

verleden, heden en toekomst

Landbouw zonder kunstmest

In de vroege Middeleeuwen hadden de vijftien monniken en enig personeel van het klooster 'St. Symphorien' in Antver in Frankrijk juist genoeg om te leven van het teveel dat geproduceerd werd door honderd families. Deze familiebedrijven hadden geen hogere opbrengst dan 800 kg graan van één hectare, en vanwege de slechte kwaliteit van het zaad en het vele onkruid was 200 kg van dit graan weer nodig voor zaaizaad. Ruwweg de helft van de netto-opbrengst van 600 kg per ha was nodig voor de trek-dieren en voor bier (de kwaliteit van het drinkwater was slecht en het vlees was zout!), zodat de overblijvende 300 kg per ha juist voldoende was om de mensen die het werk deden te voeden.

De lage opbrengsten in West-Europa werden niet zozeer veroorzaakt door een tekort aan water of een slecht klimaat, maar door een tekort aan plantenvoedsel. We weten nu dat, uitgedrukt in de traditionele eenheden ($N + P_2O_5 + K_2O$), er per jaar voor de groei van het gewas slechts 25 kg beschikbaar was en dat deze kleine hoeveelheid geen hogere produktie dan 1500 kg droge stof per ha mogelijk maakte. Daar alle planten bladeren nodig hebben en graan ook een halm om de aar te dragen, is maar ongeveer de helft van deze droge stof terug te vinden in het zaad. De belangrijkste bron waaruit voedingsstoffen voor de plant beschikbaar kwamen was de dierlijke mest: het relatief kleine prijsverschil tussen vlees en graan en de relatief grote vleesconsumptie in de Middeleeuwen wijzen er op dat het vee voornamelijk werd gehouden voor de mest en dat vlees min of meer een bijproduct was.

In de loop van de eeuwen slaagden de boeren er in de graanopbrengst op te voeren tot ongeveer 2000 kg/ha door het toepassen van een vruchtwisselingssysteem, waarin granen en andere voedingsgewassen werden

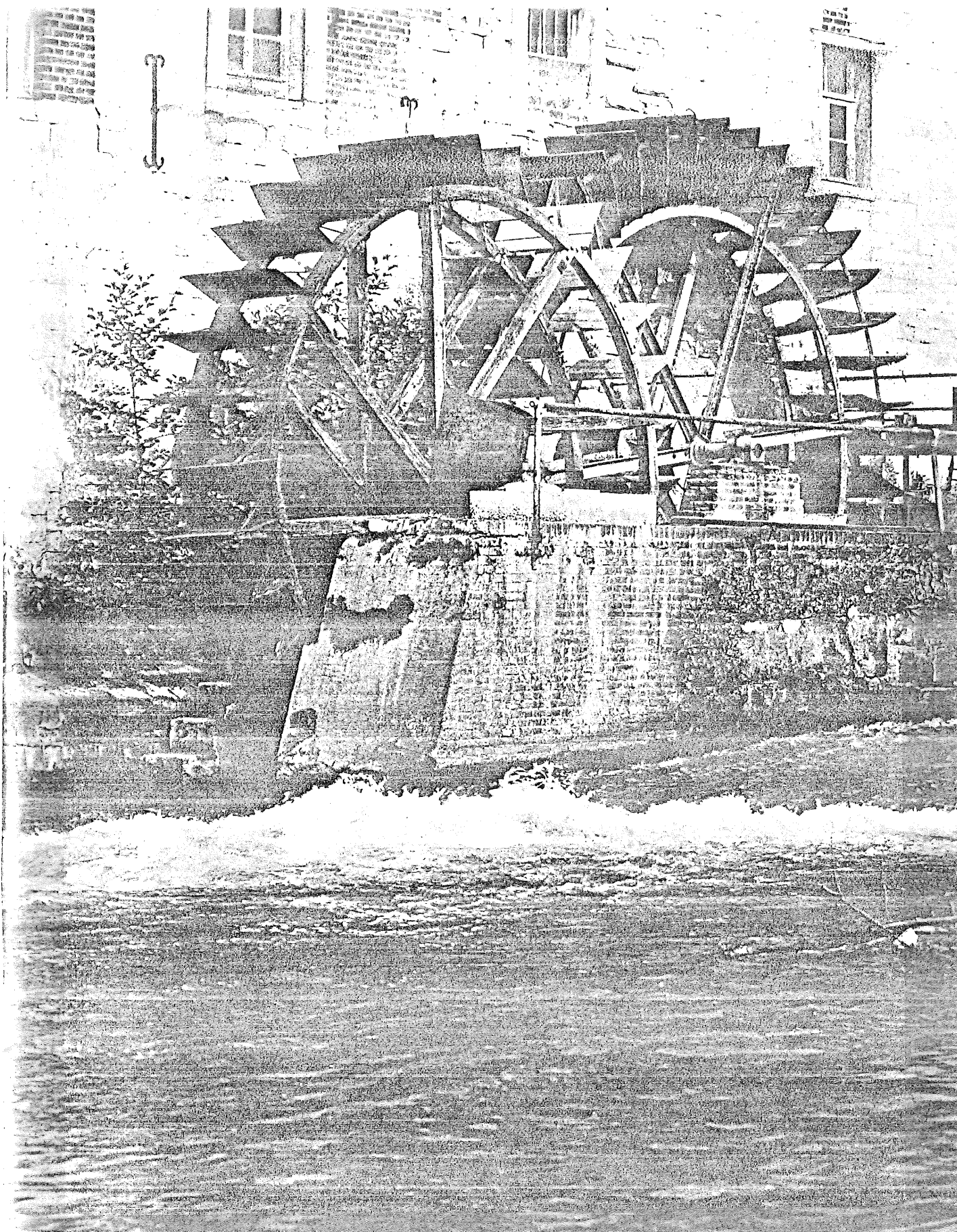
afgewisseld met klavers, grassen en andere gewassen voor de veevoeding. Alle mest werd zorgvuldig bewaard en ook aan de verzameling van stedelijke afval en faecaliën werd veel aandacht geschonken. Deze hogere opbrengsten bleven echter beperkt tot de meer of minder dichtbevolkte gebieden van West-Europa. In andere gebieden bleven de opbrengsten tot het begin van de 19e eeuw beperkt tot ongeveer 1000 kg/ha, althans de graanopbrengsten. Met het gewas aardappelen, dat in het midden van de 18e eeuw op de boerderijen geïntroduceerd werd, werden hogere opbrengsten bereikt.

