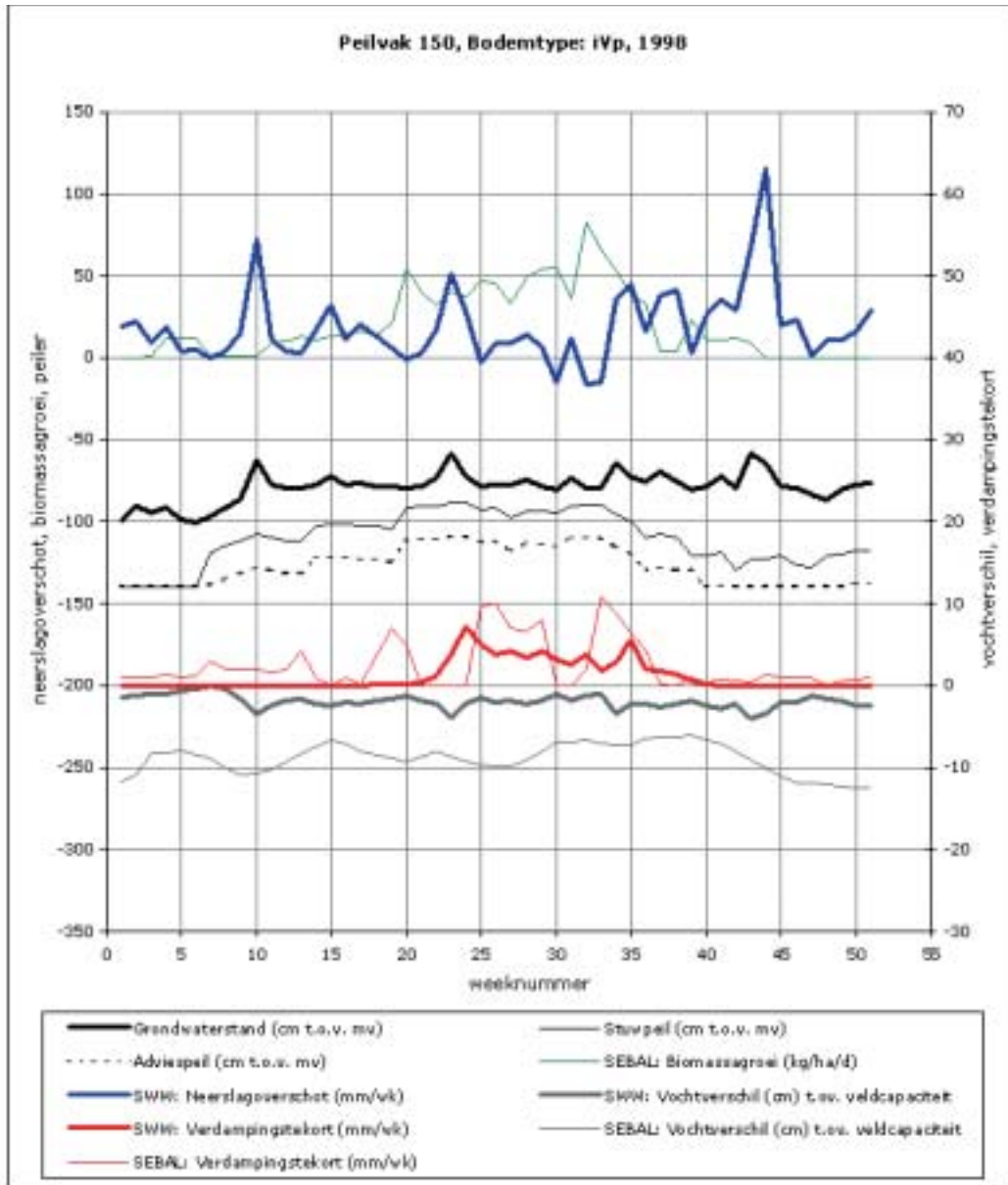


BIJLAGE 2

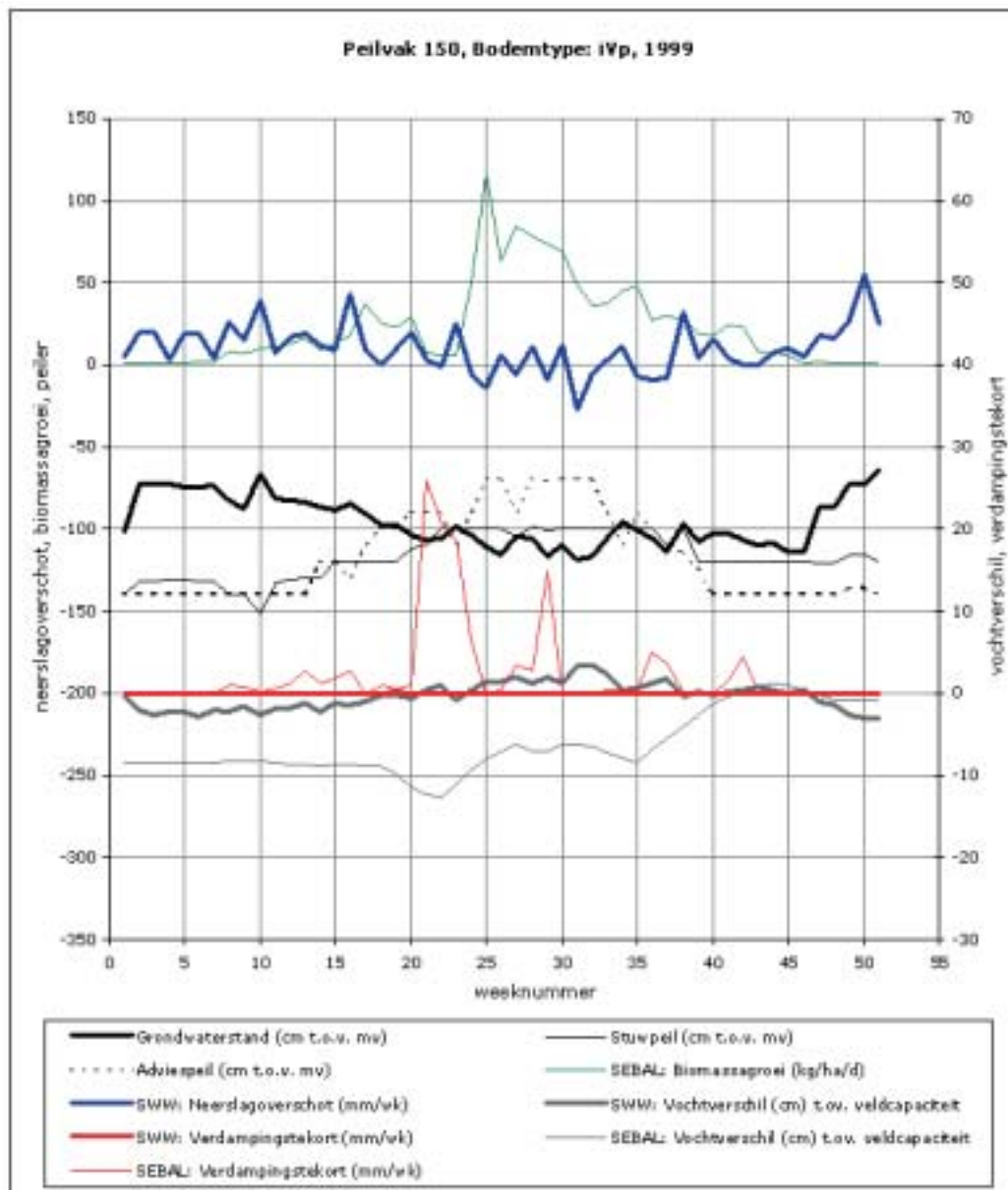
# VOORBEELD VAN SWW MODEL SIMULATIES EN REMOTE SENSING SCHATTINGEN VOOR HET PEILVAK 150 (BOEKWEITWEG)

VOOR DE JAREN 1995, 1998 EN 1999









## BIJLAGE 3

## VERGELIJKING VAN REMOTE SENSING MEETGEGEVENS MET VELDMETINGEN EN BEREKENINGEN VAN HET SWW MODEL

Het bodemvochtgehalte in het SWW model wordt uitgedrukt als een percentage van het bodemvocht bij veldcapaciteit. De vochtgehalten bij veldcapaciteit zijn bodemafhankelijk en de gebruikte waarden staan in tabel 2.1 gespecificeerd. Het vochtgehalte heeft betrekking op de effectieve bewortelingsdiepte en deze diepte wordt gedurende het hele jaar constant verondersteld, dus ook als er geen gewas staat. De effectieve bewortelingsdiepte voor aardappels varieert tussen de 40 en 50 cm. Het bodemvochtgehalte gebaseerd op remote sensing metingen van de verdampingsfractie is uitgedrukt als een percentage van het vochtgehalte bij volledige bodemverzadiging (SCOTT ET AL., 2002). De diepte van de bodemvochtmeting met remote sensing varieert over het seizoen van minimaal 5 cm bij kale bodem tot de diepte waar de vegetatie nog water onttrekt. Omdat de bodemvocht gegevens niet over dezelfde diepte zijn geïntegreerd, kunnen de bodemvocht gegevens uit de SWW en SEBAL modellen niet 1:1 worden vergeleken. Wel mag worden verwacht dat ze dezelfde temporele trends vertonen, i.e. een relatie met het neerslagoverschot.

Een consistentie van de bodemvochtberekeningen tussen het SWW en het SEBAL model kan, echter, niet worden verkregen (niet afgebeeld vanwege het slechte verband). De verschillen van het bodemvocht gehalte van SWW t.o.v. veldcapaciteit zijn gering. De SWW uitvoer geeft aan dat de bodem op veldcapaciteit is bij een grondwaterstand van ongeveer 100 cm. Bij een ondiepere grondwaterstand, is het profiel natter dan bij veldcapaciteit en bij een diepere grondwaterstand is het droger. De SEBAL schattingen van bodemvocht geven meer temporele variaties weer en tonen bovendien aan dat het vochtgehalte in de veenkolonieën meestal beneden veldcapaciteit zit (zie Fig. 3.1 en 3.3).

Het SWW model geeft de transpiratie van een homogeen aardappelgewas weer en SEBAL de totale evapotranspiratie van bodem, planten en open water. Bovendien geeft SEBAL de waarde per pixel van 1.1 km x 1.1 km (121 ha) weer, hetgeen een mengelmooi van gewassen, bebouwd gebied, bomenrijen, sloten etc. is. De verdamping tussen SWW en remote sensing kan dus nimmer direct met elkaar worden vergeleken. De actuele transpiratie in het SWW model is alleen van toepassing voor het groeiseizoen als de gewassen in blad staan. Het verschil tussen SWW en SEBAL kan worden toegeschreven aan de bodemverdamping en transpiratie van bomen en grasland die in dezelfde pixels voorkomen. Het SWW model simuleert nauwelijks transpiratietekorten gedurende 1998 en 1999 (Fig. 3.5). Voor 1995, zijn de verdampingstekorten ook gering terwijl de peilen vrij laag staan. Dit wekt de indruk dat de veenkoloniale bodems altijd nat en optimaal van water voorzien zijn. Volgens de remote sensing warmte metingen is dat niet het geval. Fig. 3.3 geeft aan dat het vochtgehalte aanzienlijke variaties vertoont in het seizoen en Fig. 3.5 geeft significante verdampingstekorten in de SEBAL berekeningen weer, niet alleen in het voorjaar, maar ook midden in de zomer. Voor

het proefgebied Gasselternijveen zijn met thermische vliegtuig opnames tijdens de zomer van 1989 ook verdampingstekorten geconstateerd (BIJKERK, 1992). Ook toen zijn de resultaten met een hydrologisch model vergeleken (SWACROP) en werd geconstateerd dat de numerieke modellen nauwelijks een verdampingstekort opleveren.

In een vergelijkbare studie tussen SEBAL en het hydrologische model SIMGRO voor het stroomgebied van de Drentse AA kwam ook een aanzienlijk verschil tussen het vochtgehalte berekend met hydrologische modellen en remote sensing naar voren (SCHUURMANS, 2002). Het gesimuleerde vochtgehalte was wederom stabiel en op een hoog niveau. De calibratie van ingewikkelde hydrologische modellen is geen sinecure en er zijn veel onzekerheden in de parameter waardes aanwezig. De algemene conclusie van dit projectonderdeel is dat bodemvocht nog niet op een operationele manier kan worden verkregen en dat meer veldonderzoek nodig is, om de verschillen tussen de twee technieken te kunnen verklaren.

Deze tegenstrijdigheid geeft aan dat geavanceerde rekentechnieken niet altijd tot een goed resultaat hoeven leveren. Veldkennis en veldmetingen blijven ten alle tijden noodzakelijk als onafhankelijke bron.

TABEL I PEILVAK GEGEVENS GEBASEERD OP VERSCHILLENDE BRONNEN VAN INFORMATIE

	Veldmetingen	SWW model	Remote sensing
stuwpeil	o		
adviespeil		o	
grondwaterstand	o		o
bodemvocht		o	o
vochtverschil t.o.v. veldcapaciteit		o	o
neerslagoverschot		o	o
verdampingstekort		o	o
actuele transpiratie		o	
potentiële transpiratie		o	
actuele evapotranspiratie			o
potentiële evapotranspiratie			o
biomassaproductie			o

# NAAR EEN SATELLIET INSTRUMENTARIUM VOOR BEREGENING

## PILOT STUDIE 5

# INHOUD

	SAMENVATTING	153
1	ALGEMEEN	155
1.1	Probleembeschrijving	155
1.2	Doelstellingen	156
1.3	Klimaat studiegebied	156
2	MATERIAAL EN METHODEN	159
2.1	Materiaal	159
2.1.1	NOAA beelden	159
2.1.2	Landsat beelden	159

2.1.3	Radarbeelden	160
2.1.4	Weersvoorspellingen	161
2.2	Methoden	161
2.2.1	Verdampingstekort	161
2.2.2	Meteorologische processen	163
2.2.3	Oppervlaktewater onttrekkingen	164
3	RESULTATEN	166
3.1	Landelijke situatie	166
3.1.1	Neerslagoverschot in 2001 en 2002	166
3.1.2	Verdampingstekort in 2001 en 2002	167
3.1.3	Regionale berekening, Zuidelijk Flevoland	172
3.2	Beregeningsverbod oppervlaktewater, Berkel	175
3.3	Verschillen met conventionele methoden	178
4	TOEPASSINGEN VAN REMOTE SENSING IN HET WATERBEHEER	180
4.1	Mogelijkheden voor voorbereidend waterbeheer	180
4.2	Mogelijkheden voor uitvoerend waterbeheer	181
5	BLIJVENDE BEPERKINGEN	182
	LITERATUURLIJST	183
	BIJLAGEN	
1	KRITISCHE BODEMPOTENTIALEN (YRED) VOOR EEN AANTAL GEWASSEN WAAR DROOGTESCHADE ONTSTAAT	185
2	VOORTSCHRIJDEND MAANDELIJKS NEERSLAGOVERSCHOT EN WEKELIJKS VERDAMPINGSTEKORT	187

# SAMENVATTING

Beregenen is in Nederland in een dilemma terecht gekomen. Enerzijds wil de landbouw het effect van dalende grondwaterstanden op gewasproductie tijdens droge zomers via beregenen compenseren. Anderzijds wil de overheid water conserveren om de bodem te vernatten en moet er minder oppervlakte- en grondwater voor beregenen worden gebruikt. Deze vraag en aanbod kwestie vraagt om een subtiel evenwicht en een doordacht beleid.

