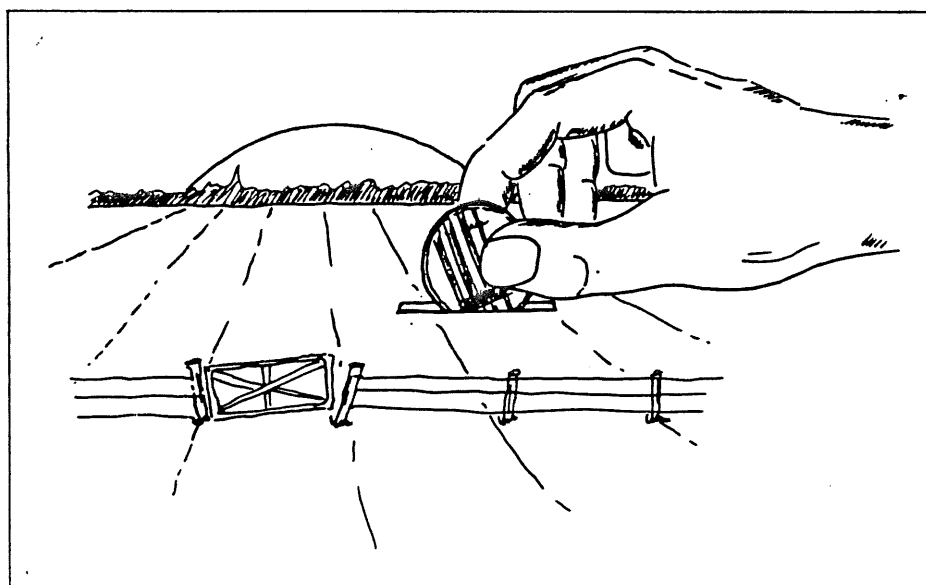


# Alleen de zon gaat voor niets op

In de eerste decennia na de tweede wereldoorlog zijn slechte ervaringen opgedaan met strategieën die in de industrie de motor tot ontwikkeling van de landbouw zagen. Maar dit betekent niet dat we nu de balans naar de andere kant moeten laten doorslaan door aan te nemen dat in de primaire behoeften van een zich groeiende wereldbevolking kan worden voorzien met behulp van vrijwel gesloten landbouwsystemen. De middelen die absoluut nodig zijn om landbouw te bedrijven, zijn inderdaad te overzien: land, wat zon en regen en veel werk. Wanneer de omstandigheden niet al te slecht zijn is het daarom mogelijk zonder hulp van buiten in eigen primaire behoeften te voorzien. Maar dat is echter allang niet meer genoeg. Immers, in vrijwel elk land neemt het aantal mensen dat niet in de landbouw werkzaam is en dan vooral het aantal stedelingen snel toe en om dat deel van de bevolking van voldoende landbouwproducten te voorzien, dient de produktiviteit van de boeren aanmerkelijk groter te zijn dan voor het voorzien in eigen behoeften nodig is. Dit is alleen mogelijk wanneer het niet landbouwende deel van de bevolking voldoende produktiemiddelen ten behoeve van de landbouw voortbrengt en daarenboven de economische verhoudingen zo zijn dat de boer hier met voordeel gebruik van kan maken.



veel hogere produkties mogelijk maken dan in feite worden gerealiseerd. Nu kan men tegenwerpen dat deze op de toekomst zijn gebouwd, maar in dat geval blijken de inspanningen die men zich op centraal niveau getroost om deze toekomst nabij te brengen wel heel erg pover. Een ander

## prof. dr. ir. C.T. de Wit

Vakgroep Theoretische Teeltkunde  
Landbouwhogeschool Wageningen

voorbeeld is het vaak te verkwistende verbruik van vooral stikstofmeststoffen. Er wordt teveel uit het oog verloren dat voor een zuinig gebruik de groeifactoren zorgvuldig op elkaar moeten worden afgesteld. Maar hiervoor is het onderzoek nog altijd te disciplinair gericht en te weinig ingespeeld op de vraag naar de inspanningen die zowel voldoende als noodzakelijk zijn om een bepaald resultaat te bereiken. Dit wreekt zich niet alleen bij in ontwikkeling zijnde gebieden maar evenzo voor boeren die in termen van klimaat, grond en infrastructuur onder marginale omstandigheden moeten werken.