Deze hogere opbrengsten waren niet zozeer een gevolg van een grotere produktie van organisch materiaal, maar meer van een betere verdeling daarvan over de organen — de aardappel heeft geen halm nodig om het zaad te dragen. Ongeveer 80% van de gevormde organische stof komt in de knol terecht, maar 20% wordt gebruikt voor stengels en bladeren. Het aantal mensen dat kon leven van één hectare werd daardoor ongeveer tweemaal zo groot en dit maakt duidelijk — meer dan de smaak — waarom dit gewas zo populair werd.

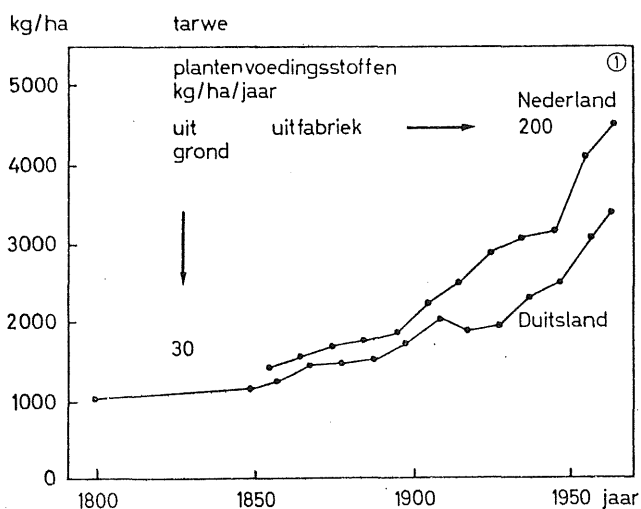
De nadelen van de aardappel waren, en zijn nog steeds, de slechte houdbaarheid en de grote gevoeligheid voor allerlei ziekten. Beide factoren droegen bij tot de honger in West-Europa in de vorige eeuw en zijn nu nog de oorzaak van grote prijschommelingen.

Landbouw met kunstmest

De doorbraak kwam in 1840 toen Liebig, een Duits chemicus, bewees dat de plant alleen water, mineralen en stikstof uit de grond nodig heeft en dat organische mest op zichzelf niet van belang is voor de voeding van de plant. In die tijd bleek ook dat er, zoals reeds gezegd, slechts 25 kg plantenvoedende elementen voor het gewas beschikbaar waren als niet werd be-



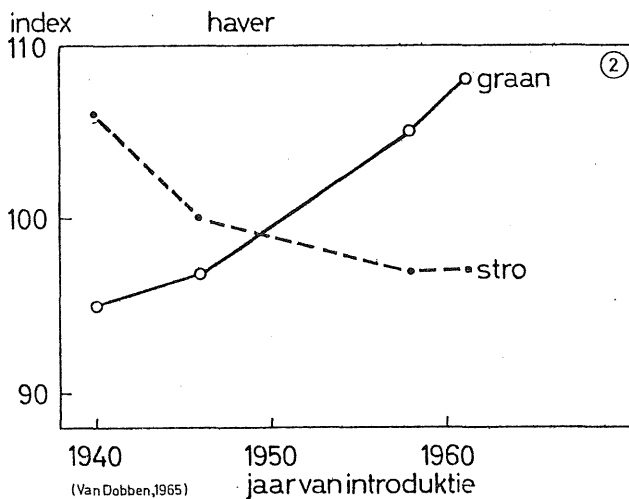
mest. Door minerale bemesting kon deze hoeveelheid, en dus ook de opbrengst, vervieelvoudigd worden. Het heeft nog vele tientallen jaren geduurd voor de landbouwer met deze kennis vertrouwd raakte en voordat de industriële produktie van minerale meststoffen van start ging. Maar van toen af wijzigden de omstandigheden zich snel, zoals uit figuur 1 blijkt, waarin de opbrengst van tarwe in Duitsland en Nederland wordt gegeven vanaf 1800. De huidige gemiddelde tarwe-opbrengsten in Nederland liggen boven 5000 kg/ha, een tienvoudige toename dus ten opzichte van de Middeleeuwen. De tegenwoordige hoge opbrengsten konden worden bereikt doordat nu meer dan 200 kg plantenvoedingsstoffen per jaar worden verstrekt, naast de grote hoeveelheden plantenvoedende elementen, die op het bouwland komen via stalmest van vee dat gedurende de winter leeft van geconserveerd gras en geïmporteerd voer.



Figuur 1. Tarweopbrengsten in Duitsland en Nederland sedert 1800.

De met minerale mest bereikte opbrengstverhoging kon alleen gerealiseerd worden dank zij nieuwe, hoger produktieve rassen en variëteiten. Sommige gewassen, zoals boekweit, waren niet aangepast en verdwenen, maar bij de granen werden de slappe, sterk uitstoevende rassen geleidelijk vervangen door rassen met stevig stro. Dat dit een geleidelijk proces is, wordt in fig. 2 geïllustreerd. De index-cijfers van zaad- en stro-opbrengst van Nederlandse haverrassen zijn daar uitgezet tegen het jaar van introductie. Dit proces van aanpassing is zeker vanaf 1840 al aan de gang. We moeten ons echter steeds realiseren dat de mate van opbrengststijging gedurende de laatste honderd jaar niet zozeer werd gelimiteerd door technische mo-

gelijkheden, maar meer door de vraag naar voedsel en door de mogelijkheid van de bevolking voor dat voedsel te betalen. Sinds het midden van de 19e eeuw waren de boeren in staat al het voedsel te produceren dat nodig was, maar pas gedurende de laatste 20 jaar is de verdeling van de inkomens zodanig geworden (in West-Europa) dat iedereen het voedsel kan kopen dat hij wenst, wat — helaas — niet altijd het voedsel is dat voor het welzijn het beste is.



