

J. J. Babel

NOTA 867

juni 1975

Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding
Wageningen

INVLOED VAN DE WATERHUISHOUDING OP DE OPBRENGST
VAN LANDBOUWGEWASSEN

ir. A.L.M. van Wijk en dr. R.A. Feddes

Nota's van het Instituut zijn in principe interne communicatiemiddelen, dus geen officiële publikaties. Hun inhoud varieert sterk en kan zowel betrekking hebben op een eenvoudige weergave van cijferreeksen, als op een concluderende discussie van onderzoeksresultaten. In de meeste gevallen zullen de conclusies echter van voorlopige aard zijn omdat het onderzoek nog niet is afgesloten. Bepaalde nota's komen niet voor verspreiding buiten het Instituut in aanmerking



1. INLEIDING

Bij de evaluatie van landinrichtingsplannen is het waterhuishoudkundige aspect nog steeds gebaseerd op het werk van de Commissie Onderzoek Landbouwwaterhuishouding Nederland. In dit COLN-onderzoek is voor een zevental profielgroepen een verband gelegd tussen de opbrengst van landbouwgewassen en de gemiddelde grondwaterstandsdiepte die optreedt gedurende het groeiseizoen. Depressies in opbrengst bij hoge grondwaterstanden worden geweten aan een gebrek aan aeratie, depressies bij diepe grondwaterstanden aan een gebrek aan water. Uit dit onderzoek zijn de zogenaamde iso-carpen diagrammen (lijnen van gelijke opbrengst) van grasland en bouwland ontstaan. Hierbij kan voor een bepaald profieltype bij elke combinatie van winter- en zomergrondwaterstand de gewasopbrengst worden afgelezen (VISSER, 1958).

Aangezien de opbrengst slechts indirect van de grondwaterstand afhangt dienen eerst de processen die bepalend zijn voor de vocht-huishouding en de uiteindelijke opbrengst in beschouwing te worden genomen. Al naar gelang de uitwendige omstandigheden veranderen, zal het vochtgehalte, en daardoor tevens het luchtgehalte, van de grond zich wijzigen. In een n a t t e grond is het vochtgehalte hoog en het luchtgehalte daardoor laag. Hierdoor wordt de uitwisseling van lucht tussen grond en bovenlucht belemmerd, waardoor er zuurstofgebrek kan ontstaan. Als gevolg hiervan zal de wortelademhaling en het wortelvolumen worden gereduceerd, de weerstand voor het transport van water- en voedingsstoffen worden verhoogd en zullen er giftige bestanddelen kunnen worden gevormd. Bij ernstige wateroverlast kunnen de wortels geen water meer opnemen, de wortels raken beschadigd, de doorlatendheid van de wortelcellen neemt af en de cellen sterven af. De mate van beschadiging hangt af van de plantensoort, het stadium

van ontwikkeling, de bodem- en luchttemperaturen en de duur van de wateroverlast.

Deze direct nadelige effecten zijn dikwijls kleiner dan die welke indirect worden veroorzaakt via de stikstofmineralisatie, de structuur en de bodemtemperatuur.

Voor de mineralisatie van stikstof in de grond is een aanzienlijke hoeveelheid zuurstof nodig. Is het luchtgehalte in de grond te laag, dan wordt stikstofmineralisatie geremd en kan stikstofgebrek optreden.

Doordat een natte grond een relatief grote warmtecapaciteit bezit zal er een aanzienlijke hoeveelheid warmte nodig zijn om de bodemtemperatuur te doen stijgen. Natte gronden zijn daarom dikwijls kouder dan droge. Hierdoor kunnen kieming, opkomst en eerste groei op natte gronden worden vertraagd. In het algemeen worden biologische processen sterk door de omgevingstemperatuur beïnvloed.

Op natte gronden treedt gemakkelijk structuurbederf op doordat bij langdurig lage vochtspanningen de bouwvoor verslemt, verpapt en dichtslaat. Hierdoor blijft de grond in het voorjaar langer nat waardoor hij niet alleen later kan worden bewerkt maar bovendien soms ook nog bij een te hoog vochtgehalte van de bouwvoor moet worden bewerkt, hetgeen een zaai- of pootbed van slechte kwaliteit oplevert. Bovendien vragen gronden waarop structuurbederf is opgetreden een diepere en meer ingrijpende bewerking. Om deze diepere bewerking te kunnen uitvoeren, moet de grond over een grotere diepte zijn ingedroogd. Dit tezamen leidt ertoe dat op natte gronden later gezaaid en gepoot kan worden, hetgeen gepaard gaat met een verlaging van de opbrengst. Ook leveren natte gronden bezwaren ten aanzien van de oogstbaarheid van de gewassen welke kunnen resulteren in opbrengst- en kwaliteitsvermindering.

In de weidebouw geven natte gronden aanleiding tot een kortere periode voor beweiding en ruwvoederwinning tengevolge van een geringere draagkracht in voor- en najaar. Bovendien treden in natte perioden in het groeiseizoen op natte gronden grotere beweidings- en ruwvoederwinningsverliezen op. Stikstofbemesting in het voorjaar en het uitrijden van mest en gier in de winter moeten vanwege te geringe draagkracht op natte gronden vaak worden uitgesteld, wat een verlate

grasgroei en een grotere mestopslagcapaciteit met zich meebrengt.

Bij een d r o g e g r o n d is de aeratie meer dan voldoende, het vochtgehalte is echter laag. Dit resulteert in een afname van de onverzadigde waterdoorlatendheid van de grond, en in een beperking van de watertoevoer vanuit de grond en het grondwater naar de wortels. Wanneer de beschikbaarheid van het bodemwater afneemt kunnen zich ernstige watertekorten in de plant ontwikkelen, praktisch ieder aspect van de plantengroei aantastend. De transpiratiecoëfficiënt (hoeveelheid water die gebruikt wordt om een eenheid droge stof te produceren, kg.kg^{-1}) gaat achteruit en de produktie neemt af. Wanneer grote hoeveelheden water aan de grond worden onttrokken, wordt de bodemoplossing steeds geconcentreerder, wat verzoutingsproblemen kan gaan opleveren.

Een te laag vochtgehalte in het voorjaar kan een verslechtering en vertraging van de kieming en opkomst ten gevolge hebben.

Het voorgaande overziende kunnen twee limiterende grondwaterstands- diepten worden onderscheiden: een bovengrens die een vochtgehalte garandeert dat voldoende laag is voor een goede werkbaarheid in voor- en najaar en voor een goede lucht- en stikstofhuishouding tijdens het groeiseizoen, en een ondergrens die gesteld wordt door de eisen aangaande waterbehoefte van het gewas. De optimale grondwaterstandsdiepte zal tussen deze twee grenzen moeten liggen.

Bovenstaande is schematisch samengevat in fig. 1.

2. NADERE ANALYSE VAN DE INVLOED VAN DE ONTWATERING OP DE OPBRENGST

Aangezien de effecten genoemd in blok 1 van fig. 1 slechts onder uitzonderlijke omstandigheden van wateroverlast gedurende het groeiseizoen optreden, worden deze verder buiten beschouwing gelaten. De aeratietoestand van de bodem heeft een sterke invloed op de beschikbaarheid van stikstof voor de plant (blok 2). Onder omstandigheden van slechte aeratie en structuur (blok 4) wordt de stikstofmineralisatie in de grond geremd. Redukties in opbrengst tengevolge van hoge grondwaterstanden kunnen voor een belangrijk deel worden gecompenseerd door een extra stikstofgift. VAN HOORN (1958) concludeerde uit

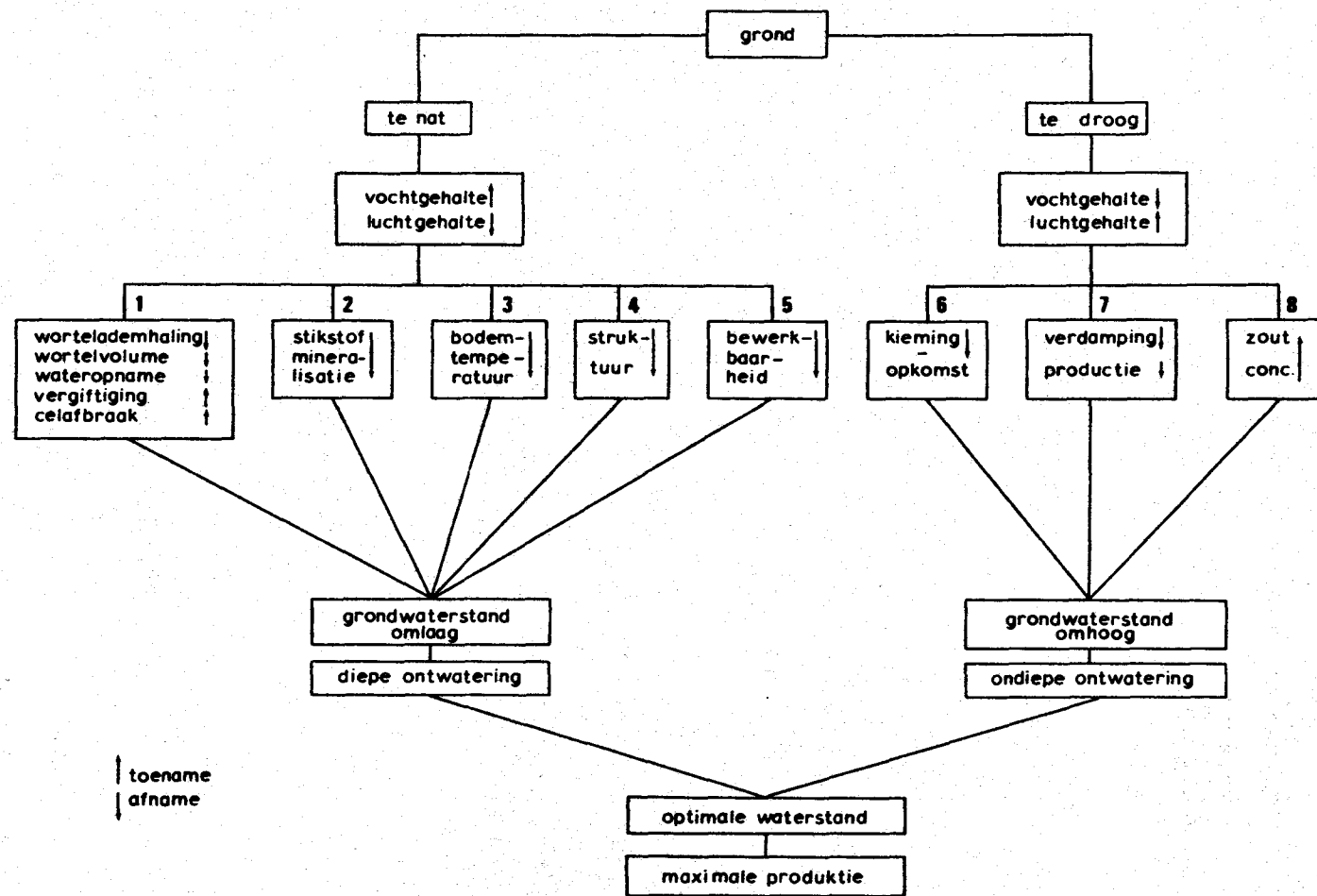


Fig. 1. Overzicht van de voornaamste effecten van een te natte en een te droge grond op het complex van fysische, chemische en biologische factoren die van invloed zijn op de gewasgroei

onderzoekingen op proefvelden met verschillende constante grondwaterstandsdiepten gelegen op zware klei dat op de objecten met de diepe grondwaterstanden ca. $100 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ meer stikstof uit de grond vrijkomt dan op die met de ondiepe grondwaterstanden. SIEBEN (1974) vindt op proefvelden met variërende grondwaterstanden verschillen van maximaal $30 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$. Dezelfde auteur stelt eveneens vast dat hoge grondwaterstanden in de winter een nadelige invloed hebben op de structuur en bijgevolg op aeratie en stikstofmineralisatie.

Wat betreft de invloed van de bodemtemperatuur (blok 3) is een onderscheid te maken in het stadium van kieming, opkomst en eerste groei, en het stadium vanaf eerste groei tot afrijping. In het eerste stadium zijn bodemtemperatuur en vocht de belangrijkste milieufactoren voor de ontwikkeling. In het tweede stadium hangt de groei tevens af van de luchttemperatuur, maar vooral van het bladoppervlak en de netto straling.

De invloed van de bodemtemperatuur zal dus vooral belangrijk zijn in het voorjaar. Uit onderzoekingen van FEDDES (1971) is gebleken dat de bodemtemperatuur in de bovenlaag van percelen met hoge grondwaterstanden gemiddeld $1 \text{ à } 2^{\circ}\text{C}$ lager is dan op percelen met diepe waterstanden. Aangezien in het temperatuurstraject dat in het voorjaar voorkomt de kiemsnelheid evenredig is met de bodemtemperatuur, kan de kieming en opkomst worden vertraagd op ondiep ontwaterde percelen. De andere belangrijke factor voor kieming van gewassen is het bodemvocht. Uit bovenaangehaalde onderzoekingen kan tevens worden vastgesteld dat het meest gunstige vochtspanningstraject voor kieming ligt tussen pF 2,0 en pF 2,7.

Een slechte structuur (blok 4) van het zaai- of pootbed zal enerzijds via de vochtvoorziening (droog liggen van zaad of knollen in een kluitrig zaai- of pootbed), anderzijds via een te hoge mechanische weerstand (korstvorming) een verslechterde en vertraagde kieming tot gevolg hebben. De invloed van de slechte structuur op de stikstofvoorziening is reeds gememoreerd.

