

Problemen van de voedselproductie

Prof. dr. ir. C. T. de Wit

Landbouw Hogeschool, Wageningen

De lezing van prof. dr. ir. C. T. de Wit, gehouden op de jaarvergadering van de Afdeling Chemische Techniek op 27 januari jl., werd bewerkt door ir. H. Verschoor

In de vroege middeleeuwen lag de voedselproductie in West-Europa op een laag niveau, niet zozeer door een tekort aan water of een ongunstig klimaat, maar door gebrek aan plantvoedingsstoffen. Uitgedrukt in traditionele eenheden ($N + K_2O + P_2O_5$) was slechts 25 kg voedsel voor het gewas per ha per jaar beschikbaar. De doorbraak kwam rond 1840 toen de Duitse chemicus Liebig tot de conclusie kwam dat de plant uit de bodem alleen water, mineralen en stikstof voor zijn groei nodig heeft. Wel duurde het nog enkele tientallen jaren voordat de boer de beschikking kreeg over kunstmeststoffen.

De voedselproductie in de Westerse wereld ondergaat nu meer beperkingen, die een gevolg zijn van de eigenschappen van de gewassen en de beschikbaarheid van de zonnestraling met daarop gesuperponeerd de gevolgen van de beschikbaarheid van water en de eigenschappen van de grond.

Fotosynthese en opbrengst

Landbouw is de menselijke bezigheid, waarbij zonne-energie aan het aardoppervlak met behulp van plant en dier wordt omgezet in eetbare chemische energie. De basis van de landbouwproductie ligt in de fotosynthese, d.w.z. het vermogen van de planten om door middel van het bladgroen (chlorophyl) water en koolzuur om te zetten in koolhydraten. De minimaal benodigde energie om CO_2 te reduceren tot CH_2O is 8 lichtquanta. Het theoretisch rendement van de reactie is ongeveer 25% of $15 \cdot 10^{-6} g CO_2$ per joule licht, geabsorbeerd door het chlorophyl. Ten gevolge van onontkoombare verliezen is het maximaal gemeten rendement (8 tot $12 \cdot 10^{-6} g CO_2$ per joule. De maximale lichtintensiteit is ongeveer $3 \text{ joule cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$, zodat een fotosynthetische opbrengst van $150 \text{ kg } CH_2O \text{ ha}^{-1} \text{ hr}^{-1}$ mogelijk lijkt. Dit maximum rendement wordt echter alleen bij lage lichtintensiteit bereikt.

Bij hoge lichtintensiteit is het CO_2 -transport vanuit de lucht door het bladoppervlak naar de plaats, waar de eigenlijke reactie plaatsvindt, de limiterende factor en de maximale fotosynthese voor bladeren van vele gewas-soorten is daarom slechts $20 \text{ kg } CH_2O \text{ ha}^{-1} \text{ hr}^{-1}$, hetgeen bereikt wordt bij een lichtintensiteit van $1 \text{ joule cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$. De fotosynthetische reactie is niet sterk temperatuurafhankelijk en verloopt gewoonlijk bij normale snelheid als de gemiddelde dagtemperatuur boven $10^\circ C$ is. Men moet echter wel bedenken dat een gewas op een veld niet een groen laken is, maar dat de bladeren min of meer willekeurig over de plant verdeeld zijn zodat het effectieve oppervlak ongeveer 4 maal zo groot is als het bedekte

grondoppervlak. Het licht wordt derhalve over een bladoppervlak gedistribueerd, dat groter is dan het grondoppervlak, wat erop neerkomt dat de gemiddelde lichtintensiteit kleiner is. Men kan dan een maximale fotosynthese van een gewas verwachten tot $60 \text{ kg } CH_2O \text{ ha}^{-1} \text{ hr}^{-1}$, wat beduidend hoger is dan de 20 kg van de individuele bladeren. De basis voor de berekeningen van de fotosynthese is de laatste twaalf jaar ontwikkeld op grond van goed geëvalueerde modellen van lichtverdeling en de hierop aansluitende fotosynthese. De 'suikers' die tijdens het fotosynthetisch proces gevormd worden, worden niet als zodanig opgeslagen, maar worden door de plant gebruikt om wortels, stengel, blad, bloesem en vrucht te vormen. Dit vergt energie. En berekeningen gebaseerd op de hierbij betrokken biochemische processen hebben aangetoond dat zelfs met een goed groeiend gewas 35% van de fotosynthetische producten wordt gebruikt in de ademhalingsprocessen, die deze energie leveren. Met het kwantitatieve beeld, dat men van de fotosynthese heeft opgebouwd, is men nu zover dat het mogelijk lijkt om met redelijke nauwkeurigheid het dagelijkse verloop van de netto- CO_2 assimilatie te simuleren. Voor Nederlandse omstandigheden lijkt de groeisnelheid van een goed aangesloten gewasoppervlak, dat bovendien voldoende water en voedingsstoffen krijgt gedurende het groeiseizoen, ongeveer $200 \text{ kg droge stof ha}^{-1} \text{ dag}^{-1}$ te bedragen. De groeisnelheid van algencultures is van dezelfde orde van grootte, maar dit vergt technische constructies die duurder zijn om te bouwen en te bedrijven dan de kassen, waarin groenten en bloemen worden gekweekt.

