

EFFECTEN VAN PEILBEHEER IN HET GEBIED
'DE MONDEN' (DRENTHE)

ir. P.J.T. van Bakel

RAPPORT 15

INSTITUUT VOOR CULTUURTECHNIEK EN WATERHUISHOUDING (ICW)
POSTBUS 35, 6700 AA WAGENINGEN 1985

237478

Tussen de jaren 1957 en 1964 zijn 23 Rapporten (eerste serie) verschenen. In 1982 is de reeks in een andere vorm hervat als RAPPORTEN (nieuwe serie).

Te verkrijgen RAPPORTEN (nieuwe serie)

1. Sprik, J.B. en G.H. Horst. 1982. Onderzoek naar capaciteitsnormen voor diepploegen, bulldozers en hydraulische graafmachines.
2. Nieuwenhuis, G.J.A. en C.L. Palland. 1982. Verdamping van een aardappelgewas en de meting daarvan via remote sensing.
3. Hoeks, J. en G.J. Agelink. 1982. Onderzoek naar mogelijkheden om de infiltratie van regenwater in een afvalstort te verminderen.
4. Alderwegen, H.A. van. 1982. Planning van openlucht-recreatievoorzieningen bij voorbereiding van land-inrichtingsprojecten.
5. Rijtema, P.E. et al. 1982. Bemesting, waterhuishouding, perceelscheidingen en landbouw. Commentaar op een RIN-rapport.
6. Harmsen, J. en H. van Drumpt. 1982. Conservering van watermonsters.
7. Ernst, L.F. 1983. Wegzijing en kwel; de grondwaterstroming van hogere naar lagere gebieden.
8. Steenvoorden, J.H.A.M. en M.J. de Heus. 1984. Fosfaatbalansstudies en de bijdrage van diffuse bronnen.
9. Wijk, A.L.M. van. 1984. Landbouwkundige aspecten van ontwatering in veenweidegebieden. Commentaar op een literatuuranalyse.
10. Beuving, J. 1984. Vocht- en doorlatendheidskarakteristieken, dichtheid en samenstelling van bodemprofielen in zand-, zavel-, klei- en veengronden.
11. Weerd, B. van der en L.F. Ernst. 1984. Een prognose van het effect van een peilverhoging in het Philippinekanaal (Zeeland) op de grondwaterstand in de aangrenzende polders.
12. Werkgroep Nitraatuitspoeling in Waterwingebieden. 1985. Nitraatproblematiek bij grondwaterwinning in Nederland. Onderzoek naar alternatieve maatregelen.
13. Wilde, J.G.S. de. 1984. Dammen van riet, heide of boomschors als perceelverbinding in veenweidegebieden.
14. Kemmers, R.H. en P.C. Jansen. 1985. Stikstofmineralisatie in onbemeste half-natuurlijke graslanden.
15. Bakel, P.J.T. van. 1985. Effecten van peilbeheer in het gebied 'De Monden' (Drenthe).

De RAPPORTEN (nieuwe serie) zijn te bestellen door storting van het verschuldigde bedrag op giro 817672 t.n.v. ICW, Wageningen, onder vermelding van de gewenste publikatie en het aantal exemplaren. Toezending geschiedt na ontvangst van het bedrag.

Prijs Rapport 1 f 15; Rapport 2 f 10; Rapport 3 f 5; Rapport 4 f 5; Rapport 5 f 5; Rapport 6 f 5; Rapport 7 f 7,50; Rapport 8 f 7,50; Rapport 9 f 5; Rapport 10 f 7,50; Rapport 11 f 7,50; Rapport 12 f 12,50; Rapport 13 f 10; Rapport 14 f 7,50; Rapport 15 f 15

VOORWOORD

In dit rapport worden de resultaten van het onderzoek 'De Monden' samengevat. Tegelijkertijd met het uitbrengen van dit onderzoek-verslag wordt een uitgebreid, meer wetenschappelijk (Engelstalig) eindrapport gepubliceerd. De verklaring van deze gang van zaken is, gezien de actualiteit van het onderwerp, de noodzaak om de resultaten van het onderzoek zo snel mogelijk naar de praktijk te laten doorstromen. Dit rapport is vooral geschreven voor de technische diensten van waterschappen, waterschapsbestuurders en verder iedereen in Nederland die is belast met het opstellen of beoordelen van waterbeheersplannen. Tevens is gestreefd naar een volledig en op zichzelf leesbaar geheel, zodat een vrij uitgebreid rapport is ontstaan. Voor degenen, die minder geïnteresseerd zijn in het proefgebied als zodanig of die alleen belang stellen in de meest in het oog springende resultaten, is een sterk ingekorte versie voorin in dit rapport opgenomen.

Een groot aantal personen heeft aan dit onderzoek een bijdrage geleverd. Het zou te ver voeren ze allemaal afzonderlijk te noemen. Speciale vermelding verdient echter de inspanning van medewerkers van het waterschap De Veenmarken en de Landinrichtingsdienst Drenthe. Zij hebben door het leggen van het fundament waarop dit onderzoek is gebouwd, door het voortdurend creatief meedenken en door de daadwerkelijke deelname aan het veldonderzoek dit onderzoek mogelijk gemaakt.

INHOUD

	blz.
IN KORT BESTEK	1
CONCLUSIES	3
AANBEVELINGEN	5
1. INLEIDING	7
2. BESCHRIJVING VAN HET PROEFGEBIED 'DE MONDEN'	8
2.1. Algemeen	8
2.2. Geologische onstaanswijze	8
2.3. Vervening	11
2.4. Landbouwkundige situatie	12
2.5. Bodemkundige situatie	13
2.6. Grondverbetering	13
2.7. Waterhuishoudkundige situatie	16
2.7.1. Ontwateringssituatie	16
2.7.2. Afwateringssituatie	19
3. MODELLERING VAN HET HYDROLOGISCH SYSTEEM	20
3.1. Algemeen	20
3.2. Onderdelen van het hydrologisch systeem	20
3.3. Atmosfeer- en gewassysteem	21
3.4. Onverzadigde zone	21
3.4.1. Wiskundige beschrijving	21
3.4.2. Bodemfysische eigenschappen	21
3.5. Verzadigde zone	23
3.5.1. Wiskundige beschrijving	23
3.5.2. Geohydrologische schematisatie	24
3.6. Oppervlaktewaterstelsel	26
3.6.1. Wiskundige beschrijving	26
3.6.2. Geometrische en hydraulische eigenschappen	28
3.6.3. Relatie oppervlaktewater - grondwater	29
3.7. Koppeling tussen de onderdelen van het hydrologisch systeem	30
3.8. Numerieke modellering	31
4. IJKING, VERIFICATIE EN GEVOELIGHEIDSANALYSE	34
4.1. IJking van het model voor de verzadigde zone	34
4.2. Verificatie	37
4.3. Gevoeligheidsanalyse	39
4.3.1. Algemeen	39
4.3.2. Keuze van de bodemfysische eenheid	39
4.3.3. Ontwateringsweerstand	40
4.3.4. Kwel/wegzijging	40
4.3.5. Onderhoud wijken	41
5. MODELLERING VAN SCHADE DOOR WATEROVERLAST TEN GEVOLGE VAN PEILBEHEER	42
5.1. Algemeen	42
5.2. Effecten in het voorjaar	42
5.3. Effecten tijdens het groeiseizoen	42
5.4. Effecten in het najaar	43
5.5. Evaluatie	43

	blz.
6. OPSTELLEN VAN REGELS VOOR HET PEILBEHEER	44
6.1. Procedure	44
6.2. Resultaten	45
6.3. Vergelijking van het modelmatig en het door het waterschap in 1983 uitgevoerd peilbeheer	48
7. HYDROLOGISCHE EFFECTEN VAN PEILBEHEER VOOR HET GEHELE PROEFGEBIED	50
7.1. Bruto effecten van waterconservering en aanvoer	50
7.2. Netto effecten van waterconservering en aanvoer	51
7.3. Situering van het grondwaterstandsmeetpunt en mogelijke reductie van het aantal meetpunten	56
7.4. Effecten van wijkonderhoud	58
7.5. Effecten van de aanleg van buizendrainage	59
7.6. Niet in rekening gebrachte effecten	62
8. ECONOMISCHE ANALYSE VAN EFFECTEN VAN PEILBEHEER	63
8.1. Algemeen	63
8.2. Gemiddelde geldelijke opbrengstverhoging van peilbeheer	63
8.3. Kosten van peilbeheer	65
8.4. Bepaling van de interne rentevoet van investeringen	66
8.5. Relatie tussen interne rentevoet en optimale aanvoercapaciteit	67
8.6. Genereren van de vraagfunctie naar water	69
8.7. Gemiddelde opbrengsten versus stochastische opbrengsten	70
9. VERTALING VAN DE ONDERZOEKSRESULTATEN NAAR ANDERE GEBIEDEN	71
9.1. Inleiding	71
9.2. Benodigde gegevens	71
9.3. Richtlijnen voor ontwerp, onderhoud en beheer	73
9.4. Hydrologische en hydraulische aspecten van automatisering en dimensionering van stuwen	75
9.4.1. Algemeen	75
9.4.2. Uitgangspunten en rekenwijze	76
9.4.3. Resultaten van berekeningen	77
9.4.4. Conclusies	78
9.5. Epiloog	78
LITERATUUR	79
BIJLAGE. Theoretische achtergronden van de onverzadigde en verzadigde grondwaterstroming	82
LIJST MET BEGRIPPEN	86

IN KORT BESTEK

De traditionele taak van waterschappen is het kwantitatieve waterbeheer. In het verleden lag daarbij de nadruk op het voorkomen van wateroverlast. Sinds enkele decennia echter komen waterconservering en wateraanvoer in droge perioden als steeds belangrijker naar voren. Dit betekent dat waterschappen peilbeheer moeten gaan voeren. Dit houdt in dat door het opzetten van het oppervlaktewaterpeil in het voorjaar het in het gebied aanwezige water wordt vastgehouden (conserveren). Ook kan bij optredende watertekorten tijdens het groeiseizoen door wateraanvoer berekening uit oppervlaktewater mogelijk worden gemaakt dan wel via het proces van stroming vanuit het oppervlaktewaterstelsel naar het grondwater een aanvullende watervoorziening worden gecreëerd. Ter onderscheiding van het verschijnsel dat water aan het grondoppervlak binnentreedt, zal dit laatste proces subinfiltratie worden genoemd. Een belangrijk probleem is dat door de sterk wisselende weersomstandigheden geen standaardverloop voor het oppervlaktewaterpeil is te geven. Bij een goed gevoerd peilbeheer wordt voortdurend ingespeeld op de actuele hydrologische omstandigheden. De waterbeheerder gaat daarbij tot nu toe echter vrij empirisch te werk. De kans bestaat daarbij dat achter de feiten wordt aangehouden of dat het beheer wordt afgestemd op de meer mondige ingelanden. Een duidelijke verbetering is te verwachten indien het peilbeheer wordt gebaseerd op objectieve beheersregels die zijn onderbouwd met wetenschappelijk onderzoek. Het onderzoek dat in dit rapport staat beschreven is met name gericht op het scheppen van een dergelijke wetenschappelijke basis. Een tweede doelstelling is het bepalen van de economische haalbaarheid van plannen voor waterconservering en wateraanvoer ten behoeve van subinfiltratie.

Als proefgebied is gekozen het circa 8000 ha grote plangebied 'De Monden', gelegen in de Drentse Veenkoloniën. Het vormt een onderdeel van het circa 27 500 ha grote waterschap De Veenmarken. Het is een typisch veenkoloniaal gebied met lange rechte akkers, gescheiden door wijken, weinig opgaande begroeiing en typische, langgerekte dorpen. Het bouwplan bestaat uit circa 50% fabriksaardappelen, circa 30% suikerbieten en circa 20% granen.

Het gebied ontleent zijn huidige vorm aan de ontginning van het veengebied ontstaan in het oerstroombdal van de Hunze, ten oosten van de Hondsrug. Door de manier van vervening ontstond een zeer regelmatig patroon van grotere en kleinere kanalen, die aanvankelijk werden gebruikt voor de afvoer van turf en het transport van landbouwprodukten. In het begin van de zestiger jaren werd overgeschakeld op wegtransport en kon het oppervlaktewaterpeil in de wijken worden afgestemd op landbouwkundige eisen. Tot het begin van de zeventiger jaren lag het accent hierbij op zo laag mogelijke peilen ten behoeve van de ontwatering. Nadien drong steeds sterker het besef door van de noodzaak tot het vasthouden van water en eventuele aanvoer ten behoeve van subinfiltratie. Dit resulteerde in het ontwerpen van plannen voor conservering en aanvoer van water voor het gehele waterschap De Veenmarken. Als eerste kwam het deelplan 'De Monden' in 1978/79 gereed. Door dit plan is het mogelijk in een twintigtal peilvakken een verschillend oppervlaktewaterpeil in te stellen door middel van automatische, beweegbare stuwen. Ten behoeve van wateraanvoer zijn tevens 10 inlaatwerken geconstrueerd.

In Hoofdstuk 2 is een nadere beschrijving gegeven van het proefgebied. Achtereenvolgens wordt ingegaan op de geologische onstaanswijze, de geohydrologische schematisering, de vervening, de bodemkundige situatie (inclusief grondverbetering) en de met deze zaken in verband staande eigenschappen van de onverzadigde zone, de verzadigde zone en het oppervlaktewaterstelsel (incl. kunstwerken). Op grond hiervan kan de volgende kenschets van het gebied worden opgesteld. Bij de vervening is door menging van zand en bolster een typisch veenkoloniaal bouwvoor ontstaan met daaronder een circa halve meter dikke laag veenmosveen. Door de ontginningwijze varieert de bodemopbouw op korte afstand relatief sterk. Ter compensatie van de oxydatie van veen in de bouwvoor wordt jaarlijks 0,5 à 1 cm veen aangeploegd. Dit heeft geleid tot een afname van de dikte van de veenlaag onder de bouwvoor. Op vele plaatsen is dan ook nauwelijks nog veen aanwezig. Ten einde het verlies aan organisch materiaal te voorkomen, is op vrij grote schaal bodemverbetering toegepast.

Het wijkstelsel is na het wegvallen van de scheepvaart slecht onderhouden waardoor vele wijken matig tot sterk verland zijn. In het kader van de herinrichting zijn of worden alle daarvoor in aanmerking komende wijken echter opgeschoond. Uit het oogpunt van peilbeheer ontstaat dan een bijna ideaal systeem omdat a. de opstuwings in de wijken te verwaarlozen is, en b. de relatie tussen oppervlaktewater en grondwater (in casu de ontwateringsweerstand) zodanig is dat de drainage in natte perioden voldoet aan de daarvoor te stellen eisen en dat bij opgezet peil in de zoner behoorlijke hoeveelheden water naar het grondwatersysteem kunnen stromen.

De modellering van het hydrologisch systeem is behandeld in Hoofdstuk 3. Bijzondere aandacht is daarbij geschonken aan de koppeling tussen de onderdelen oppervlaktewaterstelsel, verzadigde zone, onverzadigde zone en gewas/atmosfeer, en de voor die onderdelen opgezette modellering. Deze is in het kort als volgt te omschrijven. Voor het 'lokale' systeem bestaande uit hoofdwatgang, wijk, verzadigde zone, onverzadigde zone, gewas en atmosfeer is een één-dimensionaal numeriek model, genaamd PEILBEHEER, ontworpen. In dit model zijn alle relevante hydrologische processen interactief met elkaar verbonden omdat in werkelijkheid alle processen elkaar onderling beïnvloeden. Met dit model is het mogelijk na te rekenen wat betreft het effect is van een ander beheer van de stuw op de gewasverdamping (via de keten oppervlaktewaterpeil - subinfiltratie - grondwaterstand - capillaire opstijging - vochtvoorraad in de wortelzone - gewasverdamping).

De waterhuishouding van een perceel wordt niet alleen beïnvloed door de lokale omstandigheden. De regionale grondwaterstroming, zich uitend in kwel of wegzijging, heeft eveneens grote invloed. Ten einde deze invloed in rekening te brengen is met behulp van het numeriek model voor verzadigde grondwaterstroming, FEMSATS, per peilvak de grootte van de kwel of wegzijging als functie van het oppervlaktewaterpeil en grondwaterstand berekend. Deze relatie wordt ingevoerd in het model PEILBEHEER, zodat niet alleen de invloed van de regionale grondwaterstroming op de lokale hydrologische situatie kan worden meegenomen, maar ook de invloed van de veranderingen daarin ten gevolge van een ander peilbeheer.

Alvorens een model te gebruiken als nabootser van de werkelijkheid is door ijking aan waarnemingen nagegaan of de beschikbare gegevens van de weerstand van slecht doorlatende lagen in de ondergrond en de ontwateringsweerstand te verbeteren zijn. Dit staat beschreven in Hoofdstuk 4. Eveneens is de toetsing van de modeluitkomsten aan gemeten gegevens beschreven. Daarbij bleek het beschikbaar hebben van warmtebeelden zeer waardevol. In hoofdstuk 4 is verder de gevoeligheid van een aantal parameters op de effecten van conservering door wateroverlast nader behandeld.

Door peilbeheer neemt de kans op schade door wateroverlast toe. De enige manier om deze eventuele optredende nadelige gevolgen in rekening te brengen is de overlast in dezelfde grootte uit te drukken als de positieve effecten, namelijk als effecten op de gewasverdamping. Aan deze problematiek is een apart hoofdstuk gewijd (Hoofdstuk 5). De effecten van peilbeheer zijn daartoe opgesplitst in effecten in het voorjaar (via het aantal werkbare dagen), tijdens het groeiseizoen (via de relatie tussen vochtvoorraad in het wortelzone en verdampingsreductie) en in het najaar (wederom via het aantal werkbare dagen).

In Hoofdstuk 6 is beschreven hoe te komen tot verbetering van de regels voor het peilbeheer. Tevens is het beheer dat volgt uit de modelberekeningen, het 'modelbeheer', vergeleken met het door het waterschap in 1983 gevoerde beheer.

In Hoofdstuk 7 zijn met de opgestelde beheersregels voor het gehele gebied met het model PEILBEHEER de bruto hydrologische effecten bepaald van waterconservering alleen en voor aanvoeren van 0,75; 1,50 en 2,50 mm.d⁻¹. Hiertoe werd het mogelijke watergebruik van fabrieksaardappelen gedurende de jaren 1971 tot en met 1982 gesimuleerd. Op de bruto-effecten zijn correcties toegepast voor weer, bouwplan, bruto-netto produktie, bruto-netto oppervlakte, ongelijke maai-veldsligging, vorm van het freatisch vlak en in de toekomst te verwachten veranderingen in bodemfysische eigenschappen. Dit resulteert in een tabel met langjarig gemiddelde netto effecten van conservering en aanvoer (tabel 7.6.). De beste situering van het grondwaterstandsmmeetpunt kan eveneens op grond van de rekenresultaten worden aangegeven. Vervolgens zijn de hydrologische effecten van wijkonderhoud en subinfiltratie door middel van drainbuizen behandeld. Ten slotte is in Hoofdstuk 7 een aantal niet in rekening gebrachte effecten genoemd.

In Hoofdstuk 8 is een economische analyse van de effecten van peilbeheer gegeven. Daartoe zijn de hydrologische effecten omgezet in financiële gevolgen. Omdat tevens per beheersalternatief de investeringen en kosten bekend zijn, is het mogelijk de interne rentevoet van de investeringen ten behoeve van conservering en wateraanvoer te bepalen.

In Hoofdstuk 9 ten slotte is een poging gedaan de resultaten van het onderzoek te vertalen naar andere gebieden. Veel van de in dat hoofdstuk gemaakte opmerkingen zijn ook terug te vinden in de hierna volgende conclusies en aanbevelingen.

CONCLUSIES

De voornaamste conclusies uit het onderzoek zijn onder te verdelen in vier categorieën, namelijk naar aanleiding van het veldonderzoek (A), het modelleringsproces (B), het vaststellen van de beheersregels (C) en de resultaten van berekeningen met het model PEILBEHEER (D):

A. Conclusies naar aanleiding van het veldonderzoek

- de weerstanden van de weerstandbiedende lagen in de ondergrond zijn moeilijk direct te bepalen; een indirecte bepaling uit waterbalansgegevens geeft slechts zeer ruwe schattingen;
- het regionale patroon van ontwateringsweerstanden is met een redelijke betrouwbaarheid uit waterbalansgegevens af te leiden;
- er is geen significant verschil tussen de ontwateringsweerstand bij afvoer en subinfiltratie;
- vaststelling van het capillair geleidingsvermogen van veenlagen op het laboratorium met behulp van de verdampingsmethode gelukte slechts in enkele gevallen; vaststelling van het capillair geleidingsvermogen per bodemlaag uit granulaire samenstelling en organisch stofgehalte (met behulp van de methode Bloemen) gaf goede resultaten met uitzondering van mesotroof veen;
- de meetnauwkeurigheid van afvoeren over klepstuwen is vrij beperkt, vooral bij lage afvoeren;
- meting van de overstorthoogte over klepstuwen met een meetstok op de stuw is een snelle doch onnauwkeurige methode; meting met behulp van een speciaal daarvoor ontwikkelde overstorthoogtemeter bleek - na een zekere gewenningsperiode - goed mogelijk en gaf betere resultaten;
- bij klepstuwen voorzien van een klepstandaanwijzer en een peilschaal enkele meters bovenstrooms van de stuw kon de overstorthoogte door aflezing snel en nauwkeurig worden bepaald;
- het continu registreren van de overstorthoogte met behulp van een drukopnemer gemonteerd op de kruin van een klepstuw bleek goed mogelijk;

- veel van de verzamelde gegevens zijn achteraf gezien overbodig geweest; veldonderzoek is echter noodzakelijk om het inzicht in het hydrologisch gebeuren te vergroten. Dit is van essentieel belang bij het modelleren van het gebied;
- met een speciaal daarvoor ontwikkeld programma voor opslag en verwerking van de verzamelde gegevens konden de meeste meetfouten snel worden opgespoord;
- de ideale situering van grondwaterstandmeetpunten is meestal in het gewas. Om geen belemmering te vormen voor de werkzaamheden en om beschadiging c.q. vernieling te voorkomen, werden ze voorzien van een afneembaar bovenstuk. Desondanks kwam het vrij regelmatig voor dat meetpunten onklaar raakten.

B. Conclusies naar aanleiding van het modelleringsproces

- vanaf het begin is gekozen voor een gescheiden modellering van de lokale en de regionale grondwaterstroming. Deze aanpak levert namelijk gemakkelijker te hanteren modellen. Uit verificatieberekeningen is af te leiden dat deze ont koppeling geoorloofd is;
- verificatie van het model PEILBEHEER was niet goed mogelijk met behulp van de gegevens van de meetperiode. De vliegtuigopnamen van warmtebeelden waaruit de verdampingsreductie op 4 augustus 1982 kon worden afgeleid, bleken daarvoor bijzonder geschikt;
- de berekende effecten van conservering en wateraanvoer zijn gevoelig voor de keuze van het bodemtype en de onderhoudstoestand van de wijken;
- de grootte van de kwel of wegzijging beïnvloedt de berekende effecten in duidelijke mate;
- de grootte van de ontwateringsweerstand heeft weinig invloed op het conserveringseffect, iets meer op het aanvoereffect;
- de parameters voor het in rekening brengen van wateroverlast zijn van relatief grote invloed op de resultaten, terwijl de vaststelling ervan

op grond van de huidige kennis nog niet goed mogelijk is.

C. Conclusies naar aanleiding van het vaststellen van de beheersregels

- het systeem van oppervlaktewater, grondwater en verdamping is vrij traag met enerzijds als consequentie een relatieve ongevoeligheid voor verfijningen in het beheer en anderzijds beheren is vooruitzien;
- de winst van peilbeheer wordt verkregen door van een 'piep' systeem (d.w.z. de ingelante alarmeert) over te gaan naar beheer gebaseerd op de actuele hydrologische situatie;
- koppeling van streefpeilen aan grondwaterstanden geeft een goede mogelijkheid tot objectief peilbeheer;
- een voorzichtig beheer gaat ten koste van het conserveringseffect (-40%). Dit verlies kan bij wateraanvoer vrijwel volledig worden goedge maakt; de aan te voeren hoeveelheid water en de kosten nemen echter wel toe;
- vergelijking van het 'modelbeheer' met het beheer zoals in 1983 door het waterschap gevoerd laat zien dat de 'modelbeheerder' eerder in het voorjaar begint met het opzetten van het peil en sneller reageert op hoge neerslagen. Daardoor zijn de modeffecten 10 à 20% hoger dan de effecten van het praktijkbeheer.

D. Conclusies naar aanleiding van de resultaten van berekeningen met het model PEILBEHEER

- het langjarig gemiddelde bruto conserveringseffect bedraagt circa 12 mm.j^{-1} ;
- het langjarig gemiddelde bruto effect van aanvoer met capaciteiten van 0,75; 1,50 en 2,50 mm.d^{-1} bedraagt ten opzichte van conservering respectievelijk circa 5, 8 en 9 mm.j^{-1} ;
- de langjarig gemiddelde aanvoerefficiëntie (gedefinieerd als het quotiënt van toename gewasverdamping en daarvoor aan te voeren hoeveelheid water) bedraagt circa 13%;
- de toe te passen correcties op conserverings- en aanvoereffect voor ongelijke maaiveldsligging zijn aanzienlijk en bedragen respectievelijk 26% en 36%;
- het langjarig gemiddelde netto conserveringseffect in het gebied 'De Monden' bedraagt $6,0 \text{ mm.j}^{-1}$. Dit komt overeen met circa $f 100,-$ per ha cultuurgrond en oppervlaktewaterstelsel samen (prijspeil 1980);

- het langjarig gemiddelde netto effect van aanvoer met capaciteiten van 0,75; 1,50 en 2,50 mm.d^{-1} bedraagt ten opzichte van conservering respectievelijk 3,7; 5,4 en $6,3 \text{ mm.j}^{-1}$. Dit komt overeen met respectievelijk $f 57$, $f 83$ en $f 97$ per ha cultuurgrond en oppervlaktewaterstelsel;
- de optimale niveaus van winterpeil voor venige en moerige gronden bedraagt voor de alternatieven vaste stuw, conservering en aanvoer respectievelijk 1,40; 1,50 en 1,55 m beneden gemiddeld maaiveld; voor zandgronden zijn deze niveaus circa 0,20 m hoger;
- per grondwatertrap is één grondwaterstandsmeetpunt, waaraan het beheer gekoppeld wordt, voldoende;
- door matig verlande wijken treedt een reductie op in de gewasverdamping van 10% ten opzichte van de situatie met opgeschoonde wijken. Dit komt overeen met circa $f 450,-$ per ha cultuurgrond en oppervlaktewaterstelsel. Het opschonen van wijken is dus een zeer rendabele zaak.
- bodemprofielen met een GHG ondieper dan 0,60 m-mv geven wateroverlast te zien. Dit betekent dat, indien de grondwaterstand in de winter zich meer dan gemiddeld 1 op de 6 keer boven 0,60 m-mv bevindt, de waterhuishouding dient te worden verbeterd hetzij door diepere ontwatering (wijken opschonen en/of onderbemalen) hetzij door aanleg van buisdrainage;
- door drainage van de lagere terreingedeelten wordt het conserverings- en aanvoereffect niet noemenswaard beïnvloed. Wel wordt de gewasverdamping per peilvak gemiddeld bij het alternatief vaste stuw met circa $6,0 \text{ mm.j}^{-1}$ verhoogd; aanleg van drainage ten behoeve van subinfiltratie in het overblijvende deel is alleen zinvol bij wateraanvoer en doet het gemiddelde netto aanvoereffect met 3 à 5 mm.j^{-1} toenemen;
- de efficiëntie van wateraanvoer is 10 à 20%. Het grootste gedeelte van het aangevoerde water komt ten goede aan verhoging van de grondwaterstand en aan toename van de vochtvoorraad gedurende het groeiseizoen (t.o.v. de situatie met conservering);
- de hydrologische effecten zijn als volgt te vertalen naar een toename van inkomsten uit de landbouw: 1% toename in de gewasverdamping betekent een netto opbrengstverhoging van circa $f 45,-$ per ha cultuurgrond en oppervlaktewaterstelsel samen. Vermenigvuldiging van dit bedrag met 5600 (het aantal ha cultuurgrond en oppervlaktewaterstelsel in het gebied 'De Monden') levert de gemiddelde jaarlijkse verhoging van de inkomsten uit de landbouw per procent stijging in de gewas-

verdamping. Per mm toename in de gemiddelde jaarlijkse gewasverdamping is deze verhoging $1/3$ x zo klein;

- de gemiddelde jaarlijkse verhoging van de inkomsten uit de landbouw in het proefgebied door waterconservering bedraagt bij normaal beheer circa f 500 000; bij wateraanvoer bedraagt de verhoging ten opzichte van de situatie met waterconservering bij de drie onderscheiden aanvoercapaciteiten achtereenvolgens circa f 300 000, f 460 000 en f 550 000 (prijspeil 1980);
- bij voorzichtig beheer is het financiële effect van conservering circa 40% lager en van aanvoer circa 40% hoger vergeleken met normaal beheer;
- de interne rentevoet van conservering is bij normaal en voorzichtig beheer respectievelijk circa 90 en 50%. Het bouwen van stuwen ten behoeve van conservering in een gebied als 'De Monden' is dus zeer rendabel;
- de interne rentevoet van wateraanvoer bij normaal beheer hangt sterk af van de investeringen in het primaire (provinciale) aanvoersysteem en bedraagt bij normaal beheer circa 10%. Het bouwen van inlaatwerken in een gebied als 'De Monden' is dus redelijk rendabel;
- bij elke keuze van de interne rentevoet is de aanvoercapaciteit te bepalen waarbij de interne rentevoet van de investeringen in de laatst gefinstalleerde capaciteitsverhoging gelijk is aan de gekozen interne rentevoet. Bij normaal beheer en 10% interne rentevoet is de bijbehorende aanvoercapaciteit naar het gebied 'De Monden' slechts $0,7 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ($1,0 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$);
- bij een bepaalde keuze van de jaarlijkse kosten van de investeringen is zowel de vraagcurve naar water van het waterschap als de aanbodcurve van water van de provincie te bepalen. Het snijpunt voor het gebied 'De Monden' ligt bij een gemiddelde afneming respectievelijk aanbod van circa $2 \times 10^6 \text{ m}^3 \cdot \text{j}^{-1}$;
- automatiseren van stuwen heeft een positief effect op de langjarig gemiddelde gewasverdamping van circa $1,5 \text{ mm} \cdot \text{j}^{-1}$ bij conservering en geen effect bij wateraanvoer, vergeleken met een handbediende stuw van gelijke breedte. Ten gevolge van automatiseren van stuwen nemen de hoogste afvoerintensiteiten toe met circa 30% ten opzichte van een handbediende stuw van gelijke breedte. Deze bevindingen gelden slechts voor één voorbeeldgeval en hebben geen algemene geldigheid.

AANBEVELINGEN

De aanbevelingen zijn te splitsen in aanbevelingen voor nader onderzoek en aanbevelingen voor ontwerp, onderhoud en beheer.

A. Aanbevelingen voor nader onderzoek

- bij het vaststellen van de effecten van regels voor het peilbeheer speelt de toenemende kans op schade door wateroverlast een belangrijke rol. De indruk bestaat dat de effecten van wateroverlast bij de modellen erg zwaar zijn meegenomen. Een van de gevolgen hiervan is dat de open waterpeilen behorende bij het optimale peilbeheer relatief laag zijn. Nader onderzoek dient uit te wijzen of deze voorzichtige manier van peilbeheer aanpassing behoeft;
- de effecten van peilbeheer in andersoortige gebieden (bv. beekdalen) dienen nader onderzocht te worden;
- aanpassingen in het peilbeheer en de effecten hiervan op de verdamping van grasland is een punt dat verdere aandacht verdient;
- onderzoek naar de effectiviteit van peilbeheer als compenserende maatregel voor de negatieve gevolgen van de dalende grondwaterstanden in landbouwgebieden ten gevolge van diepere ontwatering op met name natuurterreinen is nodig. Een bijkomende vraag is of het peilbeheer daarop kan worden aangepast;
- onderzocht moet worden in hoeverre door het gebruik van buisdrainage voor subinfiltratie een versnelde blijvende achteruitgang in de werking van de drainage optreedt. Naar dit punt wordt reeds onderzoek verricht in De Groeve (sinds 1978) en in Valthermond (sinds 1984);
- nagegaan zal moeten worden wat de haalbaarheid is van een systeem van vergroting van beregening en drinkwaterwinning uit grondwater bij wateraanvoer ten behoeve van subirrigatie;
- verder dient er een voor de praktijk bruikbaar systeem van vochtmeting te worden ontwikkeld evenals een systeem van meting van grondwaterstanden met behulp van een drukopnemer.

N.B. Zowel de effecten van peilbeheer in andere gebieden alsmede de effecten in graslandgebieden zijn in het kader van het onderzoek naar de landbouwkundige effecten van wateraanvoer naar het zogenaamde tussen-10-plangebied in Drenthe met behulp van een aangepaste versie van het model SWATRE berekend (KEESMAN e.a., 1985). In het kader van de Studiecommissie Waterbeheer Natuur, Bos en Land-

schap (SWNBL) zal in een tweetal proefgebieden onder meer worden nagegaan wat de mogelijkheden zijn van peilbeheer om de waterhuishouding in aangrenzende natuurgebieden in gunstige zin te beïnvloeden.

B. Aanbevelingen voor ontwerp van waterconserverings- en aanvoerplannen

- bij elk nieuw ontwerp voor een zeker gebied dient de regionale stroming in zowel de autonome als de situatie na uitvoering met behulp van een model voor de verzadigde grondwaterstroming te worden berekend. Kennis omtrent de regionale grondwaterstroming is nodig om de waterconservering te maximaliseren, voor een eventuele aanpassing van de dimensie van de kunstwerken ten behoeve van wateraanvoer en voor de bepaling van de positieve en negatieve gevolgen van peilbeheer op ingesloten dan wel aanliggende niet-landbouwgebieden;
- de hoogteligging van de stuwen ten opzichte van het maaiveld van het bijbehorende peilvak dient te zijn afgestemd op het optimale winterpeil; het technisch bereik van de stuwen dient te worden gebaseerd op de bij het beoogde type beheer behorende verschil tussen hoogste zomerpeil en winterpeil. Zowel het optimale winterpeil als de maximale variatie in streefpeil zijn afhankelijk van grondgebruik, bodemtype, ongelijkheid van maaiveldhoogteligging en eigenschappen van het oppervlaktewaterstelsel. Ze kunnen met de in dit rapport beschreven modellen worden berekend;
- bepaling van de optimale grootte van een peilvak kan gebeuren aan de hand van een relatie tussen ongelijkheid van maaiveldhoogteligging en effecten van peilbeheer. Deze relatie is eveneens gebiedsspecifiek en kan door middel van modelberekeningen worden vastgesteld;
- het automatiseren van stuwen hangt af van de grootte van het bijbehorende peilvak, de grootte van het gebied dat via de stuw afwatert (al of niet in een doorgaande leiding), de kosten van automatiseren en de plannen die bestaan om in de (nabije) toekomst over te gaan op computerbesturing;
- elke stuw dient voorzien te zijn van een NAP-peilschaal boven- en benedenstrooms en een kruinstandaanwijzer (eveneens in NAP-hoogten);
- indien bijvoorbeeld blijkt dat drainage van lage delen de mogelijkheden van peilbeheer sterk doet toenemen dan dient bij het ontwerp hiervan ook te worden uitgegaan. Het optimale gedrag van grondgebruikers kan dus worden verondersteld;

- bij automatisering van stuwen kan de stuwbreedte worden verkleind en kan 's winters een hoger peil worden ingesteld. Voor elke situatie dient bekeken te worden of de hierdoor te behalen voordelen op wegen tegen de extra kosten van automatisering. Uit berekeningen blijkt dat al vanaf stuwbreedtes van 1,50 m automatisering in de meeste gevallen rendabel is.

C. Aanbevelingen voor onderhoud en beheer

- bij goed onderhoud van het open waterlopenstelsel ten behoeve van de waterafvoer is geen extra onderhoud nodig voor wateraanvoer, mits van hetzelfde stelsel gebruik wordt gemaakt;
- bij gebruik van drainbuizen voor subinfiltratie dient zorgvuldig gelet te worden op het optreden van verstoppingen;
- veengronden en moerige gronden hebben - bij toepassing van peilbeheer en bij gebruik als bouwland - een optimaal winterpeil van 1,30 à 1,40 m-mv. Voor zandgronden is dit 1,10 à 1,20 m-mv.
- door de ongelijkheid van maaiveldhoogteligging is het optimaal winterpeil voor een peilvak circa 0,20 m lager, indien dit wordt gerelateerd aan de gemiddelde maaiveldshoogte;
- het inschakelen van de computer bij het dagelijks peilbeheer dient op korte termijn ter hand te worden genomen. De daarvoor benodigde software kan het beste in het kader van een vervolgstudie worden ontwikkeld. Tegelijkertijd kan dan worden gezocht naar de mogelijkheid om een PEILBEHEER-achtig model te gebruiken voor de evaluatie achteraf. Als eventueel derde punt dient nader onderzocht te worden in hoeverre de computer op real-time basis een beheersadvies kan verstrekken op grond van voorspellingen van effecten van de - in principe - drie verschillende manieren van peilbeheer die de peilbeheerder op elk keuzemoment kan uitvoeren, te weten verhogen, gelijk blijven of verlagen.

1. INLEIDING

De traditionele taak van waterschappen is het waterbeheer. Waterbeheer voor de landbouw is noodzakelijk omdat in de winter de neerslag de verdamping overtreft terwijl in de zomer over het algemeen een tekort aan neerslag optreedt. Om voor de landbouwgeassen goede groeiomstandigheden te creëren dient het neerslagoverschot zo snel mogelijk te worden afgevoerd. Bij een neerslagtekort kan het voorkomen dat de beschikbare hoeveelheid vocht in de bodem onvoldoende is. Terwille van een zo hoog mogelijke produktie is in dat geval een aanvullende watervoorziening nodig.

Om dit aspect van het waterbeheer goed uit te kunnen voeren, werden in het verre en nabije verleden plannen uitgevoerd waarbij de nadruk lag op verbetering van de ontwatering en de afwatering. De toenemende intensiteit van de landbouw, de grotere vraag naar drink- en industriewater dwingt echter tot een zo zuinig mogelijk omspringen met de grondstof water. Op waterschapsniveau is dit te realiseren door het uitvoeren van waterconserverings- en wateraanvoerplannen. Concreet houdt dit in dat waterschappen een efficiënt peilbeheer moeten gaan voeren. Door het opzetten van het peil in het voorjaar kan het in het gebied aanwezige water worden vastgehouden (conserveren) en bij optredende watertekorten tijdens het groeiseizoen kan door het op peil houden c.q. verhogen van het oppervlaktewaterpeil via wateraanvoer berekening uit oppervlaktewater of subinfiltratie mogelijk worden gemaakt. Daarbij moet echter voortdurend gelet worden op mogelijke negatieve gevolgen van het verhogen van het oppervlaktewaterpeil zoals wateroverlast. Dat daarmee een beheersprobleem is ontstaan, spreekt voor zich.

Om een goed peilbeheer te kunnen voeren, is het nodig dat op provinciaal en landelijk niveau op wateraanvoerplannen wordt aangesloten door het creëren c.q. verbeteren van aanvoermogelijkheden. In dit verband moet ook gedacht worden aan ruilverkavelingen en de herinrichtingsplannen voor de Veenkoloniën.

Tot nu toe is relatief weinig aandacht besteed aan de wetenschappelijke onderbouwing van peilbeheer voor conservering en subinfiltratie. In de praktijk wordt meestal een peilbeheer gevoerd dat het beste kan worden omschreven als een 'piep-systeem' (de ingelande alarmeert). Een van de grootste nadelen van dit systeem is dat het niet objectief is. Het peilbeheer wordt meestal bepaald door een beperkt aantal ingelanden en ook wordt vaak achter de feiten aangehouden.

Om in deze lacune te voorzien werd in 1977 besloten een case-studie uit te voeren. De uitkomsten van

deze studie dienden praktisch toepasbaar te zijn, dat wil zeggen de uit het onderzoek voorkomende regels voor 'optimaal' peilbeheer moeten door de waterbeheerder uit te voeren zijn. Door de studie zou tevens meer bekend moeten worden over de economische gevolgen van waterconservering en -aanvoer. De deelnemende instanties aan deze studie waren:

- waterschap De Veenmarken, Drenthe
- Landinrichtingsdienst, Assen
- Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Wageningen.

Als proefgebied werd gekozen het circa 8000 ha groot plangebied 'De Monden', gelegen in de Drentse Veenkoloniën. Het vormt een onderdeel van het waterconserverings- en aanvoerplan dat in het midden van de zeventiger jaren werd opgesteld voor het gehele waterschap De Veenmarken. De reden dat voor zo'n groot proefgebied werd gekozen was dat uit eerder onderzoek naar de hydrologische effecten van het opzetten van het oppervlaktewaterpeil (HOMMA, 1976) was gebleken dat bij kleinschalige proeven de randeffecten overheersen.

Het onderzoek vond plaats tussen 1978 en 1982, en had als doel relevante hydrologische en bodemkundige eigenschappen te bepalen en om een uitgebreide waterbalansstudie te maken. In Hoofdstuk 2 wordt een beschrijving van het gebied gegeven. Aangezien het praktisch niet mogelijk is om alle mogelijke vormen van waterbeheer gedurende een representatief aantal jaren te effectueren, werd als noodzakelijk complement van veldonderzoek gewerkt aan het ontwikkelen van waterbeheersmodellen. De grote kracht van modellen is dat men alle mogelijke effecten van waterbeheer kan bepalen door het nabootsen (= simuleren) van door de modelgebruiker te specificeren ingrepen. Een beschrijving van dit modelleringsproces, tezamen met de daarvoor noodzakelijke invoergegevens, wordt gegeven in Hoofdstuk 3. Belangrijke onderdelen van dit proces zijn calibratie, verificatie en gevoeligheidsanalyse. Hieraan is Hoofdstuk 4 gewijd. In Hoofdstuk 5 wordt nader ingegaan op de eventuele negatieve effecten van peilbeheer zoals de vergrote kans op wateroverlast. In Hoofdstuk 6 wordt verslag gedaan van het opstellen van de beheersregels voor het peilbeheer. Nadat de beheersregels zijn vastgesteld, kan met de daarvoor gebruikte modellen worden berekend wat de effecten zijn van de beheersalternatieven waterconservering en wateraanvoer op de gewasverdamping en -opbrengst. De resultaten hiervan staan beschreven in Hoofdstuk 7. Indien nu nog bekend is welke kosten tegenover deze baten staan, kan de economische

haalbaarheid van onder andere waterconservering en -aanvoer worden nagegaan. De samenvatting van deze analyse staat in Hoofdstuk 8. In Hoofdstuk 9 ten slotte wordt beschreven in hoeverre en op welke wijze de in deze nota beschreven resultaten kunnen worden vertaald naar andere gebieden.

2. BESCHRIJVING VAN HET PROEFGEBIED

'DE MONDEN'

2.1. ALGEMEEN

Het proefgebied 'De Monden' ligt in het Drentse deel van de Veenkoloniën en heeft een oppervlakte van circa 8000 ha. De naam 'De Monden' is ontleend aan het deelplan van het waterconserverings- en aanvoerplan voor het gehele waterschap De Veenmarken dat als eerste werd uitgevoerd. In fig. 2.1 wordt de ligging ervan weergegeven. In de volgende paragrafen zullen de kenmerken van dit proefgebied nader worden beschreven. Achtereenvolgens zal worden ingegaan op geologische ontstaanswijze, vervening, landbouwkundige situatie, bodemkundige situatie, grondverbetering en waterhuishoudkundige situatie.

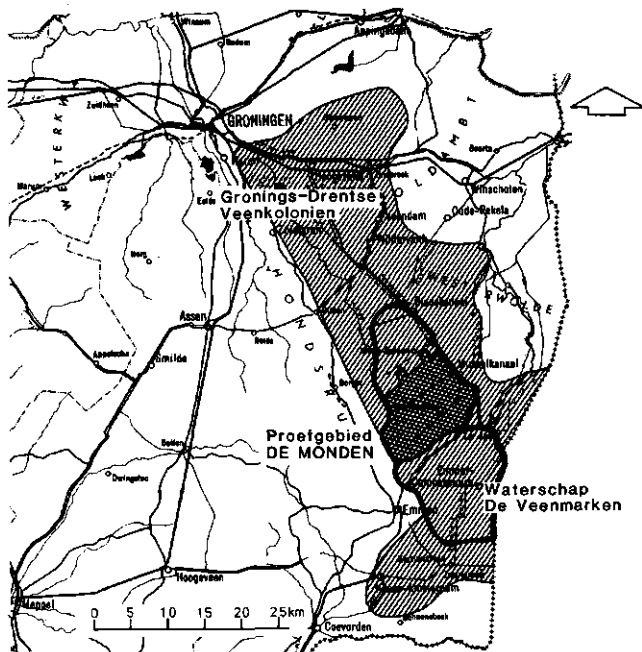


Fig. 2.1. Ligging van het proefgebied 'De Monden' in het waterschap De Veenmarken (Drenthe)

2.2. GEOLOGISCHE ONTSTAANSWIJZE

De geologische ontstaanswijze kan het beste worden besproken aan de hand van de litho-stratigrafische tabel van Noord-Nederland en bijbehorende toelichting, zoals gegeven door BODEMKAART VAN NEDERLAND (1980), zie tabel 2.1. De oudste voor de geohydrologische schematisatie van belang zijnde afzettingen zijn de Breda en Scheemda Formaties, die van tertiaire ouderdom zijn. De diepteligging van de bovenkant van deze kleifige respectievelijk fijnzandige formaties is ter plaatse van het proefgebied circa 80 m -NAP. Bij het begin van het Kwartair en voor het Cromerien werden fluviatiele grofzandige lagen afgezet waarvan nog circa 40 m resteert (Formaties van Harderwijk en Urk/Enschede). Gedurende het Cromerien - met afwisselend warme en koude perioden - waren de afzettingen minder grof. Op sommige plaatsen eindigen deze afzettingen in een laag klei of veen. Tijdens het Elsterien bereikte het landijs het noordelijk deel van Nederland. Onder het landijs werd een diep bekken gevormd dat bij het afsmelten van het ijs werd opgevuld (Peelo Formatie). In de volgende ijstijd - het Saalien - werd Nederland opnieuw gedeeltelijk bedekt met landijs. In deze periode werd onder andere de Hondsrug gevormd. Het smeltwater vormde een brede en diepe vallei ten oosten van deze rug, het oerstromdal van de Hunze. De afzettingen uit deze periode zijn

Tabel 2.1. Stratigrafisch overzicht van de beschreven afzettingen. Uit BODEMKAART VAN NEDERLAND (1980)

		Tijdsindeling	C14-jaren	Lithostratigrafie										
K W A R T A I R	H O L O C E E N	Subatlantisch	2 900	Form. van Kooi- wijk (stuifzand)	Westland Form. (zeeklei)	Form. v. Griendis- veen (veen)	Form. v. Singraven (beekafz.)							
		Subboreaal	5 000											
		Atlantisch	8 000											
		Boreaal	9 000											
		Præboreaal	10 000											
		P L E I S T O C E E N	L a a t					Late Dryas Stadiaal	11 000	Form. van Twente	jong dekzand en veen			
								Allerød Interstadiaal	11 800					
								Vroege Dryas Stadiaal	12 000					
			M i d d e n					Bølling Interstadiaal	13 000					oud dekzand II laag van Beuningen oud dekzand I
								Vroeg	Eemien					
	90 000?													
	M i d d e n		V r o e g	Saalien		Form. van Asten (veen en beekafz.) Eem Form. (zeeklei en zand)								
				Holsteïniën		Form. van Drente (keileem en fluvioglaciale zanden)								
				Elsterien		Form. van Peelo (fijne zanden en potklei)								
		"Cromerien" complex			Form. van Urk (grove en fijne zanden)									
					Form. van Enschede (grove zanden) Form. van Harderwijk (grove zanden)									
					Form. van Scheemda (fijne zanden)									
	T E R T I A I R	P L I O C E E N												

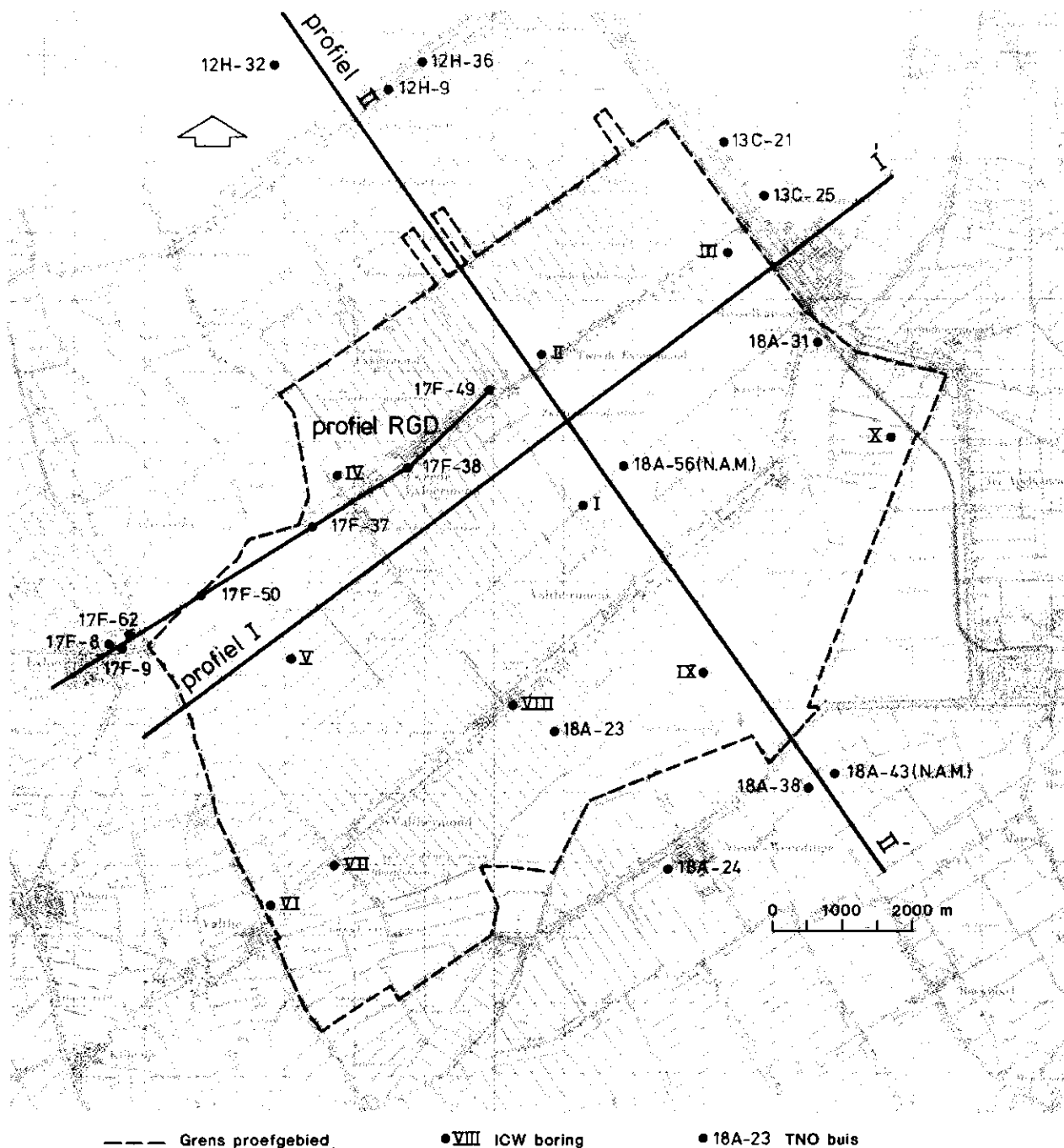


Fig. 2.2. Overzichtskaart van de geologische profielen I en II over het gebied 'De Monden'. Gebaseerd op gegevens van de Rijksgeologische Dienst (RGD) en POMPER (1981). ---- grens proefgebied 'De Monden'. •18A-23 = boorpunt RGD (of NAM) •IX = ICW boorpunt

tamelijk grofzandig (Formatie van Drente). In het Eemien werd het oerstroombal verder opgevuld met fijner materiaal. In de daarop volgende laatste ijstijd - het Weichselien - werd het grootste gedeelte van de Eemien afzettingen weer geërodeerd. In deze periode vond ook op grote schaal winderosie plaats, resulterend in afzettingen van (oud) dekzand in de lagere delen van het landschap, later gevolgd door meer lokale winderosie met bijbehorende ruggen van

jong dekzand (Formatie van Twente). In de twee geologische profielen over het gebied, samengesteld door POMPER (1981), waarvan de lokatie van deze profielen is aangegeven in fig. 2.2 en de profielen zelf in fig. 2.3, is de hierboven geschetste geologische ontstaanswijze duidelijk te herkennen. Voor een uitgebreide beschrijving ervan wordt verwezen naar POMPER (1981).

