

NN31545.0665 VTA 665

14 maart 1972

Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding  
Wageningen

**BIBLIOTHEEK DE HAAFF**

Droevendaalsesteeg 3a  
Postbus 241  
6700 AE Wageningen

**DE LANDBOUW EN DE GRONDWATERWINNING**

ir J.J. Kouwe

**BIBLIOTHEEK  
STARINGGEBOUW**

---

Nota's van het Instituut zijn in principe interne communicatiemid-  
delen, dus geen officiële publikaties.

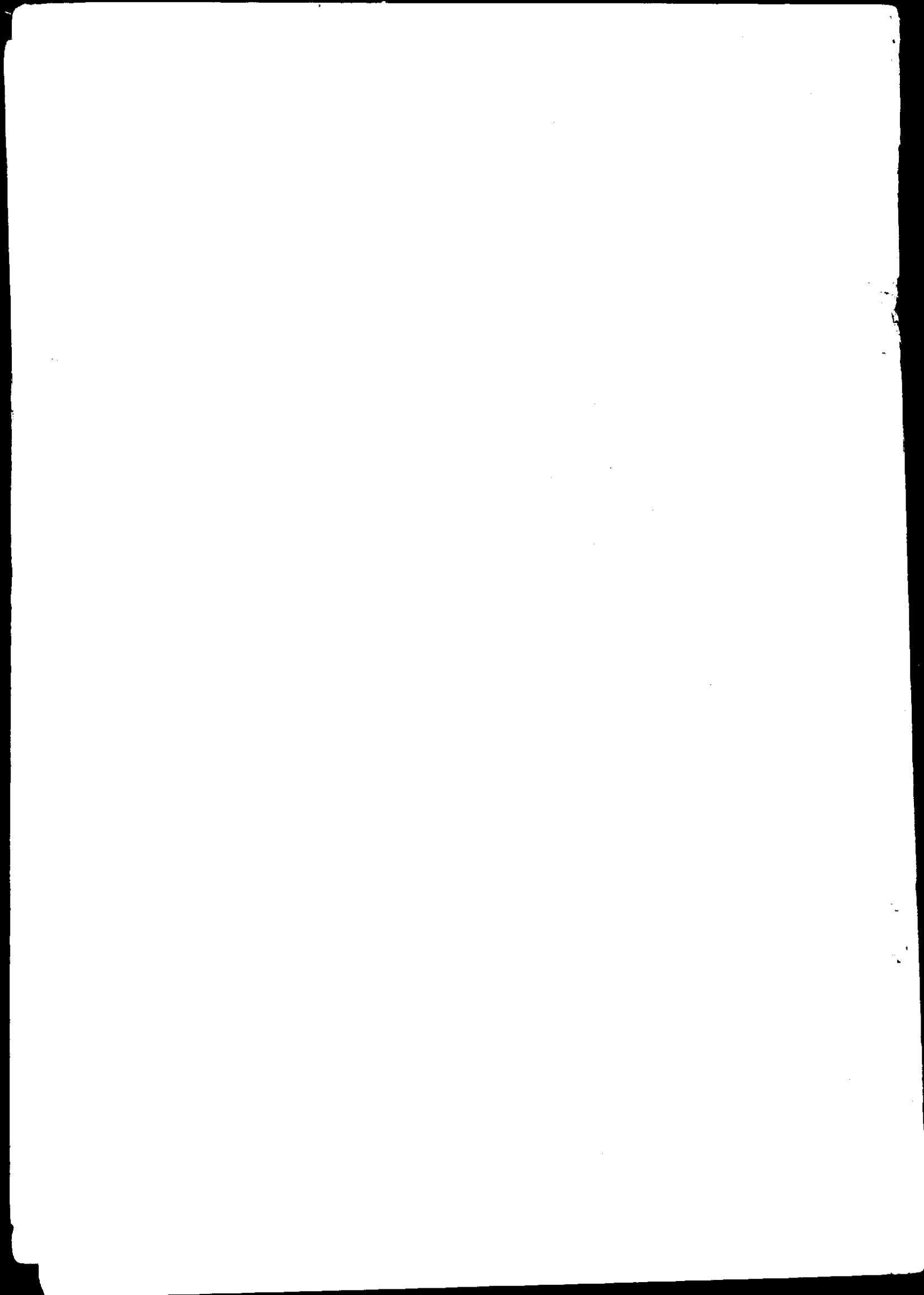
Hun inhoud varieert sterk en kan zowel betrekking hebben op een  
eenvoudige weergave van cijferreeksen, als op een concluderende  
discussie van onderzoeksresultaten. In de meeste gevallen zullen  
de conclusies echter van voorlopige aard zijn omdat het onderzoek  
nog niet is afgesloten.

Bepaalde nota's komen niet voor verspreiding buiten het Instituut  
in aanmerking

---

1700468





## INLEIDING

Het landbouwbedrijf op de zandgronden van Nederland wordt beïnvloed door de waterhuishoudkundige en bodemkundige toestand in de wortelzone. Het traditionele bedrijf in deze gebieden is vanouds het gemengde bedrijf dat gesplitst kan worden in akkerbouw en veehouderij en voor andere niet grondgebonden activiteiten, zoals kippen houden en varkens fokkerij.

Daar deze laatste beide genoemde activiteiten noch door de kwaliteit van de grond, noch door de waterhuishoudkundige toestand van het gebied worden beïnvloed, worden ze in het hierna volgende onbesproken gelaten.

In het gemengde bedrijf staat de akkerbouw voor een belangrijk deel in dienst van de veehouderij. Akkerbouw produkten worden via met melkvee omgezet in melk en vlees en vormen een noodzakelijke aanvulling op het door het grasland geproduceerde voedsel. Daarnaast levert de akkerbouwsector markt-bare gewassen en draagt op deze wijze bij in het totaal van de bedrijfsresultaten.

## BODEM EN WATERHUISHOUDING

De plantenproduktie vindt plaats in een milieu dat gevormd wordt door: klimaat en bodem als voornaamste factoren. Het klimaat bepaalt de regenval, de verdamping, de temperatuur, de straling. De functie van de bodem is driedig: standplaats, leverancier van onontbeerlijke voedingsstoffen en het stratum van de vaste, vloeibare en gasvormige fase waarin het wortelstelsel van de plant groeit en functioneert. Voorts is er nog de relatie tussen de standplaats van de plant en de omgeving, de vorm van die omgeving welke tot uitdrukking komt in de topografie en configuratie van het gebied.