## Een hiërarchische benadering

Een deel van het systeemanalytisch onderzoek dat gedurende de afgelopen jaren rond de vakgroep Theoretische Teeltkunde en het Centrum voor Agro-Biologisch Onderzoek (CABO) op gang is gekomen, richt zich op het doorbreken van deze te disciplinair gerichte benadering. Hiertoe is een hiërarchische wijze van werken gekozen, die ook door inspanningen van en rond de Stichting Onderzoek Wereldvoedselvraagstukken (SOW) voor verder gebruik in de praktijk worden ontwikkeld. Zij is het meest uitvoerig uitéengezet in een leerboek onder redactie van Van Keulen en Wolf (1985).

Bij deze benadering gaat het er niet zozeer om produktiefuncties te formuleren met als doel het verband tussen opbrengst en groeifactoren in alle mogelijke combinaties vast te leggen; zo dit al mogelijk is, brengt dit wel heel veel onnodig werk met zich mee. Waar het wel om gaat is een onderzoek naar de minimum behoeften van het gewas waaraan moet worden voldaan om de opbrengsten te verkrijgen die in overeenstem-

Artikel naar aanleiding van de Tropische Landbouwdag 1985

Veel van het landbouwkundig onderzoek is daarom terecht gericht op verdergaande verwerving van de landbouw- en de industriële sector van de economie, zowel in technische als in economische zin. Dat wil echter niet zeggen dat de ontwikkelingen die hieruit voortvloeien kritiekloos kunnen worden aanvaard. Integendeel: zo blijkt meer en meer dat vaak wel heel erg verkwistend wordt omgesprongen met pro-

duktiemiddelen ten nadele van het milieu en ten nadele van de boer die al nauwelijks het hoofd boven water kan houden. Een voorbeeld zijn de vaak hardnekkige pogingen tot introductie van gewassen en rassen zonder tegemoet te komen aan de andere eisen die deze stellen aan de groeiomstandigheden. Men kan ook denken aan irrigatiewerken die wat betreft ontginningsniveau, waterbeheersing en infrastructuur

ming zijn met de mogelijkheden zoals deze worden bepaald door gewas, klimaat, grondsoort en ontginningsniveau.

Voor het schatten van deze mogelijkheden worden enkele produktieniveaus onderscheiden die hiërarchisch geordend zijn in die zin dat de uitkomsten van de berekeningen voor het ene niveau worden gebruikt als invoer voor het andere. Bij de analyse wordt verder een onderscheid gemaakt tussen opbrengstbepalende factoren zoals straling en temperatuur, opbrengstbeperkende factoren zoals water, stikstof en mineralen en opbrengstreducerende factoren zoals onkruiden, ziekten en plagen.