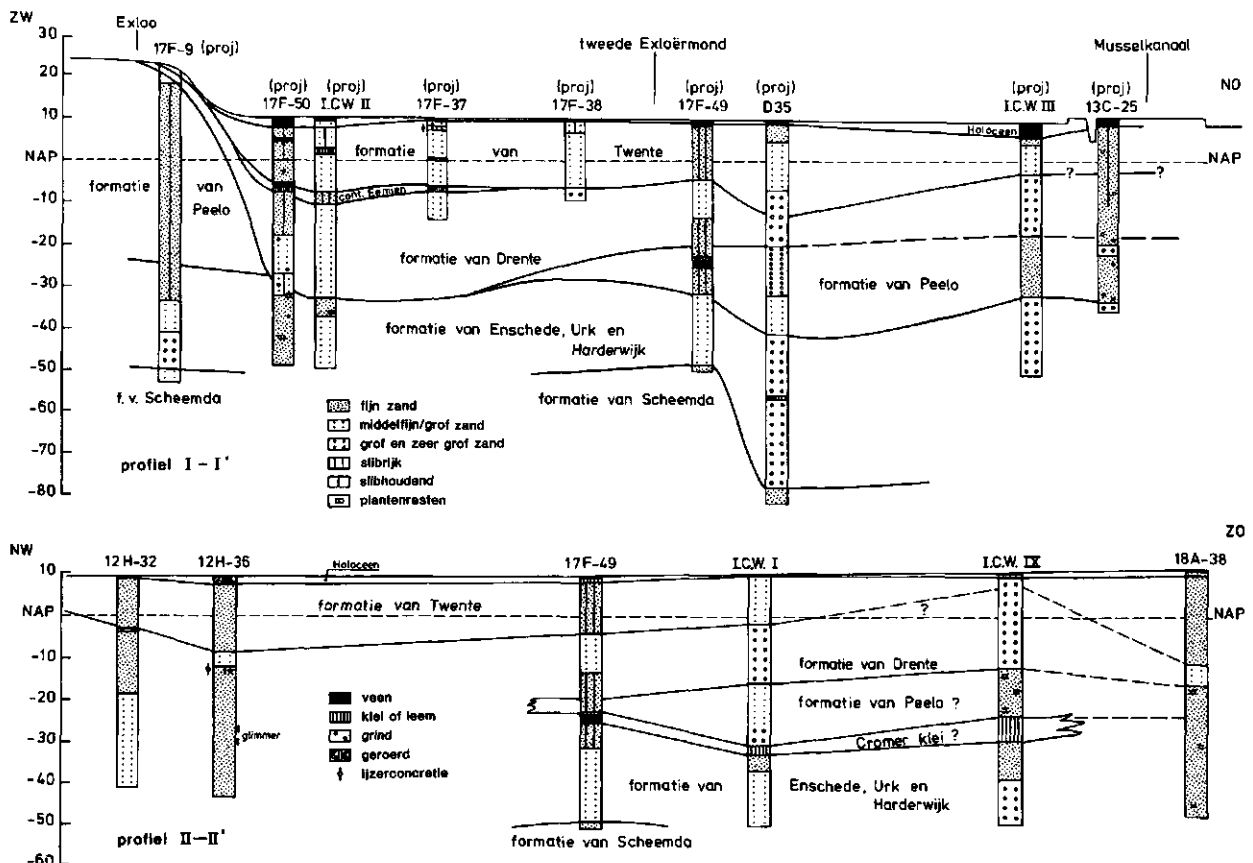


Fig. 2.3. Geologische profielen I-I' en II-II. Voor de ligging van beide profielen zie fig. 2.2

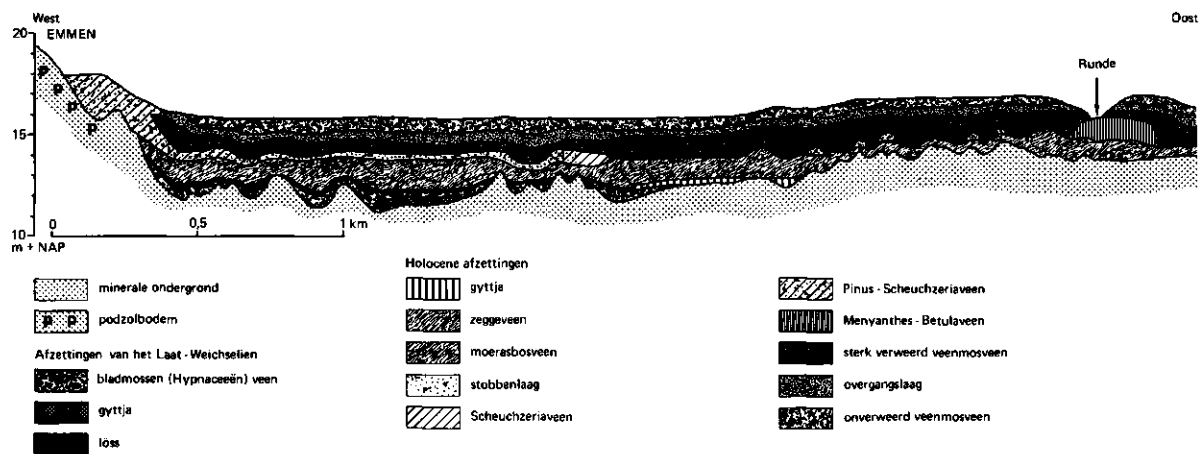


Fig. 2.4. Schematische doorsnede door het veengebied ten zuidoosten van Emmen (naar CASPARIE, 1972; vereenvoudigd)

Het holoceen begint circa 10 000 jaar geleden. De processen die tijdens deze periode in met name het veenkoloniale gebied zijn opgetreden zijn uitvoerig beschreven door CASPARIE (1972). Kort samengevat zijn de volgende fasen te onderscheiden (zie ook fig. 2.4).

In de laagste delen van het landschap met zijn dekzandruggen stagneerde de afvoer van het regenwater. Hierin werd gyttja afgezet. Op hogere plaatsen begonnen bomen te groeien, voornamelijk berken. Ongeveer 4000 jaar voor Christus werd het klimaat wat warmer en

breidde het zeggeveen zich uit ten koste van het bos. Rond 3000 voor Christus werd de veenlaag op de meeste plaatsen zo dik dat de veenvormende planten voor hun mineraalvoorziening steeds meer afhankelijk werden van het regenwater en spagnum (veenmos) werd het belangrijkste veenvormend organisme. In het hierdoor gevormd veen is nog een onderscheid te maken tussen oud veenmosveen (iets voedselrijker), jong veenmosveen (voedselarm) en bolster (de bovenste laag van het jong veenmosveen). Op deze wijze ontstond een uitgestrekt zogenaamd hoogveengebied met op sommige plaatsen een veendikte van 6 à 7 m. Op plaatsen in het hoogveen met een betere afwatering en op de flank van de Hondsrug werden voedselrijke veenlagen gevormd.

2.3. VERVENING

Het proces van veenvorming werd vrij abrupt afgebroken doordat de mens daadwerkelijk begon met de ontwatering en vervening van het gebied. De vervening begon reeds in de 12e eeuw op de (beter begaanbare) randen en op hogere zandruggen. Hieruit ontstonden de zogenaamde randveenontginningsgebieden. Aan het begin van de 17e eeuw begon, onder auspiciën van de stad Groningen, het systematisch vervenen. Voor de afvoer van het veen werd het Stadskanaal gegraven. Dwars hierop werden hoofdkanalen aangelegd (de zgn. 'monden'). Vervolgens werden vanuit elke 'mond' kleinere zijkanalen gegraven op een onderlinge afstand van 150 à 200 m (de zgn. 'plaatswijken' of kortweg 'wijken'). Voor de ontwatering van de strook grond tussen de wijken werd

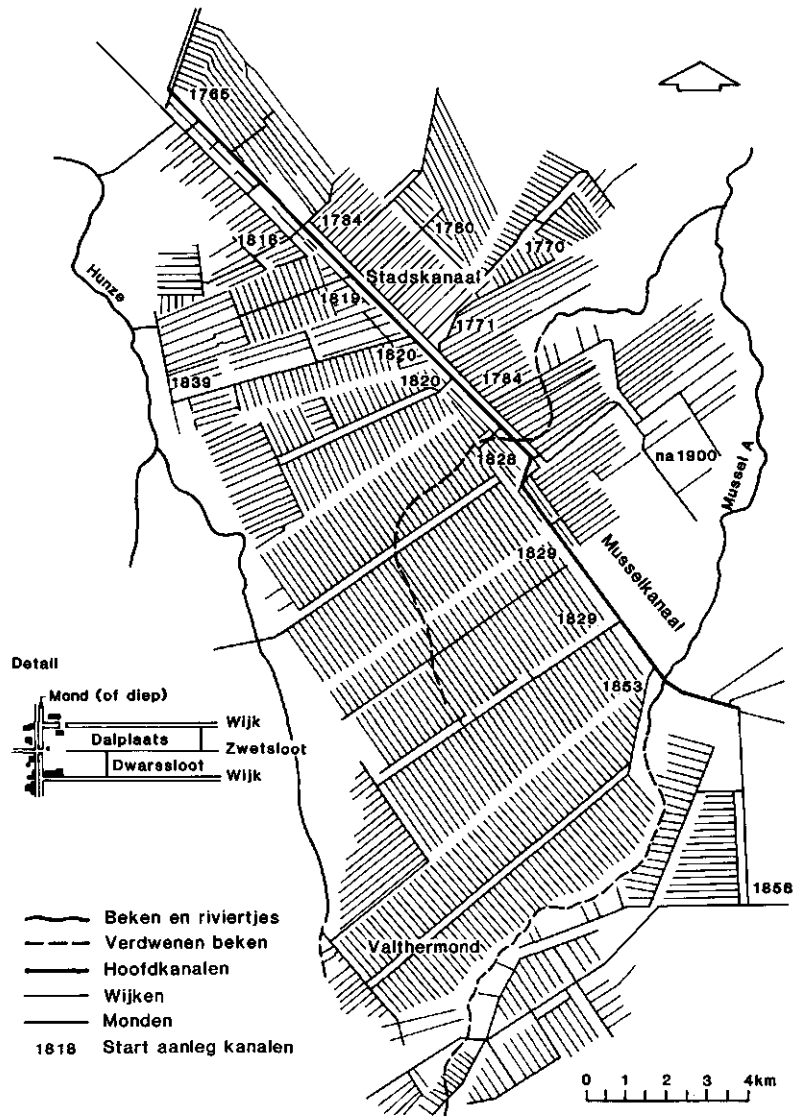


Fig. 2.5. Historisch patroon van waterlopen in een deel van de Gronings-Drentse Veenkoloniën. In detail is opgenomen een standaardmodel van een veenkoloniale ontginning (naar Sectoradvies Landschapsbouw voor het deelgebied kanaalstreek, 1980)

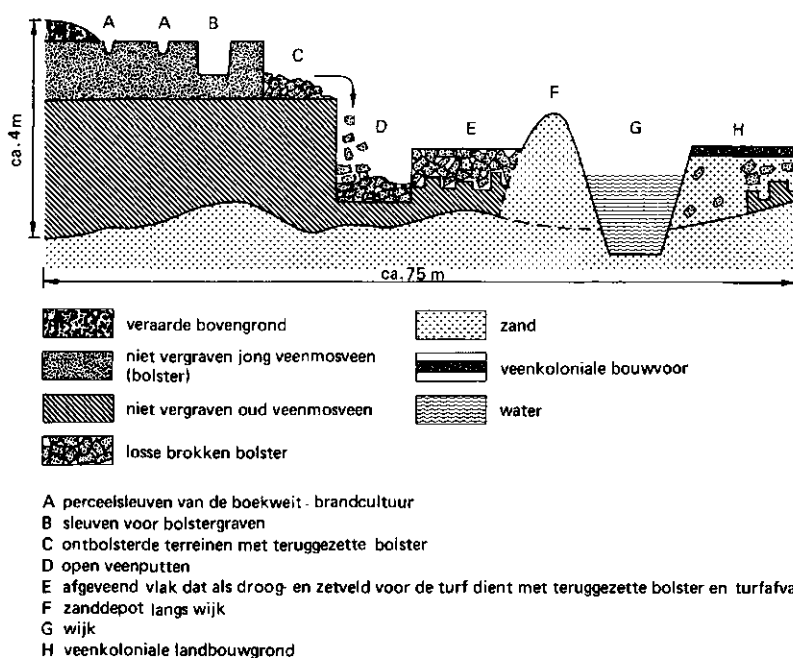


Fig. 2.6. Schematische doorsnede door een veengebied in ontginning (zie ook de tekst) Uit BODEMKAART VAN NEDERLAND (1980)

in het midden een zwetsloot gegraven waarop een aantal dwarsslotten uitmondden. Het zeer regelmatig patroon dat aldus ontstond is goed te zien in fig. 2.5. Tevens staat aangegeven in welk jaar het graven van de verschillende monden is begonnen.

Het eigenlijke proces van vervening ging in het ideale geval op de volgende manier (BOOY, 1956). Het aanleggen van een wijk begon met het afgraven tot op de zandondergrond van een strook veen met de breedte van de geplande wijk. Het jaar erop werd een strook met dezelfde breedte afgegraven om op die manier een dumpplaats te maken voor het zand dat uit het in datzelfde jaar te graven kanaal kwam. Vervolgens werd elk jaar een strook veen afgegraven tot aan de zandondergrond. De bovenste circa 50 cm dikke laag zoden en bolster werd teruggestort op de een jaar eerder afgegraven strook. Ten slotte werd het zand uit het depot over het veld verspreid en vermengd met de bovenste laag bolster (het zgn. toemaken). De toplaag van deze voor de landbouw geschikte grond wordt 'veenkoloniaal dek' genoemd. Zie ook fig. 2.6.

Tijdens het vervenen werden vaak handelingen uitgevoerd of nagelaten die nadelige gevolgen hadden voor het latere landbouwkundige gebruik. Door het niet geheel afgraven van het veen tot de zandondergrond bleef een laag oud veenmosveen als een slecht doorlatende laag achter. Een van jaar tot jaar variërende basis tot waarop het veen werd afgegraven veroorzaakte ongelijke maaiveldsligging. Te weinig zand gebruikt bij het toemaken leidde tot een te humeuze bovengrond, terwijl te weinig bolster een versleten profiel gaf. Het niet breken van storende lagen in de zandondergrond leidde tot moeilijkheden bij de ontwatering. Voor een uitgebreide beschrijving hiervan zie BOOY e.a. (1975). Een en ander leidde tot een op korte afstand sterk wisselend bodemprofiel en tot

wateroverlast en/of droogtegevoeligheid. Omdat jaarlijks 0,5 à 1 cm veen uit de ondergrond werd aangeploegd om de verliezen aan organische stof door oxydatie in de bouwvoor aan te vullen, verdween op den duur het veen in de ondergrond volledig. Ter opheffing van de hierboven geschetste gebreken en om de afbraak van nog aanwezige veenlagen te stoppen, werd en wordt grondverbetering toegepast. Hierop wordt in par. 2.6 nader teruggekomen.

2.4. LANDBOUWKUNDIGE SITUATIE

In gebieden waar de vervening systematisch werd uitgevoerd was, na de in gebruikname door de landbouw, een zeer regelmatig verkavelingspatroon aanwezig, gevormd door kanalen, wijken, zwetsloten en dwarsslotten. Vanaf het begin was het land overwegend in gebruik voor de teelt van akkerbouwgewassen. Tot circa 1960 vond transport van meststoffen en oogstproducten plaats via de kanalen en wijken. Voor het vervoer waren hoge peilen nodig, waardoor de in de vijftiger jaren op gang gekomen mechanisatie sterk werd belemmerd. In het begin van de zestiger jaren werd overgeschakeld op wegtransport en kon het oppervlaktewaterpeil worden verlaagd. Terwille van de mechanisatie werden ook de dwarsslotten gedempt, later gevolgd door het dempen van de zwetsloten (hetgeen momenteel nog aan de gang is). Aldus ontstonden langwerpige, rechthoekige kavels van 150 à 200 bij 1500 à 3000 m, gescheiden door wijken.

Momenteel is van het circa 8000 ha grote proefgebied netto circa 6000 ha in gebruik als landbouwgrond. De procentuele verdeling in gewassen is als volgt: 48% fabrieksaardappelen, 19% suikerbieten, 25% granen en 7% overige gewassen (opname 1980). Voor meer gedetailleerde gegevens, zie SLOTHOUWER (1982).

De huidige gemiddelde bedrijfs grootte van 30 à 35 ha is, gezien de mechanisatiegraad, te gering. Andere problemen zijn de eenzijdige afhankelijkheid van de afzet van aardappelzetmeel (produkten) en de toenemende gevoeligheid voor winderosie door het teruglopen van het organisch stofgehalte van de bouwvoor (WIND, 1979).

2.5. BODEMKUNDIGE SITUATIE

De geologische onstaanswijze, de wijze van vervening en de daarop volgende bodemvormende processen zijn de belangrijkste factoren die de ruimtelijke variatie in bodemtypen hebben bepaald. Deze ruimtelijke variatie wordt vastgelegd in een bodemkaart. Voor het onderzoeksgebied is beschikbaar de bodemkaart 1:50 000 (BODEMKAART VAN NEDERLAND, 1978;1980). De op deze kaart voorkomende bodemtypen zijn in vier hoofdgroepen in te delen:

- diepe veengronden (code V), met een meer dan 40 cm dikke laag moerig materiaal (> 15% organische stof op gewichtsbasis) tussen 0 en 80 cm-mv en de bovenkant van de zandige laag > 120 cm-mv beginnend;
- matig diepe veengronden (code V), als boven maar met de bovenkant van de zandige laag < 120 cm-mv;
- moerige gronden (code W), met een moerige bovengrond, die binnen 40 cm overgaat in zand of met een moerige tussenlaag die binnen 40 cm begint en 5 à 15 tot 40 cm dik is;
- podzolgronden (code H), met een inspoelingshorizont.

Figuur 2.7 geeft schematisch de ligging van deze bodemtypen weer.

Met behulp van voor- of achtervoegingen wordt een verdere onderverdeling verkregen. Voor meer informatie hieromtrent zij verwezen naar BODEMKAART VAN NEDERLAND (1980). Aan de landbouwkundige geschiktheid van de profielen wordt eveneens in bovengenoemd rapport aandacht besteed. Zie verder ook DE SMET (1973).

Ten behoeve van dit modelonderzoek zijn de op de bodemkaart voorkomende bodemtypen ingedeeld in 8 eenheden (BLOEMEN, 1982). In fig. 2.8 staat de daaruit af te leiden bodemkaart weergegeven.

2.6. GRONDVERBETERING

Onder grondverbetering wordt verstaan: elke verandering van de grond die blijvend is en wordt doorgevoerd met de bedoeling de landbouwkundige waarde ervan te verhogen (BOUY e.a., 1975).

In par. 2.3 is vermeld dat tijdens de vervening vaak een aantal handelingen zijn gepleegd met negatieve gevolgen voor de landbouwkundige waarde van de grond. Ook het 'verslijten' van de grond door oxydatie van veen is een ernstig probleem. Daarom is (en wordt) in het veenkoloniale gebied op vrij grote schaal grondverbetering toegepast. Figuur 2.9 geeft de stand van zaken tot en met 1983 voor het gebied 'De Monden'.

Per hoofdgroep van bodemtype bestaat er in principe slechte één goede manier van grondverbetering. In fig. 2.10 is dit schematisch weergegeven. Daarbij moet worden aangetekend dat op basis van recent onderzoek (SCHOTHORST en HETTINGA, 1981) grondverbetering van podzolgronden alleen zinvol is als harde lagen worden gebroken.

Het grootste voordeel van grondverbetering is - naast de vergroting van de bewortelbare diepte en het opheffen van de negatieve gevolgen van storende lagen - wellicht het vertragen en tot stilstand brengen van het slijtageproces, doordat bij het aanploegen van de ondergrond ook zand in de bouwvoor wordt gebracht. Voor uitgebreidere informatie wordt verwezen naar BOUY e.a. (1975), WIEBING en SCHEPERS (1977), WIEBING en WIND (1977, 1979), WIND en WIEBING (1980).

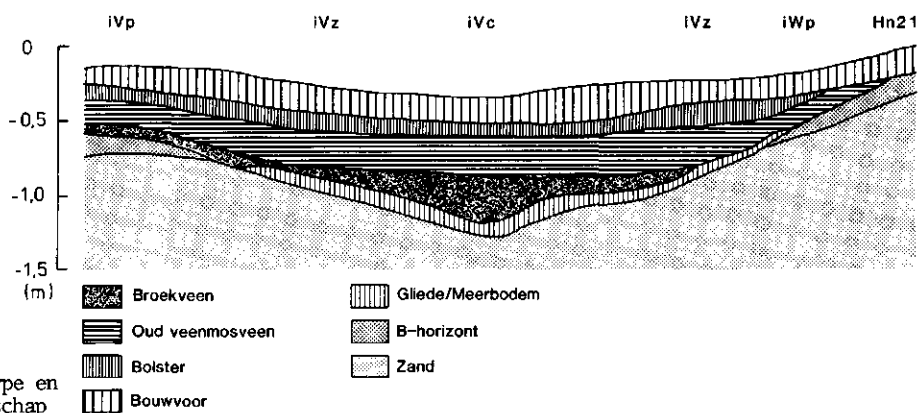
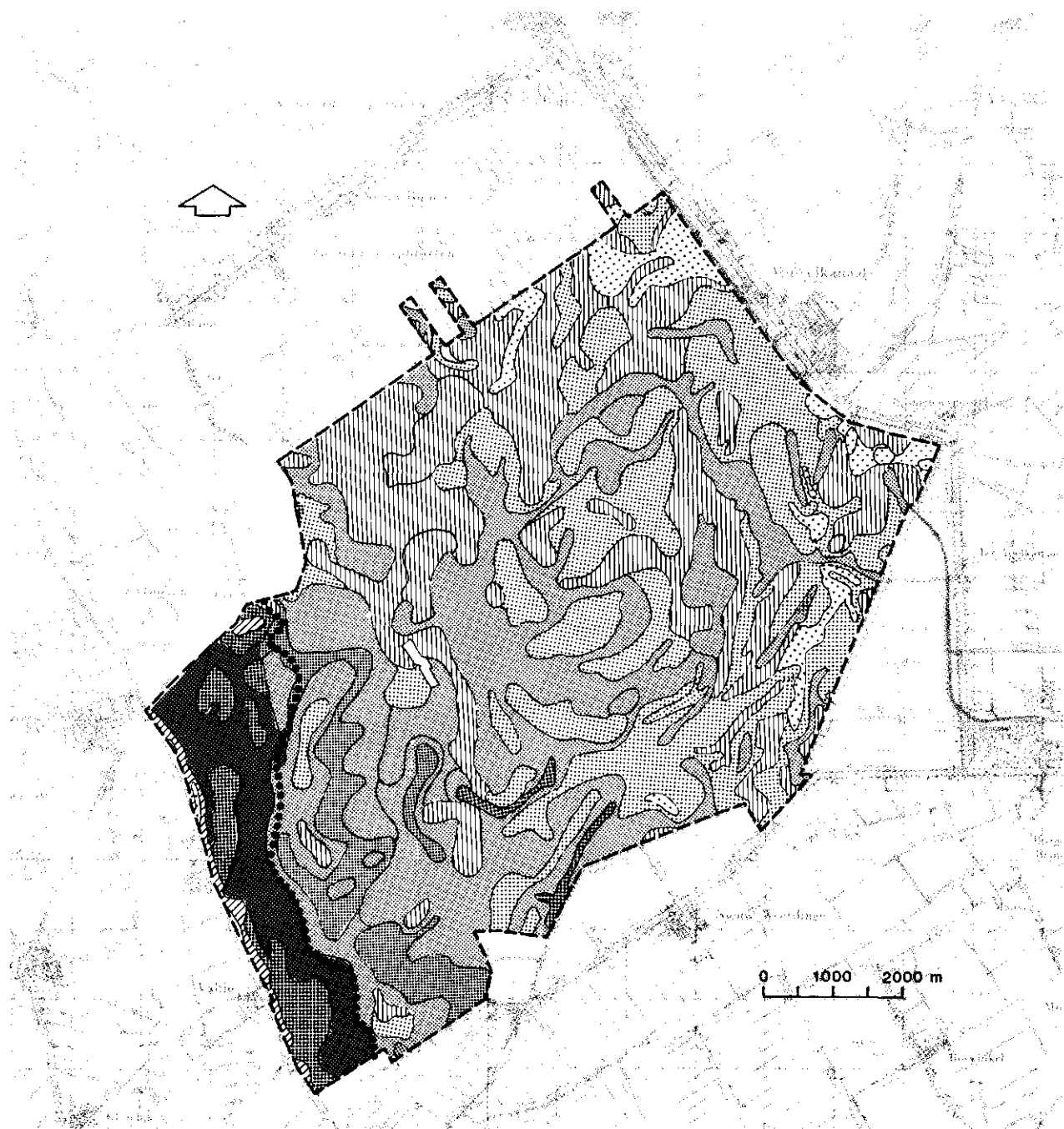


Fig. 2.7. Verband tussen bodemtype en situering in het landschap













- | | | |
|-------------|---|--|
| zVc; aVc |  | diepe veengronden in stroomdal |
| iVc |  | diepe veengrond in stroomdal met veenkoloniaal dek |
| aVz; zVz |  | matig diepe veengronden in stroomdal |
| iVz; iVp |  | veengrond met een veenkoloniaal dek |
| zWz; vWz |  | moerige eerdgronden buiten veenkoloniaal gebied |
| iWz |  | moerige eerdgrond met veenkoloniaal dek |
| iWp |  | moerige podzolgrond met veenkoloniaal dek |
| Hn21; pZn21 |  | zandgrond en eerdgrond |
|
 | | |
| --- |  | grens proefgebied |
| ••••• |  | grens veenkoloniaal gebied |

Fig. 2.8. Afgeleide bodemkaart van het proefgebied 'De Monden', ingedeeld in acht eenheden, ten behoeve van het modelonderzoek

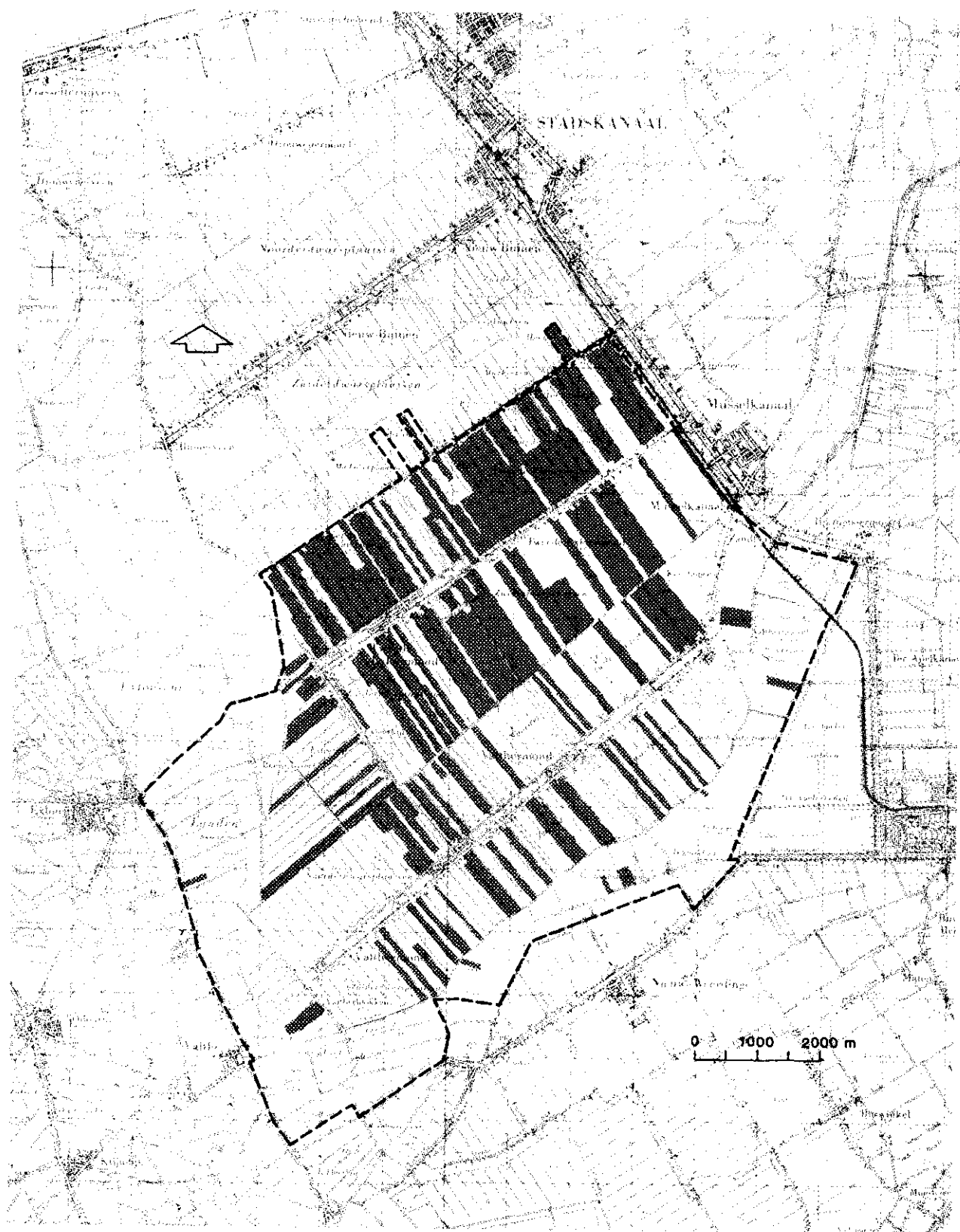


Fig. 2.9. Percelen gelegen in het proefgebied 'De Monden', waar tot en met 1983 een of andere vorm van grondverbetering is toegepast (in grijs aangegeven).

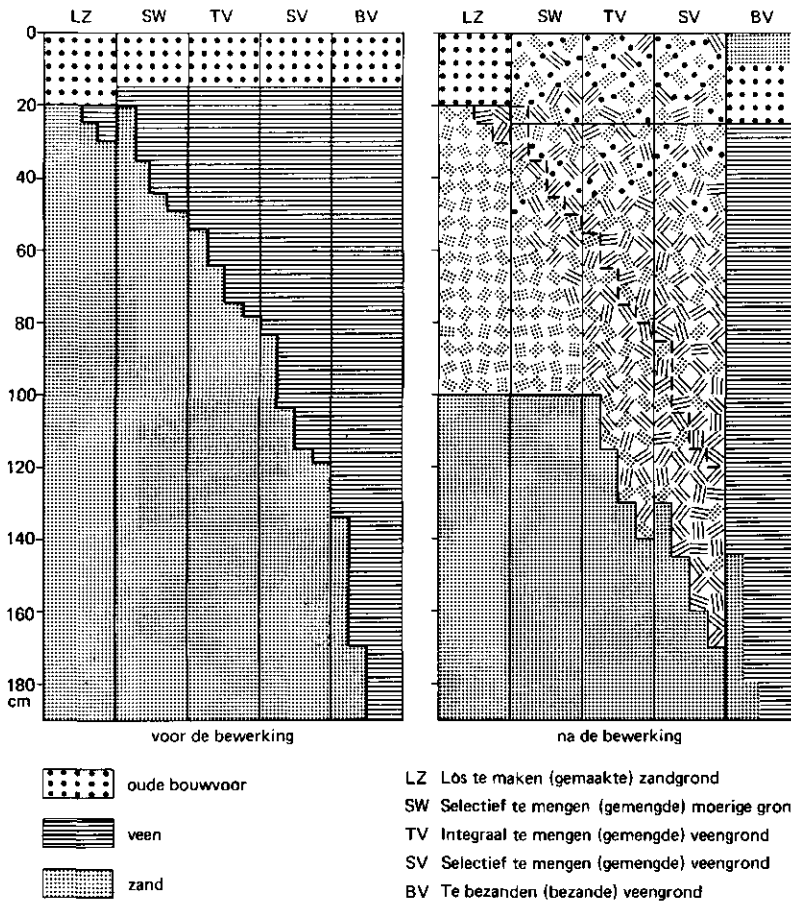


Fig. 2.10. Schematische weergave van diverse grondbewerkingsmogelijkheden bij veenkoloniale gronden en de bodemprofielen na uitvoering van deze werkzaamheden (naar BOOY e.a., 1975)

2.7. WATERHUISSHOUDKUNDIGE SITUATIE

Voor de beschrijving van de huidige waterhuishoudkundige toestand zal onderscheid worden gemaakt tussen de ontwaterings- en de afwateringssituatie.

2.7.1. Ontwateringssituatie

De ontwateringssituatie van landbouwgronden wordt bepaald door het detailontwateringssysteem en de daarin optredende waterstanden, de bergingseigenschappen van de grond en het voorkomen van kwel of wegzijging.

Detailontwateringssysteem

Met het detailontwateringssysteem (ook wel tertiaire oppervlaktewaterstelsel genoemd) wordt bedoeld het wijkensysteem en de nog aanwezige zwetsloten. Het stelsel is in onderhoud bij de landbouwers. Na het wegvallen van het vaartransport verviel de noodzaak van het in stand houden van het - uit het oogpunt van waterbeheersing zwaar overgedimensioneerde - scheepvaartprofiel. Het gevolg hiervan was het min of meer achterwege blijven van onderhoud met als resultaat een verlanding van de wijken, waardoor als nog de waterbeheersingsfunctie dreigt te worden verstoord. In het kader van de reconstructie van de

veenkolonien zullen de wijken, voor zover nodig, worden opgeschoond (HERINRICHTINGSPROGRAMMA, 1979). Na het opschonen van de wijken zal het peil in de wijken bij benadering gelijk zijn aan het peil in de hoofdwatgangen omdat de opstuwings - zelfs bij maatgevende afvoer - slechts enkele cm's zal bedragen en omdat de hoogteligging van de wijkbodems en de eventueel aanwezige bijbehorende duikers lager zal zijn dan de laagste waterpeilen in de hoofdwatgangen waarop de wijken uitmonden.

Het oppervlaktewaterpeil bepaald mede het verschil tussen de grondwaterstand en open waterpeil. Hoe groter het verschil, hoe groter de stroming naar of van het oppervlaktewaterstelsel.

Bergingseigenschappen van de grond

De bergingseigenschappen van de grond bepalen de reactie van de grondwaterstand op een toe- of afname van de vochtinhoud van de grond boven de grondwaterspiegel. De verhouding tussen de verandering van de vochtinhoud en de daarvoor veroorzaakte verandering in grondwaterstand wordt aangeduid als bergingscoëfficiënt (μ). Een kleine bergingscoëfficiënt heeft dus een felle reactie van de grondwaterstand op bijvoorbeeld neerslag tot gevolg. Zo zal bij $\mu = 0,05$ en een neerslaghoeveelheid van 10 mm de grondwaterstand met 200 mm stijgen (indien wordt aangenomen dat er

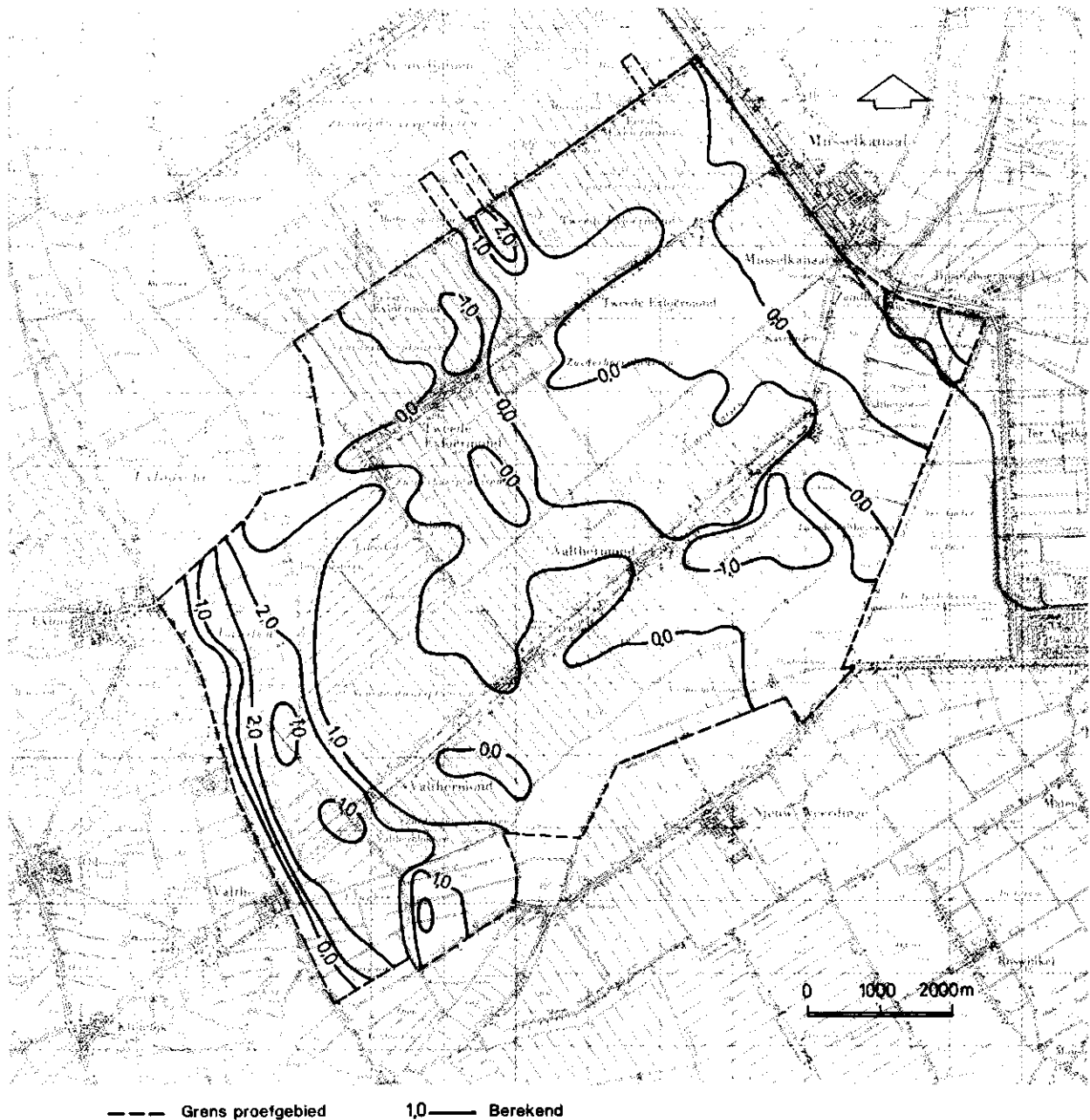


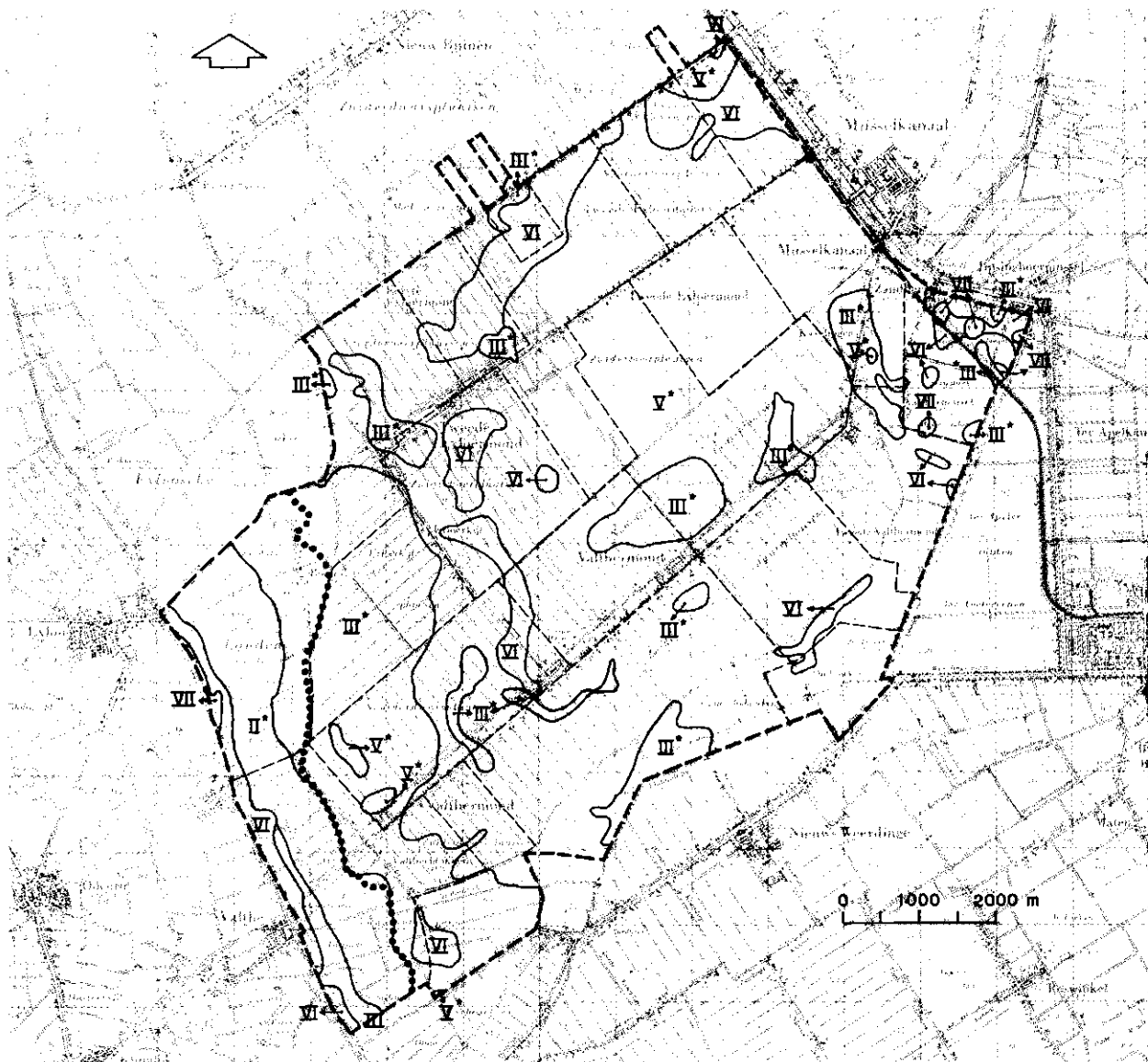
Fig. 2.11. Regionaal patroon van kwel en wegzijging in 'De Monden', dat is gebaseerd op waterbalansgegevens en modelberekeningen (negatieve kwel = wegzijging)

tussentijds geen stroming naar het oppervlaktewaterstelsel plaatsvindt).

De grootte van de bergingscoëfficiënt kan worden afgeleid uit de bij een zeker bodemtype behorende bodemfysische eigenschappen. Deze zullen worden behandeld in Hoofdstuk 3.

Kwel of wegzijging

Onder kwel wordt verstaan: het toestromen van grondwater van buiten het beschouwde gebied; bij wegzijging stroomt er grondwater weg. Het ruimtelijk patroon van kwel of wegzijging is in principe in zomer en winter verschillend. Bovendien kunnen veranderingen optreden als gevolg van met name grondwateronttrekkingen. Een op waterbalansgegevens en modelberekeningen gebaseerd patroon van kwel of wegzijging staat weergegeven in fig. 2.11.



grondwatertrappen kaart

Gt	I	II	III	IV	V	VI	VII	
GHG (<20)		(<40)	<40	>40	<40	40-80	>80	cm-mv
GLG	<50	50-80	80-120	80-120	>120	>120	(>160)	cm-mv
II*	droger deel van II ,enz							
	----- grens proefgebied							
	----- grens stuwpeilvak							
 grens veenkoloniaal gebied							

Fig. 2.12. Grondwatertrappenkaart van het gebied 'De Monden'

De gebruikelijke manier van weergave van de ontwateringssituatie is de grondwatertrappenkaart. Voor de definitie van grondwatertrappen, zie BODEMKAART VAN NEDERLAND (1980). In fig. 2.12 worden de grondwatertrappen van het onderzoeksgebied weergegeven. De opnamen hiervoor zijn gedaan tussen 1968 en 1973. Sindsdien zijn veranderingen opgetreden onder andere door maaiveldsdaling als gevolg van oxydatie en in-

klinking, ander peilbeheer, grondverbetering enz., zodat aan deze gegevens niet te veel waarde moet worden toegekend.

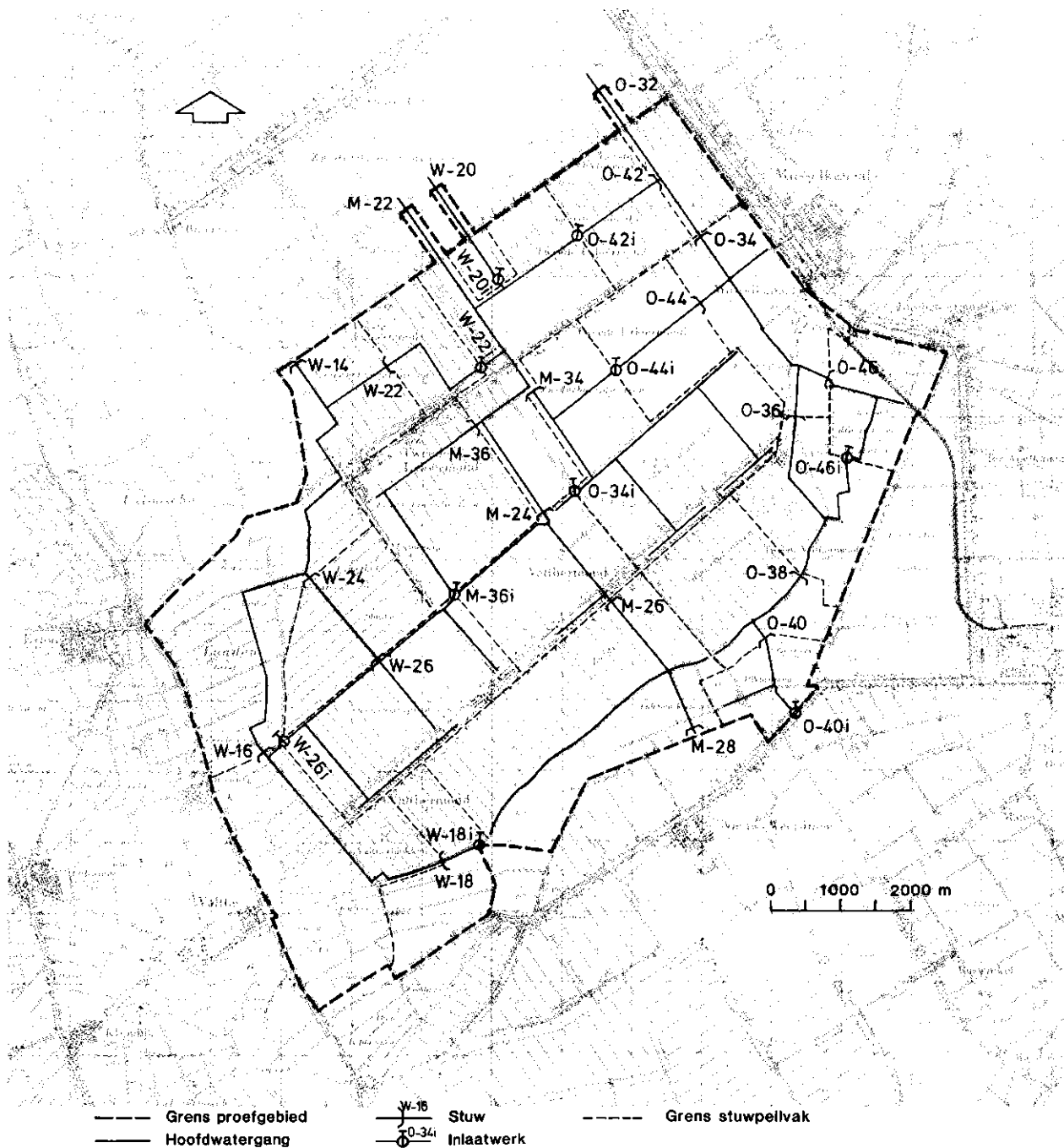


Fig. 2.13. Plan van waterlopen (secundair stelsel) en indeling in stuwpellvakken in het gebied 'De Monden'. Stuw en inlaatwerken zijn eveneens aangegeven

2.7.2. Afwateringssituatie

Water dat naar of van het detailontwateringsstelsel van een gebied stroomt wordt via een stelsel van waterlopen aangevoerd vanaf het inlaatpunt respectievelijk afgevoerd naar het lozingspunt. De bij dit proces betrokken waterlopen worden aangeduid als het secundaire oppervlaktewaterstelsel.

Een overzicht van het secundaire stelsel - in onderhoud bij het waterschap De Veenmarken - is weergegeven in fig. 2.13. Hierin zijn ook de stuwen en inlaatwerken getekend, tezamen met de hierdoor gecreëerde peilvakken. De meeste stuwen zijn automatisch, dat wil zeggen het, door de peilbeheerder in te stellen, peil bovenstrooms van de stuw wordt (indien mogelijk) gehandhaafd via het op en neer bewegen van de

stuw. De verticale 'bewegingsruimte' van de stuw is uiteraard beperkt en bedraagt voor de kleinste stuw maximaal 1,00 m.

Volledigheidshalve dient hier nog vermeld te worden dat de afvoer van water uit het gebied plaatsvindt via het Stadskanaal, A.G. Wildervanckkanaal en de Westerwoldse Aa naar de Eems-Dollard en de aanvoer van water geschiedt vanuit het IJsselmeer via Meppelerdiep, Drentse Hoofdvaart, Oranjekanaal en Verlengde Hoozeveensche Vaart.

3. MODELLERING VAN HET HYDROLOGISCH SYSTEEM

3.1. ALGEMEEN

Zoals reeds in Hoofdstuk 1 is vermeld, is het niet mogelijk op praktijkschaal alle mogelijke alternatieven van peilbeheer gedurende een reeks van jaren door te voeren om zodoende de effecten ervan op gewasverdamming en -productie te kunnen nagaan. Daarom is het algemeen gebruikelijk de toevlucht te nemen tot modellen. Bij het modelleringsproces worden allereerst de voornaamste processen die optreden in wiskundige vergelijkingen vastgelegd. Een voorbeeld van een dergelijke vergelijking is de Wet van Darcy voor verzadigde grondwaterstroming in één richting (x):

$$v = - K \frac{\delta h}{\delta x} \quad (3.1)$$

waarin v het specifiek debiet ($m \cdot d^{-1}$), K de doorlatendheid ($m \cdot d^{-1}$) en $\frac{\delta h}{\delta x}$ de gradiënt van de grondwaterstandspiegel (-).

In dergelijke vergelijkingen komen toestandsvariabelen zoals grondwaterstand en constanten of parameterwaarden zoals de doorlatendheid voor. In het algemeen kan met behulp van de parameterwaarden een systeem worden gekwantificeerd. De parameterwaarden worden ontleend aan veldonderzoek of worden verkregen via terugrekening (calibratie).

De volgende stap is de wiskundige vergelijkingen op te lossen. Hiervoor worden tegenwoordig meestal numerieke methoden toegepast, die mogelijk zijn gemaakt door de komst van modern rekentuig (computers). Men spreekt dan ook vaak van een numeriek model als het gaat om deze oplossingsmethode van een stromingsprobleem.

De in het veld gemeten waarden van bepaalde grootheden (bijv. grondwaterstanden) worden vergeleken met de waarden die het model heeft berekend. Wanneer is vastgesteld dat het model de werkelijkheid voldoende

weergeeft (verificatie), kan worden overgegaan tot het nabootsen (= simuleren) van andere omstandigheden, bv. een ander waterbeheer. In dit hoofdstuk zal het eigenlijke modelleringsproces aan de orde komen. Daar toe moet echter het hydrologisch systeem in onderdelen worden opgesplitst.

3.2. ONDERDELEN VAN HET HYDROLOGISCH SYSTEEM

Het hydrologisch systeem van een gebied kan in zijn meest eenvoudige vorm schematisch worden weergegeven zoals in fig. 3.1. Hierin zijn de volgende onderdelen te onderscheiden.

- atmosfeer- en gewassysteem. Vanuit de grondwaterstroming geredeneerd vormt dit systeem de bovenrand. Door neerslag komt water in het grondwatersysteem; via het proces van bodem- of gewasverdamming verdwijnt er water.
- onverzadigde zone. Met de onverzadigde zone wordt hier bedoeld de grond tussen maaiveld en grondwaterpiegel. Voor de modellering is de zone opgesplitst in twee delen:
 1. de wortelzone van waaruit door de wortels wordt opgenomen of door het grondoppervlak water kan infiltreren of verdampen. Aan de onderkant treedt uitwisseling op met de ondergrond;
 2. de ondergrond, waarin aan de bovenkant stroming plaatsvindt vanuit de wortelzone (percolatie) of naar de wortelzone toe (capillaire opstijging) en aan de onderkant water via subinfiltratie of drainage toe- of afstroomt. Door de onderkant beneden de diepst voorkomende grondwaterpiegel te situeren, wordt het probleem van een met de grondwaterstand variërende grens tussen onverzadigde en verzadigde zone vermeden.
- verzadigde zone. De verzadigde zone wordt begrensd door de onderkant van de onverzadigde zone, het oppervlaktewaterstelsel en de hydrologische basis. In het systeem voor het proefgebied stroomt water van en naar het oppervlaktewaterstelsel, maar ook van b.v. de Hondsrug naar het veenkoloniale gebied. Dit laatste uit zich in het voorkomen van kwel in de strook gelegen langs de Hondsrug.

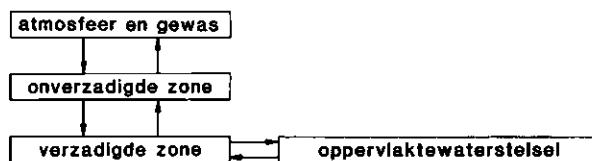


Fig. 3.1. Schematische weergave van een hydrologisch systeem in een gebied (voor verklaring zie tekst)

- oppervlaktewaterstelsel. Het oppervlaktewatersysteem wordt begrensd door enerzijds de verzadigde zone, anderzijds door een of meer kunstwerken. Gezien vanuit het standpunt van de waterbeheerder vormt een kunstwerk de enige kraan waarmee gestuurd kan worden.

De modellering van de vier genoemde onderdelen van het hydrologisch systeem zal hierna nader worden besproken.

3.3. ATMOSFEER- EN GEWASSYSTEEM

De eigenschappen van het atmosfeer-en gewassysteem worden als gegeven beschouwd. Als wordt verondersteld dat, door verschillen in waterbeheer, geen verschillen in (micro)klimaat of verschillen in gewasontwikkeling gedurende het groeiseizoen zullen optreden, kan gewasverdamping bij optimale vochtvoorziening (de zgn. potentiële gewasverdamping $E_{t,p}$) worden berekend los van de door te rekenen beheersalternatieven. In het onderhavige modelonderzoek is dit gerealiseerd door als standaardgewas een goed groeiend middellaat fabrieksaardappelgewas te nemen en met behulp van een model SWATRE (BELMANS et al., 1983) het verloop van de potentiële gewasverdamping gedurende een groot aantal jaren te berekenen. Daarbij werden meteogegevens gebruikt van het KNMI-station Eelde (circa 50 km van het proefgebied).

Voor de berekening van het verloop van de bodemverdamping is eveneens verondersteld dat het waterbeheer hierop niet van invloed is. Echter hierbij kan niet worden uitgegaan van de situatie bij optimale vochtvoorziening. De bodemverdamping wordt namelijk steeds bepaald door de vochttoestand in de bovenste cm's van de grond. Met behulp van het reeds genoemde model SWATRE is daarom voor een zeker, met het standaardgewas begroeid, bodemprofiel het verloop van bodemverdamping berekend gedurende dezelfde periode waarvoor de potentiële gewasverdamping is berekend. Voor andere bodemprofielen wordt hetzelfde verloop van de bodemverdamping aangenomen. Dit omdat de orderlinge verschillen in bodemverdamping geringer zijn dan de onzekerheden in de procesmatige beschrijving van bodemverdamping. Een bewijs voor deze veronderstelling is evenwel niet geleverd.