Dit geheel van klimaat, bodem en gebied bepaalt de waterhuishoudkundige toestand, zoals die beschreven wordt door de waterbalans:

$$\text{Neerslag} = \text{Afvoer} + \text{Verdamping} + \text{Berging} + \text{Waterwinning}$$

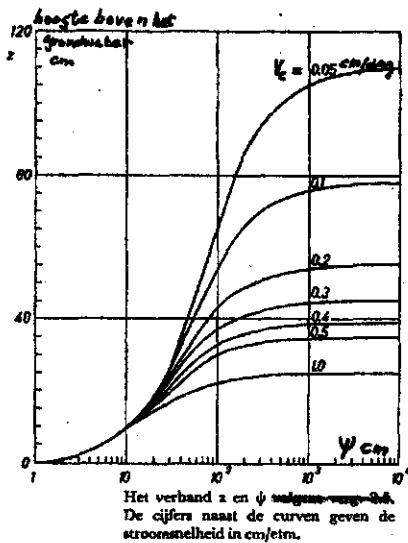
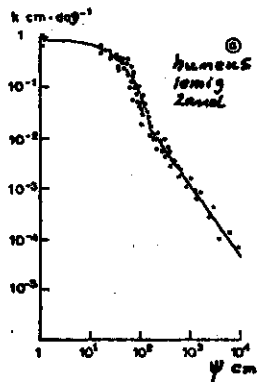
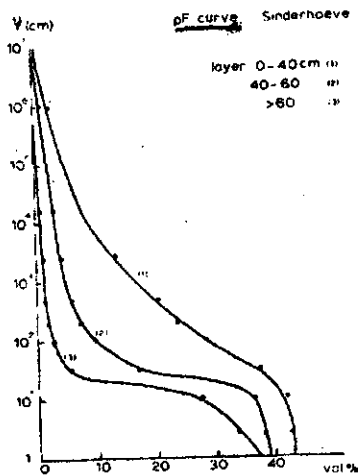
Deze balans kan men opstellen voor grote gebieden, stroomgebieden, van tientallen tot honderdtallen hectaren, maar ook voor kleine tot zeer kleine oppervlakten.

Voor het gewas is het aspect van de v o c h t v o o r z i e n i n g van groot belang. Zolang de plant onbelemmerd kan verdampen kan hij via de wortels voedingszouten en water opnemen, het water via het plantelichaam naar de bladeren transporteren en door de geopende huidmondjes verdampen. Via de huidmondjes neemt de plant koolzuur op en zet dit door middel van het assimilatie proces om in koolhydraten.

Voor de planteproduktie heeft de b o d e m twee belangrijke eigenschappen. In de eerste plaats het vermogen om water vast te houden en in de tweede plaats om water te geleiden. De bodem is het medium waarin zich de waterbeweging afspeelt onder invloed van de zwaartekracht en van de capillaire krachten. Verschillen in energie toestand veroorzaken een stroming van water in de grond van plaatsen met een hogere potentiaal naar plaatsen met een lagere. Zowel het waterhoudend vermogen als het geleidend vermogen van de grond zijn eigenschappen die bepaald worden door de poriëngrootteverdeling van de grond.

Dit vermogen van de grond om een zekere hoeveelheid vocht in de onverzadigde zone boven het grondwatervlak op te slaan en onder invloed van spanningsverschillen weer af te staan vormt een voor de plantegroei belangrijke hydrologische eigenschap. De neerslagverdeling is onregelmatig, zodat perioden met een neerslagoverschot, waarin de watervoorraad in de grond wordt aangevuld, worden gevolgd door perioden zonder neerslag, waarin de plant teert op de vochtvoorraad die in de grond aanwezig is. Hoe groter die voorraad is, hoe langer neerslagloze perioden kunnen zijn voordat vochtgebrek de plant tot het beperken of zelfs het staken van de groei dwingt.

Nu bestaat er een samenhang waardoor tengevolge van de variatie in regenval een gering waterhoudendvermogen van de grond tot op zekere hoogte gecompenseerd kan worden door de diepte waarop zich de grondwaterspiegel bevindt. Het water in de grond dat zich boven het grondwatervlak bevindt verkeert onder een negatieve spanning als gevolg van de capillaire krachten welke de waterdeeltjes en de gronddeeltjes op elkaar uitoefenen. In een grond die na volkomen bevochtiging op zijn ondergrond is uitgedropen is de waterspanning op bijvoorbeeld 50 cm hoogte boven het grondwatervlak gelijk aan - 50 cm waterkolom. In die evenwichtssituatie, waarin dus geen waterbeweging plaats vindt bestaat er een vast verband tussen watergehalte en vochtspanning, dat wordt weergegeven door de vochtspanningscurve. Wordt nu ergens in de in evenwicht verkerende capillaire zone water onttrokken, dan wordt dit evenwicht



doorbroken. Ter plaatse van de onttrekking wordt de vochtspanning sterker negatief dan overeenkomt met de evenwichtsspanning die overeenkomt met de hoogte boven het grondwatervlak. Er ontstaat een drukverschil of spanningsgradient. Hierdoor gaat water vanuit de omgeving naar het onttrekkingspunt toestromen; er zet zich een capillaire grondwaterstroom in beweging, die evenredig is met de drukgradient en de doorlatendheid. Deze doorlatendheid is geen constante, maar een functie van het watergehalte en dus ook van de vochtspanning, en wel zodanig dat naarmate de vochtspanning stijgt de capillaire doorlatendheid afneemt. In de landbouw is het onttrekkingspunt de plantewortel. Door de wateropname door het wortelstelsel droogt de doorwortelde grondlaag uit en zal er door de opgewekte spanningsgradient vocht vanuit diepere lagen toestromen. Bevindt zich het grondwatervlak op een gunstige diepte onder de wortelzone dan zal bij een constante onttrekkingsintensiteit tenslotte een constante, verticaal naar bovengerichte vochtstroom uit het grondwater opstijgen; er is weer een evenwichtssituatie ontstaan, die voortduurt zolang de vochtonttrekking constant blijft en de diepte van het grondwatervlak niet verandert. Om echter een vochtstroom in het leven te roepen moet eerst een deel van het in de capillaire zone geborgen water onttrokken worden.

Zo zal het geen verschil maken of een plant in een regenloze periode groeit op een grond met een watervoorraad in de wortelzone van 80 mm of op een profiel dat slechts 40 mm vocht kan vasthouden, maar waarin de diepte waarop het grondwatervlak zich bevindt zodanig is dat nog eens 40 mm vocht vanuit het grondwater capillair kan opstijgen.

## DE BEDRIJFSBEGROTING

In het gemengde bedrijf komen de bedrijfsresultaten tot stand langs twee produktie wegen. Enerzijds is er de akkerbouw die marktbaar produkten levert en waarvan de inbreng per gewas is:

de betaalde oppervlakte x gewasopbrengst x prijs - directe kosten.

De sommatie hiervan per gewas, dus voor het gehele bouwplan, levert het akkerbouw aandeel. In de tweede plaats is er de veehouderij. Gras en voedergewassen uit de akkerbouwsector worden door het vee omgezet in melk en vlees, die tegen de gelden prijzen worden verkocht; de melk aan de melkfabriek en de aanwas van het vee wordt op de markt te gelde gemaakt. Van de som van de saldo's van de akkerbouw- en veeteeltsector worden de vaste lasten van het bedrijf, zoals rente en afschrijving op gebouwen en inventaris afgetrokken waarmee het arbeidsinkomen wordt verkregen.