Figuur 2. Index-cijfers voor de opbrengst van graan en stro van havervariëteiten die in hetzelfde jaar en op dezelfde plaats werden verbouwd, in verhouding tot die in het jaar van invoering van de variëteit.

Potentiële produktie

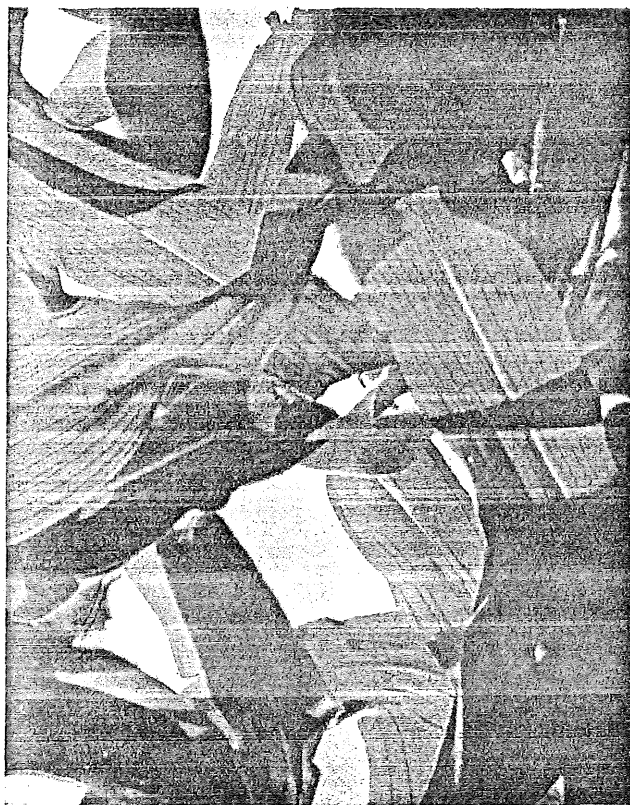
Zoals uit figuur 1 blijkt, neemt de opbrengst van landbouwgewassen nog steeds snel toe, ondanks het reeds hoge niveau van 5000 kg/ha dat voor tarwe reeds wordt bereikt. Deze toename in opbrengst kan niet onbeperkt doorgaan, en de vraag rijst wat de maximale opbrengsten zijn die bereikt kunnen worden met goede variëteiten, goed voorzien van mineralen, stikstof en water.

De totale produktie van organische stof onder dergelijke condities hangt af van de snelheid van het fotosyntheseproses in de groene bladeren van een gewas (fig. 3). Dit is het proces waarbij met behulp van zonne-energie, koolzuur uit de lucht en water wordt omgezet in energierijke suiker. Voor een enkel blad is de fotosynthese evenredig aan de lichtintensiteit bij lagere intensiteiten, maar bij hoge lichtintensiteit wordt de maximum waarde van de fotosynthese bereikt. Het verband tussen fotosynthese en lichtintensiteit voor een suikerbietenblad wordt in fig. 4 getoond. De helling van deze curve blijkt niet veel te variëren bij de verschillende plantensoorten. De pro-

duktie aan suiker ligt in de buurt van 3,6 kg per ha per uur voor iedere door de bladeren geabsorbeerde 0,01 cal/cm² per minuut.

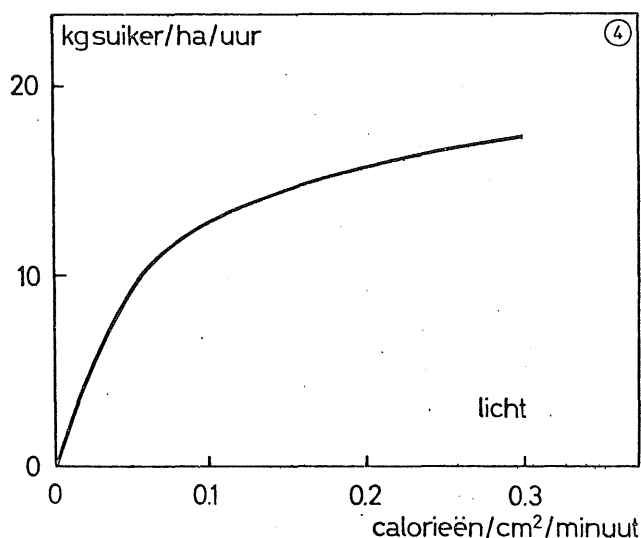
Van soort tot soort kan de maximum fotosynthese bij hoge lichtintensiteit echter belangrijk verschillen. Voor de afzonderlijke bladeren van veel voor de landbouw belangrijke gewassen kan, met het oog op de discussie, worden aangenomen dat de gemiddelde maximale fotosynthese ongeveer 20 kg suiker per ha per uur is, hoewel bedacht moet worden dat voor verschillende tropische grassen, inclusief mais en sorghum, ten minste dubbel zo hoge opbrengsten bij gunstige temperaturen zijn waar te nemen. Dit betekent dat bij een geabsorbeerde lichtintensiteit van ongeveer 0,2 cal/cm²/minuut, de bladeren al dicht bij hun maximum zijn. Deze lichtintensiteit is aanwezig op een bewolkte dag als de zon in het zenith staat.

Figuur 3. Maisgewas, gefotografeerd uit een ongebruikelijke richting.



Lichtintensiteiten op een heldere dag kunnen oplopen tot 0,8 cal/cm²/minuut, zodat (vergelijk fig. 4) een groot deel van het licht voor gewassen met grote horizontaal geplaatste bladeren verloren gaat.