De berekening van het verloop van de hoeveelheid neerslag die in de wortelzone infiltreert (de netto neerslag) is voor dezelfde periode bepaald. Hiertoe is - eveneens berekend met het model SWATRE - de bruto neerslag verminderd met de verdamping van de op het standaard gewas achterblijvende neerslag (de zgn. interceptieverdamping).

De volgens bovenstaande procedure berekende tijdreeksen van potentiële gewasverdamping, werkelijke bodemverdamping en infiltratie zijn te gebruiken als bovenrandvoorwaarde voor het grondwatersysteem.

3.4. ONVERZADIGDE ZONE

3.4.1. Wiskundige beschrijving

Door aan te nemen dat de grondwaterstroming in de onverzadigde zone alleen in verticale richting plaatsvindt, wordt een sterke vereenvoudiging van de wiskundige beschrijving ervan verkregen. In bijlage 1 worden de theoretische achtergronden van de onverzadigde grondwaterstroming toegelicht. De in de vergelijkingen voorkomende parameters worden ontleend aan de bodemfysische eigenschappen van de in het gebied voorkomende bodems.

3.4.2. Bodemfysische eigenschappen

Analoog aan de sleutel geologische ontstaanswijze - geohydrologische beschrijving, moeten om berekeningen uit te kunnen voeren, de verschillen in bodemtype worden vertaald in verschillen in bodemfysische eigenschappen. De eigenschappen die in dit verband van belang zijn, zijn de vocht karakteristiek (verband tussen drukhoogte (h_p) en watergehalte (θ) van de grond) en het capillair geleidingsvermogen (K) die het verband weergeeft tussen bodemvochttoestand en doorlatendheid. Het eerste verband wordt veelal weergegeven in een zgn. pF-curve, het tweede in een $K(h_p)$ of $K(\theta)$ -relatie.

De genoemde eigenschappen variëren niet alleen van plaats tot plaats maar ook met de diepte. Het is gebruikelijk de onderscheiden bodemprofielen op te delen in een beperkt aantal lagen en per laag bodemfysische eigenschappen toe te kennen. In het proefgebied is dit als volgt geconcretiseerd. Op basis van de bodemkaart 1:50 000 werden 12 monsterplaatsen geselecteerd (BOOY, 1979, pers. med. Stiboka, Wageningen). Op elke plaats werden per laag 2 ringmonsters gestoken en een monster getrokken om de granulaire samenstelling te bepalen. Tevens werd gebruik gemaakt van de gegevens van twee monsterplaatsen uit het Stiboka-archief.

De resultaten van de bepalingen van de pF-curve en $K(h_p)$ -relaties zijn uitvoerig beschreven door VEERMAN (1982). De berekening van de $K(h_p)$ -relaties uit granulaire analyses en organisch stofgehalte is beschreven door BLOEMEN (1982). De methode van Bloemen is gebaseerd op de door BROOKS and COREY (1964) afgeleide en door hem gemodificeerde relatie:

$$K(h_p) = 0,5 K_s \left(\frac{h_a/r}{h_p} \right)^{n_s} \quad (3.2)$$

waarin K_s de verzadigde doorlatendheid ($m \cdot d^{-1}$), h_a de vochtspanning waarbij tijdens uitdroging vanuit verzadiging de breedste doorlopende poriën hun water verliezen (m), r een correctiefactor (-) en n_s een exponent (-). De parameters K_s en n_s in deze vergelijking

worden afgeleid uit gegevens over granulaire samenstelling en organisch stofgehalte. In BLOEMEN (1980a, 1980b, 1981) worden de achtergronden van deze methode gegeven.

Op grond van deze resultaten zijn de bodemprofielen ondergebracht in bodemfysische eenheden. In tabel 3.1 wordt een beschrijving gegeven.

Bodemfysische eenheid		Bodentype	
code	omschrijving	code	omschrijving
I	zeer diepe veengronden westelijk van veenkoloniaal gebied	zVc	Meerveengronden op zeggeveen, rietzeggeveen of broekveen
		aVc	Madeveengronden op zeggeveen, rietzeggeveen of broekveen
II	zeer diepe veengronden met veenkoloniaal dek	iVc	Veengronden met een veenkoloniaal dek op zeggeveen, rietzeggeveen of moerasbosveen
III	matig diepe veengronden westelijk van veenkoloniaal gebied	zVz	Meerveengronden op zand zonder humuspodzol, beginnend ondieper dan 120 cm
		aVz	Madeveengronden op zand zonder humuspodzol; beginnend ondieper dan 120 cm
IV	veengronden met veenkoloniaal dek	iVz	Veengronden met een veenkoloniaal dek op zand zonder humuspodzol, beginnend ondieper dan 120 cm
		iVp	idem, als iVz maar met humuspodzol
V	moerige eerdgronden met veenkoloniaal dek	iWz	Moerige eerdgronden met een veenkoloniaal dek en een moerige tussenlaag op zand
VI	moerige eerdgronden buiten veenkoloniaal gebied	zWz	Moerige eerdgronden met een zanddek en een moerige tussenlaag op zand
VII	moerige podzolgronden met veenkoloniaal dek	iWp	Moerige podzolgronden met een veenkoloniaal dek en een moerige tussenlaag
VIII	zand- en eerdgronden	Hn21	Veldpodzolgronden; leemarm en zwak lemig fijn zand
		pZn21	Gooreerdgronden; leemarm en zwak lemig fijn zand

Tabel 3.1. Indeling van bodemtypen zoals deze voorkomen in het gebied 'De Monden' in acht bodemfysische eenheden

Laag nr.	Bodemfysische eenheden						
	I (zVc, aVc)	II (iVc)	III (zVz, aVz)	IV (iVz, iVp)	V (iWz)	VII (iWp)	VIII (Hn, Zn)
1							0- 20
2		0- 20		0-20	0-20	0-20	
3	0- 20		0- 20				
4	55-135	65-130					
5	20- 55		20- 90		20-40	20-40	
6		20- 65		20-40			
7				40-65			
8		130-140		65-75		40-50	
9			90-100		40-45		
10					45-55		20- 45
11	135-170		100-170				45- 90
12				75-90		50-80	
13		>140		>90	>55	>80	>130
14			>170				90-130
15	>170						

Tabel 3.2. Overzicht van de opbouw in lagen (1 t/m 15) uitgedrukt in cm-mv van zeven bodemfysische eenheden die in het gebied 'De Monden' voorkomen (eenheid VI komt nauwelijks voor en is voor dit onderzoek weggelaten)

De bodemfysische eigenschappen van de onderscheiden eenheden zijn in twee tabellen samen te vatten. In de eerste tabel (tabel 3.2) wordt weergegeven hoe de opbouw in lagen is van 7 van de 8 eenheden. Eenheid VI komt namelijk zo weinig voor dat hij is weggelaten. In tabel 3.3 worden - per laag - de gegevens verstrekt over pF-curve en parameters in de $K(h_p)$ -relatie.

Een apart probleem is dat door grondverbetering een drastische verandering optreedt in lagenopbouw en derhalve in bodemfysische eigenschappen. Door na te gaan uit welke oorspronkelijke lagen het nieuwe profiel is opgebouwd en met bepaalde veronderstellingen omtrent de wijze van de menging van deze lagen kunnen $K(h_p)$ -relaties voor de nieuwe situatie worden berekend (BLOEMEN, 1982). In fig. 3.2 wordt van drie bodemfys-

sische eenheden, waarvan wordt verondersteld dat ze in aanmerking komen voor grondverbetering, de lagenopbouw voor en na mengwoelen weergegeven. De eigenschappen van de verbeterde profielen worden in tabel 3.4 gegeven.

3.5. VERZADIGDE ZONE

3.5.1. Wiskundige beschrijving

De wiskundige beschrijving van de verzadigde grondwaterstroming staat beschreven in bijlage 1. Een sterke vereenvoudiging wordt bereikt als wordt verondersteld dat in goed waterdoorlatende lagen de stroming horizontaal is en in slechter doorlatende lagen

Tabel 3.3. Bodemfysische eigenschappen van de verschillende lagen waarmee de in het gebied 'De Monden' voorkomende bodemprofielen zijn opgebouwd (ρ_b = dichtheid)

Laag nr.	Beschrijving	Watergehalte (θ) (vol %) bij een drukhoogte h_p (cm) van										Parameters in verg. (3.2)		
		0	-10	-32	-63	-100	-200	-500	-2500	-16 000	0,5 K_s ($\text{cm} \cdot \text{d}^{-1}$)	h_a/r (cm)	n_s (-)	
1	bovengrond: < 15% org. stof	48,9	47,4	45,8	44,0	41,6	36,4	28,8	19,3	14,1	86,0	7,5	1,46	
2	15-20% org. stof	57,4	54,4	52,5	50,4	48,2	44,1	37,0	22,9	16,3				
3	> 20% org. stof	64,0	60,0	57,1	54,0	50,9	46,3	39,3	24,7	17,7				
4	laagveen: $\rho_b = 0,23 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$	88,4	86,4	82,6	78,5	75,2	69,5	57,2	35,5	22,3	0,26	26,0	1,62	
5	$\rho_b = 0,25 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$	78,5	75,5	68,0	63,1	59,8	54,4	46,5	32,7	24,4	0,185	35,0	1,57	
6	bolster: $\rho_b = 0,14 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$	89,8	82,8	77,5	70,8	66,0	58,7	50,1	26,4	16,4	0,44	24,0	1,86	
7	hoogveen: $\rho_b = 0,17 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$	85,0	82,0	77,9	74,3	68,9	62,0	54,0	33,7	22,3	0,26	26,0	1,62	
8	meerbodemlaag	85,6	83,6	81,4	81,0	79,7	76,9	72,1	42,0	26,8	1,45	48,0	1,41	
9	gliedelaag	46,6	45,6	44,9	44,1	43,2	41,6	39,2	28,9	14,8	2,82	27,0	1,41	
10	sterk lemig zand	40,2	37,7	36,1	34,0	31,6	27,2	22,5	15,7	8,4	57,0	8,0	1,81	
11	zwak lemig zand I	37,8	34,5	31,8	27,6	21,1	16,1	9,4	7,7	4,1	77,0	7,0	2,62	
12	II										80,0	6,0	2,20	
13	III										80,0	8,0	3,67	
14	leemarm zand I	35,0	32,0	29,9	26,0	19,3	12,4	8,0	4,2	2,5	90,0	7,5	3,46	
15	II										105,0	6,0	3,22	

Tabel 3.4. Bodemfysische eigenschappen van de lagen, zoals deze voorkomen na mengwoelen, eenheden IV (IX), V (X) en VII (XI) uit tabel 3.2

Bodemfysische eenheid	Laag nr.	Diepte (cm-mv)	Watergehalte (θ) (vol %) bij een drukhoogte h_p (cm) van										Parameters in verg. (3.2)		
			0	-10	-32	-63	-100	-200	-500	-2500	-16 000	0,5 K_s ($\text{cm} \cdot \text{d}^{-1}$)	h_a/r (cm)	n_s (-)	
IX	16	0- 40	68,5	63,5	60,3	56,6	52,6	47,5	38,5	24,5	16,0	49,0	6,0	1,48	
	17	40- 80	70,9	66,9	63,2	58,9	53,8	48,0	40,6	24,1	15,2	23,0	8,0	2,16	
	18	80-120	58,5	56,0	51,9	49,4	44,0	38,6	31,7	20,4	12,8	37,0	6,0	2,22	
	13	>120	37,8	34,5	31,8	27,6	21,1	16,1	9,4	7,7	4,1	80,0	8,0	3,67	
X	19	0- 40	60,3	57,3	53,1	49,5	45,8	41,0	33,7	22,8	16,3	52,0	6,0	1,47	
	20	40- 65	48,2	45,5	42,5	39,3	35,4	31,1	25,4	18,5	11,2	42,0	4,0	1,62	
	21	65- 90	46,4	43,2	39,9	36,0	30,9	26,0	19,4	14,3	9,0	50,0	4,0	1,82	
	13	> 90	37,8	34,5	31,8	27,6	21,1	16,1	9,4	7,7	4,1	80,0	8,0	3,67	
XI	22	0- 40	57,6	54,6	51,2	47,9	44,3	39,7	32,5	21,6	15,3	59,0	7,0	1,48	
	23	40- 90	55,5	52,4	49,0	45,4	40,6	35,9	29,4	19,6	12,7	40,0	7,0	2,22	
	13	> 90	37,8	34,5	31,8	27,6	21,1	16,1	9,4	7,7	4,1	80,0	8,0	3,67	

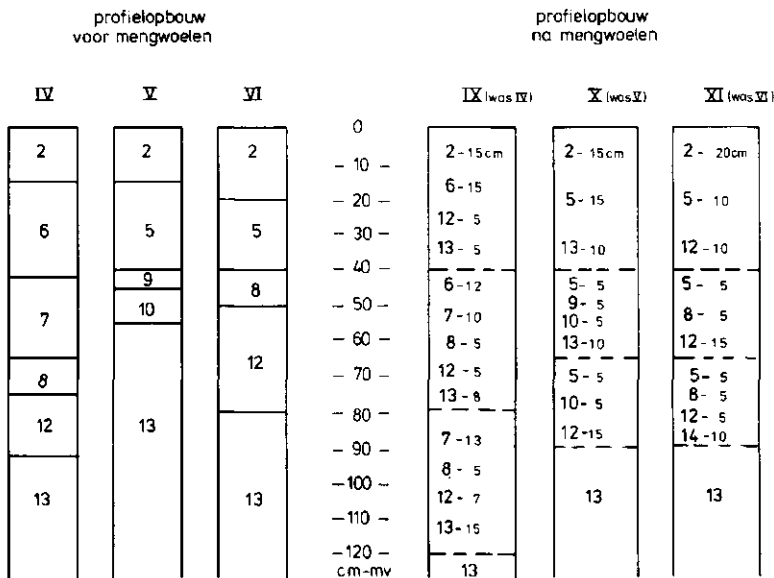


Fig. 3.2. Profielopbouw van drie bodemfysische eenheden voor en na grondverbetering (in dit voorbeeld mengwoelen). De bodemfysische eigenschappen van de na mengwoelen gevormde profielen staan vermeld in tabel 3.4. De nummers corresponderen met de laagnummers in de tabellen 3.2 en 3.3

verticaal. Daarmee wordt aangesloten op de gebruikelijke geohydrologische schematisatie.

3.5.2. Geohydrologische schematisatie

Kennis van de geologische ontstaanswijze geeft informatie omtrent de opbouw van de ondergrond in lagen, afgezet in verschillende perioden. Voor een kwantitatieve beschrijving van verschillende stromingsprocessen is het echter niet zozeer van belang te weten uit welke periode een bepaalde laag stamt dan wel om de hydrologische eigenschappen te kennen. Dit is nu de taak van de geohydrologie.

Het is bij de geohydrologische beschrijving van een gebied gebruikelijk de lagen in te delen in goed doorlatende (watervoerende) lagen en slecht doorlatende (weerstandbiedende) lagen.

De sleutel tussen geologische en geohydrologische beschrijving staat afgebeeld in fig. 3.3. Op grond hiervan is door POMPER (1981) de volgende samenvatting gegeven. De basis van het hydrologisch systeem wordt op een diepte van circa 110 à 130 m -NAP aangetroffen. Het hierboven liggende systeem kan worden onderverdeeld in drie watervoerende lagen. Het onderste - ten dele bestaande uit fijne homogene zanden uit de Formatie van Scheemda met daarboven zeer grove oud-pleistocene zanden uit de Formatie van Enschede, Urk en Harderwijk - vormt het voornaamste watervoerende pakket. Het doorlaatvermogen, dat wil zeggen het produkt van doorlatendheid en dikte (K_3D_3 -waarde) ligt tussen 1400 en 2400 $m^2.d^{-1}$. De K-waarde wordt afgeleid uit de korrelgrootte-samenstelling van uit boringen verkregen informatie of uit pompproeven. In fig. 3.4 is het regionale patroon van de KD-waarde voor dit pakket

gegeven. Aan de bovenzijde grenst een pakket fijne kleifige zanden en klei uit de Formatie van Peelo. Tot dit pakket wordt ook de 'Cromerlei' gerekend, die in het zuidoostelijk deel van het proefgebied een dikte van 7 m bereikt. Omdat de doorlatendheid van deze laag gering is, wordt aangenomen dat de stroming alleen verticaal is. Men spreekt dan ook van weerstandbiedende laag. De verticale weerstand of c-waarde wordt bepaald door het quotiënt van de dikte en de doorlatendheid ($c = d/K$). Hierboven bevindt zich de tweede watervoerende laag met een dikte van 10 à 20 m en een doorlaatvermogen (K_2D_2) van 250-500 $m^2.d^{-1}$. Dit pakket wordt in een deel van het gebied aan de bovenkant begrensd door een tweede weerstandbiedende laag

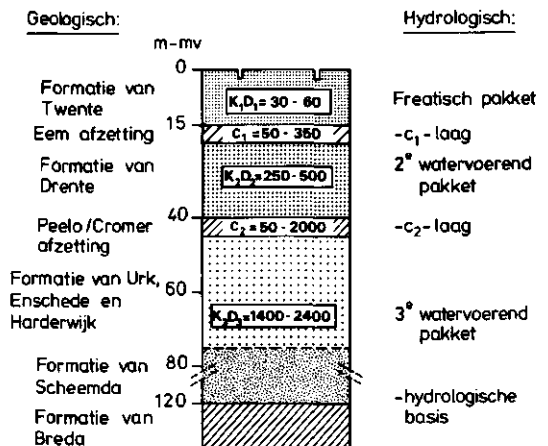


Fig. 3.3. Geohydrologische opbouw van het gebied 'De Monden'. Aangegeven is het doorlaatvermogen (K_xD_x in $m^2.d^{-1}$) van de watervoerende pakketten en de verticale weerstand van de weerstandbiedende lagen (c_x in dagen) (naar VAN KEULEN, 1982; gewijzigd)

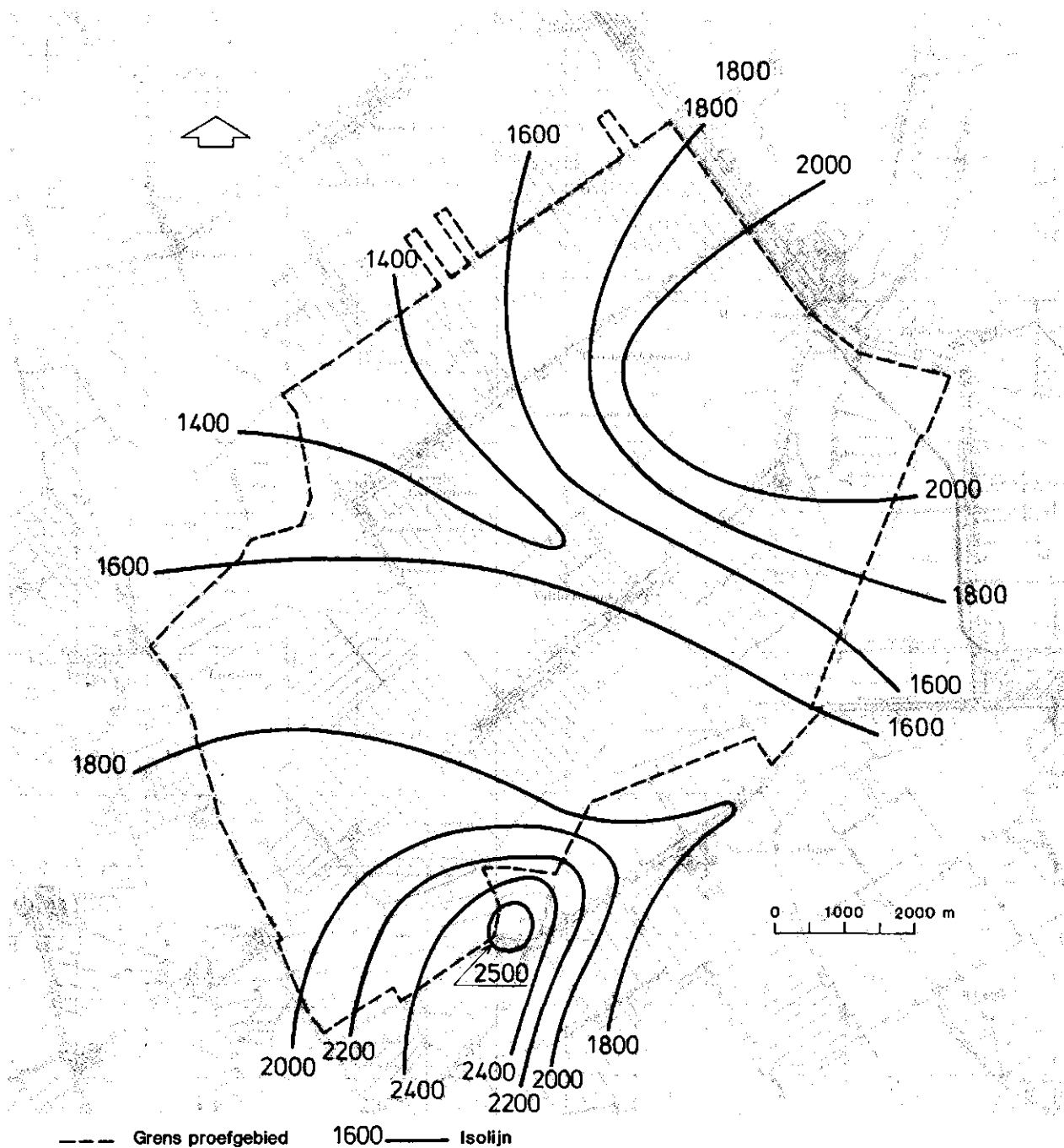


Fig. 3.4. Regionaal patroon in 'De Monden' van het doorlaatvermogen K_3D_3 ($m^2 \cdot d^{-1}$) van het derde watervoerend pakket

van enkele meters dikke humeuze klei uit het Eemien. Het hierboven liggende pakket fijne zanden uit de Formatie van Twente kan worden beschouwd als de 1e watervoerende laag met een doorlaatvermogen (K_1D_1) van 30 à 60 $m^2 \cdot d^{-1}$.

Over de c-waarde van de weerstandbiedende lagen kan op basis van de beschikbare boorbeschrijvingen en pompproeven geen voldoende betrouwbaar regionaal patroon worden gegeven. Het enige alternatief is een

indirecte bepaling via waterbalansen. Het principe hiervan berust op het berekenen van de weerstand uit het gegeven specifiek debiet (debiet per eenheid van oppervlakte) door de laag en het gemeten verschil in stijghoogte boven en onder de laag. Door VAN KEULEN (1982) is deze methode toegepast met gebruikmaking van waterbalansgegevens per subgebied (peilvak) en gemeten stijghoogtes in de drie watervoerende lagen. De procedure is echter zeer gevoelig voor meetfouten

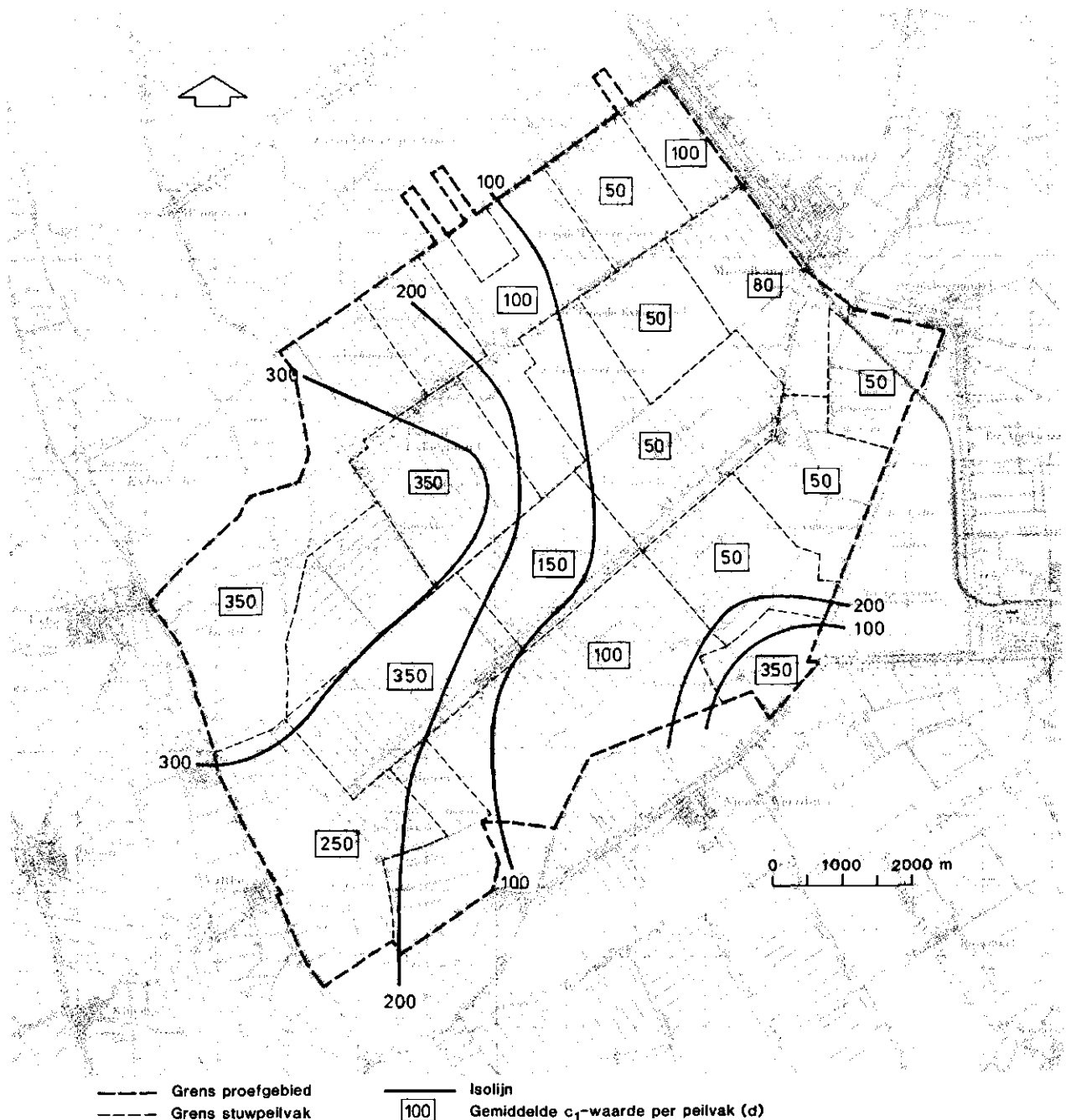


Fig. 3.5. Overzicht van globale c_1 -waarden (dagen) in 'De Monden', gebaseerd op waterbalansgegevens per peilvak en de gemeten stijghoogten in de drie watervoerende lagen (volgens VAN KEULEN, 1982)

en de hiermee afgeleide c -waardenkaarten (zie fig. 3.5 en 3.6) geven slechts een globale indicatie.

3.6. OPPERVLAKTEWATERSTELSEL

3.6.1. Wiskundige beschrijving

In het algemeen wordt bij de modellering van het hydrologisch systeem van een gebied het oppervlakte-

waterpeil als randvoorwaarde voor het grondwatersysteem ingevoerd. De modellering van het hydrologisch systeem van het proefgebied is met name gericht op bepalen van de effecten van peilbeheer. Dit laatste houdt in dat juist een in de tijd variërende en van het type beheer afhankelijke waterstand in de watergangen moet worden beschouwd. Dit heeft onder andere tot consequentie dat de bergingseigenschappen van het oppervlaktewaterstelsel bekend moeten zijn. Deze

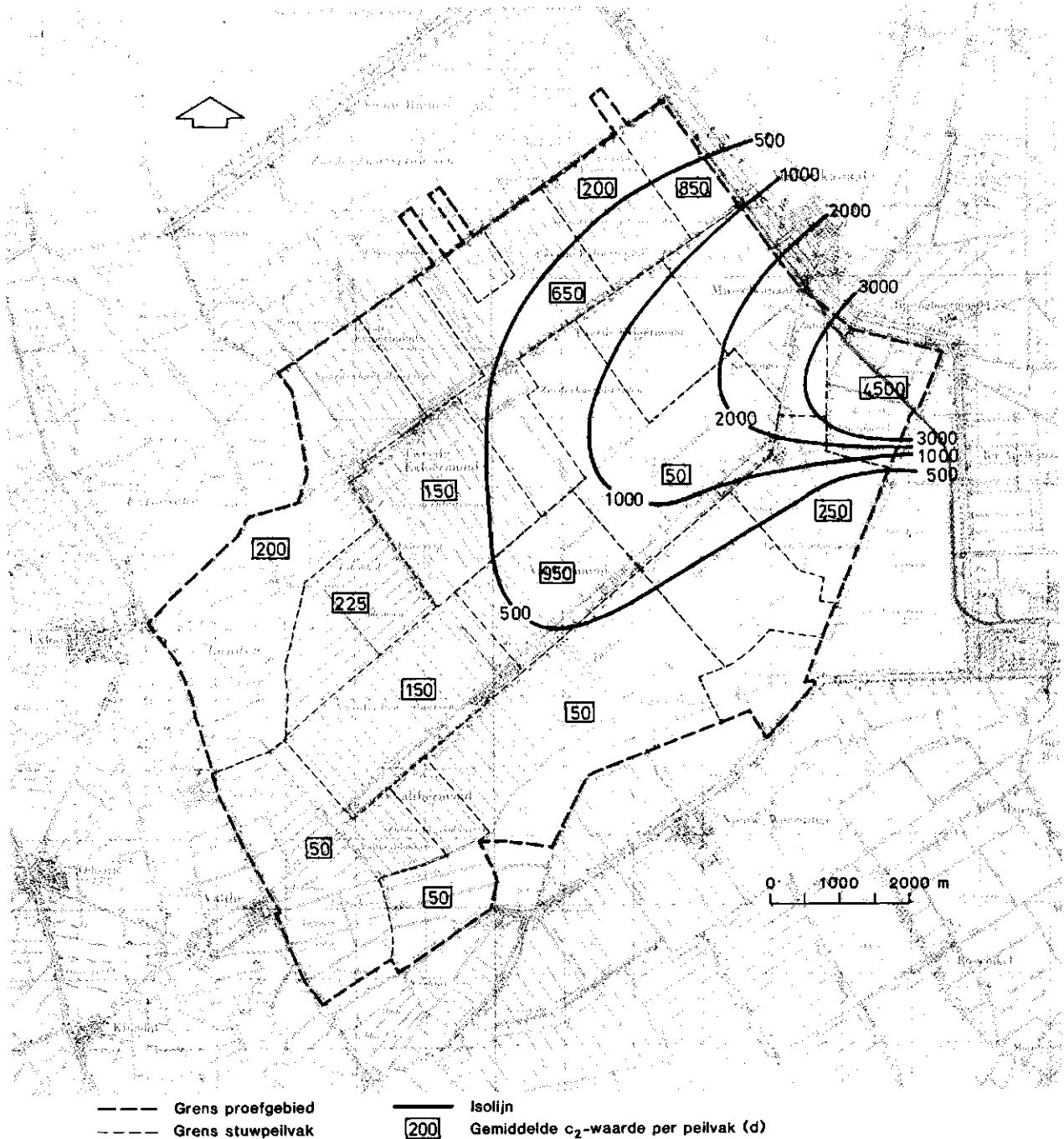


Fig. 3.6. Overzicht van globale c_2 -waarden (dagen) in 'De Monden', gebaseerd op waterbalansgegevens per peilvak en de gemeten stijghoogten in de drie watervoerende lagen (volgens VAN KEULEN, 1982)

kunnen worden afgeleid uit de geometrische en hydraulische eigenschappen van het stelsel. Met de eerste groep eigenschappen wordt bedoeld de breedte van de wijkbodem, de helling van de taluds van de watergangen en de onderlinge afstand tussen de watergangen. De hydraulische eigenschappen, met name de wandrutheid, bepalen de grootte van opstuwingen behorende bij bepaalde afvoerintensiteiten. Des te groter de wandrutheid, des te groter de opstuwung in de watergang.

Een gebruikelijke maat hiervoor is de wandruweidsefficiënt van Manning, k_M . Tot het oppervlaktewaterstelsel kunnen ook de kunstwerken (stuw en inlaatwerken) worden gerekend. Indien de waterstand benedenstrooms van een kunstwerk geen invloed uitoefent op het passerende debiet, kan voor elk kunstwerk de volgende afvoer vergelijking worden opgesteld:

$$Q = b \cdot C_d^1 \cdot h_1^n \quad (3.3)$$

waarin Q het debiet ($m^3 \cdot s^{-1}$), b de effectieve breedte van het kunstwerk (m), C_d^1 een afvoercoëfficiënt ($m^{2-n} \cdot s^{-1}$), h_1 de overstorthoogte (m) en n een exponent (-).

In paragraaf 3.6.2. zullen de uit veldwaarnemingen afgeleide parameterwaarden voor de geometrische en hydraulische eigenschappen van het proefgebied worden gegeven.

Daarnaast is het noodzakelijk te weten in welke mate het oppervlaktewaterstelsel het grondwatersysteem beïnvloedt. De meest eenvoudige manier om de relatie tussen oppervlaktewater en grondwater weer te geven is via één enkele (gebiedsgemiddelde) waarde van de weerstand tegen stroming van water tussen beide systemen, de zogenaamde ontwateringsweerstand, T . Indien de stroming plaatsvindt vanuit het grondwatersysteem naar het oppervlaktewaterstelsel wordt gesproken van drainageweerstand, in het omgekeerde geval van subinfiltratieweerstand of kortweg infiltratieweerstand.

In de meeste gebieden is de waarde van de ontwateringsweerstand afhankelijk van de grondwaterstand, omdat naarmate het grondwater hoger is meer ontwateringsmiddelen aan het afvoerproces deelnemen. Daardoor neemt de onderlinge afstand af en wordt de ontwateringsweerstand geringer. In het veenkoloniale gebied echter spelen de wijken een overheersende rol in de bepaling van de ontwateringsweerstand. De wijken zijn altijd watervoerend. Vandaar dat voor het proefgebied is aangenomen dat de ontwateringsweerstand bij benadering onafhankelijk is van de grondwaterstand.

Bepaling van de ontwateringsweerstand kan op theoretische gronden worden berekend indien de geohydrologische gegevens van het grondwatersysteem en de geometrie van het oppervlaktewaterstelsel bekend zijn (ERNST, 1962). Veelal echter ontbreken hiervoor de nodige gegevens of blijken de theoretische waarden te veel af te wijken van de in het veld voorkomende waarden. De enige mogelijkheid is in dat geval een indirecte bepaling van de ontwateringsweerstand uit waterbalansonderzoek. De resultaten van deze methode toegepast op het proefgebied worden behandeld in paragraaf 3.6.3.

3.6.2. Geometrische en hydraulische eigenschappen

Hierbij kan onderscheid worden gemaakt tussen een tertiair en een secundair oppervlaktewaterstelsel. Het tertiair oppervlaktewaterstelsel wordt gevormd door de waterlopen die alleen een ontwaterende functie hebben; het secundair oppervlaktewaterstelsel door waterlopen met een afwaterende functie. Deze laatste waterlopen zijn om die reden in onderhoud bij het waterschap.

Tertiair stelsel

Uit het onderzoek van de WERK GROEP OPSCHONEN WIJKEN (1983) is gebleken dat de waterstand in niet-opgeschoonde wijken veel sterker afhangt van de hoogte van de wijkbodem dan van de wandruwheid. Zelfs in sterk verlande wijken is de opstuwing door de begroeiing gering als gevolg van het toch altijd nog ruime profiel. Na het opschonen zal de wijkbodem meestal dieper liggen dan de laagst voorkomende waterstand. Bovendien treedt in die situatie nog minder opstuwing op zodat kan worden aangenomen dat daar het wijkpeil gelijk zal zijn aan het peil in het secundair stelsel.

Voor de bepaling van de bergingseigenschappen is verder van belang de verhouding tussen landoppervlak en wateroppervlak. Deze kan worden afgeleid uit de wijkafstand, de breedte van de wijkbodem en de taludhelling van de wijken. Voor het onderzoeksgebied kunnen hiervoor respectievelijk worden aangenomen 170 m, 4 m en 1:2. Deze waarden zijn echter niet geldig voor de randveenontginningsgebieden en nabij de Hondsrug.

Secundair stelsel

De totale lengte van het secundair stelsel in verhouding tot de totale lengte van het oppervlaktewaterstelsel is klein zodat de berging van water in dit stelsel relatief klein is. Van meer belang is echter wel de opstuwing die hierin kan optreden omdat vanwege de verzamel functie veel grote debieten kunnen voorkomen. Waarden voor de parameter k_M zijn af te leiden uit gelijktijdig gemeten opstuwingen en debieten. Dankzij een frequent door het waterschap uitgevoerd onderhoud is de spreiding in deze k_M -waarden relatief gering.

De kunstwerken worden tot het secundair stelsel gerekend. Terwille van het waterbalansonderzoek zijn van een aantal stuwen in het veld de afvoervergelijkingen (relatie tussen overstorthoogte en debiet) bepaald waarbij ook gebruik is gemaakt van de diens-ten van Provinciale Waterstaat Drenthe. Het verslag van een deel van de resultaten wordt gegeven door HOMMA (1981).

Aangezien de meeste stuwen van het type klepstuw zijn, was het noodzakelijk hiervoor een nieuw systeem voor het registreren van de overstorthoogte te ontwikkelen. De realisatie hiervan bestond uit het permanent aanbrengen op de stuw van een drukopnemer (die daarmee altijd op de plaats van de overstortrand blijft) die aan de ene kant werd aangesloten op een bovenstroomse 'stilling well' en aan de andere kant aan de buitenlucht. Een 'stilling well' is een buis die via een nauwere buis in verbinding staat met het water in de waterloop. De nauwe buis zorgt ervoor dat kort-

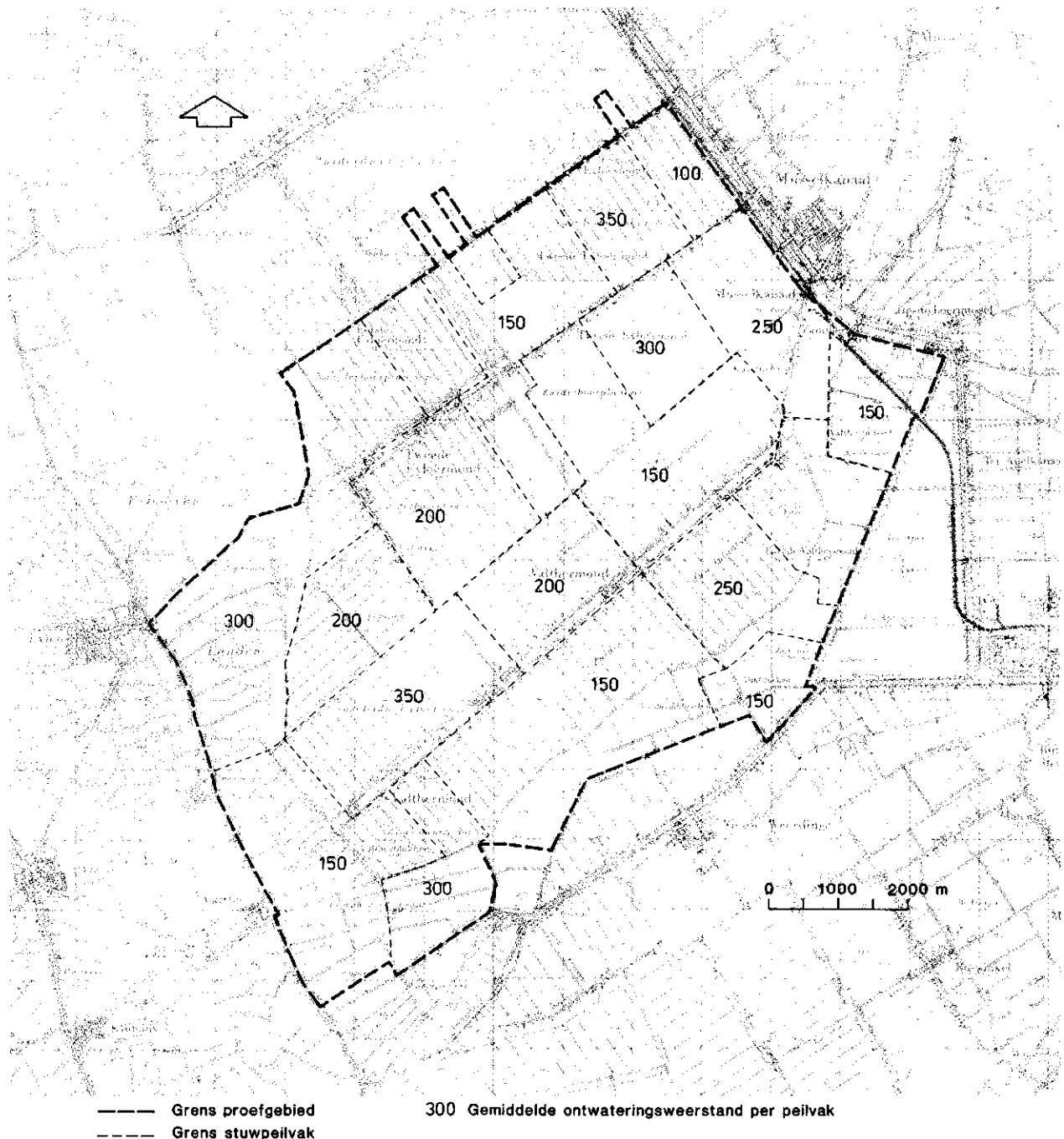


Fig. 3.7. Overzicht van ontwateringsweerstand (dagen) per peilvak in 'De Monden', afgeleid uit waterbalansgegevens en stijghoogten

stondige variaties in de waterstand worden gedempt. Voor een uitgebreide beschrijving van meetprincipe, opstelling en dergelijke wordt verwezen naar HOMMA (1980).

Niet alle overstorthoogten werden continu geregistreerd. De kleinere stuwten werden wekelijks waargenomen.

3.6.3. Relatie oppervlaktewater - grondwater

Uit gelijktijdige meting van grondwaterstanden tussen de wijken, wijkpeilen en aan/afvoerhoeveelheden via de wijken is de ontwateringsweerstand te berekenen. Door toepassing van gemiddelde stijghoogteverschillen tussen grond- en oppervlaktewater en afvoeren van een peilvak kan een gemiddelde waarde van een peilvak worden bepaald. De ontwateringsweerstand-

kaart die op deze manier werd gevonden, is afgebeeld in fig. 3.7 (zie ook VAN KEULEN, 1982). Berekeningen op grond van metingen verdeeld in perioden met afvoer en met subinfiltratie toonden verder aan dat er geen significant verschil bestaat tussen de drainage- en subinfiltratieweerstand (WERKGROEP OPSCHONEN WIJKEN, 1983).

3.7. KOPPELING TUSSEN DE ONDERDELEN VAN HET HYDROLOGISCH SYSTEEM

Peilbeheer is geen doel op zich. Alleen van belang is in hoeverre daarmee de groeiomstandigheden voor de gewassen worden beïnvloed. Daarvoor is het noodzakelijk om de relaties tussen de in de vorige paragraaf besproken onderdelen van het hydrologisch systeem te kennen. Tussen deze onderdelen bestaat een koppeling of onderlinge wisselwerking (zie fig. 3.1).

De koppeling tussen gewas- en atmosfeersysteem en onverzadigde zone vindt plaats aan het bodemoppervlak (bodemverdamping of infiltratie) en via de opname van water via de wortels. Zoals in paragraaf 3.3 is betoogd, is aangenomen dat bodemverdamping en infiltratie niet worden beïnvloed door het peilbeheer. Zij kunnen dus, evenals de potentiële gewasverdamping, als gegeven randvoorwaarde bij de modelberekeningen worden ingevoerd.

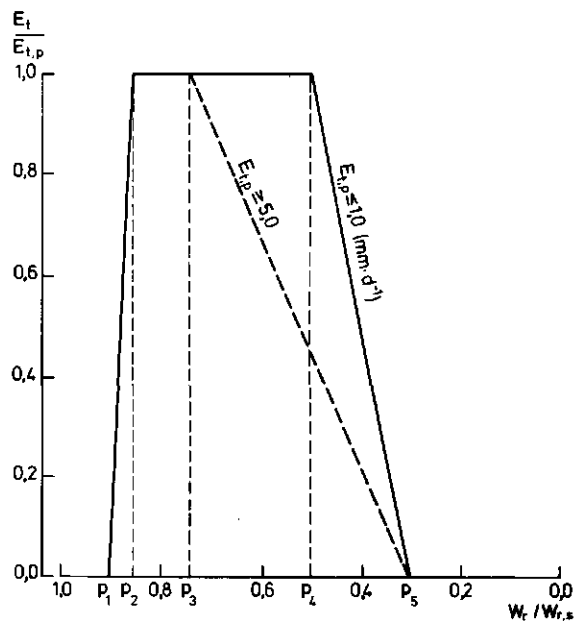


Fig. 3.8. Verband tussen de relatieve gewasverdamping ($E_t/E_{t,p}$) en het relatieve vochtgehalte in de wortelzone ($W_r/W_{r,s}$) voor $E_{t,p} \leq 1,0 \text{ mm.d}^{-1}$ en $E_{t,p} \geq 5,0 \text{ mm.d}^{-1}$ (vrij naar FEDDES et al., 1978)

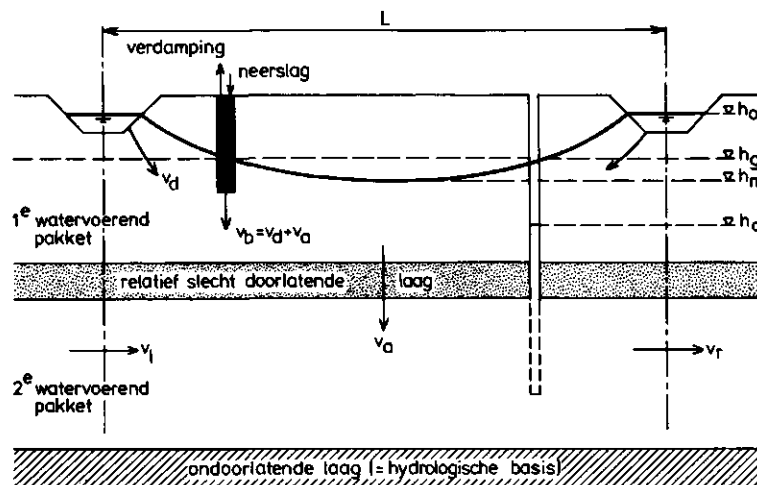


Fig. 3.9. Schematisch voorstelling van de verschillende grondwaterstromingen in het geval van subinfiltratie en wegzijging (naar BELMANS et al., 1983)

- h_o = waterstand in het oppervlaktewaterstelsel (m)
- h_g = gemiddelde grondwaterstand (m)
- h_m = grondwaterstand midden tussen de sloten (m)
- h_a = grondwaterstand in regionaal watervoerende laag (m)
- v_b = specifiek debiet over grensvlak verzadigd/onverzadigd (m.d^{-1})
- v_d = specifiek debiet naar oppervlaktewaterstelsel (m.d^{-1})
- v_l } grondwaterstroming in regionaal watervoerende laag (m.d^{-1})
- v_r }
- v_a = kwel of wegzijging (m.d^{-1})
- L = slootafstand (m)

Voor de opname van water via de wortels is de koppeling tussen vochttoestand in de wortelzone en gewasverdamping als volgt gemodelleerd. De bovenwaarde van wateropname vanuit de onverzadigde zone is de uit meteorologische gegevens berekende potentiële gewasverdamping, $E_{t,p}$. Deze bovenwaarde wordt daadwerkelijk ook onttrokken indien de vochttoestand in de wortelzone ideaal is. Bij te natte of te droge omstandigheden treedt een reductie van de onttrekking (en dus van de verdamping) op volgens een bepaald verloop. Hiervoor is een relatie opgesteld tussen het relatief vochtgehalte, $W_r/W_{r,s}$ (verhouding tussen aanwezige hoeveelheid vocht, W_r , en hoeveelheid vocht bij volledige verzadiging, $W_{r,s}$) en een reductiefactor, α_r , (verhouding tussen werkelijke en potentiële gewasverdamping). In fig. 3.8 wordt de relatie, zoals gebruikt voor de modellering, weergegeven. Over de waarden van met name p_1 en p_2 die bepalen hoe het gewas reageert op wateroverlast, is weinig bekend. In Hoofdstuk 5 zal hier nader op worden ingegaan. De waarden van p_3 en p_4 zijn afgeleid van de overeenkomstige relatie in het model SWATRE; p_5 is het verwelkingspunt.

De koppeling tussen onverzadigde en verzadigde zone is gemodelleerd door een relatie tussen het specifiek debiet over het grensvlak onverzadigd, verzadigd en grondwaterstand. De relatie is te schrijven als:

$$v_b = v_d + v_a \quad (3.4)$$

waarin v_b het specifiek debiet over het grensvlak ($m \cdot d^{-1}$), v_d het specifiek debiet naar het oppervlaktewaterstelsel ($m \cdot d^{-1}$) en v_a de kwel of wegzijging ($m \cdot d^{-1}$). In fig. 3.9 wordt deze wijze van modelleren weergegeven. In paragraaf 3.8 zal worden besproken hoe op basis van deze vergelijking een reactie kan worden gelegd met het peilbeheer.

3.8. NUMERIEKE MODELLERING

Doel van het ontwerpen van een numeriek model voor het peilbeheer is het kunnen simuleren van verschillende beheersalternatieven. Per alternatief worden open waterpeilen, grondwaterstanden, verdamping, etc. berekend. Door onderlinge vergelijking kan worden afgeleid welke effecten de doorgerekende alternatieven hebben. Bovendien kunnen numerieke modellen worden gebruikt bij het dagelijks peilbeheer.

De noodzakelijke onderdelen c.q. processen die bij de modellering een rol spelen, zijn in de vorige paragrafen in vrij abstracte termen beschreven. De onderlinge samenhang is aanschouwelijk gemaakt in

fig. 3.10. Van dit systeem is een één-dimensionaal model ontworpen dat is vertaald in het computerprogramma PEILBEHEER. Hierna zullen alleen de hoofdlijnen van dit model worden behandeld. Voor gedetailleerde gegevens zij verwezen naar VAN BAKEL (1984).

Het één-dimensionale karakter houdt in dat alle onderdelen en processen moeten worden vertaald naar toestandsvariabelen c.q. stromingen per eenheid van oppervlakte.

Bij de modellering van de verzadigde zone is aangesloten op de conceptuele aanpak van RIJTEMA (1969), die is vervolmaakt door DE LAAT (1982). In dit concept wordt de wortelzone voorgesteld door één reservoir waarvan de inhoud synoniem is met de hoeveelheid vocht. De verandering in de tijd van deze hoeveelheid wordt berekend uit het saldo van infiltratie door het maaiveld en de bodemverdamping, de (te berekenen) actuele gewasverdamping en de percolatie en capillaire opstijging. De reductie van de potentiële gewasverdamping is gekoppeld aan deze hoeveelheid bodemwater volgens de relatie in fig. 3.8. Uit de wortelzone percoleert water indien de hoeveelheid vocht de hoeveelheid behorende bij de evenwichtssituatie (geen stroming) in de onverzadigde zone overschrijdt. Deze evenwichtssituatie is een functie van de grondwaterstandsdiepte, h^* . Capillaire opstijging, dat wil zeggen transport vanuit de verzadigde zone naar de wortelzone, treedt op als de hoeveelheid bodemwater kleiner is dan de evenwichtshoeveelheid en wordt in het model berekend als een functie van h^* en de hoeveelheid bodemwater in de wortelzone.

De ondergrond, dat wil zeggen de laag tussen wortelzone en diepste grondwaterstand, is eveneens gemodelleerd als één reservoir. De inhoudsverandering hiervan is het saldo van: percolatie uit de wortelzone, capillaire opstijging naar de wortelzone en specifiek debiet over de onderkant van de onverzadigde zone. Uit de inhoudsverandering wordt het grondwaterstandsverloop berekend via een relatie tussen de bergingscoëfficiënt μ , de grondwaterstandsdiepte en het specifieke debiet naar of vanuit de wortelzone.