De veehouderijsector in het gemengde bedrijf stemt op een met zorg opgestelde voederbalans, die uitgaat van de voederbehoefte van een grootvee-eenheid in eenheden ruw verteerbaar eiwit en zetmeelwaarde-equivalenten. Het streven daarbij is om in zo groot mogelijke mate zelf in de voederbehoefte te voorzien en de aankopen van ruw- en krachtvoer zo klein mogelijk te houden.

Er is veel onderzoek in deze materie verricht waarvan het resultaat is geweest een stelsel van normen dat bij de begrotingstechniek algemeen toepassing heeft gevonden en waarmee een bestaand bedrijf kan worden doorgelicht en van voorstel tot reorganisatie kan worden opgesteld.

## DE HYDROLOGISCHE KWALITEITEN VAN DE GROND

Het landbouwbedrijf heeft met de kwaliteiten van de grond altijd rekening gehouden. De verschillende gewassen die verbouwd worden stellen verschillende eisen aan de vochtvoorziening. Sommige kunnen met minder water toe dan andere. Zo ziet men een gewas als rogge steeds op de wat drogere tot droge gronden voorkomen en suikerbieten en grasland op gronden met de beste vochtvoorziening. Het is echter niet zo dat rogge op de gronden met wat betere hydrologische kwaliteiten het niet goed zou doen. De ervaring van de boer heeft hem echter geleerd dat rogge op de droge gronden die zijn bedrijf in de regel ook omvat het nu eenmaal beter doet dan andere gewassen en binnen het raam van het bouwplan zo de beste bedrijfsuitkomsten geeft.

Op de zandgronden van oost en zuid Nederland heeft zich het gemengde

bedrijf ontwikkeld waarin de veehouderij de ruggegraat is. We zien dan dat de gronden met de beste vochtvoorziening als grasland in gebruik zijn, terwijl de drogere gronden voor akkerbouw worden bestemd. Een deel van de akkerbouwproduktie wordt via de veehouderij te gelde gemaakt en een deel wordt als marktbaar produkt direct verkocht. Voorts vinden op de markt nog aankopen plaats van krachtvoer voor het vee omdat het bedrijf daarin zelf niet in kan voorzien.

VISSER en SNIJDERS hebben onderzocht op welke wijze de praktische bron de verschillen in hydrologische kwaliteit van zijn percelen grond hanteert om tot de best mogelijke bedrijfsresultaten te komen. Dit onderzoek had betrekking op:

het bouwplan

de bemestingspraktijk

de bedrijfsuitkomsten

De hydrologische kwaliteit van de grond kan op verschillende wijzen worden aangeduid:

droogtegevoeligheidsklassificatie

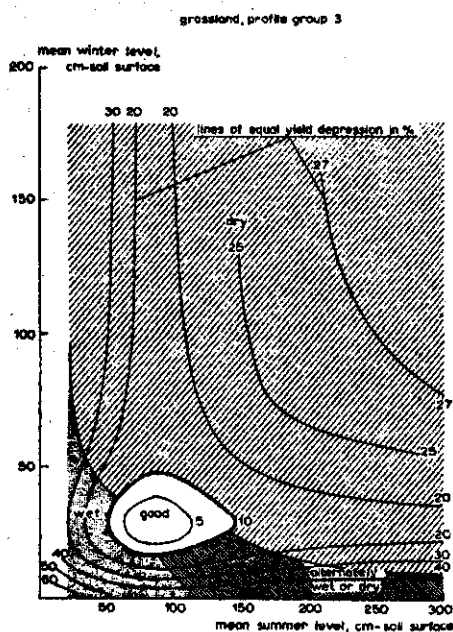
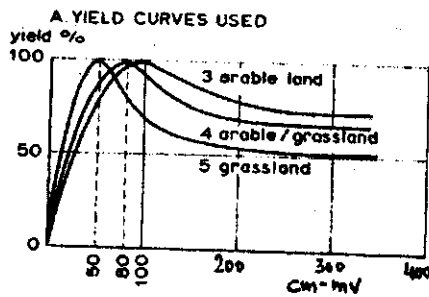
grondwaterstanden in zomer- en winterseizoen

grondwatertrappen

Welke indicering men ook gebruikt, steeds komt deze neer op een poging om de effecten van klimaat (regenhoeveelheid, regenverdeling en verdamping), de hydrologie van het perceel grond (afvoer, vochthoudendheid, capillaire opstijging, grondwaterstand en seizoensfluctuatie daarvan) door één of twee kengetallen te karakteriseren.

Tijdens het COLN-onderzoek werd dit gedaan door een indeling in 'verdrogingsklassen'. Onderscheiden werden: regelmatig verdrogende en droogtegevoelige gronden, goed vochthoudende gronden en gronden met regelmatig wateroverlast, welke indeling nog werd aangevuld met de klasse wisselvochtige gronden, die dus in het najaar te nat en in de zomer te droog zijn. Door SNIJDERS is bij het bouwplan onderzoek aan deze indeling tussen de klassen 'voldoende vochthoudend' en 'wateroverlast' nog ingevoegd een klasse 'natte kant'. In een later stadium van het onderzoek werd gebruik gemaakt van de door de Stichting voor Bodemkartering ontworpen indeling in 'grondwatertrappen'. Deze grondwatertrappen geven een karakterisering van de winter- en zomergrondwaterstand en de fluctuatie van het grondwater tijdens de seizoenen van het jaar.

## OPBRENGST EN GRONDWATERSTAND



De schakel tussen de waterhuishouding van de grond en de gewasopbrengst wordt gevormd door de opbrengst-ontwateringsdiptecurve. Deze geeft aan hoe het gewas reageert op verschillen in de vocht- en luchtvoorziening. Door het COLN-onderzoek werden voor een zevental bodemgroepen voor grasland afzonderlijk opbrengst-ontwateringsdiepte-curven gegeven. Deze werden voorts nog verder gedifferentieerd naar gemiddelde zomer- en wintergrondwaterstanden tot isocarpendiagrammen. Hierin kan dus voor elke bodemgroep, voor elke combinatie van winter- en zomergrondwaterstand de opbrengstdepressie worden afgelezen. Tot voor kort vormden deze opbrengstcurven en isocarp figuren voornamelijk het enige materiaal voor het karakteriseren van het produktievermogen van de grond. Men is echter voor het waterwinningsonderzoek hard bezig om andere methoden uit te werken, die trachten de groei van het gewas en de vochtbeweging in de grond meer in detail te formuleren en via groeimodellen te vertalen in gewasopbrengsten (VISSER, Sallandgroep). Ook een andere methode gebruikt

de werkelijke gewasverdamping gedurende het groeiseizoen als maatstaf voor de beschikbaarheid van vocht voor de vochtleverantie aan het gewas uit de vochtvoorraad in de grond en via capillaire opstijging uit het grondwater (RIJTEMA). De COLN-opbrengstcurven en de isocarpendiagrammen zijn grove benaderingsmethoden van de opbrengst, die gemiddeld gedurende een langjarige periode jaarlijks verkregen kan worden. Daarbij wordt slechts onderscheid gemaakt tussen grasland en bouwland. Voor bouwland gelden de figuren bovendien voor een geheel bouwplan, dat wil zeggen voor een samenstel van verschillende gewassen. Het zal duidelijk zijn dat een grove benaderingsmethode, zoals de COLN-curven zijn, weinig geschikt is voor meer gedetailleerd onderzoek naar de gevolgen voor de gewasgroei van de weersomstandigheden in een bepaald jaar en van de wateronttrekking volgens verschillende strategieën. Er wordt geen rekening gehouden met de leeftijd van het gewas, met de verdamping, de regen-



hoeveelheid en -verdeling en dergelijke. Deze mogelijkheden heeft de methode van het groeimodel wel, waarin met al deze omstandigheden wel rekening kan worden gehouden.