Vele gewassen hebben echter smalle bladeren die in alle richtingen staan (fig. 3), zodat het licht gelijkmatiger is verdeeld over de bladeren en de fotosynthese door een dergelijk bladergewelf overeenkomstig hoger is dan de maximum fotosynthese van een horizontaal blad. Berekening van de fotosynthese door een gewas is dus allereerst een geometrisch probleem dat opgelost kan worden met behulp van een computer. De factoren die daarbij in beschouwing moeten worden genomen zijn de fotosynthesefunctie, de lichtbrekingscoëfficiënt van de bladeren, de hoeveelheid bladeren per oppervlakte grond, de stand van de bladeren, de lichtintensiteit en de rich-



Figuur 4. De fotosynthese van een suikerbietblad.

ting van het invallende licht. De laatste faktor is afhankelijk van de helderheid van de lucht en de hoogte van de zonnestand.

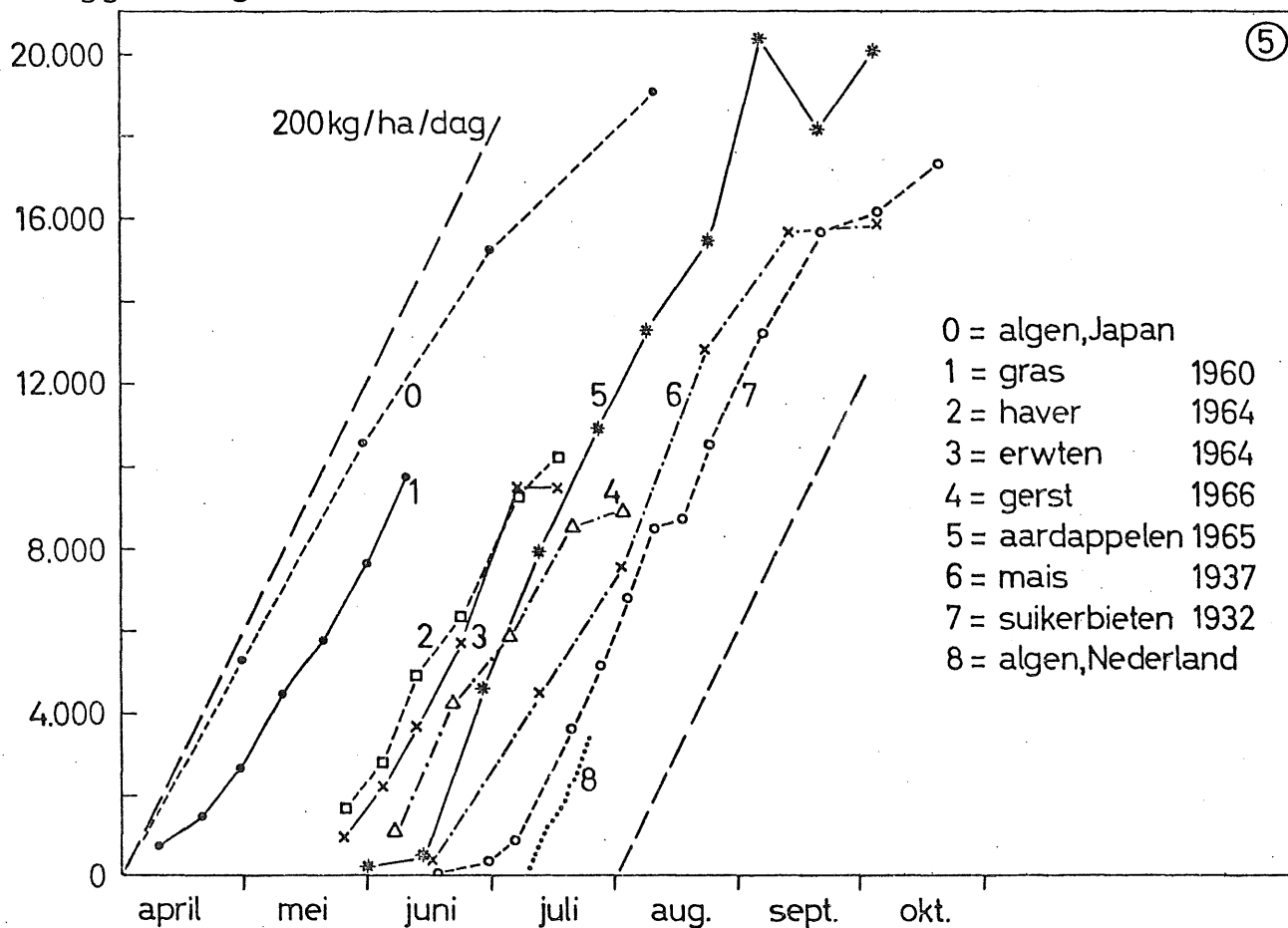
Men heeft berekend dat voor een gesloten gewas, waarvan de bladeren een maximum fotosynthese hebben van 20 kg suiker per ha per uur en een bladstand zoals granen hebben, de fotosynthese op een volkomen heldere dag 35, 50 en 55 kg suiker per ha per uur is wanneer de zon respectievelijk op een hoogte staat van 30, 60 en 90 graden. Deze hoeveelheden zijn belangrijk hoger dan het maximum van 20 kg voor een enkel blad. Deze aanzienlijke toename in fotosynthese wordt veroorzaakt door de betere verdeling van licht. Bij een bewolkte lucht is de licht-

intensiteit ongeveer $\frac{1}{5}$ van die bij een heldere hemel, maar de fotosynthese wordt maar de helft minder omdat het licht op een bewolkte dag zeer gelijkmatig is verdeeld.