## Potentiële productie

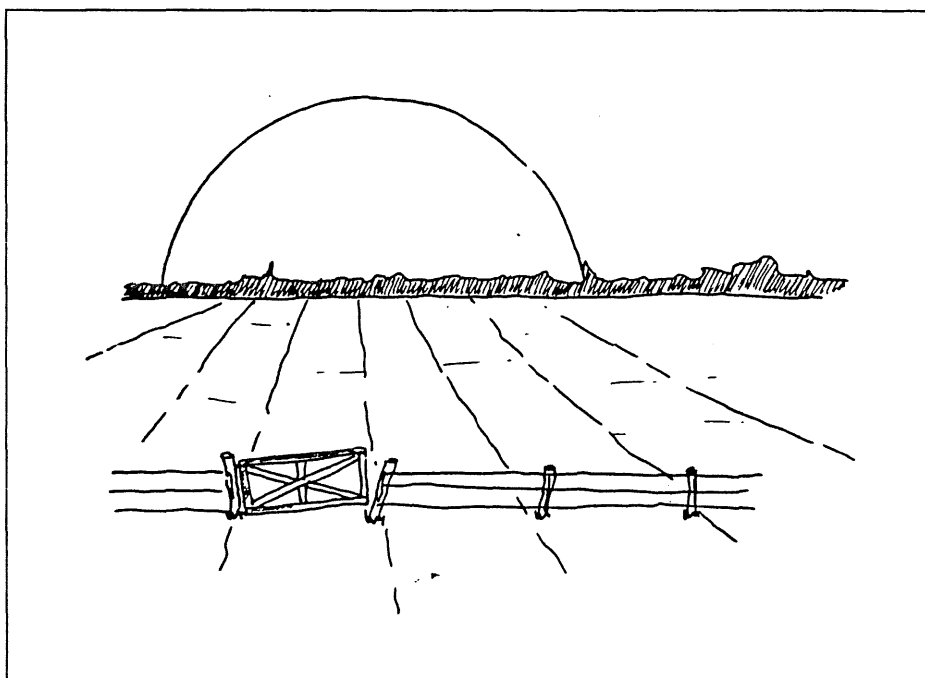
Op het eerste niveau van potentiële productie wordt verondersteld dat opbrengstreducerende factoren geen rol spelen en opbrengstbeperkende factoren optimaal aanwezig zijn. De gewasopbrengst wordt dan alleen bepaald door de aard van het gewas en het verloop van opbrengstbepalende factoren als straling en de temperatuur. Deze afhankelijkheid is in simulatiemodellen vastgelegd die gebaseerd zijn op een diepgaande analyse van de assimilatie-, respiratie- en verdampingsprocessen van bladeren, planten en gewasoppervlakken. Voor veel gebieden zijn voldoende experimentele gegevens beschikbaar om te beoordelen of de belangrijkste gewassen er kunnen groeien en om de zogenoemde gewaskalenders samen te stellen die de tijd van zaaien, opkomst, bloei, rijping en wat dies meer zij aangeven. Deze praktische gegevens en de simulatiemodellen maken het mogelijk voor de voornaamste gewassen de uiteindelijke opbrengst uit te rekenen, die uiteraard per gewas verschillen. De zo berekende drogestofproducties blijken te variëren van ca. 150 tot 350 kg per ha per dag. In het laatste geval kan met een gesloten gewasperiode van ongeveer vier maanden een totale droge stof opbrengst van zo'n 40 000 kg per ha worden bereikt en in het geval van bijvoorbeeld mais een zaadopbrengst van ca. 20 000 kg per ha. De op deze wijze berekende potentiële opbrengsten zijn in eerste instantie met scepticisme beoordeeld, maar later zijn zij in ruime mate bevestigd door experimenten waar de watervoorziening door drainage, irrigatie of beregening goed werden beheerst.

## Ontginningsniveaus

Naast de opbrengst wordt ook het verloop in de tijd van de drogestofproductie en de evapotranspiratie gesimuleerd en het zijn juist deze twee resultaten die worden ge-

bruikt voor het berekenen van groei en opbrengst in hiërarchische produktiesituaties van het tweede niveau. Hiervoor wordt nog steeds aangenomen dat het gewas gezond en de voorziening met stikstof en mineralen optimaal is, maar wordt wel de invloed van de vochtvoorziening op de evapotranspiratie en de groei van het gewas in rekening gebracht. De watervoorziening hangt in dit geval vooral af van de regenval en wellicht enige extra beregening. Het mogelijke verbruik van water hangt af van de weersomstandigheden en de mate waarin het gewas gesloten is. De fysische eigenschappen van de grond en de klimaatsomstandigheden

het hoogste niveau van ontginning gaat het om land waar voldoende water beschikbaar is om optimaal te irrigeren. Alleen hier kan de potentiële productie benaderd worden. Om de ontginningsmogelijkheden op hun waarde te kunnen schatten, wordt ook nagegaan welke werkzaamheden moeten worden verricht om de overgang naar een hoger niveau van ontginning te bewerkstelligen. Ook wordt nagegaan wanneer deze kunnen worden uitgevoerd. Deze werkzaamheden worden uitgedrukt in materiële termen, zoals de hoeveelheid grondverzet. Er zijn voorts omrekeningsfactoren beschikbaar, waarmee deze materiële hoe-



zijn nu beide van doorslaggevende betekenis. De waterbalans wordt ook bijgehouden om de perioden met wateroverlast en tekort te identificeren. Op basis van deze gegevens en de fysische eigenschappen van de grond is het ook mogelijk per week een schatting te maken van het aantal uren dat er in het veld kan worden gewerkt met handwerktuigen zowel als machines van verschillende zwaarte. Dit is een belangrijk gegeven bij het analyseren en ontwerpen van bedrijfssystemen. Naast het water verdienen ook andere zaken als kalkvoorziening van de grond (pH) de nodige aandacht.