De in dit rapport besproken remote sensing methode is gebaseerd op neerslagoverschot ( $N - ET_{act}$ ) en verdampingstekort ( $ET_{pot} - ET_{act}$ ). Deze parameters kunnen in combinatie worden gebruikt om de beregeningsbehoefte, de potentiële berekening en de actuele berekening in kaart te brengen. De regenradarbeelden blijken in combinatie met NOAA beelden van de gewasverdamping geschikt voor het afleiden van het neerslagoverschot. De radarbeelden dienen wel gekalibreerd te worden met a.h.v. grondmetingen. Daarvoor zijn verschillende methodes beschikbaar die verder dienen te worden onderzocht.

Om het bodemvocht gehalte op een constante waarde te houden, wordt het neerslagoverschot ( $N > ET_{act}$ ) afgevoerd en het neerslagtekort ( $ET_{act} > N$ ) aangevoerd. Deze simpele balansbenadering kan worden gebruikt om te bepalen of er sprake van een beregeningsbehoefte is. De actuele berekening kan worden geschat door de beregeningsbehoefte ( $N - ET_{act}$ ) te vergelijken met het actuele verdampingstekort ( $ET_{pot} - ET_{act}$ ). Als er wel behoefte is maar geen tekort, dan wordt water via andere bronnen aangevoerd, o.a. beregening als het om landbouwgebieden gaat.

Als het neerslagoverschot voor een langere periode positief is, dan kan ( $N - ET_{act}$ ) op regionale schaal worden gebruikt om het afvoer volume te schatten. Daarmee kan worden bepaald of het veroorloofd is om water uit het oppervlaktewaterstelsel of het grondwatersysteem te onttrekken als er geen debietmetingen beschikbaar zijn.

De potentiële berekening is de hoeveelheid water die nodig is om het gewas van een zekere verdampingsniveau ( $ET_{act}$ ) naar het maximale verdampingsniveau ( $ET_{pot}$ ) te brengen. De potentiële berekening is landsdekkend geschat voor 2001 en 2002. Voor een paar typische akkerbouwgebieden wordt de situatie van week tot week besproken.

Het afkondigen van een verbod uit oppervlaktewater is uitgewerkt voor de Berkel en is bedoeld om voor gebieden zonder debietmetingen toch een schatting van de afvoer te maken. De gedachte achter het afkondigen van een beregeningsverbod is dat er niet genoeg oppervlaktewater voor benedenstroomse gebruikers is. Een regionaal criterium van  $ET_{pot} - ET_{act} > 10$  mm/wk en  $N - ET_{act} < -10$  mm/wk blijkt voor de Berkel redelijk goede kengetallen te zijn voor het instellen van een verbod. Bij het besluit wel of niet te gaan beregenen of het afkondigen van een verbod, is het aan te bevelen de korte – en lange termijn

weersvoorspelling te betrekken. Dit heeft in het verleden terecht geleid tot het opschorten van een beregeningsverbod.

Door gebruik te maken van satellietbeelden kan de boer aanzienlijke kosten in het investeren van de beregeningsplanner maken. De methode met regenradarbeelden en NOAA satellietbeelden voor 100 ha gebieden is operationeel. Dit is een 'kavelniveau' benadering. De methode met Landsat beelden is vooral bedoeld om gewasafhankelijke beregeningssituaties te bepalen en gemis aan gewasproductie vast te stellen. Dit is een 'perceelsniveau' die alleen het doel van strategisch waterbeheer dient omdat er te weinig Landsat opnamen zijn voor operationele toepassingen. Een op Landsat gebaseerde systeemverkenning van verdampingstekort per bedrijf en peilvak kan voor een waterschap inzichten geven in het gevoerde waterconserverings- en infiltratiebeleid.

# 1

## ALGEMEEN

### 1.1 PROBLEEMBESCHRIJVING

Akkerbouwgewassen en vollegrondsgroenteteelt hebben hun grootste biomassa productie gedurende de zomermaanden als de zonnestraling het hoogst is. Het is belangrijk dat het gewas in deze groeiperiode voldoende bodemvocht ter beschikking heeft. Dat is niet vanzelfsprekend omdat het weken achter elkaar droog kan zijn. Na 1970 heeft een sterke uitbreiding van beregeningsactiviteiten plaats gevonden. In de CBS-landbouw telling van 1983 wordt melding gemaakt dat 503,676 ha (25.2 % van alle cultuurgronden) kan worden beregend of bevoeid.

Als er niet genoeg bodemvocht is opgeslagen om droge zomerweken te overbruggen, dient wateraanvulling middels beregening of ondergrondse infiltratie ('sub-irrigation') plaats te vinden. Over het algemeen worden droge jaren met veel zonnestraling ervaren als zijnde jaren met een hoge opbrengst en het is dus voor het inkomen van agrariërs belangrijk droogteschade in deze jaren beperkt te houden. Er wordt ook beregend om het gewas tegen ziektes en kwalen te beschermen (b.v. schurft op aardappelen; tal van tulpenbollen etc.).

Nederland lijdt aan achtergrond verdroging (ROLF, 1989). Boeren reduceren de effecten van verdroging door te gaan beregenen. Onttrekken van grondwater voor beregenen heeft het gevolg dat de grondwaterstand nog verder daalt. Om verdroging terug te dringen wil de overheid het gebruik van grondwater beperken. Daarom wordt er door de overheid controle uitgevoerd om zuiniger met grondwater om te gaan. Beregenen op maat is het motto geworden en er dient alleen te worden beregend als het gewas het daadwerkelijk nodig heeft en verspillingen beperkt blijven. Enkele provincies waaronder Gelderland, Noord-Brabant en Limburg passen het beregenen op maat operationeel toe (in Brabant is dat 65% van het beregende oppervlakte). Hoofddoel van het concept beregenen op maat is, naast waterbesparing, het bereiken van een productieverhoging, kwaliteitsverbetering en kostenbesparing op bedrijfsniveau.

Afhankelijk van de geo-hydrologische en morfologische situatie, vindt beregening plaats vanuit het oppervlaktewater stelsel, of vanuit het grondwater. In polders waar drainage water kan worden geborgen of gebiedsvreemd water kan worden ingelaten, wordt vaak vanuit het oppervlaktetestelsel beregend. Daar is vanwege de verspreiding van bruinrot in aardappels de laatste jaren wel een kentering in gekomen. Voor het onttrekken van grondwater is in de meeste provincies een verordening nodig. Voor kleine onttrekkingen is een meldingsplicht nodig en voor de grotere onttrekkingen een registratie en/of vergunningplicht, afhankelijk van het provinciale beleid. Die verordening wordt afgegeven als een erkende beregeningsplanner of beregeningswijzer wordt gebruikt.

De beregeningsplanner van het Centrum voor Landbouw en Milieu (CLM) bestaat uit een eenvoudige rekenprocedure om de hoeveelheid vocht in de bodem vast te stellen en het



moment van beregenen (CLM, 1995; PR, 1998). Er moeten bodemkundige eigenschappen zoals effectieve worteldiepte, fluctuaties van de grondwaterstand, grofheid van het zand, humusgehalte, leemgehalte en lutumgehalte voor elk perceel worden verzameld. Per agrarisch bedrijf moet minimaal 1 regenmeter en moeten minimaal 2 peilbuizen worden geplaatst. Een abonnement op de referentiegewasverdamping van een KNMI weerstation in de omgeving dient te worden aangeschaft.

De beregeningswijzer is een adviessysteem dat is gebaseerd op vochtgehaltebepaling. Op basis van het met de magnetron bepaalde vochtgehalte, de textuur van de bovengrond en de bewortelingsdiepte kan de ondernemer zelf de optimale beregeningsgift aflezen.

Bij dalende oppervlakte en grondwaterstanden kan het waterschap of de provincie een beregeningsverbod afkondigen. De afkondigers beseffen dat dat grote financiële consequenties voor de boer kan hebben en proberen er daarom terughoudend mee te zijn. Vaak blijft een verbod voor de rest van het groeiseizoen van kracht, maar er zijn ook gevallen bekend waarbij er een ontheffing van het verbod wordt afgeroepen omdat er reeds een grote besparing van het watergebruik plaats gevonden heeft.

Beregenen is een zaak van de individuele boer. Hij (of zij) bepaalt of het hem de moeite en kosten waard is om te beregenen. Waterschappen en provincies geven geen adviezen om wel of niet te beregenen. Maar ze besluiten wel over verboden en 'overrulen' dus de macht van de individuele ondernemer.

## 1.2 DOELSTELLINGEN

In dit STOWA remote sensing project wordt onderzocht of de combinatie van ruimtelijke informatie over neerslag uit regenradarbeelden en actuele verdamping uit satellietbeelden, een mogelijkheid biedt om de noodzaak en de omvang van beregening in het waterbeheer te bepalen. Goed cijfermateriaal kan het beleid rondom beregenen ondersteunen. Er zal worden nagegaan of deze remote sensing informatie toegevoegde waarde geeft t.o.v. de huidige gangbare methodes. De specifieke doelstellingen van deze pilot studie zijn:

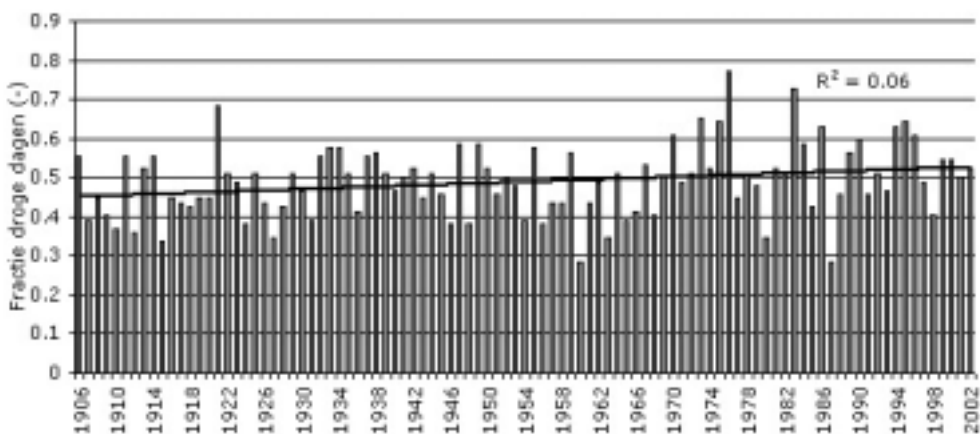
- Aangeven wanneer beregening dient aan te vangen onafhankelijk van beregeningsplanners en beregeningswijzers
- Adviseren hoeveel water er potentieel beregend moet worden
- Afleiden van de werkelijk gebruikte hoeveelheid beregeningswater op regionale schaal
- testen of de korte en lange termijnverwachting van neerslag en referentiegewasverdamping gebruikt kan worden in het besluitvormingsproces omtrent de noodzaak tot beregenen (de boer) of voor het afkondigen van een beregeningsverbod (de provincie of het waterschap)

## 1.3 KLIMAAT STUDIEGEBIED

In de originele opzet van deze studie zou de aandacht alleen naar Oost-Gelderland gaan. Om de mogelijkheden van de remote sensing techniek vanuit de optiek van verschillende gebruikers te bekijken, en niet alleen vanuit de optiek van het Waterschap, is het onderwerp 'beregemen' vanuit een breder kader te bestuderen. In deze studie worden de beregeningscondities van verschillende gebieden in Nederland toegelicht.

De neerslag in het zomerhalfjaar van Nederland fluctueert sterk ([www.knmi.nl/product](http://www.knmi.nl/product)). Over de periode 1971 t/m 2000 viel er gemiddeld in de periode juni t/m augustus 195 mm neerslag (juni 75 mm; juli 65 mm; augustus 60 mm). De actuele verdamping ligt voor Nederland tijdens de zomermaanden op ongeveer 90 mm/maand. Dit betekent dat er meer water naar de atmosfeer verdwijnt dan er wordt aangevoerd. Buishand en Velds (1980) geven aan dat voor een gemiddelde zomer (50% onderschrijdingskans), het cumulatieve potentiële neerslagoverschot ( $N - 0.8 * ET_{\text{water}}$ ) over de periode 1 april t/m 1 oktober  $-50$  mm is. De 10% percentielen van het potentiële neerslagoverschot zijn  $-190$  mm en  $+90$  mm. In de meeste zomers zal de grondwaterstand diensgevolge zakken, tenzij er op kunstmatige wijze veel extra water wordt aangevoerd. Het is vooral in de jaren met een potentieel neerslagtekort van  $-50$  tot  $-190$  mm dat beregenen noodzakelijk is (de helft van alle gevallen).