De dagelijkse fotosynthese van een gewas op een bepaalde plaats hangt af van de mate van bewolking, de geografische breedte en de tijd van het jaar. Het blijkt dat in Nederland de potentiële fotosynthese bij ongeveer 400 kg suiker per ha per dag ligt in de zomer, en bij ongeveer 60 kg in de winter. Deze totalen werden berekend op basis van het beschikbare licht en kunnen alleen worden bereikt als de gemiddelde temperatuur op een redelijk niveau ligt. Dit laatste is het geval als het 24-uursgemiddelde 10 °C of hoger is, hetgeen in Nederland globaal van midden april tot midden oktober het geval is. Wanneer de dagelijkse totalen over deze periode worden opgeteld, is de potentiële fotosynthese van een gezond gewas-opper-

vlak, als dit gedurende het gehele groeiseizoen gehandhaafd blijft, ongeveer 50.000 kg suiker per ha. Deze suiker wordt niet als zodanig opgeslagen, maar wordt door de plant gebruikt voor het maken van wortels, stengels, bladeren, bloemen en vruchten. Berekeningen wezen uit dat voor de productie van één gram eiwitten, vet en cellulose en voor de opname van 1 gram zouten respectievelijk 2,35, 2,94, 1,15 en 0,1 gram suiker nodig is. Voor 1 gram plantenmateriaal dat 25% eiwit, 5% vet, 60% cellulose en 10% mineralen bevat is ongeveer 1,45 gram suiker nodig. Dit komt er op neer dat een fotosynthese van 400 kg suiker per ha per dag of 50.000 kg suiker per ha per seizoen leidt tot een plantengroei van ongeveer 275 kg organisch materiaal per ha/dag of 35.000 kg/ha/seizoen. Ruwweg $\frac{1}{4}$ van dit organisch materiaal bestaat uit wortels en andere moeilijk te oogsten plantendelen en wordt verademd voor de instandhouding

drooggewicht kg/ha



Figuur 5. De groei van verscheidene landbouwgewassen en algen in Nederland, vergeleken met de berekende groei van

200 kg per ha per dag; algen (0,8), gras (1), haver (2), erwten (3), gerst (4), aardappelen (5), maïs (6) en suikerbieten (7).

van de levende plantendelen die zijn gevormd, zodat in proeven ter bepaling van de potentiële opbrengst een groei van ongeveer 200 kg ha/dag moet worden gemeten. Deze groei wordt in Nederland onder gunstige condities ook inderdaad bereikt zoals blijkt uit fig. 5. In deze figuur wordt de maand van het jaar gegeven op de horizontale as en de oogstbare opbrengst van deze gewassen op de verticale as. De helling van deze experimenteel bepaalde groei-curves is redelijk goed in overeenstemming met de op theoretisch gronden gebaseerde produktie van 200 kg/ha dag.

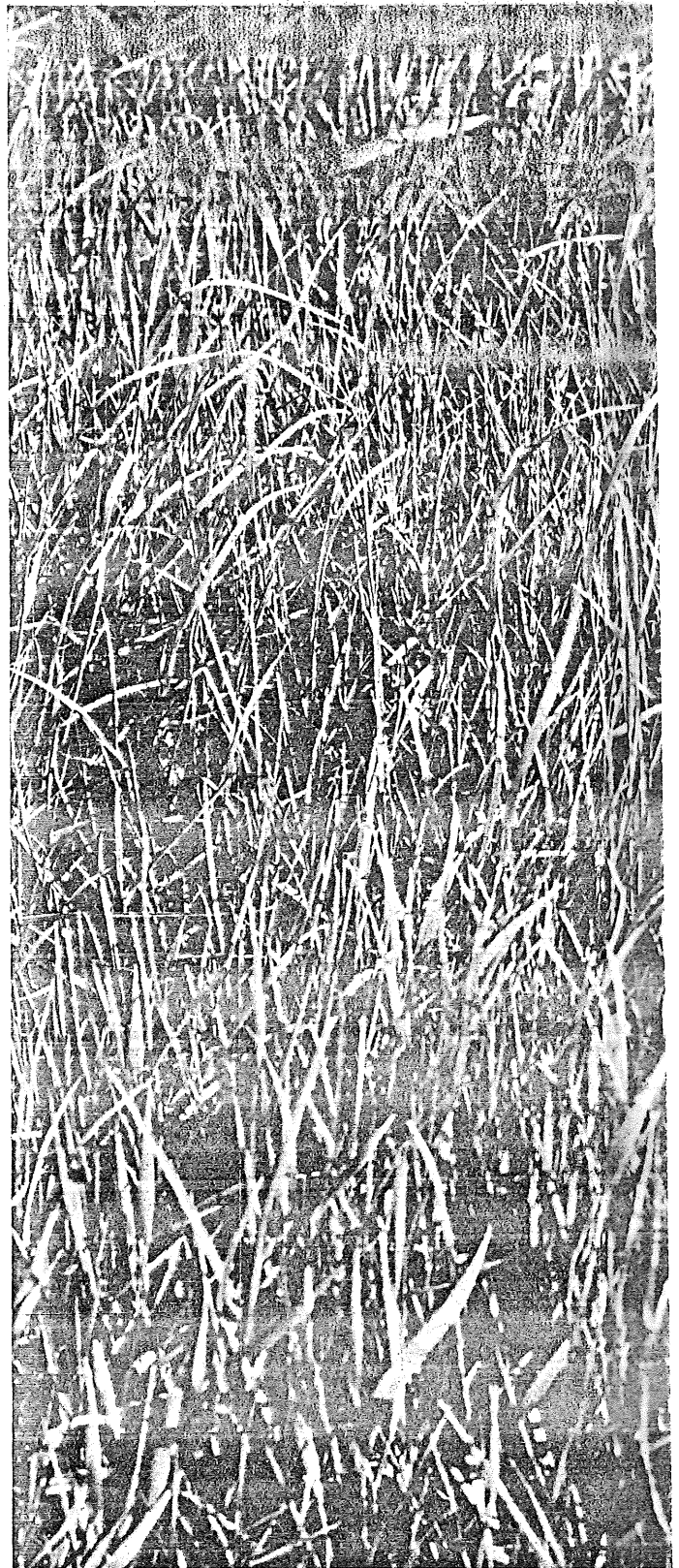
De grote verschillen in totale produktie van landbouwgewassen worden niet zozeer veroorzaakt door verschillen in groei, maar vooral door de lengte van de periode waarin een gesloten, groen, gezond gewasoppervlak kan worden gehandhaafd. Voor wintergranen is deze periode niet langer dan ongeveer drie maanden, waardoor de totale produktie tot circa 18 000 kg organisch materiaal beperkt blijft. Zomergraan heeft nog een kortere groeiperiode en heeft daarom een nog lagere totale produktie.