Bij de berekening van het specifiek debiet over het grensvlak onverzadigd - verzadigd wordt de relatie gelegd met het peil in het oppervlaktewater en de regionale grondwaterstroming door gebruik te maken van vergelijking (3.4): $v_b = v_d + v_a$. De term v_d is te schrijven als:

$$v_d = \frac{h_g - h_o}{\eta_f T} \quad (3.5)$$

waarin h_g de gemiddelde grondwaterstand (m), h_o het oppervlaktewaterpeil (m), η_f de vormfactor van het

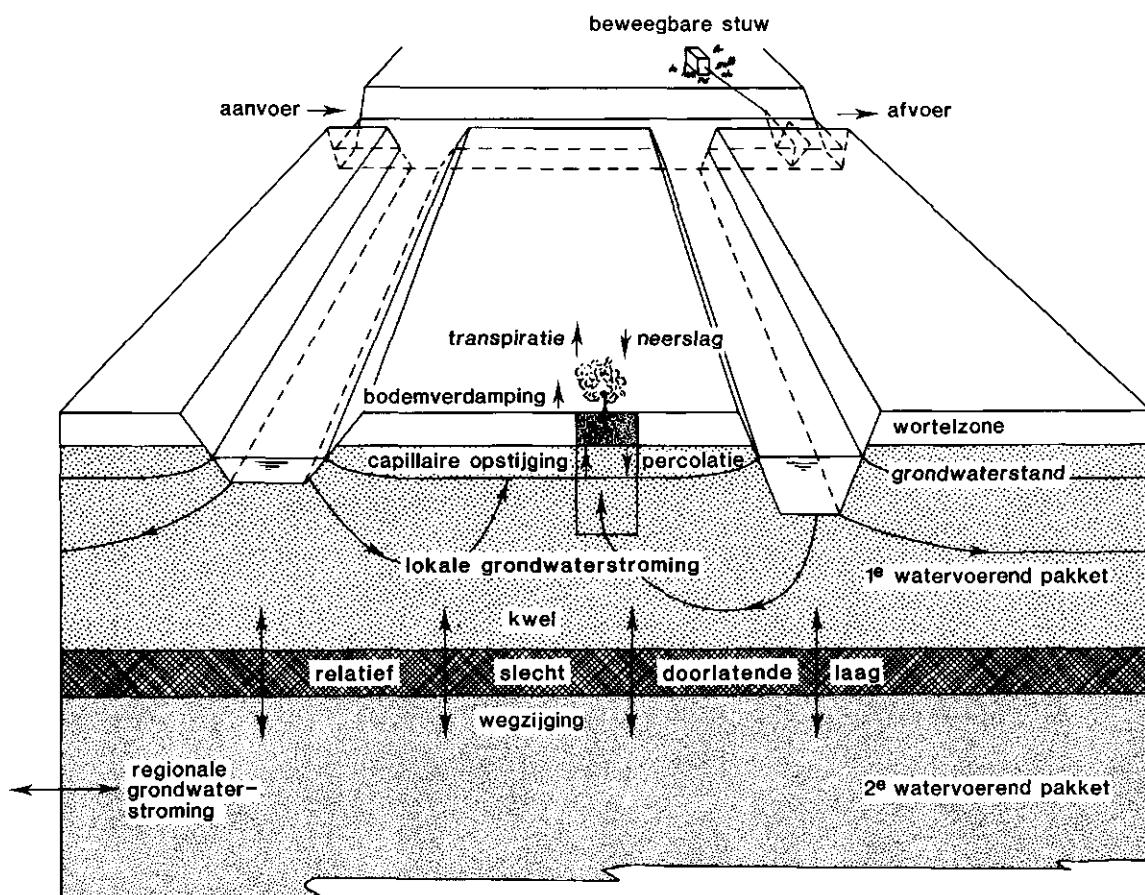


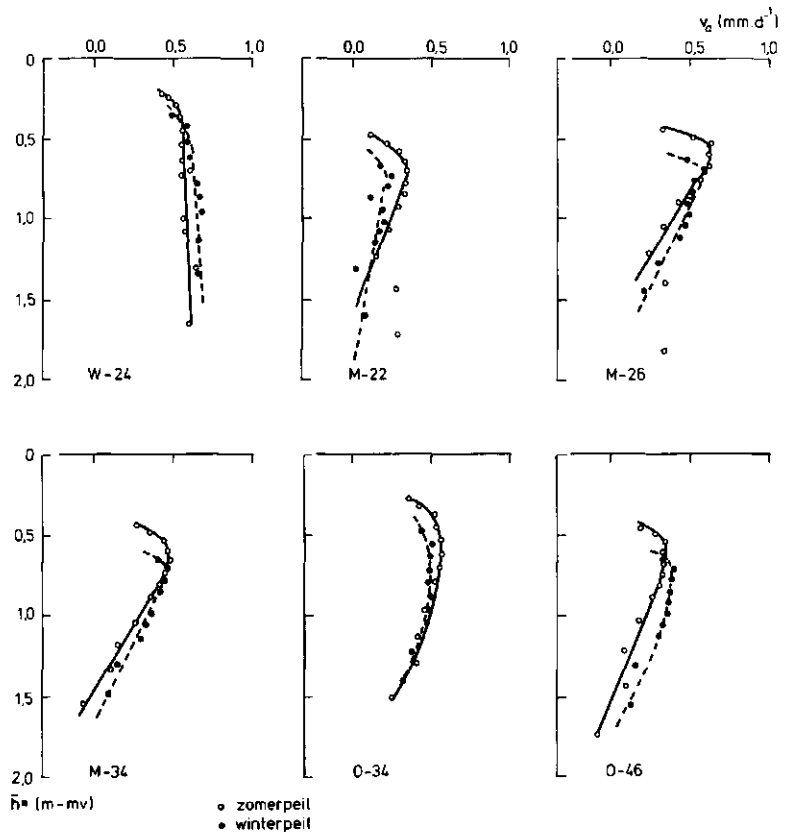
Fig. 3.10. Schematische weergave van onderdelen en processen van het in PEILBEHEER gemodelleerde hydrologische systeem

freatisch vlak en T de ontwateringsweerstand (dagen). Met de term v_a wordt de kwel of wegzijging in rekening gebracht. Met deze term kunnen dus de regionale grondwaterstroming en de effecten van peilbeheer in rekening worden gebracht. In het algemeen hangt deze kwel of wegzijging af van de grondwaterstand en het open waterpeil op de plaats zelf en van de grondwaterstanden en de open waterpeilen elders. Aangezien beide grootheden in de tijd variëren, varieert ook de kwel of wegzijging. Met behulp van het model voor de verzadigde grondwaterstroming FEMSATS (VAN BAKEL, 1978; QUERNER, 1984) wordt door het invoeren van verschillende grootten van het specifieke debiet op het freatisch vlak, per peilvak de relatie berekend tussen kwel of wegzijging en de combinatie van grondwaterstandsdiepte en open waterpeil. Deze zogenaamde $v_a(h^*, h_0)$ -relaties worden door SMIDT (1984) weergegeven. In fig. 3.11 worden een aantal voorbeelden gegeven. Bij de berekening van deze $v_a(h^*, h_0)$ -relaties horen de veronderstellingen dat 1) de open water-

peilen in het gehele gebied op dezelfde wijze en gelijktijdig fluctueren en 2) dat de flux op het freatisch vlak eveneens overal dezelfde waarde heeft. Beide veronderstellingen zijn maar ten dele juist. Uit aanvullende berekeningen kon worden afgeleid dat de hierdoor veroorzaakte systematische fout op een bepaald tijdstip in de grootte van de kwel van een peilvak maximaal $0,25 \text{ mm.d}^{-1}$ kan bedragen. Deze fout treedt echter slechts gedurende korte tijd en meestal buiten het groeiseizoen op, zodat kan worden gesteld dat met de, met FEMSATS bepaalde, $v_a(h^*, h_0)$ -relaties de regionale grondwaterstroming goed in rekening wordt gebracht. In het volgende hoofdstuk zal aan de hand van resultaten van een uitgevoerde gevoeligheidsanalyse worden aangetoond dat het wel noodzakelijk is verschillen in kwel/wegzijging en de regionale effecten van peilbeheer in rekening te brengen.

Het één-dimensionale karakter van het model PEILBEHEER houdt voor het oppervlaktewaterstelsel het volgende in. De term v_d is uitgedrukt per eenheid van

Fig. 3.11. Relatie tussen kwel/wegzijing v_a (mm.d⁻¹) en de gemiddelde grondwaterstandsdiepte \bar{h}^* (m-mv) van een zestal peilvakken in het proefgebied 'De Monden'. Onderscheid is gemaakt tussen de zomer en de wintertoestand. De nummering van de stuwpeilvakken komt uit fig. 2.13



oppervlakte. Stel nu dat 95% van de oppervlakte bestaat uit land en 5% uit open water. Het specifiek debiet door het grensvlak grondwater - oppervlaktewaterstelsel wordt daarmee $\frac{0,95}{0,05}$ keer groter dan het specifiek debiet door het grensvlak onverzadigd- verzadigd. Ook de aan- en afvoeren via de kunstwerken moeten worden uitgedrukt per eenheid van oppervlakte. Voor de berekening van de afvoer over een stuw moet daartoe de representatieve breedte in de afvoerkromme worden ingevuld. De bergingsmogelijkheden in het oppervlaktewater tenslotte kunnen worden berekend uit de breedte van de waterspiegel (die afhangt van het open waterpeil), de bodembreedte, de bodemdiepte en de taludhelling.

Een belangrijk punt is hoe het nu met dit model het peilbeheer wordt gesimuleerd. Daartoe is de stuw modelmatig voorgesteld als een niveau (de kruin), dat met een bepaalde (in te voeren) snelheid omhoog of omlaag kan bewegen, afhankelijk van het feit of de berekende waterstand bovenstrooms van de stuw zich beneden respectievelijk boven een ingesteld streefpeil bevindt. Hierbij wordt een zekere (in te voeren) speling getolereerd alvorens ook in het model het niveau van de kruin wordt bijgesteld. Het instellen van het streefpeil door het model gebeurt aan de hand van een aantal beheersregels. Hieraan zal een apart hoofdstuk worden gewijd.

Met het model PEILBEHEER kunnen de effecten van peilbeheer op de gewasverdamming voor één plek worden gesimuleerd. Daartoe moeten plaats specifieke gegevens worden ingevoerd, zoals de bodemfysische parameters, de ontwateringsweerstand en de kwel- of wegzijgingsrelaties. In theorie is het aantal voorkomende situaties praktisch oneindig. Echter door gebrek aan gegevens en/of tijd is per peilvak één representatieve situatie doorgerekend. De resultaten hiervan staan beschreven in Hoofdstuk 7. Uit wetenschappelijk oogpunt is het echter noodzakelijk allereerst te trachten de invoergegevens te verbeteren, na te gaan of het model ook als afbeelding van de werkelijkheid voldoet en om via gevoeligheidsanalyses te achterhalen welke gegevens van (grote) invloed zijn op de resultaten.

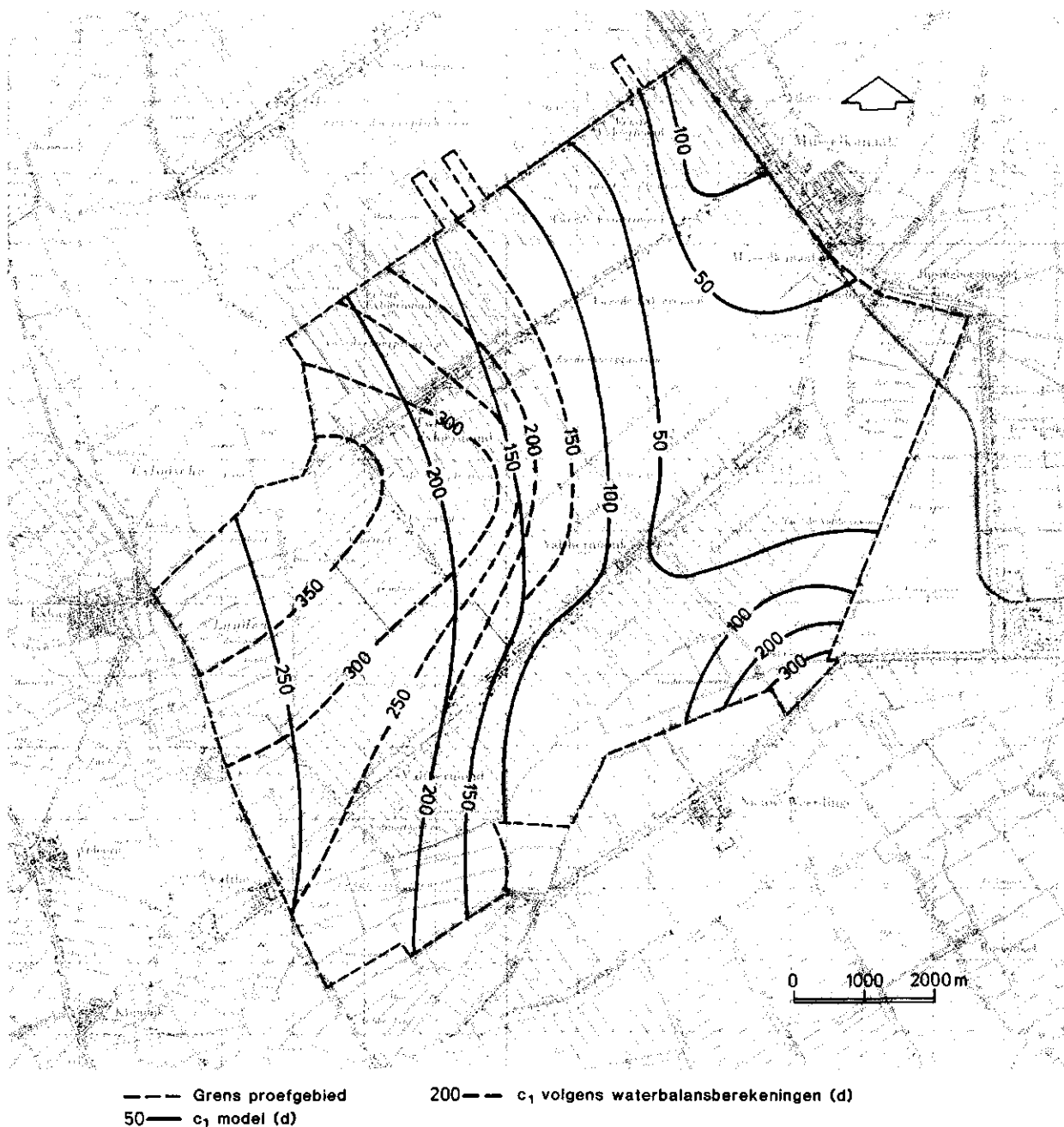


Fig. 4.1. Vergelijking tussen de met het model FEMSATS berekende en de uit waterbalansgegevens afgeleide c_1 -waarden (dagen) in het proefgebied 'De Monden'

4. IJKING, VERIFICATIE EN GEVOELIGHEIDSANALYSE

4.1. IJKING VAN HET MODEL VOOR DE VERZADIGDE ZONE

Onder ijking of calibraties wordt hier verstaan het aanpassen van de beginwaarden van parameters door het vergelijken van modeluitkomsten met veldwaarnemingen. In principe komen alle parameters voor aanpassing in aanmerking, doch in dit onderzoek is het be-

perkt tot de c -waarden van de weerstandbiedende lagen en de ontwateringsweerstand per peilvak. Beide grootheden zijn namelijk niet of moeilijk rechtstreeks te bepalen, terwijl ze voor een goede beschrijving van het hydrologisch systeem van groot belang zijn. De ijking is uitgevoerd via de 'trial and error' methode met behulp van het model voor de verzadigde grondwaterstroming, FEMSATS. Daarbij worden via een rationele bijstelling van c -waarden en ontwateringsweerstand de modeluitkomsten zo goed mogelijk in overeenstemming

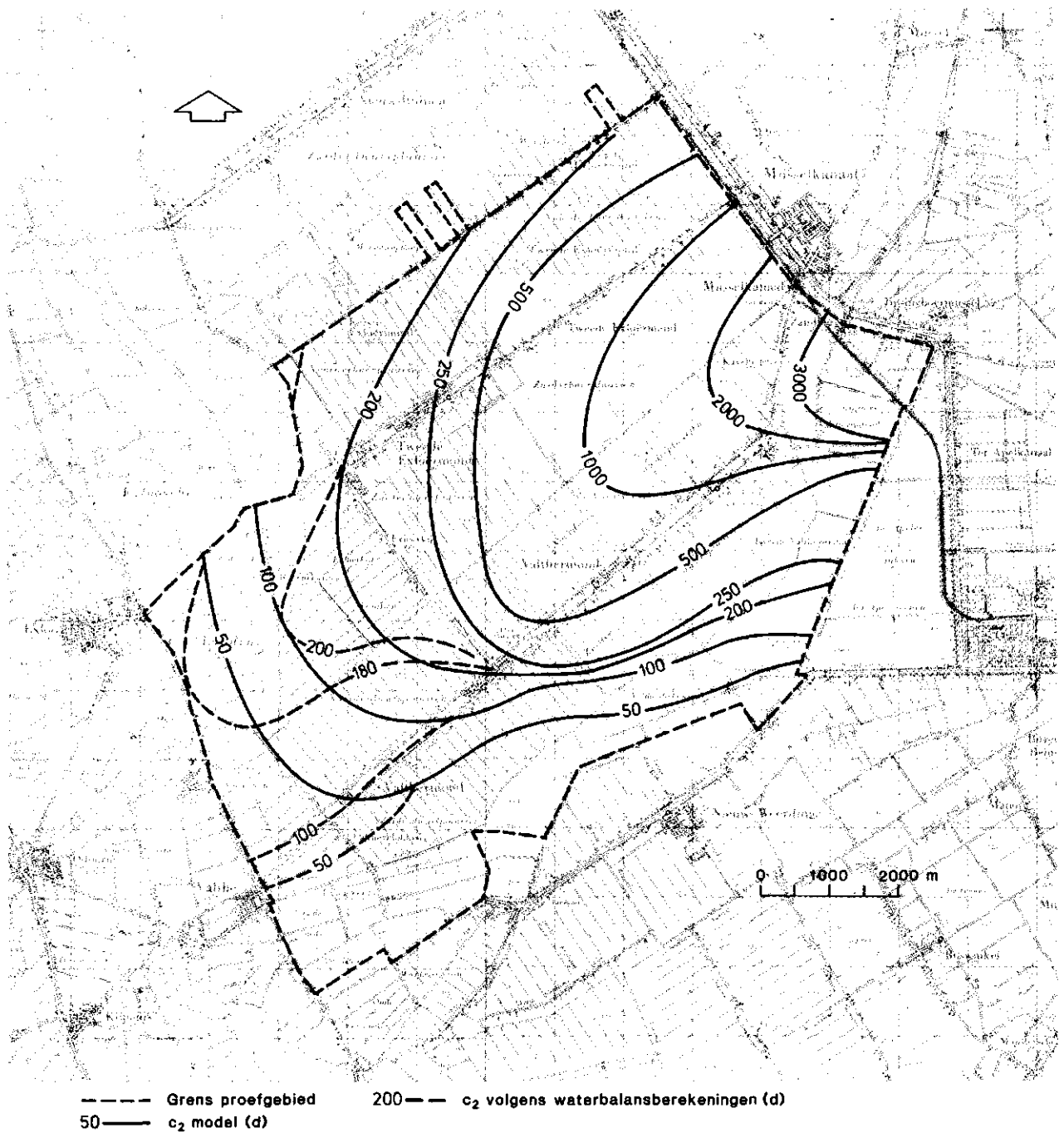


Fig. 4.2. Vergelijking tussen de met het model FEMSATS berekende en de uit waterbalansgegevens afgeleide c_2 -waarden (dagen) in het proefgebied 'De Monden'

gebracht met de veldwaarnemingen. In fig. 4.1 tot en met 4.3 is te zien tot welke bijstellingen van de beginwaarden dit heeft geleid.

De c_1 en c_2 -waarde zijn alleen in het westelijk deel van het gebied aangepast. De noodzakelijke verkleining van de c_2 -waarden in dit gedeelte is in overeenstemming met gegevens over de verbreiding van de Cromerklei (POMPER, 1981). De aangepaste c_1 -waarden

vertonen een geleidelijke toename naar het westen overeenkomstig de schaarse gegevens over de verbreiding van de Eemklei.

In enkele peilvakken was een aanzienlijke bijstelling van de ontwateringsweerstand nodig. In de meeste gevallen kan dat worden verklaard uit in het veld voorkomende verschillen in onderhoudstoestand van de wijken of uit het voorkomen van een diepe hoofdwatergang. In een enkel geval echter kon een dergelijke verklaring niet worden gegeven.

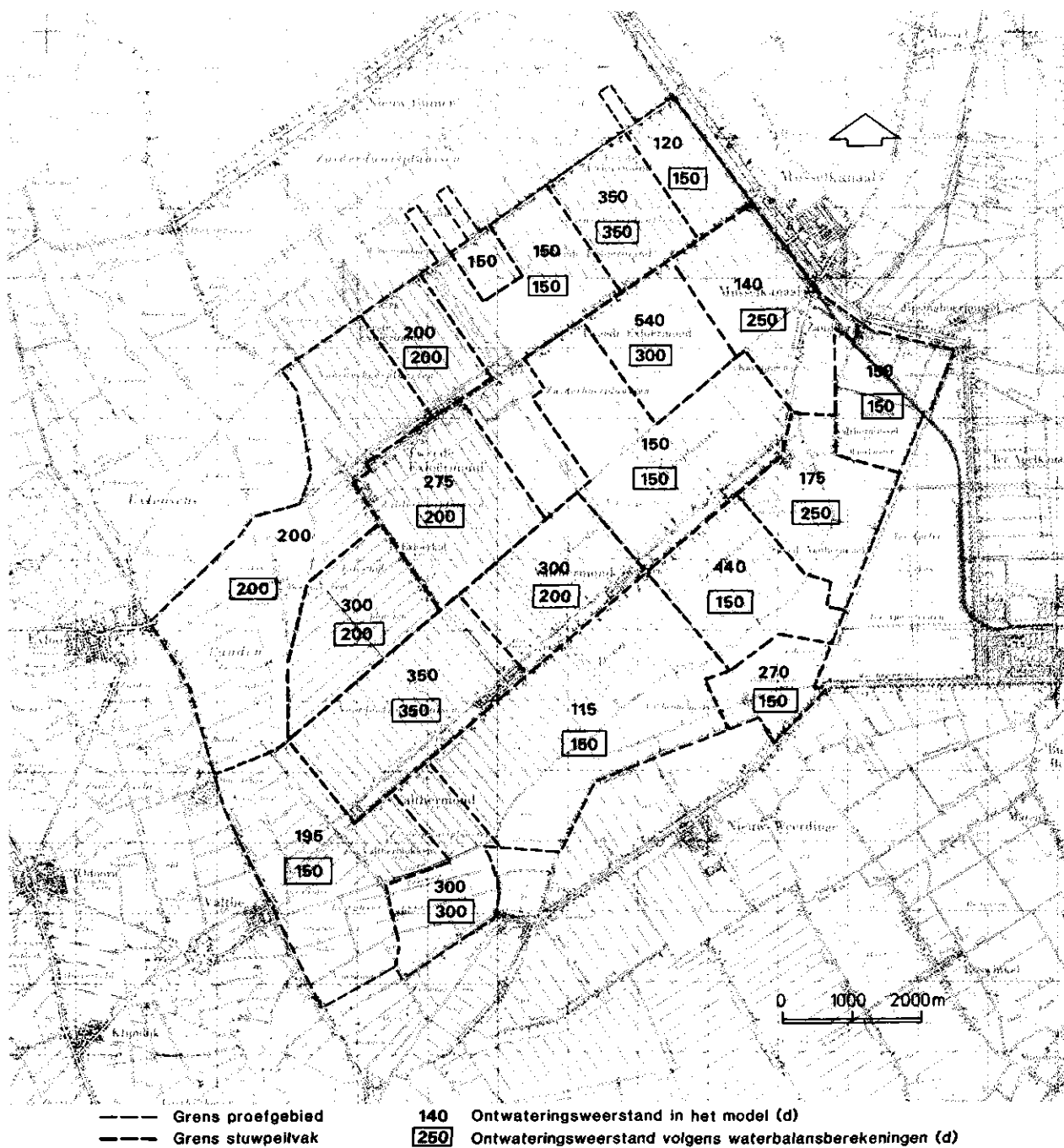


Fig. 4.3. Vergelijking tussen de met het model FEMSATS berekende en de uit waterbalansgegevens afgeleide ontwateringsweerstand (dagen) in het proefgebied 'De Monden'

Als voorbeeld van het uiteindelijke resultaat van de ijkingfase wordt in fig. 4.4 een vergelijking gegeven van gemeten en berekende stijghoogten van het water in het eerste watervoerende pakket. De procentuele afwijkingen tussen berekende en gemeten afvoer van de verschillende peilvakken gedurende de periode 10/10/80 tot 27/2/81 zijn, op één uitzondering na lager dan 40%.

Uit de vergelijking van alle gemeten en berekende stijghoogten en afvoeren is de conclusie getrokken dat de overeenkomst bevredigend is. Het regionale patroon van kwel en wegzijging wordt goed gesimuleerd, hetgeen voor de berekening van de effecten van peilbeheer het belangrijkste is. Voor een meer uitgebreide beschrijving van de ijking van het model wordt verwezen naar SMIDT (1984).

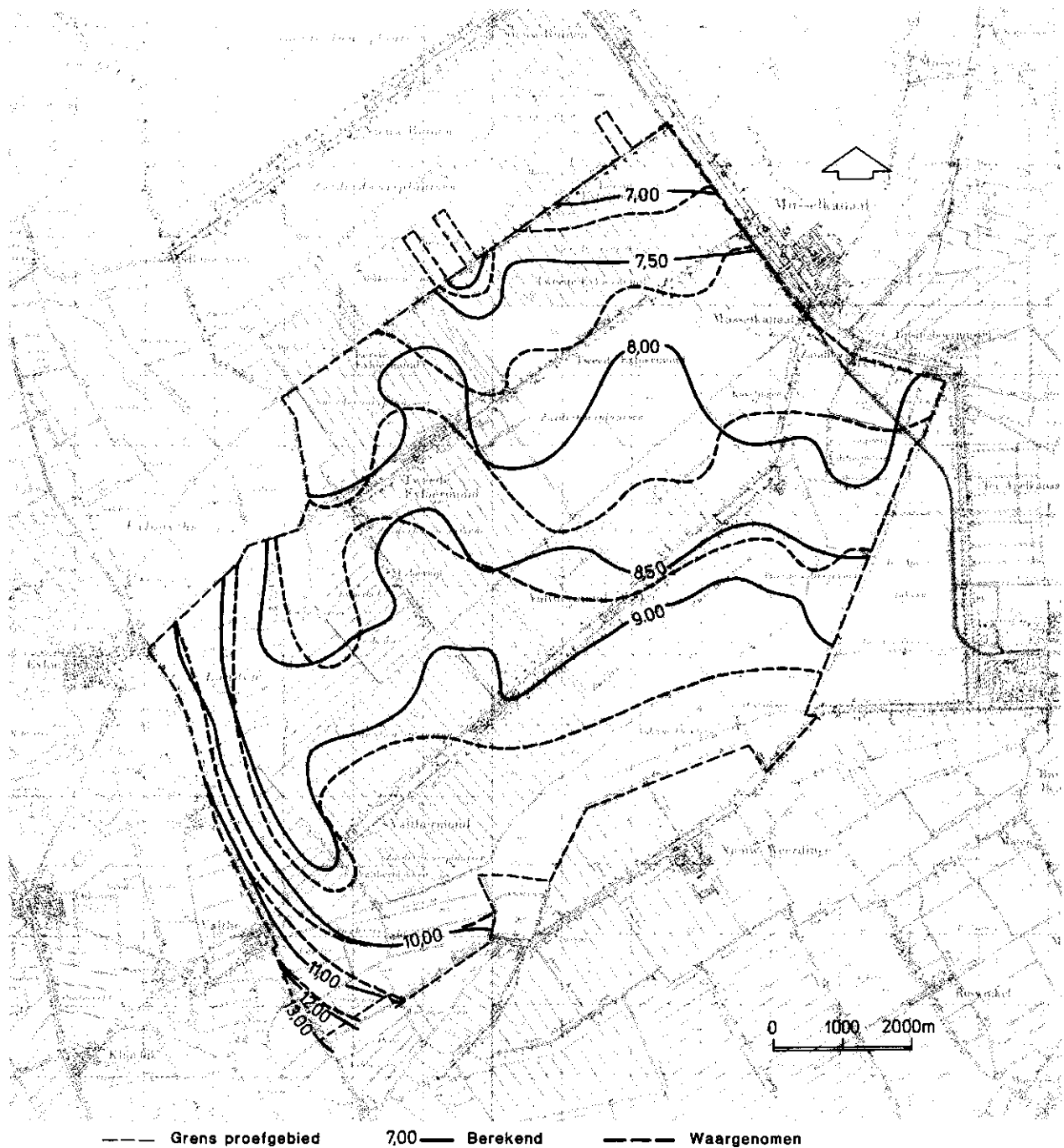


Fig. 4.4. Vergelijking tussen het met het model FEMSATS berekende isohypserpatroon van het eerste watervoerende pakket en de waargenomen stijghoogten (m +NAP) gedurende de winter 1980/1981

4.2. VERIFICATIE

Onder verificatie wordt verstaan het toetsen van modeluitkomsten aan de werkelijkheid. Indien met het model een ijking is uitgevoerd, moet voor de toetsing een andere periode worden genomen dan die gebruikt voor de ijking, daar anders een schijntoetsing wordt uitgevoerd.

Verificatie van het model voor de verzadigde zone is niet uitgevoerd omdat a) uit gevoeligheidsanalyses naar voren kwam dat het berekende patroon van kwel of wegzijging niet noemenswaardig verandert ten gevolge van aangebrachte veranderingen in de geohydrologische constanten en b) de onnauwkeurigheden van de gemeten stijghoogten en afvoeren te groot is om duidelijke uitspraken te kunnen doen over het al dan niet goed zijn van de parameterwaarden in het model.

De belangrijkste modeluitkomst van het model PEILBEHEER is de actuele verdamping in relatie tot de potentiële waarde. Bij verificatie ervan dient daarom een vergelijking te worden gemaakt met de werkelijk opgetreden reductie in gewasverdamping. Deze toetsing was echter niet goed mogelijk omdat over de meetperiode (1978 t/m 1981) vrijwel geen reductie in de gewasverdamping optrad. Het verloop van de berekende gewasverdamping gedurende deze periode wordt daarom vrijwel uitsluitend bepaald door het niveau van de potentiële gewasverdamping. Zoals in paragraaf 3.3 is besproken is deze laatste een invoergegeven. Daarom is een andere methode gevolgd en wel het uitvoeren van een vergelijking van de uitkomsten van het model PEILBEHEER met die van het met een module voor peilbeheer uitgebreide model SWADRE over de periode 1971 tot en met 1982. Van dit laatste model, SWADRE (SWATRE-DRENTHE) genoemd, is een gebruikershandleiding beschikbaar (KEESMAN en VAN BAKEL, 1985). Het gedeelte over de onverzadigde stroming en verdamping is reeds in veel situaties geverifieerd (zie o.a. FEDDES et al., 1978 en DE GRAAF en FEDDES, 1984).

Voor het proefgebied is deze verificatie uitgevoerd met gegevens over de jaren 1980 en 1981 van vier in het proefgebied opgestelde lysimeters (DE GRAAF, 1982). De voornaamste uitkomsten waren dat:

- in 1980 de actuele gewasverdamping te laag werd berekend, omdat de potentiële verdamping te laag werd berekend;
- in 1981 de overeenkomst in alle termen van de waterbalans zeer goed was;
- het grondwaterstandsverloop in beide jaren goed werd berekend.

Hieruit kan worden geconcludeerd dat, zelfs bij gebruik van een zeer geavanceerd model als het gemodificeerd model SWADRE, verificatie van modellen voor de berekening van reducties in gewasverdamping in jaren met een gering neerslagtekort inderdaad problematisch is.

Uitkomsten van de vergelijking tussen de resultaten van SWADRE en PEILBEHEER zijn weergegeven in fig. 4.5 en tabel 4.1. Figuur 4.5 toont het verloop van de gesimuleerde grondwaterstand voor een willekeurige situatie, berekend met beide modellen, voor drie jaren. In tabel 4.1 zijn de met beide modellen berekende verdampingen vergeleken. Uiteraard zijn voor beide modellen, voorzover nodig, dezelfde parameterwaarden gebruikt. De conclusie is dat het model PEILBEHEER - ondanks de sterke vereenvoudigingen - in voldoende mate de hydrologische processen weergeeft en dus geschikt is als simulatiemodel. Daarmee is nog niet bewezen dat de parameterwaarden, die in dit model moeten worden ingevoerd, juist waren. Met name de waarden van bodemfysische eigenschappen, die uit laboratoriumonderzoek en via de methode BLOEMEN worden verkregen c.q. berekend, vertonen een grote spreiding.

Omdat de bodemfysische eigenschappen sterk bepalend zijn voor het vochtleverend vermogen van de grond, zullen de locale en regionale verschillen hierin grote invloed hebben op het ruimtelijk patroon van verdampingsreductie in een situatie van watertekort. Met behulp van warmtebeelden, opgenomen vanuit een vliegtuig, was het mogelijk het regionale patroon van verdampingsreductie op 4 augustus van het droge jaar 1982 vast te leggen. Voor de achtergronden van deze techniek wordt verwezen naar SOER (1980). Een verslag van de vluchtresultaten wordt gegeven door VAN POELJE e.a. (1983) en door NIEUWENHUIS et al. (1985). De via warmtebeelden 'gemeten' verdampingsreductie is voor

Jaar	Conservering		Aanvoer met capaciteit van 1,5 mm.d ⁻¹		Aanvoereffect (mm.j ⁻¹)	
	SWADRE	PEILBEHEER	SWADRE	PEILBEHEER	SWADRE	PEILBEHEER
1971	302	297	313	316	11	19
1972	291	294	290	294	- 1	0
1973	282	276	284	280	2	4
1974	298	298	300	300	2	2
1975	294	293	315	314	21	21
1976	299	284	328	328	29	44
1977	265	257	267	268	2	11
1978	273	270	274	273	1	3
1979	248	249	248	249	0	0
1980	227	227	221	222	- 6	- 5
1981	249	248	250	248	1	0
1982	282	277	292	290	10	13
Gem.	275,7	272,5	281,7	281,9	6,0	9,4
Gem. seizoensaanvoer (mm)			57	71		

Tabel 4.1. Vergelijking van actuele gewasverdamping (mm.j⁻¹) berekend met de modellen SWADRE en PEILBEHEER, voor twee beheersalternatieven

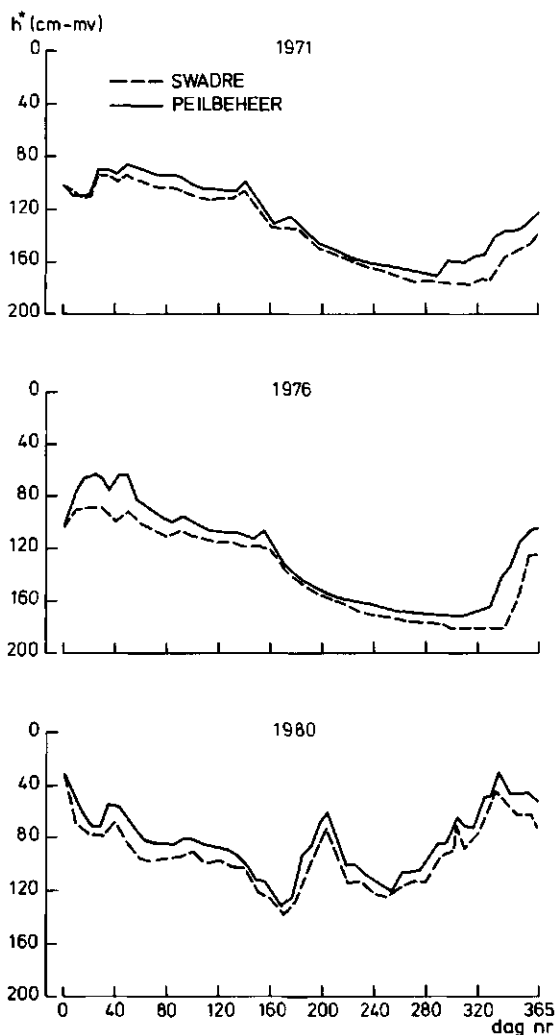


Fig. 4.5. Verloop van de grondwaterstandsdiepte (h^*) in 1971, 1976 en 1980 berekend volgens de modellen SWADRE en PEILBEHEER

een aantal bodemprofielen vergeleken met de reductie berekend met het model PEILBEHEER waarbij de aan deze profielen toegekende bodemfysische eigenschappen werden gebruikt. Uit deze vergelijking volgt dat de bodemfysische eigenschappen correct waren, met uitzondering van die voor de diepe veengronden aan de voet van de Hondsrug. Deze laatste profielen gaven een lagere reductie dan berekend met PEILBEHEER, hetgeen naar alle waarschijnlijkheid te wijten is aan te laag ingevoerde waarden voor onverzadigde doorlatendheden van de veenondergrond.

4.3. GEVOELIGHEIDSANALYSE

4.3.1. Algemeen

Doel van een gevoeligheidsanalyse is het zichtbaar maken van de invloed van veranderingen in de waarden van de verschillende parameters op de modeluitkomsten.

Hoe groter de gevoeligheid, hoe nauwkeuriger het betreffende invoergegeven bekend moet zijn. Men kan minimaal twee soorten gevoeligheid onderscheiden: de invloed op de absolute hoogte van de uitkomst en de invloed op de te berekenen effecten. Zo heeft bijvoorbeeld de ontwateringsweerstand veel invloed op het conserverings- c.q. aanvoereffect. In dit onderzoek gaat het primair om de effecten. Daarom is de volgende werkwijze gekozen. Allereerst is een referentie-situatie gedefinieerd met waarden voor de invoergegevens die representatief zijn voor een gemiddelde situatie c.q. op basis van voorhanden zijnde kennis het meest aanvaardbaar zijn. Vervolgens is voor deze referentiesituatie de langjarige gemiddelde gewasverdamping berekend (1971 t/m 1982) voor de beheersalternatieven:

- vaste stuw op 1,40 m-mv
- conservering
- aanvoer met een capaciteit van $1,5 \text{ mm.d}^{-1}$

Het verschil tussen b en a levert het conserveringseffect; het verschil tussen c en b het aanvoereffect. Bij alternatief c wordt ook de langjarige gemiddelde aanvoer berekend. Deling van het aanvoereffect door de aanvoerhoeveelheid levert de langjarige gemiddelde aanvoerefficiëntie. Ten opzichte van deze referentiesituatie wordt vervolgens één invoergegeven gewijzigd en worden opnieuw het conserveringseffect, het aanvoereffect en de aanvoerefficiëntie berekend. De veranderingen in effecten en die in de aanvoerefficiëntie dienen als maat voor de gevoeligheid. Van de vele parameters en relaties waarvan de gevoeligheid is nagegaan zullen alleen de meest belangrijke worden besproken. De gevoeligheid van parameters voor wateroverlast zijn ondergebracht in een apart hoofdstuk over de modellering van de effecten van peilbeheer op wateroverlast (hoofdstuk 5).

4.3.2. Keuze van de bodemfysische eenheid

Als referentie-situatie is gekozen de meest voorkomende bodemfysische eenheid XI (gemengwoelde moerige grond) met een ontwateringsweerstand van 200 dagen. Vervolgens is de bodemfysische eenheid gewijzigd in respectievelijk VIII, I, IV en VII. Tabel 4.2 geeft de resultaten. Het absolute niveau van verdamping blijkt veel sterker afhankelijk van de keuze van de bodemfysische eenheid te zijn dan de effecten. Bij de aanvoerefficiënties is alleen eenheid VIII duidelijk

	Bodemfysische eenheid				
	XI	VIII	I	IV	VII
Verdamping bij vaste stuw					
op 1,40 m-mv (mm.j^{-1})	258,3	214,5*	242,7	248,2	229,1
Conserveringseffect (mm.j^{-1})	14,1	8,5	8,2	5,1	17,6
Aanvoereffect (mm.j^{-1})	9,4	15,8	7,9	8,3	9,6
Aanvoerefficiëntie (%)	13,3	29,4	10,9	16,3	16,6

afwijkend. Door vergelijking van eenheid XI met eenheid VII kan ook de invloed van het mengwoelen worden afgeleid. Het blijkt dat door mengwoelen de effecten niet noemenswaardig veranderen. Het berekende conserveringseffect neemt door mengwoelen af van 17,6 naar 14,1 mm.j^{-1} ; het aanvoereffect neemt af van 9,6 naar 9,4 mm.j^{-1} . Uiteraard zijn deze resultaten afhankelijk van de wijze waarop het mengwoelen is vertaald in wijziging in bodemfysische eigenschappen (zie hiervoor Hoofdstuk 3).

Ook is af te leiden wat de invloed zal zijn van verandering in bodemtypen ten gevolge van bodemdegradatie dat wil zeggen achteruitgang ten gevolge van oxydatie van veen, waardoor veengronden overgaan in moerige gronden (verschuiving van eenheid VI naar VII) en moerige gronden in podzolgronden (verschuiving van eenheid VII naar eenheid VIII). Vooral de laatste verschuiving geeft een duidelijke verhoging van het aanvoereffect. Gegeven de resultaten van dit onderdeel van de gevoeligheidsanalyse kan worden geconcludeerd dat de keuze van de bodemfysische eenheid (i.c. het profieltype) erg belangrijk is.

4.3.3. Ontwateringsweerstand

Met wederom een gemengwoelde moerige grond en een ontwateringsweerstand van 200 dagen als referentiesituatie is de gevoeligheid voor de ontwateringsweerstand nagegaan. Doel hiervan is te kunnen aangeven hoe nauwkeurig deze weerstand bekend moet zijn of wat de effecten zijn van een verandering hierin door menselijk handelen. Door het dempen of het volledig laten verlanden van ontwateringsmiddelen neemt de ontwateringsweerstand toe; door aanleg van buisdrainage bij

	Referentie-situatie (T = 200 d)	T = 50 d	T = 100 d	T = 300 d
		Verdamping bij vaste stuw op 1,40 m-mv (mm.j^{-1})	258,3	254,0
Conserveringseffect (mm.j^{-1})	14,1	13,5	12,9	8,9
Aanvoereffect (mm.j^{-1})	9,4	15,7	-	8,1
Aanvoerefficiëntie (%)	13,3	19,7	-	10,8

Tabel 4.2. Invloed van de keuze van de bodemfysische eenheid op de gemiddelde gewasverdamping bij vaste stuw en op de conserverings- en aanvoereffecten
* vaste stuw op 1,20 m-mv

voorbeeld neemt deze af naar een waarde van 50 à 100 dagen. De resultaten van dit onderzoek van de gevoeligheidsanalyse staan in tabel 4.3. Het conserveringseffect is betrekkelijk ongevoelig voor de grootte van de ontwateringsweerstand. Het aanvoereffect is duidelijk hoger bij een (veel) lagere ontwateringsweerstand. Dit is een belangrijk resultaat omdat daarmee modelmatig het effect van de toepassing van buisdrainage voor infiltratie is aangetoond.

De relatieve ongevoeligheid voor de keuze van de ontwateringsweerstand is een gelukkige bijkomstigheid, omdat deze in het veld meestal moeilijk is te bepalen.

4.3.4. Kwel/wegzijging

In Hoofdstuk 3 is vermeld dat de resultaten van FEMSATS zijn gebruikt om per peilvak de kwel/wegzijging, en de wijzigingen daarin ten gevolge van peilbeheer, te berekenen. Dat de grootte van de kwel/wegzijging van invloed is op de effecten wordt geïllustreerd in fig. 4.6. Het conserveringseffect blijkt het grootst te zijn bij afwezigheid van kwel en het kleinst bij een kwel van $0,5 \text{ mm.d}^{-1}$. Het laatste is op het eerste gezicht niet logisch, maar is verklaarbaar uit de goede vochtvoorziening die ook zonder conservering bij deze situatie optreedt. Het aanvoereffect is duidelijk hoger bij overgang van kwel naar wegzijging. Dit is verklaarbaar omdat bij afnemende van de kwel een toenemende aanvullende waterbehoefte optreedt. Dit betekent niet dat bij steeds grotere wegzijging het effect steeds groter wordt. Bij een wegzijging van meer dan circa 1 mm.d^{-1} zal de grondwaterstand over het algemeen te diep zijn weggezakt om aanvulling van de beschikbare hoeveelheid vocht in

Tabel 4.3. Invloed van verschillen in ontwateringsweerstand op de gemiddelde gewasverdamping bij vaste stuw en op het conserverings- en aanvoereffect (- = niet berekend)

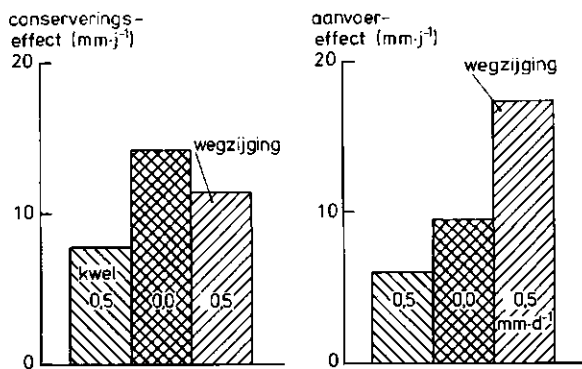


Fig. 4.6. Invloed van kwel/wegzijing op het effect van conservering en aanvoer

de wortelzone via capillaire opstijging te realiseren, tenzij - door de aanleg van buisdrainage - de wegzakking grotendeels kan worden voorkomen. Uit bovenstaande resultaten volgt dat het noodzakelijk is bij de berekening van effecten van peilbeheer rekening te houden met regionale verschillen in kwel/wegzijing.

4.3.5. Onderhoud wijken

Peilbeheer is alleen dan effectief als het door het waterschap gevoerde dagelijkse beheer zich uitstrekt tot het wijkensysteem. Hiervan is slechts sprake indien de onderhoudstoestand van de wijken zodanig is dat het in de hoofdwatertangen optredende peilverloop zich voortzet in de wijken. De mate van overeenstemming tussen beide peilverlopen hangt af van de onderhoudstoestand van de wijken. Het is daarom van belang de gevoeligheid hiervan te kennen.

De in dit verband van belang zijnde geometrische en hydraulische eigenschappen zijn de diepte van de wijkbodem en de wandruwheid. In de referentie-situatie is uitgegaan van een goed onderhouden wijk en is de wijkbodem gesteld op 1,60 m-mv en de opstuwing wordt berekend uit: $opstuwing = a \times \sqrt{afvoer}$, waarbij de waarde van de factor a afgeleid kan worden uit gelijktijdige meting van waterstanden en afvoeren. De relatie zelf is ontleend aan rekenresultaten van het model DIWA (GELOK, 1970). Ten opzichte van deze referentie-situatie zijn twee varianten doorgerekend,

namelijk een situatie met een matig en één met een sterk verlande wijk. Het eerste geval is modelmatig voorgesteld door een 5x grotere waarde voor a en een diepte van de wijkbodem van 1,00 m-mv. Het tweede geval door een 10x grotere waarde voor a en de wijkbodem op 0,90 m-mv. Tabel 4.4 geeft de resultaten waarbij moet worden aangetekend dat de in deze tabel vermelde cijfers - evenals trouwens alle cijfers in dit hoofdstuk - zijn gecorrigeerd voor wateroverlast (zie hoofdstuk 5). Uit de tabel is af te leiden dat een matig verlande wijk bij vaste stuw een conserverende werking uitoefent. De berekende verdamping neemt namelijk toe van 258,3 naar 275,0 $mm.j^{-1}$. Het effect van de conservering door peilbeheer wordt daardoor zelfs negatief namelijk -2,0 mm. Ook het aanvoereffect wordt sterk verkleind (van 9,4 naar 4,0 $mm.j^{-1}$). Bij een sterk verlande wijk treedt ook bij een vaste stuw duidelijk wateroverlast op en is er geen enkel conserverings- en aanvoereffect meer. Uit deze resultaten volgt dat de gevoeligheid voor wijkonderhoud groot is, dat wil zeggen wijkonderhoud is van grote invloed op de effecten van peilbeheer. In het rapport van de WERKGROEP OPSCHONEN WIJKEN (1983) is over dit onderdeel uitgebreide informatie te vinden.

Tabel 4.4. Effecten van onderhoudstoestand van de wijk op de gemiddelde (gecorrigeerde) gewasverdamping en op het conserverings- en aanvoereffect

	Verdamping bij vaste stuw ($mm.j^{-1}$)	Conserverings-effect ($mm.j^{-1}$)	Aanvoereffect ($mm.j^{-1}$)
Referentie-situatie	258,3	14,1	9,4
Matig verlande wijk	275,0	-2,0	4,0
Sterk verlande wijk	245,6	0,0	0,0

5. MODELLERING VAN SCHADE DOOR WATEROVERLAST TEN GEVOLGE VAN PEILBEHEER

5.1. ALGEMEEN

Het doel van peilbeheer is met name om de hoeveelheid beschikbaar water voor gewasverdamping te vergroten. Aan deze vergroting is echter een bovengrens gesteld omdat de kans op schade door wateroverlast toeneemt.

De invloed van wateroverlast uit zich op zes manieren:

- door verslechtering van de bewerkbaarheid in het voorjaar waardoor te laat wordt gezaaid/gepoot;
- door vertraging van de opkomst door lagere grondtemperaturen als gevolg van hogere grondwaterstand;
- door vermindering van de verdamping tijdens het groeiseizoen doordat de gewassen te nat komen te staan;
- door slechtere berijdbaarheid tijdens het groeiseizoen;
- door slechtere berijdbaarheid tijdens het oogsten;
- door verdichting van bodemlagen beneden de jaarlijkse bewerkingsdiepte.

De eventuele negatieve gevolgen van peilbeheer moeten in rekening worden gebracht om te komen tot een afgewogen peilbeheer. Daarbij is het noodzakelijk dat deze effecten worden uitgedrukt in dezelfde maat waarmee het voordelige effect van peilbeheer wordt bepaald, namelijk verandering in gewasverdamping. In het hierna volgende zal worden besproken hoe dit voor het programma PEILBEHEER is gerealiseerd.

5.2. EFFECTEN IN HET VOORJAAR

Voor de evaluatie van landinrichtingsprojecten (WERKGROEP HELP, 1980) zijn voor onder andere zand- en veenkoloniale gronden criteria voor bewerkbaarheid in het voorjaar opgesteld (BEUVING, 1982). Uit dit onderzoek is afgeleid dat de grondwaterstand in het voorjaar lager moet zijn dan 70 cm-mv om een grond zonder schade te kunnen bewerken en te berijden. Voor een standaardbedrijf zijn voor het zaaien en poten van bieten en aardappelen 10 werkbare dagen nodig vanaf 20 maart (waarvan in de praktijk drie werkbare dagen niet worden benut). Verder is gesteld dat zaaien of planten na 10 april een negatief effect heeft op de opbrengst. Met het model PEILBEHEER is bepaald op welke datum in elk jaar 10 werkbare dagen na 20 maart voorkwamen. Viel deze datum voor of op 10 april, dan

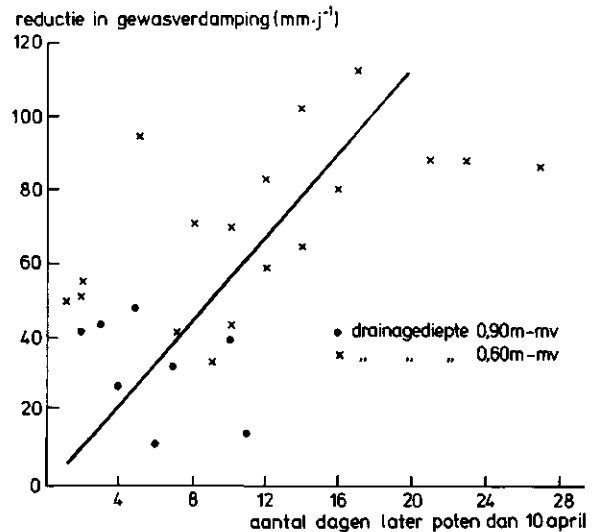


Fig. 5.1. Relatie tussen het aantal dagen later poten van aardappelen dan 10 april en de reductie in gewasverdamping voor drainagediepten van 0,90 en 0,60 m-mv

is geen schade berekend. Naarmate deze datum later viel dan 10 april is de schade groter. Om deze schade uit te drukken in vermindering van gewasverdamping is een relatie gebruikt die is afgeleid uit berekeningen ten behoeve van de HELP-studie, en weergegeven in fig. 5.1. In dit verband zijn alle effecten van hydrologische omstandigheden op vertraging van kieming en opkomst verdisconteerd. Als een gewas namelijk ten gevolge van te natte omstandigheden te laat in de grond komt, zullen in het algemeen ook de omstandigheden voor kieming of opkomst te nat zijn. Dit hoeft echter niet altijd waar te zijn, vandaar de grote spreiding.

5.3. EFFECTEN TIJDENS HET GROEISEIZOEN

Hierbij moet onderscheid worden gemaakt in directe en indirecte of afgeleide effecten. Het directe effect van peilbeheer op vermindering van de verdamping is in rekening gebracht via de natte tak van de relatie in fig. 3.8, die het verband weergeeft tussen het relatieve vochtgehalte in de wortelzone en de verdampingsreductie. Voor de beide in dit verband van belang zijnde grenswaarden p_1 en p_2 zijn waarden genomen van 0,90 en 0,85. Deze grenswaarden zijn vrij arbitrair gekozen. Gekoppeld aan de eis van 12 volumeprocent lucht, nodig voor een goede wortelwerking (WIEBING, 1984 pers. med. ICW, Wageningen) lijken deze fracties zelfs te hoog. Door een verandering van deze grenzen in 0,85 respectievelijk 0,80 wordt de langjarige gemiddelde gewasverdamping voor de referentie-situatie bij wateraanvoer 19,9 mm lager. Daarmee is duidelijk aan-

getoond hoe gevoelig de modeluitkomst is voor waarden van deze parameters.

Op grond van dit resultaat zijn voor 1980 de uitkomsten van PEILBEHEER vergeleken met die van SWATRE, dat door zijn gedetailleerde modellering meer mogelijkheden biedt om de effecten van te natte omstandigheden op wateropname door de wortel in rekening te brengen. Uit deze vergelijking kwam naar voren dat door PEILBEHEER bij invoer van de grenswaarde $p_1 = 0,90$ en $p_2 = 0,85$ méér, bij invoer van 0,85 en 0,80 minder reductie werd berekend. Aangezien SWATRE echter voor 1980 meer reductie berekent dan in de lysimeters is waargenomen, zijn de oorspronkelijke waarden van 0,90 en 0,85 gehandhaafd.

Uit de berekeningen met SWATRE kwam ook naar voren dat de voor 1980 berekende negatieve effecten van waterconservering vrijwel volledig werden opgeheven, indien een voorzichtiger manier van peilbeheer werd gevoerd. Wat dit inhoudt, zal aan de orde komen in het volgende hoofdstuk. Gezien de grote gevoeligheid voor de keuze van de parameters voor wateroverlast en zolang hieromtrent geen beter onderbouwde waarden beschikbaar komen, kan het daarom aanbeveling verdienen een voorzichtig peilbeheer te voeren.

Indirecte effecten van peilbeheer gedurende het groeiseizoen kunnen bestaan uit het eventueel verminderen van de bewortelingsdiepte en een verminderde berijdbaarheid. Het eerste effect is met het model PEILBEHEER niet in rekening te brengen, aangezien het werkt met een gegeven bewortelingsdiepte (afkomstig van de bodemfysische eenheid). Bovendien is onvoldoende bekend of dit effect de gevolgen van vermindering van wortelopname ten gevolge van onvoldoende lucht kan 'overschaduw'en'. Daarom is aangenomen dat met het directe effect ook de eventuele vermindering van de bewortelingsdiepte in rekening is gebracht. Het tweede indirecte effect is te koppelen aan de grondwaterstand. Gesteld is dat bij een grondwaterstand hoger dan 60 cm-mv geen berijding meer mogelijk is. Echter als door deze eis zo veel onwerkbaar dagen voorkomen dat de bewerkingen in het gedrang komen, dan is ook de gewasverdamping sterk gereduceerd ten gevolge van het directe effect van wateroverlast. Daarom wordt ook van dit indirecte effect verondersteld dat het wordt 'overschaduw'ed door het directe effect.