Bij een gewas als graan komt de groei het eerst tot uiting in de vorming van wortels, stengel en blad, maar na de bloei gaat de zaadvorming overheersen. Het stadium, waarin de aren zich met zaad vullen, kan ongeveer 50 dagen duren in een omgeving vrij van ziekten. Onder die omstandigheden kan de zaadopbrengst, zoals blijkt uit tabel 1, $10\,000 - 11\,000 \text{ kg}$ per ha bedragen.

Wereld-voedselbronnen

De modellen kunnen worden gebruikt om de voedselproductie die op wereldschaal is te bereiken te berekenen, afhankelijk van straling en temperatuur. Aannemend dat al het landoppervlak optimaal wordt voorzien van water en voedingsstoffen, zou het totaal aan geproduceerd voedsel voldoende zijn om in de behoefte van $1000 \cdot 10^9$ mensen te voorzien. Dit aantal mensen zou van de aarde kunnen leven, maar ruimte om op aarde te leven zou dan ontbreken. Er zijn echter vele andere beperkingen aan de opbrengsten en die, welke betrekking hebben op de beschikbaarheid van water en de geschiktheid van de bodem vormen het onderwerp van een studie van Buringh, Van Heemst en Staringh (1974). Hiertoe heeft men 222 bodemgebieden onderscheiden op basis van de FAO internationale bodemkaarten (fig 1).

Voor ieder bodemgebied is vervolgens een schatting gemaakt van het landoppervlak, dat met de bestaande technieken cultuurrijp kan worden gemaakt. Dit oppervlak is voor ieder bodemgebied op de kaart aangegeven d.m.v. arceringen. De ongearceerde gebieden geven het land aan dat ongeschikt is voor landbouwdoeleinden, maar dat ten dele wel te gebruiken is voor het weiden van vee en voor houtwinning.

Op basis van gegevens omtrent lichtstraling en temperatuur is de potentiële productie van het land in ieder bodemgebied berekend en uitgedrukt in $\text{kg graan equivalent per ha per jaar}$. Daarnaast is ook, gebruikmakend van gegevens omtrent luchtvochtigheid en wind, een schatting gemaakt van de potentiële verdamping* volgens de methode van

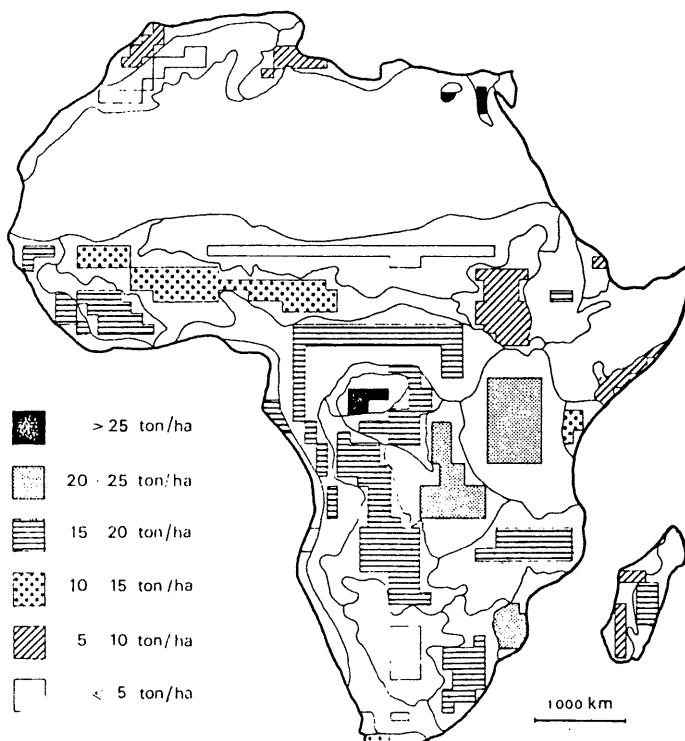
* Ongeveer te vergelijken met de verdamping van een vrij wateroppervlak

Penman (1948). Als gevolg van een tekort aan water of van beperkingen verband houdend met de eigenschappen van de bodem zal de potentiële produktie niet altijd worden bereikt. Op maandbasis is de hoeveelheid water die beschikbaar is, berekend uit regenval, fysische eigenschappen van de bodem en potentiële verdamping. Vervolgens is een reductiefactor ingevoerd voor de opbrengst die direct verband houdt met de verhouding beschikbaar water/potentiële verdamping. Voor ieder gebied zijn de mogelijkheden tot irrigatie geëvalueerd op basis van bestaande en geprojecteerde irrigatieprojecten.