Zoals reeds werd opgemerkt, komt ongeveer 50% van het organisch materiaal in bladeren en stengels terecht, zodat de produktie aan zaad op rond 10 000 kg zou kunnen worden geschat. De gemiddelde tarweproduktie in Nederland is nu ruim 5000 kg per ha, maar sommige boeren bereiken reeds 8000 kg, en op proefvelden werden reeds opbrengsten van boven de 9000 kg verkregen. In sommige delen van de wereld is de dagelijkse lichtintensiteit hoger dan in Nederland en het groeiseizoen wat langer; daar zijn reeds opbrengsten van 12 000 kg tarwe per ha bereikt. Met aardappelen kan een groen, gesloten en gezond gewasoppervlak vier maanden lang instand worden gehouden, waardoor een totale produktie van 24 000 kg organisch materiaal mogelijk is, waarvan weer 80% in de knollen terecht komt. De knolopbrengst is daarmee 20 000 kg droge stof per ha of 100 ton aardappelen per ha. Deze potentiële opbrengst is in proeven inderdaad bereikt. In de praktijk ligt de opbrengst dicht bij 40 ton en goede boeren halen momenteel 60-70 ton per ha.

In tegenstelling tot wat dikwijls wordt beweerd, blijkt uit proeven en theoretische beschouwingen dat de groei van algen niet belangrijk afwijkt van die van landbouwgewassen.

De potentiële produktie op de wereld

De potentiële fotosynthese in Nederland is, zoals reeds naar voren kwam, ongeveer 50 000 kg per ha/jaar en het is niet onredelijk te veronderstellen dat met onze huidige kennis en onze tegenwoordige gewassen het mogelijk moet zijn $\frac{1}{4}$ hiervan of 12 500 kg organisch materiaal, geschikt voor menselijke con-



sumptie, per ha, jaar op een bedrijf onder praktische omstandigheden te verkrijgen. Dit komt overeen met een hoeveelheid energie van 50 miljoen kilo calorieën per ha per jaar, en omdat één persoon om te leven ongeveer 1 miljoen kilo calorieën nodig heeft kunnen in Nederland dus 50 personen van 1 ha worden gevoed, aangenomen dat zij genoegen nemen met een plantaardig dieet en niet veel verspillen.

In andere delen van de wereld is de potentiële produktie hoger of lager, afhankelijk van de lengte van het groeiseizoen en de hoeveelheid zonlicht. Wanneer de voorziening met voedingsstoffen en water in orde is, is het in de tropen mogelijk het hele jaar door gewassen te produceren. Dat geeft een potentiële photosynthese van 120 000 kg per ha per jaar of een gewasproduktie van 24 000 kg voor consumptie geschikt organisch materiaal per ha. Hier zou het dus mogelijk zijn 120 mensen een jaar lang van één ha te voeden.

Het is aangetoond dat deze opbrengsten haalbaar zijn met gewassen als rijst en suikerriet. Dit betekent dat de huidige wereldbevolking van 3 miljard ($3 \cdot 10^9$) mensen hun calorieën kunnen betrekken van een oppervlakte die niet groter is dan $500 \times 500 \text{ km}^2$. De mogelijkheden voor voedselproduktie zijn inderdaad nog onvoorstelbaar groot.

Als per gebied de mogelijke produktie wordt berekend, krijgen we de in tabel 1 vermelde resultaten.

Tabel 1. De oppervlakte land, het aantal maanden met gemiddelde temperaturen boven 10°C ., de potentiële produktie en de oppervlakte land die nodig is per persoon en per aantal personen om voldoende voedsel te verkrijgen na eventuele cultivering van al het land tussen $+70^\circ$ noorderbreedte en 50 graden op het zuidelijk halfrond

graden noorder- breedte	opp. land (10^6 ha)	aantal maanden met temp. boven 10°C .	kool- hydraten per ha/jaar (1000 kg)	opper- vlakte per persoon (m^2)	aantal personen in mil- jarden (10^9)
70	8	1	12	806	10
60	14	2	21	469	30
50	16	6	59	169	95
40	15	9	91	110	136
30	17	11	113	89	151
20	13	12	124	81	105
10	10	12	124	81	77
0	14	12	116	86	121
— 10	7	12	117	85	87
— 20	9	12	123	81	112
— 30	7	12	121	83	88
— 40	1	8	89	113	9
— 50	1	1	12	833	1
totaal	131				1022

Hieruit blijkt dat gemiddeld 150 m^2 per persoon nodig is voor voedselproduktie en dat het aantal mensen dat kan leven van de produktie van de totale landoppervlakte (exclusief de zee) meer is dan 1000 miljard (1000×10^9), dat is meer dan 300 maal de tegenwoordige wereldbevolking. Deze mensen zouden dan leven van de aarde maar zouden geen ruimte genoeg hebben om op de aarde te leven.

De schattingen van de oppervlakte grond die nodig is om van te leven, op te werken en om zich te ontspannen hangen sterk af van de culturele achtergrond van de schatter. Ik heb enige ervaring met leven op de Rijn-oever in een van de meest geïndustrialiseerde delen van de westerse wereld. Mijn schatting is, dat we tenminste 750 m^2 per persoon nodig hebben om te leven, te werken en ons te ontspannen en iets van natuur om ons heen te houden.