Er zijn veel ontginningsniveaus denkbaar, die verschillend uitwerken op de groei en het waterverbruik van het gewas en op de bewerkbaarheid van het land. Op het meest primitieve niveau gaat het wellicht alleen om enige bescherming tegen overstromingen, maar dit kan gradueel overgaan in een situatie waarbij het land is geëgaliseerd, geterraseerd en gedraineerd. Op

veelheden kunnen worden omgerekend in uren werk, hetzij met de hand of met grondverzetmachines. Hierbij blijkt het nog eens dat ontginnen heel veel werk vraagt, wanneer dit met de hand moet gebeuren. Omdat deze werkzaamheden vaak vooral tijdens het groeiseizoen moeten worden uitgevoerd, is de beschikbaarheid van arbeid in veel gevallen een sterk limiterende factor. Dit kan een reden zijn om in gevallen waar schijnbaar een overschot aan arbeid is, toch over te gaan op mechanisering.

## Stikstof en mineralen

Een volgende belangrijke vraag is nu hoe groot de voorziening met plantevoedende elementen dient te zijn om de bij het ontginningsniveau behorende produktiemogelijkheden uit te baten. Hierbij wordt in het bijzonder aandacht geschonken aan stikstof vanwege de prijs, de grote hoeveelheden die ieder jaar nodig zijn en de bewege-

lijkheid van dit element in het gehele systeem van gewas, grond, water en lucht. De stikstofbehoefte wordt hierbij onderzocht door afzonderlijk in te gaan op het verband tussen de hoeveelheid opgenomen stikstof door het gewas en de opbrengst en tussen deze opgenomen hoeveelheid en de hoeveelheid gebruikte meststof. De hoeveelheden stikstof die uiteindelijk in het gewas nodig zijn om de berekende produktieniveaus mogelijk te maken zijn bekend. Zo blijkt bij rijst dat afhankelijk van de variëteit tussen de 13 en 19 kg N in het hele bovengrondse gewas nodig is voor elke 1000 kg zaad. Zonder een historie van stikstofbemesting wordt in de meeste landbouwsystemen niet meer dan een 10 kg N per ha per jaar door het gewas opgenomen en het is heel vaak deze beperkte N-voorziening die maakt dat dan de opbrengsten beperkt blijven tot minder dan 1000 kg per ha. Wanneer het ontginningsniveau een opbrengst van 5000 kg per ha toelaat, dient dus een 80 kg N per ha uit de kunstmest te komen, hetzij direct of als nawerking van vorige giften. Dit brengt al vlug giften van een 160 kg per ha met zich mee, maar dit hangt sterk af van de uitspoeling van denitrificatie in de periode van wateroverlast die volgen uit het hiervoor besproken model van de waterhuishouding. Er zijn voorts modellen ontwikkeld, waarmee kan worden onderzocht hoe de bodemvoorraad aan stikstof en daarmee de benodigde giften in de loop van de tijd veranderen. Wanneer deze niet te veel los van