Reductiefactoren op basis van eigenschappen van de bodem houden verband met bewerkbaarheid, zuurgraad en mogelijkheden tot bekalking, fosfaatfixerende eigenschappen, erosiegevoeligheid e.d. en zijn in overleg met deskundigen ingeschat. Gebruikmakend van de kleinste reductiefactor voor bodem en water is – uitgaande van de potentiële produktie – een berekening gemaakt van de maximaal bereikbare produktie. Deze maximale produktie is op de kaart (zie fig 1) in zes groepen verdeeld, lopend van 25 000-30 000 kg tot 0-5 000 kg graan-equivalent per ha.

Ongeveer 24% van het afrikaanse continent is potentieel landbouwgebied, maar hiervan is slechts 20% in cultuur gebracht en de opbrengst is maar een fractie van de opbrengst, die maximaal mogelijk is: in de orde van grootte van 1000 kg graan-equivalent per ha.

Fig 1: de onontgonnen gebieden in Afrika met daarin de potentiële landbouwgebieden en de te verwachten opbrengsten, in kg graan eq/ha/jaar, waarbij rekening is gehouden met de hoeveelheid beschikbaar water en de bodemgesteldheid



Tabel 1: opbrengst en oogstkarakteristieken van wintertarwe behandeld met en zonder fungiciden (De Vos, 1976)

	Fungiciden	
	met	zonder
Zaadopbrengst kg/ha	10 100	7 630
Totale opbrengst kg/ha	21 780	17 460
Stikstofopname kg/ha	213	211
Proteïnegehalte, zaad %	11,7	12,3
Bladoppervlak duur m ² blad × dagen/m ² grond	26,4	18,4
Bladoppervlak index bij aanzetting m ² blad/m ² grond	5,7	5,7

Voor de wereld in zijn geheel blijkt ca 25% van het landoppervlak (d.i. 3420 miljoen ha) potentieel bebouwbaar te zijn, waarvan 470 miljoen ha geïrrigeerd kan worden. Heden ten dage is 1400 miljoen ha in cultuur gebracht en wordt 200 miljoen ha geïrrigeerd. De maximale produktie is 50 miljard ton graan-equivalent, hetgeen bijna 50 maal de huidige graanproduktie is, waarbij bedacht moet worden dat op 65% van het land graan wordt geteeld. Deze hoeveelheid zou in de calorieën-behoefte van 100 miljard mensen kunnen voorzien, maar neemt men een redelijke variatie in dieet en gebruik van vee in aanmerking, dan lijkt 40 miljard een betere schatting. Nemen we een interval van 30 jaar voor verdubbeling van de wereldbevolking, dan geeft dit ons een periode van respijt van iets meer dan 100 jaar, tot de dag van het noodlot, wat niet zo heel lang is gezien de omvang van het probleem. Opgemerkt moet worden dat de berekende pro-

duktie betrekking heeft op een opbrengst die bereikt kan worden door middel van bestaande gewassoorten, door gebruik te maken van bestaande technieken voor verbetering, bemesting en teelt en onder afwezigheid van plantenziektes en andere rampen. De berekening wil niet suggereren dat deze beperkingen gemakkelijk op te heffen zijn en dat de wereldbevolking ongelimiteerd kan toenemen. Zij geeft aan dat niet zozeer het gebrek aan mogelijkheden, maar de menselijke bekwaamheid tot een goede organisatie van de voedselproduktie te komen, de kern vormt van het wereldvoedselprobleem.

Het produktiepatroon

Het bestaan van samenlevingen die vrijwel geheel drijven op landbouw toont aan dat het mogelijk is voldoende voedsel te verbouwen zonder enig ander produktiemiddel dan grond en de arbeid van de gebruiker van de produkten. Een toenemende stedelijke bevolking kan echter alleen onderhouden worden wanneer opbrengstverhogende en arbeidsvervangende produktiemiddelen in toenemende mate ter beschikking komen van de agrarische beroepsbevolking. In dit verband wordt verwezen naar een analyse van het MOIRA-team (Linneman et al, 1976 vu Amsterdam), waarbij de landbouwkundige produktie per land gerelateerd wordt aan de potentiële mogelijkheden en de beschikbaarheid van arbeid, arbeidsvervangend kapitaal (tractoren) en van middelen tot produktieverhoging (meststoffen). Hiertoe wordt het opbrengst-potentieel van een land uitgedrukt in totaal oppervlak-potentieel agrarisch land (PAL = potential arable land) in ha en de maximale produktie Y_m per ha PAL. Neemt men de werkelijke opbrengst Y_{ook} per ha PAL dan is het puotiënt (Y/Y_m) een directe maat voor de exploitatiegraad van de beschikbare produktiebron. De produktie wordt voor dit doel uitgedrukt in kg consumeerbaar proteïne zulks om een meer direct verband te hebben met de stikstofkringloop. De hoeveelheid consumeerbare proteïne is de hoeveelheid plantaardige proteïne, geschikt voor menselijke consumptie plus de dierlijke eiwitten verkregen uit plantaardige eiwitten, die niet voor menselijke consumptie geschikt zijn. Een deel van de produktiecapaciteit van consumeerbare

proteïne wordt opgeofferd aan niet-voedingsstoffen en gaat bij de verwerking verloren, speciaal bij de vleesproduktie op basis van graan. De hoeveelheid consumeerbare proteïne is derhalve groter dan de geconsumeerde hoeveelheid maar het verschil hangt voor een groot deel af van het inkomenniveau van de gebruiker, zoals tabel 2 laat zien.