Gebaseerd op deze 750 m^2 en een gemiddelde van 150 m^2 voor voedselproduktie is dus in totaal 900 m^2 nodig per persoon, en dit leidt tot een maximale wereldbevolking van 145 miljard (145×10^9). Deze bevolking zou dan ongeveer 19% van de landoppervlakte voor voedselproduktie nodig hebben. Deze oppervlakte, geschikt voor moderne landbouw, is aanwezig. Een mens leeft echter niet alleen van aardappelen en om een menu met een redelijke hoeveelheid vlees te krijgen is dubbel zoveel grond voor landbouw nodig. Dit brengt het aantal mensen dat op aarde kan leven terug tot

$$\frac{150 + 750}{2 \times 150 + 750} \times 145 = 125 \text{ miljard } (125 \times 10^9).$$

Nog steeds een indrukwekkend aantal!

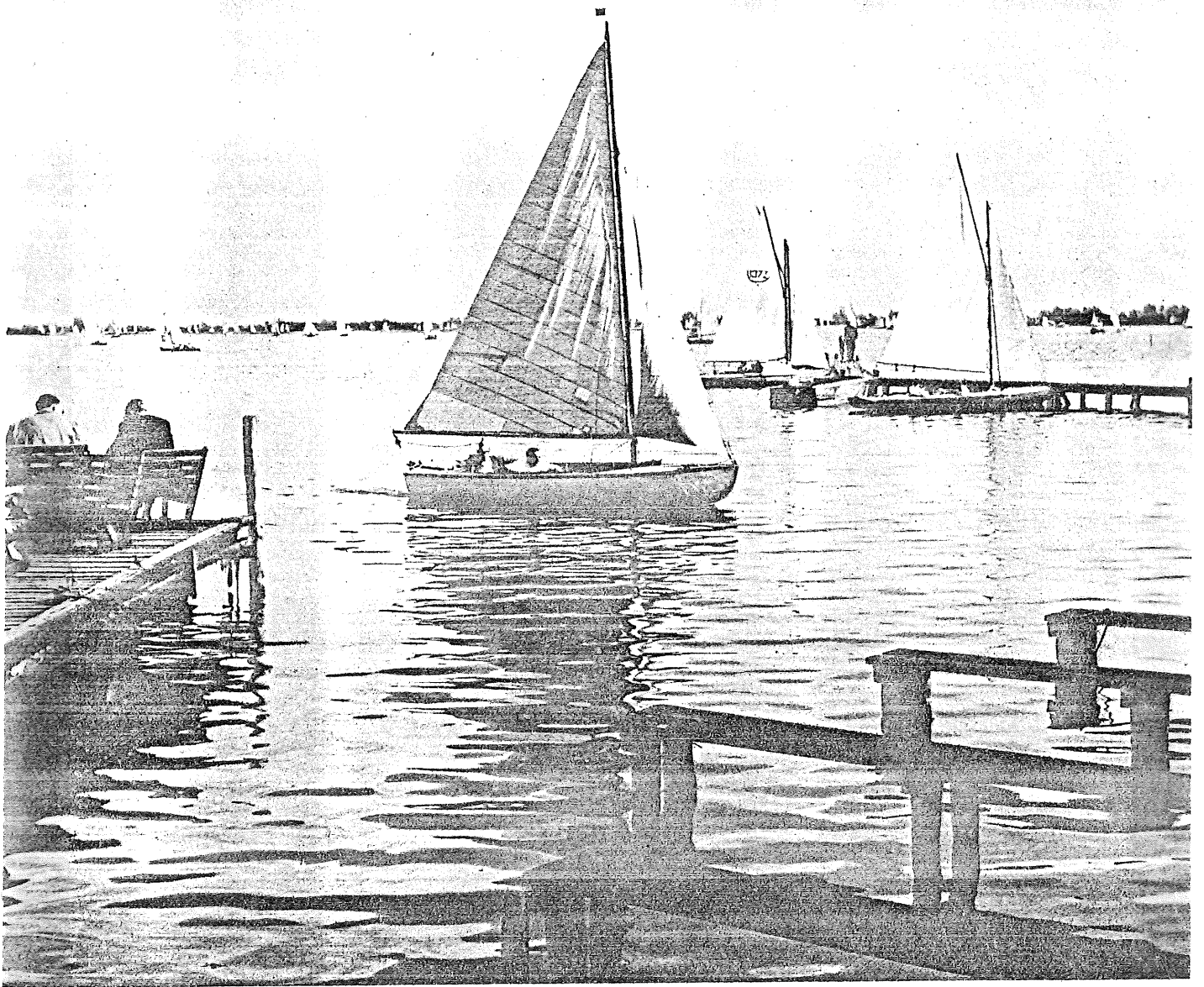
Er zullen echter mensen zijn die in een landelijke omgeving wonen en menen 1500 m^2 in plaats van 750 m^2 per persoon nodig te hebben om te leven en de natuur in stand te houden. Het maximale aantal mensen dat dan op aarde kan leven loopt dan terug tot

$$\frac{150 + 750}{150 + 2 \times 750} \times 145 = 80 \text{ miljard } (80 \times 10^9)$$

of ongeveer de helft van de vorige schatting. Indien beide, dus 2 maal 150 m^2 voor de voedselproduktie en 2 maal 750 m^2 voor andere behoeften nodig zijn, is de mogelijke wereldbevolking nog steeds 73 miljard (73×10^9).

Een vergelijking van de bovenstaande cijfers laat zien dat de omvang van de wereldbevolking niet zo sterk afhankelijk is van de oppervlakte land die nodig is voor voedselproduktie, maar meer van de oppervlakte die voor andere doeleinden wordt gewenst. De voedselproduktie is dus niet de limiterende faktor. Het lijkt er meer op dat onderlinge irritatie beperkende faktor zal zijn en misschien ook de onmogelijkheid om onze afvalprodukten kwijt te raken.