De bewerkbaarheid van de grond (blok 5) in het voorjaar bepaalt het tijdstip van zaaien. Hoe eerder er gezaaid kan worden, des te langer is het groeiseizoen en des te groter is de opbrengst. In het algemeen zal gelden dat bij een diepere ontwatering een ruimere ge-

wassenkeus mogelijk zal zijn, omdat dan de voorjaarswerkzaamheden als bemesting, grondbewerking, zaaien en poten over een breder tijds- traject kunnen worden verricht. Dit heeft consequenties voor de arbeidsfilm en de benodigde machinecapaciteit. Dit laatste geldt ook voor de oogstwerkzaamheden in het najaar. Bij een grotere oogstzeker- heid kan de rooidatum tevens naar een later tijdstip worden verscho- ven, wat bijvoorbeeld bij bieten kan resulteren in een hogere op- brengst.

Meestal is de grond in het voorjaar te nat en moet tijdens een droge periode worden gewacht tot de bovenlaag voldoende is uitge- droogd. Naarmate de voorjaarsgrondwaterstand hoger is, zal het langer duren voordat de grond bewerkbaar is. Door WIND (1963) zijn wacht- perioden voordat met de grondbewerking kan worden begonnen, uitgere- kend in afhankelijkheid van een aaneengesloten droge periode met ver- damping en grondwaterstandsdiepte, voor een klei- en zavelgrond. Uit dit onderzoek blijkt dat deze wachttijden sterk uiteen kunnen lopen (bij zavel is het effect sterker dan bij klei). In de praktijk blijkt dat deze wachttijden nog verder uiteen zullen gaan lopen, omdat de kans van voorkomen van een lange, aaneengesloten droge periode klei- ner is dan een korte periode. RIJTEMA (1973) heeft een schatting van deze extra wachttijden gemaakt. Laatstgenoemde toont tevens aan dat een groot deel van de reeds eerder genoemde verschillen in warmte- huishouding tengevolge van ontwatering worden gecompenseerd door de verlate zaaidatum in verband met de grondbewerking. Als criterium voor een goede bewerkbaarheid in het voorjaar voor het zaaien van zomergraan wordt een vochtspanning van 100 cm (pF 2,0), voor het zaaien van bieten en het poten van aardappelen 300 cm (pF 2,5) aange- houden.

Een plezierige bijkomstigheid is dat deze werkbaarheidsgrenzen juist liggen in het traject dat optimaal is voor de kieming en op- komst. Naar de effecten van klimaat en bodemfysische factoren op ver- damping en produktie (blok 7) is veel onderzoek gedaan, zie bijvoor- beeld WESSELING (1957), RIJTEMA (1969) en FEDDES (1971). Onder bepaal- de beperkingen kan men de maximum hoeveelheid water die voor de ver- damping van een gewas gedurende een aantal dagen beschikbaar is, be- rekenen wanneer men de hoeveelheid neerslag, de diepte van de wortel-

zone, de grondwaterstandsdiepte en de hydrologische eigenschappen van de grond kent. De produktie van een gewas is rechtevenredig met de verdamping gedeeld door het verzadigingsdeficit van de lucht. Een reductie in de potentiële verdamping (maximaal mogelijke verdamping onder de heersende meteorologische omstandigheden) zal direct een reductie in de opbrengst ten gevolge hebben. Daarom zal er bij waterbeheersingsplannen in het algemeen naar worden gestreefd de wateraanvoer zodanig te verzorgen, dat zoveel als mogelijk aan de potentiële verdampingsvraag wordt voldaan.

Vanwege het weinige praktische belang van zoutschade door droogte (blok 8) onder Nederlandse omstandigheden wordt hier verder niet op dit aspect ingegaan.

3. OPBRENGST IN RELATIE TOT ZAAITIJDS TIP EN VERDAMPING

Wanneer het voorgaande wordt overzien, blijkt dat voor een evaluatie van de besproken effecten het beste een scheiding kan worden gemaakt tussen dat wat er in het voorjaar en dat wat er in het zomerseizoen gebeurt.

In het voorjaar beïnvloedt de ontwatering vooral de bewerkbaarheid, die bepalend is voor het tijdstip van zaaien. Het tijdstip van zaaien bepaalt de lengte van het groeiseizoen.

Weliswaar neemt de lengte van het groeiseizoen niet evenredig toe met het aantal dagen eerder zaaien, maar er kan wel een extra opbrengst door worden verkregen. Door WIND (1960) wordt op basis van literatuuronderzoek betreffende zaaitijdenproeven voor zomergranen en hakvruchten een verband gegeven tussen de opbrengstdaling per dag te laat zaaien en het zaaitijdstip in het voorjaar. Integratie hiervan levert de relatie tussen de relatieve opbrengstdaling en het aantal dagen te laat zaaien (fig. 2). Voor zomergraan komt uit het onderzoek van WIND (1960) 1 februari als datum vanaf welke een opbrengstdaling tengevolge van te laat zaaien is te verwachten. Voor aardappelen en bieten is dit vanaf 25 maart.

In de zomer zal de ontwatering via het vochtgehalte, de verdamping en daarmee de produktie beïnvloeden. Door RIJTEMA (1971) zijn

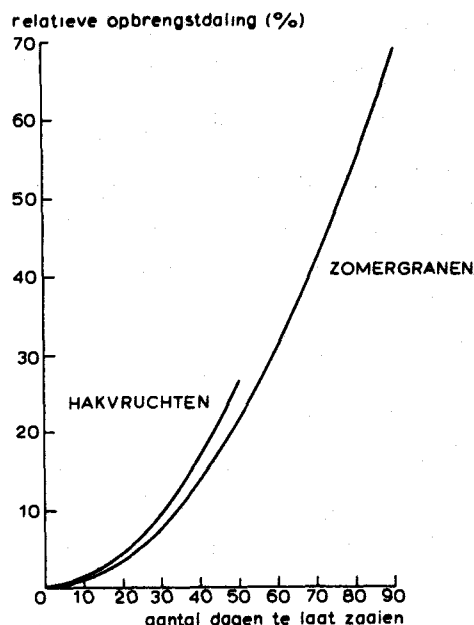


Fig. 2. Relatieve opbrengstdaling bij hakvruchten en zomergranen als gevolg van het aantal dagen te laat zaaien. Als vroegste zaai- respectievelijk pootdatum geldt voor zomergranen 1 februari en voor hakvruchten 25 maart

een aantal relaties voor de opbrengst in afhankelijkheid van de relatieve verdamping, (totale werkelijke verdamping gedeeld door totale potentiële verdamping, E_{act}/E_{pot}) gegeven.

Voor aardappels geldt voor de knolopbrengst Y de betrekking:

$$Y = 58,08 \left(\frac{E_{act}}{E_{pot}} \right) - 15,97 \quad (\text{t. ha}^{-1}) \quad (1)$$

Bij granen wordt de korrel/stro-verhouding nadelig beïnvloed door droogte tijdens de overgang van het vegetatieve naar het generatieve groeistadium (schieten, aarvorming). Daarom is deze korrel/stro-verhouding afhankelijk gesteld van de pF-waarde in de wortelzone tijdens deze groeifase. Voor zomergranen is dit de gemiddelde pF-waarde van begin juni en half juni. De relaties voor respectievelijk de korrel- en stro-opbrengst van zomergranen kunnen dan worden weergegeven als:

$$pF \geq 2,8 \quad Y = 5,11 \left(\frac{E_{act}}{E_{pot}} \right) - 0,59 \quad Y = 8,14 \left(\frac{E_{act}}{E_{pot}} \right) - 1,82 \quad (t \cdot ha^{-1}) \quad (2a)$$

$$pF \geq 3,2 \quad Y = 3,71 \left(\frac{E_{act}}{E_{pot}} \right) - 0,44 \quad Y = 9,54 \left(\frac{E_{act}}{E_{pot}} \right) - 1,96 \quad (t \cdot ha^{-1}) \quad (2b)$$

In het voorgaande is de invloed van de ontwatering op de opbrengst in een 'voorjaars'- en een 'zomer' effect gesplitst. Het totale effect van de ontwatering op de opbrengst zal dan moeten bestaan uit de som van deze twee effecten.

Indien nu voor bepaalde werkelijk voorkomende situaties deze twee effecten kunnen worden bepaald, hebben we een middel om de invloed van de ontwatering op de opbrengst te evalueren. Om te komen tot deze evaluatie zal gebruik kunnen worden gemaakt van simulatie van praktijksituaties met behulp van modellen.

In het volgende gedeelte zullen twee modellen worden besproken. Het eerste model stelt het aantal bewerkbare dagen in het voorjaar vast. Daarmee is het tijdstip van zaaien vastgelegd en via fig. 2 een eventuele opbrengstdaling tengevolge van te laat zaaien. Met het tweede model wordt de reductie in potentiële verdamping uitgerekend en via de verg. 1 en 2 de invloed op de productie vastgesteld. Tenslotte worden de uitkomsten van de twee modellen gecombineerd.

4. ONDERZOEK MET BEHULP VAN MODELLEN

4.1. Model ter vaststelling van het aantal bewerkbare dagen

De werkbaarheid van de grond wordt bepaald door de vochttoestand i.c. de vochtspanning in de bovengrond. Dit is een sterk met de neerslag en verdamping variërende grootte die tevens in sterke mate wordt bepaald door de mogelijkheden voor verticaal watertransport. Voor een goed inzicht in het verloop van de vochtspanning in de bovengrond dient de verticale waterbeweging bestudeerd te worden bij nogal

ingewikkelde randvoorwaarden, zoals een met de tijd veranderende wateraanvoer zoals deze door regen wordt veroorzaakt, een met tijd en plaats veranderend vochtgehalte waarmee tevens het capillair geleidingsvermogen en de bergingscoëfficiënt veranderen.

De voor dit vraagstuk te gebruiken modellen zijn te onderscheiden in: analoge (electronisch, hydraulisch) en numerieke modellen. Bij analoge modellen wordt gediscretiseerd naar de diepte en wordt de tijd continu ingevoerd. Bij de numerieke modellen worden tijd en afstand beide gediscretiseerd.

Door WIND (1972) en WIND and VAN DOORNE (1975) is voor de besturing van de verticale waterbeweging in de bodem zowel een hydraulisch analogon als een numeriek model ontwikkeld. Voor de vaststelling van het aantal werkbare dagen leent zich bij voorkeur het hydraulisch analogon, omdat de neerslaggegevens over een lange reeks van jaren kunnen worden ingevoerd en als output een continu verloop van de vochtspanning wordt verkregen waarop een statistische bewerking kan worden toegepast. Het numeriek model leent zich hier in principe ook voor, maar is wanneer men een lange reeks van jaren wil doorrekenen erg kostbaar. De kosten van het doorrekenen van één dag variëren afhankelijk van de tijdstapgrootte die samenhangt met de doorlatendheid van de grond en de te kiezen laagdikte, van 1 tot 5 gulden. Het bezwaar van het hydraulisch analogon is echter dat per grondsoort een nieuw model moet worden gebouwd, hetgeen tijdrovend en daardoor kostbaar is. Voor het onderzoek in het kader van de Commissie HELP staat slechts voor één grond een hydraulisch analogon ter beschikking. Voor de bepaling van het aantal werkbare dagen op andere grondsoorten zou met een numeriek model gewerkt kunnen worden, echter niet vanwege de kosten over een lange reeks van jaren maar met een uit een veeljarige reeks samengesteld gemiddeld jaar. Een statistische bewerking van de gegevens resulterend in het aangeven van de kans van voorkomen van een bepaald aantal bewerkbare dagen is dan echter niet mogelijk.

In eerste instantie is gewerkt met het hydraulische model. Het principe van dit model berust op de voorstelling van de opeenvolgende bodemlagen door een serie vaten die onderling verbonden zijn door

slangetjes die het capillair geleidingsvermogen voorstellen. De neerslag wordt overeenkomstig het werkelijke patroon toegevoerd aan het bovenste vat i.c. de eerste bodemlaag. De afvoer via het drainagestelsel wordt gepresenteerd door een overeenkomstig de drainage intensiteit gedimensioneerde slang die is aangesloten aan het vat dat de bodemlaag ter plaatse van de ontwateringsbasis voorstelt. De vocht karakteristiek (pF-curve) van een bodemlaag wordt voorgesteld door de vorm van het vat en het vochtgehalte door de mate van vulling. De potentiaal van het bodemvocht wordt weergegeven door de stijghoogte van het water in het vat. Om het effect van lange neerslagreeksen te bestuderen wordt in het model gewerkt met een tijdschaal die vele malen kleiner is dan met de werkelijkheid overeenkomt. In het hydraulisch analogon wordt 1 etmaal doorlopen in 5 minuten en bedraagt de modeltijd $3,47 \times 10^{-3}$ etm. Als output van het model wordt verkregen het verloop van de vochtspanning in een of meerdere bodemlagen en het verloop van de grondwaterstand bij te kiezen draaindiepte en drainage intensiteit. Voor het zaaien van zomergranen en het zaaien respectievelijk poten van hakvruchten moet de vochtspanning in de bovengrond (laag 0-5 cm) tenminste 100 respectievelijk 300 cm bedragen. Met deze vochtspanningen als criterium voor de bewerkbaarheid, kan uit het gesimuleerde vochtspanningsverloop het tijdstip en het aantal dagen dat de grond bewerkbaar is, worden vastgesteld.

4.2. Model ter vaststelling van de relatieve verdamping

Voor de berekening van de relatieve verdamping over een werkelijk voorgekomen reeks jaren zou in principe moeten worden gewerkt met een niet-stationair model. Een beschrijving van een dergelijk model is bijvoorbeeld gegeven door FEDDES, BRESLER and NEUMAN (1974). Op de uitkomsten verkregen met dit model kan dan een statistische bewerking worden toegepast. Gezien echter het korte tijdsbestek ter beschikking staat en de kosten verbonden aan zo'n benadering, is voor het onderzoek ten behoeve van de Commissie HELP gekozen voor een pseudo-stationair model zoals ontwikkeld door RIJTEMA (1971), waarbij de invoer bestaat uit gegevens die reeds een statistische analyse

hebben ondergaan.