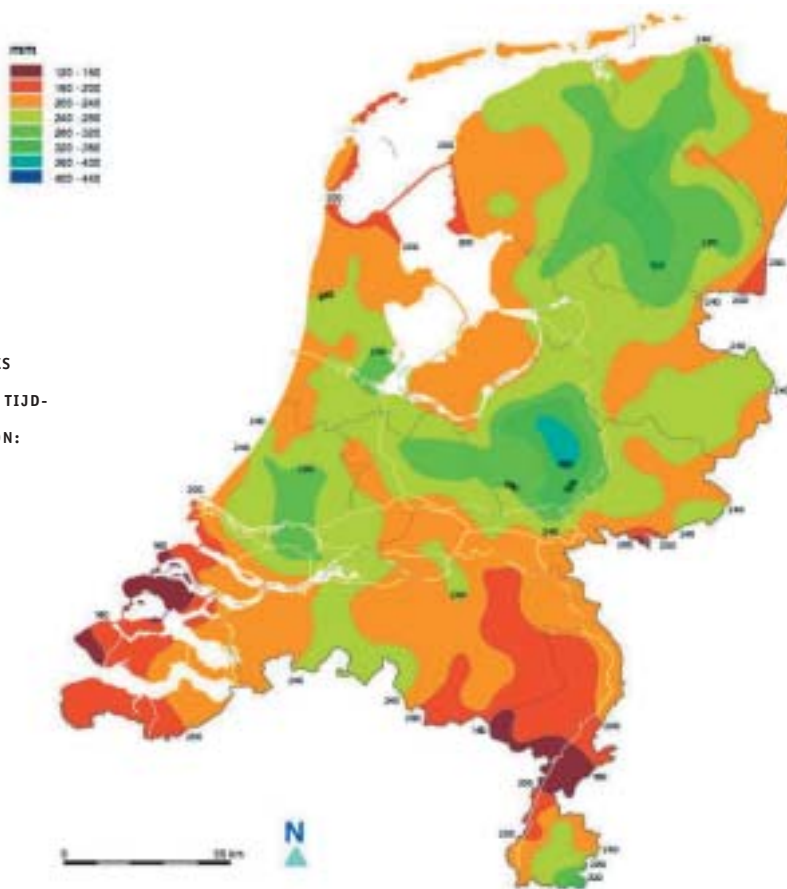
Figuur 1 geeft de verdeling van het aantal regenvrije dagen van de Bilt voor de 20e eeuw weer. Het blijkt dat droge zomers zoals 1995 en 1996 totaal respectievelijk 59 en 56 droge dagen hebben. Dit is gelijk aan 63 % van het aantal dagen in de periode juni t/m augustus. Met de wetenschap dat het aantal droge dagen in Nederland toeneemt (zie regressielijn in Figuur 1), is beregening een wezenlijk onderdeel van de bedrijfsvoering van landbouwbedrijven geworden, zeker bij intensievere teelten op zandgronden.



FIGUUR 1 FREQUENTIEVERDELING VAN HET AANTAL REGENVRIJE DAGEN TUSSEN 1 JUNI EN 31 AUGUSTUS IN NEDERLAND VOOR HET KNMI HOOFDSTATION DE BILT VOOR DE PERIODE 1906 T/M 2002

Figuur 2 geeft aan hoe het jaarlijkse klimatologische neerslagoverschot verdeeld is over Nederland. Centraal Limburg en delen van Zeeland blijken het laagste neerslagoverschot te ontvangen ( $120 - 160$  mm/jr) omdat het er over langere termijn minder regent terwijl de luchttemperatuur relatief hoog is en er potentieel meer water kan verdampen dan in Noord Nederland. Daarentegen, ontvangen gedeeltes op de Veluwe een neerslagoverschot van meer dan  $400$  mm/jr. De meeste provincies hebben kleine deelgebieden met een overschot dat de  $280$  mm/jr overschrijd. De boodschap van Figuur 2 is dat de ruimtelijke variatie groot is en dat beregeningsadviezen een sterk (sub-) regionaal karakter moeten hebben omdat er klimatologische verschillen in een klein land als Nederland bestaan. Het dient te worden opgemerkt dat de verdamping hier de potentiële verdamping is en dat de actuele verdamping aanzienlijk kan afwijken.

FIGUUR 2 GEMIDDELD JAARLIJKS  
NEERSLAGOVERSCHOT TIJD-  
VAK 1971-2000 (BRON:  
KLIMAATATLAS VAN  
NEDERLAND, KNMI)



Beregenen heeft in Nederland betrekking op de akkerbouw- en weidegebieden. Dit zijn de typische kleigebieden van Zeeland, West-Brabant, de droogmakerijen in Holland, alle IJsselmeerpolders en de noordelijke kuststreek van Friesland en Groningen. Beregenen op grasland is echter niet uit te sluiten, o.a. omdat de effectieve worteldiepte van gras slechts enkele decimeters is, en gras dus gevoelig voor vochttekort is. Beregenen op grasland is niet altijd economisch rendabel (b.v. METSELAAR E.A., 1990), en de kosten wegen niet altijd op tegen het aanschaffen van voer wat elders is geproduceerd. Omdat beregenen op grasland wel een effect kan hebben op de zode kwaliteit en de stikstofhuishouding, en de keuze aan de boer is, zal in deze studie ook naar de graslandgebieden worden gekeken. Het zijn met name de graslandgebieden op de dekzandgronden van Limburg, Brabant, Gelderland en Overijssel waar beregenen op maat een actueel onderwerp is.

# 2

## MATERIAAL EN METHODEN

### 2.1 MATERIAAL

#### 2.1.1 NOAA BEELDEN

Spectrale stralingsmetingen met de Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) die op de National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) satelliet gemonteerd is, zijn gebruikt om actuele en potentiële verdamping uit te rekenen. Hiervoor is de SEBAL methode gebruikt (BASTIAANSEN ET AL., 1998) die in het hoofdrapport verder uiteengezet is.

De rode, nabij-infrarode en thermisch infrarode straling van de AVHRR sensor zijn eerst vertaald naar oppervlakte albedo, vegetatie index en naar oppervlakte temperatuur. Deze set parameters is vervolgens gebruikt om energiebalans fluxen en transportparameters van het bodem-water-atmosfeer systeem uit te rekenen. De belangrijkste energiebalans transport parameter is de oppervlakte weerstand voor verdamping,  $r_s$ . Deze weerstand geeft aan of huidmondjes voor een effectieve eenheid van een pixel, open zijn. Elke pixel wordt in deze benadering als een groot blad beschouwd. De huidmondjes en dus de weerstand  $r_s$  wordt door de heersende bodempotentiaal aangestuurd.

Vanwege de grote pixel afmetingen van 1.1 km, kunnen individuele percelen niet worden onderscheiden. Daarom zal hierna van een 'kavelniveau' worden gesproken. WaterWatch heeft een tijdserie van landsdekkende NOAA beelden over de periode 1995 t/m 2002 in haar archief. De 1.1 km pixels van NOAA zijn over het 1 km grid van de Rijksdriehoeksmeting heen gelegd en vervolgens heringedeeld. De dataserie met gekalibreerde radarbeelden is veel korter en pas vanaf 2001 beschikbaar. De landelijke beregeningscondities zijn voor 2000, 2001 en 2002 bestudeerd. De in Tabel 1 gespecificeerde opnamen waren van voldoende kwaliteit om de energiebalans parameters uit te rekenen. De consequentie voor de praktijk is dat er niet meer dan 3 geslaagde NOAA opnamen per maand kunnen worden gemaakt. Voor de studie naar beregeningsverboden van de Berkel zijn ook NOAA beelden voor 1995, 1998 en 1999 gebruikt.

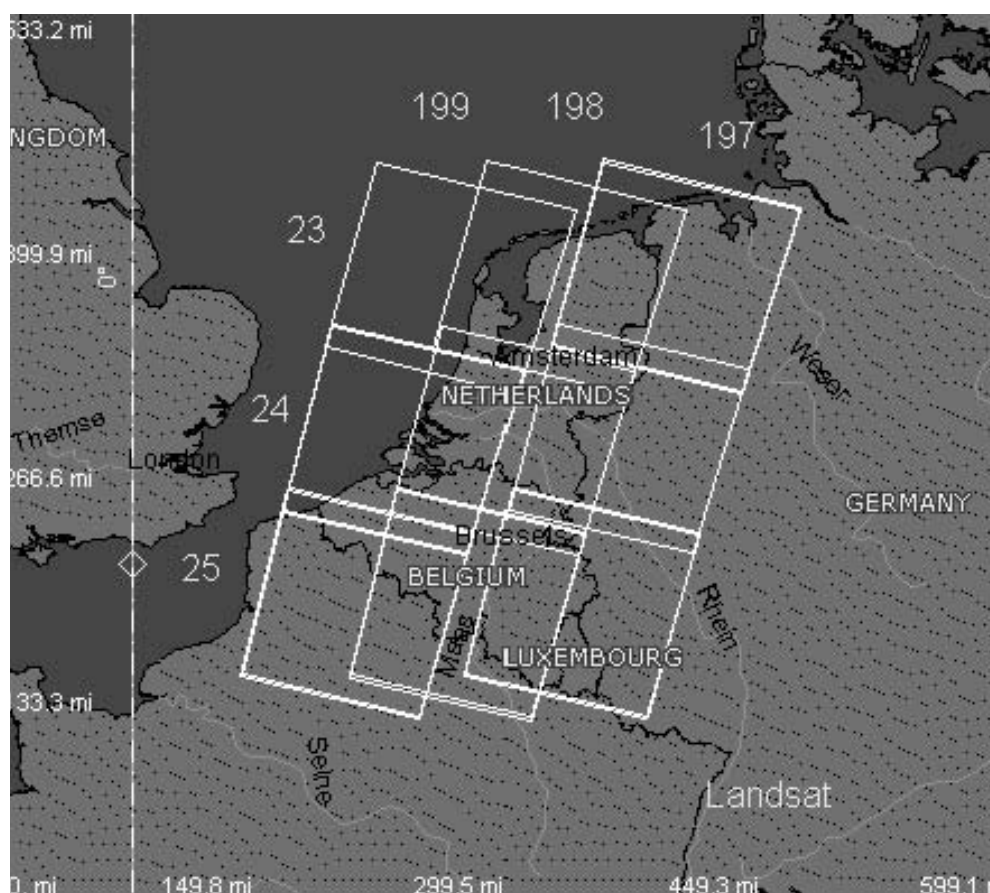
TABEL 1 OVERZICHT VAN HET AANTAL KWALITATIEF GOED BEVONDEN NOAA BEELDEN

	mei	juni	juli	augustus
2000	5	6	2	4
2001	6	0	4	1
2002	4	2	3	0
Gemiddeld	5	3	3	2

#### 2.1.2 LANDSAT BEELDEN

De aanschafkosten van Landsat beelden zijn met \$600 aanzienlijk hoger dan voor NOAA (de data voor NOAA is vrij maar er zijn kosten aan het zoeken, sorteren en importeren van de

data verbonden). Dit betekent dat Landsat alleen maar zinvol is als de kosten door veel gebruikers kunnen worden gedeeld. Figuur 3 laat zien hoe Landsat Nederland bedekt. Hieruit kan worden geconcludeerd dat het leeuwendeel van Nederland met slechts 2 beelden kan worden opgenomen (path/row combinaties 198/23 en 198/24). Als deze beelden op provinciaal niveau worden aangeschaft door een waterschap of provincie, ontstaat een mogelijkheid om het beregeningsgebeuren systematisch voor een groot gebied, doch op 'perceelsniveau' te beschrijven. De extra inzichten voor beregeningskwesities die uit een Landsat beeld kunnen worden afgeleid zullen daarom worden gedemonstreerd. Hiertoe is een akkerbouwgebied in Zuidelijk-Flevoland geselecteerd omdat dit gebied opvalt door zijn lage neerslagoverschot ( $N - ET_{act}$ ) en hoge verdampingstekort ( $ET_{pot} - ET_{act}$ ). De Landsat-5 Thematic Mapper beelden zijn opgenomen op 5 juli 1987 en 11 juli 1995. Voor het compleet maken van de vergelijking is er een Landsat-7 beeld van 30 juli 1999 aan de tijdserie toegevoegd.



FIGUUR 3 BEDEKKING VAN NEDERLAND MET LANDSAT BEELDEN

### 2.1.3 RADARBEELDEN

De C-band doppler regenradar van het KNMI zendt elke 5 minuten een radarbundel en meet de backscatter van het uitgezonden signaal. Er staat een bron in de Bilt opgesteld en een andere bron is gevestigd in Den Helder. Samen bestrijken ze geheel Nederland. Er moet een kalibratie voor wekelijks gesommeerde beelden plaats vinden. Over de nauwkeurigheid daarvan is meer te lezen in het hoofdrapport. Zonder kalibratie kan de fout tot 300% oplopen.

Gedurende 2000 zijn de regenradarbeelden niet gekalibreerd om eerst te kunnen vaststellen hoe groot de werkelijke afwijkingen ten opzichte van grondmetingen zijn. Daarna is er voor de radarbeelden uit 2001 en 2002 een eenvoudige kalibratie uitgevoerd waarbij de residuen tussen regenmeters en radarschattingen ruimtelijk worden verdeeld. Deze methode dient verder te worden ontwikkeld, maar dat ligt buiten het doel van deze studie.

#### 2.1.4 WEERSVOORSPELLINGEN

Het weerbureau Weeronline (voorheen DLV-Meteo) heeft de korte termijn voorspellingen van het weer gemaakt. Bij het opstellen van de weersverwachting is gebruik gemaakt van diverse bronnen. In de eerste plaats zijn de weerkaarten gebruikt van het AVN/MRF-model. Dit is een atmosferisch computermodel van het National Meteorological Center (NMC, Boulder, VS) waarmee dagelijks berekeningen worden uitgevoerd. Daarnaast is gebruik gemaakt van resultaten van de volgende atmosferische computermodellen:

- ECMWF (European Center for Medium range Weather Forecasting te Reading, GB);
- The Met. Office (de nationale weerdienst van GB);
- EPS (Ensemble Prediction System van het KNMI, gebaseerd op het ECMWF-model).

De resultaten van deze computermodellen zijn door de dienstdoende meteoroloog beoordeeld en verwerkt in de weersverwachting. Daarbij is rekening gehouden met de variabiliteit in de berekeningen voor de lange termijn om een zo consistent mogelijke verwachting op te stellen. In de praktijk komt het regelmatig voor dat de modelberekeningen voor 'vandaag' sterk afwijken van die van de vorige dag. Om het 'heen en weer springen' van de verwachting te voorkomen is bij het opstellen van de verwachtingen zo veel mogelijk rekening gehouden met de verwachtingen van de voorgaande dag.

Het ECMWF model is een 3D simulatiemodel voor stromingen in de atmosfeer die gekoppeld zijn aan de verticale uitwisselingsprocessen aan het landoppervlak. Het model heeft een grid van 55 km en bedekt geheel Europa en delen van Azië en Afrika om de randvoorwaarden goed te kunnen definiëren. Het landoppervlak wordt in het ECMWF model gespecificeerd door een terreinruwheid, een albedo, een vegetatiebedekking en een dynamisch bodemvochtgehalte. Het model rekent een separate energiebalans voor vegetatie en kale bodem, waarbij bodemvocht een belangrijke parameter is voor de verdeling tussen voelbare en latente warmte flux.

## 2.2 METHODEN

### 2.2.1 VERDAMPINGSTEKORT

De meest eenvoudige methode om het uitdrogen van de bodem te bepalen is het neerslagoverschot uit te rekenen ( $N-ET_{act}$ ). Als dit positief is dan zal er aanvulling van het bodemvocht plaats vinden, mits het water meteen wordt afgevoerd. Als het neerslagoverschot daarentegen negatief is, droogt een bodem uit en zakt de grondwaterstand.