experimentele gegevens worden gebruikt, blijken ze bruikbare kwantitatieve inzichten te verschaffen. Hier wordt nu niet verder op ingegaan, maar volstaan met op te merken dat zowel de directe werking van stikstof als de nawerking vaak ontstellend laag zijn. Dit is deels het gevolg van onoordeelkundige adviezen over het gebruik. Legio zijn de voorbeelden, waarbij door wat betere advisering op grond van bestaande kennis de efficiëntie van de dure stikstofbemesting kan worden verdubbeld of verdriedvoudigd. Zo wordt op Java nu al alle stikstof gebruikt die nodig is om de daar geldende potentiële produkties te bereiken. Lage efficiënties zijn ook nogal eens het gevolg van een slechte waterbeheersing. Hierdoor gaat veel N voorgoed verloren door uitspoeling en denitrificatie. Het verbeteren van de efficiëntie van stikstofgebruik is een niet te verwaarlozen effect van goed uitgevoerde ontginningen. Voor de voornaamste mineralen en dan in het bijzonder het vaak van nature schaars aanwezige fosfaat zijn soortgelijke werkwijzen ontwikkeld, maar hier wordt niet verder op ingegaan. De resultaten van de berekeningen moeten inderdaad worden gezien als minimum hoeveelheden die van deze opbrengstbeperkende factoren nodig zijn om het bij het ontginningsniveau behorende opbrengstniveau te halen. Ieder van de factoren heeft hierbij zijn specifieke werking en er is geen sprake van substitutiemogelijkheden, waarbij een relatief tekort van het ene kan

worden gecompenseerd door meer van het andere. Dit geldt evenzo voor het water. Een uitzondering is de onderlinge vervanging van kalium en natrium, maar dit komt omdat deze elementen ten dele eenzelfde functie in de plant kunnen hebben.

### Onkruiden, ziekten en plagen

De werkelijke opbrengsten kunnen heel wat lager uitvallen dan de berekende door het bestaan van opbrengstreducerende factoren, zoals onkruiden, ziekten en plagen. Door concurrentiemodellen te koppelen aan gewasgroei modellen kan de schade die door onkruiden wordt veroorzaakt en het effect van bestrijdingsmaatregelen worden gekwantificeerd. Een probleem is dat hiervoor ongeveer evenveel kennis nodig is over de groei van onkruiden als over die van het gewas. In het algemeen kan echter worden gesteld dat gewassen nogal uniforme populaties vormen die zijn toegesneden op de eisen die de boer stelt. Een populatie van onkruiden bestaat echter vaak uit vele soorten die de gaten vullen. Sub-optimale groeiomstandigheden voor het gewas, zoals gebrek aan water of mineralen of hoge dan wel lage temperaturen bevoordelen uit de hele onkruidpopulatie juist die onkruiden die hier beter tegen kunnen dan het gewas zelf. Daarom is het een algemene regel dat omstandigheden die de groei van het gewas nadelig beïnvloeden, de zich aanpassende onkruidpopulatie relatief bevoordelen. Bij slechte groeiomstandigheden voor het gewas is de schade door onkruiden dus relatief hoog en daarom is onkruidbestrijding een niet aflatende bezigheid in de traditionele landbouw.

Daarbij komt dat de klassieke manier van bestrijden van onkruid, het wieden met de hand, heel arbeidsintensief is. Een gang over het veld vraagt meer dan 200 uur per ha en het is niet ongebruikelijk dat er circa drie nodig zijn. De hoeveelheid land die bebouwd kan worden, wordt bij handwieden in veel gevallen beperkt door dit grote tijdsbeslag. Het is daarom niet verwonderlijk dat herbiciden vaak het eerste industriële produktiemiddel zijn waar de overigens nog op traditionele leest geschoeide landbouw gebruik van maakt.

Bij veel ziekten en plagen staan de zaken er anders voor. In het veel voorkomende geval waar stikstof uiteindelijk de meest beperkende factor is, wordt het grootste deel van dit element vroeg in het groeiseizoen opgenomen en in een later stadium geredistribueerd van de vegetatieve organen naar het zaad of andere opslagorganen. Dit proces versnelt het afsterven van de bladeren en omdat deze maar één keer dood kunnen gaan, hebben veel ziekten minder kans. Dit

tabel I. De produktie van energie en het directe en indirecte energieverbruik, ook voor de arbeid van mens en dier, bij de maisverbouw onder vier uiteenlopende omstandigheden, volgens Pimentel (1984)