### BOUWPLAN EN WATERHUISHOUDING

De boer houdt met het bouwplan voor zijn bedrijf rekening met de vocht-huishouding van de grond. Hoe hij dit pleegt te doen wordt onderzocht door middel van het **b o u w p l a n o n d e r z o e k**. Dit vindt plaats door voor een zo groot mogelijk aantal bedrijven, per perceel een aantal gegevens op te tekenen, zoals: verbouwd gewas, grondwaterstand, verdrogingsklasse, c.q. grondwatertrap, mestgift, etc.

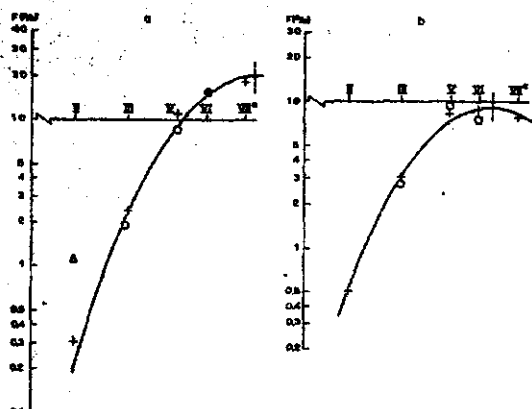


Fig. 13.2. Frequentie van voorkomen van hakvroeden bij verschillende grondwatertrappen op zandgrond, behalve hoge ankergronden. a = aardappelen; b = voderbeeten. (Betekenis der tekens als fig. 13.1)  
Frequency of growing tuberos crops under various drainage conditions on relatively level sandy soil. a = potatoes; b = fodder beets. (Abbreviations, see fig. 13.1)

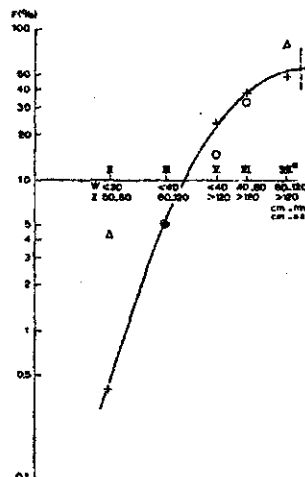


Fig. 13.1. Frequentie van voorkomen van rooige bij ver-

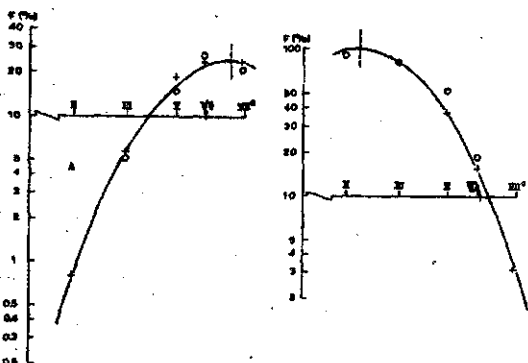


Fig. 13.3. Frequentie van voorkomen van zomergrassen (links) en graanland (rechts) bij verschillende grondwatertrappen op zandgrond, behalve hoge ankergronden. (Betekenis der tekens als fig. 13.1)  
Frequency of growing mix and beets, respectively or as mixed-crop (left), and frequency of occurrence of potatoes (right) under various drainage conditions on relatively level sandy soil. (Abbreviations, see fig. 13.1)

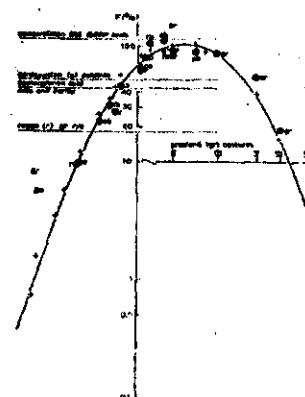
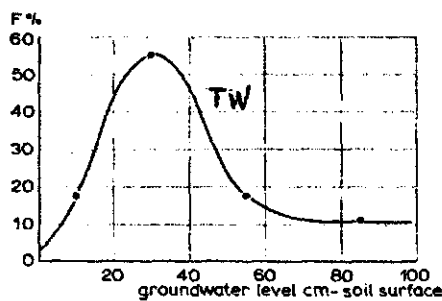
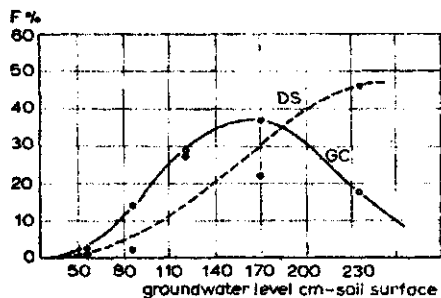


Fig. 13.4. Bestuipingsgraad van zandgrond behalve hoge ankergronden, samengeteld bij de afzonderlijke gewas-frequentie curven voor ontwateringsstaat. De glim-van de afbreide der terugkomstige figuren toont in verticale zin het verschil in betekenis van de gewassen bij de exploitatie van deze gronden en in horizontale zin het verloop voor een bepaalde combinatie van ontwateringsdiepte in zomer en winter.