Een gewas krijgt echter pas te leiden aan vochtgebrek als het gemakkelijk beschikbare vocht geconsumeerd is, i.e. als het resterende vocht met meer potentiaal in de bodem is gebonden dan de heersende potentialen in de plant (B.V. JARVIS, 1976). Dat betekent dat er bodemvocht depletie kan plaats vinden voordat het gewas dat merkt. Deze potentialen zijn bodem en gewas afhankelijk, en er zijn veel aanvullende gegevens nodig om dit omslagpunt goed

te bepalen. De gegevens voor typisch Nederlandse gewassen zijn weergegeven in bijlage 1. De water retentiekarakteristiek of pF curve geeft het verband tussen potentiaal en vochtgehalte in de bodem weer. Met kennis over het actuele vochtgehalte op een zekere diepte, kan de werkelijke bodempotentiaal op dat moment worden afgeleid. De plantenpotentiaal is gekoppeld aan de oppervlakteweerstand voor verdamping,  $r_s$ . Deze weerstand  $r_s$  is samengesteld uit weerstanden van alle huidmondjes, de weerstand van bodemverdamping en de verdeling van blad, bodem en wateroppervlakte over een pixel van  $1.1 * 1.1 \text{ km}^2$  (NOAA) of  $30 * 30 \text{ m}^2$  (Landsat). De huidmondjes sluiten als de potentiaal in de plant te hoog oploopt. Het verschil tussen de werkelijke  $r_s$  en de minimale weerstand  $r_s^{\text{min}}$  bij een optimale bodemvochtvoorziening als de huidmondjes maximaal open zijn, is een maat voor de reductie in verdamping en koolstofassimilatie. Het fysische verband tussen potentiaal in de bodem en de oppervlakteweerstand voor verdamping  $r_s$  kan als volgt worden geformuleerd (b.v. CHOUDHURY EN IDS0, 1985):

$$r_s = r_s^{\text{min}} / (F_T F_{RH} F_{K\downarrow} F_{\psi}) \quad (\text{s m}^{-1}) \quad (1)$$

$$F_{\psi} = \{1 - (\psi_{\text{act}} - \psi_{\text{red}}) / (\psi_{\text{wp}} - \psi_{\text{red}})\}^n \quad (-) \quad (2)$$

$$r_s^{\text{min}} = r_c / \text{LAI}^{\text{eff}} \quad (\text{s m}^{-1}) \quad (3)$$

waar  $F_x$  reductiefuncties voor temperatuur ( $F_T$ ), luchtvochtigheid ( $F_{RH}$ ), straling ( $F_{K\downarrow}$ ) en bodempotentiaal ( $F_{\psi}$ ) zijn en  $\text{LAI}^{\text{eff}}$  de effectieve Leaf Area Index en  $r_c$  de bladerweerstand is. Deze reductiefuncties hebben waarden tussen 0 en 1 en ze variëren met de ambiente condities. De actuele bodempotentiaal is  $\psi_{\text{act}}$  en de bodempotentiaal bij verwelking is  $\psi_{\text{wp}}$  terwijl de gewasafhankelijke potentiaal waar stress optreedt (zie bijlage 1) is aangeduid als  $\psi_{\text{red}}$ . Als er sprake van vochttekort is (dus  $|\psi_{\text{act}}| > |\psi_{\text{red}}|$ ), dan zal de actuele verdamping lager zijn dan de potentiële verdamping omdat de huidmondjes gedeeltelijk gaan sluiten ( $F_{\psi} < 1$ ) en  $r_s$  van  $r_s^{\text{min}}$  gaat afwijken. Een kaart van  $\text{ET}_{\text{pot}} - \text{ET}_{\text{act}}$  of van  $\text{ET}_{\text{act}}/\text{ET}_{\text{pot}}$  geeft aan of er sprake van vochttekort is en – belangrijker – hoeveel absoluut watertekort er is. Op het moment dat  $\text{ET}_{\text{act}} < \text{ET}_{\text{pot}}$  geldig is, is er al sprake van vochtstress, hetgeen vanuit een productie oogpunt te laat is. Bij voorkeur wordt een beregeningsadvies gegeven voordat het gewas de huidmondjes ten gevolge van te hoge bodempotentiaal gaan sluiten. Een eerste bewaking van de noodzaak tot beregenen kan daarom plaats vinden op basis van het neerslagoverschot ( $N - \text{ET}_{\text{act}}$ ). In tweede instantie kan dan ook naar het verdampingstekort worden gekeken, maar dat zegt meer of het beregenen voldoende is geweest om  $\text{ET}_{\text{act}} < \text{ET}_{\text{pot}}$  te beperken. In hoofdstuk 3 worden het neerslagtekort en het verdampingstekort geïntegreerd toegepast om aan te tonen wat dit voor de praktijk betekent.

## KADER 1

## DEFINITIES BEREGENINGSASPECTEN

- Beregeningsbehoefte treedt op als het voortschrijdende neerslagtekort ( $N - \text{ET}_{\text{act}}$ ) over een tijdspad van bijvoorbeeld 2 weken negatief is (het tijdspad is bodemafhankelijk). Als  $N > \text{ET}_{\text{act}}$  hoeft er niet beregend te worden. De beregeningsbehoefte vult het tekort aan bodemvocht aan. Een voortschrijdende periode van 2 weken is beschouwd om de bufferende werking van vocht in de bodem in beschouwing te nemen
- Potentiële berekening is de hoeveelheid water dat nodig is om het verschil tussen

potentiële en actuele verdamping te reduceren ( $ET_{pot}-ET_{act}$ ). In de praktijk zal  $ET_{pot}>ET_{act}$  vaak gelden omdat een bodem niet altijd ideaal met vochtstromingen omgaat en er altijd wel wat vochttekort voor de vegetatie kan optreden. Afhankelijk van de teelt en het karakter van de ondernemer kan een drempelwaarde van  $ET_{pot}-ET_{act}>x$  mm/wk worden beschouwd

- Actuele berekening is het verschil tussen de beregeningsbehoefte ( $N-ET_{act}$ ) en potentiële berekening ( $ET_{pot}-ET_{act}$ ). De actuele berekening wordt dan ( $2 ET_{act}-N-ET_{pot}$ ; mits  $ET_{act}>N$ ). Als er tijdig en genoeg beregend wordt, zal het verdampingstekort dalen en tot nul reduceren. Het verdampingstekort kan ook door andere hydrologische processen zoals verandering van berging, kwel en infiltratie worden verminderd.

### 2.2.2 METEOROLOGISCHE PROCESSEN

Bij het besluitvormingsproces voor het gaan beregenen (de boer) of juist het instellen van een beregeningsverbod (het waterschap of de provincie) kan worden gebruik gemaakt van een regionale lange termijn verwachting voor neerslag en verdamping. De verwachtingen uit de in de inleiding genoemde periode zijn vergeleken met de neerslag die in de betreffende periode gevallen is. Hiervoor zijn gegevens gebruikt van het neerslag waarnemingsnetwerk van het KNMI. Dit meetnet bestaat uit circa 325 neerslagwaarnemers min of meer gelijkmatig verdeeld over Nederland. Van dit meetnet zijn er 17 stations die in of vlakbij het werkgebied liggen van het Waterschap Rijn en IJssel. Bij deze analyse moet worden opgemerkt dat de verwachtingen steeds betrekking hadden op de neerslag gedurende een periode van 24 uur tussen 0:00 uur en 24:00 uur UTC<sup>1</sup> (dit komt overeen met 02:00 uur tot 02:00 uur MEZT<sup>2</sup>). De waarnemingen van het KNMI hadden betrekking op een periode van 10:00 uur tot 10:00 uur MEZT. Er is een verschuiving van 8 uur van de waarnemingstermijn ten opzichte van de verwachtingstermijn.

Gedurende de periode 15 mei t/m 21 oktober 2000 heeft DLV Meteo dagelijks – inclusief de weekeinden – voor waterschap Rijn en IJssel een verwachting opgesteld voor de volgende weerslelementen:

- referentiegewasverdamping (mm/d);
- neerslaghoeveelheid (mm/d);
- neerslagkans (%);
- verdeling van de neerslagkans over 5 neerslagklassen.

Daarnaast werd er een toelichting gegeven op de te verwachten weersomstandigheden in de vorm van een tekst voor de korte termijn (0 tot 5 dagen) en de lange termijn (6-9 dagen). De verwachting voor de referentiegewasverdamping had betrekking op 6 dagen vooruit ('vandaag' is dag 1), de verwachting voor de neerslaghoeveelheden en neerslagkansen had betrekking op 9 dagen vooruit. Een voorbeeld van de weersverwachting is weergegeven in kader 2. De verwachting werd dagelijks rond het middaguur opgesteld en per e-mail aan het Waterschap verzonden.

<sup>1</sup> UTC = Universal Time Convention, het vroegere GMT ofwel Greenwich Mean Time.

<sup>2</sup> MEZT = Midden Europese Zomer Tijd. Dit is de lokale tijd in Nederland en is 2 uur later dan de UTC- of GMT-tijd.



## KADER 2

## VOORBEELD VAN EEN WEERSVERWACHTING T.B.V. BEREGENING

Datum: dinsdag 18 juli 2000

VERWACHTING REGEN EN VERDAMPING

Dag	18-7	19-7	20-7	21-7	22-7	23-7	24-7	25-7	26-7
Ref. verdamping (mm/etm)	2,0	1,8	2,0	4,0	4,0	4,0			
Neerslagsom (mm)	<0,5	<0,5	<0,5	0	0	1	10	4	2
Neerslagkans (%)	40	20	20	5	5	50	90	70	60
Kans op 0-5 mm (%)	40	20	20	5	5	40	20	50	40
Kans op 5-15 mm	0	0	0	0	0	10	60	20	20
Kans op 15-30 mm	0	0	0	0	0	0	10	0	0
Kans op 30-60 mm	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Kans op >60 mm	0	0	0	0	0	0	0	0	0

## TOELICHTING

KORTE TERMIJN (0-5 DAGEN):

Tot zondag blijft het zo goed als droog. Hooguit valt er de komende 48 uur nog een enkel buitje en tot vrijdag zal de bewolking in oostelijk Nederland toch wel blijven domineren.

Vrijdag en zaterdag zijn 2 vrij zonnige dagen met temperaturen van 22-24 graden als maximum. Ook zondag zijn er nog zonnige perioden, maar in de avond en vooral maandag is er van het zuiden uit kans op regen.

LANGE TERMIJN (6-9 DAGEN):

Maandag en een deel van dinsdag is er kans op een langere periode met regen, mogelijk 15 mm. Daarna is het wisselvallig met soms een paar regen- of onweersbuien, maar er komt geen extreem natte periode. Middagtemperaturen rond het midden van de volgende week rond de 20 graden.

## 2.2.3 OPPERVLAKTEWATER ONTTREKKINGEN

Beregenen is een oplossing om vochttekorten voor landbouwgewassen aan te vullen. De meeste boeren in Oost-Gelderland beregenen met grondwater. Een abonnement op de beregeningsplanner is voor de Provincie Gelderland voorwaarde om een vergunning voor het beregenen met grondwater af te geven.

Zolang er genoeg aanvoer van water is, mag er ook uit enkele grotere watergangen worden beregend. In Gelderland kan op grond van de keur – de wettelijke verordening van het waterschap – voor beregening uit oppervlaktewater een verbod voor de rest van het jaar worden afgekondigd. Het beregenen uit grondwater gaat na een verbod vaak onverminderd voort.

Het besluit tot het afkondigen van een beregeningsverbod uit oppervlaktewater wordt tot nu toe gebaseerd op een beperkt aantal meetgegevens (enkele afvoeren, grondwaterstanden en een schatting van het neerslagoverschot). Er wordt geen rekening gehouden met de ruimtelijke variatie in de hydrologische condities en de weersverwachting.

In deze studie zal het neerslagoverschot ( $N - ET_{act}$ ) worden uitgerekend van het gebied dat bovenstrooms van het punt waar oppervlaktewater wordt onttrokken ligt. Dit gebiedsgeïntegreerde neerslagoverschot kan als een indicator voor de afvoer van het bekenstelsel worden gebruikt. Dit kan in principe voor elk beekgebied apart worden gedaan, mits de grenzen van het stroomgebied bekend zijn. Deze methode is alleen nuttig voor beken en rivieren die geen afvoermetingen hebben. Anders kan direct het debiet worden gebruikt om te besluiten een onttrekkingsverbod af te kondigen.

# 3

## RESULTATEN

### 3.1 LANDELIJKE SITUATIE

#### 3.1.1 NEERSLAGOVERSCHOT IN 2001 EN 2002

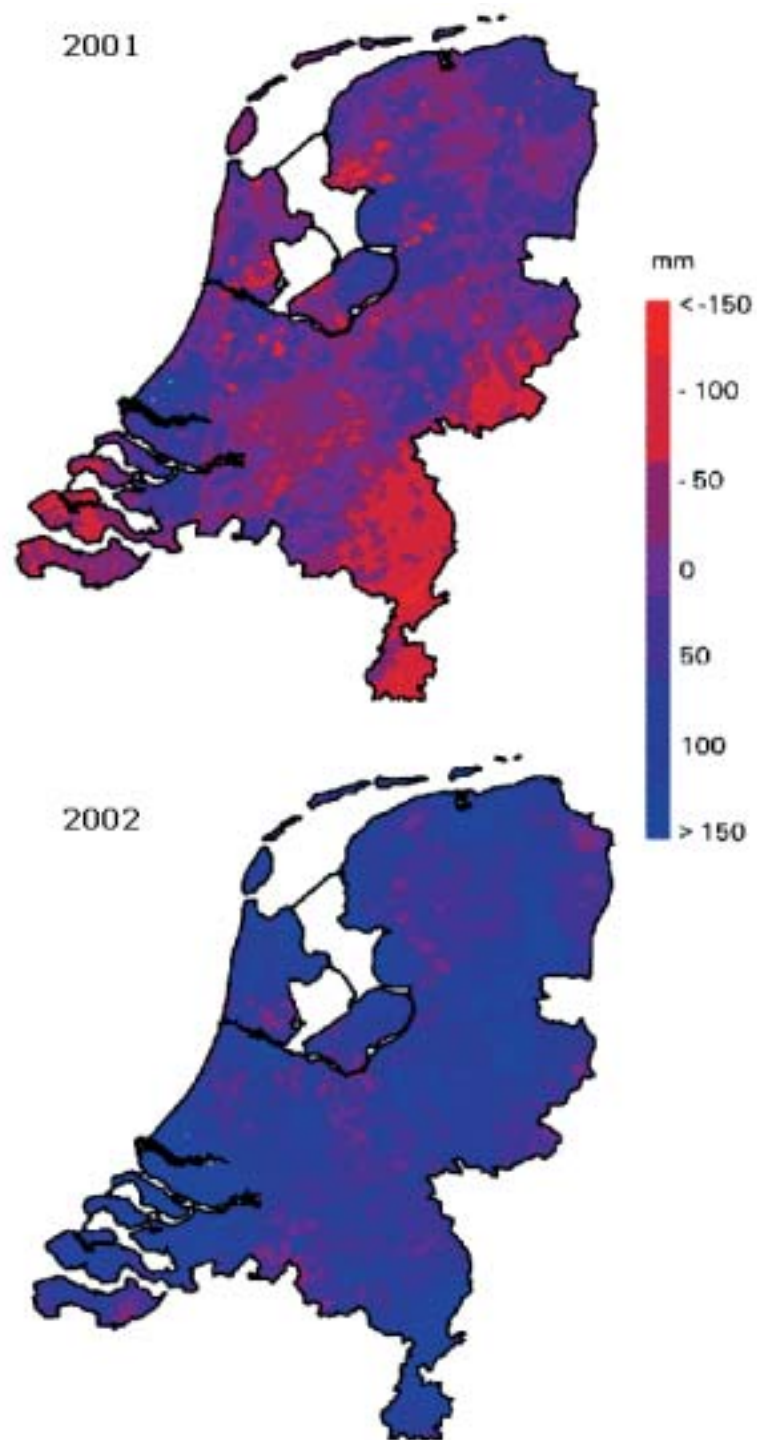
De zomer van 2001 was met 580.4 mm over het zomerhalfjaar tussen 1 april t/m 30 september een nat jaar. Dit cijfer is gebaseerd op waarnemingen van de Bilt. De gemiddelde neerslag over deze periode in de Bilt is 404 mm (1911 t/m 1987). De neerslag in de zomer van 2002 was 438.7 mm en is dus ook meer dan gemiddelde waarde. Deze gegevens betreffen louter puntwaarnemingen van èèn meetlocatie. Deze getallen geven aan dat de beregningsanalyse voor geheel Nederland die in dit hoofdstuk wordt besproken voor 2 natte jaren is uitgevoerd.