In het model wordt de actuele verdamping bepaald uit de waterbalans van de wortelzone:

$$E = P + G - R - \Delta ST \quad (\text{mm}) \quad (3)$$

waarin E = verdamping

P = neerslag

G = opstijging uit het grondwater

R = wegwijging

ΔST = verandering in vochtvoorraad.

Er wordt aangenomen dat de verdamping potentieel is indien de pF in de wortelzone kleiner is dan 4.2 (verwelkingspunt). Indien deze pF-waarde wordt overschreden kan geen water meer uit de wortelzone worden onttrokken en treedt er reductie in verdamping op.

Samengevat komt het erop neer dat:

$$pF < 4,2 \quad E_{act} = E_{pot} \rightarrow -\Delta ST = (E_{pot} - P) - G \quad (4a)$$

$$pF > 4,2 \quad E_{act} < E_{pot}, \Delta ST = 0 \rightarrow E_{act} = P + G \quad (4b)$$

In deze vergelijking is G onbekend. Deze is te berekenen uit bodemfysische grootheden.

Als begintoestand in het voorjaar wordt aangenomen dat het vochtspanningsprofiel boven de grondwaterstand in evenwicht is; de zuigspanning is gelijk aan de hoogte boven de grondwaterspiegel.

Als verdere invoer in het model wordt het verdampingsoverschot ($E_{pot} - P$) ingevoerd. Aangezien deze niet van tevoren bekend is, wordt gewerkt met de kans op het optreden van een bepaald verdampingsoverschot in een zeker jaar. Deze kans is te berekenen door een statistische bewerking van neerslag- en verdampingsgegevens. Zo kunnen worden onderscheiden een 1 %, 10 %, 20 %, 50 % en 90 % droog jaar. Voorbeeld: een 50 % droog jaar wil zeggen dat het hierbij behorende verdampingsoverschot eens per 2 jaar wordt bereikt of overschreden. De uitvoer van het model bevat onder andere: de werkelijke verdamping, de grondwaterstand, de pF in de wortelzone en de verandering van de

vochtvoorraad (zowel in de wortelzone als in het gehele profiel).

In het model is de mogelijkheid ingebouwd om ook andere oorzaken van grondwaterstands daling dan capillaire opstijging G in te voeren, zoals: afvoer naar sloten of beken, of afvoer tengevolge van grondwateronttrekking.

5. RELATIE GEWASOPBRENGST EN ONTWATERING VAN BOUWLAND OP ZWARE ZAVEL

Als te behandelen voorbeeld is een zware zavelgrond gekozen, waar al enig modelonderzoek aan was verricht. De belangrijkste bodemfysische grootheden zoals de relaties tussen vochtspanning (pF) en vochtgehalte en tussen het capillair geleidingsvermogen en de vochtspanning zijn weergegeven in fig. 3.

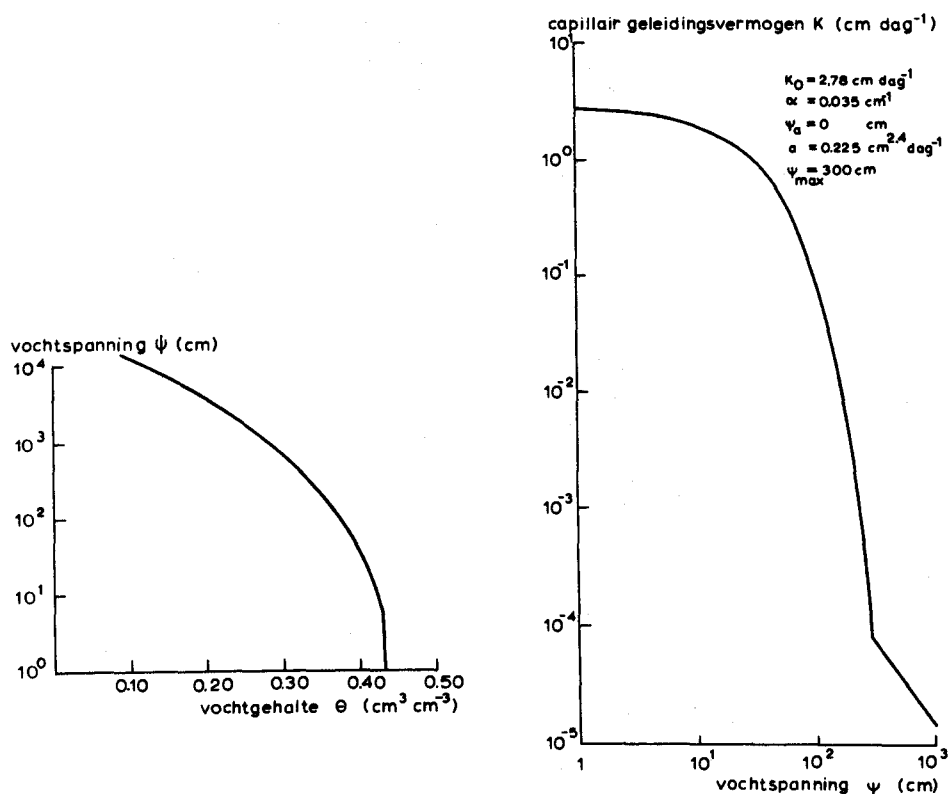


Fig. 3. Relaties tussen vochtspanning en vochtgehalte en tussen het capillair geleidingsvermogen en de vochtspanning van de zware zavelgrond

De gewassen waarmee deze grond wordt beteeld zijn: zomergranen en hakvruchten. Als representant voor hakvruchten is gewerkt met aardappelen. Overeenkomstig de gekozen draindiepten bij het werkbaarheidsonderzoek zijn als voorjaarsgrondwaterstanden genomen: 40, 80, 100 en 150 cm-m.v.

5.1. Werkbaarheid in het voorjaar en opbrengst

De werkbaarheid van de grond wordt bepaald door zijn vochttoestand. Voor het zaaien van zomergranen en hakvruchten moet de vochtspanning in de bovengrond (laag 0-5 cm) 100 respectievelijk 300 cm bedragen. Uit het onderzoek met het hydraulisch model was over een lange reeks van jaren het vochtspanningsverloop in de bovenste 5 cm van een zware zavelgrond bekend bij 4 draindiepten: 40, 80, 100 en 150 cm-m.v. Voor beide groepen van gewassen is over een periode van 22 jaar, 1951 tot en met 1973, uitgezonderd 1960, nagegaan op welk tijdstip en hoeveel dagen de grond in elk voorjaar werkbaar was (tabel 1a en 1b) en hoe groot de overschrijdingskans was van het aantal werkbare dagen bij de vier draindiepten (fig. 4). Zo blijkt bij draindiepten van 40, 80, 100 en 150 cm-m.v. de kans op vijf of meer werkbare dagen voor het zaaien van bieten of het poten van aardappelen respectievelijk 47, 68, 77 en 83 % te zijn.

In overleg met het IMAG is aangenomen dat op een gemiddelde akkerbouwbedrijf voor het zaaien van zomergraan en bieten en het poten van aardappelen per gewas 5 dagen nodig zijn.

In aansluiting op fig. 2 is als vroegste zaaidatum voor zomergraan 15 januari aangehouden en voor bieten en aardappelen 15 maart. Deze data zijn aangehouden om de mogelijkheid te scheppen het zaad en de knollen op 1 februari respectievelijk 25 maart in de grond te hebben.

Voor zomergraan is over de reeks van 22 jaar nagegaan wanneer tussen 15 januari en 30 april de eerste 5 werkbare dagen vielen. Voor hakvruchten is hetzelfde gedaan over de periode 15 maart tot 30 april.

Aldus was voor elk jaar bekend hoe de voor zaaien en poten benodigde 5 dagen over het voorjaar verdeeld waren. De relatieve opbrengstdaling tengevolge van te laat zaaien werd gevonden als gemiddelde van

Tabel 1a. Tijdstip en aantal dagen waarop de grond in het voorjaar
werkbaar was voor het zaaien/poten van hakvruchten in af-
hankelijkheid van de draindiepte, over een periode van 22 jaar

Jaar	Drain- diepte	Maart					April					Aantal werkbare dagen 12 maart tot 30 april
		12/16	17/21	22/26	27/31	1/5	6/10	11/15	16/20	21/25	26/30	
1951	40									2	3	5
	80									4	3	7
	100									4	3	7
	150									4	3	7
1952	40						2	3	5	1	3	14
	80						2	4	5	2	4	17
	100						2	5	5	3	4	19
	150		1				3	5	5	4	5	23
1953	40									5	3	8
	80		1	4	1				3	5	3	17
	100		4	5	3			2	4	5	3	26
	150		5	5	3			3	5	5	3	29
1954	40				2			4	5	5	5	21
	80				2		1	5	5	5	5	23
	100			3	2		1	5	5	5	5	26
	150			4	2		1	5	5	5	5	27
1955	40								2	5	5	12
	80								4	5	5	14
	100								4	5	5	14
	150	4	1					1	5	5	5	21
1956	40						2	2		4	5	13
	80				4	3	2	3		5	5	22
	100				5	5	4	4		5	5	28
	150		1	2	5	5	4	4		5	5	31
1957	40							1	5	5	4	15
	80						3	4	5	5	4	21
	100						4	5	5	5	4	23
	150						5	5	5	5	4	24
1958	40							1		3		4
	80							1	3	5		9
	100							2	4	5	1	12
	150			2	1			3	5	5	1	17
1959	40										1	1
	80									2	1	3
	100									2	1	3
	150	1								3	1	5
1961	40											0
	80									1	1	2
	100									1	3	4
	150									4	3	7
1962	40											0
	80										3	3
	100										3	3
	150										3	3

Vervolg tabel 1a

Jaar	Drain- diepte	Maart				April						Aantal werkbare dagen	
		12/16	17/21	22/26	27/31	1/5	6/10	11/15	16/20	21/25	26/30	12 maart tot	30 april
1963	40										1		1
	80							3		1	2		6
	100						1	3	1	1	3		9
	150						2	4	1	1	4		12
1964	40												0
	80	2	2					1	2	2			9
	100	4	2					2	2	4			14
	150	4	3					2	2	4			15
1965	40												0
	80					1	1						2
	100	1				1	2						4
	150	3				2	2						7
1966	40												0
	80												0
	100												0
	150										1		1
1967	40										3		3
	80							1			5		6
	100			1				1	2	5			9
	150			2				1	2	5			10
1968	40							1	5	4	3		13
	80				1	1		4	5	4	3		18
	100				1	3		4	5	4	3		20
	150				2	4		5	5	4	3		23
1969	40						2	1					3
	80						4	1					5
	100						4	1					5
	150			2			4	1					7
1970	40												0
	80												0
	100												0
	150												0
1971	40							3	2	3	2		10
	80						2	5	3	3	3		16
	100						5	5	3	4	3		20
	150					2	5	5	3	4	3		22
1972	40			2	2						3		7
	80		1	4	2					1	3		11
	100		3	5	2					1	5		16
	150		4	5	2					2	5		18
1973	40										1		1
	80			3	3						4		10
	100			3	5	1	1				4		14
	150			4	5	1	1				5		16

Tabel 1b. Tijdstip en aantal dagen waarop de grond in het voorjaar werkbaar was voor het zaaien van zomergraan in afhankelijkheid van de draandiepte, over een periode van 22 jaar (1951-1973)

Jaar	Drain- diepte	Januari				Februari					Maart					April					Aantal werk- bare dagen 16/1 tot 30/4	
		16/20	21/25	26/30	31/4	5/9	10/14	15/19	20/24	25/1	2/6	7/11	12/16	17/21	22/26	27/31	1/5	6/10	11/15	16/20		21/25
1951	40										1	1							2	5	4	11
	80										2	5							2	5	4	13
	100										3	5							3	5	4	19
	150										3	5							3	5	4	20
1952	40												1					2	2	5	5	20
	80											1	2					3	5	5	5	26
	100									3	2		2	5		1		4	5	5	5	37
	150									4	2		4	5		1		4	5	5	5	40
1953	40											1	5	5	2			1	5	5	3	27
	80									1	1	2	4	5	4		1	2	5	5	4	44
	100									3	5	5	5	5	4		2	2	5	5	4	55
	150	1								4	5	5	5	5	5		2	2	5	5	5	59
1954	40												2	4	1			3	5	5	5	30
	80												3	5	1			3	5	5	5	32
	100												4	5	4			4	5	5	5	48
	150												4	5	5	5	1	5	5	5	5	51
1955	40												4					1	1	5	5	21
	80										2	3	3	4			1	1	3	5	5	32
	100										1	5	5	5	2		1	3	1	4	5	47
	150										1	5	5	5	5	4	2	3	5	2	4	56
1956	40													2	5			5	4	2	3	31
	80												2	3	4	5		5	4	2	4	39
	100												1	5	5	5		5	5	3	4	48
	150										3		2	5	5	5		5	5	3	5	53
1957	40													1				1	5	5	5	27
	80													2				4	5	5	5	33
	100										1	4	1	4			1	5	5	5	5	42
	150										1	4	2	4			2	1	5	5	5	44
1958	40														2				3	5	5	15
	80												1	4	5	1		2	3	5	5	32
	100												1	4	5	1		3	3	5	5	33
	150												2	5	5	2		3	5	5	5	38
1959	40																				2	3
	80										3	3	2	3	1			3	1	2	1	26
	100										3	3	2	3	1			3	1	2	5	28
	150										2	5	4	3	4	3		4	3	2	2	48
1961	40													1	2	1				1	3	14
	80													2						4	3	35
	100													4	5	4				5	4	40
	150													1	5	5				5	5	50
1962	40																				1	4
	80																			2	1	5
	100																			2	1	3
	150																			2	1	3

Vervolg tabel 1b.