Aangezien gegevens slechts in beperkte mate beschikbaar waren, werd de beschikbare arbeid proportioneel gesteld aan de agrarische bevolking (A), de beschikbaarheid van arbeidsvervangende middelen evenredig aan het aantal tractoren (T) en de middelen om de produktie te verhogen evenredig aan het gebruik (in kg) van kunstmest (F), alles uitgedrukt per ha PAL.

De gegevens van 106 landen werden statistisch verwerkt op basis van een vergelijking voor equivalente arbeid (L):

$$L = A + K_1 \cdot (\sqrt{T + K_2} - \sqrt{K_2}) \quad (1)$$

en de vergelijking voor de opbrengst (Y):

$$Y = \frac{E \cdot L}{E \cdot L + Y_m} \cdot Y_m \quad (2)$$

De numerieke waarde van K_1 blijkt 22 te zijn en een correctieterm K_2 voor lage dichtheid aan tractoren werd gesteld op 0,0004.

De substitutie-vergelijking voor arbeid en tractoren is in figuur 2a weergegeven voor een arbeidsequivalent van 2 en 4 eenheden per ha. Het blijkt dat het mechanisatie-niveau meer dan proportioneel toeneemt met de vervanging van de agrarische bevolking. Verder suggereert vergelijking (1), dat het mogelijk is landbouwproduktie te verwezenlijken zonder inzet van tractoren of zonder gebruik van arbeid. Het eerste is een feit, maar automatisering is nog niet zover dat laatstgenoemde extrapolatie al te letterlijk moet worden opgevat. De vergelijking voor de opbrengst nadert tot $Y = E \cdot L$

als L nadert tot nul, waarin E de initiële efficiency van het gebruik van equivalente arbeid is. De numerieke waarde van E blijkt 51 kg consumeerbare proteïne te zijn per eenheid van L of per hoofd van de agrarische bevolking per jaar, onder omstandigheden dat geen tractoren worden gebruikt. Dat is ongeveer 2 maal de behoefte aan voedsel en dit betekent dat in een land met een schaarse bevolking deze kan bestaan in gebieden die het meest geschikt zijn voor landbouw.

Figuur 2b toont de relatie tussen opbrengst en equivalente arbeid voor het gebied dat van praktische betekenis is.

Het resultaat van de statistische bewerking blijkt uit figuur 3a, waar het verband is gegeven tussen gemeten en geschatte opbrengst. Ofschoon er nogal strooiing is van de punten, is voor econometristen de multiple correlatie-coëfficiënt met een waarde

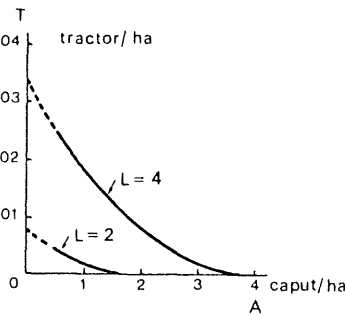


Fig 2a: het verband tussen arbeid (per hoofd van de landbouwbevolking) en arbeid vervangend kapitaal (in aantal tractoren) per hectare landbouwgrond voor twee niveaus van vervangende arbeid

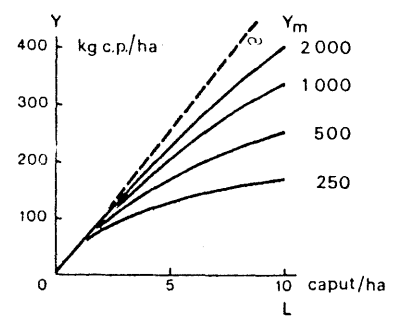


Fig 2b: het verband tussen opbrengst (Y), maximale opbrengst (Y_m) en de hoeveelheid arbeid (L) per hectare

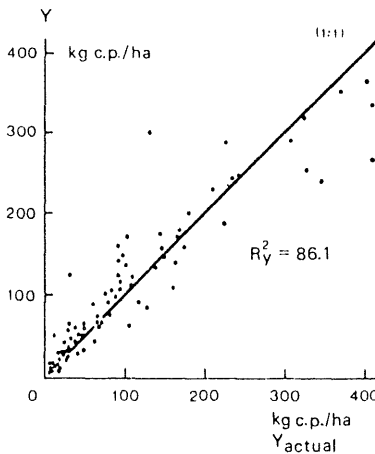


Fig 3a: het verband tussen de geschatte en gemeten opbrengst per hectare landbouwgrond van meer dan 100 landen