Het cumulatieve neerslagoverschot over een periode van 12 weken (1 juni t/m 31 augustus) is afgeleid uit de gekalibreerde en gesommeerde radarbeelden vs. de actuele verdamping afgeleid uit de NOAA beelden (Figuur 4). Er blijkt voor 2001 een significant verschil tussen land en zee te bestaan. Het wateroppervlak verdampt veel meer dan het landoppervlak waardoor het neerslagoverschot voor de zee negatief is.

Het blauwe gebied heeft voor de totale periode van 12 weken een positief neerslagoverschot. Dit betekent niet dat er gedurende deze periode geen uitdroging heeft plaatsgevonden. In zekere weken kan het neerslagoverschot wel negatief geweest zijn. De blauwe gebieden met meer dan 100mm liggen vooral in Zuidwest Nederland, de Veluwe en de Noordoostpolder. Delfland heeft in juli en augustus een aantal keren dagen met meer dan 20 mm/d gehad. Zeeland is aanzienlijk droger. Figuur 4 geeft weer dat de regionale verschillen in neerslagoverschot aanzienlijk kunnen zijn.

Figuur 5 geeft de situatie van het neerslagoverschot voor 2002 aan. Dit overtreft het neerslagoverschot van 2001. De gebieden met een laag neerslagoverschot liggen tijdens 2002 in de Gelderse vallei, het Groningse kleigebied en Zuidwest Drente. Delftland verschijnt wederom als een nat gebied. De Kempen in het midden van de provincie Brabant waren in 2001 uiterst nat, terwijl dit gebied in de zomer van 2002 juist droog is. Dit gebied herbergt veel teelten van vollegrondsgroenten. Het is niet onderzocht hoe de boeren en de provincie Brabant met deze situatie zijn omgegaan, maar het is wel interessant dit vanuit de optiek van beregening te inventariseren.

Figuur 4 en 5 kunnen ook op dagelijkse en wekelijkse basis worden vervaardigd.



FIGUREN 4 EN 5 GESOMMEERD NEERSLAGOVERSCHOT OVER DE GROEIPERIODE JUNI T/M AUGUSTUS VOOR 2001 EN 2002 RESPECTIEVELIJK

### 3.1.2 VERDAMPINGSTEKORT IN 2001 EN 2002

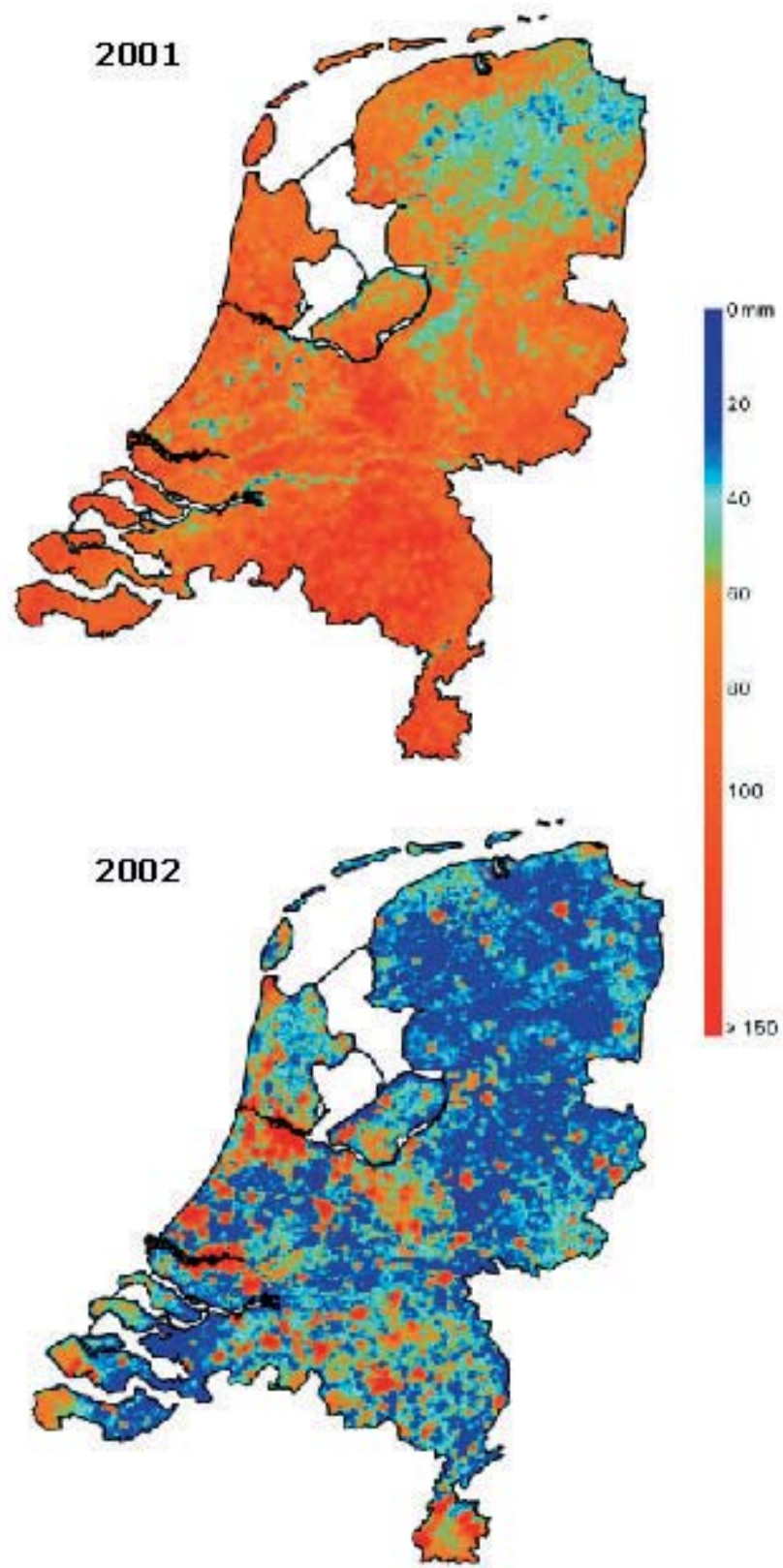
Alle gebieden met een oranje en rode waas in Figuur 6 hebben echt een tekort aan verdamping ( $ET_{ac} < ET_{pot}$ ). Aan dit landelijke plaatje valt op dat er in 2001 overal wel een potentiële beregeningsbehoefte is. De droogste gebieden zijn de Gelderse Vallei en Oost Brabant. De Gelderse Vallei bestaat vooral uit graslandgebieden en verspreide bosopstanden, terwijl het in Noord-Brabant een combinatie van tuinbouw, grasland en verspreide kleinere bosopstan-

den is. De aangrenzende gebieden van de rivier de Waal blijken duidelijk natter te blijven dan hun naaste omgeving hetgeen op een typische kwelsituatie vanuit de rivier duidt. De Noordelijke Veluwe blijft ook goed nat, maar dat wordt o.a. door het hoge neerslagoverschot veroorzaakt (zie Fig. 4). Grote delen van Drente en Groningen vertonen nauwelijks verdampingstekort, vooral in de beekerdgronden en moerige eerdgronden van de Hunze, Drentse A, Tjonger en andere dalen.

Wat betreft de akkerbouwgebieden wordt er een reductie in gewasverdamping vastgesteld voor het zuidoostelijke gedeelte van Zuidelijk Flevoland, Texel (Eierlandse polder) en westelijke gedeeltes van de Zuidhollandse en Zeeuwse eilanden. Dit voorbeeld laat zien in welke gebieden er te weinig beregend is. De potentiële berekening is het verschil tussen  $ET_{pot}$  en  $ET_{act}$  (zie kader 1). Dit is voor 2001 in Nederland in het uiterste geval 150 mm. Er is geen aanvullende informatie vanuit de diverse regio's beschikbaar om vast te stellen of er beregening of infiltratie heeft plaats gevonden.

De traditionele akkerbouwgebieden in het noorden van het land – evenals de akkerbouwgebieden van West-Brabant - hebben weinig verdampingstekort in 2001. In de zomer van 2002 is het verdampingstekort nog minder wat op basis van het hogere neerslagoverschot al wel te verwachten viel. Walcheren en het Zuidelijk Flevoland blijken in het natte 2002 toch nog een verdampingstekort van enkele tientallen millimeters te hebben. Dergelijke reducties in gewasverdamping zijn acceptabel en nauwelijks te voorkomen doordat het weer sterk van dag tot dag kan fluctueren en een boer daar nauwelijks op in kan spelen.

Weersverwachtingen – zeker wanneer dat is toegespitst op een regio - geven aan of de drogende periode lang gaat duren of dat er snel een regenfront gaat passeren. Een boer zal voor een paar millimeter verdampingstekort niet gaan beregen met de wetenschap dat er een zeker percentage kans op regen is (zie kader 2).

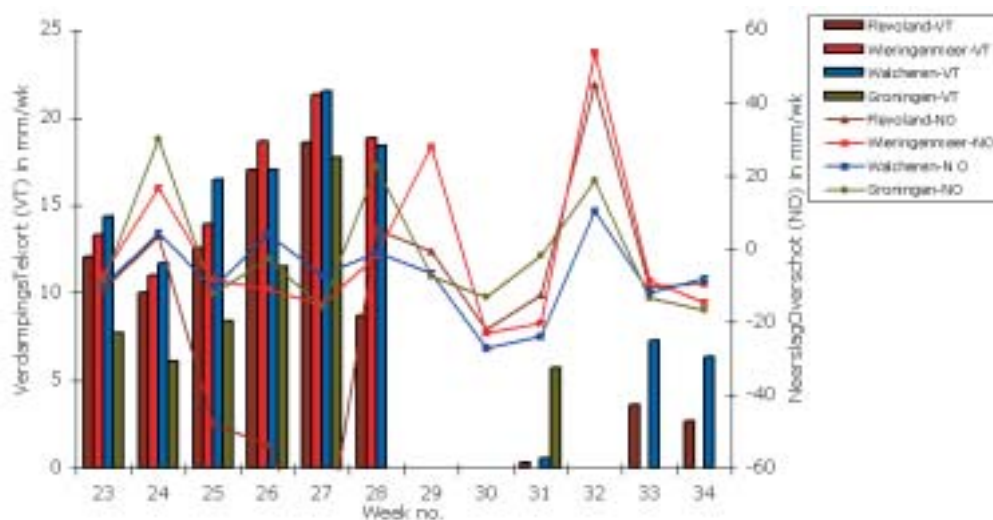


FIGUUR 6 GESOMMEERD VERDAMPINGSTEKORT ( $ET_{pOT}-ET_{ACT}$ ) OVER JUNI T/M AUGUSTUS 2001 EN 2002 RESPECTIEVELIJK

Voor een 4-tal willekeurig geselecteerde akkerbouwgebieden is een wekelijkse analyse van het neerslagoverschot en verdampingstekort gemaakt (zie Figuur 8) om daarmee te demonstreren hoe de werkelijk berekening ( $2 ET_{act} - N - ET_{pot}$ ; zie kader 1) kan worden geschat. Tabel 2 bevat een specificatie van de gekozen kilometerhokken. Omdat de noodzaak voor beregenen in 2002 erg klein was, zijn alleen de resultaten over 2001 verder toegelicht. Van week 23 t/m 27 is het neerslagoverschot in het kilometerhok van Zuidelijk Flevoland 5 weken achtereen negatief. Het verdampingstekort loopt dien ten gevolge op tot 18 mm in week 27. In week 28 wordt het neerslagoverschot positief en daalt het verdampingstekort meteen tot 8 mm/wk om vervolgens in week 29 helemaal naar 0 mm/wk te gaan. Gedurende de laatste 2 weken van augustus ontstaat er wederom een negatief neerslagoverschot, en het verdampingstekort loopt meteen weer op tot ongeveer 5 mm/wk. Dit voorbeeld geeft duidelijk het verband tussen regenval en verdampingstekorten weer en duidt op consistentie tussen de microgolf regenradar- en de zichtbaar/infrarode NOAA metingen.

TABEL 2 SPECIFICATIE VAN 4 TYPISCHE AKKERBOUWGEBIEDEN. DE LOCATIE IS UITGEDRUKT M.B.V. DE KILOMETERHOKKEN VAN DE RIJKSDRIEHOEKSMETING OMDAT DE NOAA PIXELS NAAR DEZE PROJECTIE IS OMGEZET

	X	Y
Zuidelijk Flevoland	157.500	485.500
Wieringenmeer	127.500	540.500
Walcheren	26.500	396.500
Veenkoloniën	266.500	564.500



FIGUUR 8 WEKELIJKS NEERSLAGOVERSCHOT (NO) EN VERDAMPINGSTEKORT (VT) VAN 4 GESELECTEERDE AKKERBOUWGEBIEDEN GEDURENDE JUNI T/M AUGUSTUS, 2001

Ondanks dat het neerslagoverschot op Walcheren groter is dan in Zuidelijk Flevoland, is het verdampingstekort op Walcheren toch hoger. Dit kan duiden op minder intensieve beregning op Walcheren ten gevolge van de aanwezigheid van zout grondwater of door een lagere grondwaterstand op Walcheren zodat de capillaire nalevering gering is. Het Cultuurtechnisch Vademecum maakt melding dat de mogelijkheden voor beregning in

Groningen en Zeeland beperkt zijn door het ontbreken van goed grond en oppervlaktewater.