Jaar	Drain- diepte	Januari				Februari					Maart					April					Aantal werk- bare dagen 16/1 tot 30/4	
		16/20	21/25	26/30	31/4	5/9	10/14	15/19	20/24	25/1	2/6	7/11	12/16	17/21	22/26	27/31	1/5	6/10	11/15	16/20		21/25
1963	40											1	3					1	3		1	3
	80											3	5	4				4	5	1	4	3
	100											4	5	4				4	5	1	4	3
	150			1		3	4	2				5						2	5	2	5	4
1964	40													2	2	2				2	4	3
	80													5	3				3	5	3	
	100													1	3	5			3	5	4	
	150													1	5	5	5		5	5	4	
1965	40														3			4	1			8
	80														5	3		1	5	4	1	26
	100														2	5	5	1	5	5	1	28
	150														1	5	5	5	5	2		45
1966	40																					3
	80														1	1						4
	100														1	1						4
	150														2	2						4
1967	40														1	1					2	5
	80														4	4	5		1	5	5	32
	100														4	4	5		1	5	5	34
	150														3	4	5		1	5	5	44
1968	40																			5	5	5
	80														2	4			5	5	5	26
	100														4	4			5	5	5	36
	150														4	4			5	5	5	38
1969	40														1	1						44
	80														4	4			5	5	5	2
	100														3	5			5	5	1	30
	150														4	5			5	5	1	32
1970	40																					3
	80																					2
	100																					1
	150																					1
1971	40																					0
	80																					5
	100																					8
	150																					10
1972	40																					25
	80																					33
	100																					40
	150																					44
1973	40																					19
	80																					23
	100																					32
	150																					39
1973	40																					13
	80																					33
	100																					35
	150																					43

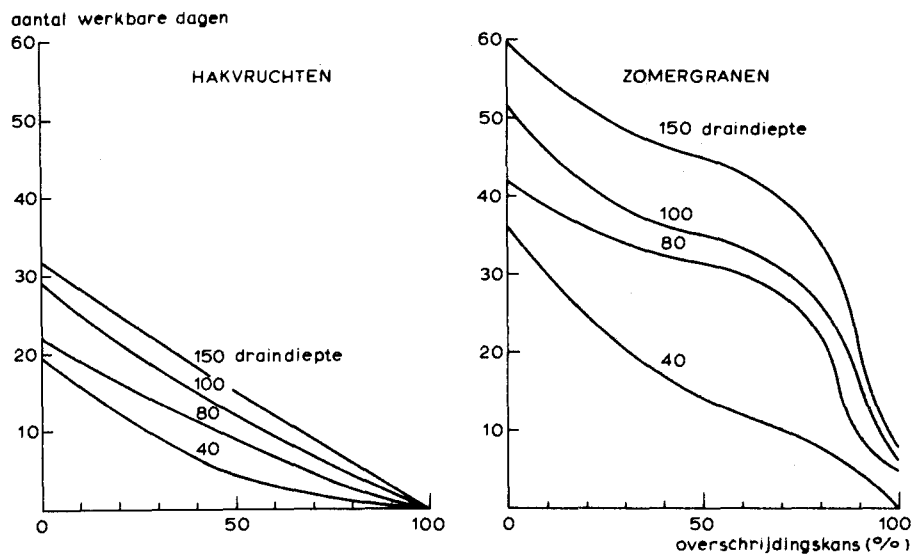


Fig. 4. Aantal werkbare dagen in voorjaar bij hakvruchten en zomergranen voor een 4-tal draaindieptes in afhankelijkheid van de overschrijdingskans

het produkt van de 5 zaai- of pootdagen met de bijbehorende uit fig. 2 afgeleide procentuele opbrengstdaling. Het resultaat van deze bewerking wordt gegeven in tabel 2.

- Aangenomen wordt dat in de tabel 2 gegeven relatieve opbrengstdepressies de invloeden van temperatuur, vochtvoorziening en structuur zijn verdisconteerd en wel op basis van de volgende argumentatie:
- De invloed van de temperatuur en vochtvoorziening op kieming en opkomst ligt reeds opgesloten in het aan zaaitijdenproeven ontleende verband tussen opbrengst en zaaidatum.
 - Zoals reeds gesteld, wordt optimale kieming van gewassen gevonden in het vochtspanningstraject van pF 2,0 tot pF 2,7. Wanneer de 'model' boer zaait is de vochtvoorziening voor kieming en opkomst optimaal daar de vochtspanningscriteria voor de voorjaarsbewerking van de grond (granen: $\Psi = 100$; bieten en aardappelen $\Psi = 300$) in het voor kieming optimale vochtspanningstraject liggen.
 - De invloed van structuurbederf op de opbrengst zoals die wordt waargenomen op slecht ontwaterde grond, zit in de resultaten verwerkt door de 'model' boer pas te laten zaaien als de grond de voor de

bewerking vereist vochtspanning ook werkelijk heeft bereikt. De praktijk zal daar, vooral in natte voorjaren, niet altijd op wachten en de grond bewerken, ook al heeft deze nog niet de vereiste vochtspanning. Hierbij treedt structuurbederf op en daardoor reductie in de opbrengst. Verondersteld wordt nu dat deze opbrengstreductie van dezelfde orde van grootte zal zijn als die de 'model' boer oploopt vanwege later zaaien.

Tabel 2. Procentuele opbrengstdaling door te laat zaaien van zomergraan (gr) en hakvruchten (hakvr.) over een periode van 22 jaar bij 4 draaindieptes en bij vijf voor grondbewerking en zaaien benodigde dagen

Draaindiepte	40		80		100		150	
	gr	hakvr.	gr	hakvr.	gr	hakvr.	gr	hakvr.
1951	55	10	41	8	11	7	10	7
1952	40	3	28	5	8	3	7	2
1953	18	4	11	6	7	0	6	0
1954	22	2	21	3	0	0	0	0
1955	19	7	8	6	6	6	6	0
1956	26	6	18	0	15	0	9	0
1957	33	5	18	2	9	2	9	2
1958	36	9	18	4	18	5	18	1
1959	68	18	7	12	5	13	2	7
1961	39	24	9	14	9	13	4	6
1962	64	15	6	12	6	13	6	13
1963	17	18	8	5	7	3	0	3
1964	15	22	9	1	8	0	6	0
1965	22	24	9	12	8	6	3	0
1966	70	17	54	17	48	17	35	15
1967	42	14	8	9	4	7	2	4
1968	30	5	8	2	7	1	6	0
1969	26	9	13	2	10	2	9	1
1970	77	19	34	19	20	18	15	17
1971	37	4	28	2	10	2	7	1
1972	19	2	18	0	11	0	3	0
1973	24	21	16	0	16	0	14	0
1951-1973	36,3	11,7	17,8	6,4	11,0	5,4	8,0	3,8

5.2. Verdamping en opbrengst in het groei seizoen

Als begindatum van het groeiseizoen is voor de twee typen gewassen 15 april aangehouden. De duur van het groeiseizoen is voor aardappels gesteld op 135 dagen en voor zomergranen op 105 dagen. De wortelingsdiepten zijn voor deze gewassen respectievelijk 40 en 60 cm gesteld. Met het model zijn in afhankelijkheid van de diepte van de voorjaarsgrondwaterstand van respectievelijk 40, 80, 100 en 150 cm-m.v. berekeningen uitgevoerd voor een 1 %, 10 %, 20 %, 50 % en 90 % droog jaar. De belangrijkste resultaten zijn weergegeven in tabel 3.

Nu de relatieve verdampingen uitgerekend zijn van de verschillende combinaties kunnen opbrengsten worden berekend met behulp van de vergelijkingen 1 en 2. Als peildatum waarop de pF in de wortelzone van zomergranen wordt vastgesteld, is 52 dagen na het begin van het groeiseizoen aangehouden. De relatieve verdampingen en opbrengsten zijn voor de verschillende gevallen weergegeven in tabel 4.

5.3. Ontwatering en opbrengst

Uit het werkbaarheidsonderzoek resulteren opbrengstredukties tengevolge van te laat zaaien bij vier verschillende draindiepten over een reeks van 22 jaren (tabel 2). Hieruit is de gemiddelde procentuele opbrengstreduktie voor elke draindiepte berekend.

Een gemiddeld groeiseizoen kan worden voorafgegaan door een 'nat', een 'droog' of een 'gemiddeld' voorjaar. De opbrengstreduktie behorend bij een 'nat' respectievelijk 'droog' voorjaar wordt hier gedefinieerd als zijnde het gemiddelde van de procentuele opbrengstredukties gevonden in die 5 jaren van de beschouwde reeks van 22, waarin de grootste respectievelijk kleinste opbrengstreduktie tengevolge van te laat zaaien werd gevonden bij een ontwateringsdiepte van 40 cm-m.v.

De procentuele opbrengstreduktie behorend bij het 'gemiddelde' voorjaar wordt hier gedefinieerd als het rekenkundig gemiddelde van de opbrengstredukties over de beschouwde 22 jaar voor iedere draindiepte.

Tabel 4. Relatieve verdamping en gewasopbrengsten voor de combinaties van tabel 3

H A K V R U C H T E N																							
		1 %			10 %				20 %				50 %				90 %						
Voor- jaars grwst	$\frac{E_{act}}{E_{pot}}$	Opbr. knol- len		$\frac{E_{act}}{E_{pot}}$	Opbr. knol- len			$\frac{E_{act}}{E_{pot}}$	Opbr. knol- len			$\frac{E_{act}}{E_{pot}}$	Opbr. knol- len			$\frac{E_{act}}{E_{pot}}$	Opbr. knol- len						
40	0,78	29,33		0,97	40,37			1,00	42,11			1,00	42,11			1,00	42,11						
80	0,74	27,01		0,94	38,63			1,00	42,11			1,00	42,11			1,00	42,11						
100	0,72	25,85		0,91	36,88			0,99	41,53			1,00	42,11			1,00	42,11						
150	0,65	21,78		0,84	32,82			0,91	36,88			1,00	42,11			1,00	42,11						
Z O M E R G R A N E N																							
		1 %				10 %				20 %				50 %				90 %					
		pF peil- datum		Korrel		Stro		Korrel		Stro		Korrel		Stro		Korrel		Stro		Korrel		Stro	
40	1,00	2,85	4,36	6,48	1,00	2,4	4,52	6,32	1,00	2,3	4,52	6,32	1,00	1,85	4,52	6,32	1,00	1,0	4,52	6,32			
80	0,98	3,05	3,66	6,93	1,00	2,5	4,52	6,32	1,00	2,4	4,52	6,32	1,00	1,95	4,52	6,32	1,00	1,55	4,52	6,32			
100	0,95	3,25	3,08	7,10	1,00	2,65	4,52	6,32	1,00	2,5	4,52	6,32	1,00	2,1	4,52	6,32	1,00	1,75	4,52	6,32			
150	0,86	3,65	2,75	6,24	1,00	3,2	3,27	7,58	1,00	3,0	3,90	6,95	1,00	2,35	4,52	6,32	1,00	2,05	4,52	6,32			

De resultaten van deze bewerkingen zijn samengevat in tabel 5.

Tabel 5. Procentuele opbrengstredukties tengevolge van te laat zaaien in een nat, droog respectievelijk gemiddeld voorjaar bij 4 ontwateringsdiepten (afgeleid uit tabel 2)

Type voorjaar	Ontwateringsdiepte (cm-m.v.)							
	40		80		100		150	
	hakvr.	granen	hakvr.	granen	hakvr.	granen	hakvr.	granen
Nat	18,4	66,7	16,0	28,6	14,8	18,0	11,7	13,4
Droog	3,8	18,6	1,0	13,4	0,2	6,5	0,1	4,2
Gemiddeld	11,7	36,3	6,4	17,8	5,4	11,0	3,8	8,0

In het verdampingsonderzoek zijn voor elke ontwateringsdiepte de fysieke gewasopbrengsten voorkomend in 1, 10, 20, 50 en 90 % droog jaar, berekend (tabel 4).

Aan de hand van de procentuele opbrengstredukties uit tabel 5 en de fysieke opbrengsten uit tabel 4 kan voor elk frequentiejaar en elke draindiepte de werkelijke gewasopbrengst worden berekend. In deze werkelijke opbrengst zit dus zowel de invloed van de werkbaarheid in het voorjaar (via het zaaitijdstip) als de invloed van de vochtvoorziening in het groeiseizoen.

Voorbeeld: Bij ontwateringsdiepte 100 cm-m.v. is voor hakvruchten de opbrengstreduktie in een gemiddeld voorjaar 5,4 % (tabel 5). In een 50 % jaar is de opbrengst behorend bij deze ontwateringsdiepte $42,11 \text{ t.ha}^{-1}$ (tabel 4). De werkelijke opbrengst is dan $(100 - 5,4) \times 42,11 = 39,84 \text{ t.ha}^{-1}$.

Teneinde alle opbrengstgegevens ten opzichte van één niveau uit te kunnen drukken, wordt de hoogst gevonden werkelijke opbrengst gelijk aan 100 gesteld. Deze hoogste opbrengst wordt gevonden bij een draindiepte van 150 cm-m.v. in een 50 en 90 % droog groeiseizoen dat wordt voorafgegaan door een droog voorjaar.