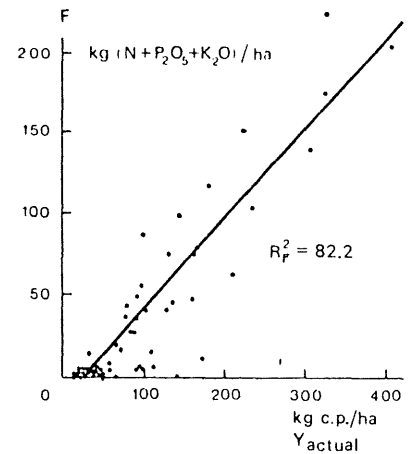


Fig 3b: het verband tussen de opbrengst consumeerbare proteïne (in kg) en het gebruik van kunstmest (in kg) per hectare van meer dan 86 landen. De gegevens van drie landen met een hoog kunstmestverbruik op niet-landbouwgronden zijn niet vermeld

boven 0,8 bruikbaar.

De analyse gaat ervan uit dat in ieder land de toegepaste teeltmethoden de juiste zijn voor een rationeel gebruik van de equivalente arbeid. Een meetbare factor is het gebruik van kunstmest voor de produktie van consumeerbare plantaardige proteïne, zoals weergegeven in figuur 3b als functie van de opbrengst uitgedrukt per eenheid potentieel bebouwbaar land. Ook hier is er nogal strooiing van de gegevens, maar de grafiek

toont de mate waarin kunstmest moet worden gedoseerd, als het niveau van de opbrengst boven een basisniveau komt van ongeveer 80 kg consumeerbare proteïne per ha land effectief bebouwd.

Nemen we als voorbeeld een land X met een totale bevolking van vijf personen per ha PAL en met een dieet van 50 kg consumeerbare proteïne per hoofd per jaar, dan is het verbruik aan proteïne 250 kg per ha PAL en bij

Tabel 2: consumeerbare proteïne en geconsumeerde proteïne, afhankelijk van inkomen (basis 1965) per persoon per jaar (model MOIRA)

Inkomen groep (in \$)	Consumeerbare proteïne (in kg)	Geconsumeerde proteïne (in kg)	Verhouding
100	24	19	0,80
100-200	27	20	0,73
200-400	32	22	0,69
400-800	49	29	0,59
800-1600	70	33	0,47
1600	98	35	0,35

een maximale produktie van 2000 kg consumeerbare proteïne per ha PAL is de benodigde equivalente arbeid per ha 5,7 eenheden. Als nu de agrarische bevolking 20% bedraagt of één persoon per ha PAL, dan volgt uit de substitutievergelijking, dat het mechanisatie-niveau gekarakteriseerd wordt door 0,054 tractoren per ha PAL en uit figuur 3b volgt dat de kunstmest-behoefte 125 kg per ha PAL bedraagt. Zou daarentegen de potentiële voedingsbron verminderen tot 500 kg consumeerbare proteïne per ha PAL, dan stijgt de dichtheid aan equivalente arbeid tot 10 eenheden en het mechanisatie-niveau tot 0,184 tractoren, beide per ha PAL. Op dezelfde wijze kan het gevolg van veranderingen in bevolkingsdichtheid, dieet en percentage agrarische bevolking in eerste benadering worden geëvalueerd.

Een ander probleem heeft betrekking op de jaarlijkse groei in opbrengst die op het eerste gezicht op een enigszins verrassende wijze afhangt van het opbrengstpeil. Dit wordt geïllustreerd in figuur 4 waar de graanopbrengsten in kg per ha werkelijk bebouwd areaal voor de belangrijkste gebieden op een doorlopende schaal voor de periode 1954-1973 zijn weergegeven. Bij een opbrengstniveau, dat lager is dan 1700 kg/ha, is de groeisnelheid van de opbrengst slechts 17 kg/ha/jaar, maar boven dit opbrengstpeil stijgt de groeisnelheid tot 78 kg/ha/jaar. Klaarblijkelijk geeft het breekpunt het opbrengstniveau weer, waarbij de overgang van de traditionele landbouw met weinig hulpmiddelen van buitenaf, naar de moderne landbouw, waarbij op ruime schaal externe hulpbronnen worden toegepast, plaatsvindt. Juist beneden dit opbrengstniveau is de relatieve jaarlijkse groei slechts 1%, hetgeen veel te weinig is om de bevolkingsgroei bij te houden. De nadruk komt dan te liggen op een vergroting van het te bebou-