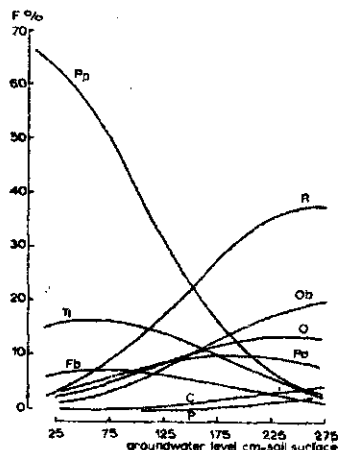
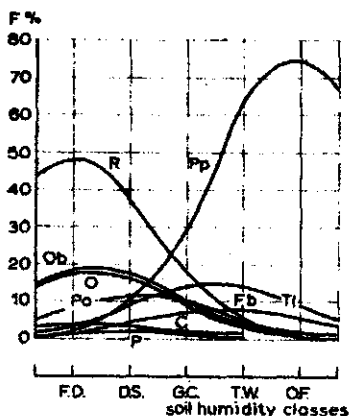
Alle percelen worden dan gegroepeerd volgens te gebruiken klassen, waarna per klasse een frequentieverdeling voor ieder gewas wordt uitgerekend. Voor ieder gewas worden de frequenties van voorkomen langs een schaal met logaritmische verdeling uitgezet tegen de verdrogingsklasse (c.q. andere groep). Dan kunnen door de stippenlijnen getrokken worden. Verwacht mag worden dat deze lijnen bij een voldoende groot aantal gegevens stukken van een normale verdeling vormen. Bij gebruik van een logaritmische schaal voor het uitzetten van de frequenties van voorkomen neemt de frequentiecurve de vorm aan van een parabool die eenvoudiger te analyseren valt. De lijnstukken voor alle gewassen kunnen nu door verschuiving langs de verticale en horizontale assen worden samengevoegd tot één frequentie parabool. Hierbij geeft de horizontale verschuiving een indruk van de eisen die het betreffende gewas stelt aan het milieu; de verticale verschuiving geeft dan aan welke voorkeur de teelt van het gewas krijgt uit hoofde van zijn economische betekenis voor het bedrijf. Het samenbrengen van alle frequentie gegevens in een figuur biedt voorts de gelegenheid deze te vereffenen via de kromme voor een normale kansverdeling. Voor ieder gewas kan voor iedere onderscheiden klasse het vereffende frequentie percentage worden afgelezen, waaruit dan

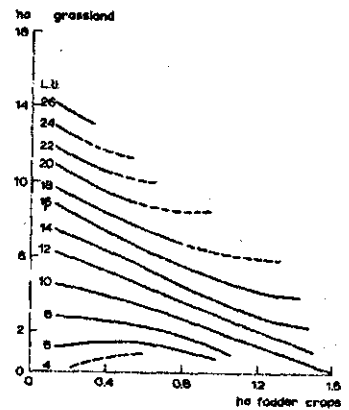
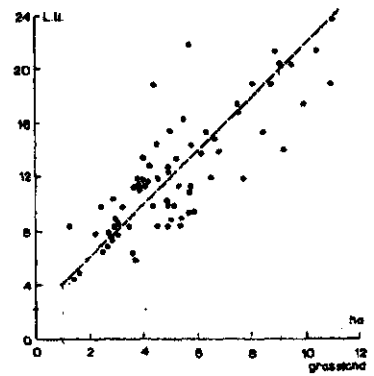
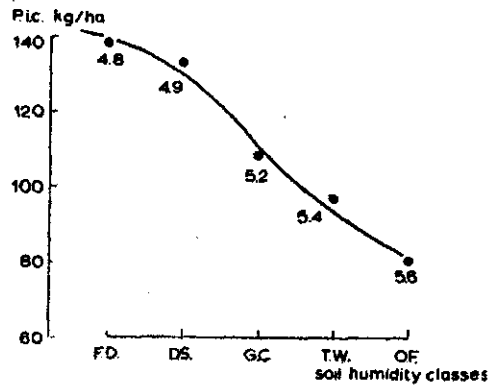
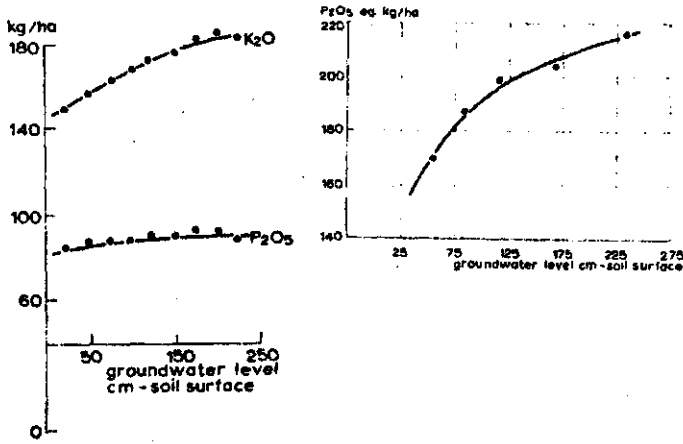
het bouwplan volgt dat gemiddeld voor iedere klasse gevonden wordt. Wanneer dan nog voor iedere klasse-indeling het verband met de grondwaterstand kan worden vastgesteld, kan bovendien het bouwplan voor bepaalde grondwaterdiepten worden bepaald. Een dergelijke bewerking als juist geschets, is ook mogelijk voor de nagewassen, zoals stoppenknollen, klaver, en dergelijke.



### BEMESTING EN WATERHUISHOUDING

Over dit onderwerp van het waterhuishoudkundig onderzoek zal slechts volstaan worden met enkele korte opmerkingen. De invloed van de waterhuishoudkundige toestand van de grond loopt in hoofdzaak via het bouwplan. Er is een tendentie drogere gronden zwaarder te bemesten dan meer vochthoudende, doch de effecten hiervan op de totale mestbehoefte van het bedrijf worden





overschaduwd door de mestbehoefte per gewas. Vooral omdat de belangrijkste gewassen grasland en rogge, die in mestbehoefte niet zoveel uiteenlopen, elkaar van droog naar nat gaan vervangen. Er is echter een duidelijke samenhang tussen de zuurgraad en de verdrogingsklassen te constateren, waarmee de behoefte aan bekalking samenhangt.

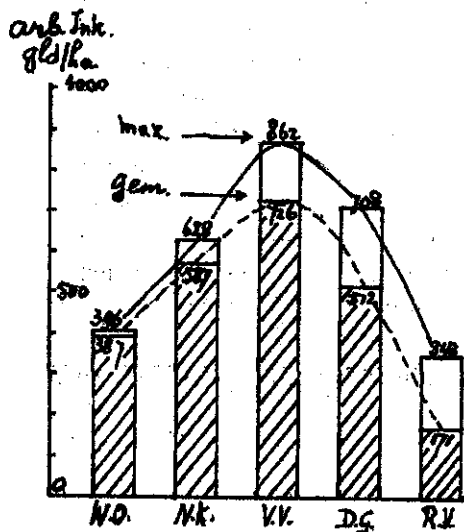
De stalmest positie hangt ten nauwste samen met de veebezetting, herleid tot grootvee-eenheden, en het graslandareaal. Dit laatste hangt weer af van de verdrogingsklasse van de grond, dus van het bouwplan daarvan. De veebezetting per hectare grasland hangt voorts ook nog af van de productiviteit van het grasland. In het gemengde bedrijf geeft echter het graslandareaal de doorslag bij de veebezetting en dus bij de beschikbaarheid van stalmest. Hoewel de spreiding groot is bestaat er toch een duidelijk verband tussen oppervlakte grasland en de veebezetting. Uit het beschikbare materiaal kunnen lijnen afgeleid worden van gelijke veebezetting bij verschillende verhoudingen tussen de oppervlakten aan voedergewassen en grasland.