Deze bedraagt voor hakvruchten $(100 - 0,1) \times 42,11 = 42,07 \text{ t.ha}^{-1}$ en voor de korrelopbrengst van zomergranen $(100 - 4,2) \times 4,52 = 4,33 \text{ t.ha}^{-1}$.

In bovenstaand voorbeeld voor hakvruchten is de relatieve opbrengst dan $(39,84/42,07) \times 100 = 95 \%$.

De op deze wijze verkregen relatieve opbrengsten van hakvruchten en zomergranen zijn voor de diverse frequentiejaren uitgezet tegen de ontwateringsdiepte in fig. 5A, B en 6A, B. Uit de fig. 5A en 6A blijkt dat bij een gemiddeld voorjaar de relatieve opbrengst in een 50 en 90 % droog groeiseizoen toeneemt met de ontwateringsdiepte. Naarmate het groeiseizoen droger wordt verschuift het optimum in de opbrengst-ontwateringscurve naar geringere ontwateringsdiepten. Zo blijkt bij hakvruchten het optimum in een 20 % droog jaar te liggen bij een ontwateringsdiepte van 100 cm-m.v., in een 10 % droog jaar bij 70 cm-m.v. en in een 1 % droog jaar bij 40 cm-m.v. Bij zomergranen (fig. 6A) blijken de optima bij een 10 en 1 % droog jaar bij 100 cm respectievelijk 75 cm-m.v. te liggen.

De effecten van een nat en droog voorjaar op de opbrengst worden duidelijk geïllustreerd in de fig. 5B en 6B. Naarmate de ontwateringsdiepte geringer is lopen de opbrengsten bij een nat en droog voorjaar sterker uiteen. Bij zomergranen zijn de invloeden groter dan bij hakvruchten. De verklaring hiervan ligt in het feit dat het optimale zaaitijdstip aanzienlijk vroeger in het voorjaar valt dan dat van hakvruchten.

Voor een goed inzicht in deze resultaten, is ten behoeve van de praktische toepasbaarheid, van elke ontwateringsdiepte een gemiddelde opbrengst over alle frequentiejaren berekend. Dit gemiddelde wordt verkregen door per draandiepte de relatieve opbrengst als functie van de droogtefrequentie uit te zetten. Een voorbeeld hiervan is gegeven in fig. 7. Met behulp van de trapeziumregel wordt nu het oppervlak van de curven van fig. 7 bepaald door de oppervlakten van de trapezia tussen de verschillende opeenvolgende frequentiejaren te sommeren. De gemiddelde hoogte behorend bij dit totale oppervlak is dan de relatieve opbrengst gemiddeld over de frequentiejaren.

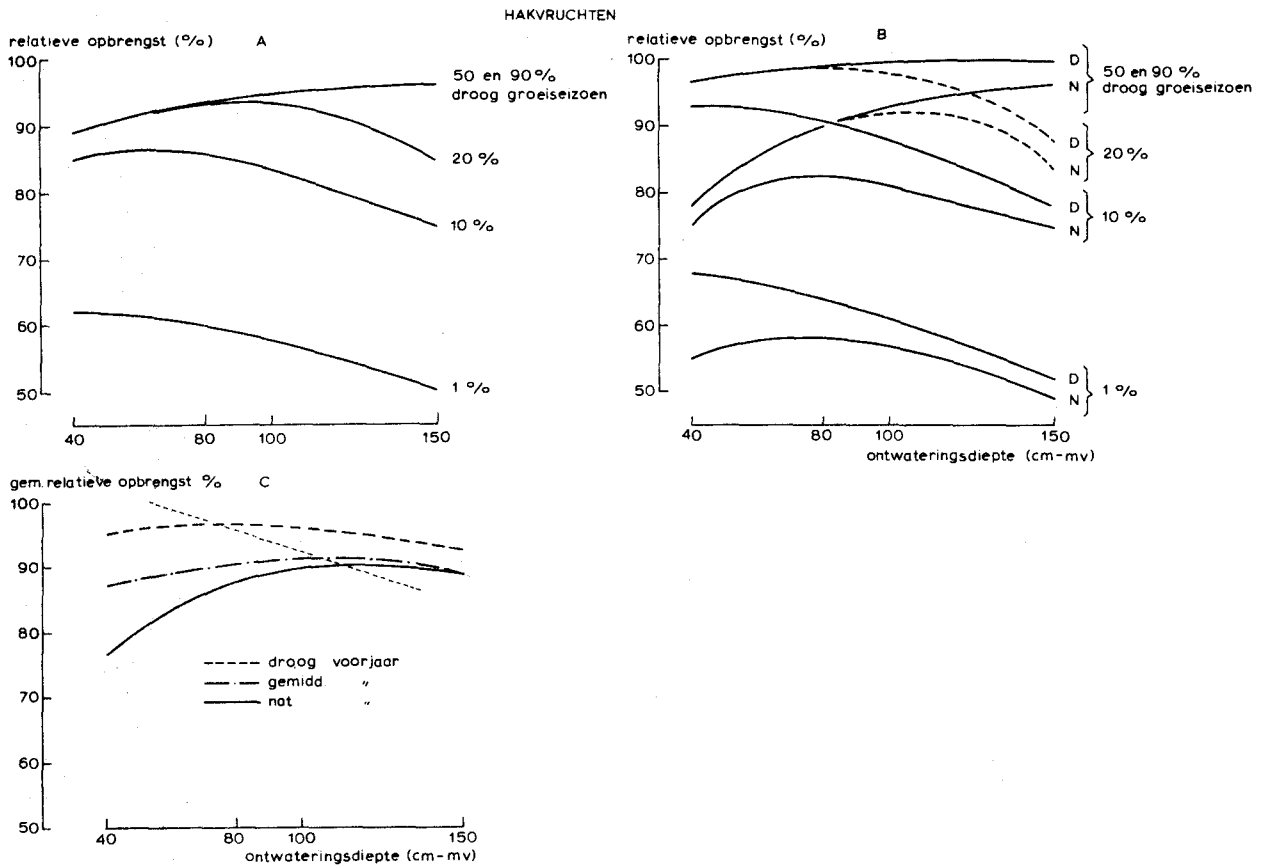


Fig. 5. Relatieve opbrengst van hakvruchten in afhankelijkheid van de ontwateringsdiepte

A, voor een 1, 10, 20, 50 en 90 % droog groeiseizoen, voorafgegaan door een gemiddeld voorjaar

B, idem A, doch voorafgegaan door een droog (D) respectievelijk nat (N) voorjaar

C, gemiddeld over de 5 genoemde groeiseizoenfrequenties, voorafgegaan door een droog, gemiddeld en nat voorjaar

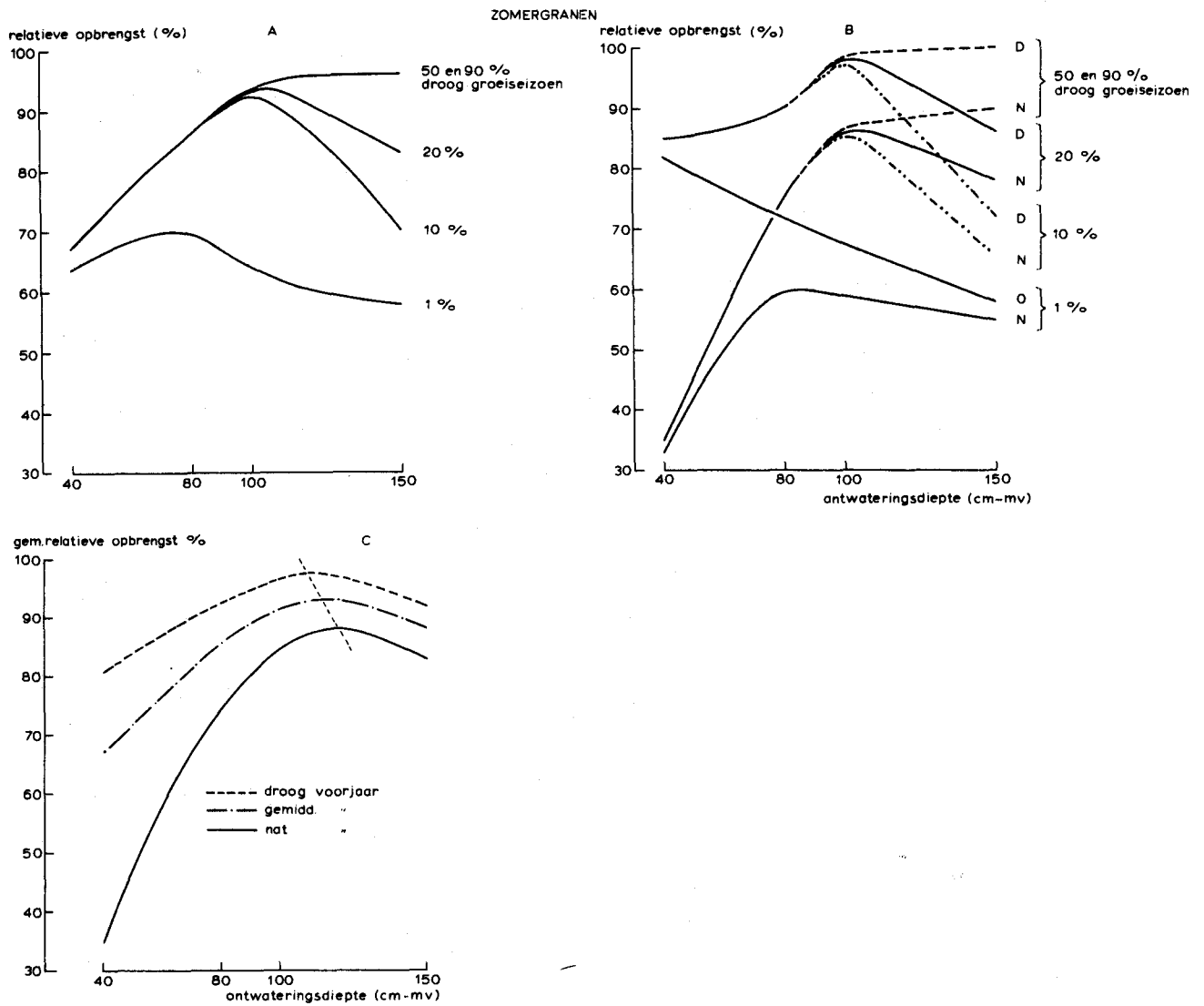


Fig. 6. Relatieve opbrengst van zomergranen in afhankelijkheid van de ontwateringsdiepte

A, voor een 1, 10, 20, 50 en 90 % droog groeiseizoen, voorafgegaan door een gemiddeld voorjaar

B, idem A, doch voorafgegaan door een droog (D) respectievelijk nat (N) voorjaar;

C, gemiddeld over de 5 genoemde groeiseizoenfrequenties, voorafgegaan door een droog, gemiddeld en nat voorjaar

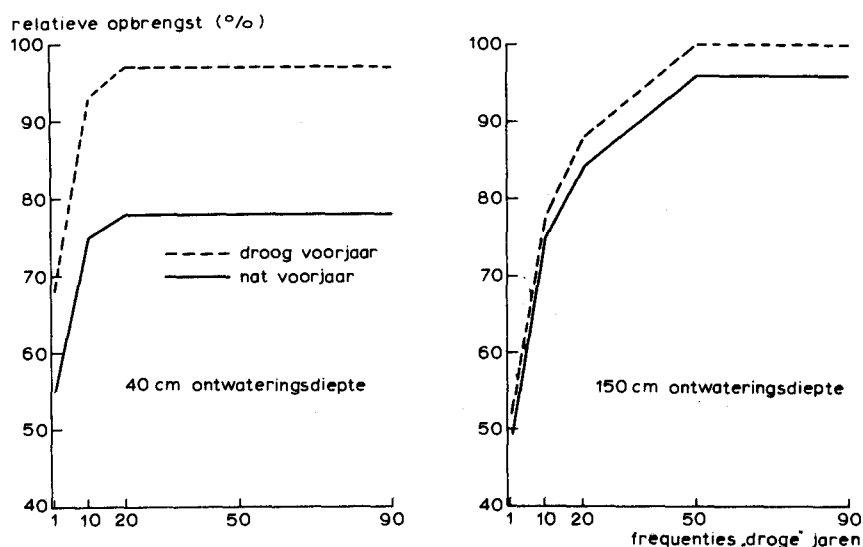


Fig. 7. Voorbeeld van de relatie tussen relatieve opbrengst en droogtefrequentie voor hakvruchten bij een 2-tal ontwateringsdieptes en 2 verschillende soorten voorjaren

Voorbeeld (fig. 7): opbrengst bij een nat voorjaar en een ontwateringsdiepte van 40 cm-m.v.:

$$\frac{1}{89} \left(9 \frac{55 + 75}{2} + 10 \frac{75 + 78}{2} + 30 \frac{78 + 78}{2} + 40 \frac{78 + 78}{2} \right) = 76,5$$

De resultaten van deze bewerking zijn weergegeven in de fig. 5C en 6C. Deze figuren laten zien dat bij zware zavelgrond de opbrengst bij hakvruchten minder sterk reageert op de ontwateringsdiepte dan bij zomergranen. De optimale ontwateringsdiepte ligt voor hakvruchten bij een gemiddeld voorjaar bij ongeveer 100 cm-m.v., en voor zomergranen bij ongeveer 110-120 cm-m.v. Opvallend is dat de optima behorend bij de drie geschetste situaties voor hakvruchten (fig. 5C) verspreid liggen over een breed traject van ontwateringsdiepten (zie stippellijn). Bij zomergranen (fig. 6C) is dit traject veel nauwer. Een verklaring hiervoor zal gezocht moeten worden in de omstandigheid dat de groundbewerking voor zomergranen gemiddeld vroeger in het voorjaar valt dan voor hakvruchten. In deze periode is de verdamping gering en dus van weinig invloed, zodat de voor bewerking vereiste vochtspanning van zomergranen (100 cm) slechts kan worden bereikt bij

de diepere grondwaterstanden van 110-120 cm. Ditzelfde verschijnsel vinden we bij hakvruchten terug in een nat voorjaar waarin een neerslagoverschot aanwezig is. In een droog voorjaar daarentegen zal, gezien het latere tijdstip van zaaien dan bij zomergranen, de verdamping belangrijk bijdragen tot het bereiken van de voor bewerking vereiste vochtspanning (300 cm). Dit geldt ook voor de situatie bij ondiepere grondwaterstanden, waar de bijdrage van de verdamping groter is dan de vochttoevoer door middel van capillaire opstijging. Hierdoor wordt het effect van de ontwateringsdiepte op de opbrengst afgezwakt.