Het kilometerhok in de Wieringenmeer vertoont dat er van juni tot medio juli grote verdampingstekorten zijn. In week 24 is er regen van betekenis gevallen in de Wieringenmeer waardoor het verdampingstekort even tijdelijk minder werd. Tabel 3 is opgesteld om een seizoensoverzicht te geven. Figuur 9 geeft de wekelijkse situatie voor het kavelniveau in Zuidelijk Flevoland weer.

**TABEL 3** BEREGENINGSCONDITIES OP BASIS VAN BEHOEFTE EN WERKELIJKE BEREGENING GESCHAT AAN DE HAND VAN REMOTE SENSING TECHNIEKEN VOOR 4 KAVELNIVEAUS ZOALS BESCHREVEN IN TABEL 2 VAN ELK 100 HA

(in mm)	Zuidelijk Flevoland	Wieringenmeer	Walcheren	Groningen
Beregeningsbehoefte 2001	198	64	77	49
Actuele beregening 2001	135	33	55	27
Beregeningsbehoefte 2002	25	8	30	119
Actuele beregening 2002	12	0	6	104

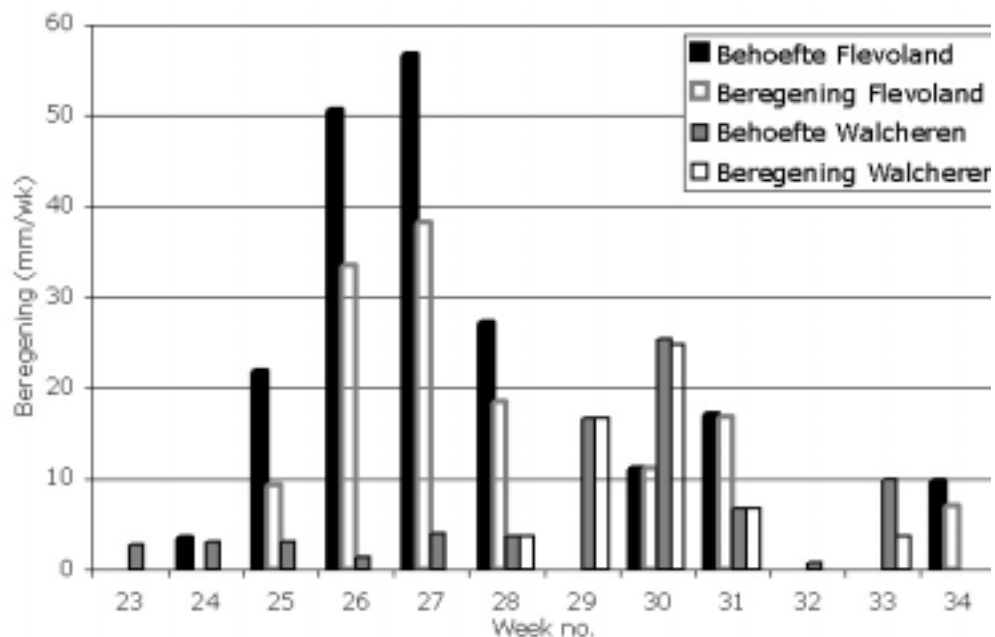
**KADER 3**

**BEREGENINGSADVIES**

Gedurende 2001 was er sprake van verdampingstekorten (en dus potentiële beregening) in Zuidelijk Flevoland, Gelderse Vallei en in de Kempen. Tabel 3 geeft een schatting van de hoeveelheid beregeningswater in Flevoland (135 mm over 3 maanden), terwijl Figuur 9 de wekelijkse situatie weergeeft. Het wegwerken van het verdampingstekort hoeft niet alleen door beregenen te zijn bereikt, maar ook kan door een opgestuwd zomerpeil en infiltratie vanuit sloten en drainagestelsels zijn veroorzaakt. In kwelgebieden zal kwel ook bijdragen aan het reduceren van het verdampingstekort.

Tijdens de zomer van 2002 was er geen reden voor beregenen





FIGUUR 9 VOORBEELD VAN WEKELIJKE BEREGENINGSBEHOEFTE ( $N-ET_{ACT}$ ) EN ACTUELE BEREGENING ( $2ET_{ACT}-N-ET_{POT}$ ) VOOR TWEE GESELECTEERDE KAVELNIVEAUS IN ZUIDELIJK FLEVOLAND EN WALCHEREN GEDURENDE JUNI T/M AUGUSTUS 2001. DE ACTUELE BEREGENING IS GESCHAT UIT HET VERSCHIL VAN NEERSLAGOVERSCHOT EN VERDAMPINGSTEKORT

De wekelijkse hoeveelheden beregeningswater lopen voor Zuidelijk Flevoland uiteen van een paar mm t/m 38 mm per week. Deze waarden komen met de advies waarden tijdens een periode van sterke groei (advies 25 tot 40 mm) overeen (Cultuurtechnisch Vademecum, 1988).

### 3.1.3 REGIONALE BEREGENING, ZUIDELIJK FLEVOLAND

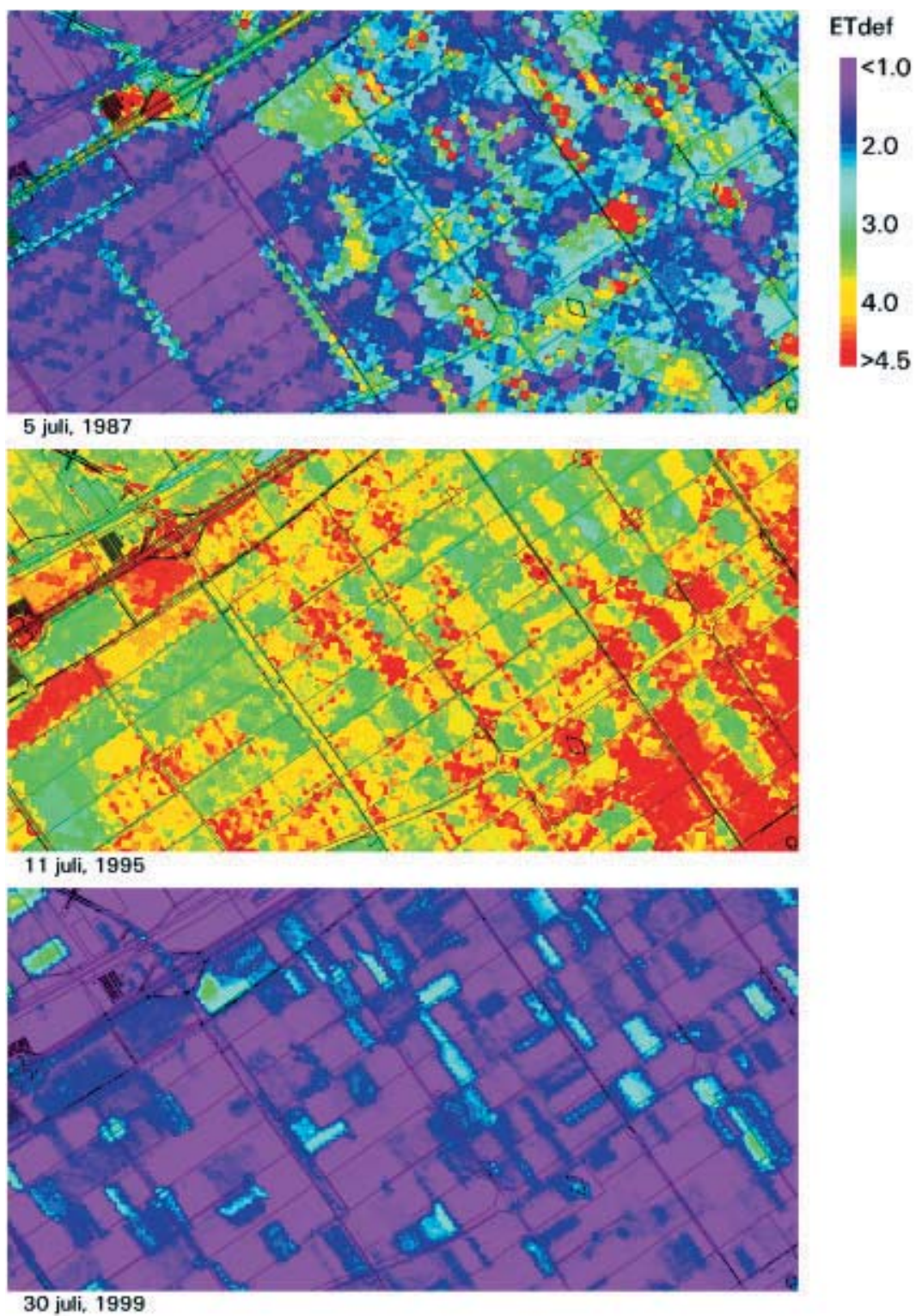
Figuur 10 geeft de ruimtelijke verdeling van het verdampingstekort voor een gedeelte van Zuidelijk Flevoland ten oosten van Almere-Buiten weer. Deze gegevens zijn gebaseerd op Landsat-5 en Landsat-7 beelden. De ruimtelijke resolutie van de thermisch infrarode band op Landsat-5 is met 120 m grover dan de 60 m van Landsat-7. Dit is duidelijk op de fijnere patronen van het 30 juli beeld (Landsat-7) terug te vinden. Het neerslagoverschot tijdens de zomer van de jaren 1987, 1995 en 1999 verschilt aanzienlijk. Juli 1999 is het natst en de verdampingstekorten beperken zich voor de meeste percelen tot  $<1$  mm/d. De maximale  $ET_{pot} - ET_{act}$  tekorten zijn niet meer dan 3.0 mm/d. Voor juli 1987 zijn er duidelijk meer verdampingstekorten. Opvallend op het 1987 beeld is de scherpe overgang tussen het natte zuidwestelijke gedeelte en het droge noordoostelijke gedeelte van het subbeeld.

De overgang ligt exact op de scheiding van een tocht, en het heeft er de schijn van dat hier de invloed van wateraanvoer en zomerpeil op  $ET_{pot} - ET_{act}$  zichtbaar is. Tijdens de lange droge zomer van 1995 is er sprake van een substantieel verdampingstekort. De meeste percelen vertonen een waarde van  $ET_{pot} - ET_{act} > 3$  mm/d. Het grootschalige akkerbouwgebied kan dan niet meer met mobiele beregeningsinstallaties worden nat gehouden en zomerpeilen worden verhoogt voor het bevorderen van de infiltratie. Het is opvallend dat de kavels met het laagste verdampingstekort in juli 1987 ook weer tot de kavels met het laagste verdampingstekort in 1995 behoren (de zuidwesthoek van het subbeeld). De grenzen in de verdam-

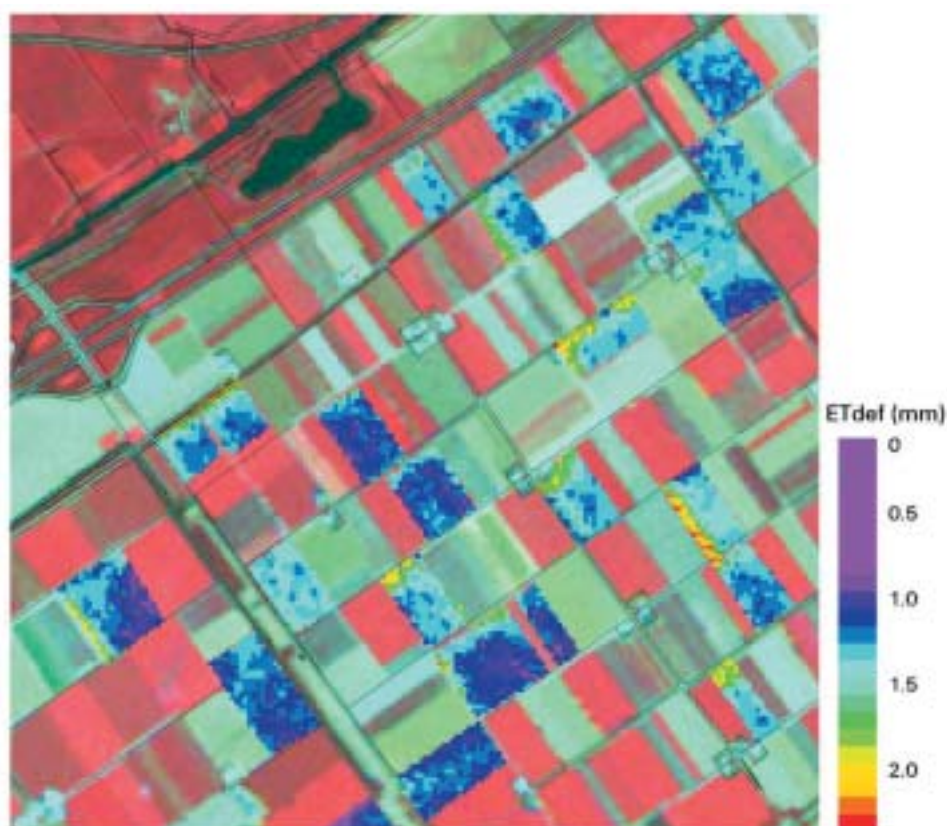
pingspatronen zijn sterk kavelgebonden, hetgeen er op duidt dat het beregeningsbeleid tussen boeren onderling groot is. De meeste boeren hebben een vast rotatieschema en de verschillen worden niet door gewassen veroorzaakt.

Figuur 11 geeft aan hoe groot de verschillen tussen boerderijen voor hetzelfde gewas kunnen zijn. Voor een klein deelgebied nabij de Oostvaardersplas zijn alleen de resultaten voor aardappels gepresenteerd. Dit gebied staat bekend om zijn consumptieaardappelteelt. Het verdampingstekort varieert van 0 tot 2.3 mm/d. Dergelijke waarden gelden typisch voor onbewolkte zomerse dagen en kunnen niet zomaar naar weekwaarden worden omgezet omdat de bewolking van dag tot dag varieert. De water use efficiency van aardappelen is ongeveer  $7.7 \text{ kg/m}^3$  (SCHAPENDONK ET AL., 1995) hetgeen bij een droge stof gehalte van 20% zich vertaalt in een opbrengstderving van 39 kg aardappelen per  $\text{m}^3$  verdampingswater (oftewel 390 kg/ha per mm verdampingstekort). Dit getal komt goed met de waarden van FEDDES ET AL. (1988) overeen.