	N gebruik kg/ha	zaad opbrengst kg/ha	verbrandings waarde 10 <sup>4</sup> kcal/ha	energie inzet 10 <sup>4</sup> kcal/ha	vb.w./inz.
Mexico mens. arbeid geen kunstmest	0	1944	690	941	0,73
Mexico mens. arbeid ossentractie geen kunstmest	0	941	334	460	0,72
Ver. Staten mens. arbeid paardentractie kunstmest	152	7000	2450	2670	0,92
Ver. Staten mens. arbeid machines kunstmest	152	7000	2450	1150	2,14

leidt er toe dat bij lage produktieniveaus de gewassen relatief minder gevoelig zijn voor ziekten en plagen dan bij hoge produktieniveaus en dan in het bijzonder in die gevallen waar de ziekten en plagen zich vooral manifesteren na de bladvormingsfase. Voor zover bestrijding in de meer traditionele landbouw al lonend is, gaat het vooral om zich vroeg manifesterende ziekten en plagen die bijvoorbeeld door zaadontsmetting kunnen worden aangepakt.

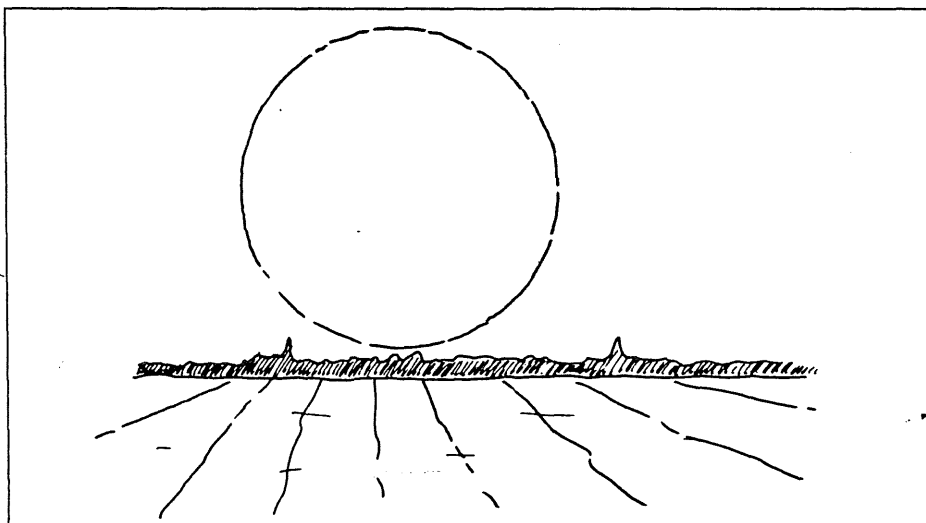
## Toenemende meeropbrengst

Sinds de energiecrisis worden de middelen die nodig zijn om opbrengsten te bewerkstelligen, vaak onder één noemer gebracht op basis van de energie die nodig is om ze voort te brengen. Vooral op basis van vroegere studies van Pimentel wordt nogal eens

bele wordt gekozen. Dit bevestigt eerdere analyses uit landbouwkundige hoek (De Wit, 1981).

Om dit te begrijpen dient te worden bedacht dat aanmerkelijke inspanningen nodig zijn voor basisoperaties als ontginnen, ploegen, zaadbed klaarmaken, zaaien en oogsten en dat deze vaste energiekosten niet of nauwelijks groter zijn bij hogere opbrengsten. Ook neemt, zoals hiervoor uiteengezet, de efficiëntie van de variabele produktiemiddelen zoals stikstof toe wanneer deze basisoperaties grotere opbrengsten mogelijk maken. Voor de bescherming tegen ziekten en plagen kan dit anders liggen, maar dit is nu juist een activiteit die weinig energie vraagt, maar kennis en ervaring. Men kan ook stellen dat voor een zuinig gebruik van de ene factor een juist gebruik van de andere noodzakelijk is, die