6. WERKBAARHEID IN HET NAJAAR VOOR BOUWLAND OP ZWARE ZAVEL

De werkbaarheid van de grond in het najaar is van belang voor de oogstbaarheid van gewassen als aardappelen en suikerbieten. De omstandigheden waarbij deze produkten worden geoogst beïnvloeden enerzijds de kwaliteit (rooibeschatiging, tarra) en de hoeveelheid geoogst produkt (oogstverliezen) en anderzijds de bedrijfsvoering via de arbeidsfilm en het in te zetten machinepark. Daarnaast kan op meer oogstzekere gronden de rooidatum van suikerbieten met minder risico naar een later tijdstip worden verschoven, hetgeen tot een hogere opbrengst kan leiden (verlenging groeiseizoen).

Dit laatste aspect zou op gelijke wijze als de bepaling van de opbrengstdaling tengevolge van te laat zaaien in het voorjaar gekwantificeerd kunnen worden. Hiervoor moet met het eerder beschreven hydraulisch analogon een lange reeks van najaren worden gesimuleerd en voor ieder jaar worden nagegaan wanneer de laatste voor het rooien van suikerbieten benodigde dagen vallen. Uit het verband tussen opbrengst van suikerbieten en rooidatum kan dan voor elk jaar worden berekend hoe groot de extra opbrengst is tengevolge van later rooien ten opzichte van een bepaalde datum. Vanwege de tijdsduur die de bewerking van dit aspect met het hydraulisch analogon over een lange reeks van najaren om modeltechnische redenen vraagt, is het in het kader van dit onderzoek voorlopig achterwege gelaten.

De werkbaarheid van de grond hangt af van de vochttoestand van

de bouwvoor. Voor het rooien van aardappelen en suikerbieten moet de grond droger zijn dan 100 cm vochtspanning. Bij neerslag daalt de vochtspanning. In perioden met een regelmatige neerslagverdeling en weinig verdamping (natte najaren) zal de vochtspanning laag blijven waardoor het aantal werkbare dagen beperkt zal zijn. Omdat te verwachten is dat in drogere najaren de bewerkbaarheid geen beperking vormt voor de oogst van hakvruchten, zijn alleen de nattere herfsten in beschouwing genomen. Vanwege de voor het onderzoek beschikbare tijd zijn uit de reeks van jaren 1951 tot en met 1974 de vier natste najaren geselecteerd. Hierbij gold als criterium het grootste aantal dagen in september en oktober met een neerslagoverschot (neerslag minus verdamping) van 1 mm of meer. Deze keuze is gebaseerd op onderzoek van BOELS en WIND (1975) waaruit bleek dat oogstmoeilijkheden meer een gevolg zijn van de verdeling van de hoeveelheid neerslag. Als de vier natste jaren uit genoemde periode kwamen naar voren 1954, 1958, 1967 en 1974. Van elk van deze jaren is het neerslagpatroon zoals dat is voorgekomen in de maanden september en oktober in het hydraulisch analogon ingevoerd. Omdat ook het type van de voorafgaande zomer (droog of nat), het aantal werkbare dagen in het najaar kan beïnvloeden, is gerekend met een tweetal op 1 september voorkomende vochttekorten. In een gemiddelde zomer (50 % droog jaar) bedraagt volgens tabel 3 bij de 4 aangehouden ontwateringsdiepten het vochttekort aan het eind van het groeiseizoen (ΔST) ca. 100 mm en in een natte zomer (90 % droog jaar) ca. 25 mm.

De resultaten van het modelonderzoek zijn gegeven in tabel 6.

Tabel 6. Aantal werkbare dagen in de maanden september en oktober van een viertal natte najaren na een gemiddelde zomer ($\Delta ST = 100$ mm) en een natte zomer ($\Delta ST = 25$ mm)

Jaar	Aantal werkbare dagen	
	$\Delta ST = 100$ mm	$\Delta ST = 25$ mm
1954	24	24
1958	33	22
1967	27	19
1974	13	12

7. RELATIE GEWASOPBRENGST EN ONTWATERING VOOR GRASLAND OP VEENGROND

7.1. Ontwateringseffecten

In het voorafgaande is de relatie gewasopbrengst en ontwatering voor bouwland gekwantificeerd door de effecten van de ontwatering in het voorjaar en in de zomer te combineren. Een belangrijke sleutel tot deze aanpak leverde fig. 2, waarin de opbrengstdaling als gevolg van het aantal dagen te laat zaaien werd gegeven. In deze uit zaaitijdenproeven gevonden relatie zijn de effecten van ontwatering op structuur, bodemtemperatuur et. begrepen. In principe is eenzelfde soort werkwijze toe te passen voor grasland, indien een relatie kan worden gevonden tussen opbrengstdaling en het tijdstip waarop de voorjaarswerkzaamheden kunnen aanvangen. Voor deze relatie dient het effect van de draagkracht van grasland te worden gekwantificeerd.

Uit onderzoekingen van SCHOTHORST (1963) blijkt de draagkracht in het voorjaar bepalend te zijn voor het tijdstip van N-bemesting en het uitrijden van organische mest. Waar dit niet tijdig kan gebeuren treedt een verlating van de hergroei van het gras en van het begin van het weideseizoen op. Hierbij komt nog dat op natte gronden de grasgroei in het voorjaar trager zal zijn. In de zomer is de draagkracht van betekenis voor eventuele verliezen bij beweiding en ruwvoederwinning. In het najaar bepaalt de draagkracht tevens de lengte van het weideseizoen.

De draagkracht van het grasland is afhankelijk van de vochtspanning en de dichtheid van de zodelaag. Als ondergrens voor de draagkracht wordt 6 kg.cm^{-2} aangehouden. Uit waarnemingen van SCHOTHORST (1970) blijkt dat op de minst draagkrachtige gronden (veengronden) genoemde ondergrens in het algemeen wordt bereikt bij grondwaterstanden van 30 cm-m.v. en dieper. Om een betrekking te vinden tussen de opbrengstdaling van het gras en de draagkracht in het voorjaar zou de som van overschrijdingen van deze 30 cm een uitgangspunt kunnen zijn. Hiervoor dienen proefveldgegevens beschikbaar te zijn. Daar dergelijke gegevens tot nu toe alleen voor veengrasland zijn verzameld, is voor gras op veengrond eerdergenoemde relatie vastgelegd.

7.2. Invloed winter- en voorjaarsgrondwaterstand op de opbrengst van de 1e en 2e snede

Hierbij is uitgegaan van opbrengstgegevens van gras op veengrond die verzameld zijn op het proefveld Bleskensgraaf gedurende de jaren 1970-1974 bij stikstoftrappen van 0, 150 en 300 kg N.ha⁻¹ en constante winter/zomer slootpeilen van respectievelijk 100/100, 70/70, 70/40 en 40/40 (2x). Allereerst werden per N-trap de opbrengstgegevens van de 5 proefjaren uitgezet tegen de gemiddelde grondwaterstand gedurende het groeiseizoen en werden regressielijnen berekend (fig. 8A). Uit de figuur blijkt dat naarmate de N-gift groter is, er een geringere reactie van de opbrengst op de grondwaterstand wordt gevonden. Tevens wordt duidelijk dat bij ondiepe ontwatering N-bemesting een sterkere opbrengst-verhogende invloed heeft dan bij diepe ontwatering. Dit laatste is verder uitgewerkt in fig. 8B waar de relatieve opbrengst is uitgezet tegen de N-gift. Fig. 8B laat goed zien dat N-bemesting de nadelige gevolgen van slechte ontwatering kan compenseren (zie ook MINDERHOUD, 1960 en SIEBEN, 1974). Deze compensatie is echter niet volledig zoals blijkt uit het blijvende verschil in relatieve opbrengst tussen ondiepe en diepe ontwatering bij 300 kg N-bemesting (en meer).

Uit een nadere analyse van de relatie opbrengst/grondwaterstand bij 0 kg N-bemesting voor de afzonderlijke sneden bleek dat het effect van de grondwaterstand op de opbrengst zich vooral manifesteerde tijdens de 1e en 2e snede. Het afwezig zijn van een duidelijk verband voor de 3e tot en met 6e snede vindt zijn verklaring in het feit dat tengevolge van de drogere omstandigheden in de zomer en de door de betere aeratie toegenomen N-mineralisatie eventuele verschillen in waterhuishouding kennelijk worden gecompenseerd. Dus de nadelige effecten van hoge grondwaterstanden voorafgaand aan en tijdens het groeiseizoen zullen gemeten moeten worden aan de 1e en 2e snede.

Zoals eerder genoemd is de som van overschrijdingen van 30 cm ($S_{0,30}$) gekozen als typering van de ontwateringstoestand. Door SIEBEN (1974) is voor bouwland aangetoond dat een slechte ontwatering in de herfst, winter en voorjaar een sterk nadelige invloed kan hebben op

de gewasopbrengst in het daaropvolgende groeiseizoen. Mede hierom is de SO_{30} -waarde in dit onderzoek berekend voor de periode november-mei.

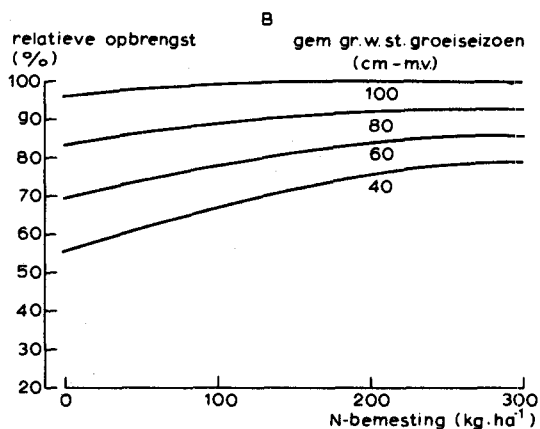
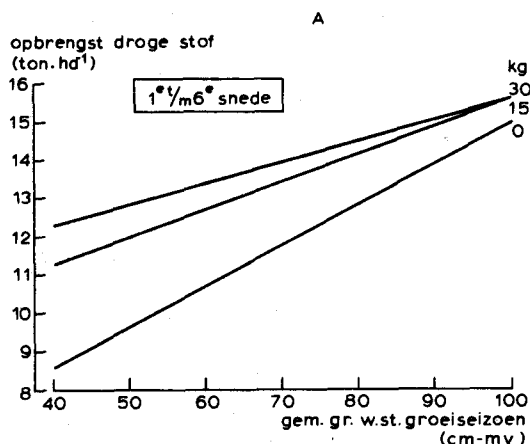


Fig. 8A. Gemeten droge stofopbrengsten over de jaren 1970-74 van gras op veengrond te Bleskensgraaf in afhankelijkheid van de gemiddelde grondwaterstand tijdens het groeiseizoen bij een N-gift van 0, 150 en 300 kg.kg.ha⁻¹

Fig. 8B. Relatieve opbrengst in afhankelijkheid van N-bemesting bij gemiddelde grondwaterstanden gedurende het groeiseizoen van 40, 60, 80 en 100 cm-m.v. (afgeleid uit fig. 8A; de opbrengst bij 300 kg N en gemiddelde grondwaterstand van 100 cm-m.v. is 100 % gesteld)

In fig. 9A is voor de 3 N-trappen de relatie weergegeven tussen de opbrengst aan droge stof van de 1e + 2e snede en de SO_{30} . De figuur laat zien dat hoge grondwaterstanden (SO_{30} hoog) tijdens winter en voorjaar een vermindering van de opbrengst van de 1e en 2e snede teweegbrengen, en wel sterker naarmate de N-bemesting lager is. Een vergelijking van fig. 9A en 8A laat zien dat het aandeel van de 1e en 2e snede in de totale opbrengst (1e t/m 6e snede) zowel bij goede als slechte ontwater ca. 40 % bedraagt. In fig. 9B is voor de 3 N-trappen de relatieve opbrengstdaling als functie van de SO_{30} weergegeven (de opbrengst bij $SO_{30} = 0$ en 300 kg N is hierbij 100 gesteld).