De hoge verdampingstekorten komen vooral langs de randen van percelen voor. Dit kan te maken hebben met een lagere ontwikkeling van de aardappelplanten door b.v. schaduw van een hoger naast gelegen gewas, door windschade of doordat deze strook systematisch minder kunstmest en gewasbeschermingsmiddelen krijgt toegediend. Voor de meeste percelen geldt dat er een aanzienlijke variatie in het verdampingstekort aanwezig is. Dit kan te maken hebben met natuurlijke variaties in de bodem en de nutriëntenhuishouding. Maar het kan ook met effecten van slootpeilen te maken hebben.



FIGUUR 10 VERDAMPINGSTEKORT (POTENTIËLE BEREKENINGSBEHOEFTE) VAN AKKERBOUWGEWASSEN IN ZUIDELIJK FLEVOLAND GEDURENDE JULI VOOR JAREN MET VERSCHILLENDE NEERSLAG



FIGUUR 11 VERDAMPINGSTEKORT (POTENTIËLE BEREGENING) OP 30 JULI 1999 VOOR EEN TYPISCH IJSSELMEER AARDAPPELGEBIED TEN OOSTEN VAN DE OOSTVAARDERSPLASSEN. 1 MM VERDAMPINGSTEKORT IS EQUIVALENT AAN EEN OPBRENGSTDERIVING VAN 390 KG/HA.

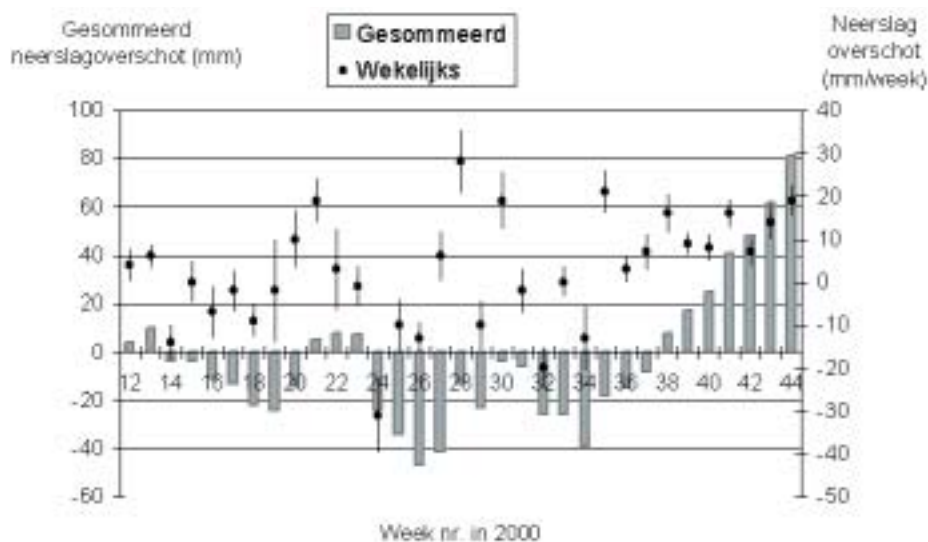
### 3.2 BEREGENINGSVERBOD OPPERVLAKTEWATER, BERKEL

Deze sectie laat een voorbeeld zien hoe de afkondiging van een verbod kwantitatief kan worden onderbouwd met behulp van de remote sensing gegevens. Dit voorbeeld van de Berkel heeft vooral betrekking op het besparen van oppervlaktewater om doorspoeling van de grachten van Zuthpen te garanderen.

In het hoofdrapport is beschreven dat de KNMI regenradarbeelden een overschatting van zo'n 70% geven in relatie tot neerslag metingen door regenmeters. Dat neemt niet weg dat de ruimtelijke patronen van de radarbeelden een aanzienlijke detaillering van het regenval gedrag weergeven. Na kalibratie kunnen de radarbeelden voor de ruimtelijke verdeling van het neerslagoverschot worden gebruikt, ofschoon er wel een aanzienlijke restfout blijft bestaan (2 mm/wk bij een onderschrijdingskans van 50% en 12 mm/wk bij een onderschrijdingskans van 90 %).

De variatie van het neerslagoverschot over het zomerseizoen van 2000 is weergegeven in Figuur 12. Het hoogste gemiddelde neerslagoverschot voor een gebied van ongeveer 200.000 ha van 28 mm/wk treedt op tussen 9 t/m 15 juli (week 28), waarbij plaatselijk piekwaarden van 35 mm/wk en meer optreden. Het laagste gebiedsgemiddelde neerslagoverschot daarentegen is -31 mm (week 24). Het gesommeerde neerslagoverschot laat zien dat de

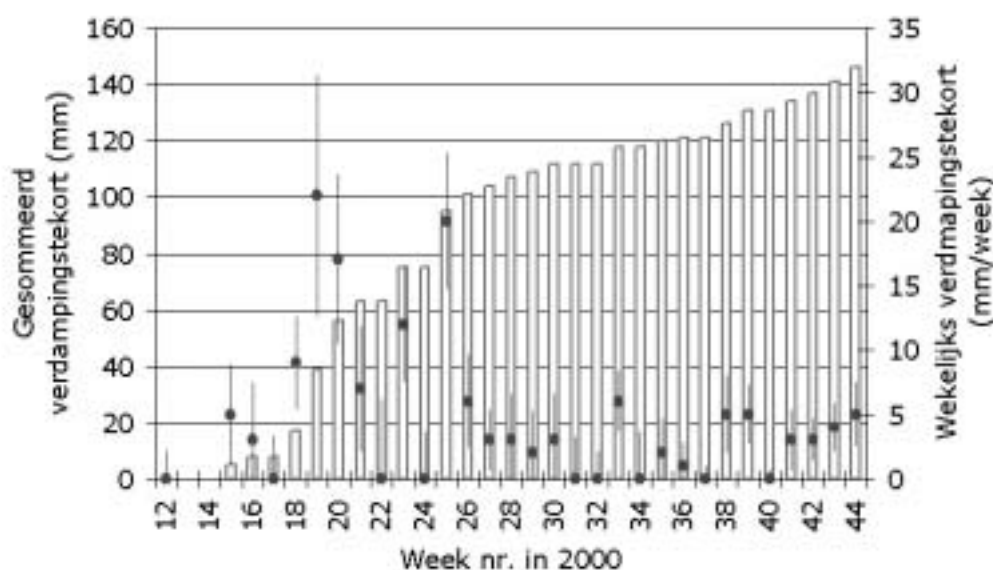
cumulatieve waarden vanaf 1 april zelden beneden -40 mm komen. Vanaf 27 augustus is het cumulatieve neerslagoverschot positief en zullen alle watergangen watervoerend zijn. Zonder enige verdere informatie kan worden afgeleid dat de oppervlakteafvoer van alle bekenstelsels in Oost-Gelderland tezamen het laagst is gedurende week 26 en week 34.



FIGUUR 12 GEBIEDSGEMIDDELTE NEERSLAGOVERSCHOT ( $N-ET_{ACT}$ ) VAN HET GEHELE BEHEERSGEBIED VAN WATERSCHAP RIJN EN IJSSEL GEDURENDE HET GROEISEIZOEN VAN 2000 (WEEK 12 T/M 44). DE CUMULATIEVE WAARDE VANAF WEEK 12 IS WEERGEGEVEN D.M.V. STAAFDIAGRAMMEN.

De meeste kritische situatie was week 26 (25 juni t/m 1 juli) met een gesommeerd neerslagoverschot van -47 mm. In de daarop volgende week werd echter regen verwacht die ook daadwerkelijk is gevallen ( $N > ET_{act}$  in week 27). Hetzelfde herhaalde zich in week 28 waardoor het cumulatieve neerslagoverschot tot -13 mm was gedaald. De weerberichten in deze weken zijn aanleiding geweest om het verbod uit te stellen. Terecht, naar later bleek, want gedurende week 29 en 30 komt er regen.

De weken 19, 20, 23 en 25 met verdampingstekorten van 22, 17, 12 en 20 mm/wk hebben de grootste kans gehad op droogteschade (zie Figuur 13). In het begin van het groeiseizoen wordt dit voor een groot gedeelte ook veroorzaakt door de aanwezigheid van kale grond en kroondekken van bomen die nog aan het uitlopen zijn. Een beregeningsadvies voor de boeren in weken 19 en 20 is daarom aan de vroege kant en een advies voor de weken 23 en 25 lijkt beter, in zoverre als beregenen voor graslanden en maïspcelen tenminste economisch rendabel is.



FIGUUR 13 GEBIEDSGEMIDDELTE VERDAMPINGSTEKORT ( $ET_{POT} - ET_{ACT}$ ) VAN OOST-GELDERLAND GEDURENDE HET GROEISEIZOEN VAN 2000 (WEEK 12 T/M 44). DE CUMULATIEVE WAARDE VANAF WEEK 12 (19 MAART) IS WEERGEGEVEN D.M.V. STAAFDIAGRAMMEN.

Na week 25 (eind juni), is er weinig noodzaak tot beregenen geweest. Gedurende 2000 is er door agrariërs inderdaad weinig beregend. Om meer uitspraken over het beregenen van de typische hellende zandgebieden te doen, is daarom besloten de beregeningsverboden van de jaren 1995, 1998 en 1999 bij de analyse te betrekken. In bijlage 2 staat het voortschrijdende maandelijkse neerslagoverschot ( $N - ET_{act}$ ) in relatie tot het verdampingstekort over alle verschillende jaren weergegeven. Maandelijks waarden van het neerslagoverschot zijn genomen om op dia wijze rekening met de verblijftijd tussen neerslag en de trage afvoercomponent op regionale schaal rekening te houden. De trage afvoercomponent beschrijft de afvoer via het grondwater.

De zomer periode in 1995 is warm tot zeer warm geweest. In mei en de eerste helft van juni is er behoorlijk wat neerslag gevallen. De eerste droogte deed zich eind april/begin mei voor. Met de derde decade van juni is het opnieuw droog geworden en dit hield stand tot eind augustus. Vanaf week 26 en 27 wordt het droger en als in week 28 de warmte aanbreekt is er meteen sprake van droogteschade (wekelijks verdampingstekort 13 mm/wk) en een geringe afvoer (maandelijks neerslagoverschot -21 mm/wk). Het verbod tot beregenen is correct genomen en de noodzaak ertoe is gebleken om het neerslagoverschot in de 8 weken daarna negatief is gebleven. De afvoer van de Berkel was minimaal. Uit de gegevens van 1995 kan proefondervindelijk worden afgeleid dat bij een verdampingstekort groter dan 10 mm/wk (het moet immers wel droog zijn) en een neerslagoverschot voor de gehele regio kleiner dan -10 mm/wk, een beregeningsverbod moet worden afgekondigd. Dit zal verder in deze rapportage als het (+10,-10) criterium worden aangeduid.

In 1998 was de situatie geheel anders. Er is uitzonderlijk veel neerslag gevallen waardoor het neerslagoverschot overwegend positief was. Alleen in week 20 t/m 22 was het droog, maar door de hoge bewolgingsgraad was er een lage verdamping en trad er nauwelijks een verdampingstekort op waardoor beregenen niet relevant was. In midden augustus (week 33 en

34) trad er een geringe droogteschade op, maar het voortschrijdend neerslagoverschot was -7 mm/wk. Op basis van het (+10,-10) criterium kan geconcludeerd worden dat het afkondigen van een verbod niet nodig is. Om geen risico voor het doorspoelen van Zutphen te nemen, heeft het Waterschap toch een verbod afgekondigd; de verschillen tussen -10 en -7 mm/wk zijn overigens marginaal.

Het voortschrijdend gebiedsgemiddelde neerslagoverschot over het groeiseizoen van 1999 is van week 17 t/m 38 negatief, dus er is de gehele zomer sprake van een geringe afvoer. De maanden mei en juni waren vrij droog, maar eind juni en in juli regent het. Eind mei is het verdampingstekort al boven de 10 mm/wk en de totale afvoer van het beheersgebied laag omdat het maandelijks voortschrijdende neerslagoverschot al rond de -10 mm/wk ligt. Op basis van figuur 9 en het +10/-10-criterium zou een beregeningsverbod afgekondigd moeten worden. In de praktijk is dit niet gebeurd. Na de zomerregens, start in de 2e helft van juli een tweede droge periode. Vanwege de tijdstap grootte van een week, geven de remote sensing berekeningen aan dat er in week 29 droogteschade is en de afvoer met -13 mm/wk laag is. Net voorafgaande aan week 29, wordt op het einde van week 28 inderdaad een verbod afgekondigd. Dit verbod was een goed besluit omdat er daarna nog wekenlang een negatief neerslagoverschot optrad. Hier blijkt een criterium van (+10,-13) hanteerbaar.

TABEL 4 BEREGENINGSADVIES OP BASIS VAN REMOTE SENSING GEGEVENS. ER IS EEN ALGEMEEN BEREGENINGSADVIES BIJ EEN VERDAMPINGSTEKORT VAN >10 MM/WK. BIJ EEN NEERSLAGOVERSCHOT <-10 MM/WK VAN HET BOVENSTROOMSE GEBIED MAG ER NIET LANGER MET OPPERVLAKTEWATER VANUIT DE BERKEL WORDEN BERESEND.

	Beregeningsadvies ( $ET_{pot} - ET_{act} > 10$ mm/wk)	Beregeningsverbod uit oppervlaktewater ( $N - ET_{act} < -10$ mm/wk )
1995	16,17,18,19,20,21,22,25,26,30,35	28,31,32,33,34
1998	20,28,29,33,34,	Geen verbod oppervlaktewater
1999	20	21,29,30
2000	19,20,23,25	Geen verbod oppervlaktewater

### 3.3 VERSCHILLEN MET CONVENTIONELE METHODEN

#### BEREGENINGSPLANNER/WIJZER

Agrariërs bepalen het beregeningstijdstip aan de hand van waarnemingen in het veld. Om te voorkomen dat ze te laat beregenen worden nu de beregeningsplanner en de beregeningswijzer geadviseerd, ook om daarmee toestemming te krijgen voor het beregenen vanuit het grondwater. De overheid verwacht dat op die manier op beregeningswater kan worden gespaard. De nauwkeurigheid voor het schatten van het actuele bodemvocht (zonder metingen) is niet zo groot omdat dit afhangt van de nauwkeurigheid van het schatten van de actuele verdamping, percolatie en capillaire opstijging (CLM, 1996). In een experiment op acht melkveebedrijven met de beregeningsplanner en wijzer bleek dat de planner het vochtgehalte overschat en er volgens de planner nauwelijks sprake van verdroging is. De capillaire opstijging werd te hoog berekend. De conclusie was dat het programma dient te worden gekalibreerd tegen de lokale bodemkundige condities (PR, 1998).

Een beter alternatief is het aanschaffen van een bodemvochtmeter of een thermische infra-

rood sensor. In alle gevallen moet er aanzienlijk geïnvesteerd worden en moet de boer zelf de beslissing maken of het kritische vochtgehalte of kritische temperatuur bereikt wordt. Dit nadeel kan worden teniet gedaan door de boer toegang te verlenen tot de in dit rapport beschreven remote sensing technologieën via het internet.