5.4. EFFECTEN IN HET NAJAAR

De negatieve gevolgen van peilbeheer kunnen in dit verband bestaan uit het verminderen van het aantal dagen dat er geoogst kan worden en het vergroten van de kans op verdichting van de ondergrond tijdens

de oogstwerkzaamheden. Evenals bij het voorjaarseffect is hier de grens voor berijdbaarheid gekoppeld aan de grondwaterstand, 0,60 m-mv (BEUVING, 1982). Als grens voor door natheid veroorzaakte bodemverdichting is een grondwaterstand van 1,00 m-mv genomen (WIND, 1984, pers. med. ICW, Wageningen). Bij hogere grondwaterstanden treedt in toenemende mate bodemverdichting op. Deze gegevens zijn als volgt voor gebruik in het model PEILBEHEER 'vertaald'. De oogstperiode is gesteld tussen 15 september en 1 november. Het aantal werkbare dagen in deze periode moet minstens 30 bedragen. Indien dit aantal minder is, moet een overeenkomstig aantal dagen eerder met rooien worden begonnen. Het hierdoor veroorzaakte verdampingsverlies is met het model te berekenen. Het aantal werkbare dagen wordt berekend door te stellen dat een dag met een grondwaterstand hoger dan 0,60 m-mv een volledig niet-werkbaar dag is, een dag met een grondwaterstand dieper dan 1,00 m-mv een volledig werkbare dag en bij dagen met daartussen liggende grondwaterstanden een gedeeltelijk werkbare dag (waarbij het gedeelte afhangt van de positie van de grondwaterstand ten opzichte van beide grenzen). Op deze wijze wordt zowel met berijdbaarheid als met de door natheid veroorzaakte verdichting van de ondergrond rekening gehouden.

5.5. EVALUATIE

In dit hoofdstuk is besproken hoe de kans op schade door wateroverlast is gemodelleerd. Over een aantal facetten bestond voldoende inzicht om de modellering verantwoord te kunnen uitvoeren. De grootste onzekerheden in dit verband zijn 1) de grenzen voor wateroverlast die bepalen wanneer de plant tijdens het groeiseizoen last krijgt van stagnatie in de zuurstofvoorziening van de wortelzone en 2) de vermindering van bewortelingsdiepte door de verhoogde grondwaterstand.

- ad 1. De grootste foutenbron hierbij is de relatie tussen grondwaterstand en luchtgehalte. Na uitvoerig overleg met onder andere WIEBING (1984 pers. med.) is gesteld dat bij een grondwaterstand dieper dan 50 cm-mv geen problemen meer zijn te verwachten. Dit gegeven is gebruikt in het SWATRE-model. De met dit model berekende reducties kwamen redelijk overeen met de resultaten van het model PEILBEHEER.
- ad 2. Omtrent de vermindering van de bewortelingsdiepte door te hoge grondwaterstanden in voorjaar (na het poten) en zomer is weinig bekend. Volgens WIEBING (1984, pers. med.) mag de grondwaterstand in deze periode bij gemengwoelde gronden slechts incidenteel hoger komen dan

1,00 cm-mv om een bewortelingsdiepte van circa 60 cm te realiseren. Er zijn echter van jaar tot jaar niet goed verklaarbare verschillen in bewortelingsdiepte. Naar alle waarschijnlijkheid speelt de waterhuishoudkundige toestand in de herfst en winter voorafgaande aan het groeiseizoen een grote rol. Gegeven de grote onzekerheden omtrent deze materie is het wederom raadzaam om met peilbeheer aan de veilige kant te gaan zitten. Concreet is dit gerealiseerd door met het peilbeheer gedurende het groeiseizoen te streven naar grondwaterstanden dieper dan 1,00 cm-mv (zie hoofdstuk 6).

6. OPSTELLEN VAN REGELS VOOR HET PEILBEHEER

6.1. PROCEDURE

Doel van het peilbeheer is de verbetering van de waterhuishouding voor landbouwgewassen. Het is dan ook logisch om het beheer te koppelen aan die variabelen die voor de genoemde waterhuishouding van veel belang zijn. Een formele vastlegging van deze koppeling resulteert in voorschriften voor het dagelijks beheer. Het opstellen van dergelijke voorschriften of beheersregels was één van de belangrijkste doelstellingen van het onderzoek.

Zoals is beschreven in Hoofdstuk 4 is daartoe in het programma PEILBEHEER de werking van de automatische stuw modelmatig nagebootst. Het probleem dat rest is hoe het instellen van een bepaald streefpeil gebeurt.

Overeenkomstig met wat thans in het waterschap De Veenmarken gebeurt en gegeven het maximale verschil tussen hoogste en laagste peil dat daarbij wordt aangehouden, is het in te stellen streefpeil ingedeeld in 8 fasen: fase 0 voor het laagste (winter) peil en vervolgens oplopend met steeds 10 cm tot het hoogste (zomer)peil. De indeling in fasen heeft een aantal praktische redenen:

- het continu bijstellen van het streefpeil zou vereisen dat elke dag alle stuwen bezocht zouden moeten worden, hetgeen de kosten voor bediening sterk zou doen oplopen;
- indeling in fasen werkt de overzichtelijkheid sterk in de hand. Zo is bijvoorbeeld bij het invullen van het door het waterschap ontwikkelde zogenaamde waterweekrapport - door het plaatsen van peilen in de juiste kolom - in één opslag te zien in welk stadium het peilbeheer in diverse peilvakken verkeert.

Tabel 6.1. Voorbeeld van TABELH, waarin het streefpeil wordt gekoppeld aan de grondwaterstand

Grondwaterstand (cm-mv)		Streefpeil (cm-mv) dat pas mag worden ingesteld als de grondwaterstand lager is dan de bijbehorende waarden
dalend	stijgend	
-	-	140 (winterpeil)
80	85	130
85	90	120
90	95	110
95	100	100
100	105	90
105	110	80
110	115	70

Voor het verloop van het streefpeil gedurende het jaar is in eerste instantie een standaardverloop vastgesteld (laag in de winter, hoog tijdens perioden met een neerslagtekort). Daarnaast is in perioden waarin dit relevant is, het instellen van een bepaalde fase gekoppeld aan de berekende grondwaterstand en aan het berekende vochttekort in de wortelzone. Met tekort wordt hier bedoeld het verschil tussen hoeveelheid vocht in de wortelzone behorende bij evenwichtstoestand indien de grondwaterstand 1,00 m-mv is, en de werkelijke aanwezige hoeveelheid vocht. Zo kan bijvoorbeeld het streefpeil in het voorjaar pas worden verhoogd als de grondwaterstand beneden een bepaalde waarde is gezakt en kunnen de hogere streefpeilen pas worden ingesteld als er ook daadwerkelijk een zeker tekort aan water in de wortelzone is. In de vorm van twee tabellen, waarin per fase staat gespecificeerd aan welke minimumeisen grondwaterstand en tekort aan water in de wortelzone moeten voldoen, wordt aan het programma meegedeeld hoe van het standaardverloop moet worden afgeveken. De twee tabellen moeten bij de invoer worden opgegeven als TABELH (voor grondwaterstanden) en TABELVR (voor de vochtvoorraad in de wortelzone). In tabel 6.1 en 6.2 worden hiervan voorbeelden gegeven.

Tabel 6.2. Voorbeeld van TABELVR, waarin de hogere streefpeilen worden gekoppeld aan de vochtvoorraad in de wortelzone

Evenwichtstekort (mm)	Streefpeil (cm-mv) dat pas mag worden ingesteld als het evenwichtstekort groter is dan de bijbehorende waarde
10	100
20	90
30	80, 70

In tabel 6.1 is onderscheid gemaakt tussen dalende en stijgende grondwaterstand. Zo kan bijvoorbeeld een streefpeil van 1,00 m-mv pas worden ingesteld als bij dalende grondwaterstand deze dieper is dan 1,00 m-mv; bij stijgende grondwaterstand moet hij dieper zijn dan 1,05 m-mv. De grondwaterstand wordt pas als stijgend aangemerkt als de stijging meer dan 5 cm per week heeft bedragen.

De bedoeling van het koppelen van het peilbeheer aan de grondwaterstand is dus op de eerste plaats het zorgen voor een goede ontwatering gedurende de winter door het streefpeil zo laag mogelijk te houden. In de loop van het voorjaar treedt in normale jaren een daling van de grondwaterstand op, doordat meer water naar de wijken wordt afgevoerd dan er via neerslag bijkomt. Indien het peil niet zou worden verhoogd, zou deze afvoer doorgaan totdat de grondwaterstand gelijk zou zijn aan het wijkpeil. Uit landbouwkundig oogpunt is zo'n diepe grondwaterstand niet nodig. Integendeel, er gaat water verloren wat later in het groeiseizoen gebruikt kan worden voor de gewasverdamming. De tweede doelstelling van peilbeheer is dus het conserveren van water.

Met conserveren kan slechts een beperkte hoeveelheid water worden gewonnen. In de loop van het groeiseizoen kan ook bij conservering behoefte ontstaan aan een aanvullende watervoorziening. Een van de mogelijkheden daartoe is om het peil hoger dan de grondwaterstand in te stellen, waardoor water in omgekeerde richting gaat stromen dus vanuit de wijken de grond in. Deze hoeveelheden zijn groter naarmate het verschil tussen grondwaterstand en wijkpeil groter is. Dit is de reden waarom in de zomer zo hoog mogelijke peilen worden nagestreefd. Om de risico's voor wateroverlast bij plotseling omslaan van het weer te beperken, worden de hoogste peilen pas toegestaan als de grondwaterstand voldoende diep is of als er in de wortelzone nog voldoende buffering aanwezig is om een behoorlijke hoeveelheid neerslag op te vangen.

Modelmatig is het mogelijk elke dag het streefpeil bij te stellen. Om echter de aansluiting met de praktijk te behouden, gebeurt dit om de week.

Bovendien zou frequentere bijstelling - gezien de traagheid van het systeem - niet leiden tot een merkbare verbetering van het peilbeheer. Meer informatie wordt gegeven in VAN BAKEL (1984).

De procedure om te komen tot verbetering van de beheersregels voor het peilbeheer is als volgt. Allereerst wordt een referentie-situatie gedefinieerd met de volgende eigenschappen: bodemfysische eenheid XI (gemengwoelde iWp), geen kwel/wegzijging, ontwateringsweerstand 200 dagen en goede onderhoudstoestand van de wijken. Door simulatie van de jaren 1971 tot en met

1982 voor de beheersalternatieven vaste stuw, conservering en aanvoer worden de langjarig gemiddelde conserveringseffecten, aanvoereffecten en aanvoerefficiënties berekend (zie ook Hoofdstuk 4). Deze dienen als kwantitatieve maat voor het verbeteren van de beheersregels. De voor de effecten berekende gewasverdamming is daarbij gecorrigeerd voor de indirecte gevolgen voor de wateroverlast, overeenkomstig het besprokene in het vorige hoofdstuk.

6.2. RESULTATEN

Het resultaat van de geschetste werkwijze kan het beste worden toegelicht aan de hand van tabel 6.3. Alternatief 1 is de nulsituatie (met vaste stuw en kruinhoogte op 140 cm-mv). Bij dit alternatief hoort dus een open waterpeil dat in geval van afvoer hoger is dan 140 cm-mv en in geval van infiltratie bij benadering gelijk is aan de grondwaterstand.

De meest eenvoudige manier van peilbeheer zou kunnen bestaan uit het plaatsen van beweegbare stuwen die het peil het gehele jaar door op 1,40 m-mv houden. Alleen bij conservering zal, indien de grondwaterstand daalt beneden 1,40 m-mv, het wijkpeil de grondwaterstand volgen. Er hoeft dus nooit bijgesteld te worden. De uitwerking op de gewasverdamming is weergegeven onder alternatief 2.

Een iets geavanceerde manier van peilbeheer is alternatief 3. In dit geval wordt, ongeacht de grondwaterstand, het streefpeil vanaf half maart met 0,10 m per week verhoogd tot maximaal peil en vanaf half augustus met 0,10 m per week weer verlaagd tot winterpeil. Alleen indien de grondwaterstand hoger is (komt) dan 0,60 m-mv, dan wordt het streefpeil verlaagd. Dit alternatief kan het beste worden vergeleken met het reeds in de inleiding genoemde 'piepsysteem'. De effecten van deze vorm van peilbeheer zijn verrassend: een conserveringseffect van $10,0 \text{ mm.j}^{-1}$ en een aanvoereffect van $12,1 \text{ mm.j}^{-1}$.

In het waterschap 'De Veenmarken' wordt echter een genuanceerder beheer gevoerd met de volgende kenmerken:

- voor half februari winterpeil;
- streefpeil hangt af van de grondwaterstand. Dit systeem is voor berekeningsdoeleinden globaal voor dalende grondwaterstanden weergegeven in tabel 6.4. Tabel 6.4 is een vertaling van de in de praktijk veel minder geformaliseerde leidraad waarmee het instellen van een bepaald streefpeil is gekoppeld aan de grondwaterstand;
- bij stijgende grondwaterstand wordt een voorzichtiger peilbeheer gevoerd;

Tabel 6.3. Resultaten van simulaties met het model PEILBEHEER, om de beheersregels te verbeteren

Alt. nr.	Omschrijving	T_0 (mm.j ⁻¹)	ΔT_c (mm.j ⁻¹)	ΔT_s (mm.j ⁻¹)	Aanvoer (mm.j ⁻¹)	eff _s (%)
1	vaste stuw; 140 cm-mv	258,3	-	-	-	-
2	streefpeil constant 140 cm-mv	258,3	2,4	10,9	80,9	13,4
3	'primitief' beheer	258,3	10,0	12,1	96,0	12,6
4	beheer als De Veemarken;aanvoer onafh. van vochtvoorraad in de wortelzone	258,3	14,9	10,4	110,5	9,3
5	idem 4; aanvoer afh. van voorraad in de wortelzone	258,3	14,9	8,4	93,3	9,0
6	idem 5; verandering in TABELH	258,3	14,1	9,4	92,3	10,2
7	idem 6; invoeren van TABELVR	258,3	14,1	9,3	92,5	10,1
8	idem 7; winterpeil uiterlijk op 10/9	258,3	14,4	9,1	70,8	12,8
9	idem 7; winterpeil uiterlijk op 20/8	258,3	14,4	8,2	41,4	19,8
10	idem 8; begin 15/3	258,3	10,9	13,7	85,0	16,1
11	idem 8; verschuiving van -20 cm in fases	269,8	4,1	7,5	57,3	13,1
12	idem 8; voorzichtig peilbeheer	258,3	8,4	12,7	83,3	15,2

T_0 = langjarig gemiddelde gewasverdamping bij vaste stuw

ΔT_c = langjarig gemiddeld conserveringseffect (= extra gewasverdamping ten opzichte van het alternatief vaste stuw, ten gevolge van conservering)

ΔT_s = langjarig gemiddeld aanvoereffect (= extra gewasverdamping ten opzichte van het alternatief conservering, ten gevolge van wateraanvoer)

aanvoer = langjarig gemiddelde aanvoer

eff_s = efficiëntie van het aangevoerde water, gedefinieerd als $(\Delta T_s / \text{aanvoer}) * 100\%$

- de sprong in streefpeil is 10 cm per week; bij uitzondering 20 cm per week;
- het winterpeil wordt op zijn vroegst half september bereikt; in een droog jaar eind oktober.

De effecten van dit peilbeheer staan vermeld onder alternatief 4. Ten opzichte van alternatief 3 betekent dit een toename van het conserveringseffect van 10,0 naar 14,9 mm.j⁻¹, hetgeen ten koste gaat van het aanvoereffect. Daardoor is ook de aanvoerefficiëntie gering.

Teneinde te komen tot hogere aanvoereffecten respectievelijk aanvoerefficiënties is de aanvoerintensiteit afhankelijk gemaakt van de hoeveelheid bodemwater in de wortelzone (alternatief 5). Uit de resultaten is af te leiden dat weliswaar minder water wordt aangevoerd (93,3 i.p.v. 110,5 mm.j⁻¹), maar dat ook het aanvoereffect geringer is (8,4 i.p.v. 10,4 mm.j⁻¹). Per

Tabel 6.4. Formele vastlegging van het door het waterschap 'De Veemarken' gevoerde beheer in TABELH

Fase	Streefpeil (m-mv)	Grondwaterstand (m-mv)	Opmerkingen
0	1,40	h < 0,80	
1	1,30	0,80 < h < 0,85	
2	1,20	0,85 < h < 0,90	
3	1,10	0,90 < h < 1,00	
4	1,00	1,00 < h < 1,10	
5	0,90	1,10 < h < 1,20	
6	0,80	1,20 < h < 1,30	alleen in de maanden juni en juli
7	0,70	h > 1,30	

saldo betekent dit dat de aanvoerefficiëntie (nagenoeg) gelijk blijft.

Vooraf bij lagere ontwateringsweerstand en/of slechtere capillaire opstijgingsmogelijkheden zal een grondwaterstand dieper op 1,30 m-mv zelden voorkomen. Bij zulke diepe grondwaterstanden zal de aanvoer de capillaire opstijging overtreffen. Het evenwicht tussen aanvoer via subinfiltratie en capillaire opstijging zal bij hogere grondwaterstanden optreden. Daarom is onder alternatief 6 weergegeven wat er gebeurt als in TABELH de grondwaterstandseisen voor de hogere streefpeilen worden verzacht, zodat bijvoorbeeld bij fase 7 een grondwaterstand hoort van 1,05 m-mv. Dit heeft echter weinig andere resultaten tot gevolg (alternatief 6 min alternatief 5).

Modelmatig is het mogelijk het toestaan van een bepaalde fase te koppelen aan het evenwichtstekort in de wortelzone. De resultaten onder alternatief 7 zijn berekend na invoering van tabel 6.5 (TABELVR). Het effect ervan ten opzichte van alternatief 6 is te verwaarlozen.

Tabel 6.5. Eisen waaraan het evenwichtstekort moet voldoen om de bijbehorende waarden van het streefpeil (h_s) te kunnen instellen

Fase	Streefpeil (m-mv)	Evenwichtstekort (mm)
0-3	> 1,10	-
4	1,00 < h _s < 1,10	> 10
5-7	0,70 < h _s < 1,00	> 20

Een wezenlijk andere manier om zuiniger met water om te springen, is het eerder in het najaar verlagen naar winterpeil. Onder alternatief 8 en 9 staan de resultaten van een beheer waarbij in plaats van eind oktober het winterpeil op zijn laatst op 10 september respectievelijk 20 augustus wordt bereikt. In natte jaren kan dit winterpeil nog 4 weken eerder worden bereikt. De resultaten van alternatief 8 laten zien dat, indien het bereiken van het winterpeil op zijn vroegst op 13 augustus wordt gesteld en op zijn laatst op 10 september, duidelijk minder water behoeft te worden aangevoerd (70,8 i.p.v. 92,5 mm.j⁻¹), terwijl het aanvoereffect nauwelijks vermindert. Bijgevolg is de aanvoerefficiëntie ook hoger. De resultaten van alternatief 9 geven aan dat bij het nog eens 20 dagen vroegen van bovengenoemde data een nog aanmerkelijk hogere aanvoerefficiëntie wordt bereikt (19,8%). Dit alles duidt erop dat hier sprake is van een traag systeem, waarin het grootste deel van het aangevoerde water achteraf bezien voor niets is aangevoerd. Daarom ook heeft het tijdig stoppen van de aanvoer relatief weinig invloed op het aanvoereffect. Vergelijking van alternatief 8 en 9 laat zien dat voor een toename in de gewasverdamping van 0,9 mm (9,1-8,2) 39,4 mm extra water moet worden aangevoerd. De marginale aanvoerefficiëntie is dus $(0,9/39,6) * 100\% = 2,3\%$. Het aanvoeren van 1 mm water per ha kost circa f 0,35 en levert circa f 16,- op (zie Hoofdstuk 8), zodat de marginale aanvoerefficiëntie slechts $(0,35/16) * 100\% = 2,2\%$ behoeft te bedragen. Om die reden geniet alternatief 8 de voorkeur boven alternatief 9 en zijn de daarbij gehanteerde data voor verlaging naar winterpeil gehandhaafd bij het verdere onderzoek naar verbetering van de beheersregels.

In alternatief 10 is de datum waarop kan worden begonnen met het verhogen van het peil (i.c. half februari) verschoven naar eind maart. Ten behoeve van de voorjaarswerkzaamheden kan het namelijk raadzaam zijn in die periode zo laag mogelijke grondwaterstanden na te streven. Dit streven gaat duidelijk ten koste van 3,5 mm.j⁻¹ conserveringseffect (alternatief 10 min alternatief 8), hetgeen ook logisch is. In geval van wateraanvoer kan dit verloren terrein echter meer dan volledig worden teruggewonnen (aanvoereffect 13,7 i.p.v. 9,2 mm.j⁻¹). De bijbehorende aanvoer van 85,0 mm.j⁻¹ resulteert in een duidelijk hogere aanvoerefficiëntie (16,1 resp. 12,8%).

Ten gevolge van in de toekomst te verwachten maaiveldsdaling zal ook een verschuiving optreden in de gehanteerde fases, tenzij de stuw deze verschuiving technisch nog kan opvangen. Met andere woorden: is bij de constructie hiermee rekening gehouden? Het is daarom van belang om na te gaan wat het conserve-

rings- en aanvoereffect is indien de streefpeilen behorende bij de verschillende fasen in TABELH en TABELVR met 20 cm worden verlaagd. Onder alternatief 11 worden de resultaten van deze nattere variant weergegeven. In vergelijking met alternatief 8 neemt het conserveringseffect sterk af ten gevolge van de hogere waarde van de gewasverdamping bij vaste stuw, T_0 (269,8 i.p.v. 258,3 mm.j⁻¹). Voor de beschouwde bodemfysische eenheid geeft het alternatief vaste stuw met kruin op 1,40 m-mv klaarblijkelijk een te diepe ontwatering. Door de nattere uitgangssituatie en hogere T_0 -waarden is de 'speelruimte' voor conservering geringer, getuige het conserveringseffect van slechts 4,1 mm.j⁻¹. Het aanvoereffect bij dit alternatief is ook geringer. De gemiddelde seizoensaanvoer is echter eveneens lager zodat de aanvoerefficiëntie vrijwel gelijk blijft (13,1 resp. 12,8%). Op grond van de resultaten van alternatief 11 kan worden geconcludeerd dat de veronderstelling van gelijke hoogte van de kruin van de stuw en het nulniveau bij conservering en aanvoer leidt tot overschatting van met name het conserveringseffect. Bij de berekening van de effecten van peilbeheer voor het gehele proefgebied zal deze overschatting niet optreden, omdat hij in de correcties voor ongelijke maaiveldsligging zal worden verdisconteerd.

Zoals uit de gevoeligheidsanalyses is gebleken, is het berekende conserverings- en aanvoereffect sterk afhankelijk van de in het model ingevoerde grenzen voor reductie in verdamping ten gevolge van wateroverlast. Men kan nu als volgt redeneren: indien dit zo gevoelig ligt kan men beter aan de veilige kant gaan zitten door een voorzichtiger manier van peilbeheer. Dit is modelmatig gerealiseerd door ten opzichte van alternatief 8 de grondwaterstanden in TABELH met 20 cm te verlagen. Dit betekent dat pas wordt begonnen met verhoging van het streefpeil als de grondwaterstand dieper is dan 1,00 m-mv (alternatief 12). Zoals aan de cijfers in tabel 6.3 is te zien gaat dit ten koste van het conserveringseffect (8,4 i.p.v. 14,4 mm.j⁻¹). De gevolgen van dit alternatief op de grondwaterstanden zijn echter aanzienlijk. Dit is te kwantificeren door een verschuiving van 7,4 en 3,6 cm in respectievelijk de gemiddelde hoogste grondwaterstand (GHG) en de gemiddelde laagste grondwaterstand (GLG). Vooral de verschuiving in GHG is een goede maat voor de eventuele vermindering van de wateroverlast. Door het lagere conserveringseffect is de 'beleidsruimte' voor wateraanvoer groter, resulterend in een aanvoereffect van 12,7 mm.j⁻¹ en een aanvoerefficiëntie van 15,2%.

Uit de tot nu toe besproken resultaten is een aantal belangrijke conclusies te trekken:

Tabel 6.6. Conserverings- en aanvoereffecten bij een podzolprofiel, bij verschuiving van -20 cm in de streefpeilen. Voor verklaring T_o , ΔT_c , ΔT_s , Aanvoer en eff_s zie tabel 6.3

Alt.	Omschrijving	T_o (mm.j ⁻¹)	ΔT_c (mm.j ⁻¹)	ΔT_s (mm.j ⁻¹)	Aanvoer (mm.j ⁻¹)	eff_s (%)
1	fase (0) = 1,40 m-mv, etc.	197,7	20,7	13,2	46,2	28,6
2	fase (0) = 1,20 m-mv, etc.	214,5	8,5	16,4	53,7	30,5

- het systeem reageert vrij traag op veranderingen in wijkpeil, met als consequenties: een relatieve ongevoeligheid voor verfijningen in het beheer en een mogelijkheid tot het opvoeren van de aanvoerefficiëntie door, nog meer dan in de praktijk gebruikelijk, vooruit te lopen op vermindering van de waterbehoefte bij het naderen van het einde van het groeiseizoen;
- indien alleen waterconservering mogelijk is, geniet alternatief 8 de voorkeur. Bij mogelijkheid van wateraanvoer kan iets minder 'scherp' geconserveerd worden door het tijdstip van verhoging van het streefpeil wat te verlaten. Alternatief 10 geniet dan de voorkeur;
- een verschuiving van -20 cm in de fases (dus een natter beheer) levert geen noemenswaardig andere resultaten op vergeleken met de situatie: vaste stuw met kruin op 1,40 m-mv. Dit is een belangrijk gegeven omdat door de maaiveldsvaling er een natuurlijke tendens bestaat tot verschuiving in de fases naar lagere waarden;
- indien groot belang wordt gehecht aan eventuele negatieve gevolgen van waterbeheer door vergroting van wateroverlast, dan kan daarop worden ingespeeld door een voorzichtiger manier van peilbeheer. Daarbij moet worden bedacht dat bij de modellering de wateroverlast reeds zwaar is meegenomen. Dit voorzichtige beheer gaat vooral ten koste van het conserveringseffect.

Een wat minder gedetailleerde procedure als hier beschreven is toegepast op de bodemfysische eenheid IV (niet gemengwoelde veengrond met veenkoloniaal dek) en eenheid VIII (o.a. podzolprofiel). Voor eenheid IV leidde dit niet tot andere beheersregels. Bij eenheid VIII trad echter een duidelijke verbetering in de effecten op bij verschuiven van fase nul van 1,40 naar 1,20 m-mv, zoals in tabel 6.6 wordt getoond. Dat hierbij een natter beheer moet worden gevoerd, is te verklaren uit de grotere droogtegevoeligheid van deze eenheid.

Samenvattend kan gesteld worden dat voor alle bodemfysische eenheden, behalve eenheid VIII, bij conservering een peilbeheer zal worden toegepast als

behorend bij alternatief 8 uit tabel 6.3 en bij wateraanvoer een peilbeheer behorend bij alternatief 10. Eenheid VIII wijkt hier vanaf doordat de streefpeilen met 20 cm worden verminderd. Dus naarmate een grond zandiger wordt moet een hoger peil worden gehanteerd. Dit laatste is in volledige overeenstemming met de huidige praktijk. Benadrukt moet hier tevens worden dat het aldus vastgestelde 'optimale' peilbeheer slechts op een paar punten duidelijk afwijkt van de nu reeds bestaande praktijk van peilbeheer in het waterschap De Veenmarken zoals zal blijken uit de vergelijking van de effecten van modelmatig en door het waterschap in 1983 uitgevoerd stuwpeilbeheer.

6.3. VERGELIJKING VAN HET MODELMATIG EN HET DOOR HET WATERSCHAP IN 1983 UITGEVOERD PEILBEHEER

Het jaar 1983 is in meteorologisch opzicht een zeer bijzonder jaar geweest: een natte tot zeer natte periode vanaf half maart tot eind mei, gevolgd door een vrij droge periode van juni tot en met augustus. Vooral de maand mei was extreem nat. Om te onderzoeken of het waterschap De Veenmarken goed heeft ingespeeld op deze situatie, is met behulp van simulaties met het programma PEILBEHEER het in 1983 gevoerde peilbeheer vergeleken met het 'model' peilbeheer. Een uitvoerig verslag wordt gegeven in VAN BAKEL (1984). Hier zullen alleen de voornaamste resultaten worden weergegeven.

In fig. 6.1 wordt het in een peilvak gemeten peilverloop vergeleken met een aantal gesimuleerde verlopen. Hieruit blijkt dat de 'model'-beheerder eerder in het voorjaar begint met het opzetten van het peil en - met name in mei - sneller reageert op de hoge neerslagen dan het waterschap heeft gedaan. Daarbij dient vermeldt te worden dat het waterschap in deze perioden wat betreft de afvoerhoeveelheden beperkingen kreeg opgelegd vanwege aflatmogelijkheden in Groningen. Gevolg hiervan is dat het model voor dit profiel een aanvoereffect berekent van 59,2 mm tegenover 54,5 mm volgens het waterschapsbeheer. Voor een niet-gemengwoeld profiel zijn de cijfers 38,2 respectievelijk 30,7 mm. Het waterschap benaderde dus voor 80 à 90%

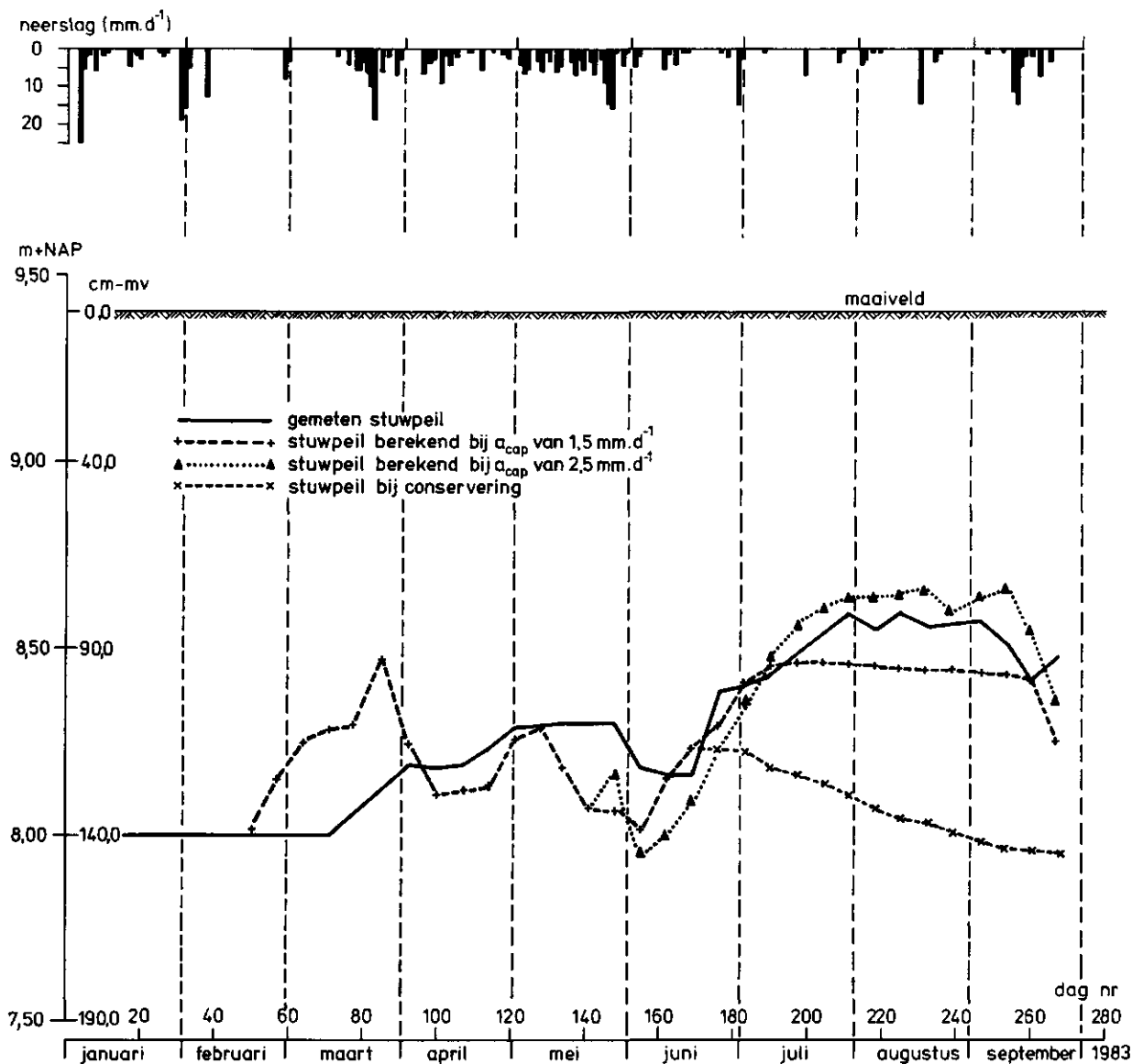


Fig. 6.1. Vergelijking van gemeten en een aantal gesimuleerde stuwpeilverlopen gedurende de eerste 9 maanden van 1983 in het proefgebied 'De Monden'. Profieltype: iWp, gemengwoeld (bodempysische eenheid XI). A_{cap} = aanvoercapaciteit

het 'model' peilbeheer, hetgeen als goed moet worden bestempeld. Andere resultaten waren dat alleen waterconservering een verhoging van de gewasverdamping van 6 à 11 mm zou hebben gegeven en dat het na half september nog hoog houden van het stuwpeil geen enkel nut heeft gehad.

Ook is berekend hoe het peilverloop en de effecten zouden zijn geweest indien een voorzichtig peilbeheer (alternatief 12 uit tabel 6.1) zou zijn gevoerd. Het hierbij behorende aanvoereffect van circa 25 mm is weliswaar duidelijk lager, maar daar staat tegenover een verlaging van de grondwaterstanden in de natte periode in de maanden mei en juni.

De resultaten, zoals hierboven beschreven, vormen in zekere zin een verificatie van de gekozen beheersregels. Door goed de actuele hydrologische situatie te volgen en hierop met het peilbeheer in te spelen, benadert de waterschapsbeheerder voor een groot deel het beheer zoals volgt uit de geformaliseerde beheersregels. Gezien de traagheid van het systeem is dit niet verwonderlijk. Daarmee is ook aangetoond dat verdere verfijning van het beheer slechts marginale resultaten zal opleveren. De grote winst is reeds verkregen bij de overgang van 'piep'systeem naar daadwerkelijk peilbeheer.

7. HYDROLOGISCHE EFFECTEN VAN PEILBEHEER
VOOR HET GEHELE PROEFGEBIED

7.1. BRUTO EFFECTEN VAN WATERCONSERVERING EN -AANVOER

Nadat de beheersregels voor de verschillende bodemtypen waren vastgesteld, zijn met het model PEILBEHEER de hydrologische effecten voor het gehele proefgebied berekend. Daartoe zijn de volgende stappen doorlopen:

- als representatief gewas is genomen een goed groeiend, middellaat gewas fabrieksaardappelen;
- als representatief voor het weer zijn de weergegevens van het station Eelde over de jaren 1971 tot en met 1982 gebruikt;
- per peilvak is een representatieve bodemkundig-hydrologische eenheid gekozen (combinatie van bodemtype en ontwateringsweerstand);
- per peilvak is een kwel/wegzijgingsrelatie ($v_a(h^*, h_0)$ -relatie) vastgesteld op grond van berekening met het model voor de stationaire verzadigde grondwaterstroming FEMSATS;
- per peilvak is de oppervlakte die wordt beïnvloed door een effectief (beheersbaar) oppervlaktewater-

- stelsel vastgesteld;
- per peilvak zijn de volgende alternatieven doorge-rekend:
 - I vaste stuw.
 - II conservering.
 - III aanvoer met capaciteit van $0,75 \text{ mm.d}^{-1}$. Praktisch gesproken is deze aanvoercapaciteit zo gering dat hierop nooit een aanvoersysteem zal worden ontworpen. Deze capaciteit dient evenwel als startpunt voor de te berekenen relatie tussen aanvoercapaciteit en hydrologische effecten.
 - IV aanvoer met capaciteit van $1,50 \text{ mm.d}^{-1}$. Deze waarde is min of meer arbitrair gekozen. Uit een andere studie (VAN WALSUM en VAN BAKEL, 1983) is gebleken dat installatie van een aanvoercapaciteit van circa $1,5 \text{ mm.d}^{-1}$ in het primaire systeem economisch het meest aantrekkelijk is.
 - V aanvoer met capaciteit van $2,50 \text{ mm.d}^{-1}$. Deze waarde is gekozen omdat het secundaire stelsel hierop is gedimensioneerd ($0,3 \text{ l.s}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$). In het primaire aanvoersysteem zal daarom nooit een hogere aanvoercapaciteit worden geïnstalleerd.

Tabel 7.1. Samenvatting van de resultaten van berekeningen met PEILBEHEER om de bruto effecten van peilbeheer in het proefgebied 'De Monden' te bepalen. A_{cap} =aanvoercapaciteit

Peilvak	Opp. met inf. systeem (ha)	Bodem-fysische eenheid	Ontw. weerstand (d)	Gem. gewasverdamp. (mm.j^{-1}) gedurende 1971-1982 bij de alternatieven					Gem. aanvoer (mm.j^{-1}) bij alt.		
				I vaste stuw	II cons.	III $A_{\text{cap}} = 0,75 \text{ mm.d}^{-1}$	IV $A_{\text{cap}} = 1,50 \text{ mm.d}^{-1}$	V $A_{\text{cap}} = 2,50 \text{ mm.d}^{-1}$	III	IV	V
W-16	320	I	200	251,0	257,9	260,1	261,5	261,5	32,3	46,8	46,8
W-16	330	I	200	226,4	256,8	256,9	256,3	256,3	19,9	32,0	32,0
W-18	239	IV	300	252,6	258,0	260,4	261,7	262,5	31,2	46,1	47,2
W-22	183	XI	200	246,1	254,1	265,0	272,4	276,4	62,9	103,6	119,9
W-22	330	IV	300	252,6	258,0	260,4	261,6	262,5	31,2	46,7	47,0
W-26	474	VII	250	246,2	250,7	253,0	254,9	255,3	30,0	45,4	48,2
Gem. west	1876			250,9	255,5	258,9	260,0	260,7	32,2	49,3	51,8
M-22	584	IX	150	257,6	272,7	279,9	284,3	285,2	46,3	73,3	88,9
M-24	329	IX	300	260,1	272,0	277,2	279,7	281,5	46,2	67,3	77,0
M-26	828	VII	115	231,4	255,1	259,1	259,9	261,5	37,6	57,7	67,9
M-34	666	IX	150	259,3	276,2	281,5	284,4	286,1	42,0	63,3	71,7
M-36	430	IX	275	256,7	271,1	277,4	279,7	281,8	49,4	72,8	85,3
Gem. midden	2837			250,5	268,1	273,5	276,0	277,5	43,2	65,6	76,8
O-32	166	IX	120	271,6	284,1	287,5	288,4	289,6	30,1	44,1	47,2
O-34	402	VII	140	235,3	250,7	256,7	259,4	261,4	35,4	53,4	83,9
O-36	348	VIII	175	215,0	225,9	237,0	244,1	246,1	40,4	59,1	65,9
O-38	366	IX	240	256,6	270,5	278,1	281,5	283,3	50,1	75,3	89,1
O-40	100	VII	270	229,9	246,7	251,8	254,3	255,8	39,4	58,8	62,2
O-42	248	IX	350	267,5	272,5	276,8	278,3	280,1	39,7	54,6	56,2
O-44	248	IX	540	265,4	270,0	272,8	274,6	275,1	40,8	56,5	56,2
O-46	250	VIII	150	220,1	229,2	239,4	244,7	246,7	39,8	55,5	65,6
Gem. oost	2128			243,7	254,7	261,5	265,0	266,7	40,2	58,4	69,4
Gem. totaal	6814			248,5	260,5	265,8	268,2	269,5	39,2	58,9	67,6

Tabel 7.2. Bruto conserverings- en aanvoereffecten en aanvoerefficiënties van een aantal beheersalternatieven in het proefgebied 'De Monden', gemiddeld over de periode 1971-1982. $E_{t,p}$ = potentiële gewasverdamping

		Conserveringseffect	Aanvoereffect			Aanvoerefficiëntie		
		(mm.j ⁻¹)	(mm.j ⁻¹) bij alt.			(% bij alt.)		
		(II t.o.v. I)	III	IV	V	III	IV	V
Absoluut	west	5,0	3,4	4,5	5,2	10,5	9,1	10,0
	midden	17,6	5,4	7,9	9,4	12,5	12,0	12,2
	oost	11,0	6,8	10,3	12,0	16,9	17,5	17,7
	totaal	12,0	5,3	7,7	9,0	13,4	13,0	13,4
Als percentage van $E_{t,p}$		(%)	(%)	(%)	(%)			
	west	1,69	1,15	1,52	1,76			
	midden	5,96	1,83	2,67	3,18			
	oost	3,72	2,30	3,49	4,06			
	totaal	4,07	1,79	2,60	3,05			

alt. I = vaste stuw; alt. II = conservering; alt. III = aanvoer met capaciteit van 0,75 mm.d⁻¹; alt. IV = aanvoer met capaciteit van 1,50 mm.d⁻¹; alt. V = aanvoer met capaciteit van 2,50 mm.d⁻¹

In tabel 7.1 staan de resultaten weergegeven. Door weging met de respectievelijke oppervlakten worden gewogen gemiddelde waarden verkregen voor de drie subgebieden, west, midden en oost en voor het totale proefgebied. De hieruit afgeleide conserverings- en aanvoereffecten en aanvoerefficiënties staan apart vermeld in tabel 7.2. Hieruit blijkt dat voor het subgebied west - langs de flank van de Hondsrug met veel kwel - de effecten van peilbeheer duidelijk lager zijn. Zoals in Hoofdstuk 4 is vermeld, kan ook het gebruik van te slechte capillaire eigenschappen voor het in dat gebied veel voorkomende zVc-profiel oorzaak zijn van de te laag berekende effecten.

7.2. NETTO EFFECTEN VAN WATERCONSERVERING EN -AANVOER

De effecten zoals weergegeven in tabel 7.2 zouden optreden als de landoppervlakte die de beschikking heeft over een infiltratiesysteem voor 100% ingenomen zou zijn met een goed gewas aardappelen, de weergegevens van 1971 tot en met 1982 representatief zouden zijn voor het klimaat en het maaiveld volkomen vlak zou zijn. Daar dit uiteraard niet het geval is, moet een aantal correcties worden toegepast.

Correctie voor weergegevens

Met het model SWATRE zijn voor de referentie-situatie de jaren 1954 tot en met 1983 doorgerekend voor de beheersalternatieven: conservering en aanvoer met capaciteit van 1,5 mm.d⁻¹. Uit de resultaten is af te leiden dat het aanvoereffect in de periode 1971 tot en met 1982 5% hoger is dan in de periode 1954 tot en met 1983.

Door WESTPHAL (1982, pers. med. Rijkswaterstaat, Lelystad) is geschat dat het aanvoereffect voor 1911

tot en met 1982 7% kleiner was dan voor 1971 tot en met 1982. Hij maakte daarbij gebruik van rekenresultaten van het model HYDRO (WERK GROEP ICW, 1981).

Door WIEBING (1984, pers. med.) is berekend dat het maximale vochttekort dat jaarlijks optreedt bij een potentieel verdampend aardappelgewas gemiddeld over de periode 1945 tot en met 1982 150 mm bedroeg en over de periode 1971 tot en met 1982 167 mm.

Uit bovenstaande is geconcludeerd dat voor de periode 1971 tot en met 1982 systematisch 10% te hoge effecten worden berekend in vergelijking tot een wat het klimaat betreft representatief aantal jaren.

Correctie voor bouwplan

Met het model SWATRE zijn voor een tweetal jaren de effecten van peilbeheer bepaald op de gewasverdamping van suikerbieten en wintertarwe. Daaruit bleek dat wintertarwe een hoger conserveringseffect en een lager aanvoereffect heeft. Voor suikerbieten geldt het omgekeerde. Dit is verklaarbaar uit het feit dat het groeiseizoen van wintertarwe eerder en dat van suikerbieten later valt dan dat van fabrieksaardappelen. Het naar oppervlakte in het bouwplan gewogen gemiddelde wijkt daardoor niet noemenswaardig af van de effecten berekend voor fabrieksaardappelen. De conclusie is dan ook dat de effecten berekend voor fabrieksaardappelen representatief zijn voor het in het proefgebied voorkomende bouwplan.

Correctie voor bruto - netto productie

Het standaardgewas gebruikt bij de simulatie is verondersteld vrij van ziekten te zijn en kent ook geen randverliezen en dergelijke. De hierbij berekende productie is dan ook hoger dan in de praktijk. Met dit verschijnsel zal bij de economische analyse

rekening worden gehouden door uit te gaan van de (gemiddelde) praktijkopbrengsten. De enige veronderstelling die dan moet worden gedaan, is dat het procentuele effect van peilbeheer op de opbrengst voor het modelgewas en voor het praktijkgewas gelijk is.

Correctie voor bruto - netto oppervlak

De procentuele effecten, vermeld in tabel 7.2, zijn - door de berekeningswijze - gecorrigeerd voor het aandeel open water in de totale oppervlakte.

Uit gegevens van SLOTHOUWER (1982) blijkt dat van de bruto oppervlakte, weergegeven in tabel 7.2, 76% ook daadwerkelijk wordt ingenomen door landbouwgewassen, de rest door wijken, wegen, bebouwing, etc. In de berekeningen wordt alleen de oppervlakte, ingenomen door de wijken en het secundaire stelsel in rekening gebracht doordat deze in het model zijn opgenomen. Dit is echter slechts 6%. Van de resterende 18% wordt gesteld dat voor ruim de helft van deze oppervlakte toch water moet worden aangevoerd, terwijl daar geen effecten tegenover staan. Concreet betekent dit dat de aanvoerbehoefte en de aanvoercapaciteit per eenheid van oppervlakte cultuurgrond + wijk met 10% moet worden vermeerderd, terwijl de berekende effecten gelijk blijven.

Correctie voor ongelijke maaiveldsligging

Om dit te onderzoeken is allereerst voor de drie meest voorkomende bodemfysische eenheden, namelijk XI (gemengwoelde iWp-grond), V (niet-gemengwoelde iVz-grond) en VIII (podzolprofiel) berekend wat de gewasverdamping is van punten met een ten opzichte van de referentie-situatie afwijkende hoogteligging. Dit is gedaan voor de beheersalternatieven I (vaste stuw), II (conservering) en IV (aanvoer met max. capaciteit van $1,50 \text{ mm.d}^{-1}$). Bij alt. I is dit te bepalen door meer runs (elke run is 12 jaar continu doorrekenen) uit te voeren met telkens een andere kruinhoogte. Echter bij de beheersalternatieven II en IV is het open waterpeil afhankelijk van de grondwaterstand van één referentie-grondwaterstandsmeetpunt per peilvak met een hoogteligging die precies overeenkomt met het niveau van fase 0 boven winterpeil. Het aan dit referentiepunt gekoppeld peilbeheer wordt nu als randvoorwaarde ingevoerd voor gevallen met een afwijkende hoogteligging. De resultaten van deze berekeningen staan weergegeven in fig. 7.1, waarbij elk punt in deze figuur het resultaat is van één run. De curven voor alt. II en IV zijn te beschouwen als de moderne 'waterbeheers'-versies van de opbrengst grondwaterstandsdieptecurves (VISSER, 1958). In de figuur is ook aangegeven wat het punt is waarvoor de effecten zijn bepaald als referentie in de vorige paragraaf.

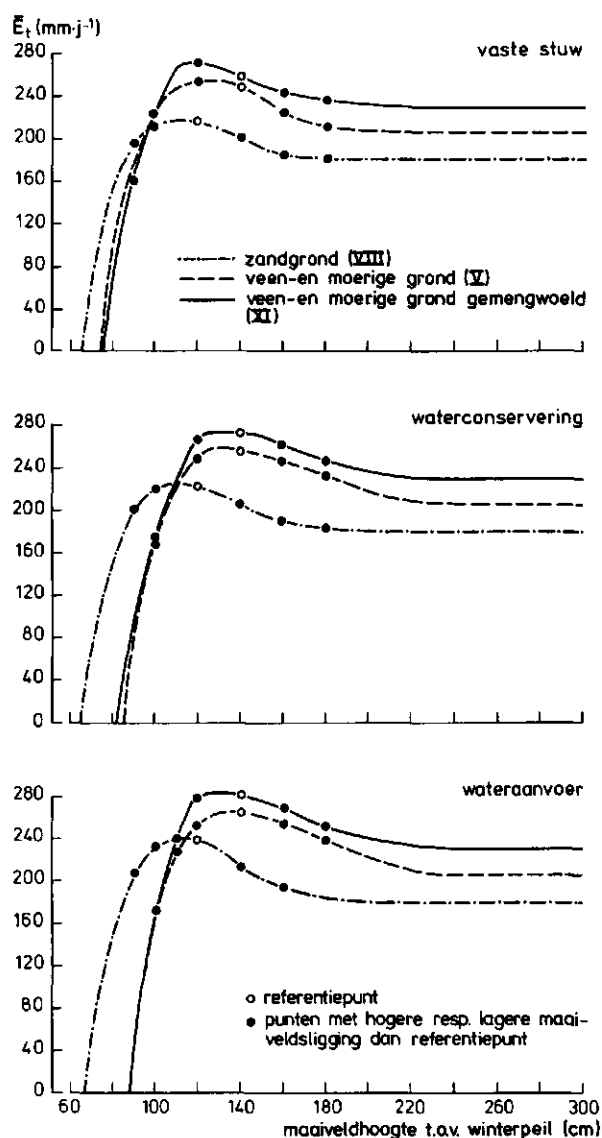


Fig. 7.1. Verband tussen de langjarig gemiddelde gewasverdamping en de maaiveldhoogte ten opzichte van het winterpeil van drie bodemfysische eenheden. Het verband is weergegeven voor de alternatieven vaste stuw (alt. I), conserveren (alt. II) en aanvoer (met max. capaciteit van $1,50 \text{ mm.d}^{-1}$) (alt. IV)

Duidelijk is te zien dat dit referentiepunt lang niet altijd de hoogste verdamping laat zien. Dit geldt met name voor alt. I. Bij de bespreking van de verschillende alternatieven in Hoofdstuk 6 werd hierop reeds gewezen.

Vervolgens zijn vijf peilvakken geselecteerd en is van elk peilvak op basis van de hoogtecijfers (na correctie voor maaiveldsdaling) en de bodemkaart 1:50 000 berekend wat de gemiddelde langjarige gewasverdamping is voor de drie beheersalternatieven. Bij elk aangenomen niveau van winterpeil is de hoogteligging van elk punt van de hoogtecijferkaart ten opzichte van

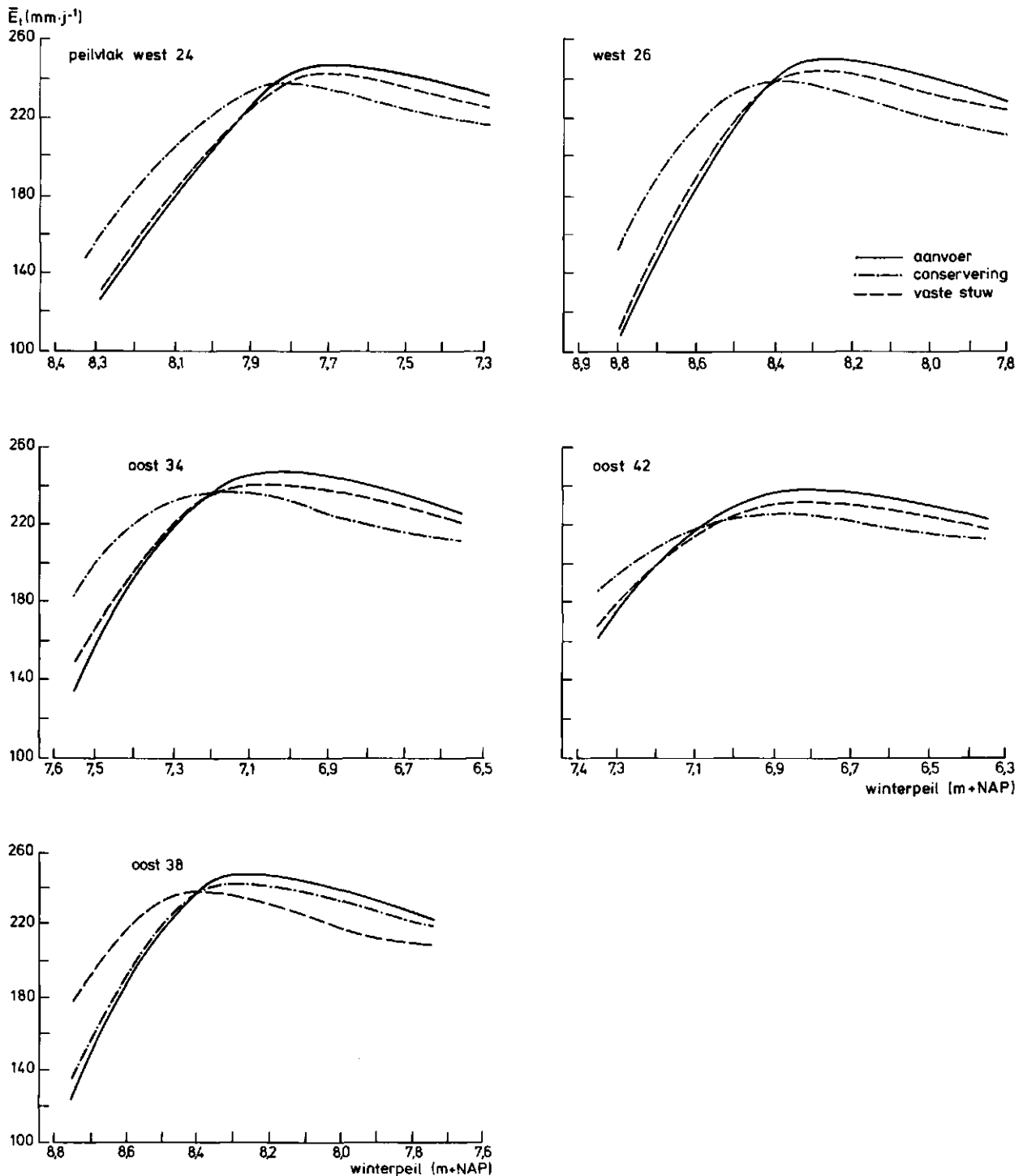


Fig. 7.2. Verband tussen de langjarig gemiddelde gewasverdamping per peilvak en het niveau van het winterpeil van vijf peilvakken. Het verband is weergegeven voor de alternatieven vaste stuw (alt. I), conserveren (alt. II) en aanvoer (met max. capaciteit van $1,50 \text{ mm.d}^{-1}$) (alt. IV)

het winterpeil te berekenen. Gecombineerd met het aan elk punt toegekend bodemprofiel en met gebruikmaking van de curven uit fig. 7.1 kan voor elk punt de langjarige gemiddelde gewasverdamping worden bepaald. Sommatie van de aldus berekende verdamping van alle punten per peilvak en delen door het aantal punten levert de gemiddelde langjarige gewasverdamping van een peil-

vak behorende bij het aangenomen winterpeil. Door met het open waterpeil te 'schuiven' ten opzichte van het maaiveld wordt een gewasverdamping - open waterpeil curve per peilvak en per alternatief verkregen. Figuur 7.2 geeft hiervan een voorbeeld. Uit deze verbanden is rechtstreeks af te leiden wat voor elk beheersalternatief het optimale peil is en het daarbij behorende

Peil- vak	Vaste stuw		Conservering		Aanvoer	
	winterpeil (m-mv)	\bar{E}_t (mm.j ⁻¹)	winterpeil (m-mv)	\bar{E}_t (mm.j ⁻¹)	winterpeil (m-mv)	\bar{E}_t (mm.j ⁻¹)
W-24	1,50	237	1,60	243	1,65	248
W-26	1,40	239	1,52	244	1,55	250
O-34	1,40	238	1,50	243	1,55	249
O-38	1,35	239	1,50	245	1,52	250
O-42	1,45	225	1,50	231	1,55	237
Gem.	1,40	235,6	1,52	241,2	1,56	246,8

Tabel 7.3. Optimaal niveau van het winterpeil ten opzichte van gemiddeld maaiveld en de daarbij behorende gem. gewasverdamping \bar{E}_t voor drie beheersalternatieven en vijf peilvakken

niveau van gewasverdamping. In tabel 7.3 zijn beide waarden weergegeven. Opmerkelijk daarbij is dat de optimale niveaus verschuiven naar hogere waarden als de potentiële mogelijkheden van waterbeheer toenemen en dat het niveau in geval van conservering en aanvoer in het algemeen afwijkt van de maaiveldsligging die hoort bij het referentie-simulatiepunt (i.c. 1,40 m -mv). Dit heeft consequenties voor de situering van dit punt. In par. 7.3 zal hierop worden teruggekomen.