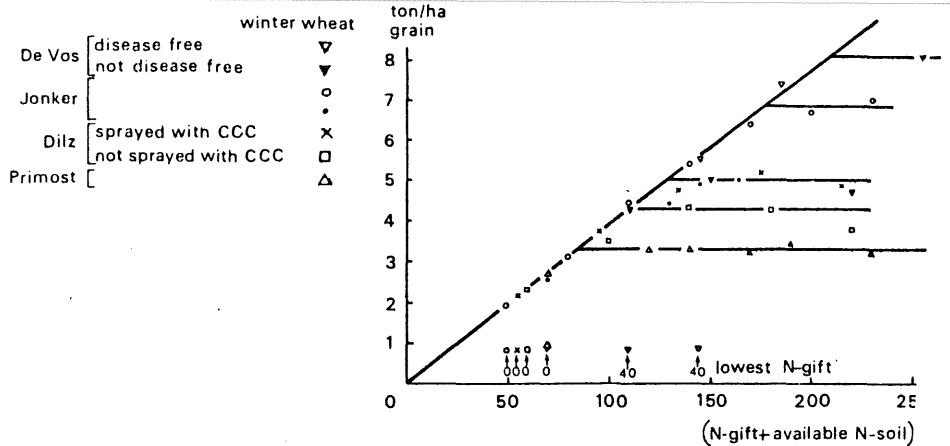


Fig 5: de relatie tussen de opbrengst van wintertarwe en de bij proefnemingen gebruikte stikstof, variërend van 3000-8000 kg/ha. De grafiek is gecorrigeerd met betrekking tot de in de grond aanwezige stikstof

wen areaal en het vermijden van hongersnood. Juist boven dit opbrengstpeil is de relatieve jaarlijkse groei 4,5%, hetgeen meer is dan de bevolkingsgroei in de betreffende landen. De nadruk verschuift dan van het uit productie nemen van land, dat marginaal is, naar het omzetten van primaire produkten en de fabricage van luxegoederen. De overgang van de meer traditionele omstandigheden naar de moderne landbouw, heeft men in Rusland trachten te verwezenlijken bij een opbrengstpeil van 1100 kg/ha, maar gezien de strooiing van de opbrengstcijfers, met niet al te veel succes. Het lijkt op China juist op het breekpunt van 1700 kg/ha/jaar zit en dit verklaart waarom in het huidige vijfjarenplan zoveel aandacht wordt gegeven aan het gebruik van kunstmest.

Meststoffen

Uit figuur 3b blijkt dat de behoefte aan meststoffen min of meer lineair toeneemt met het opbrengstniveau. Dit lijkt in tegenspraak met de verwachting van vermindere-

ring in opbrengst bij hogere meststofbelasting. Maar doordat terzelfder tijd andere teeltmethoden worden toegepast, leidt dit toch tot een situatie waarbij het meststofverbruik proportioneel stijgt met de opbrengst. Dit wordt geïllustreerd in figuur 5 die betrekking heeft op het effect van stikstof op de groei van graan in Nederland onder omstandigheden waarbij het mogelijk is verschillende niveaus voor maximale opbrengst toe te passen. Onafhankelijk van het opbrengstniveau is het rendement van het gebruik van meststof hetzelfde, althans tot een niveau van 80% van de potentiële opbrengst. Op dit niveau of hoger is de toename in de opbrengst voornamelijk een gevolg van een verlenging van de groeiperiode door betuigeling van ziekten. Dezelfde stikstof wordt dan gedurende een langere periode gebruikt en voor een groter gedeelte opgenomen in de zaden, zoals blijkt uit tabel 1. Proeven met grasland hebben aangetoond dat de toegediende stikstof volledig wordt teruggewonnen als het potentiële opbrengstniveau wordt bereikt, terwijl een terugwinning van 50% meer gebruikelijk is op lagere opbrengstniveaus, wanneer de gewasgroei minder onder controle staat. Wat de fosfaten betreft is vastgesteld dat bij betrekkelijk lage opbrengstniveaus op gronden met een betrekkelijk lage fosfaatconditie, slechts een klein gedeelte van het gedoseerde fosfaat door de plant wordt opgenomen en dat verreweg het grootste gedeelte wordt gebonden in ijzer- en aluminiumverbindingen in een voor de plant niet opneembare vorm. Voortgezet gebruik van het land bij stijgende opbrengstniveaus leidt tot een situatie, waarbij een groot gedeelte van de ijzer- en aluminiumverbindingen verzadigd raakt. In Nederlandse omstandigheden heeft dit verschijnsel ertoe geleid dat men adviseert de fosfaatdosering zodanig te regelen dat deze vergelijkbaar is met de mate van afname door het geoogste produkt. Kalk wordt gegeven om de p_H van de grond te beheersen. Een p_H van tegen de 6 is noodzakelijk voor redelijke opbrengsten,