**HET BEDRIJFSRESULTAAT**

Het bedrijfsresultaat van een landbouwbedrijf wordt niet alleen bepaald door de opbrengst van de gewassen, maar ook door de kosten die gemaakt moeten worden voor bijvoorbeeld zaai-zaad, pootgoed, veevoeder aankopen, kunstmest, grondbewerking, loonwerk, rente en afschrijving op bedrijfsgebouwen en inventaris. Sommige van deze kosten hangen via het bouwplan samen met de waterhuishoudkundige verhoudingen binnen het bedrijf; andere zijn daarvan onafhankelijk.

De opbrengst van de gewassen, die wel door de vochthuishouding van de grond wordt beheerst, kan berekend worden door op grond van het bouwplan voor optimale vochtvoorziening de opbrengst te berekenen en deze dan te reduceren met behulp van een reductiefactor geldig voor de verdrogingsklasse in kwestie. Deze reductie- of depressiefactor kan worden ontleend aan de

door het COLN-onderzoek gegeven gemiddelde opbrengstdepressies per bouwplan voor de verdrogingsklassen. Indien de grondwaterstand, gemiddeld tijdens de groeiperiode of gedifferentieerd naar winter- en zomerstand gebruikt wordt, kunnen de depressie percentages afgelezen worden uit de opbrengstcurven of uit de isocarpfiguren.



Door per verdrogingsklasse, respectievelijk per grondwatertrap, de gewasopbrengst van het bouwplan, hetzij via marktprijzen, hetzij door omzetting via de veestapel tot melk en vlees, in geldbedragen om te zetten en de kosten in rekening te brengen wordt het arbeidsinkomen gevonden.

#### GRONDWATERWINNING, OPBRENGST EN INKOMEN

De in het voorgaande besproken techniek om via een bodemkundig-hydrologische indeling van de gronden, een bouwplananalyse en de bedrijfsresultatenbegroting de bedrijfsresultaten te berekenen kan nu worden gebruikt om de gevolgen na te gaan van het stichten van een grondwaterwinningspompstation. Dit is door SNIJDERS gedaan door de invloedssfeer van de afzuigkegel vast te stellen en voor concentrische ringen rondom het onttrekkingspunt de bedrijfsresultaten te berekenen. Deze berekening werd uitgevoerd voor een gebied met een straal van 2000 m rond het pompstation voor de drinkwaterleiding bij Eibergen in de Gelderse Achterhoek. Hiertoe werd het bouwplan vastgesteld op de bodemkundig-hydrologische eenheden in het aangrenzende niet beïnvloede gebied en hiermede de uitgangssituatie vastgelegd. Vervolgens werd voor een raster met 800 punten per punt en per onderscheiden ring de relatieve verdeling van de bodemkundig-hydrologische eenheden vastgesteld, zowel voor de onbeïnvloede situatie als voor die bij verlaagde grondwaterstanden.

Uit het onderzoek binnen het beïnvloede gebied bleek dat de bouwplannen op de onderscheiden bodemgroepen niet sterk afweken van die op de overeenkomstige groepen buiten het gebied. Dit is een gevolg van de voortzetting van het traditionele gemengde bedrijf dat op de veehouderij is ingesteld. Zo ziet men dat ondanks ongunstiger geworden hydrologische omstandigheden toch veel gronden in grasland liggen die daarvoor eigenlijk niet geschikt zijn. Ten dele hangt dit af van de zuivelprijzen.

Dit verschijnsel werpt een aantal vragen op. Handelt de boer uit conservatisme of neemt hij door handhaving van de bestaande bedrijfsvoering toch beter af te zijn, mede in verband met het subsidiebeleid dat ten aanzien van de landbouw gevoerd wordt. In geval conservatisme de voornaamste drijfveer vormt voor de beslissing veel meer bij het oude te laten, moet men dit standpunt dan honoreren door het toekennen van een schadevergoeding? het antwoord op deze laatste vraag zal vermoedelijk wel bevestigend uitvallen. Immers de stichting van een pompstation en de daardoor veroorzaakte verlaging van de grondwaterstand is een drastische ingreep in een bestaande toestand, waaraan het bedrijf van de boer ongevraagd en ongewild onderworpen wordt. Hoe zo'n schaderegeling eruit moet zien, hoe de grootte van de schade moet worden vastgesteld gedurende een lange periode wanneer vergelijk met de bestaande toestand steeds moeilijker wordt, is een probleem waarop het antwoord nog gevonden moet worden.

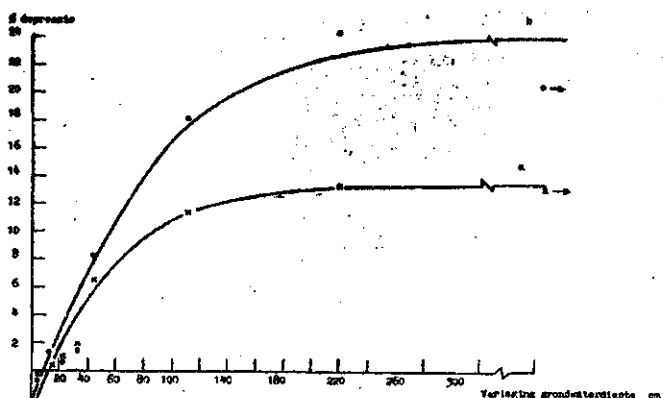


Fig. 2. Relatie van grasopbrengst (a) en inkomen (b) op verlaaging van de grondwaterdiepte door onttrekking. De divergentie ontstaat door extra kosten o.m. wegen z.b. suipetitie. Bij grotere diepten blijft het verschil constant omdat verdere verlaging van het peil geen "toppen depressie" geeft. De variatie wordt veroorzaakt door ongelijkheid in de bodemkundig-hydrologische omstandigheden. De afgeleide lijn der overspannende zones. Door een sterke ommekeer door de voorwaarden te treden wordt deze ongelijkheid uitgesloten.

59C72/2.

De gemiddelde opbrengst in procenten ten opzichte van de toestand zonder waterwinning bleek in afhankelijkheid van de afstand tot het onttrekkingspunt 0-13 % te bedragen.

Eenzelfde berekening voor het arbeidsinkomen van de boer leverde een depressie van het inkomen op van 0-20 %. Ten opzichte van de toestand zonder grondwaterstandsverdeling.

Het verschil tussen beide depressieberekeningen moet worden toegeschreven aan de noodzaak tot veevoeder aankopen

en het toch aanhouden van nagenoeg hetzelfde bouwplan als toegepast wordt bij betere hydrologische omstandigheden. Door de geringere produktiviteit van het grasland op drogere grond kan geen sluitende voederbalans bereikt worden, indien toch ca. 76 % van het areaal in grasland en 24 % in bouwland wordt

aangehouden. Men ziet in dergelijke gevallen als zich voordoen rond het pompstation Eibergen dat men toch niet overschakelt op een overwegend akkerbouwbedrijf, zoals uit het droger worden van het gebied zou mogen worden verwacht. Men past zich aan en neemt het mindere voor lief voor het onbekende nieuwe dat misschien wel eens betere resultaten zou kunnen opleveren.