Uit de gegevens van tabel 7.3 is af te leiden hoe groot het naar hoogteligging gewogen conserverings- en aanvoereffect is. In tabel 7.4 worden deze effecten vergeleken met de overeenkomstige effecten zoals die zijn te berekenen indien wordt aangenomen dat het maaiveld volkomen horizontaal zou liggen en op een niveau dat gelijk is aan dat van het referentie-simulatiepunt. Uit deze tabel zijn de correcties voor ongelijke maaiveldsligging af te leiden. Deze bedragen

$$(1 - 5,6/7,6) * 100\% = 26\% \text{ voor het conserverings-effect}$$

en

$$(1 - 5,6/8,8) * 100\% = 36\% \text{ voor het aanvoereffect.}$$

De vraag is verder of door de ongelijke maaiveldsligging de berekende gemiddelde jaarlijkse aanvoer voor het referentiepunt zal verminderen. Ervan uitgaande dat de aanvoerefficiëntie voor punten met

Tabel 7.4. Vergelijking van de naar ongelijke maaiveldsligging gewogen conserverings- en aanvoereffecten met de overeenkomstige effecten bij vlak maaiveld

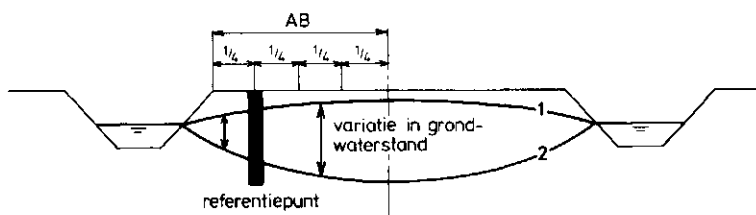
Peil- vak	Conserveringseffect (mm.j ⁻¹)		Aanvoereffect (mm.j ⁻¹)	
	gew.gem.	vlak maaiv.	gew.gem.	vlak maaiv.
W-24	6,0	7,6	5,0	8,4
W-26	5,0	6,4	6,0	8,1
O-34	5,0	7,9	6,0	8,8
O-38	6,0	6,8	5,0	8,4
O-42	6,0	9,3	6,0	10,4
Gem.	5,6	7,6	5,6	8,8

afwijkende hoogteligging gelijk blijft, zou dit betekenen dat ook de gemiddelde jaarlijkse aanvoer met 36% zou verminderen. Het is echter aannemelijk dat, naarmate een plek lager ligt, de efficiëntie terugloopt. Immers de gevolgen van wateraanvoer worden kleiner en kunnen zelfs negatief worden. Ook bij hogere plekken nadert het aanvoereffect tot nul, omdat de afstand tussen grondwaterspiegel en wortelzone te groot wordt om via capillaire stroming te overbruggen. Dit betekent wel dat hier dan ook geen grondwaterstandsvaling optreedt, zodat ook geen infiltratie zal optreden en er ook geen wateraanvoer nodig is. De werkelijke situatie wijkt hier vanaf omdat binnen een peilvak een lokale vereffening van de grondwaterstand optreedt doordat water van plekken waar geen capillaire opstijging optreedt gaat stromen naar plekken met capillaire opstijging. Daarmee vermindert de benodigde wateraanvoer, die is berekend voor het referentiepunt. Met de gebruikte modellering is dit effect niet te berekenen en dient dus een schatting plaats te vinden. Daarvoor is aangenomen dat voor 80% van de oppervlakte (met de hoogste ligging) de aanvoerefficiëntie gelijk blijft en voor de resterende 20% de aanvoerefficiëntie nul wordt (wel wateraanvoer maar geen effect). Per saldo wordt daardoor de aanvoerefficiëntie voor het gehele peilvak 20% lager. Gecombineerd met een 36% lager aanvoereffect betekent dit dat de berekende aanvoer voor een peilvak ten gevolge van ongelijke maaiveldsligging 20% lager wordt dan is berekend voor het referentiepunt.

Correctie voor de vorm van het freatisch vlak

De situering van het referentiepunt valt samen met de plaats waar de grondwaterstand gemiddeld tussen twee wijken samenvalt met de werkelijke grondwaterstand. In fig. 7.3 staat schematisch weergegeven dat links van deze plaats de variatie in grondwaterstand in perceel AB kleiner is en rechts hiervan de variatie groter. Om te onderzoeken of het geoorloofd is slechts één punt te beschouwen, is de volgende werkwijze gekozen. Het perceel AB is verdeeld in 4 stroken, elk met een breedte van 20 m. De aldus gemodelleerde perceelsbreedte van 80 m betekent dat bij een wijkbreedte van

Fig. 7.3. Schematische weergave van de variatie in grondwaterstand tussen twee wijken. Het referentiepunt is gesteld op $\frac{1}{4}$ AB vanaf de wijk 1. afvoersituatie; 2. aanvoersituatie (zie tekst)



10 m (van insteek tot insteek) en 2 percelen van elk 80 m tussen de wijk de wijkafstand 170 m is, hetgeen representatief is voor het proefgebied. Het midden van elke strook is representatief gesteld voor de strook en voor de zo ontstane vier punten is het conserverings- en aanvoereffect berekend. De punten verschillen onderling alleen in weerstand tegen stroming van water van of naar de wijk. Naarmate het punt dichter bij de wijk ligt, is de weerstand voor stroming naar de wijk kleiner. Uit veldproeven (WERK GROEP OPSCHONEN WIJKEN, 1983) is afgeleid dat voor de vier punten reductiefactoren voor de ontwateringsweerstand (die geldt midden tussen twee wijken) kunnen worden toegepast van respectievelijk 0,48; 0,80; 0,93 en 0,98 (gerekend vanaf de wijk). De vormfactor n_f (verg. 3.5) die hierbij hoort is 0,80 zodat het tweede punt samenvalt met het referentiepunt. Het berekende conserverings- en aanvoereffect voor dit punt verschilde slechts +10 respectievelijk +3% van de effecten berekend als het gemiddelde van de vier punten. Daarmee is aangetoond dat het gebruik van één punt als zijnde representatief voor de gehele raai over een perceel tot goede resultaten leidt en slechts een kleine correctie behoeft. Dit is ook in overeenstemming met de bij de gevoeligheidsanalyse gevonden relatief kleine invloed van de waarde van de ontwateringsweerstand.

Correctie voor veranderingen in bodemfysische eigenschappen

In Hoofdstuk 2 is vermeld dat een aanzienlijk deel van de oppervlakte is gemengwoeld. Geschat wordt dat nog eens circa 20% in aanmerking komt voor deze bewerking. Uit tabel 4.2 (blz. 40) is af te leiden dat daardoor het gemiddelde conserveringseffect verandert van 17,6 in 14,1 mm.j^{-1} en het aanvoereffect er niet noemenswaardig door wordt beïnvloed (9,6 resp. 9,4 mm.j^{-1}).

Het effect van het verlies aan organische stof is in rekening gebracht door voor een aantal profieltypen veronderstellingen te doen omtrent verlies aan vochthoudend vermogen. Indien tevens wordt gewogen naar mate van voorkomen van de respectievelijke pro-

fielen, volgt uit de berekeningen dat het conserveringseffect gemiddeld met 15% afneemt en het aanvoereffect met 10% toeneemt. Een alternatieve benadering is om te stellen dat er een verschuiving in bodemtypen in de richting van meer zandige profielen zal optreden. Vooral door de overgang van moerige grond naar podzolgrond geeft volgens tabel 4.2 bij benadering een verdubbeling van aanvoereffect en -efficiëntie. Geschat wordt dat op circa 15% van de oppervlakte van het proefgebied deze verschuiving zal optreden.

Een derde proces dat zorgt voor een verandering van de bodemfysische eigenschappen is de toename van de jaarlijkse bewerkingsdiepte als gevolg van met name het gebruik van vaste-tand-cultivatoren. Bij een toename van de bewortelingsdiepte van een podzolprofiel van 20 naar 40 cm en een overeenkomstige toename in beschikbaar vocht wordt met name het aanvoereffect ongeveer gehalveerd. Dit effect is dus tegengesteld aan de gevolgen van verlies aan organische stof. Het lijkt vooralsnog een reële veronderstelling om te stellen dat de twee effecten elkaar in de toekomst zullen compenseren.

Door bodemdegradatie neemt ook de ongelijke ligging van het maaiveld toe. Immers de plekken met het meeste veen in de ondergrond en de grootste potentiële maaiveldsdaling hebben, liggen ook overwegend het laagst. Voor dezelfde peilvakken als die zijn gebruikt bij de berekening van de ongelijke maaiveldsligging is uitgerekend hoe het conserverings- en aanvoereffect verandert als wordt aangenomen dat het maaiveld van niet-gemengwoelde veengronden zal dalen met 0,15 m, van gemengwoelde veengronden met 0,075 m, van moerige gronden met 0,10 m, van gemengwoelde moerige gronden met 0,05 m en dat podzolgronden geen maaiveldsdaling vertonen. Deze cijfers zijn een redelijke schatting van de te verwachten maaiveldsdaling over een periode van 10 à 15 jaar. De dan voorkomende maaiveldshoogteligging is representatief gesteld voor de gehele levensduur van het conserverings- en aanvoerplan. Uit de berekening blijkt dat zowel het conserverings- als het aanvoereffect nauwelijks verandert (van 5,5 in 5,9 resp. van 5,4 in 5,1 mm.j^{-1}).

	Cons. effect	Aanvoer- effect	Aanvoer- efficiëntie
Weergegevens	-10%	-10%	
Gewasgegevens	0	0	
Bruto - netto produktie	zie Hoofdstuk 8		
Bruto - netto oppervlak			-10%
Ongelijke maaiveldsligging	-26%	-36%	-20%
Vorm freatisch vlak	-10%	-3%	
Verandering in bodemfysische eigenschappen	-15%	+10%	
Produkt van correcties (afgerond)	-50%	-30%	-30%

Tabel 7.5. Correcties op de bruto conserverings- en aanvoereffecten en de bruto aanvoerefficiënties

Tabel 7.6. Gemiddelde netto conserverings- en aanvoereffecten en aanvoerhoeveelheden van een aantal beheersalternatieven in het proefgebied 'De Monden'. $E_{t,p}$ = potentiële gewasverdamping

		Conserveringseffect	Aanvoereffect			Aanvoer (mm.j^{-1})		
		(mm.j^{-1})	(mm.j^{-1}) bij alt.			bij alt.		
		(II t.o.v. I)	III	IV	V	III	IV	V
Absoluut	west	2,5	2,4	3,2	3,6	32,6	50,2	51,4
	midden	8,8	3,8	5,5	6,6	43,4	65,5	77,3
	oost	5,5	4,8	7,2	8,9	40,6	58,8	71,8
	totaal	6,0	3,7	5,4	6,3	39,5	59,4	67,2
Als percentage van $E_{t,p}$		(%)	(%)	(%)	(%)			
	west	0,85	0,81	1,06	1,23			
	midden	2,98	1,28	1,87	2,23			
	oost	1,86	1,61	2,44	2,84			
	totaal	2,03	1,25	1,82	2,14			

N.B. Bij voorzichtig peilbeheer wordt aangenomen dat het conserveringseffect 40% lager en het aanvoereffect 40% hoger is, terwijl de aanvoerhoeveelheid 20% groter is (zie Hoofdstuk 6)

alt. I = vaste stuw; alt. II = conservering; alt. III = aanvoer met capaciteit van $0,75 \text{ mm.d}^{-1}$; alt. IV = aanvoer met capaciteit van $1,50 \text{ mm.d}^{-1}$; alt. V = aanvoer met capaciteit van $2,50 \text{ mm.d}^{-1}$

Samengevat betekent dit dat mengwoelen geen noemenswaardige invloed heeft op het conserveringseffect en het aanvoereffect en dat door bodemdegradatie enerzijds - via de toename van de ongelijke maaiveldsligging - de effecten zullen teruglopen, anderzijds - door verschuiving in bodemtypen - met name het aanvoereffect groter wordt. De totale uitwerking van deze processen, gewogen naar de oppervlakte, wordt daarom voor het proefgebied geschat op -15% voor het conserveringseffect, terwijl het aanvoereffect met 10% stijgt.

Samenvatting correcties

In tabel 7.5 zijn de hierboven besproken correcties samengevat.

De cijfers in tabel 7.2 kunnen met het aldus berekende, meest aannemelijke, produkt van correcties worden omgezet van langjarig gemiddelde bruto naar dito netto effecten en naar langjarig gemiddelde aanvoerhoeveelheden. In tabel 7.6 staat het resultaat van deze conversie. Deze tabel zal als basis dienen bij de bepaling van de economische effecten in Hoofdstuk 8.

7.3. SITUERING VAN HET GRONDWATERSTANDSMEETPUNT EN MOGELIJKE REDUCTIE VAN HET AANTAL MEETPUNTEN

De berekeningen met PEILBEHEER worden uitgevoerd voor één referentiepunt per peilvak. De peilen behorende bij de verschillende fases en ook de grondwaterstandseisen die hierbij horen (TABELH) zijn opgehangen aan dit punt. Uit de vorige paragraaf bleek dat het optimale niveau van het open waterpeil(verloop) ten opzichte van gemiddelde maaiveldshoogte van een peilvak in het algemeen afwijkt van het overeenkomstige verloop, berekend ten opzichte van de maaiveldshoogte van het referentiepunt. Uit tabel 7.3 is af te leiden dat in het geval van een vaste stuw deze niveaus vrijwel samenvallen, bij conservering en aanvoer is het eerste niveau $0,10$ à $0,20$ m lager. Dit laatste betekent dat het referentiepunt moet worden gesitueerd op die plaatsen waar het maaiveld $0,10$ à $0,20$ m lager is dan de gemiddelde maaiveldshoogte. Omgekeerd kan gesteld worden dat, indien het meetpunt qua hoogteligging wel zou samenvallen met de gemiddelde maaivelds-

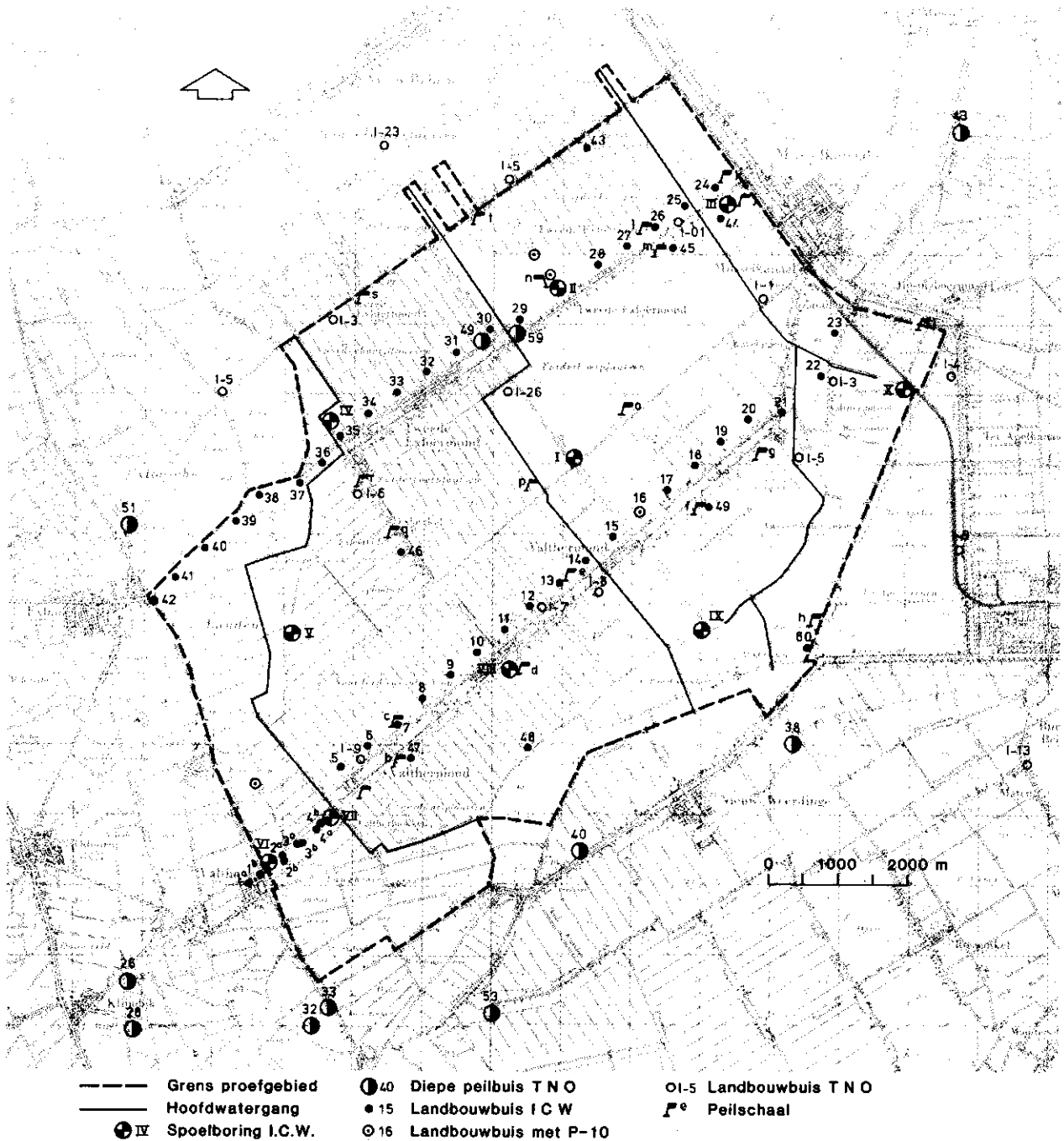


Fig. 7.4. Meetpuntennetwerk voor waarnemingen van de grondwaterstand en de wijkpeilen in het proefgebied 'De Monden'

hoogte, de hieraan gerelateerde streefpeilen en bijbehorende grondwaterstandseisen zouden moeten worden verhoogd met 0,10 à 0,20 m (dus dieper beneden maai-veld).

Ook moet bij de situering van het meetpunt gelet worden op de plaats waar de gemiddelde grondwaterstand tussen twee wijken samenvalt met de werkelijke grondwaterstand. Zoals reeds eerder is vermeld is dit op circa 30 m uit de wijk. Echter de fout die wordt gemaakt indien de lokatie midden tussen twee wijken

wordt gekozen, valt binnen de foutmarges. Alleen indien vlak bij de wijk wordt gemeten, ontstaat een onjuist beeld van het grondwaterstandsverloop dat van belang is voor het peilbeheer.

Bij de berekening van de effecten per peilvak is er (stilzwijgend) vanuit gegaan dat per peilvak één grondwaterstandsmetpunt aanwezig is. Een belangrijke vraag is of niet met minder grondwaterstandsmetpunten kan worden volstaan en één meetpunt voor meer peilvakken kan dienen. Voor de beantwoording van deze vraag

zijn twee wegen gevolgd, namelijk 1) de metingen van de buizen uit het waterbalansonderzoek zijn aan een correlatie-onderzoek onderworpen en 2) via simulatie is nagegaan of voor een bepaald peilvak een slechter aanvoereffect wordt berekend als het grondwaterstandsverloop van een ander peilvak wordt gebruikt bij het vaststellen van het streefpeil.

ad 1. Voor het waterbalansonderzoek zijn gedurende de periode 1978-1981 een groot aantal landbouwbuizen waargenomen. In fig. 7.4 is te zien dat het merendeel van de meetpunten is opgenomen in twee raaien: één over Valthermond en één over Tweede Exloërmond. De opnamefrequentie was 's zomers 1 keer per week en 's winters 1 keer per 2 weken. De waarnemingen zijn (in groepen van 18) onderling lineair gecorreleerd. In de meeste gevallen voldoet namelijk een lineaire regressie het beste (TEN BRINK, 1983 pers. med. PW Drenthe). Uit de analyse blijkt dat de buizen op de Hondsrug en op de flank ervan (buizen 1a, 1b, 2a, 2b) slecht correleren met de rest. Vanaf buis 3a is de correlatie hoog tot zeer hoog. Er is ook geen systematische afneming in de correlatiecoëfficiënt te constateren bij toename van de onderlinge afstand. Er is zelfs weinig verschil als men de buizen in de raai Valthermond vergelijkt met die in de raai Tweede Exloërmond. Dit alles duidt erop dat er een grote overeenkomst is in het verloop van de grondwaterstand op verschillende plaatsen. Door de goed doorlatende ondergrond worden plaatselijke afwijkingen als het ware gladgestreken. Dit houdt echter nog niet in dat het aantal waarnemingspunten sterk kan worden teruggebracht. Immers een hoge correlatiecoëfficiënt betekent alleen dat het patroon van stijgen en dalen overeenkomt. De variatie (amplitude) kan echter daarbij nog sterk uiteenlopen. Een statistische maat voor verschillen in variatie is de helling van de regressielijn, uitgedrukt in de richtingscoëfficiënt. Over het algemeen liggen de waarden van de richtingscoëfficiënt redelijk in de buurt van 1, wat betekent dat ook de variaties in de grondwaterstand van de verschillende buizen sterk overeenkomen. Er zijn echter buizen die duidelijk een veel geringere variatie vertonen. Plaatselijke verschillen in met name de ontwateringsweerstand kunnen hiervan de oorzaak zijn.

ad 2. Om te onderzoeken of de waarnemingen van de grondwaterstand in een bepaald peilvak kunnen worden gebruikt voor het beheer in een ander peilvak is het volgende modelexperiment uitge-

voerd. Het grondwaterstandsverloop zoals het model dat berekent bij peilvak M-36 is als invoer gebruikt voor het peilbeheer van peilvak M-22 en de resultaten die daarmee voor M-22 werden berekend zijn vergeleken met de originele resultaten. De peilvakken M-36 en M-22 zijn gekozen vanwege de duidelijke verschillen in ontwateringsweerstand (275 resp. 150 d) en verschillen in kwel/wegzijing (lichte wegzijing resp. lichte kwel), terwijl de berekende grondwatertrappen gelijk zijn. De achterliggende vraag is dus of per grondwatertrap één meetpunt voldoende is of dat tevens moet worden gelet op (moeilijk te bepalen) verschillen in ontwateringsweerstand en kwel/wegzijing.

Het simulatieresultaat in deze is zeer bevestigend. Het gemiddelde aanvoereffect voor M-22 loopt slechts $0,7 \text{ mm.j}^{-1}$ terug (van 11,6 naar 10,9) terwijl de gemiddelde aanvoer toeneemt naar $75,8 \text{ mm.j}^{-1}$.

Uit bovenstaande bevindingen kan een advies voor het aantal in te richten grondwaterstandsmetpunten worden opgesteld. Door verschillen in ontwateringsweerstand en kwel/wegzijing ontstaan verschillen in ontwateringstoestand. Een praktische maat hiervoor zijn de grondwatertrappen. Op basis van de (geactualiseerde) grondwatertrappenkaart of op basis van praktijkervaring is aan elk peilvak een (maatgevende) grondwatertrap of ontwateringstoestand toe te kennen. Per grondwatertrap zou één grondwaterstandsmetpunt voldoende kunnen zijn, wat het aantal meetpunten tot beneden de tien zou terugbrengen.

Omtrent het aantal in te richten meetpunten voor opname van de vochtvoorraad is op dit moment geen uitspraak te doen, omdat hiervoor nog geen goed in de praktijk bruikbare meetmethode is ontwikkeld.

7.4. EFFECTEN VAN WIJKONDERHOUD

Bij de berekening van de bruto effecten van verschillende beheersalternatieven is uitgegaan van opgeschoonde wijken omdat deze toestand in de nabije toekomst zal worden gerealiseerd. Bij de gevoeligheidsanalyses is reeds gebleken hoeveel invloed wijkonderhoud heeft op de resultaten. Om nu enigszins te kunnen aangeven wat het effect zal zijn van het integraal opschonen van de wijken is voor elk peilvak, naast alternatief IV, een situatie doorgerekend met een matig verlandende wijk. Ten opzichte van de situatie met een opgeschoonde wijk treedt een reductie op in de gecorrigeerde gewasverdamping van 28 mm oftewel circa 10%, terwijl de aanvoerhoeveelheid nauwelijks verandert.

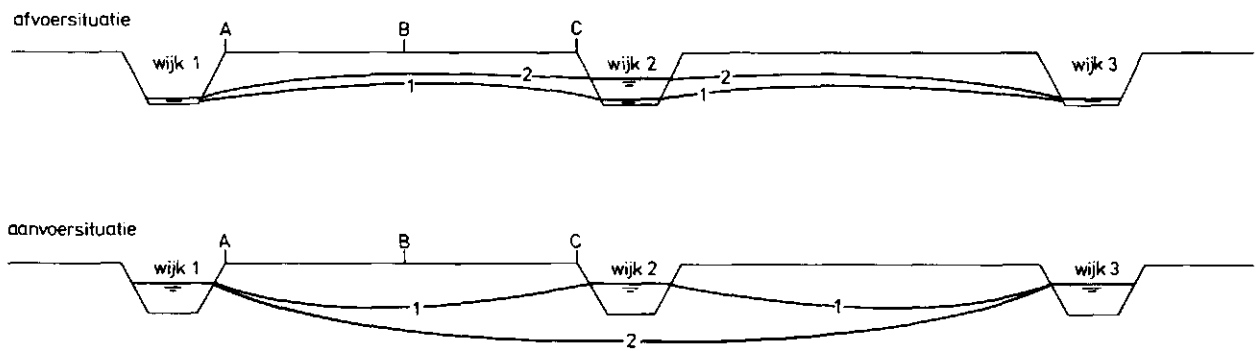


Fig. 7.5. Schematisch verloop van de grondwaterstand in een raai over drie wijken bij een afvoer- en aanvoersituatie. 1. Verloop indien alle wijken zijn opgeschoond; 2. Verloop indien wijk 2 sterk is verland

De reductie in de gewasverdamping wordt dan ook vrijwel volledig veroorzaakt door de toegepaste correcties voor wateroverlast.

Met het model PEILBEHEER zijn ook de gevolgen te berekenen wanneer een aantal wijken hun ontwaterings- en infiltratiefunctie verliest door het verlandingsproces. Daardoor neemt namelijk de ontwateringsweerstand toe. Zie hiervoor de resultaten in tabel 4.3. Daarbij wordt echter voorbijgegaan aan een belangrijk praktisch punt, namelijk dat de gevolgen van het niet opschonen van wijken niet beperkt blijven tot de naastliggende percelen. Dit kan worden toegelicht aan de hand van fig. 7.5 (ontleend aan de WERK GROEP OPSCHONEN WIJKEN, 1983). In deze figuur worden de grondwaterstanden voor zowel een afvoer- als aanvoersituatie weergegeven. Duidelijk is dat de grondwaterstand in perceel AB wordt beïnvloed door wijk 2. Te berekenen valt dat circa 50% van de gunstige effecten van het opschonen van wijk 1 op perceel AB teniet wordt gedaan indien wijk 2 niet wordt opgeschoond. Omgekeerd worden in perceel BC circa 40% van de te realiseren effecten van opschonen behaald zonder dat daarvoor wijk 2 behoeft te worden opgeschoond. Aangezien percelen AB en BC veelal niet dezelfde grondgebruiker hebben, pleit dit sterk voor een integrale aanpak van het opschonen.

De situatie zoals geschetst in fig. 7.5 is overigens ook van toepassing op de effecten van het zeer lokaal opzetten van wijkpeilen door individuele grondgebruikers. Een groot gedeelte van het op te pompen water zal via een vergrote wegzijging ten goede komen aan de ruimere omgeving. In een gebied met een zo'n goed doorlatende ondergrond als 'De Monden' is het moeilijk lokale afwijkingen van van nature optredende grondwaterstanden te realiseren.

7.5. EFFECTEN VAN DE AANLEG VAN BUIZENDRAINAGE

Bij de gevoeligheidsanalyse is gebleken wat het effect is van vermindering van de ontwateringsweerstand, namelijk een duidelijke vergroting van het aanvoereffect. Deze vermindering zou in de praktijk kunnen worden gerealiseerd door de aanleg van buizen-drainage. Daarbij wordt ervan uitgegaan dat buizen-drainage ook geschikt is voor infiltratie en dat het gebruik ervan als infiltratiemiddel niet zal leiden tot versnelde achteruitgang in het functioneren van de drainage. Over dit laatste zijn de deskundigen het echter niet eens. Daarom worden momenteel in het proefgebied aanvullende onderzoeken gedaan. In dit verband dienen ook vermeld te worden de resultaten van de proeven in De Groeve, waaruit duidelijk naar voren komt dat bij aangepast onderhoud na 5 jaar nog geen meetbaar verlies aan effectiviteit van het systeem is opgetreden. Zie hiervoor BARTELD'S e.a. (1982) en VAN DEN EERENBEEMT e.a. (1984).

Nu is drainage voor het gehele gebied een kostbare zaak. Indien echter de kosten van aanleg van drainage gedeeltelijk kunnen worden terugverdiend door vermindering van wateroverlast, kan drainage economisch wel aantrekkelijk zijn. Deze wateroverlast treedt niet op in de hoger gelegen gronden. Er is daarom nagegaan wat drainage van alleen de lagere delen van het gebied voor effecten heeft. Modelmatig is dit geëffectueerd door voor de punten die 0,20 m of meer beneden het referentiepunt liggen de ontwateringsweerstand te verlagen naar 50 dagen en het stuwpeilverloop behorende bij het referentiepunt als randvoorwaarde in te voeren voor die punten waarvan is gesteld dat ze zijn gedraineerd. Daarbij dient te worden aangetekend dat bij de berekening geen rekening is gehouden met de extra kwel die op het gedraineerde gedeelte kan optreden, als gevolg van het creëren van een zeer lokale grondwaterstandsverlaging. De situatie zoals geschetst in fig. 7.5 is nl. ook hier van toepassing.

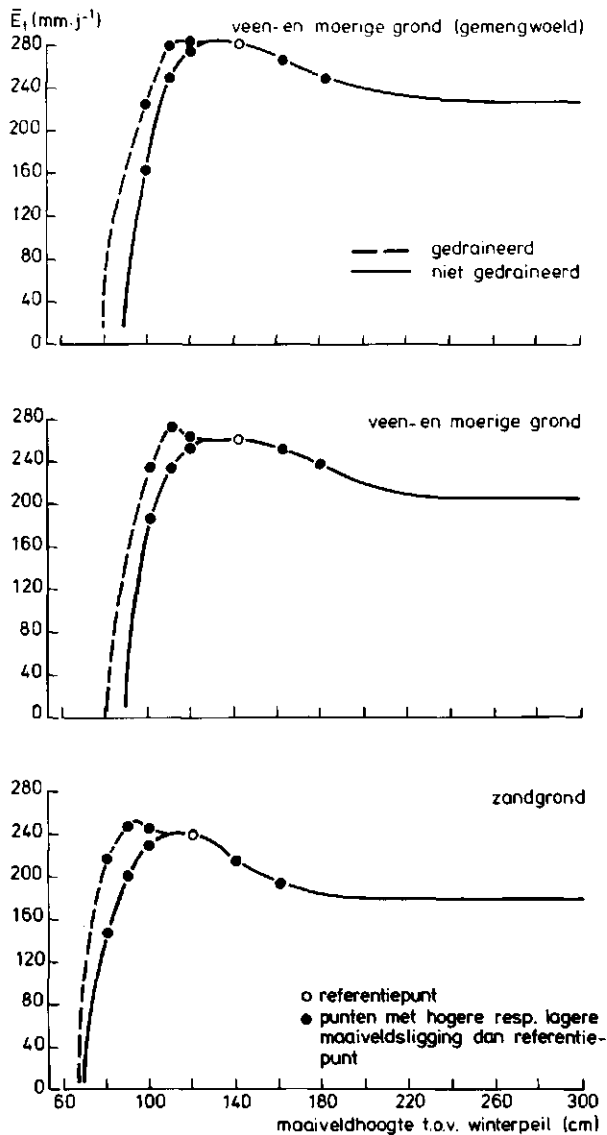


Fig. 7.6. Effecten van de aanleg van buizendrainage ten opzichte van geen drainage op de langjarig gem. gewasverdamping (\bar{E}_t) gerelateerd aan de maaiveldhoogte ten opzichte van het winterpeil voor drie verschillende bodemtypen bij het alternatief wateraanvoer

Het gevolg van deze beperkte drainage is dat de natte tak van de verdamping - open waterpeilcurve van een profieltype naar links verschuift, zoals duidelijk is te zien in fig. 7.6.

De gemiddelde gewasverdamping van een punt met een maaiveldsligging van 1,00 m boven winterpeil stijgt van $165 \text{ mm}\cdot\text{j}^{-1}$ naar $220 \text{ mm}\cdot\text{j}^{-1}$, voornamelijk doordat de negatieve effecten van wateroverlast worden gereduceerd (gemengwoelde veen - en moerige grond). Uiteraard is het berekende effect sterk afhankelijk van de manier waarop de gevolgen van wateroverlast in rekening worden gebracht. Dat de verdamping behorende bij het punt van 1,10 m boven winterpeil stijgt, is voornamelijk het gevolg van toegenomen effecten van wateraanvoer. Ook in de overeenkomstige curve voor een

peilvak treedt dit effect op (zie fig. 7.7). De gegevens voor vijf peilvakken die zijn gebruikt bij de bepaling van de effecten van ongelijke maaiveldsligging, staan weergegeven in tabel 7.7. Drainage van de lagere delen voor het alternatief vaste stuw geeft dus een verhoging van de gemiddelde gewasverdamping van $6,0 \text{ mm}\cdot\text{j}^{-1}$. Echter het aanvoereffect wordt er door verlaagd (van 5,6 naar 4,4). Dit laatste komt doordat bij het alternatief vaste stuw het optimale niveau van de ontwateringsdiepte door de aanleg van drainage geringer wordt waardoor ook voor de hogere, niet gedraineerde, delen de uitgangssituatie gunstiger wordt, zodat minder 'beleidsruimte' ontstaat voor wateraanvoer. Daarbij dient wel te worden aangetekend dat de beheersregels voor de nieuwe situatie niet zijn aan-

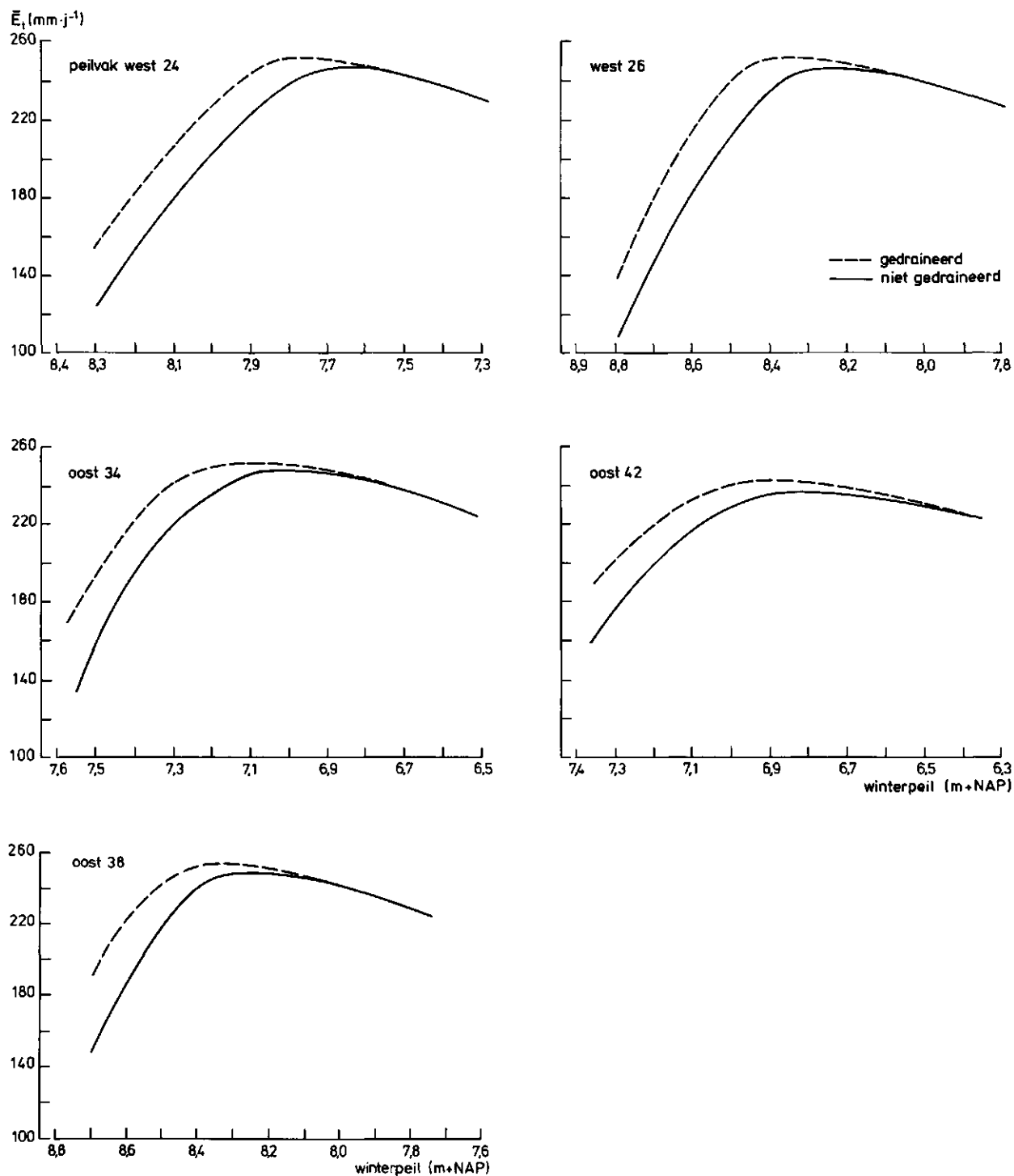


Fig. 7.7. Effecten van de aanleg van buizendrainage ten opzichte van geen drainage op de langjarig gem. gewasverdamming (\bar{E}_t) gerelateerd aan het winterpeil voor de peilvakken W-24, W-26, O-34, O-38 en O-42, bij het alternatief wateraanvoer

gepast. Het ligt voor de hand dat bij drainage van lage delen scherper kan worden beheerd. Per saldo zal daardoor het conserveringseffect stijgen en het aanvoereffect ongeveer gelijk blijven.

Uit de curven zoals weergegeven in fig. 7.6 is verder af te leiden dat door drainage van lage delen een verlaging in optimaal niveau van kruinhoogte van

de vaste stuw of in winterwijkpeil (fase nul) optreedt van circa 0,10 m ten opzichte van maaiveld (dus 'natter' beheer).

Uit de berekening van effecten van een toenemende ongelijke maaiveldsligging als gevolg van bodemdegradatie (par. 7.2) kan ook worden afgeleid dat daardoor het optimale niveau van het winterpeil dieper komt te

Tabel 7.7. Gevolgen van drainage van lage delen op de naar ongelijke maaiveldsligging gecorrigeerde gemiddelde gewasverdamping en op het conserverings- en aanvoereffect voor vijf peilvakken

Peil- vak	Vaste stuw			Conservering			Aanvoer		
	ongedr.	gedr.	drainage- effect	ongedr.	gedr.	conserv. effect bij drainage	ongedr.	gedr.	aanvoer- effect bij drainage
	(mm.j ⁻¹)	(mm.j ⁻¹)	(mm.j ⁻¹)	(mm.j ⁻¹)	(mm.j ⁻¹)	(mm.j ⁻¹)	(mm.j ⁻¹)	(mm.j ⁻¹)	(mm.j ⁻¹)
W-24	237	243	6,0	243	249	6,0	248	253	6,0
W-26	239	245	6,0	244	250	5,0	250	255	5,0
O-34	238	243	5,0	243	249	6,0	249	253	4,0
O-38	239	245	6,0	245	250	5,0	250	255	5,0
O-42	225	232	7,0	231	239	7,0	237	243	4,0
Gem.	235,6	241,6	6,0	241,2	247,4	5,8	246,8	251,8	4,4

liggen (circa 0,05 m). Door drainage van de lagere terreingedeelten kan deze natuurlijke tendens ruimschoots worden gecompenseerd.

7.6. NIET IN REKENING GEBRACHTE EFFECTEN

Behalve de tot nu toe behandelde effecten heeft peilbeheer nog een aantal minder belangrijke of minder goed te modelleren gevolgen. Het betreft hier onder meer:

- minder variatie in de opbrengst van jaar tot jaar. Zo bedraagt de standaardafwijking in de jaarlijkse verdampingsreductie van de referentie-eenheid bij vaste stuw 41,3 mm; bij een aanvoer met maximale capaciteit wordt deze afwijking 16,6 mm, vooral ten gevolge van het terugdringen van de reducties in gewasverdamping in droge jaren. Daar staat tegenover dat het resultaat over 1971 tot en met 1982 relatief sterk wordt bepaald door het droge jaar 1976;
- door een beter peilbeheer kan het groeiseizoen worden verlengd. Uit een beregeningsproef bij fabrieksaardappelen in 1982 (HELLINGS e.a., 1983) blijkt dat vooral bij aardappelen een vervroegde afsterving optreedt na het overschrijden van een zekere drempelwaarde van doorgestane droogte. Dit vervroegde afsterven kan door een betere watervoorziening worden voorkomen dan wel uitgesteld. Hoewel bij infiltratie dit seizoenverlengend effect veel geringer zal zijn dan bij beregening, mag toch worden verondersteld dat door verwaarlozing van dit verschijnsel de effecten van peilbeheer worden onderschat;
- vermindering van de bewortelingsdiepte. In de modelberekeningen is een bewortelingsdiepte aangenomen die wordt bepaald door de mechanische weerstand van de bodem. Door een te hoge grondwaterstand zou mogelijk de bewortelingsdiepte kunnen worden beperkt door gebrek aan aëratie. In het model is hiermee min of meer rekening gehouden door de wateropnamecapaciteit van de wortels bij overschrijding van een zekere vochttoestand te reduceren. Zodra de grond weer droger wordt, kan in het model direct weer water worden opgenomen, terwijl het de vraag is of in werkelijkheid de wortels er dan nog zijn;

teit van de wortels bij overschrijding van een zekere vochttoestand te reduceren. Zodra de grond weer droger wordt, kan in het model direct weer water worden opgenomen, terwijl het de vraag is of in werkelijkheid de wortels er dan nog zijn;

- conservering van veen. Afbraak van organische stof beneden de wortelzone wordt sterk versneld door een goede aëratie en hoge temperaturen. Hoge grondwaterstanden in de zomer zullen daarom de afbraak van veen tegengaan;
- vermeerdering van het onderhoud van het oppervlaktewaterstelsel. In de zomer dienen de hoofdwatgangen en wijken een zodanig onderhoudstoestand te hebben dat doorvoer van aangevoerd water zonder al te veel drukverliezen mogelijk is. De door te voeren hoeveelheden zijn echter geringer dan in de winter, zodat kan worden aangenomen dat bij voldoen aan de winter-eisen automatisch een voldoende onderhoudstoestand in de zomer is gewaarborgd. Dit geldt zeker voor opgeschoonde wijken;
- het overgrote deel van het aangevoerde water komt ten goede aan de voeding van het grondwater. Daardoor kan de winbare hoeveelheid grondwater voor drinkwater- en industriewateronttrekking en/of beregening aanzienlijk toenemen;
- bij wateraanvoer wordt gebiedsvreemd water geïmporteerd. Dit kan nadelig zijn voor de kwaliteit van het grondwater. Daar dit sterk afhangt van de kwel/wegzingspatronen kan dit alleen via een aanvullende studie nader worden onderzocht;
- de in het verleden doorgevoerde diepe ontwatering in landbouwgebieden kan nadelige effecten hebben op (aangrenzende) natuurgebieden. Door waterconservering en -aanvoer in landbouwgebieden kan een (gedeeltelijke) opheffing van de verlaging ten gevolge van diepere ontwatering worden bereikt. Als illustratie daartoe is fig. 7.8 opgenomen, waarin voor drie jaren het effect van wateraanvoer op de grondwaterstand wordt geïllustreerd;

8. ECONOMISCHE ANALYSE VAN EFFECTEN VAN PEILBEHEER

8.1. ALGEMEEN

De netto hydrologische effecten van waterconservering en -aanvoer zijn in tabel 7.6 uitgedrukt als een procentuele toename van de gemiddelde potentiële gewasverdamping. Voor de economische analyse moeten deze worden omgezet in geldswaarden. Dit is onderwerp van par. 8.2. Om deze marginale (in de zin van extra toegevoegde) financiële opbrengsten te realiseren, worden kosten gemaakt in de vorm van investeringen, bediening en onderhoud. In par. 8.3 wordt hieraan aandacht besteed. In par. 8.4 wordt, gegeven de marginale opbrengsten, investeringen en variabele kosten, voor het gebied 'De Monden' de interne rentevoet berekend voor elk van de onderscheiden alternatieven van waterbeheer. In par. 8.5 wordt de relatie tussen optimale aanvoercapaciteit en interne rentevoet behandeld. Indien niet bekend is welke investeringen moeten worden gedaan om de wateraanvoer naar een bepaald gebied te realiseren, kan men zich beperken tot het genereren van een vraagfunctie naar water aan het inlaatpunt. Dit komt aan de orde in par. 8.6. In par. 8.7 ten slotte worden enige berekeningen gepresenteerd waaruit blijkt dat de interne rentevoet berekend uit de gemiddelde jaarlijkse opbrengst niet noemenswaardig afwijkt van de gemiddelde interne rentevoet van de van jaar tot jaar variërende (stochastische) opbrengsten.

Voor de gehele economische analyse geldt dat wordt uitgegaan van maatschappelijke opbrengsten en kosten. Dit houdt concreet in dat subsidies, belastingen en dergelijke buiten beschouwing worden gelaten.

8.2. GEMIDDELTE GELDELIJKE OPBRENGSTVERHOOGING VAN PEILBEHEER

In tabel 7.6 staan de netto hydrologische effecten van vier alternatieven van peilbeheer vermeld, uitgedrukt per eenheid van oppervlakte cultuurgrond en oppervlaktewaterstelsel samen. In vier stappen zal nu worden afgeleid wat dit betekent voor de toename van de gezamenlijke inkomsten uit de landbouw in het proefgebied.

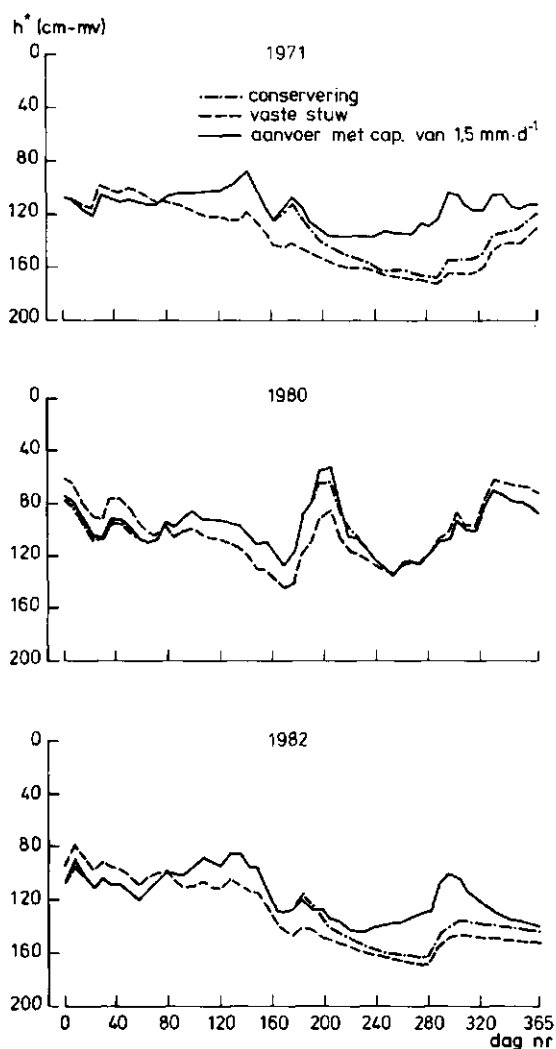


Fig. 7.8. Effecten van wateraanvoer ($1,5 \text{ mm.d}^{-1}$) op het grondwaterstandsverloop (h^*) ten opzichte van de situatie met vaste stuw in 1971, 1980 en 1982

- in deze studie is niet gekeken naar de economische haalbaarheid van wateraanvoer ten behoeve van berekening omdat 1) berekening nog zeer weinig plaatsvindt en 2) de bedrijfseconomische aspecten sterk bepalend zijn voor de economische haalbaarheid. Het is echter mogelijk dat in de toekomst berekening gaat toenemen. Bij wateraanvoer is berekening uit de wijken - door de grote transportcapaciteit - technisch goed mogelijk;
- visueel en recreatief aspect. Cultuurhistorisch gezien behoren wijken vol water te staan.

Omzetting gewasverdamping - fysieke gewasopbrengst

Bij schadeberekeningen door CoGroWa wordt uitgegaan van de volgende relatie (WERK GROEP LANDBOUWKUNDIGE ASPECTEN, 1984):

$$Q_p(i) = \frac{E_{t,p}(i)}{\bar{E}_{t,p}} Q_p \quad (8.1)$$

waarin Q_p de potentiële produktie in een willekeurig jaar i , \bar{Q}_p de gemiddelde potentiële produktie, $E_{t,p}(i)$ de potentiële verdamping in jaar i en $\bar{E}_{t,p}$ de gemiddelde potentiële verdamping. Deze relatie houdt in dat er een lineair verband wordt gelegd tussen verdamping en opbrengst. Dit uitgangspunt zal ook hier worden gehanteerd.

Modelgewas - praktijkgewas

Met het één-dimensionale model PEILBEHEER kan geen rekening worden gehouden met randverliezen. Bovendien is het voor het modelgewas ingevoerde groeiverloop afgeleid van een goed groeiend middellaat aardappelgewas. In de praktijk wordt dit ideale verloop door het gebruik van mindere kwaliteit pootgoed, het voorkomen van ziekten en dergelijke bijna nooit gehaald. De veronderstelling die nu wordt gemaakt is dat waterbeheer procentueel in gelijke mate de opbrengst van het praktijkgewas beïnvloedt als is berekend voor het 'modelgewas', zodat met praktijkopbrengsten kan worden gerekend.

Opbrengst praktijkgewas - financiële opbrengst

Door SLOTHOUWER (1982) zijn voor het proefgebied voor een aantal jaren de geteelde gewassen, opbrengsten en kg-prijzen vastgesteld. Uit deze reeks zijn de jaren 1978 en 1979 gekozen, waarvan bekend is dat in die jaren geen vochttekorten zijn opgetreden (GREVEN, 1980; HENSUMS, 1980). De opbrengsten in die jaren zijn dus representatief voor de gemiddelde opbrengsten die bij goede vochtvoorziening kunnen worden gerealiseerd. Gegeven het gemiddelde bouwplan en de kg-prijzen van 1980 van de verschillende produkten is te berekenen dat de gemiddelde geldelijke opbrengst per ha cultuurgrond f 4834 bedraagt. Volgens ROZENVELD (1982) is door een lagere dan gemiddelde straling de potentiële opbrengst in 1978 en 1979 gemiddeld 3% lager. Hiervoor gecorrigeerd bedraagt de opbrengst per ha cultuurgrond afgerond f 5000 per ha. Per % opbrengstverhoging is dat dus f 50 per ha. Een opbrengstverhoging van 1% komt overeen met 3 mm gewasverdamping, omdat de berekende langjarige gemiddelde potentiële gewasverdamping 315 mm bedraagt. Per mm verdamping is dit f 17 per ha. In een eerdere studie (WERK GROEP WATERAANVOER, 1983) werd hiervoor f 19 per ha aangehouden. Daarbij werd echter uitgegaan van kg-opbrengsten van 'proefveldgewassen'.

Door Slothouwer is ook berekend wat de extra kosten zijn die met extra opbrengsten gepaard gaan. Deze bedragen circa 3,5% van de bruto opbrengst zodat de netto opbrengstverhoging van 1% toename in de gewasverdamping f 48,25 per ha cultuurgrond bedraagt.

Geldelijke opbrengstverhoging per ha - geldelijke opbrengstverhoging voor het gehele proefgebied

In par. 7.2 is vermeld dat de gezamenlijke oppervlakte cultuurgrond en oppervlaktewaterstelsel die profiteert van het peilbeheer 82% is van de bruto oppervlakte van het proefgebied (6814 ha). Dit is afgerond 5600 ha. Hiervan wordt 6% ingenomen door de wijken en hoofdwatergangen. Per ha cultuurgrond en oppervlaktewaterstelsel samen is de procentuele opbrengstverhoging voor de verschillende vormen van peilbeheer zoals vermeld in tabel 7.6. De geldelijke opbrengstverhoging per procent verhoging van de gewasverdamping (uitgedrukt ten opzichte van potentiële gewasverdamping) bedraagt $0,94 \times f$ 48,25 = f 45,35 per ha. Vermenigvuldiging met 5600 levert de gemiddelde jaarlijkse verhoging van de inkomsten uit de landbouw in het proefgebied bij de verschillende alternatieven van peilbeheer (prijsspeil 1980). In tabel 8.1 staan de aldus berekende bedragen vermeld. Uitgaande van de oppervlakte per deelgebied, zoals gegeven in tabel 7.6, is voor de drie onderscheiden subgebieden het aandeel weergegeven.