#### BEREGENINGSVERBOD

De overeenkomst tussen het advies volgens de in dit rapport beschreven remote sensing methode en het beleid van het Waterschap is weergegeven in Tabel 5. Voor 1995 en 2000 is er geen verschil in advies en besluit waarneembaar. Voor 1999 zou volgens de remote sensing methode in week 21 een verbod moeten zijn afgekondigd. In de praktijk bleek toen, dat de Berkel over voldoende oppervlaktewater beschikte omdat er een natte winter aan voorafgegaan was. Het tweede remote sensing advies in de zomer van 1999 valt wel samen met het genomen besluit. In 1998 was er geen noodzaak tot het afkondigen van een verbod volgens de remote sensing methode terwijl er op 14 augustus door het waterschap wel een verbod is afgekondigd, maar dit verschil was marginaal. In de helft van alle gevallen valt de remote sensing schatting samen met het wekelijkse besluit. Voor een gedeelte kan dit verschil worden toegeschreven aan het feit dat het stroomgebied van de Berkel in Duitsland niet is meegenomen.

TABEL 5 VERGELIJKING AFGEKONDIGD VERBOD OP HET BEREGENEN VANUIT DE BERKEL EN HET REMOTE SENSING ADVIES

Jaartal	Verbod afgekondigd	Eerste remote sensing advies	Tweede remote sensing advies
1995	15 juli (week 28)	Week 28	Week 31
1998	14 augustus (week 33)	Geen verbod	Geen verbod
1999	17 juli (week 28)	Week 21	Week 29
2000	Niet afgekondigd	Geen verbod	Geen verbod



# 4

## TOEPASSINGEN VAN REMOTE SENSING IN HET WATERBEHEER

### 4.1 MOGELIJKHEDEN VOOR VOORBEREIDEND WATERBEHEER

Berekening uit grondwater is tegenstrijdig met het anti-verdrogingsbeleid van Nederland. De landbouw moet daarom zuiniger met water omgegaan, maar dat mag niet ten koste gaan van grote verliezen in de gewasproductie en het inkomen van boeren. Het concept van beregenen op maat werkt naar tevredenheid als het een waterbesparing oplevert t.o.v. de vroegere beregeningspraktijk en de landbouwkundige productie op peil blijft. Er is daarom interesse te weten hoeveel grond en oppervlaktewater er door de landbouw wordt gebruikt en hoeveel droogteschade er is. Omdat satellietbeelden sinds 1980 in Amerikaanse archieven worden opgeslagen, kan een retrospectieve studie naar het beregeningsgedrag worden gemaakt (dit is niet gedaan maar technisch gezien wel mogelijk). Dit geeft beleidsmakers een beter beeld hoe de landbouw met neerslagoverschotten in het zomerhalfjaar omgaat.

De conclusie van de Landsat exercitie op kavelniveau, perceelsniveau en per gewas is dat het effect van oppervlaktewaterbeheer en beslissingen van individuele boeren zichtbaar is. Er zijn duidelijk overgangen tussen peilvakken, boerenbedrijven en tussen gewassen waarneembaar. De remote sensing methode laat zien hoe de ruimtelijke en temporele patronen van verdampingstekort zijn, en deze kunnen via kennis over het gewasstype en de water use efficiency worden omgezet in productieverliezen. Zelfs bij een lage prijs van € 0.10/kg levert 1 mm verdampingstekort voor aardappelen een verlies op van € 39/ha. Voor pootaardappelen met een waarde van € 0.50/kg is dat een verlies van € 195/ha/mm. Ofschoon Landsat door de beperking van wolkenvrije dagen niet operationeel kan worden ingezet, kunnen er wel nuttige strategische analyses mee worden uitgevoerd. Daarbij valt te denken aan het bestuderen van de reactie van diverse gewassen op de regenval en droogte in diverse zomers, om inzichten te krijgen in:

- inkomensderving ten gevolge van verdampingstekort
- potentiële berekening
- gebruikte hoeveelheid beregeningswater
- impact van beregenen op de oppervlakte en grondwaterstand

Als de globale straling en beregeningsbehoefte toenemen doordat er weinig wolken zijn, zullen het aantal geslaagde Landsat opnamen ook toenemen. Dit betekent dat er automatisch meer beeldmateriaal beschikbaar is als daar vanuit de gebruiker meer vraag naar is.

Omdat met 2 Landsat beelden praktisch geheel Nederland kan worden bedekt, is het technisch mogelijk een gecoördineerd systeem voor beregeningsaspecten op te zetten, zeker als meerdere jaren in de analyse worden betrokken (Figuur 11 geeft een voorbeeld van dezelfde maand maar voor 3 verschillende jaren). Een internet service dient de boeren, maar ook de

overheid als zij daarmee water kunnen besparen. Bovendien kunnen voor gebieden met mogelijkheden voor infiltratie, het beleid van het waterschap t.a.v. conservering van water en aanvoer van gebiedsvreemd water kritisch worden geëvalueerd. Door een goed infiltratiebeleid, kan de omvang van beregenen afnemen.

Het digitaal zijn van de informatie biedt de mogelijkheid relaties te leggen tussen remote sensing parameters en bodemsoort, grondwatertrappen, landgebruik etc. Hiermee zou een betere systeemverkenning kunnen worden gemaakt.

#### 4.2 MOGELIJKHEDEN VOOR UITVOEREND WATERBEHEER

Indien digitale gegevens over neerslag, actuele en potentiële verdamping wekelijks aan een waterschap of provincie worden gestuurd, dan kan een actueel beeld van de beregeningsbehoefte, potentiële beregening en de actuele beregening op kavelniveau worden verkregen. Dat geeft een beter en vooral completer beeld van de beregeningscondities dan verkregen op basis van conventionele methodes.

Een vergelijking tussen de beregeningsplanner en de in deze studie gepresenteerde remote sensing methode is nuttig. Het kan de boer veel werk en kosten besparen als hij/zij de gegevens uit een centrale database kan halen, ook als de gegevens op het kavelniveau betrekking hebben. Het neerslagoverschot op basis van goed gekalibreerde regenradarbeelden en de actuele verdamping ( $N_{\text{regenradar}} - ET_{\text{act}}$ ) geeft een beter inzicht in het neerslagoverschot dan berekend op basis van de referentiegewasverdamping ( $N_{\text{regenmeter}} - E_{\text{tref}}$ ). Vooral het beschikbaar hebben van het verdampingstekort ( $ET_{\text{pot}} - ET_{\text{act}}$ ) is een sterk winstpunt omdat:

- Er geen operationele en directe methode voor actuele verdamping in Nederland bestaat
- Het verschil tussen  $ET_{\text{pot}}$  en  $ET_{\text{act}}$  een directe maat is voor het vochttekort in de bodem. Het schatten van bodemvocht uit diverse eenvoudige planners en geavanceerde methodes (hydrologische modellen) is het alternatief, maar dat is slechts een indirecte methode om het vochttekort voor gewassen te bepalen

Het afkondigen van een verbod uit oppervlaktewater om de gevolgen voor benedenstrooms waterverbruik te minimaliseren kan gepaard gaan door het neerslagoverschot in het bovenstroomse gebied uit remote sensing beelden in beschouwing te nemen. Een dergelijke aanpak is vooral essentieel als er geen debiet metingen zijn.

Een maandelijks voortschrijdend neerslagoverschot <10 mm/week is een criterium waarbij voor de Berkel de afvoeren te laag worden om beregening nog toe te staan, maar dit criterium kan per gebied verschillen. Het korte en lange termijn weerbericht is een vitale aanvulling op het besluit om een beregeningsverbod af te kondigen. Het beschikbaar zijn van het weerbericht heeft er eerder toe geleid om verboden op te schorten.

Er is geen test gedaan voor onttrekkingen uit grondwater, maar er is wel een schatting gemaakt voor de wekelijkse hoeveelheden beregeningswater voor een 4-tal willekeurig gekozen akkerbouwgebieden. Als vanuit verordeningen bekend is dat grondwater de bron voor beregeningswater in een zeker gebied is, dan kan dus worden geschat hoeveel grondwater voor de landbouw wordt gebruikt.

# 5

## BLIJVENDE BEPERKINGEN

De ruimtelijke resolutie van Landsat is met 30 m geschikt voor het bestuderen van variaties in potentiële en actuele beregening. Maar dit kan alleen voor strategische doeleinden worden gebruikt en niet voor operationele doeleinden. De tussentijdse periode tussen 2 opeenvolgende Landsat beelden is 16 dagen en dat is te lang. Feitelijk zijn er meerdere Landsat systemen nodig die tegelijkertijd operationeel zijn. De nieuwe Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) sensor op de Terra satelliet is technisch vernuftiger dan Landsat, maar de gegevens worden niet systematisch opgenomen en opgeslagen. Dat is jammer, want het zou anders het 16 dagen gat van Landsat kunnen halveren.

Ofschoon NOAA dagelijkse opnamen van Nederland maakt, blijkt uit de praktijk dat er gemiddeld maar 3 goede beelden per maand kunnen worden verzameld. In droger zomers met minder wolken, zal dit aantal oplopen. Met het verschijnen van de 2nd Generation Meteosat (MSG) zal het euvel van gaten in de NOAA tijdserie worden verholpen omdat de geostationaire baan van MSG het mogelijk maakt om elke 15 minuten een opname in dezelfde spectrale range als NOAA te maken ([www.esa.int/export/esami/msg/](http://www.esa.int/export/esami/msg/)).

Het actuele beregeningsgedrag is in deze studie geschat op basis van het verschil in het neerslagoverschot en het verdampingstekort. De consequentie van een dergelijke benadering is dat een klein verdampingstekort bij een negatief neerslagoverschot wordt beschouwd als zijnde gereduceerd door beregening. Maar dat hoeft niet altijd het geval te zijn want verdampingstekorten kunnen ook klein worden gehouden ten gevolge van bergingsveranderingen, capillaire opstijging, infiltratie en kwel. Dit fenomeen speelt een rol bij diep wortelende gewassen en bij bossen, die een tijdlang potentieel kunnen blijven verdampen als er geen neerslag van betekenis is.

Het verwerken en interpreteren van de digitale remote sensing data kost tijd en energie. Als dit niet bewust door waterschappen en provincies wordt ingepland, dan wordt de kans van slagen van een operationeel systeem minder.

Het gebiedsgemiddelde neerslagoverschot is niet gelijk aan het debiet door de beek of rivier omdat er berging in de onverzadigde- en verzadigde zone optreden. Verdragingsfactoren en basisafvoeren kunnen worden bepaald aan de hand van de ruimtelijke verdeling van het neerslagoverschot en de gemeten afvoer. Met wat simpele hydrologische vergelijkingen en kalibraties, zou een gedistribueerd neerslag-afvoer model met een grid van 1 km voor de helende gebieden van Nederland kunnen worden gemaakt.

# LITERATUURLIJST

BASTIAANSEN, W.G.M., M. MENENTI, R.A. FEDDES EN A.A.M. HOLTSLAG, 1998. **A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL)**, 1 . formulation, J. of Hydr. 212-213: 198-212

BUISHAND, T.A. EN C.A. VELDS, 1980. **Neerslag en verdamping, Klimaat van Nederland, I** Staatsuitgeverij, 's-Gravenhage

CENTRUM VOOR LANDBOUW EN MILIEU, 1995. **Naar een beregeningsplanner voor agrariers**, CLM Rapport 183, (eds.) H. Bleumink en J.C. Buys

CENTRUM VOOR LANDBOUW EN MILIEU, 1996. **Naar een beregeningsplanner voor agrariers II**, Toetsing in de praktijk, CLM Rapport 235, (eds.) D. Boland, H. Bleumink en J.C. Buys

CULTUURTECHNISCH VADEMECUM, 1988. **Werkgroep Herziening Cultuurtechnisch Vademecum**, Cultuurtechnische Vereniging, ISBN 90-9002366-6: 1085 pp.

CHOUDHURY, B.J. AND S.B. IDSO, 1985. **An empirical model for stomatal resistance of field-grown wheat**, Agr. And Forest Met. 36: 55-82

FEDDES, R.A., M. DE GRAAF, J. BOUMA AND C.D. VAN LOON, 1988. **Simulation of water use and production of potatoes as affected by soil compaction**, Potato Research 31: 225-239

JARVIS, P.J., 1976. **The interpretation of the variations in leaf water potential and stomatal conductance found in canopies in the field**, Phil. Trans. R. Soc. London. B. 273: 593-610

KNMI, 2002. **Klimaatatlas van Nederland**

METSELAAR, K., P.J.T. VAN BAKEL, P. KABAT EN J.M.P.M. PEERBOOM, 1991. **Modelstudie naar de effecten van de beperking van beregening uit grondwater voor een Noordbrabants melkveebedrijf**, Rapport Staring Centrum, Wageningen

PRAKTIJKONDERZOEK RUNDVEE, SCHAPEN EN PAARDEN (PR), 1998. **Beregenen op maat 1997, toetsing van de beregeningsplanner- en wijzer in de praktijk**. Onderzoeksresultaten 1997, (eds.) Hoving, Everts en Alblas, PR Rapport 172: 24 pp.

ROLF, H.L.M., 1989. **Verlaging van de grondwaterstanden in Nederland: Analyse periode 1950-1986**, Ministerie van Verkeer en Waterstaat DBW/RIZA: 46 pp.

SCHAPENDONK, A.H.C.M., C.S. POT EN J. GOUDRIAAN, 1995. **Effects of carbon dioxide and**

**temperature on potato productivity**, in (eds.) Haverkort en MacKerron, Potato Ecology and Modelling of Crops under Conditions Limiting Growth, Kluwer Academic Publishers: 101-113

## BIJLAGE 1

# KRITISCHE BODEMPOTENTIALEN ( $\Psi_{RED}$ ) VOOR EEN AANTAL GEWASSEN WAAR DROOGTESCHADE ONTSTAAT (NAAR CULTUURTECHNISCH VADEMECUM)

Gewas	Uitdrogingsgrens (pF)
Gras	2.6
Zomergraan	2.9
Erwten	2.6
Aardappelen	2.5
Bieten	2.6
Andijvie, spinazie	2.3
Kropsla	2.5
Bloemkool	2.5
Sluitkool	2.6
Knolselderij	2.6
Peen	2.7
Radijfs	2.2
Tulpen	2.4
Uien	2.4
Aardbeien	2.6
Augurken	2.6
Stamslabonen	2.3



## BIJLAGE 2

# VOORTSCHRIJDEND MAANDELIJKS NEERSLAG- OVERSCHOT EN WEKELIJKS VERDAMPINGSTEKORT