#### HET GROEI-MODEL

De geschetste methode om de bedrijfsinkomsten te berekenen door middel van de bouwplananalyse is weinig geschikt voor gebruik binnen het kader van het waterwinningsonderzoek, door de bezwaren welke aan de opbrengstcurven en isocarpen zijn verbonden en die eerder genoemd werden. Wil men situaties doorrekenen voor verschillende locaties van onttrekking met verschillende onttrekkingsintensiteiten om zodoende de meest voordelige onttrekkingsstrategie te ontwerpen, dan is het duidelijk dat men beter van groeimodel gebruik kan maken, dat allerlei omstandigheden tijdens de groei van het gewas kan verantwoorden. Een gemechaniseerde opzet van de berekeningen ligt gezien de gecompliceerde berekeningen voor de hand. Hiervoor is het echter nodig om al de te gebruiken basisgegevens in te voeren in een mathematisch model, dat geschikt is om te worden doorgerekend met de computer. Dit geldt zowel voor de eerste bewerking van die basisgegevens tot werkgrootheden, die weer ingevoerd zullen worden in rekenschema's die in een volgende fase zullen worden gebruikt, als ook voor het berekenbaar maken van de gewasgroei via het groeimodel zelf.

De plantengroei wordt beheerst door de beschikbaarheid van voldoende water en van lucht in de grond. De 'natte' tak van de opbrengstcurve wordt beheerst door het luchtgehalte, de 'droge' tak door het watergehalte van de grond. In het optimum traject van de groei ontmoeten de beide takken elkaar.

Verder zijn de eisen die plant stelt in de verschillende stadia van zijn ontwikkeling ongelijk. De waterbehoefte in het jeugd stadium is gering, neemt toe tot het gewas de gehele bodem bedekt heeft en volwassen is geworden om daarna tegen het afrijpen weer af te nemen en tot nul te naderen.

Bij dit groeiproces speelt het vermogen om water te verdampen een overwegende rol. De droge stofproductie van het gewas is nagenoeg recht evenredig met de hoeveelheid water die verdampt wordt. Deze verdamping van de plant wordt enerzijds gereguleerd door de mogelijkheid om water uit de grond op te kunnen nemen en anderzijds door het verdampend vermogen van de atmosfeer. De eerste begrenzing wordt weer enerzijds bepaald door de vochtspanning in de

grond en het daarmee samenhangend capillair opstijgingsvermogen en anderszits door de verdampingscapaciteit van de atmosfeer zelf. De invloed van de grootte van de verdamping wordt bepaald door het groeistadium en de soort van de plant, zolang de verdamping nog niet optimaal is.

De droge stofproduktie wordt dus bepaald door twee assymptoten van de groeilijn: één assymptoot die weergeeft een evenredige toename van de groei met de toename van de beschikbaarheid van een groeifactor; en een tweede assymptoot afhankelijk van de potentiële verdamping die een plafond aan de produktie stelt, waarboven de plant niet uit kan komen.

In wezen is het groeiproces natuurlijk ingewikkelder dan hier geschetst. Dit komt omdat niet de verdamping de aeratie en de ouderdom van de plant gedrieën maar een groot aantal groeifactoren de groei van een plant bepalen. Deze stellen ieder op grond van hun mate van aanwezigheid hun eigen plafondwaarde aan de groei. Onder gegeven omstandigheden vormt de factor met het laagste produktieplafond de bovenste begrenzing van die groei. De voorstelling van het groeimodel is dus in wezen een multidimensionele ruimtelijke figuur.

Het groeimodel dat door de Werkgroep Hydrologisch Onderzoek Overijssel gebruikt zal worden ziet er aldus uit:

$$\left\{ 1 - \frac{T-T_0}{a \cdot dT} \cdot \frac{dq_i}{Q} \cdot \left( \frac{1}{q} + \frac{1}{Q-q_{i-1}} \right) \right\} \cdot \left( 1 - \frac{dq_i}{dq} \right)^n \cdot dq_i \cdot \left( 1 - \frac{dq_i}{b \cdot L_i} \right) \cdot \left( 1 - \frac{dq_i}{f \cdot E_{ri}} \right) = - F \cdot \left( 1 - \frac{2 \cdot dq_i}{dq} \right)$$

$x$ ----- $x$ ----- $x$ ----- $x$ ----- $x$ ----- $x$ ----- $x$ ----- $x$ ----- $x$ ----- $x$   
I
II
III
IV
V
VI
VII

Hierin stellen de verschillende delen voor:

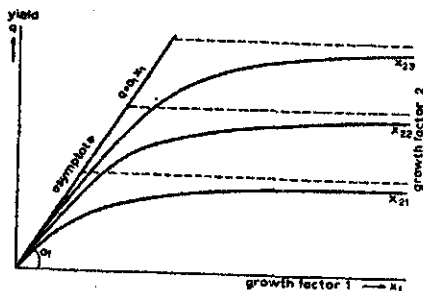
- I het tijdgebonden groeistadium
- II de optimaal mogelijke bijgroei
- III de bijgroei nul bij afrijping
- IV de aeratie beperking
- V de verdampingsbeperking
- VI een integratie constant die de aanpassing aan de assymptoten bepaalt
- VII een term die het teken van de integratie constant bepaalt

Voorts is:

- T resp.  $T_0$  de tijd als temperatuursom, respectievelijk temperatuursom waar-  
 bij nog geen groei plaats vindt
- dq de bijgroei
- L het luchtgehalte van de grond als functie van de vochtspanning
- $\overline{dq}$  grootte van de bijgroei die wordt bepaald door n onbekende facto-  
 ren met het laagste niet limiterende plafond
- $\overline{\overline{dq}}$  een parameter voor de tekenwisseling die om wiskundige redenen  
 iets hoger gesteld wordt dan  $\overline{dq}$ .
- Q de gesommeerde produktie aan het eind van de groei
- q de gesommeerde bijgroei op het tijdstip T

Op enkele aspecten van het groeimodel zal in het navolgende nog wat nader ingegaan worden.

Het groeimodel, zoals door de formule aangegeven gaat uit van de gedachte dat de groei van het gewas bepaald wordt door een (groot) aantal factoren. Deze invloed verloopt via eenvoudige lineaire transportfuncties, zoals dif-  
 fusie, massastroming en dergelijke. Aan het lineaire verband tussen de bij-  
 groei en een groeifactor wordt echter een grens gesteld doordat een andere  
 groeifactor in het minimum komt te verkeren, waardoor aan de groei een pla-  
 fond wordt gesteld. Evenzo kan men zich voorstellen dat de eerste groeifac-  
 tor limiterend wordt voor de werking van de tweede. Dit principe van de



limiterende groeifactoren is in de biologie reeds lang bekend en door BLACKMANN beschre-  
 ven. Het is echter nooit fysisch-mathematisch gedefinieerd geworden. In het model stelt de  
 groeifactor L het luchtgehalte van de grond en  $E_w$  de gewasverdamping voor volgens:

$$dq = b \cdot L \text{ (term IV)} \quad \text{en} \quad dq = f \cdot E_w \text{ (term V)}$$