Tabel 8.1. Gemiddelde jaarlijkse verhoging van de inkomsten uit de landbouw bij vier alternatieven van peilbeheer. De verhoging door wateraanvoer is uitgedrukt ten opzichte van conservering (in duizenden guldens, prijspeil 1980). Onderscheid is gemaakt in 'normaal' en 'voorzichtig' beheer

	Conservering	Aanvoer met capaciteit (mm.d ⁻¹)		
		0,75	1,50	2,50
Normaal beheer				
totaal proefgebied	520	318	464	547
per deelgebied				
west	59	56	74	86
midden	314	135	197	236
oost	147	127	193	225
Voorzichtig beheer				
totaal proefgebied	311	445	649	765
per deelgebied				
west	35	78	103	120
midden	188	189	276	330
oost	88	178	270	315

8.3. KOSTEN VAN PEILBEHEER

Om de verhoging van de inkomsten uit de landbouw te kunnen realiseren, moeten in principe door agrariërs, waterschap, regionale overheid (provincie) en landelijke overheid kosten worden gemaakt. Dit betreft zowel vaste als variabele kosten. In het hierna volgende zal worden besproken welke kosten op elk niveau hieronder vallen.

Kosten op bedrijfsniveau

In de eerder aangehaalde studie (WERKGROEP WATERAANVOER, 1983) is gesteld dat de kosten van het opschonen en onderhouden van het wijkensysteem volledig kunnen worden verhaald op de verbetering van de opbrengsten ten gevolge van vermindering van wateroverlast. Deze veronderstelling wordt ondersteund door de resultaten zoals vermeld in het vorige hoofdstuk, waaruit blijkt dat matig verlande wijken door toeneming van wateroverlast reeds een opbrengstvermindering van gemiddeld 10% veroorzaken.

Kosten op waterschapsniveau

Door het waterschap zijn gegevens verstrekt waaruit is af te leiden wat de investeringen en jaarlijkse onderhoudskosten zijn van waterconservering en -aanvoer (SLOTHOUWER, 1982). Deze staan vermeld in tabel 8.2. Daarbij moet worden opgemerkt dat de investeringsbedragen voor het aanvoersysteem niet afhankelijk zijn van de aanvoercapaciteit. Indien men besluit tot investeren in een aanvoersysteem dan wordt vrijwel altijd gedimensioneerd op $2,5 \text{ mm.d}^{-1}$ voor de profiterende oppervlakte. Door de bijzondere geografische ligging van het proefgebied ten opzichte van het inlaatpunt zijn de variabele kosten bij wateraanvoer vrijwel onafhankelijk van de hoeveelheid aangevoerd water. Het water kan immers onder vrij verval vanaf het inlaatpunt het gehele gebied doorstromen (uitgezonderd peilvak W-22).

Kosten op provinciaal niveau

Door de WERKGROEP WATERAANVOER (1983) is berekend dat de investeringskosten per gemaal per m^3 aanvoercapaciteit f 520 000 bedragen (prijspeil 1982). Omgerekend naar prijspeil 1980 is dit bij een jaarlijkse prijsstijging van 5% f 475 000. Verder is bekend dat er vijf gemalen nodig zijn om het water via het hoogste pand van de Hoogeveensche Vaart (15,80 m +NAP) te kunnen aanvoeren. Daardoor komen de investeringskosten per $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ aanvoercapaciteit naar het proefgebied op f 2 375 000. De aanvoercapaciteit van de drie wateraanvoeralternatieven is gegeven in mm.d^{-1} . Gegeven de 10% verliezen naar niet door cultuurgrond of wijk ingenomen oppervlakten is dit laatste bedrag om te zetten in aanvoercapaciteiten uitgedrukt in $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$:

$$\text{aanvoercapaciteit in } \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1} = \text{aanvoercapaciteit in } \text{mm.d}^{-1} \text{ vermenigvuldigd met } (5600 * 1,1)/8640.$$

De variabele kosten bestaan uit energiekosten (ruim f 0,02 per m^3 aangevoerd water), uit beheersen onderhoudskosten (ruim f 0,01 per m^3) en een zeer gering bedrag aan bedieningskosten. Totaal komt dit neer op f 0,035 per m^3 aangevoerd water.

Kosten op landelijk niveau

In het kader van de PAMN-studie (Policy Analysis for the Water Management of the Netherlands) is een model ontwikkeld waarmee het water dat voornamelijk door de Rijn moet worden geleverd in tijden van schaarste over Nederland moet worden verdeeld (ABRAHAMSE et al., 1982). De uitkomsten van deze studie zijn zeer globaal, zodat vooraansnog wordt aangenomen dat geen maatschappelijke kosten behoeven te worden gemaakt om het water aan het inlaatpunt van de provinciale overheid te krijgen.

Tabel 8.2. Investerings- en variabele jaarlijkse kosten in duizenden guldens van vier alternatieven van peilbeheer (gegevens verstrekt door het waterschap 'De Veenmarken' en uit WERKGROEP WATERAANVOER, 1983). De investeringen en kosten voor wateraanvoer zijn berekend t.o.v. conservering

	Conservering	Aanvoer met capaciteit (mm.d^{-1})		
		0,75	1,50	2,50
Investeringskosten door waterschap	600	691	691	691
Variabele kosten voor waterschap bij normaal beheer	9	11	12	12
Idem bij voorzichtig beheer	9	11	12	13
Investeringskosten door provincie	0	1280	2540	4230
Variabele kosten voor provincie bij normaal beheer	0	77	116	131
Idem bij voorzichtig beheer	0	92	139	157

8.4. BEPALING VAN DE INTERNE RENTEVOET VAN INVESTERINGEN

De verhoging van de inkomsten uit de landbouw is uitgedrukt in guldens per jaar (prijspeil 1980). Om te onderzoeken of het economisch aantrekkelijk is om de in de vorige paragraaf vermelde investeringen te plegen, zouden deze moeten worden vertaald naar jaarlijkse kosten. De moeilijkheid hierbij is de keuze van de rentevoet. Om dit te vermijden, wordt gewerkt met de zogenaamde interne rentevoet. De definitie hiervan luidt: die rentevoet waarbij de contante waarde van de opbrengsten gelijk zijn aan de contante waarde van de kosten. De contante waarde van de toekomstige effecten van waterbeheer wordt met de volgende vergelijking berekend:

$$C_w = \sum_{n=1}^N \frac{(Y_n - K_n)}{(1+c)^n} \quad (\text{gld}) \quad (8.2)$$

waarin C_w de contante waarde (gld), N de levensduur van de investering (j), Y_n de toename in landbouwwin-

komen van het gebied in jaar n (gld), (uitgedrukt in prijspeil 1980), K_n de daarbij behorende te maken (variabele) kosten, (gld) (uitgedrukt in prijspeil 1980) en c de discontovoet (-).

Het probleem is dat de waarden van Y_n niet bekend zijn. Door de sterke schommelingen in het weer van jaar tot jaar hebben deze een stochastisch karakter. In par. 8.7 zal worden aangetoond dat het geoorloofd is te rekenen alsof de toekomstige waarden van Y_n elk jaar dezelfde waarde hebben die gelijk is aan het langjarig gemiddelde. Door allerlei ontwikkelingen in teelttechnieken en dergelijke treedt echter wel een jaarlijkse groei op in de fysieke opbrengsten van landbouwproducten. Een redelijke veronderstelling hiervoor lijkt 1% per jaar (LOCHT, 1984, pers. med. ICW, Wageningen). Daar staat tegenover een afnemende oppervlakte. Deze afnemende oppervlakte is volgens gegevens van de metingen 0,5% per jaar (SLOTHOUWER, 1982). De 'netto' groeivoet komt daarmee op 0,5% en bij gelijkblijvende variabele kosten gaat vergelijking (8.2) over in:

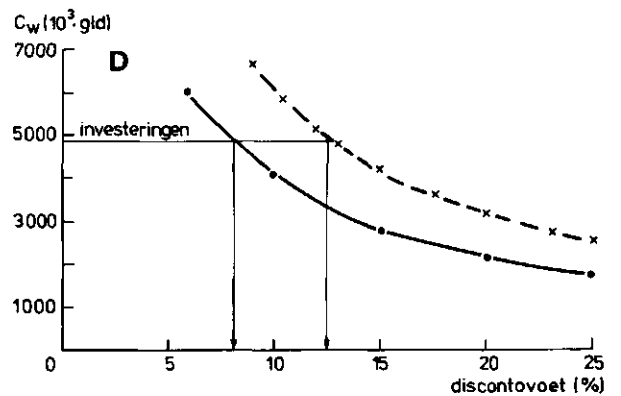
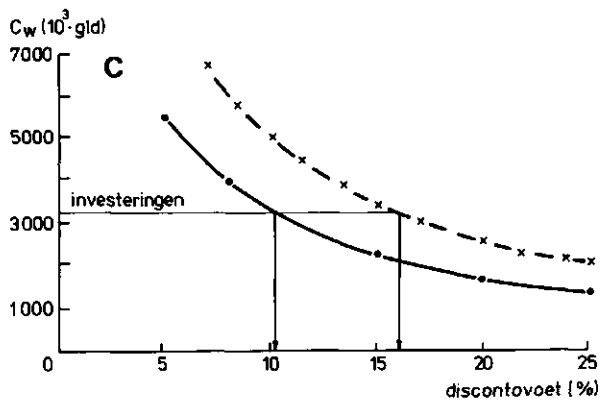
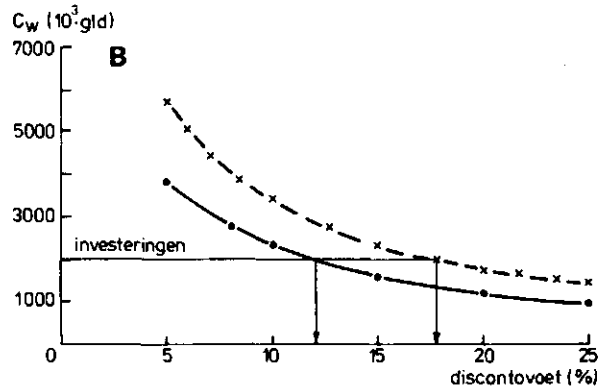
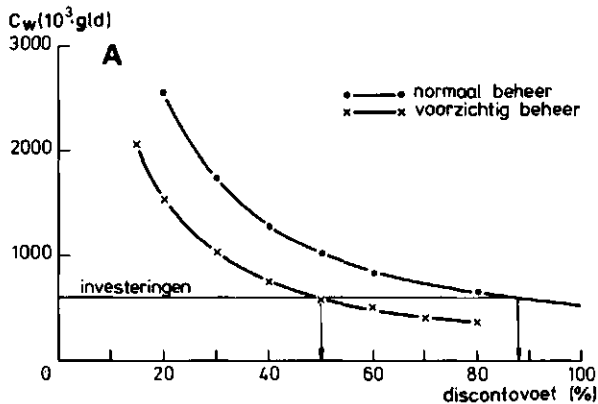


Fig. 8.1. Relatie tussen de discontovoet (%) en de contante waarde van de toekomstige baten minus variabele kosten C_w (in duizenden guldens) bij normaal en voorzichtig beheer

A conservering

B aanvoer met capaciteit van $0,75 \text{ mm.d}^{-1}$

C aanvoer met capaciteit van $1,50 \text{ mm.d}^{-1}$

D aanvoer met capaciteit van $2,50 \text{ mm.d}^{-1}$

$$C_w = \sum_{n=1}^N \frac{Y_{80}(1 + 0,005)^n - K_{80}}{(1 + c)^n} \quad (\text{gld}) \quad (8.3)$$

waarbij Y_{80} en K_{80} de toename in landbouwincome van het gebied respectievelijk de daarvoor te maken variabele kosten in het jaar 1980. Daarbij hoort de veronderstelling dat in de toekomst opbrengstprijzen en kosten constant zullen zijn.

De afnemng van de oppervlakte cultuurgrond zorgt er voor dat, bij een gegeven aanvoercapaciteit naar het gebied, de aanvoercapaciteit per eenheid van cultuurgrond stijgt. Dit kan leiden tot een extra aanvoereffect. Hiermee is geen rekening gehouden.

Met behulp van de gegevens uit de tabellen 8.1 en 8.2 en bij een aangenomen levensduur van het waterbeheerssysteem van 30 jaar is nu voor de vier alternatieven van peilbeheer de relatie tussen discontovoet en contante waarde te berekenen. In fig. 8.1 staan de relaties weergegeven die gelden voor het hele proefgebied. De interne rentevoet van de investeringen in waterconservering en -aanvoer kan nu grafisch worden bepaald. Daarbij is aangenomen dat de investeringen in één jaar zijn gedaan en in datzelfde jaar baten opleveren.

De gevonden waarden geven aanleiding tot enig commentaar. De interne rentevoet van conservering is zelfs indien een voorzichtig peilbeheer wordt gevoerd erg hoog. De gevonden waarden betekenen immers dat de investeringen ten behoeve van conservering gemiddeld in 1 à 2 jaar zijn terug te verdienen. De interne rentevoet van de drie verschillende alternatieven van wateraanvoer worden lager naarmate de aanvoercapaciteit hoger wordt, zoals ook te zien is in fig. 8.2. Uit deze figuur is niet af te leiden wat bij een

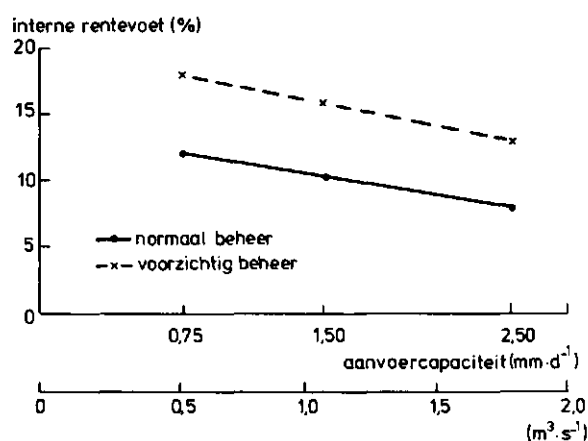


Fig. 8.2. Relatie tussen de aanvoercapaciteit (mm.d⁻¹/m³.s⁻¹) en de interne rentevoet (%) bij normaal en voorzichtig beheer

bepaalde keuze van de interne rentevoet de bijbehorende optimale aanvoercapaciteit is. Daarvoor is het nodig de interne rentevoet van de investering in de uitbreiding van aanvoercapaciteit te kennen.

Indien wordt aangenomen dat één jaar nadat de investeringen zijn gedaan, baten worden behaald, verandert de interne rentevoet van conservering van 88% in 51% en van wateraanvoer met capaciteit van 0,75; 1,5 en 2,5 mm.d⁻¹ respectievelijk van 12,0% in 10,8%, van 10,1% in 9,5% en van 8,0% in 7,5%.

8.5. RELATIE TUSSEN INTERNE RENTEVOET EN OPTIMALE AANVOERCAPACITEIT

Op basis van de gegevens over toename van de gemiddelde jaarlijkse inkomsten uit de landbouw en de variabele kosten bij drie waarden van de aanvoercapaciteit is een analytische relatie te bepalen tussen aanvoercapaciteit en inkomsten respectievelijk variabele kosten. Deze zijn voor normaal beheer weergegeven in fig. 8.3. De lijnen kunnen worden voorgesteld met de volgende functies:

$$Y = -448 + 193 \ln(A_{cap}^*); r^2 = 0,9947 \quad (8.4a)$$

respectievelijk

$$K = -97 + 47 \ln(A_{cap}^*); r^2 = 0,9706 \quad (8.4b)$$

waarin A_{cap}^* de aanvoercapaciteit in m³.s⁻¹ * 100.

Daarmee is bekend wat bij elke aanvoercapaciteit het verschil is tussen inkomsten en variabele kosten.

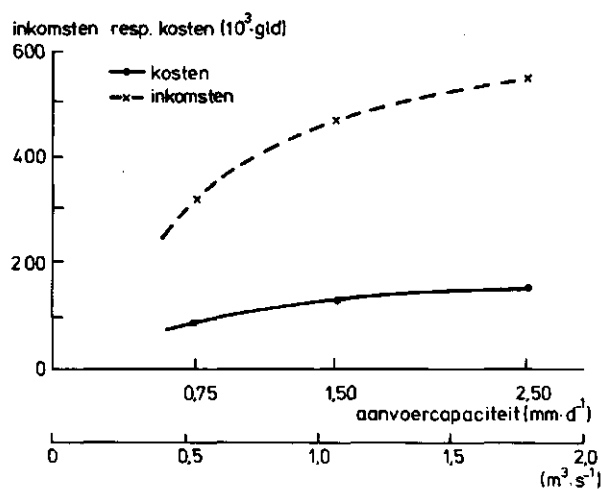


Fig. 8.3. Relatie tussen de aanvoercapaciteit (mm.d⁻¹/m³.s⁻¹) en de inkomsten respectievelijk variabele kosten (in duizenden guldens) bij normaal beheer

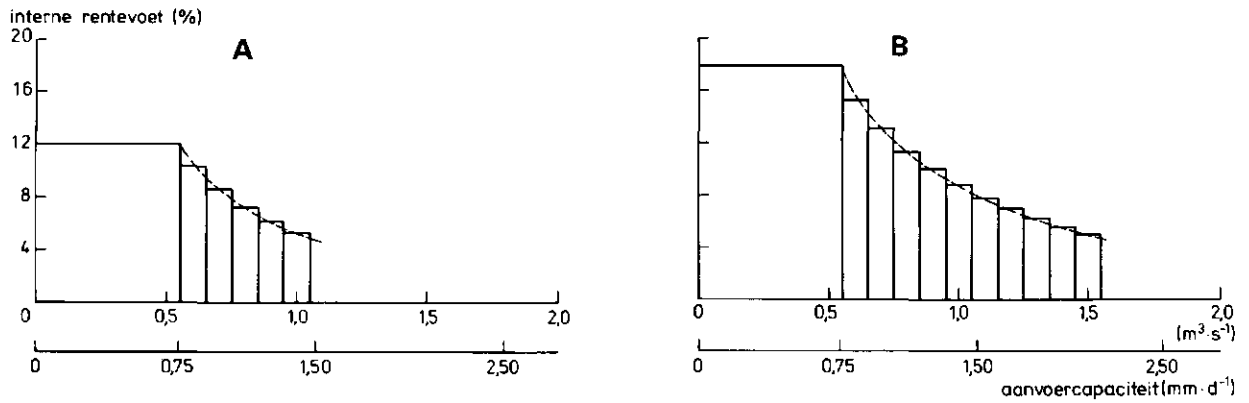


Fig. 8.4. Relatie tussen een stapsgewijs toenemende aanvoercapaciteit ($\text{mm.d}^{-1}/\text{m}^3.\text{s}^{-1}$) en de interne rentevoet (%) verkregen met de daarvoor benodigde investeringsschijven
 A. normaal beheer
 B. voorzichtig beheer

Hieruit is af te leiden wat de toename is in inkomsten minus variabele kosten bij uitbreiding van de aanvoercapaciteit. Bovendien is bekend welke investeringen moeten worden gepleegd om deze toename te kunnen realiseren. Hieruit is weer te berekenen hoeveel de interne rentevoet bedraagt van uitbreiding van aanvoercapaciteit als functie van de reeds geïnstalleerde aanvoercapaciteit.

In plaats van een continue toename in aanvoercapaciteit wordt meestal gewerkt met eindige stappen en kan de interne rentevoet worden bepaald van de daarvoor benodigde investeringsschijven. Figuur 8.4 geeft het resultaat van deze rekenwijze voor normaal en voorzichtig beheer. Daarbij is gesteld dat, indien wordt geïnvesteerd in aanvoercapaciteit, altijd voor minimaal $0,5 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ wordt geïnstalleerd. Voor deze eerste schijf moet dus zowel in het primair (provinciaal) als het secundair (waterschap) stelsel worden geïnvesteerd. Daarna wordt voor elke uitbreiding van de aanvoercapaciteit met $0,1 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ berekend hoeveel de interne rentevoet bedraagt.

Uit deze figuren kan direct worden afgeleid wat de optimale aanvoercapaciteit is bij een bepaalde keuze van de interne rentevoet. Het is aan de beslissende instantie welke hoogte hiervoor wordt gekozen.

Uit de vergelijking tussen fig. 8.2 en fig. 8.4 volgt direct dat, ondanks een redelijke interne rentevoet van de investeringen voor een aanvoercapaciteit van bijvoorbeeld $1,0 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ (fig. 8.2) de interne rentevoet van de investeringen voor de schijf tussen $0,9$ en $1,0 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ veel lager is (fig. 8.4). Deze laatste waarde is echter bepalend voor de eventueel te installeren aanvoercapaciteit.

Door de verschillen in effecten tussen de deelgebieden west, midden en oost, is een hogere interne rentevoet te verkrijgen door binnen het gebied verschillen aan te brengen in aanvoercapaciteit. Per

deelgebied is de toename in opbrengsten te bepalen bij uitbreiding van extra hoeveelheid aanvoercapaciteit en hiervan is weer de interne rentevoet te berekenen. Nu zal het waterschap bij toename van de totale aanvoercapaciteit naar het gehele proefgebied alleen dat deelgebied van water voorzien waar de hoogste interne rentevoet wordt behaald. Deze procedure is uitgewerkt voor het normaal beheer en het resultaat staat weergegeven in fig. 8.5. Ter vergelijking is tevens het resultaat ingetekend indien geen onderscheid tussen deelgebieden wordt gemaakt. De verdeling van de aanvoercapaciteit - bij een keuze van de interne rentevoet van bijvoorbeeld 10% - tussen west, midden en oost is respectievelijk $0,0$; $0,85$ en $1,40 \text{ mm.d}^{-1}$. Door deze geoptimaliseerde verdeling binnen het gebied neemt de verhouding tussen baten minus variabele kosten en totaal benodigde investeringen

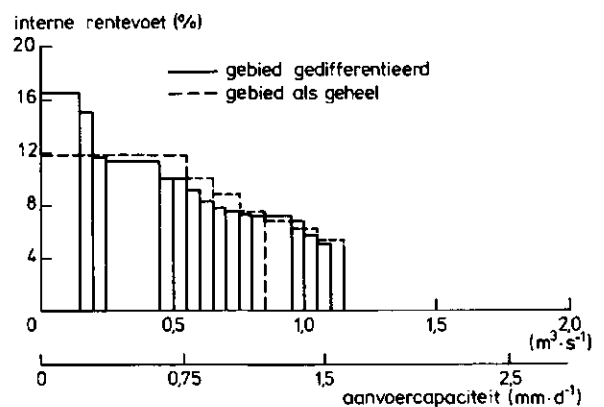


Fig. 8.5. Relatie tussen een stapsgewijs toenemende aanvoercapaciteit ($\text{mm.d}^{-1}/\text{m}^3.\text{s}^{-1}$) en de interne rentevoet (%), gedifferentieerd naar deelgebied waar de hoogste rentevoet wordt behaald en voor het gehele proefgebied bij normaal beheer

toe van 0,116 tot 0,131. Bij een keuze van de interne rentevoet van 6,5% daarentegen wordt de verdeling van de aanvoercapaciteit tussen west, midden en oost respectievelijk 1,03; 1,36 en 1,84 mm.d⁻¹ en gaat bovengenoemde verhouding van 0,112 naar 0,102. Afgezien van de praktische uitvoerbaarheid zal deze op economische grondslag gebaseerde differentiatie op grond van de eis van gelijke behandeling van de ingelanden echter niet gauw worden gerealiseerd. Een zekere differentiatie is echter wel mogelijk, vooral als dit voor vrijwel iedere belanghebbende voordeel oplevert.

8.6. GENEREREN VAN DE VRAAGFUNCTIE NAAR WATER

Het bepalen van de interne rentevoet van investeringen ten behoeve van wateraanvoer, zoals besproken in de vorige paragrafen, was mogelijk omdat gegevens beschikbaar waren over benodigde investeringen in het primaire systeem. Veelal echter zal dat niet het geval zijn. In dat geval kan men volstaan met het genereren van een vraagfunctie naar water, geldend voor het inlaatpunt van het wateraanvoergebied. In dit verband wordt met vraagfunctie bedoeld de relatie tussen af te nemen hoeveelheid water en prijs die men ervoor bereid is te betalen. In het algemeen zal men voor de laatst aangekochte hoeveelheid steeds minder willen betalen omdat - door met name de wet van de afnemende meeropbrengst - de laatst aangewende hoeveelheid steeds minder opbrengt.

Voor het genereren van vraagfuncties is het nodig expliciet een keuze te doen met betrekking tot de kosten van de investering. In het hierna volgende zullen voor het gebied 'De Monden' de vraagfuncties bij normaal en voorzichtig beheer worden afgeleid bij jaarlijkse investeringskosten (rente + aflossing) van 10% van het investeringsbedrag (de zgn. annuïteit).

Allereerst zal de relatie worden afgeleid tussen hoeveelheid aangevoerd water en marginale opbrengst uit de landbouw. Uit de gegevens van tabel 7.6 en tabel 8.1 is af te leiden de relatie tussen gemiddeld aan te voeren water en opbrengst. Tabel 8.3 geeft het resultaat.

Opvallend hierbij is dat deze cijfers een nagevoeg evenredig verband laten zien tussen aanvoerhoeveelheid en opbrengst. Voor normaal beheer geldt: $Y = 0,14Q$ en voor voorzichtig beheer: $Y = 0,16Q$. Dit betekent dat de marginale opbrengst van water onafhankelijk is van de aanvoerhoeveelheid en $f 0,14$ respectievelijk $f 0,16$ per m³ bedraagt. De meest aannemelijke verklaring hiervoor is dat de extra hoeveelheden behorende bij de alternatieven met een hogere aanvoercapaciteit alleen worden aangewend in droge jaren, waarin de aanvoerefficiëntie hoger is. De indirecte relatie tussen wateraanvoer en verdamping zorgt er kennelijk voor dat elke laatst aangewende hoeveelheid vrijwel hetzelfde effect heeft op de gewasverdamping.

De gemiddelde jaarlijkse kosten die bij de drie alternatieven door het waterschap moeten worden gemaakt, bedragen altijd 10% van $f 691\ 000$ + kosten van bediening, onderhoud en energie. De kosten per m³ die het waterschap zijn afnemers in rekening moet brengen om verlies noch winst te maken zijn daarmee ook bekend. Deze prijs, die de boeren dus moeten betalen, moet in mindering worden gebracht op de marginale opbrengstprijs van $f 0,14$ respectievelijk $f 0,16$ per m³. Aldus ontstaan de vraagfuncties van het gebied naar water, zoals getekend in fig. 8.6.

Indien de provinciale overheid de beschikking zou hebben over dergelijke vraagfuncties, en gegeven de jaarlijkse kosten die zij moeten maken om wateraanvoer naar een gebied te realiseren kan zij komen tot een optimale verdeling van het aangevoerde water. De provinciale overheid kan namelijk bij elke prijs van het water die zij moet betalen aan de landelijke overheid, het water zodanig over de provincie verdelen dat in elk gebied de prijs die de waterschappen bereid zijn te betalen voor de laatste m³ gelijk is aan de prijs die de provinciale overheid daarvoor moet vragen wil zij daarop winst noch verlies maken. In het geval de landelijke overheid het water gratis ter beschikking zou stellen en bij jaarlijkse investeringskosten van 10% van het te investeren bedrag is voor het gebied 'De Monden' de aanbodcurve van de provinciale overheid te bepalen. Deze aanbodcurve geeft dus de afge-

Tabel 8.3. Effecten van drie alternatieven van wateraanvoer op toename van de gemiddelde jaarlijkse inkomsten uit de landbouw en de bijbehorende gemiddelde jaarlijkse aanvoerhoeveelheid bij normaal en voorzichtig beheer

	Normaal beheer		Vorzichtig beheer	
	opbrengst Y (10 ³ gld.j ⁻¹)	aanvoer Q (10 ³ m ³ .j ⁻¹)	opbrengst Y (10 ³ gld.j ⁻¹)	aanvoer Q (10 ³ m ³ .j ⁻¹)
Alternatief III	318	2291	445	2750
IV	464	3445	649	4135
V	547	3898	765	4680

Alt. III = aanvoer 0,75 mm.d⁻¹; IV = 1,50 mm.d⁻¹; V = 2,50 mm.d⁻¹

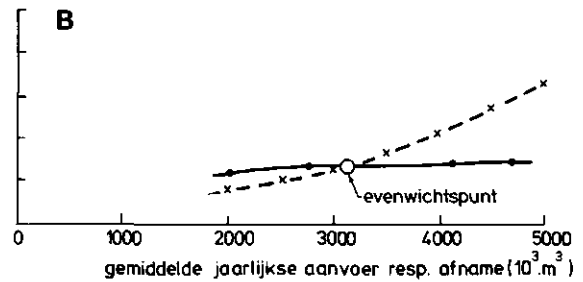
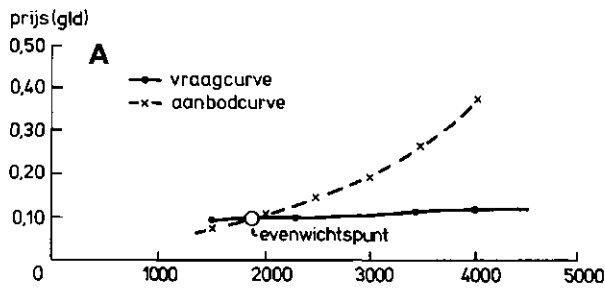


Fig. 8.6. Vraag- en aanbodcurven van water voor het gebied 'De Monden' bij een annuïteit van 10%.
A. normaal beheer; B. voorzichtig beheer

leide van de relatie tussen de aanvoerhoeveelheid en de door de provincie te maken kosten weer. In fig. 8.6 zijn de curven weergegeven voor normaal (A) en voorzichtig beheer (B). De hoeveelheden water die gemiddeld jaarlijks zullen worden afgenomen, kunnen nu direct worden afgelezen en bedragen $1900 \cdot 10^3$ en $3100 \cdot 10^3 \text{ m}^3 \cdot \text{j}^{-1}$ voor respectievelijk normaal en voorzichtig beheer.

Het moge duidelijk zijn dat bij een andere keuze van het percentage voor de bepaling van de jaarlijkse investeringskosten andere hoeveelheden worden gevonden. Om deze reden verdient het de voorkeur per aanvoergebied de relatie vast te stellen tussen interne rentevoet en optimale aanvoercapaciteit, zoals is behandeld in de vorige paragraaf.

8.7. GEMIDDELDE OPBRENGSTEN VERSUS STOCHASTISCHE OPBRENGSTEN

In het voorafgaande is er bij de berekening van de interne rentevoet steeds van uitgegaan dat de toekomstige effecten van peilbeheer op de opbrengsten elk jaar gelijk zullen zijn aan het gemiddelde van de gecorrigeerde effecten van de reeks 1971 tot en met 1982. Door de sterke schommelingen in het weer van jaar tot jaar variëren deze effecten echter zeer sterk. Ze hebben dus een stochastisch karakter en de waarde van de interne rentevoet berekend uit een (toevals)reeks van 30 jaar heeft dus ook een stochastisch karakter. Een aantal van de mogelijke reeksen kan worden gegenereerd indien de kansverdeling van de baten bekend is. Door VAN WALSUM en VAN BAKEL (1983) zijn de twaalf effecten van de jaren 1971 tot en met 1982 opgevat als een representatieve steekproef van de werkelijke 'populatie' en is via toevalstrekkings een aantal reeksen van 30 achtereenvolgende waarden gegenereerd. In fig. 8.7 wordt hiervan het frequentie-histogram van de berekende interne rentevoeten weer-gegeven. Het gemiddelde van de waarden bedraagt 15,6%,

terwijl de interne rentevoet bij constante jaarlijkse effecten gelijk is aan het gemiddelde effect van 14,8%. De conclusie die hieruit kan worden getrokken is dat het in deze studie geoorloofd is te rekenen met gemiddelde jaarlijkse opbrengsten.

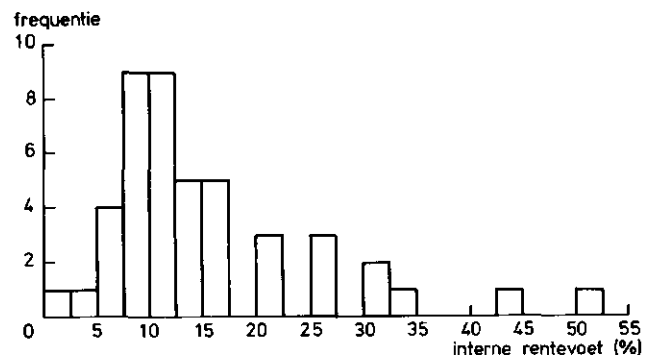


Fig. 8.7. Frequentiehistogram van de berekende interne rentevoeten bij 46 runs

9. VERTALING VAN DE ONDERZOEKSRISULTATEN NAAR ANDERE GEBIEDEN

9.1. INLEIDING

In dit rapport zijn de hydrologische en economische effecten van peilbeheer in een specifiek veenkoloniaal akkerbouwgebied beschreven. Hoewel nauwkeurig gerekend is, blijkt onder andere uit de gevoeligheidsanalyse dat slechts gesproken kan worden van de verwachtingswaarde van effecten en dat bij iets andere invoergegevens of bij andere uitgangspunten voor het peilbeheer heel andere effecten worden berekend. Deze constatering kan echter bij praktisch alle hydrologische studies ten behoeve van beleidsvoorbereiding en -ondersteuning worden gedaan. Het feit dat het beleid op grond van de gevonden onderzoeksresultaten de kans loopt om een foutieve beslissing te nemen, mag geen aanleiding vormen om beslissingen uit te stellen of niet te nemen. Geen beslissing is ook een beslissing!

Het geheel wordt nog relatiever, indien men de gevonden resultaten tracht te vertalen naar andere gebieden. De onderhavige studie, waarvan de totale kosten kunnen worden geraamd op ruim f 1 000 000,- is ondernomen met de nadrukkelijke bedoeling de resultaten te kunnen gebruiken om:

- het peilbeheer in dergelijke gebieden te verbeteren;
- aan te tonen of het uitvoeren van waterconserverings- en aanvoerplannen economisch aantrekkelijk is in - in dit opzicht - maagdelijke gebieden.

In het hierna volgende zal worden getracht op grond van reeds aanwezige of tijdens het onderzoek verkregen en/of gerijpte inzichten de gevonden resultaten te extrapoleren naar andere gebieden. Daarbij zal zo veel mogelijk worden uitgegaan van het volgende standpunt: stel dat voor een zeker gebied moet worden besloten tot het al of niet uitvoeren van werken ten behoeve van waterconservering en/of -aanvoer, aan welke eigenschappen moet dit gebied dan voldoen (welke gegevens zijn beschikbaar) en hoe zal het toekomstig beheer worden gevoerd of hoe kan het huidige beheer eventueel worden verbeterd. Tevens zal worden ingegaan op het vraagstuk van al dan niet automatiseren van beweegbare stuwten.

9.2. BENODIGDE GEGEVENS

In het systeem van peilbeheer ten behoeve van een aanvullende vochtvoorziening komt een aantal 'kranen' voor.

Oppervlaktewaterstelsel

Het gebied 'De Monden' is in zoverre uniek dat dezelfde waterlopen die 's winters zorgen voor de afvoer ook kunnen worden gebruikt voor aanvoer (dus beheersbaar zijn). In dit opzicht lijkt het gebied veel op een polder. Daardoor is de doorvoercapaciteit - zeker bij opgeschoonde wijken - geen enkel probleem. In vele andere gebieden gelegen in het hogere deel van Nederland, is deze situatie echter niet aanwezig. Met name de kleinere waterlopen en greppels hebben een bodemhoogte boven het niveau van zomerpeil of zijn 's zomers zodanig dichtgegroeid dat doorstroming van aangevoerd water ten behoeve van infiltratie sterk wordt belemmerd. Als uit berekeningen echter volgt dat het nut heeft om het detailontwateringssysteem voldoende open te houden, is het technisch geen probleem om dit te realiseren.

De belangrijke vraag in dit verband is dus in hoeverre het oppervlaktewaterstelsel 's zomers kan worden gebruikt bij het peilbeheer.

Relatie oppervlaktewater - grondwater

Bij vrijwel elke (model)studie blijkt hoe slecht deze relatie bekend is; toch is het meestal één van de meest belangrijke schakels. Men dient zich allereerst af te vragen welk deel van het oppervlaktewaterstelsel kan worden gebruikt bij het peilbeheer. Met name bij wateraanvoer is dit belangrijk. Indien nl. de gemiddelde afstand tussen de leiding groot is (>300 m) kan niet langer gerekend worden met ééndimensionale modellen. Vervolgens kan - op grond van bijvoorbeeld grondwaterstandsafvoerrelaties gemeten tijdens de winterperiode - de infiltratieweerstand worden geschat. Daarbij is de in de literatuur veel aangehaalde extra intree weerstand bij subinfiltratie alleen bij permanent infiltrerende leidingen (dus ook 's winters) een punt waar nader aandacht aan moet worden geschonken.

Op grond van de gevoeligheidsanalyse kan voorlopig worden geconcludeerd dat bij waarden van de infiltratieweerstand boven circa 500 dagen, de effecten van wateraanvoer te gering zullen zijn. Voor conservering ligt die grens hoger. Vooral ook door het hoge economisch rendement van conservering zal de grootte van de infiltratieweerstand hiervoor zelden belemmerend zijn.

Kwel/wegzijing

Bij sterke kwel ($> 0,5 \text{ mm.d}^{-1}$) is via conservering een goed peilbeheer te voeren en zijn de effecten van wateraanvoer veel geringer; bij sterke wegzijing ($> 0,5 \text{ mm.d}^{-1}$) zijn over het algemeen ook bij wateraanvoer de grondwaterstanden te diep om extra capillaire opstijging te realiseren, tenzij een drainage-systeem kan worden gebruikt voor subinfiltratie. Het maximale effect wordt bereikt bij lichte wegzijing.

Een belangrijk punt, waaraan in de studie geen aandacht is geschonken, is in hoeverre - door het voorkomen van verschillen in kwel/wegzijing - door interne uitwisseling van water het conserveringseffect voor een heel gebied kan worden opgevoerd. Het resultaat zou een vermindering van de aanvoerbehoefte kunnen zijn. Het hier bedoelde effect kan alleen optreden indien de kwelgebieden bovenstrooms liggen van de inzichtigingsgebieden. Indien dit van nature niet het geval is, kan via aanpassing in het ontwerp of via het terugpompen van water worden getracht deze vorm van waterconservering te effectueren.

Peilbeheer heeft ook wijziging van kwel/wegzijing tot gevolg. Deze regionale effecten kunnen alleen goed worden berekend met een model voor de verzadigde grondwaterstroming. Om zo'n model te kunnen toepassen zijn gegevens nodig over de geohydrologische opbouw van de ondergrond. Over het algemeen geldt: hoe kleiner het gebied, hoe groter de regionale effecten.

Bodemfysische eigenschappen

Op de effecten van peilbeheer is met name het capillair geleidingsvermogen van de grond tussen grondwaterspiegel en onderkant wortelzone van grote invloed. Bepaling van deze eigenschap is een vrij kostbare zaak. Door het ter beschikking komen van steeds meer standaardreeksen is het echter in toenemende mate mogelijk de bodemkaart om te zetten in een kaart met bodemfysische eigenschappen.

Op grond van de onderzoeksresultaten kan worden geconcludeerd dat het leemgehalte van zandondergronden sterk bepalend is voor het capillair geleidingsvermogen en dat veenlagen over het algemeen slechte capillaire eigenschappen hebben (met uitzondering misschien van mesotrofe veenlagen). Gunstig voor conservering is een wortelzone met een goed vochthoudend vermogen (bijvoorbeeld een veengrond); wateraanvoer geeft de hoogste effecten bij een minder goede wortelzone doch alleen in combinatie met een ondergrond met goede capillaire eigenschappen.

Ongelijkheid van maaiveldshoogteligging

Uit de berekeningen blijkt duidelijk dat de ongelijke maaiveldshoogteligging in het proefgebied zorgt voor een forse reductie in effecten. Daarom zal voor andere gebieden moeten worden nagegaan in hoeverre de maaiveldshoogteligging gunstiger of ongunstiger is dan in het proefveldgebied en hoe via verkleining van peilvakken de variatie in maaiveldshoogteverdeling binnen de perken is te houden.

Door SLOTHOUWER (1984) is op basis van de gegeven maaiveldshoogteverdeling en bodemkaart van een aantal peilvakken in 'De Monden' een relatie afgeleid tussen grootte van een peilvak en effect van wateraanvoer. Figuur 9.1 geeft hiervan het resultaat. Op grond van een dergelijk verband is te bepalen wat de optimale peilvakgrootte is bij gegeven investeringen, bedieningskosten en dergelijke per peilvak. Om de resultaten overdraagbaar te maken naar andere gebieden is getracht de berekende effecten te koppelen aan een zekere gekozen maat voor de maaiveldshoogteverdeling. Wordt voor de laatste de standaardafwijking genomen, dan is uit hetzelfde materiaal fig. 9.2 te construeren. Uiteraard wordt bij een andere verdeling van bodemtypen een andere curve gevonden. De curve geeft echter wel het belang van het kennen van de maaiveldshoogteverdeling aan.

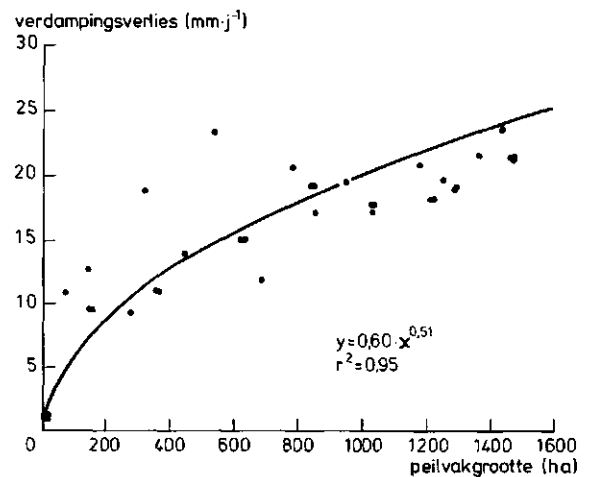


Fig. 9.1. Relatie tussen de peilvakgrootte (ha) en het verdampingsverlies (mm.j^{-1}) tegen de achtergrond van ongelijkheid in maaiveldshoogteligging

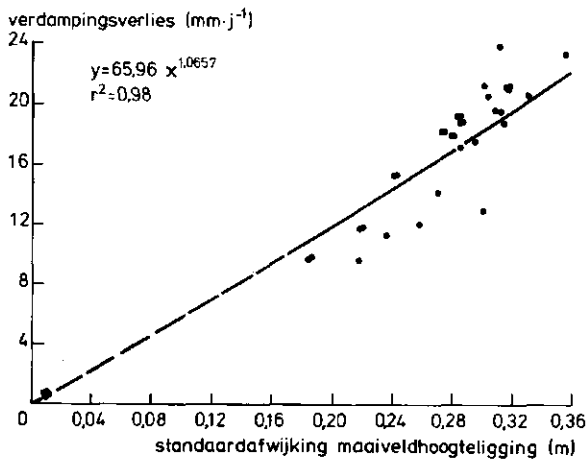


Fig. 9.2. Relatie tussen de standaardafwijking van de maaiveldshoogteligging (mm) en het verdampingsverlies (mm.j^{-1})

Gewassen

De effecten van peilbeheer zijn berekend voor een akkerbouwgebied. De verwachting is dat voor grasland de effecten (veel) groter zijn door een hogere verdampingsvraag en minder gevoeligheid voor wateroverlast waardoor 'scherper' kan worden beheerd. Daar staat tegenover dat de geldelijke effecten per mm extra gewasverdamping ongeveer de helft bedragen van die van het veenkoloniaal bouwplan.

9.3. RICHTLIJNEN VOOR ONTWERP, ONDERHOUD EN BEHEER

In de studie 'De Monden' is de aandacht met name gericht geweest op het onderhoud en het beheer omdat aanpassing van het ontwerp van het conserverings- en aanvoerplan geen punt van onderzoek was. Toch zal hier - naast de adviezen voor onderhoud en beheer - enige aandacht aan worden geschonken.

Richtlijnen voor ontwerp

In het algemeen zal het ontwerp van een waterbeheerssysteem voor conservering en aanvoer moeten aansluiten op het waterafvoersysteem. Dit beperkt in sterke mate de flexibiliteit van de ontwerper. Bij het invullen van de overgebleven vrijheid dient toch een aantal zaken bekend te zijn.

Op de eerste plaats is dit het uit het oogpunt van de waterbeheersing voor de landbouw (en natuur) benodigde verschil tussen zomer- en winterpeil. Dit dient bij conservering circa 0,50 m te zijn (meer heeft geen nut). Bij wateraanvoer kan een groter bereik voordeel bieden. Voor akkerbouwgebieden kunnen de streefpeilen die bij dit onderzoek zijn gehanteerd als leidraad dienen. Als er in de toekomst een daling

van het maaiveld is te verwachten, moet de stuw (en de slootbodem) met deze daling mee kunnen gaan. Dit betekent dat de stuwen een groter technisch bereik (verschil tussen hoogste en laagste kruinstand) moeten krijgen dan volgt uit de eisen vanuit het oogpunt van het huidige gewenste peilbeheer. Bij graslandgebieden zullen wat hogere peilen (circa 0,20 m?) moeten worden gehanteerd.

Vervolgens komt de vraag van het al of niet automatiseren van de stuw aan de orde. Dit vraagstuk is van groot praktisch belang en heeft verschillende aspecten. Daarom zal hieraan een aparte paragraaf (par. 9.4) worden gewijd.

Een ander belangrijk ontwerpcriterium (afgezien van de dimensionering van de waterlopen) is de optimale grootte van het peilvak. Deze hangt met name af van de ongelijkheid van maaiveldshoogte (die eventueel nog toeneemt). Daarbij kan verwezen worden naar de figuren 9.1 en 9.2.

De laatste vraag is in hoeverre verschillen in kwel of wegzijging aanleiding geven tot bijstelling van het ontwerp. Met name is van belang of door een behoorlijke kwel wateraanvoer achterwege kan blijven of door een te sterke wegzijging conservering en/of aanvoer te weinig nut hebben of door het creëren van verbindingen tussen kwelgebieden en wegzijgingsgebieden extra waterconservering mogelijk is (zie par. 9.2).

In sommige gebieden kan de vraag relevant zijn of door aanleg van drainage een ander ontwerp mogelijk zou zijn. Het is denkbaar dat door drainage van lage plekken de mogelijkheden sterk toenemen. De beslissing over de aanleg van drainage wordt veelal op basis van individuele motieven van agrariërs genomen, waarbij de veranderingen ten gevolge van waterbeheersplannen niet bij de afweging worden betrokken. De vraag is of bij het ontwerp er van kan worden uitgegaan dat de voor 'optimalisering' van het ontwerp benodigde drainage ook daadwerkelijk wordt aangelegd. In het algemeen zal het antwoord bevestigend zijn, zeker als over dit vraagstuk goede voorlichting wordt gegeven, hetgeen inhoudt dat de economische voordelen duidelijk moeten worden gemaakt.

Richtlijnen voor onderhoud

Bij herhaling is gesteld dat conservering of aanvoer van water geen toename van de onderhoudskosten tot gevolg hoeft te hebben. Daarbij hoort wel de aantekening dat er geen (gedeeltelijk) gescheiden systeem is van aanvoer en afvoer. Indien drainbuizen worden gebruikt bij het infiltratieproces, dan blijkt uit ervaringen bij onder andere 'De Groeve' dat de drainbuizen eerder dicht kunnen gaan zitten. Het advies zal in dit geval dan ook moeten luiden: jaarlijks onderhoud van de drainage.

Richtlijnen voor beheer

De belangrijkste conclusie uit het onderzoek is mijns inziens dat de grootste winst wordt gemaakt indien wordt overgestapt van 'piepsysteem' naar (hydro)logisch beheer. Met dit laatste wordt bedoeld een beheer gebaseerd op het voortdurend volgen van de actuele hydrologische situatie. Via de combinatie van gezond verstand en het proces van evaluatie achteraf kan het peilbeheer voortdurend worden verfijnd. Toch zitten er grenzen aan dit evolutieproces. Het kan bijvoorbeeld zijn dat de traagheid van het beheerssysteem systematisch wordt onderschat waardoor niet tijdig genoeg wordt ingespeeld op het veranderlijke weer. In deze studie is getracht een volgende stap te maken door het hydrologisch systeem te modelleren en min of meer proberenderwijs te trachten - aan de hand van een historische reeks weergegevens - het peilbeheer te verbeteren. Dit proces heeft geleid tot een aantal conclusies:

- bij overgang van geen beheer (vaste stuw) naar conservering dient het winterpeil circa 0,10 m lager te worden; bij wateraanvoer circa 0,15 m;
- bij conservering en aanvoer is het optimale winterpeil voor veengronden en moerige gronden circa 1,40 m-mv. Hoeveel hoger het zomerpeil dient te zijn, hangt af van de ontwateringsweerstand en de ongelijkheid van maaiveldsligging binnen een peilvak. Voor maaiveld moet in dit verband het maaiveld worden genomen dat 0,10 à 0,15 m lager ligt dan de gemiddelde maaiveldshoogte. Voor zandgronden kan een circa 0,20 m hoger peil worden gehandhaafd. Dit alles geldt voor een akkerbouwgebied. Voor grasland zullen naar verwachting de streefpeilen over de hele linie circa 0,20 m hoger liggen. Nader onderzoek hiernaar is echter noodzakelijk;
- door het ter beschikking hebben van een model voor peilbeheer kan de evaluatie achteraf sterk worden verbeterd;
- ook in droge jaren moet gestreefd worden om medio september het winterpeil te bereiken;
- door het ter beschikking hebben van gegevens omtrent de vochtvoorraad in de wortelzone kan zuiniger met water worden omgesprongen, met name doordat eerder zal worden begonnen met het verlagen van de grondwaterstand aan het eind van het groeiseizoen;
- drainage van de lagere terreingedeelten geeft een vermindering van de wateroverlast, waardoor 'scherper' kan worden beheerd; gebruik van drainbuizen voor infiltratie doet het aanvoereffect sterk toenemen;
- een voorzichtig beheer gaat ten koste van het conserveringseffect. Dit nadeel dient te worden afge-

wogen tegen de voordelen van de kans op vermindering van wateroverlast;

- peilbeheer is een effectief middel om de grondwaterstands daling gedurende droge zomers tegen te gaan. Zie bijvoorbeeld de curven voor 1982 in fig. 7.8. De gemiddelde laagste grondwaterstand wordt bij waterconservering circa 0,10 m hoger, bij wateraanvoer nog eens circa 0,15 m ten opzichte van de situatie met conservering.

De laatste stap in het proces van verbetering van het peilbeheer is het zogenaamd real-time peilbeheer met behulp van een computer. Dit houdt in dat gegevens over bijvoorbeeld grondwaterstanden en vochtvoorraden worden ingevoerd en dat à la minute de computer óf laat zien het in te stellen streefpeil óf direct een commando geeft om dit te effectueren. De manier waarop de computer komt tot een 'beheersadvies' kan echter op twee fundamenteel verschillende wijzen worden gerealiseerd, namelijk:

1. de computer beschikt over twee tabellen, zoals gebruikt in het programma PEILBEHEER, om het streefpeil voor de komende periode vast te stellen. Het verschil met simulatie is dus dat het beheersadvies wordt verstrekt in plaats van modelmatig doorgevoerd;
2. de computer berekent op basis van een aantal nog te verwachten weerpatronen de kansen op positief of negatief effect van de drie mogelijkheden van peilbeheer voor de komende week, te weten gelijk blijven, verhogen of verlagen. Deze effecten hangen echter weer af van het over 1 week te voeren peilbeheer, enz.

Het zal duidelijk zijn dat de laatste methode vooralsnog te geavanceerd is. Gezien ook de traagheid van het beheerssysteem is het ook zeer de vraag of deze methode zijn vruchten zal afwerpen. De voortschrijdende computertechniek maakt zulke uitspraken echter zeer discutabel. Op dit moment lijkt de volgende aanpak wel haalbaar. Voor de waterbeheerder bestaan er twee perioden van extra onzekerheid over het te voeren peilbeheer:

- op welk tijdstip moet in het voorjaar worden begonnen met het verhogen van het peil zodat enerzijds een maximale conservering is gewaarborgd en anderzijds de risico's van wateroverlast tijdens de voorjaarswerkzaamheden niet worden vergroot;
- op welk tijdstip tegen het einde van het groeiseizoen moet worden begonnen met het verlagen van het peil.

In beide perioden zal hooguit drie weken vroeger of later met bedoelde handeling worden begonnen. Daardoor lijkt het haalbaar voor de oplossing van dit probleem methode 2 toe te passen, te meer omdat dan op een nog nader uit te werken manier de vijfdaagse weersverwachting in het proces kan worden betrokken. Nader onderzoek omtrent de praktische bruikbaarheid hiervan dient echter plaats te vinden.

Een beperking die blijft is dat de eventueel berekende negatieve effecten van peilbeheer sterk afhangen van de kennis omtrent het fenomeen wateroverlast. Zolang hierover nog relatief weinig bekend is, lijkt het gebruik van methode 2 gedurende het gehele groeiseizoen een typisch voorbeeld van 'overmodellering' met alle daaraan verbonden nadelen voor de gebruiker.

Indien voor de eerste methode wordt gekozen dan wordt de mogelijkheid geopend een objectief peilbeheer te voeren. Indien tevens door een voortdurende evaluatie achteraf met behulp van een PEILBEHEER-achtig simulatiemodel verandering van inzichten ontstaat, dan kan dit worden vastgelegd in de vorm van bijgestelde tabellen die het peilbeheer koppelen aan grondwaterstand en eventueel vochtvoorraad.