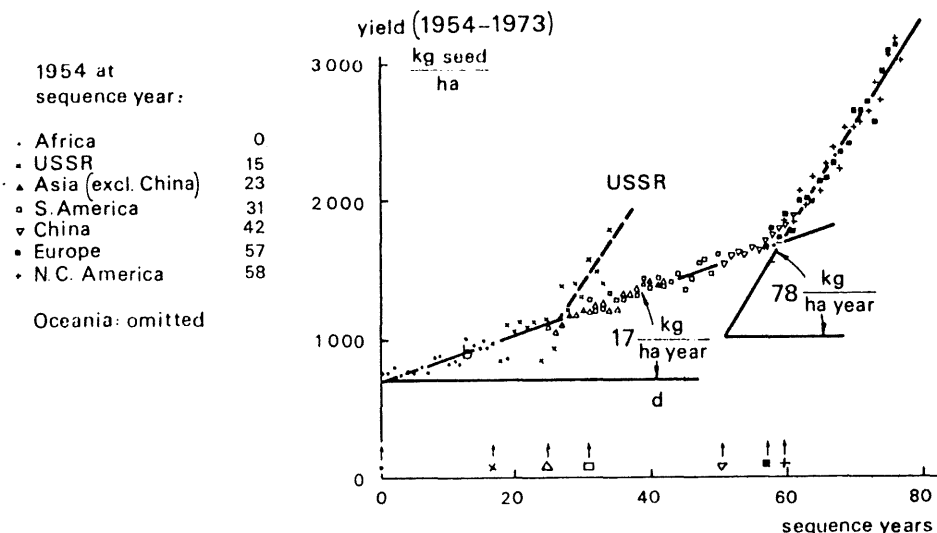


Fig 4: opbrengsten van 1954-1973 in de door de FAO aangewezen hoofdgebieden, uitgezet tegen een continue tijdschaal. De situatie van 1954 is voor ieder gebied met een pijl aangegeven. Oceanië, met een gemiddelde opbrengst van 1200 kg/ha, is niet aangegeven door de te grote fluctuaties in de opgegeven opbrengsten

maar terzelfder tijd voldoende voor hoge opbrengsten zodat het kalkverbruik niet stijgt bij stijgende opbrengsten. Dit alles leidt tot de belangrijke conclusie dat de mate van meststofdosering in het gebied van gemiddelde tot hoge opbrengstniveaus relatief afneemt zodat de rechte-lijn-betrekking van figuur 3b zeker naar hogere opbrengstniveaus geëxtrapoleerd mag worden.

Zoals te verwachten is het wereldverbruik van meststoffen met de groeiende productie van landbouwproducten gedurende de laatste decennia sterk toegenomen (fig 6) en men zou zich kunnen afvragen of er voldoende reserves zijn. Een analyse van het MOIRA-team is in dit opzicht geruststellend. Met betrekking tot het fosfaatverbruik blijkt dat de tegen huidige prijzen winbare fosfaathoeveelheden ca 10 maal groter zijn dan de behoeften tot het jaar 2000. Kalium blijkt in vrijwel onuitputtelijke hoeveelheden beschikbaar te zijn. Stikstof, in zijn elementaire vorm volop in de lucht aanwezig, moet tot ammoniak of nitraat worden omgezet, alvorens door de plant te kunnen worden opgenomen. Dit vergt energie zodat de stikstofvoorziening nauw samenhangt met die van energie.

Energie

Zoals hiervoor opgemerkt, wordt landbouw gedefinieerd als de menselijke bezigheid die zonne-energie omzet in eetbare chemische energie door middel van planten en dieren. Daarenboven is fossiele en menselijke energie nodig om alle produktiemiddelen te maken en het boerenbedrijf gaande te houden. In plaats van één, dienen dus drie energiestromen in de beschouwing betrokken te worden. Maximalisering van het gebruik van de een houdt niet automatisch in dat ook de andere gemaximaliseerd worden. Ten einde de arbeids- en energieproductiviteit van landbouwbedrijfssystemen te beoordelen, kan niet volstaan worden met beschouwingen over het energie- en arbeidsverbruik direct op de boerderij, maar dient ook het indirecte verbruik van arbeid en energie gedurende de fabricage en het transport van gebruikte produktiemiddelen in de beschouwing te worden betrokken. De som van direct en indirect verbruik van arbeid en energie wordt de toegevoegde arbeid en de toegevoegde energie genoemd. Het bepalen van de toegevoegde energie en arbeidsinhoud van de belangrijkste produkten kan een waardevol hulpmiddel worden om te anticiperen op gevolgen van stijgende energieprijzen en het optreden van energieschaarste. Maar dit vergt wel een interdisciplinaire aanpak van economen en technici. Op basis van recente gegevens blijkt dat het toegevoegde energieverbruik van de Nederlandse akkerbouw 35 GJ/ha/jaar bedraagt, waarvan ongeveer de helft direct op de boerderij en iets minder dan de helft indirect