veelal gebaseerd op de notie dat op de duur een evenwicht tot stand komt in de af- en aanvoer van de voornaamste opbrengstbeperkende groeifactoren. De opbrengsten per hectare dienen in deze systemen boven een minimum uit te komen omdat anders wegens tijdsgebrek niet voldoende kan worden verbouwd om in de basisbehoeften van het werkende gezin te voorzien. Wanneer een familie het equivalent van 2500 kg graan nodig heeft om te overleven, moet de opbrengst al 1000 kg per ha bedragen om de te bewerken oppervlakte tot 2,5 hectare te kunnen beperken. Dit is onder veel omstandigheden geen geringe opgave. Hiertoe wordt vaak een deel van het land dat het minst geschikt is voor akkerbouw geëxploiteerd met dieren op een zodanige wijze dat zoveel mogelijk van de mest op de akker belandt. De opbrengsten hangen dan direct samen met de hoeveelheid en de kwaliteit van de zo verzamelde mest. Omdat het hier om systemen gaat die veel meer open zijn voor stikstof dan voor de in circulatie blijvende mineralen, leidt dit op de duur haast altijd tot een situatie waarbij de groei in de eerste plaats wordt beperkt door stikstof. Onder deze omstandigheden hebben opbrengstverbeterende maatregelen zoals het gebruik van betere variëteiten, ziektebestrijding, mengteelt en dergelijke in de eerste jaren van toepassing vaak resultaat omdat de plant beter in staat is de stikstof in de grond te mobiliseren. Dit leidt echter tot verdergaande uitputting zodat na verloop van de tijd de opbrengsten weer waren als daarvoor, maar nu met extra werk. Bij fosfaatbemesting is de reden van opbrengstverhoging nogal eens dat het gewas in een vroeg stadium beter in staat is beslag te leggen op de door mineralisatie vrijkomende stikstof. Hiervoor geldt ook dat deze verbetering van de stikstofvoorziening maar tijdelijk is. Vroeger werd in West-Friesland van bekalking gezegd dat dit leidt tot rijke vaders en arme kinderen en we doen er goed aan dit gezegde in gedachte te houden bij het propageren van veranderingen in de traditionele landbouw die zijn gebaseerd op experimenten waarvan de duur die van de gebruikelijke contractperiode voor onderzoekprojecten niet overschrijdt.



aangenomen dat meer en meer van deze genoemde toegevoegde energie nodig is bij hogere opbrengsten. Het blijkt nu echter uit recente analyses van dezelfde onderzoeker (tabel I) dat de volledig gemechaniseerde maisteelt in de VS drie maal meer energie efficiënt is dan de traditionele teelt in Mexico, waar alle werk nog met de hand of met behulp van dieren wordt gedaan en geen kunstmeststoffen worden gebruikt. Het verschil met eerdere beschouwingen is het naar rato van werken in rekening brengen van de energieinhoud van het brandhout dat nodig is om voedsel te bereiden. Nu kan men vraagtekens zetten bij het nut van optellen van allerlei soorten energie van voedsel en brandhout voor koken tot de dieselolie die nodig is om een tractor te maken en te laten draaien. Deze beschouwingen laten echter wel zien dat, in tegenstelling tot wat eerder is beweerd, de wet van afnemende meeropbrengsten in elk geval niet op gaat wanneer het toegevoegde energieverbruik als onafhankelijke varia-

dan weer mogelijk wordt bij een betere beheersing van de eerste. Bij elk niveau van kennis is de onderlinge afstemming van groeifactoren beter mogelijk naarmate een kleiner aantal hun invloed doet gelden. Onder deze omstandigheden wordt de maximum produktie die mogelijk is bij het bestaande ontginningsniveau optimaal, terwijl dit maximum kan worden bereikt zonder overdosering van produktiemiddelen. Of de opbrengstmogelijkheden dan nog weer moeten worden vergroot door verdergaande structurele verbeteringen die veel kapitaalsinvesteringen vragen, is een ander probleem.

## Gesloten systemen

De vrijheid van handelen waarvan in het bovenstaande wordt uitgegaan, ontbreekt in de geheel traditionele landbouw, waarbij nauwelijks gebruik kan worden gemaakt van produktiemiddelen van buiten af. De analyse van deze gesloten systemen wordt

## Literatuur

1. Keulen, H. van en J. Wolf, 1985. Modelling of agricultural production: weather soils and crops. Simulation monographs, Pudoc, Wageningen
2. Pimentel, D., 1984 Energy flows in agricultural and natural ecosystems. Options Méditerranéennes. Serie études, Institut agronomique méditerranéen de Zaragoza.
3. Wit, C.T. de, 1981. Oude wijn in nieuwe zakken. *Landbk. Tijdschrift* 93, 10:257-262. □