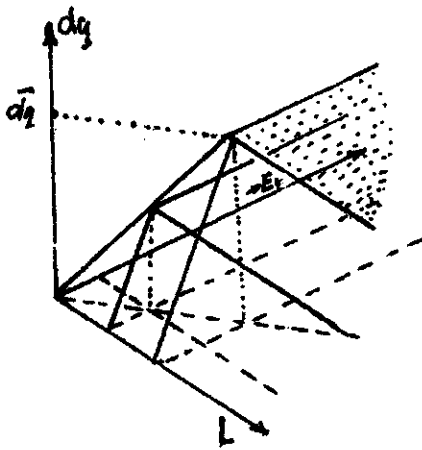
Deze functies stellen de asymptoten voor die de grenzen van de groei bepa-  
 len; deze kan daar nooit bovenuit komen doch zal er daarentegen steeds onder  
 blijven. Het groeimodel wordt dan

$$(b \cdot L - dq) (f \cdot E_w - dq) = 0$$

of

$$\left(1 - \frac{dq}{b \cdot L}\right) \left(1 - \frac{dq}{f \cdot E_w}\right) = 0$$





dat aangeeft dat voor een niveau voor  $E_w$  de groei verloopt in evenredigheid tot de beschikbaarheid van de groeifactor  $L$ , totdat het niveau  $dq = f \cdot E_w$  is bereikt waarna elke verdere beschikbaarheid van  $L$  geen hogere bij groei  $dq$  ten gevolge kan hebben.

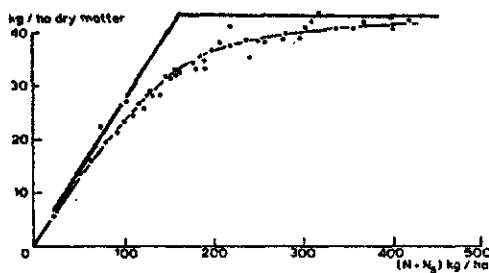
Op deze zeer eenvoudige voorstelling van de groei valt het volgende op te merken.

1. De groei is ongelimiteerd zolang  $L/E_w = f/b$ ; is dit niet het geval dan volgt, in strijd met wat veelal waargenomen wordt.
2. De groei strict de lijnen  $dq = b \cdot L$  en  $dq = f(E_w)$  respectievelijk  $dq = fE_w$   $dq = b(L)$ .  
(Het teken (')) duidt op de constante waarden van de betreffende groeifactor).
3. Het model is te eenvoudig; er zijn veel meer de groei bepalende factoren in het spel.
4. Er is geen rekening gehouden met de ouderdom van de plant.

Aan het e e r s t e b e z w a a r wordt tegemoet gekomen door aan de groei een absoluut maximum te stellen; namelijk de groei waartoe de plant qua erfelijke aanleg maximaal in staat is:  $dq = \overline{dq}$  (term II). Hierdoor wordt het groeimodel:

$$\left(1 - \frac{dq}{b \cdot L}\right) \left(1 - \frac{dq}{f \cdot E_w}\right) \left(1 - \frac{dq}{\overline{dq}}\right) = 0$$

Aan het t w e e d e b e z w a a r ligt het feit ten grondslag dat tengevolge van een zekere flexibiliteit die de plant ten opzichte van de groeifactoren heeft naarmate het maximum niveau voor  $dq = f(E_w)$  genaderd wordt ( $E_w$ ) de groei steeds verder beneden de lijn  $dq = b \cdot L$  blijft en tenslotte geleidelijk overgaat in de bovengrens  $dq = f(\overline{E_w})$ .



Dit verschijnsel wordt verantwoord door de vergelijking voor het groeimodel niet gelijk nul te stellen doch gelijk aan een zekere eindige waarde  $F$  (term VI) die men aan aanpassingsconstante zou kunnen noemen. Zou men tot in de perfectie alle groeifactoren op juiste manier volledig in het groeimodel verantwoorden dan zal  $F$  een zeer kleine waarde hebben. Het groeimodel ziet er thans dus als volgt uit:

$$\left(1 - \frac{dq}{b.L}\right) \left(1 - \frac{dq}{f.E_w}\right) \left(1 - \frac{dq}{dq}\right) = F$$

Het d e r d e b e z w a a r, dat het model te eenvoudig is, kan onder-  
vangen worden door voor meerdere groeifactoren lineaire betrekkingen in te  
voeren. Men zal zich, enerzijds gedwongen door de onvolledigheid van de ken-  
nis omtrent het wezen van de groei en anderzijds om de bewerkelijk van het  
model te beperken, bepalen tot die groeifactoren van wie een grote invloed  
wordt verondersteld. Een andere mogelijkheid is gelegen in het feit de effec-  
ten van n onbekende en niet verantwoorde niet-limiterende groeifactoren te  
verantwoorden in de maximaal mogelijke groei  $\overline{dq}$  door in plaats van  $\left(1 - \frac{dq}{dq}\right)$   
te nemen  $\left(1 - \frac{dq}{dq}\right)^n$  (term II).

Het v i e r d e b e z w a a r wijst erop dat de groei afhankelijk is  
van de tijd van het jaar en van de grootte van de plant: term I. Er is een  
tijdstip  $t_0$  waarop de groei begint en er is een temperatuur  $\tau_0$  waarbij de  
groei tot stilstand komt. Vordering in het groeiseizoen betekent: toenemende  
straling, stijgende temperatuur, toenemend verdampend vermogen van de atmos-  
feer. De plant heeft vocht, voedsel en koolzuur nodig voor zijn groei. Hij  
moet daarvoor water en daarin opgelosten plantevoedingsstoffen uit de grond  
opnemen, deze laatste gebruiken en het water verdampen door de huidmondjes.  
Door deze ontvangt de plant koolzuur voor de assimilatie. Zolang de plant  
klein is, is er voldoende vocht in de grond, doch de verdamping is gering;  
het verdampend vermogen van de atmosfeer bepaalt volledig de gewasverdamping.  
De plant neemt voortdurend in omvang toe, gaat steeds meer water verdampen.  
Zolang er daarvan maar voldoende in de grond beschikbaar is zal de groei  
blijven toenemen, tot deze om andere redenen gelimiteerd wordt. Tenslotte  
vindt vruchtzetting, rijping en afsterving plaats.

Keren we thans terug tot het groeimodel. De groeiduur en het temperatuur-  
effect wordt in het groeimodel verantwoord door de temperatuursom

$$\sum_{i=0}^n (t_i - t_{i-1}) (\tau_i - \tau_0) = T_n \quad \text{met } i = 0 \text{ voor 31 december (Term I)}$$

waarin  $t_i - t_{i-1}$  de lengte van een tijdsinterval voorstelt en  $\tau_i - \tau_0$  de ge-  
middelde temperatuur  $\tau_i$  over dit interval minus de minimum temperatuur  $\tau_0$   
waar beneden geen plaats vindt. Evenzo is er een datum  $t_b$ , waarvoor nog geen  
groei heeft plaatsgevonden, met een temperatuursom