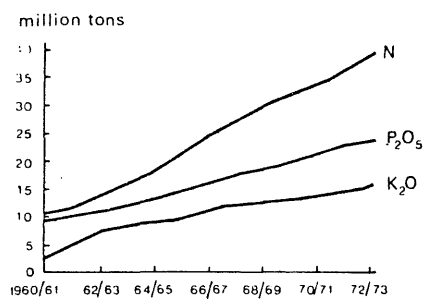


Fig 6: het kunstmestverbruik in de wereld sinds 1960

in de toeleveringsbedrijven, d.w.z. speciaal in de kunstmestfabricage. De fabricage van bijv. ammoniumnitraat, gereed voor gebruik op het land vergt 100 MJ/kg N of 10 GJ/ha bij een bemestingsdichtheid van 100 kg N/ha/j. Merkwaardig genoeg blijkt dat onafhankelijk van het nationaal inkomen per hoofd van de bevolking van een land het energieverbruik voor stikstoffabricage ongeveer 1,4% van het totaal energieverbruik bedraagt, terwijl het energieverbruik voor agrarische doeleinden ruwweg 5% van het totaal is in de meer ontwikkelde landen. Deze hoeveelheid is klein genoeg om te concluderen, dat de mens geen honger zal lijden als gevolg van een gebrek aan energie, maar anderzijds is het verbruik van voldoende omvang om een meer efficiënte toepassing na te streven. Het verbruik van toegevoegde arbeid in de akkerbouw blijkt ongeveer 0,084 man/ha/jaar te bedragen waarvan het grootste gedeelte - 0,067 man/ha/jaar - direct op de boerderij. Het toegevoegde energieverbruik van 35 GJ/ha plus de toegevoegde arbeid van 0,084 man/ha resulteert in een opbrengst die 50% van de potentiële opbrengst bedraagt of 5000 kg tarwe/ha. De wetenschap dat in 1970 ongeveer 35 GJ/ha toegevoegde energie en 0,084 man/ha toegevoegde arbeid nodig was voor de productie van 5000 kg tarwe/ha stelt maar één punt voor in een iso-opbrengstdiagram met toegevoegde energie en arbeid langs de assen: d.i. het volgelopen punt in figuur 7. Wanneer men zou pogen akkerbouw te bedrijven met zo min mogelijk toegevoegde energie per ha zouden schop, hak en sikkel, in plaats van trekker en maaidorser worden gebruikt. Een historische analyse laat zien dat dan ca 0,4 man/ha nodig zouden zijn op het 5000 kg/ha opbrengstniveau. Maar om dit niveau te bereiken zouden meststoffen en andere opbrengstverhogende produktiemiddelen nodig blijven, in een hoeveelheid die overeenkomt met een toegevoegde energie van 15 GJ/ha. Het open punt in figuur 7 bij 15 GJ/ha en 0,4 man/h is dus een ander punt van de 5000 kg/ha iso-opbrengstcurve. In zijn geheel blijkt het energieverbruik per man ongeveer 420 GJ/jaar te bedragen, waarmee landbouw gerangschikt kan worden onder de industrieën met hoog energieverbruik per man. De helling van de curve ofwel de marginale waarde van energie ten opzichte

van arbeid is in de orde van 125 GJ/man. De stroom van energie naar landbouw en toeleverende industrieën moet dus met 125 GJ/jaar of 6 thermische kilowatt toenemen voor iedere man die vervangen wordt. Dit komt neer op nog geen tien gulden per dag en is dus veel kleiner dan de kosten van de te vervangen arbeid.

Het gebruik van toegevoegde arbeid was in de jaren vijftig ongeveer tweemaal groter dan in 1970, terwijl het toegevoegde energieverbruik ca 30% lager was. Deze combinatie van toegevoegde energie- en arbeidsverbruik is in het diagram van gelijke opbrengst (zie fig 7) voorgesteld door een vierkant. Dit punt ligt op de 5000 kg/ha curve, hoewel de tarwe-opbrengst in de jaren vijftig slechts 3500 kg/ha was. Het verschil in opbrengst karakteriseert daarom direct de toename in efficiëntie van de productie. Men kan ook stellen, dat gedurende de laatste 20 jaar in ons land de energieproductiviteit van de landbouw gelijk is gebleven, ondanks het feit dat de arbeidsproductiviteit met bijna het drievoudige is gestegen.

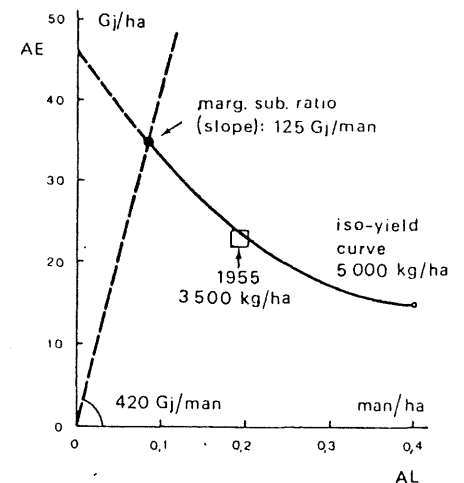


Fig 7: een indruk van de iso-opbrengst-curve van de tarweprodukten in Nederland bij een opbrengstniveau van 5000 kg/ha, met langs de as de toegevoegde energie en arbeid