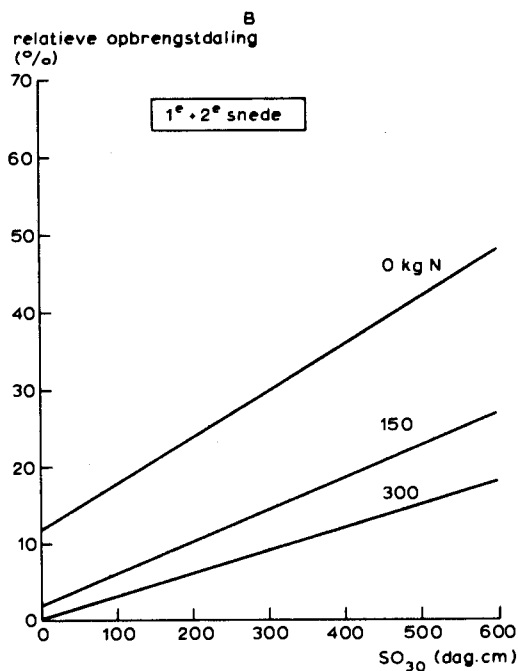
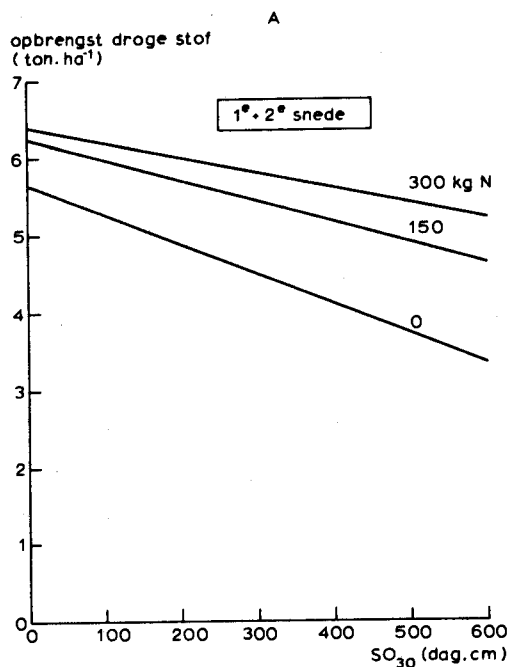


Fig. 9A. Opbrengst droge stof 1e + 2e snede van gras op veen over 1970-74 te Bleskensgraaf in relatie tot de som van overschrijvingen van de grondwaterstand gedurende november-mei (SO_{30}) bij stikstofgiften van 0, 150 en 300 $kg \cdot ha^{-1}$

Fig. 9B. Relatieve opbrengstdaling van de 1e + 2e snede in relatie tot SO_{30} bij stikstofgiften van 0, 150 en 300 $kg \cdot ha^{-1}$ (afgeleid uit fig. 9A; de opbrengst bij 300 $kg \cdot ha^{-1}$ en $SO_{30} = 0$ is 100 % gesteld)

Nu is de rekengrootheid SO_{30} in de praktijk niet gemakkelijk hanteerbaar. Aangezien de SO_{30} direct afhankelijk is van het grondwaterstandsverloop gedurende november-mei, ligt het voor de hand via het verband SO_{30} /gemiddelde grondwaterstand (fig. 10A) een relatie tussen relatieve opbrengstdaling van de 1e en 2e snede en gemiddelde grondwaterstand over de periode november-mei vast te leggen (fig. 10B). Dit is gedaan voor de 3 N-trappen. De lineaire transformaties die toegepast zijn bij de overgang van fig. 9B, via 10A naar fig. 10B, gelden voor een grondwaterstandstraject van ca. 32 tot 50 à 60 cm-m.v. Voor de grondwaterstanden hoger dan 32 cm-m.v. zijn de gevonden verbanden geëxtrapoleerd. Uit fig. 10B wordt duidelijk dat bij hoge winter- en voorjaarsgrondwaterstanden aanzienlijke opbrengstdalingen bij de 1e en 2e snede kunnen optreden. Tevens blijkt dat deze door hoge winter- en voorjaarsgrondwaterstanden geïnduceerde nadelige effecten op de

opbrengst (verlate en tragere hergroei door verlaten van de stikstofbemesting bij onvoldoende draagkracht, door lage bodemtemperaturen, onvoldoende aeratie, vertraagde stikstofmineralisatie etc.) niet optreden indien de gemiddelde grondwaterstand beneden 50 à 60 cm-m.v. blijft.

Met behulp van fig. 10 is dus nu een middel verkregen om de voorjaarsituatie in afhankelijkheid van de grondwaterstand in winter- en voorjaar te karakteriseren.

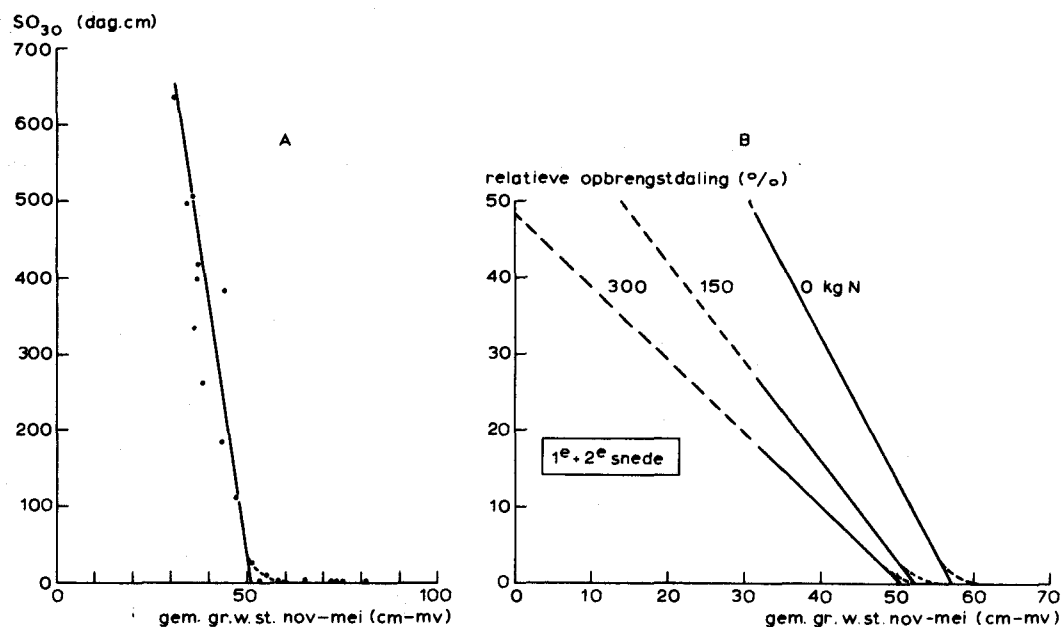


Fig. 10A. Relatie SO_{30} en de gemiddelde grondwaterstand van november-mei voor de veengrond te Bleskensgraaf

Fig. 10B. Relatieve opbrengstdaling van de 1^e + 2^e snede in afhankelijkheid van de gemiddelde grondwaterstand van november-mei bij stikstofgiften van 0, 150 en 300 kg.ha⁻¹

7.3. Ontwatering en opbrengst

Met behulp van een analoog model kan over een reeks van winters en voorjaren het verloop van de grondwaterstand worden berekend in afhankelijkheid van werkelijk voorgekomen neerslagen bij verschillende ontwateringsdiepten. Door hieruit per winter en voorjaar de gemid-

deld voorgekomen grondwaterstand te berekenen, kan met behulp hiervan uit fig. 10A per jaar worden vastgesteld welke opbrengstdaling bij de 1e en 2e snede kan worden verwacht. Deze opbrengstdaling kan vervolgens in mindering worden gebracht op de totale droge stofproductie zoals die kan worden berekend met het model ter vaststelling van de relatieve verdamping.

Voorbeeld: Met het relatieve verdampingsmodel wordt berekend dat uitgaande van een voorjaarsgrondwaterstand van 40 cm-m.v. de totale droge stofproductie $12,0 \text{ ton} \cdot \text{ha}^{-1}$ bedraagt. Het aandeel van de 1e en 2e snede in de totale produktie is 40 %, dat wil zeggen $4,8 \text{ ton} \cdot \text{ha}^{-1}$.

Met het analoog model wordt berekend dat de voorjaarsgrondwaterstand van 40 cm-m.v. wordt voorafgegaan door een over een lange reeks van jaren gemiddelde grondwaterstand over de periode november-mei van 25 cm-m.v. Hierbij behoort bij (bijvoorbeeld) een bemestingsniveau van 300 kg N een relatieve opbrengstdaling van de 1e en 2e snede van 24 %, dat wil zeggen $0,24 \times 4,8 = 1,2 \text{ ton} \cdot \text{ha}^{-1}$. De uiteindelijke opbrengst zal dan $12 - 1,2 = 10,8 \text{ ton} \cdot \text{ha}^{-1}$ bedragen.

Een dergelijke werkwijze is toegepast op de proefveldgegevens van Bleskensgraaf. Aangezien we voor deze veengrond geen modelgegevens over een lange reeks jaren ter beschikking hadden, is een verband gezocht tussen de gemiddelde grondwaterstand van november-mei (y) en de ontwateringsdiepte (x), i.e. voorjaarswaterstand in het verdampingsmodel over de jaren 1971-1974.

Regressieberekening leverde: $y = 0,975 x - 4,42$ met correlatiecoëfficiënt $r = 0,92$. Met behulp van deze vergelijking werden voor de ontwateringsdiepten 10, 20, 30, 40, 50 en 60 cm-m.v. via fig. 10B bij 300 kg N relatieve opbrengstdalingen van respectievelijk 42, 33, 24, 15, 6 en 0 % voor de 1e en 2e snede gevonden.

Met het verdampingsmodel werd over bovengenoemd traject van ontwateringsdiepten voor de 1e - 6e snede een $E_{\text{act}}/E_{\text{pot}} = 1,0$ berekend, dat wil zeggen een opbrengstniveau van 100 %. Reduktie van dit opbrengstniveau met de weergegeven relatieve opbrengstdalingen bij de 1e en 2e snede levert de 'natte' tak van de opbrengst/ontwateringsdiepte-curve voor deze veengrond bij een bemestingsniveau van 300 kg N (fig. 11).

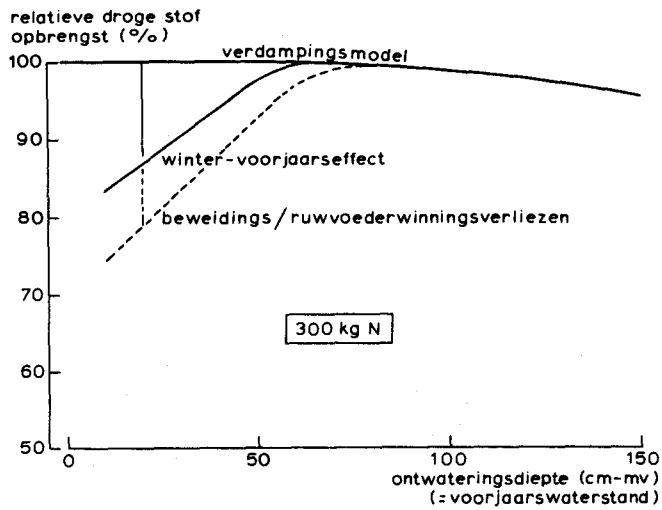


Fig. 11. Relatieve droge stofopbrengst van gras op veen als functie van de ontwateringsdiepte in het voorjaar zoals berekend met het verdampingsmodel, gecorrigeerd op het nadelige effect van hoge winter- en voorjaarsgrondwaterstanden en op nadelige effecten van hoge grondwaterstanden tijdens het groeiseizoen (beweidings/ruwvoederwinningsverliezen)

Teneinde het absolute opbrengstniveau te kunnen vaststellen dient de relatie tussen opbrengst (y) en E_{act}/E_{pot} bekend te zijn. Door RIJTEMA (1971) wordt voor gras op veen bij een bemestingsniveau van $300 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ de relatie gegeven:

$$y = 13,5 \left(\frac{E_{act}}{E_{pot}} \right)^2 \quad (\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}) \quad (5)$$

Onder omstandigheden waarin $E_{act} = E_{pot}$, dus geen reductie in potentiële verdamping, is de maximale opbrengst $y = 13,5 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$. Dit is ca. 2 ton lager dan gemiddeld bij $300 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ bemesting op het proefveld Bleskensgraaf werd gemeten (fig. 8A).

Door BOXEM (1973) werd voor gras op veen in Zegveld bij bovengenoemd bemestingsniveau over de jaren 1964-1967 opbrengsten gevonden die varieerden van ca. $10-16,5 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ (gem. 13) bij weiden, en van ca. $11-12,5 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ (gem. 12) bij maaien. SCHOTHORST (1975) vindt op het ontwateringsproefveld in Zegveld over de jaren 1970-1974 onder

kooien opbrengsten variërend van 11,9-15,2 t.ha⁻¹ (gem. 13,8).

Dezelfde auteur vindt voor het ontwateringsproefveld Hoenkoop over de jaren 1969-1974 een variatie in opbrengst van 9,8-15,4 t.ha⁻¹ met een gemiddelde van 13,2 t.ha⁻¹.

7.3.1. Opname gemineraliseerde stikstof door het gewas

In het voorgaande is naar vorengekomen dat stikstofbemesting de nadelige effecten van een slechte ontwatering gedeeltelijk kan compenseren. Bij een verlaging van de grondwaterstand zal de stikstofmineralisatie van de grond toenemen en leiden tot een hogere gewasopbrengst. Teneinde een indruk te krijgen van de hoeveelheid stikstof die via mineralisatie uit de grond wordt opgenomen wanneer de grondwaterstand wordt verlaagd van 40 tot 100 cm-m.v., gaan we uit van fig. 8A.

Bij een grondwaterstand van 40 cm-m.v. en 0 kg N-bemesting wordt 8,60 ton droge stof per ha geproduceerd. Bij dezelfde grondwaterstandsdiepte en 300 kg N-bemesting is dit 12,25 t.ha⁻¹. Dus een stikstofbemesting van 300 kg N levert $12,25 - 8,60 = 3,65$ t.ha⁻¹ droge stof. Bij een stikstofrendement voor deze veengrond van 50 % (SCHOTHORST, 1975) wordt van de gegeven 300 kg N, 150 kg N door het gewas opgenomen, met andere woorden 150 kg N levert 3650 kg droge stof, ofwel 24,33 kg droge stof per opgenomen kg N. Nemen we aan dat dit opbrengstverhogend effect lineair verloopt over het beschouwde traject van grondwaterstandsverlaging (40-100 cm-m.v.), dan blijkt $(14 \cdot 950 - 8600) / 24,33 = 261$ kg N opgenomen te zijn door het gewas. Bij deze rekenwijze is verondersteld dat, zoals met het verdampingsmodel is berekend, over het traject 40-100 cm vrijwel geen direct effect van de ontwatering op de opbrengst aanwezig is (fig. 11). Bij een rendement van 50 % betekent een opname van 261 kg N een mineralisatie in de grond van 522 kg N.