9.4. HYDROLOGISCHE EN HYDRAULISCHE ASPECTEN VAN AUTOMATISERING EN DIMENSIONERING VAN STUWEN

9.4.1. Algemeen

Bij de modellering van het hydrologisch systeem met het programma PEILBEHEER is uitgegaan van automatische stuwen. De modelmatige voorstelling van een dergelijke stuw is een niveau (= kruin) dat met een bepaalde snelheid omhoog/omlaag beweegt naar gelang de waterstand enkele meters bovenstrooms van de stuw lager/hoger is dan het gewenste peil (= streefpeil). In de praktijk echter is het automatisch zijn van stuwen geen vanzelfsprekende zaak. Het is zeer wel mogelijk dat het bijstellen van de stuw met de hand wordt uitgevoerd. Het op een bepaald moment gewenste peil en het bovenstrooms van de stuw voorkomend waterpeil levert de waterbeheerder namelijk voldoende informatie op om de kruinhoogte op het op dat moment gewenste niveau in te stellen.

Het al of niet automatiseren van stuwen is echter een vraag van groot praktisch belang omdat hiermee de volgende aspecten zijn verbonden:

- investeringskosten van de stuw (in relatie tot dimensionering);
- bedieningsmogelijkheden van de stuw;
- hydraulische aspecten, zoals stroomsnelheden en wa-

- terstanden in de bovenstroomse watergangen;
- hydrologische aspecten, i.c. de waterhuishouding van landbouwgewassen.

Gezien dit grote belang wordt in een apart rapport uitvoerig aandacht besteed aan bovengenoemde aspecten (AD HOC GROEP AUTOMATISERING STUWEN, 1985). De voornaamste punten uit dit rapport zullen hierna kort worden beschreven, waarna in de rest van deze paragraaf uitvoeriger zal worden stilgestaan bij de hydraulische en hydrologische aspecten.

Investeringsaspecten

De voornaamste punten met betrekking tot de verschillen tussen investeringskosten van automatische stuwen en handbediende stuwen zijn:

- de meerdere investeringskosten in elektrische automatische stuwen zijn met name de kosten voor elektromotor, schakelpaneel, elektroden + kokerconstructie en aansluitkosten voor elektriciteit (de hydraulische automatische stuwen zijn zo onaantrekkelijk dat ze buiten beschouwing worden gelaten);
- de mindere investeringskosten in automatische stuwen vloeien voort uit het feit dat deze stuwen direct op peilsverandering reageren, waardoor er met een grotere overstortende straal kan worden gerekend. Derhalve kunnen ze smaller worden gebouwd om toch dezelfde afvoer te laten passeren. In genoemd rapport wordt bij maatgevende afvoer bij een automatische stuw gerekend met een dikte van de overstortende straal van 0,50 m en bij een handbediende stuw met een dikte van 0,30 m.

Beide punten leiden ertoe dat stuwen die in de handbediende uitvoering breder dan 1,50 m zijn, veelal meer kosten dan automatische stuwen. In genoemd rapport wordt deze conclusie met cijfers en grafieken onderbouwd.

Bedieningsaspecten

Momenteel worden alle stuwen in het waterschap De Veenmarken een maal per week gecontroleerd en wordt het niveau waarop wordt gestuurd zonodig veranderd. Daarbij maakt het weinig uit of dit bijstellen bestaat uit het verschuiven van twee voelers of het omhoog draaien of laten zakken van de stuw. Het is echter zeer wel mogelijk dat het in de nabije toekomst mogelijk wordt over te gaan tot afstandsbediening. In dat geval kan alleen bij een automatische stuw op dit systeem worden overgeschakeld. Verder wordt in genoemd rapport aandacht besteed aan de onderlinge beïnvloeding van de afvoeren over de stuwen.

Hydraulische aspecten

In hydraulisch opzicht gedragen automatische en handbediende stuwen zich duidelijk verschillend. Bij het optreden van een plotselinge afvoergolf zal bij een automatische stuw het peil bovenstrooms van de stuw gelijk blijven. Dit heeft tot gevolg dat er minder water wordt geborgen waardoor de topafvoeren hoger zullen uitvallen met als gevolg hogere stroomsnelheden in de watergang. Daar staat tegenover dat waarschijnlijk de overschrijdingsduur van de hoogwaterlijn (of een ander niveau) ook korter zal zijn en dat de fluctuaties in het open waterpeil geringer zullen zijn, hetgeen gunstig is voor met name de stabiliteit van het talud.

Hydrologische aspecten

Peilbeheer heeft voornamelijk tot doel de groeiomstandigheden van landbouwgewassen gunstig te beïnvloeden. Hoe nauwkeuriger het op ieder moment gewenste peil kan worden gerealiseerd, des te hoger zullen de effecten van peilbeheer zijn. In dit opzicht zijn automatische stuwen duidelijk in het voordeel omdat het ingestelde streefpeil in principe exact kan worden gehandhaafd. Bij handbediende stuwen zal meestal, nadat de stuw zodanig is ingesteld dat het bovenstroomse peil gelijk is aan het streefpeil, door verandering in afvoer het werkelijke peil gaan afwijken van het gewenste peil. Vooral bij een plotselinge optredende afvoergolf kunnen onaanvaardbare hoge peilen optreden. Om die reden wordt bij handbediende stuwen 's winters een lager peil aangehouden. Dit kan echter ten koste gaan van het conserveren van water. In de zomer, wanneer de open waterpeilen veel hoger zijn ingesteld, kan een overschrijding van dit al hoge peil leiden tot wateroverlast. Deze eventuele negatieve hydrologische effecten van handbediende stuwen kunnen via een ruimer ontwerp worden verminderd. Daarom ook moet automatisering worden bezien in samenhang met dimensionering.

Ten einde laatstgenoemde twee aspecten wat beter te kunnen kwantificeren, is met behulp van het programma PEILBEHEER voor één leidingvak in De Veenmarken gesimuleerd wat de hydraulische en hydrologische effecten zijn van automatisering en dimensionering van stuwen.

9.4.2. Uitgangspunten en rekenwijze

Als voorbeeld leidingvak is genomen peilvak 813. In tabel 9.1 staan de meest relevante gegevens ervan vermeld. Voor dit leidingvak is met behulp van het programma PEILBEHEER berekend wat gedurende de jaren 1971 tot en met 1982 bij vier verschillende stuwen het verloop is van de gewasverdamping van fabrieks-

Tabel 9.1. Gegevens van het leidingvak 813 in De Veenmarken waarvoor de invloed van automatisering en dimensionering is nagegaan

Afwaterend oppervlak (ha)	952
Gegevens leiding	
bodembreedte (m)	1,85
bodemdiepte (m-mv)	2,20
taludhelling	1:2
lengte leiding (m)	1000
wandruwheid ($m^{1/3} \cdot s^{-1}$)	$k_M = 34 h_1^{1/3}$'s winters $k_M = 23 h_1^{1/3}$'s zomers (h_1 = waterdiepte)
Bodemkundig-hydrologische gegevens	
bodemtype	iWp gemengwoeld
gewas	fabrieksaardappelen
ontwateringsweerstand	200 dagen
kwelsituatie	geen kwel of wegzijging
onderhoudstoestand wijken	opgeschoond

aardappelen, groeiend op het referentiepunt, de grondwaterstand van het referentiepunt, het wijkpeil naast het referentiepunt, het peil in de hoofdwatergang waar de wijk uitmondt (1000 m bovenstrooms van de stuw), de afvoer over de stuw en eventueel de aanvoer via het inlaatwerk. Deze berekeningen zijn zowel uitgevoerd voor het alternatief conservering als het alternatief aanvoer met capaciteit van $1,5 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$.

De gegevens van de vier doorgerekende stuwen staan vermeld in tabel 9.2. De breedtes van de stuwen zijn zodanig gekozen dat bij maatgevende afvoer de dikte van de overstortende straal bij de automatische stuw circa 0,50 m is en bij de drie handbediende stuwen respectievelijk circa 0,50; 0,30 en 0,20 m. De handbediende stuw van stuw van 1,00 m breedte is meegenomen omdat daarmee een betere vergelijking kan worden gemaakt met de automatische stuw om zodoende het effect van de manier van bediening alleen te kunnen achterhalen. Verder wordt aangenomen dat er geen verschil bestaat tussen het vaststellen van het streefpeil. Dit gebeurt in beide gevallen wekelijks en wel op basis van gesimuleerde grondwaterstanden en vochtvoorraden in de wortelzone (zie hoofdstuk 6). Het essentiële verschil is gelegen in de manier waarop dit streefpeil wordt geëffectueerd.

Bij de automatische stuw stijgt of daalt de kruin met maximaal $10 \text{ cm} \cdot \text{d}^{-1}$ naar gelang het bovenstrooms waterpeil lager of hoger is dan het ingestelde streefpeil en dit is als zodanig gemodelleerd. Bij de handbediende stuw is het peilbeheer als volgt gemodelleerd. De informatie waarover de waterbeheerder (en ook het model) beschikt, voordat de stuw evt. wordt bijgesteld, is de bovenstroomse waterstand, de overstorthoogte, de kruinhoogte en het gewenste streefpeil. Verder wordt voor verandering van de kruinhoogte gewerkt met stappen van 0,10 m. Indien nu de bovenstroomse waterstand meer dan 0,05 en minder dan 0,15 m

Tabel 9.2. Afmetingen en beheersregels voor de vier te vergelijken stuwen

	Automatische stuw	Handbediend I	Handbediend II	Handbediend III
Stuwbreedte (m)	1,00	1,00	2,00	3,50
Stuwdrempel (m-mv)	1,90	1,90	1,70	1,60
Max. verandering in streefpeil (bij 1x per week veranderen) (m)	0,10	idem	idem	idem
Max. stijgsnelheid van kruin (m.d ⁻¹)	0,10	-	-	-
Max. daalsnelheid van kruin (m.d ⁻¹)	0,10	-	-	-
Max. verandering in kruinhoogte (m)	-	overstorthoogte	overstorthoogte	overstorthoogte
Winterpeil (m-mv)	1,40	≤0,50 1,40	≤0,30 1,40	≤0,20 1,40
Zomerpeil (m-mv)	0,90	0,90	0,90	0,90

afwijkt van het gewenste peil, dan wordt de kruinhoogte met 0,10 m (1 fase) verhoogd of verlaagd; bij een afwijking van meer dan 0,15 m en minder dan 0,25 m met 0,20 m, enz. Echter er wordt één beperking in acht genomen: indien na verandering van de kruinhoogte de overstorthoogte meer bedraagt dan die hoogte die behoort bij de maatgevende afvoer, wordt de verandering zodanig beperkt dat wel binnen deze grens wordt gebleven.

9.4.3. Resultaten van berekeningen

De voornaamste resultaten van de simulaties met het model PEILBEHEER staan voor het alternatief wateraanvoer weergegeven in tabel 9.3. Daarbij kunnen de volgende opmerkingen worden gemaakt:

- de langjarige gemiddelde gewasverdamping bij conservering wordt bij overgang van automatische stuw naar

handbediende stuw zonder vergroting van de stuwbreedte verlaagd met $272,0 - 270,4 = 1,6 \text{ mm.j}^{-1}$. Dit verlies kan echter ruimschoots worden gecompenseerd door verbreding van de stuw naar 2 m ($273,3 \text{ mm.j}^{-1}$ i.p.v. $270,4 \text{ mm.j}^{-1}$), terwijl een verdere verbreding naar 3,50 m weer een verlies geeft van $273,3 - 271,9 = 1,4 \text{ mm.j}^{-1}$;

- bij het alternatief wateraanvoer zijn de effecten van overgang naar handbediening en verbreding van de stuw nog geringer;
- een automatische stuw geeft zowel bij conservering als wateraanvoer een hogere gemiddeld hoogste afvoerintensiteit te zien van circa 1 mm.d^{-1} , vergeleken met handbediende stuw. De reden hiervan is dat bij automatische stuwen minder berging in het oppervlaktewaterstelsel optreedt. De uit de cijfers af te leiden maatgevende afvoerintensiteit van minder dan 5 mm.d^{-1} is trouwens laag te noemen;

Tabel 9.3. Hydrologische en hydraulische aspecten van automatisering en dimensionering van stuwen voor de alternatieve waterconservering en wateraanvoer met capaciteit van $1,5 \text{ mm.d}^{-1}$, toegelicht aan de hand van leidingvak 813 in De Veenmarken (voor gegevens zie tabel 9.1 en 9.2), berekend met het model PEILBEHEER voor de periode 1971-1982. GHG/GLG = gem. hoogste resp. laagste grondwaterstand

	Conservering				Wateraanvoer			
	automa- tische stuw 1,00 m	handbediende stuw			automa- tische stuw 1,00 m	handbediende stuw		
		1,00 m	2,00 m	3,50 m		1,00 m	2,00 m	3,50 m
Gewasverdamping (mm.j ⁻¹)	272,0	270,4	273,3	271,9	281,8	281,1	281,5	279,7
Aanvoer (mm.j ⁻¹)	-	-	-	-	72,9	73,5	70,7	69,4
Gem. van per jaar optredende hoogste afvoeren (mm.d ⁻¹)	4,15	3,26	3,09	2,90	4,29	3,35	3,19	3,88
Gem. van per jaar optredende hoogste peilfluctuaties (cm.d ⁻¹)	5,76	5,30	5,43	4,60	5,99	6,37	5,99	8,17
GHG (cm-mv)	85,8	87,1	87,0	85,7	85,7	87,1	86,8	87,3
GLG (cm-mv)	150,7	152,3	150,7	150,3	134,7	134,3	134,7	134,9
Reductie gewasverdamping in groeiseizoen 1980 t.g.v. wateroverlast (mm)	13,2	7,4	6,3	9,2	14,4	8,2	9,4	18,6

- uit simulatieresultaten zijn afgeleid de jaarlijks voorkomende hoogste fluctuaties in dagelijks berekende open waterpeilen 1000 m bovenstrooms van de stuw. In tegenstelling tot de verwachting geeft de automatische stuw geen lagere waarden van het gemiddelde van deze hoogste waarden. Dit kan echter verklaard worden uit het gegeven dat de enigszins hogere afvoeren bij automatische stuwen in eerste instantie zorgen voor een hogere opstuwing in de leiding en in tweede instantie voor een sneller wegwerken van de hoeveelheid water. Daarbij moet bedacht worden dat gerekend is met een eenduidig verband tussen afvoer over de stuw en grootte van opstuwing;
- de geringe hydrologische effecten van overgang naar handbediening en verbreding naar de stuw volgt ook uit de GHG's en GLG's, die slechts marginaal veranderen;
- omdat tijdens het groeiseizoen van 1980 grote reducties ten gevolge van wateroverlast kunnen voorkomen, zijn deze apart weergegeven. Daarbij blijkt dat over het algemeen bij automatische stuwen meer wateroverlast optreedt. Een uitzondering hierop is de wateroverlast behorende bij de handbediende stuw van 3,50 m breed bij het alternatief wateraanvoer. Een verklaring hiervoor is waarschijnlijk dat op de kritieke periode juist bij de automatische stuw een iets lagere grondwaterstand heeft geleid tot 1 week uitstel van de door overvloedige neerslag noodzakelijk geworden verlaging van het streefpeil.

9.4.4. Conclusies

De algemene conclusies die uit de besproken resultaten zijn te trekken, zijn dat het belangrijkste hydraulische effect van automatisering bestaat uit een lichte toename van de hoogste afvoerintensiteiten en dat de hydrologische effecten van automatisering en dimensionering van stuwen vrij beperkt zijn. Benadrukt dient te worden dat deze laatste conclusie het gevolg is van de keuze van het referentiepunt (1,40 m boven winterpeil). Indien hiervoor een lager punt zou zijn genomen (bv. 1,20 m boven winterpeil) zouden de resultaten wellicht aanleiding hebben gegeven tot andere conclusies. Ook het feit dat geen kwel of wegzijging is aangenomen, kan van grote invloed zijn op de simulatieresultaten, evenals de gehanteerde waarde voor de ontwateringsweerstand. Bij een kleinere weerstand bijvoorbeeld reageert het systeem veel sneller op veranderingen in neerslag met als gevolg hogere afvoeren, opstuwingen en dergelijke. De eventueel negatieve gevolgen van hoge open waterpeilen worden echter sneller 'weggewerkt'. Met de methode zoals in deze para-

graaf is besproken, is het echter mogelijk andere situaties nader te analyseren.

9.5. EPILOOG

In dit hoofdstuk is getracht de resultaten van het onderzoek naar de effecten van peilbeheer in 'De Monden' te vertalen naar andere gebieden. In par. 9.2 is besproken welke gegevens daarvoor beschikbaar moeten zijn (of moeten worden verzameld) en in welke mate van nauwkeurigheid. Vooral de relatie oppervlaktewater - grondwater, de bodemfysische eigenschappen van de grond tussen grondwaterspiegel en onderkant wortelzone en de maaiveldshoogteverdeling zijn belangrijke parameters. In paragraaf 9.3 zijn richtlijnen gegeven voor ontwerp (met name optimale peilvakgrootte in relatie tot ongelijkheid van maaiveldshoogteligging), onderhoud en beheer. Vooral dit laatste onderwerp heeft relatief veel aandacht gekregen, omdat vele waterschappen hieraan behoefte hebben. Voor dit doel worden enige richtlijnen verstrekt. Het staat echter buiten kijf dat hieraan nog het nodige onderzoek moet worden verricht. In dit verband dient vermeld te worden het onderzoek in Drenthe naar de effecten van wateraanvoer in het kader van het tussen-10-plan (KEESMAN e.a., 1985). In paragraaf 9.4 is ingegaan op het vraagstuk van al of niet automatiseren van beweegbare stuwen.

Geconcludeerd kan worden dat met name conservering van water altijd een goede zaak is met een hoog tot zeer hoog economisch rendement. De economische haalbaarheid van wateraanvoer hangt - naast de hydrologische effecten - sterk af van de investeringen in het primaire systeem en de variabele kosten van wateraanvoer. Wat dit betreft verkeert het proefgebied binnen Nederland vanwege de grote opvoerhoogte in bijna de ongunstigste situatie.

Teneinde de potentiële effecten van conservering en aanvoer te kunnen realiseren, dient wel een beheer gevoerd te worden op basis van gegevens over de actuele hydrologische situatie. Dit rapport moet er dan ook toe bijdragen dat peilbeheer uit een gevoelsmatige sfeer wordt gehaald.

LITERATUUR

- ABRAHAMSE, A.H., G. BAARSE and E. VAN BEEK. 1982. Policy Analysis of Water Management for the Netherlands. Vol. XIII. Model for regional hydrology, agricultural water demands and damages from drought and salinity. RAND Note N-1500/12-NETH. 315 pp.
- AD HOC GROEP AUTOMATISERING STUWEN. 1985. Rapport omtrent de automatisering van stuwen in het waterschap De Veermarken (in voorbereiding).
- BAKEL, P.J.T. VAN. 1978. A numerical model for non-stationary saturated groundwater flow in a multi-layered system. Nota 1077 ICW, Wageningen. 47 pp.
- 1981. De mogelijke invloed van afvoeren tijdens dooiperiodes en tijdens het groeiseizoen op het ontwerpen en onderhouden van af- en ontwateringsstelsels. Nota 1254 ICW, Wageningen. 42 pp.
- 1984. Analyse van het stuwpeilbeheer in 1983 zoals uitgevoerd door het waterschap De Veermarken. Nota 1485 ICW, Wageningen. 26 pp.
- BARTELD, A., H. MERKENS, H. SCHILTKAMP en T. WOLTERS. 1982. Drainage- en infiltratieweerstanden in het veenkoloniale gebied. Een onderzoek naar de mogelijkheid om het grondwaterpeil te beïnvloeden door middel van infiltratie via opgeschoonde wijken of drains. Scriptie HBCS, Velp. 56 pp.
- BELMANS, C., J.G. WESSELING and R.A. FEDDES. 1983. Simulation model of a water balance of a cropped soil: SWATRE. J. Hydrol. 63,3/4: 271-286. Techn. Bull. ns 21. ICW, Wageningen.
- , J.G. WESSELING and R.A. FEDDES. 1984. Simulation model of the water balance of a cropped soil providing different types of boundary conditions (SWATRE). Nota 1257 ICW, Wageningen. 61 pp.
- BEUVING, J. 1982. Onderzoek naar bodem- en waterhuishoudkundige gegevens voor invoer in en verificatie van een model voor berekening van de effecten van waterhuishouding. Nota 1378 ICW, Wageningen. 28 pp.
- BLOEMEN, G.W. 1980a. Calculation of hydraulic conductivities of soils from texture and organic matter content. Zeitschr. Pflanzenernähr. Bodenkd. 143,5: 581-605. Techn. Bull. 120 ICW, Wageningen.
- 1980b. Calculation of steady state capillary rise from the groundwater table in multi-layered soil profiles. Zeitschr. Pflanzenernähr. Bodenkd. 143,6: 701-719. Techn. Bull. 121 ICW, Wageningen.
- 1981. Calculation of hydraulic conductivities and capillary rise in peat soils from bulk density and solid matter volume. Nota 1291 ICW, Wageningen. 27 pp.
- 1982. De capillaire eigenschappen van de gronden in het wateraanvoergebied 'De Monden'. Nota 1332 ICW, Wageningen. 33 pp.
- BODEMKAART VAN NEDERLAND, schaal 1:50 000. 1978; 1980. Blad 13 (Winschoten), blad 18 (Ter Apel), blad 23 (Nieuw-Schoonebeek). Stichting voor Bodemkartering, Wageningen.
- BOOY, A.H. 1956. Het Drentse hoogveen, de dalgronden en hun toekomst. Boor en Spade VIII: 56-72.
- , G. RUITTEN en G.P. WIND. 1975. Reconstructiegebied Oost-Groningen en Gronings-Drentse Veenkoloniën en Streekplangebied Oost en Zuid-Oost Drenthe. Onderzoek naar de grondverbetering ten behoeve van de landbouw bij een optimale ontwatering van de gronden. Rapport 1198. Stichting voor Bodemkartering, Wageningen. 61 pp.
- BROOKS, P.H. and F. COREY. 1964. Hydraulic properties of porous media. Hydrol. Papers 3. Colorado State Univ., Fort Collins. 27 pp.
- CASPARIE, W.A. 1972. Bog development in Southeastern Drenthe (The Netherlands). Proefschrift, Rijksuniversiteit Groningen. 271 pp.
- EERENBEEFT, H. VAN DEN, M. SCHOLTEN en R. SCHUILING. 1984. De invloed van drainage op de infiltratieweerstand. Scriptie HBCS, Velp. 40 pp.
- ERNST, L.F. 1962. Grondwaterstromingen in de verzadigde zone en hun berekening bij aanwezigheid van horizontale evenwijdige open leidingen. Proefschrift Universiteit Utrecht. Pudoc, Wageningen. 189 pp.
- FEDDES, R.A., P.J. KOWALIK and H. ZARADNY. 1978. Simulation of field water use and crop yield. Simulation Monograph. Pudoc, Wageningen. 189 pp.
- GELOK, A.J. 1970. Beschrijving computerprogramma DIWA. Meded. 88. Cultuurtechnische Dienst, Utrecht. 29 pp.
- GRAAF, M. DE. 1982. Toepassen van het niet-stationaire model SWATRE op enkele veenkoloniale profielen. Nota 1354 ICW, Wageningen. 69 pp.
- en R.A. FEDDES. 1984. Model SWATRE. Simulatie van de waterbalans van grasland in het Hupselse Beekgebied over de periode 1976 t.m 1982. Nota 1563 ICW, Wageningen. 34 pp.
- GREVEN, S.J. 1980. Weersomstandigheden gedurende het groeiseizoen 1977-1978. In: Jaarverslag 1978 van proefboerderijen te Borgercompagnie, Emmercompascuum en Rolde: 8-12.
- HELLINGS, A.J., M. DE GRAAF en D.A. VAN DER SCHANS. 1982. De relatie tussen wateraanvoer, verdamping en productie bij het gewas aardappelen. Verslag

- van een veldproef op het proefterrein Sinderhoeve in 1981. Nota 1376 ICW, Wageningen. 49 pp.
- HENSUMS, H. 1980. De weersomstandigheden gedurende het groeiseizoen 1978/1979. In: Jaarverslag 1979 van proefboerderijen te Borgercompagnie, Emmercompascuum en Rolde: 7-10.
- HERINRICHTINGSPROGRAMMA. 1979. Concept-voorstel. Herinrichting Oost-Groningen en de Gronings-Drentse Veenkoloniën. 94 pp.
- HOMMA, F. 1976. Elektrisch modelonderzoek naar infiltratie vanuit evenwijdige wijken. Nota 920 ICW, Wageningen. 52 pp.
- 1980. Meting van overstorthoogte en verschildruk met behulp van drukopnemers. Nota 1184 ICW, Wageningen. 31 pp.
- 1981. Metingen ter bepaling van Q/h-relaties voor enkele stuwen in het gebied 'De Monden'. Nota 1266 ICW, Wageningen. 18 pp.
- KEESMAN, K.J. en P.J.T. VAN BAKEL. 1985. Gebruikershandleiding van het simulatiemodel voor de waterbalans van een met een gewas begroeid oppervlak gekoppeld aan een peilbeheersingsmodel voor open water: SWADRE (SWATRE-DRENTHE). Nota 1605 ICW, Wageningen. 35 pp.
- , P.J.T. VAN BAKEL, J. KRELING en B.M. HAAYER. 1985. Berekening van langjarige aanvoereffecten en -efficiënties ten behoeve van de bepaling van de landbouwkundige baten van wateraanvoer naar het 'tussen-10-plan' gebied. Nota 1623 ICW, Wageningen. 118 pp.
- KEULEN, T. VAN. 1982. Bepaling van geohydrologische grootheden uit waterbalansen en grondwaterstanden van het wateraanvoergebied 'De Monden'. Nota 1363 ICW, Wageningen. 38 pp.
- LAAT, P.J.M. DE. 1980. Model for unsaturated flow above a shallow water-table, applied to a regional subsurface flow problem. Proefschrift Landbouwhogeschool, Wageningen. Pudoc, Wageningen. 126 pp.
- NIEUWENHUIS, G.J., E.H. SMIDT and H.A.M. THUNNISSEN. 1985. Estimation of regional evapotranspiration of arable crops from thermal infrared images. Int. J. of Remote Sensing (in press).
- POMPER, A.B. 1981. De geohydrologische opbouw van het proefgebied De Monden in het waterschap De Veenmarken. Nota 1316 ICW, Wageningen. 47 pp.
- POELJE, H.A.C. VAN, E.H. SMIDT en H.A.M. THUNNISSEN. 1983. Droogteschade in de Drentse Veenkoloniën vanuit de lucht bekeken. De Boerderij 68,22: 34-37.
- QUERNER, E.P. 1984. Program FEMSAT; 1. Calculation method for steady and unsteady groundwater flow. Nota 1557 ICW, Wageningen. 24 pp.
- ROZENVELD, T. 1982. 100 ton fabrieksaardappelen per ha. In: Onderzoek 1982. Stichting Interprovinciaal Onderzoekscentrum voor de Akkerbouw op zand- en veenkoloniale grond in Middenoost- en Noordoost-Nederland: 15-20.
- RIJTBEMA, P.E. 1969. Soil moisture forecasting. Nota 513 ICW, Wageningen. 28 pp.
- SCHOTHORST, C.J. en D. HETTINGA. 1981. Het effect van diepe profielbewerking bij grasland op lichte zandgrond. Nota 1304 ICW, Wageningen. 69 pp.
- SECTORADVIES LANDSCHAPSBOUW VOOR HET DEELGEBIED KANAAL-STREEK. 1980. 137 pp.
- SLOTHOUWER, D. 1982. Economische aspecten van de waterbeheersingswerken in het studiegebied 'De Monden'. Nota 1384 ICW, Wageningen 70 pp.
- 1985. Evaluatie van de waterbeheersingswerken in het studiegebied 'De Monden' (in voorbereiding).
- SMET, L.A.H. DE. 1973. Bodemgesteldheid, actuele en potentiële bodemgeschiktheid voor akkerbouw en de Veenkoloniën. Interne Meded. 14. Stichting voor Bodemkartering, Wageningen. 23 pp.
- SMIDT, E.H. 1984. Toepassing van het stationaire grondwaterstromingsmodel FEMSATS in 'De Monden'. Nota 1515 ICW, Wageningen. 53 pp.
- SOER, G.J.R. 1980. Estimation of regional evapotranspiration and soil moisture conditions using remotely sensed crop surface temperatures. Remote Sensing Environm. 9: 27-45. Techn. Bull. 116 ICW, Wageningen.
- VEERMAN, G.J. 1982. Resultaten van fysische bepalingen in grondmonsters afkomstig uit het wateraanvoergebied 'De Monden'. Nota 1331 ICW, Wageningen. 8 pp.
- VISSER, W.C. 1958. De landbouwwaterhuishouding van Nederland. TNO, 's-Gravenhage. 159 pp.
- WALSUM, P.E.V. VAN en P.J.T. VAN BAKEL. 1983. Berekening van de effecten van infiltratie op de gewasverdamping in het landinrichtingsgebied, met een aangepaste versie van het model SWATRE. Nota 1434 ICW, Wageningen. 135 pp.
- WERKGROEP HERZIENING EVALUATIE LANDINRICHTINGSPROJECTEN. 1980. Methode voor de evaluatie van landinrichtingsprojecten. 85 pp.
- WERKGROEP ICW. 1981. Voortgezet onderzoek kanaal Wadinxveen - Voorburg. Nota 1249 ICW, Wageningen. 205 pp.
- WERKGROEP LANDBOUWKUNDIGE ASPECTEN. 1984. Landbouwkundige aspecten van grondwateronttrekking. Berekening van de schade als gevolg van kunstmatige verlaging van de grondwaterstand. Commissie Grondwaterwet Waterleidingbedrijven, Utrecht. 154 pp.
- WERKGROEP OPSCHONEN WIJKEN. 1983. Opschonen wijken. Verslag van een proef in de Drentse Veenkoloniën. 57 pp.

- WERK GROEP WATERAANVOER. 1983. Wateraanvoer naar het herinrichtingsgebied. Herinrichtingscommissie Oost-Groningen en Gronings-Drentse Veenkoloniën, Ter Apel. 147 pp.
- WIEBING, R. 1980. Opbrengstverhoging bij fabrieksaardappelen door verbetering van de vochtvoorziening in de Veenkoloniën. Onderzoek 1980 St. Akkerb. proefboerd. Emmen: 47-53. Verspr. Overdr. 260 ICW, Wageningen.
- en A. SCHEPERS. 1977. De groei en opbrengst van aardappelen op wel en niet gediëpploegde veenkoloniale grond te Borgercompagnie. Bedrijfsontwikkeling 8,12: 1136-1141. Verspr. Overdr. 206 ICW, Wageningen.
- en G.P. WIND. 1977. Grondverbetering beperkt droogteschade in de Veenkoloniën. Bedrijfsontwikkeling 8,6: 591-594. Verspr. Overdr. 205 ICW, Wageningen.
- en G.P. WIND. 1979. Bodemverbeteringsonderzoek in de Veenkoloniën. Cultuurt. Tijdschr. 18,6: 1-15. Verspr. Overdr. 246 ICW, Wageningen.
- WIND, G.P. 1979. Grondverbetering, conservering van veen en winderosie in de Veenkoloniën. Landbouwk. Tijdschr./pt 91,3: 1-5. Verspr. Overdr. 234 ICW, Wageningen.

Water stroomt van plaatsen met hoge energie naar plaatsen met lage energie. De energietoestand van het water in de grond kan men omschrijven met het begrip potentiaal. Dit is een uitdrukking voor de capaciteit van een massa eenheid water om werk te doen in vergelijking met een massa eenheid vrij water die per definitie een potentiaal gelijk aan nul heeft.

In de hydrologie geeft men er de voorkeur aan de potentiaal niet per eenheid van de massa, maar per eenheid van gewicht te beschouwen. In dat geval heeft energie de dimensie van lengte, die gewoonlijk wordt uitgedrukt in 'lengte waterkolom'. Verder gaat men er van uit dat de dichtheid van het water ρ ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$) en de versnelling van de zwaartekracht g ($\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$) constant zijn. De potentialen worden gedefinieerd ten opzichte van de referentietoestand van water (met een chemische samenstelling, die gelijk is aan het water in de grond) bij atmosferische druk en referentievlak nul.

De potentiaal bestaat in theorie uit een aantal deelpotentialen:

$$h = h_g + h_m + h_{p.\text{hydr}} + h_{p.\text{ext}} + h_{\text{osm}} \quad (\text{m}) \quad (\text{b.1})$$

waarin:

- h = totale water potentiaal
- h_g = zwaartekrachtspotentiaal, veroorzaakt door de zwaartekracht
- h_m = matrix potentiaal, veroorzaakt door de interactie van grond en water
- $h_{p.\text{hydr}}$ = hydrostatische potentiaal, veroorzaakt door hydrostatische druk
- $h_{p.\text{ext}}$ = pneumatische potentiaal, veroorzaakt door de externe gasdruk
- h_{osm} = osmotische potentiaal, veroorzaakt door de osmotische krachten

De zwaartekrachtspotentiaal h_g is in ieder punt gelijk aan de hoogte ten opzichte van een willekeurig referentievlak.

De matrixpotentiaal h_m is nul in de verzadigde zone (freatisch water) en negatief in de onverzadigde zone (capillair water). Hierbij wordt gemakshalve afgezien van de complicaties die ontstaan door enerzijds luchtinsluiting in het freatisch water en anderzijds het voorkomen van een verzadigde capillaire zone.

Teneinde de moeilijkheden van een negatieve stijghoogte in de onverzadigde zone te ontlopen, wordt vaak gesproken van een vocht- of zuigspanning h_m^* ($= -h_m$).

De hydrostatische potentiaal $h_{p.\text{hydr}}$ is nul in de

onverzadigde zone en gelijk aan $p_h/\rho g$ in de verzadigde zone, waarin p_h is de hydrostatische druk van het water. Ze is gelijk aan de lengte l van de vloeistofkolom in een stijgbuis. Veelal wordt het verschil tussen h_m en $h_{p.\text{hydr}}$ niet aangebracht.

De pneumatische potentiaal $h_{p.\text{ext}}$ kunnen we verwaarlozen omdat de externe druk in de grond praktisch gelijk is aan de atmosferische druk.

De osmotische potentiaal h_{osm} is gelijk aan nul omdat we meten ten opzichte van vrij water met dezelfde chemische samenstelling.

Alles bijeengenomen betekent dit voor de praktijk dat in een systeem met z als de verticale ordinaat, positief naar boven gerekend, geldt:

$$h = z + l \quad \text{voor de verzadigde zone (m)}$$

$$h = z + h_p \quad \text{voor de onverzadigde zone (m)}$$

Verschillen in h bepalen de richting en de grootte van de stroming van het grondwater.

Algemene basisvergelijkingen

De basis voor de berekeningen van grondwaterstroming is de wet van Darcy. In zijn algemene, 3-dimensionale vorm luidt deze wet:

$$\bar{q} = -K(S_w)\nabla h \quad (\text{b.2})$$

waarbij:

$$\bar{q} = (q_x, q_y, q_z) = \text{flux (m}^3\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}\text{)}$$

$$K = \text{doorlaatfactor (m}\cdot\text{d}^{-1}\text{)}$$

$$S_w = \text{relatieve waterverzadiging (0 < } S_w < 1) \text{ (m}^3\cdot\text{m}^{-3}\text{)}$$

$$h = \text{grondwaterpotentiaal (m)}$$

$$\nabla h = \left(\frac{\partial h}{\partial x}, \frac{\partial h}{\partial y}, \frac{\partial h}{\partial z}\right) = \text{grad } h \text{ (m}\cdot\text{m}^{-1}\text{)}$$

In het algemeen is de doorlaatfactor K niet alleen afhankelijk van S_w , maar ook van de plaats (inhomogeniteit), stromingsrichting (anisotropie) en temperatuur.

De continuïteitsvergelijking wordt gevonden door een massabalans voor een oneindig klein volume-element op te stellen:

$$-\nabla(\rho\bar{q}) + \rho Q = \frac{\partial}{\partial t} (\rho n S_w) \quad (\text{b.3})$$

waarbij

$$\nabla(\rho\bar{q}) = \frac{\partial}{\partial x} (\rho q_x) + \frac{\partial}{\partial y} (\rho q_y) + \frac{\partial}{\partial z} (\rho q_z) = \text{div } \rho\bar{q}$$

$$\rho = \text{dichtheid van het water (kg}\cdot\text{m}^{-3}\text{)}$$

$$Q = \text{hoeveelheid water van buiten het systeem toe-}$$

*Deze bijlage is grotendeels overgenomen uit Rapport en Aanbevelingen van de Contactgroep Grondwatermodellen, CHO-TNO (1978). Rapporten en nota's no. 2.

gevoerd, per volume-eenheid, per tijdseenheid
($\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$)

n = porositeit (poriënvolume) ($\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$)

t = tijd (d)

Substitutie van de wet van Darcy in de continuïteitsvergelijking geeft dan de algemene differentiaalvergelijking voor grondwaterstroming:

$$\nabla\{\rho K(S_w) \nabla h\} + \rho Q = \frac{\partial}{\partial t} (\rho n S_w) \quad (\text{b.4})$$

Omdat nu voor zowel de verzadigde als de onverzadigde zone uitgegaan kan worden van dezelfde stromingsvergelijking, ligt het voor de hand te zoeken naar een integrale numerieke benadering van beide systemen.

Alvorens in te gaan op een verdere uitwerking van vergelijking (b.4) voor zowel de verzadigde grondwaterstroming als de onverzadigde grondwaterstroming, lijkt een toelichting op de term Q gewenst. Uit het volgende zal blijken dat deze term enerzijds afhangt van de begrenzing van het beschouwde systeem en de modelaannamen, terwijl anderzijds deze term de relatie aangeeft met het grondwaterbeheer (onttrekking, subinfiltratie, peilbeheer oppervlaktewater en drainage). Uit de gegeven definitie van Q blijkt dat deze bepaald wordt door de begrenzing van het grondwatersysteem. Voor het integrale systeem (verzadigd + onverzadigd) kan Q als functie van x , y , z en t worden uitgesplitst:

$$Q = Q_e + Q_o + Q_g + Q_w \quad (\text{b.5})$$

waarin:

- Q_e de kunstmatige toevoer of onttrekking van grondwater
- Q_o de afstroming naar of toevoer vanuit het oppervlaktewater
- Q_g de verticale stroming tussen de watervoerende pakketten voorstelt
- Q_w is samengesteld uit de voeding van onverzadigde zone (neerslag) en de uitdroging van de onverzadigde zone via de verdamping.

Voor het geval dat alleen het verzadigde grondwatersysteem wordt beschouwd, wordt in vergelijking (b.5) Q_w gedefinieerd als de stroming naar of uit de onverzadigde zone. Bij de meeste modellen wordt in dit geval de Q_w gelijk gesteld aan de nuttige neerslag, welke gelijk is aan neerslag minus verdamping. De relatie tussen het grondwater en het oppervlaktewater Q_o wordt bepaald door het potentiaalverschil tussen het grondwater en het oppervlaktewater en de

weerstanden, die daarbij overwonnen moeten worden, zoals horizontale-, radiale- en intreeweerstanden. Voor het geval dat meer watervoerende pakketten worden gescheiden door slecht doorlatende lagen, wordt dit systeem meestal benaderd door horizontale grondwaterstroming in de diverse watervoerende pakketten. Vergelijking (b.4) wordt dan voor ieder watervoerend pakket uitgewerkt. De koppeling tussen de vergelijkingen vindt plaats door de term Q_g in de vergelijking (b.5). Deze term geeft de verticale stroming weer tussen de watervoerende pakketten. Deze wordt bepaald door het potentiaalverschil tussen de watervoerende pakketten en de verticale weerstand die ten gevolge van de slecht doorlatende laag hierbij overwonnen moet worden.

Bij de beschouwing van uitsluitend één-dimensionale onverzadigde grondwatersystemen bestaat Q uitsluitend uit Q_w , namelijk neerslag minus verdamping. Deze Q_w wordt weer bepaald door de vegetatie en het meteorologisch systeem. Hierop wordt later teruggekomen bij de basisvergelijkingen van de onverzadigde zone. Ook aan de koppeling met het verzadigde systeem wordt dan enige aandacht gegeven.

Basisvergelijkingen voor de verzadigde zone

In het geval van verzadigde grondwaterstroming is $S_w = 1$ en is de doorlaatfactor K constant. Vergelijking (b.4) kan dan worden geschreven als:

$$\nabla(\rho K \nabla h) + \rho Q = \frac{\partial}{\partial t} (\rho n) \quad (\text{b.6})$$

Zowel n als ρ zijn daarbij functies van de potentiaal h . Het produkt kan geschreven worden als:

$$\rho n = \rho(h_o) n(h_o) \{1 + C(h - h_o)\} \quad (\text{b.7})$$

waarbij:

h_o = een referentiewaarde voor h (m)

C = de compressibiliteit van de met water gevulde bodem (m^{-1})

Bij benadering geldt dat $\rho \approx \rho(h_o) = \text{constant}$. Indien C constant wordt verondersteld, dan geldt:

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho n) = \rho n(h_o) C \frac{\partial h}{\partial t} \quad (\text{b.8})$$

Substitutie van (b.8) in (b.6) geeft dan:

$$\nabla(k \nabla h) + Q = S \frac{\partial h}{\partial t} \quad (\text{b.9a})$$

of

$$\frac{\partial}{\partial x} (k \frac{\partial h}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (k \frac{\partial h}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z} (k \frac{\partial h}{\partial z}) + Q = S \frac{\partial h}{\partial t} \quad (\text{b.9b})$$

waarin:

$S = n(h_0)$ C = bergingscoëfficiënt; dit is de hoeveelheid water die per volume eenheid vrijkomt indien h met 1 eenheid wordt verlaagd ($m^3 \cdot m^{-3} \cdot m^{-1}$)

In de meeste gevallen zal het niet noodzakelijk zijn om grondwaterstroming in 3 dimensies te beschrijven. In het geval van een louter horizontale stroming bijvoorbeeld is het grondwaterpotentiaal h niet afhankelijk van de verticale coördinaat z .

Op identieke wijze is dan de differentiaalvergelijking voor twee-dimensionale stroming af te leiden:

$$\frac{\partial}{\partial x} (KD \frac{\partial h}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (KD \frac{\partial h}{\partial y}) + Q = S \frac{\partial h}{\partial t} \quad (b.10)$$

waarbij:

D = dikte van het watervoerend pakket (m)

In dit geval luiden de definities van Q en S :

Q = hoeveelheid water van buiten het systeem toegevoerd per oppervlakte-eenheid, per tijdseenheid ($m^3 \cdot m^{-2} \cdot d^{-1}$)

S = hoeveelheid water die per oppervlakte-eenheid vrijkomt indien h met 1 eenheid wordt verlaagd ($m^3 \cdot m^{-2} \cdot m^{-1}$)

In het geval dat de stroming slechts in één richting plaatsvindt, luidt de vergelijking:

$$\frac{\partial}{\partial x} (KA \frac{\partial h}{\partial x}) + Q = S \frac{\partial h}{\partial t} \quad (b.11)$$

waarbij:

A = oppervlakte van de dwarsdoorsnede loodrecht op de x -richting (m^2)

Ook in dit geval luidt de definitie van Q en S anders, en wel:

Q = hoeveelheid water van buiten het systeem toegevoerd per lengte-eenheid, per tijdseenheid ($m^3 \cdot m^{-1} \cdot d^{-1}$)

S = hoeveelheid water die per lengte-eenheid vrijkomt indien de grondwaterpotentiaal met 1 eenheid wordt verlaagd ($m^3 \cdot m^{-1} \cdot m^{-1}$)

In het geval van stationaire stroming, dat wil zeggen als $\frac{\partial h}{\partial t} = 0$, gaan de vergelijkingen (b.9b), (b.10) en (b.11) over in de bekende Laplace vergelijking voor respectievelijk drie-, twee- en één-dimensionale stroming.

Een analytische oplossing van deze vergelijkingen kan afhankelijk van de randvoorwaarden over het alge-

meen slechts voor zeer eenvoudige gevallen worden gevonden. Voor meer complexe gevallen kan met behulp van numerieke methoden een benaderende oplossing worden gevonden.

Basisvergelijkingen voor de onverzadigde zone

Bij de bespreking van het begrip potentiaal is naar voren gekomen dat de lokale stijghoogte van het bodemvocht h_p wordt veroorzaakt door de lokale interactie van grond en water. Op en onder het freatisch vlak is $h_p = 0$. In de rusttoestand neemt met toenemende hoogte boven dit vlak h_p af, de grond kan het water moeilijker vasthouden en steeds meer poriën zullen water verliezen. Hierdoor zal het vochtgehalte θ van de grond afnemen. Hieruit volgt een zekere relatie tussen θ en h_p :

$$\theta = f(h_p) \quad (b.12)$$

Een dergelijk verband noemt men de waterretentiecurve of de vochtkarakteristiek van de bodem. Zoals eerder opgemerkt werkt men in de praktijk in plaats van met onderdrukken h_p liever met zuigspanningen h_p^* , waarbij $h_p^* = -h_p$. De waarde van h_p^* varieert in de praktijk van 0 tot 10^7 cm. Om dit traject gemakkelijk in een grafiek te kunnen uitdrukken werd het begrip pF ingevoerd, gedefinieerd als de logaritme van de zuigspanning in cm waterkolom:

$$pF = 10 \log(h_p^*) \quad (b.13)$$

De vochtkarakteristieken worden meestal bepaald door water te onttrekken aan een initieel nat grondmonster. Wanneer men water toevoegt aan een initieel droog monster, zal het verband $\theta(h_p)$ dikwijls anders zijn. Er treedt hysteresis op. In het algemeen wordt hysteresis buiten beschouwing gelaten.

Bij verzadigde stroming is het totale poriënvolume van de grond beschikbaar voor stroming; in de onverzadigde zone is echter een gedeelte van de poriën gevuld met lucht die niet aan de stroming deelneemt. De doorlaatfactor K is derhalve niet constant, maar afhankelijk van de relatieve waterverzadiging S_w . Per definitie is de relatieve waterverzadiging gelijk aan het quotient van het volumetrisch vochtgehalte θ en het poriënvolume n ($S_w = \theta/n$).

Voor een bepaalde grondsoort is de doorlaatfactor K dus afhankelijk van het vochtgehalte θ of (omdat $\theta = f(h_p)$) van de lokale drukhoogte h_p :

$$K = f(S_w) \text{ of } K = f(\theta) \text{ of } K = f(h_p) \quad (b.14)$$

Voor de hydraulische doorlaatfactor K wordt bij onverzadigde stroming soms de term capillair geleidingsvermogen gebruikt.

Voor praktische toepassingen worden h en S_w in vergelijking (b.4) uitgedrukt in termen van plaats-hoogte z , drukhoogte h_p en volumetrisch vochtgehalte θ . Substitueert men $h = z + h_p$ en $nS_w = \theta$, dan wordt vergelijking (b.4):

$$\nabla\{K(\theta)\nabla(z + h_p)\} - Q = \frac{\partial\theta}{\partial t} \quad (b.15)$$

waarbij:

Q = sink term die de wateropname door de wortels voorstelt ($m^3 \text{ water} \cdot m^{-3} \text{ grond} \cdot d^{-1}$). De term Q vormt veelal de belangrijkste oorzaak voor wateronttrekking uit de onverzadigde zone, die hier echter buiten beschouwing moet worden gelaten

ρ = constant

Aangezien de stroming in de onverzadigde zone voornamelijk in verticale richting plaatsvindt (capillaire opstijging of infiltratie), kan men zich in de praktijk beperken tot 1 dimensie:

$$\frac{\partial\theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left\{ K(\theta) \frac{\partial h_p}{\partial z} \right\} + \frac{\partial k(\theta)}{\partial z} - Q \quad (b.16)$$

In deze één-dimensionale verticale modellen wordt de neerslag ingevoerd als randconditie.

In vergelijking (b.16) heeft men te maken met de twee afhankelijke variabelen θ en h_p . Daarom wordt dikwijls gebruik gemaakt van de betrekking:

$$D = K \frac{dh_p}{d\theta} \quad (m^2 \cdot d^{-1}) \quad (b.17)$$

welke (b.16) verandert in:

$$\frac{\partial\theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left\{ D(\theta) \frac{\partial\theta}{\partial z} \right\} + \frac{\partial K(\theta)}{\partial z} - Q \quad (b.18)$$

De factor D wordt de 'diffusivity' of vochtvereffeningscoëfficiënt genoemd, omdat de toegepaste transformatie de stroming analoog aan een diffusieproces maakt. Vergelijking (b.18) staat bekend als de θ -vorm van de algemene stromingsvergelijking, welke alleen bruikbaar is voor uniforme bodemprofielen.

In vergelijking (b.16) kan de zogenaamde differentieële vochtcapaciteit

$$\Gamma = \frac{d\theta}{dh_p} \quad (m^{-1}) \quad (b.19)$$

worden ingevoerd, zodat (b.16) overgaat in:

$$\Gamma(h_p) \frac{\partial h_p}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left\{ K(h_p) \left(\frac{\partial h_p}{\partial z} + 1 \right) \right\} - Q \quad (b.20)$$

In de praktijk worden de relaties $\theta(h_p)$, $K(\theta)$, of $K(h_p)$ en $D(\theta)$ dikwijls benaderd door empirische formules. In dat geval zijn voor vergelijkingen (b.18) en (b.20) voor eenvoudige stromingsproblemen analytische

oplossingen te vinden. In verreweg de meeste gevallen is men echter aangewezen op numerieke oplossingsmethoden.

Teneinde de partiële differentiaalvergelijkingen die de stroming van het grondwater beschrijven te kunnen oplossen, moeten ze worden voorzien van begin- en andere randvoorwaarden.

LIJST MET BEGRIPPEN

Voor een verklaring van de meeste van de in het rapport gebezigde hydrologische begrippen wordt verwezen naar VERKLARENDE HYDROLOGISCHE WOORDENLIJST van de Gespreksgroep Hydrologische Terminologie. CHO-TNO: Rapporten en Nota's no. 8a, 1982 (I. Water in de onverzadigde zone en II. Water in de verzadigde zone), 8b, 1983 (III. Atmosferisch water) en 8c, 1985 (IV. Oppervlaktewater). De begrippen die hierin niet zijn weergegeven of die specifiek zijn voor de onderhavige studie zullen hierna worden gegeven.

Calibratie = bepaling van parameters (zoals doorlaatvermogen) aan de hand van een vergelijking tussen gemeten en berekende hydrologische grootheden (zoals grondwaterstanden).

Conserveren (van water) = het door het verhogen van stuwen in het voorjaar vasthouden van water dat anders zou zijn weggestroomd.

Contante waarde = het met een bepaalde discontovoet herleiden van toekomstige baten (of kosten) naar één bijdrage op één bepaald tijdstip.

Detailontwateringssysteem = dat deel van het oppervlaktewaterstelsel dat zorgt voor de ontwatering van percelen en kavels. Soms aangeduid als tertiair oppervlaktewaterstelsel.

Dwarssloot = voor de ontwatering van de strook grond tussen twee wijken gegraven ondiepe sloot dwars op de zwetsloot.

FEMSATS = Finite Element Model for Saturated Groundwaterflow: Stationair. Numeriek model voor de verzadigde stationaire grondwaterstroming, waarbij de stroming in relatief goed doorlatende lagen horizontaal en in relatief slecht doorlatende lagen verticaal is gemodelleerd.

Interne rentevoet = die rentevoet waarbij de som van contante waarden van baten minus kosten gelijk is aan nul.

Mond (of diep) = dwars op het Stadskanaal voor de afvoer van turf gegraven verbindingkanaal voor de wijken.

Ontwateringsweerstand (drainageweerstand) = de weerstand tegen de grondwaterstromingen naar open of gesloten leidingen, uitgedrukt per eenheid van beschouwd oppervlak.

Oppervlaktewaterstelsel = het geheel van open leidingen dat zorgt voor aan- en afvoer van oppervlaktewater. Het stelsel kan worden opgesplitst in primair (grote leidingen), secundair (middelgrote leidingen) en tertiair oppervlaktewaterstelsel (detailontwateringssysteem).

PEILBEHEER = voor het onderzoek in 'De Monden' ontwikkeld één-dimensionaal model voor berekening van de hydrologische effecten van peilbeheer. Daartoe zijn het oppervlaktewaterstelsel, het verzadigd grondwatersysteem, het onverzadigde grondwatersysteem en het gewas/atmosfeer systeem op een interactieve manier aan elkaar gekoppeld. Het model gebruikt als invoer meteorologische gegevens en simuleert op basis van bepaalde beheersregels het te voeren peilbeheer en de gevolgen daarvan op onder andere de gewasverdamping.

Peilbeheer = het door waterschappen te voeren dagelijks beheer van het peil in het oppervlaktewaterstelsel. Dit kan geschieden door met name het manipuleren van stuwen en inlaatwerken. In het onderzoek is onderscheid gemaakt tussen normaal en voorzichtig beheer. Voorzichtig beheer onderscheidt zich van normaal beheer doordat peilverhogingen pas worden doorgevoerd bij relatief diepe grondwaterstanden (zie hoofdstuk 6).

Piepsysteem = bepaald type van peilbeheer. Het houdt globaal het volgende in. Het instellen van zekere peilen gebeurt op basis van door eigen ervaringen verkregen of van derden overgenomen vuistregels. Hiervan wordt pas afgeweken als een of meer ingelanden beginnen te klagen ('piepen') over te hoge respectievelijk te lage open waterpeilen en er bij de beheerder voldoende argumenten aanwezig zijn om deze klachten als reëel te beoordelen.

Stilling well = constructie waarbij een wijdere buis via een nauwere buis verbonden is met bijvoorbeeld het water bovenstrooms van een stuw. Door de specifieke constructie worden kortstondige variaties in waterstand uitgedempt.

Streefpeil = het op een bepaald moment meest gewenste peil in het oppervlaktewaterstelsel. Dit peil kan afwijken van het werkelijke stuwpeil.

Stuwpeil = het peil in het gestuwde oppervlaktewaterstelsel.

Stuwpeilvak = het gebied dat behoort bij een bepaalde stuw en waarin (indien technisch mogelijk en afgezien van opstuwingen e.d.) hetzelfde open waterpeil voorkomt.

Subinfiltratie = de aanvoer van water vanuit het oppervlaktewaterstelsel naar het grondwatersysteem (omgekeerde van drainage).

SWADRE = computermodel gebaseerd op het één-dimensionale model voor onverzadigde grondwaterstroming en verdamping SWATRE en het model PEILBEHEER. Is te beschouwen als de meer geavanceerde versie van het model PEILBEHEER, althans wat de modellering van de stroming in de onverzadigde zone betreft.

Verlanding = proces van dichtgroeien en dichtslibben van met name het oppervlaktewaterstelsel.

Wijk = voor de afvoer van het afgegraven veen gegraven klein kanaal; op onderlinge afstand van 150 à 200 m.

Zwetsloot = ten behoeve van de ontwatering gegraven sloot midden tussen twee wijken.