Een andere berekeningswijze kan worden opgezet door uit te gaan van het ruw eiwitgehalte van het gras. Over de proefjaren 1970-1974 werd in het gras op ontwateringsproefvelden op veengrond te Zegveld op de diep ontwaterde objecten een ruw eiwitgehalte gemeten van gemiddeld 22,1 %. Op de ondiep ontwaterde objecten bedroeg dit gemiddeld 19,4 %. Met behulp van de betrekking:

$$N\text{-opname} = \frac{\% \text{ ruw eiwit}}{6,25 \times 100} \times \text{droge stofproductie}$$

kan de N-opname door het gewas worden berekend. Om de mineralisatie over het grondwaterstandstraject van 40-100 cm-m.v. vast te stellen gaan we uit van de droge stofopbrengsten bij 0 kg N, zijnde bij 40 cm-m.v. 8600 kg en bij 100 cm-m.v. 14 950 kg droge stof.

$$\text{grwst. 100: } N\text{-opname} = \frac{22,1 \times 14\ 950}{6,25 \times 100} = 528,6 \text{ kg}$$

$$\text{grwst. 40: } N\text{-opname} = \frac{19,4 \times 8600}{6,25 \times 100} = 266,9 \text{ kg}$$

$$N\text{-opname door het gewas} = 261,7 \text{ kg}$$

Dit levert dus vrijwel dezelfde N-opname als in de eerste berekeningswijze.

7.3.2. Beweidings- en ruwvoederwinningsverliezen

Naast een winter- en voorjaarseffect en het effect van de mineralisatie op de opbrengst blijkt uit onderzoek op ontwateringsproefvelden ook nog een reductie in de opbrengst bij ondiepe ontwatering op te treden tengevolge van verliezen bij beweiding (vertrapping tijdens weideperiode) en bij ruwvoederwinning.

Uit onderzoek op de proefboerderij te Zegveld over de jaren 1970-1974 kwam op de diep ontwaterde objecten (slootpeil 60-70 cm-m.v.) een gemiddelde bruto-zetmeelwaarde opbrengst van 8727 kg.ha⁻¹ en een netto-zetmeelwaarde opbrengst van 5548 kg voor, dat wil zeggen 64 % van de bruto-zetmeelwaarde opbrengst. Op de ondiep ontwaterde objecten (slootpeil 20-30 cm-m.v.) was de bruto-zetmeelwaarde opbrengst 5548 kg en de netto-zetmeelwaarde opbrengst 4968 kg, dat wil zeggen 56 % van de bruto-zetmeelwaarde opbrengst. Dit betekent dat de beweidings- en ruwvoederwinningsverliezen op de natte objecten ca. 8 % hoger zijn dan op de droge objecten. In fig. 11 is de relatieve droge stofopbrengst voor dit effect gecorrigeerd.

Opmerking bij fig. 11: De lichtelijk dalende tak van de opbrengst/ontwateringsdiepte curve zoals berekend met het verdampingsmodel vanaf de ontwateringsdiepte

van 80 cm-m.v. en dieper lijkt in tegenspraak met het proefondervindelijk vastgestelde verband van fig. 8A, wanneer naar diepere grondwaterstanden wordt geëxtrapoleerd. Een verklaring voor deze discrepantie moet waarschijnlijk worden gezocht in het feit dat in het verdampingsmodel onvoldoende rekening wordt gehouden met het bij diepere ontwatering optredende opbrengstverhogende effect van de stikstofmineralisatie.

8. SAMENVATTING

In het kader van de Herziening van de Evaluatie van Landinrichtingsplannen (HELP) is een methodiek uitgewerkt ter berekening van de invloed van de ontwatering op de opbrengst van landbouwgewassen en grasland. Deze methodiek is schematisch weergegeven in fig. 12 en toegepast op de akkerbouwgewassen hakvruchten en zomergranen op zware zavel en op gras op veengrond.

De invloed van de ontwatering (fig. 1) op de opbrengst is geplitst in effecten die de opbrengst beïnvloeden in het voorjaar, in het groeiseizoen en in het najaar.

B o u w l a n d

In het voorjaar wordt de opbrengst vooral beïnvloed door het tijdstip van zaaien dat afhangt van de werkbaarheid van de grond. Met behulp van het werkbaarheidsmodel wordt het vochtspanningsverloop in de bouwvoor in samenhang met werkelijk voorkomende neerslag, verdamping en drainagediepte en intensiteit gesimuleerd. Hieruit wordt aan de hand van werkbaarheidscriteria het aantal werkbare dagen (fig. 4) en de data waarop ze voorkomen, vastgesteld. Hiermee is het tijdstip van zaaien bekend en kan via de in fig. 2 gegeven verbanden de relatieve opbrengstdaling tengevolge van te laat zaaien worden berekend (tabel 2).

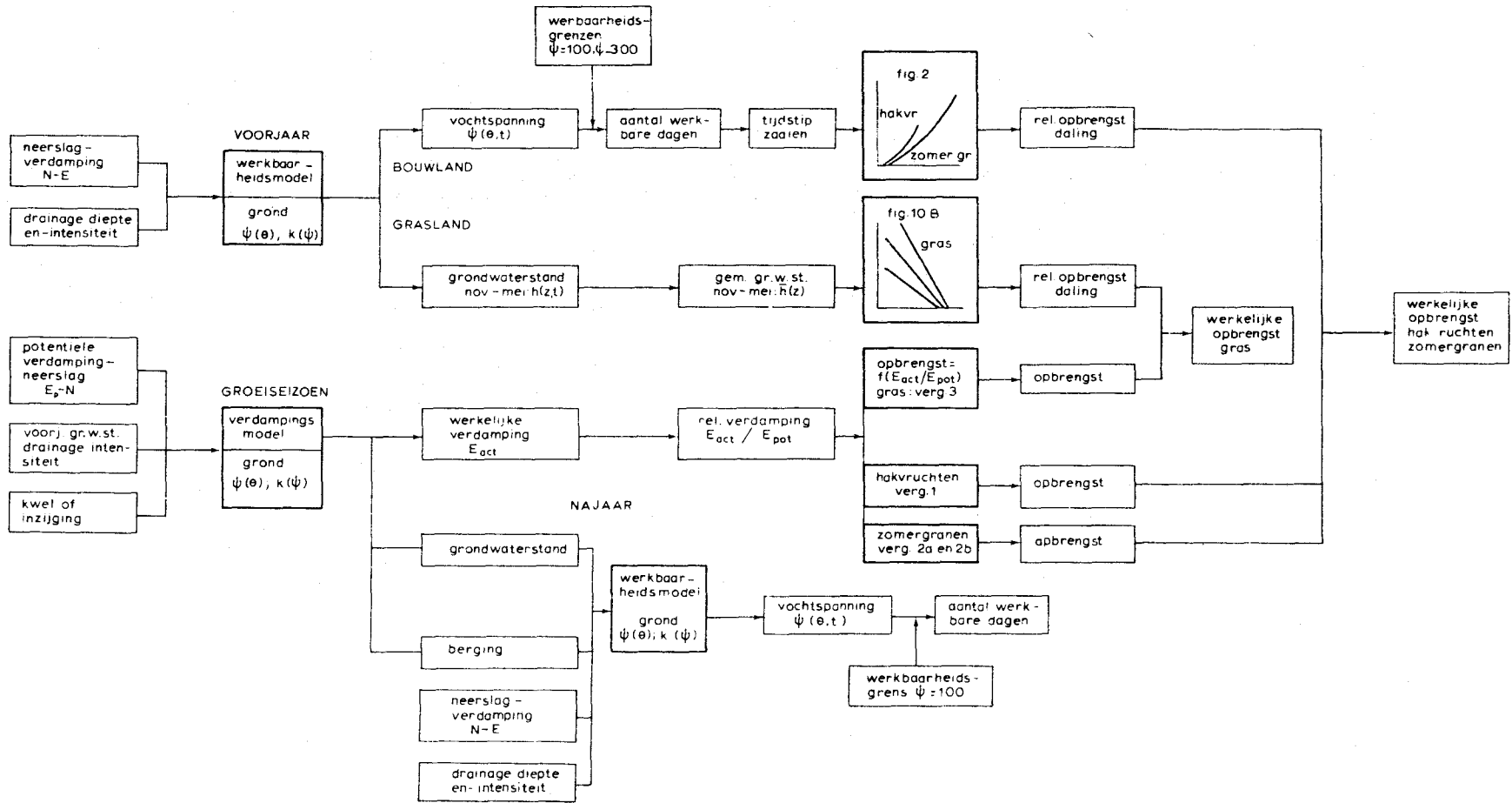


Fig. 12. Werkwijze voor de vaststelling van de invloed van de waterhuishouding op de opbrengst van landbouwgewassen

In het groeiseizoen is de opbrengst direct afhankelijk van de werkelijk optredende verdamping. Deze kan met een verdampingsmodel in afhankelijkheid van het potentieel optredende verdampingsoverschot bij diverse droogtefrequenties, de voorjaarsgrondwaterstand, de drainage-intensiteit en de kwel (of inzijging) worden berekend. Vervolgens kan de reductie in potentiële verdamping worden vastgesteld (tabel 3) en via de relaties tussen opbrengst en relatieve verdamping (verg. 1 en 2) de opbrengst worden bepaald (tabel 4). Combinatie van deze opbrengst met de via het werkbaarheidsmodel verkregen relatieve opbrengstdaling levert dan de werkelijke opbrengst (fig. 5 en 6).

In het najaar wordt de opbrengst beïnvloed door de werkbaarheidsomstandigheden tijdens de oogst. Via het werkbaarheidsmodel is het aantal voor de oogst beschikbare dagen vast te stellen.

G r a s l a n d

Het effect van hoge grondwaterstanden in winter en voorjaar die van invloed is op de opbrengst van de 1e en 2e snede, is in principe met het werkbaarheidsmodel op dezelfde wijze vast te leggen als bij bouwland.

Met het werkbaarheidsmodel kan het grondwaterstandsverloop over winter en voorjaar worden gesimuleerd en de gemiddelde grondwaterstand worden berekend. Met behulp van het verband tussen relatieve opbrengstdaling en gemiddelde grondwaterstand november-mei (voor veengrond: fig. 10B) kan de relatieve opbrengstdaling worden gevonden. Combinatie met de opbrengst berekend met het verdampingsmodel levert de werkelijke opbrengst (fig. 11).

LITERATUUR

- BOELS, D. en G.P. WIND, 1975. Enkele cultuurtechnische aspecten van de oogstproblemen in 1974. Landbouwk. Tijdschr. 87, 96-100.
- FEDDES, R.A., 1971. Water, heat and crop growth. Thesis. Communication Univ. of Agric. Wageningen 71-12, 184 pp.
- E. BRESLER and S.P. NEUMAN, 1974. Field test of a modified numerical model for water uptake by root systems. Water Resour. Res., 10 (6), 1199-1206.
- HOORN, J.W. VAN, 1958. Results of a groundwater level experimental field with arable crops on clay soil. Neth. Journ. Agric. Sci. 6,1; 1-10.
- MINDERHOUD, J.W., 1960. Grasgroei en grondwaterstand. Onderzoekingen over de betekenis van de grondwaterstand voor komkleigrasland. Proefschrift Landbouwhogeschool Wageningen, 199 pp.
- RIJTEMA, P.E., 1969. On the relation between transpiration, soil physical properties and crop production as a basis for water supply plans. Versl. Meded. Comm. Hydr. Onderzoek TNO, 15: 28-58.
- 1971. Een berekeningsmethode voor de benadering van de landbouwschade tengevolge van grondwateronttrekking. Nota 587 ICW.
- 1973. Landbouwwaterhuishouding en produktie. Interne nota ICW, 12 pp.
- SCHOTHORST, C., 1963. De draagkracht van graslandgronden. Tijdschr. Kon. Ned. Heidemij, 74, 104-111.
- 1970. Het polderpeil voor veenweidegronden in de Lopikerwaard. Nota 592 ICW.
- 1975. Persoonlijke mededeling.
- SIEBEN, W.H., 1974. Over de invloed van de ontwatering op de stikstoflevering en de opbrengst van jonge zavelgronden in de IJsselmeerpolders. Van Zee tot Land 51, 180 pp.
- VISSER, W.C., 1958. De landbouwwaterhuishouding van Nederland. Comm. Onderz. Landbouwwaterhuish. Ned.-TNO. Rapport nr 1, 159 pp.
- WESSELING, J., 1957. Enige aspecten van de waterbeheersing in landbouwgronden. Versl. Landb. Onderz. 63.5: 90 pp.

- WIND, G.P., 1960. Opbrengstderving door te laat zaaien. Landbouwk. Tijdschr. 72, 111-118.
- 1963. Gevolgen van wateroverlast in de moderne landbouw. Comm. Hydrol. Onderz. TNO, Versl. Meded. 9, 55-72.
- 1972. A hydraulic model for simulation of non hysteretic vertical unsaturated flow of moisture in soils. Journ. of hydrology 15, 227-246.
- and W. VAN DOORNE, 1975. A numerical model for the simulation of unsaturated vertical flow of moisture in soils. Journ. of Hydrology 24, 1-20.