Men kan zich afvragen hoeveel voedsel uit de zeeën zou kunnen worden gewonnen. Dit moet niet worden overschat. Er is zoveel water in de wereldzeeën, dat het onmogelijk is voldoende mineralen en stikstof aan te voeren om een goede planktongroei (primitieve planten) te handhaven. Zonder bemesting is de produktie van organische stof in het algemeen niet hoger dan van onbemest land, dus ongeveer 2000 kg per ha per jaar. Dit organisch materiaal wordt gegeten door kleine dieren die op hun beurt weer door grotere dieren worden geconsumeerd. Pas later in de voedselketen verschijnen de vissen die geschikt zijn voor menselijke consumptie. Omdat bij iedere trap in de voedselketen $\frac{7}{8}$ van de energie verloren gaat, kan uiteindelijk maar 1% van het organisch materiaal voor menselijk gebruik worden benut. De voedselproduktie van de zee is dus maar $\frac{1}{500}$ van de berekende voedselopbrengst van dezelfde landoppervlakte. Ondanks de 5000 m² zeeoppervlak die per hoofd aanwezig is bij een wereldbevolking van 100 miljard (100×10^9) is voedsel uit de zee als energiebron verwaarloosbaar. Natuurlijk zal de zee altijd een bron van goed en smakelijk voedsel kunnen zijn en de visserij zal om die reden belangrijk blijven.

De bovenstaande beschouwingen moeten niet opgevat worden als een argument voor een onbegrensde groei van de wereldbevolking. De wereldbevolking van 3 miljard (3×10^9) die nu aanwezig is, verdubbelt bij het huidige geboorteoverschot ongeveer elke 30 jaar. Over ongeveer 150 jaar zou het berekende maximum van 100 miljard (100×10^9) dus al bereikt zijn als de bevolkingsgroei op deze voet doorgaat.

Geïndustrialiseerde landbouw

Het grootste deel van arbeids- en kapitaalkosten in de moderne landbouw, voor ploegen, zaaien, oogsten, ziektenbestrijding, waterbeheer en kunstmestvoorziening, wordt bepaald door de oppervlakte die in cultuur is en neemt slechts weinig toe met een stijgende opbrengst per oppervlakte-eenheid.

Als we daarbij bedenken dat er nog genoeg ruimte is voor opvoering van de produktie, dan is het altijd voordeliger om de opbrengst per eenheid land te verhogen dan om marginaal land in cultuur te houden.

Het is zelfs zo, dat de produktietoename op goede cultuurgrond groter kan zijn dan de toenemende vraag naar landbouwprodukten en dat maakt het waarschijnlijk dat in de komende jaren overal op de wereld marginaal land uit produktie zal worden genomen. Deze gronden zullen gedeeltelijk worden gebruikt voor uitbreiding van industriële centra, maar voor het grootste deel zullen ze worden bebost of worden gebruikt voor extensieve beweiding, beide ook voor recreatiedoeleinden.

Deze ontwikkeling leidt tot een veel hygiënischer wijze van voedselproduktie met veel minder vernieling en

vervuiling van de omgeving, hetgeen met een paar voorbeelden kan worden geïllustreerd.

Fosfaat is onmisbaar voor een hoog produktieniveau. Uit de vele proeven over potentiële produktie gedurende de laatste 10 jaar blijkt, dat het huidige fosfaatiniveau in de grond en de fosfaatgiften meer dan voldoende zijn om de hoogst mogelijke opbrengsten te halen. Dit zou erop kunnen wijzen, dat een toename van de opbrengst per oppervlakte-eenheid niet gepaard hoeft te gaan met een toename in het fosfaatgebruik.

Wat stikstof betreft, kan uit grasland-proeven van het I.B.S. afgeleid worden, dat een onevenwichtige minerale samenstelling van het voer vermeden kan worden door de stikstof alleen te geven als deze nodig is voor de potentiële groei en dan in de juiste hoeveelheden. Als dit wordt gedaan wordt verreweg het grootste deel van deze stikstof door de plant opgenomen en gaat slechts een klein deel verloren, en volgens Kolenbrander meer door denitrificatie dan door uitspoeling.

Voor bouwland geldt eveneens dat hoge opbrengsten alleen kunnen worden verkregen met een meer zorgvuldig gebruik van stikstof dan tegenwoordig wordt gedaan bij de huidige opbrengstniveaus. Verbetering van de produktie-omstandigheden (bijv. van de waterhuishouding) kan leiden tot een hogere produktie per eenheid opgenomen stikstof. Hoge opbrengsten leiden dan dus tot een lager gebruik aan stikstofmeststof per eenheid produkt. De opbrengst per eenheid gebruikt water is eveneens hoger bij de hoge gewasopbrengsten. Dit komt gedeeltelijk door relatief minder verliezen door diepe percolatie en directe verdamping, en gedeeltelijk door een gunstiger verhouding tussen fotosynthese en verdamping bij een goed bemest groen gewasoppervlak.

Tenslotte moeten we er ons van bewust zijn dat het huidige opbrengstniveau alleen kan worden gehandhaafd door het gebruik van biociden om ziekten, plagen, insecten en onkruiden te bestrijden en een goede kwaliteit te behouden. Ook hier zijn weer geen indicaties dat de hoeveelheid biociden per ha hoger moet zijn bij hogere opbrengsten. Met name voor het gebruik van herbiciden zijn er duidelijke aanwijzingen van het tegendeel, namelijk dat dit lager kan zijn. Ook hier kan de hoeveelheid biocide per eenheid produkt geringer zijn bij toenemende opbrengsten.

Het geheel kan als volgt worden samengevat. Met matige opbrengsten is veel land nodig om de miljoenen te voeden en dit leidt tot het gebruik van veel meststoffen, biociden en water per eenheid produkt; tot de oprichting van grote industrieën om al deze stoffen te maken en tot de praktisch onmogelijkheid om de verspreiding daarvan in de meer of minder natuurlijke vegetatie in de hand te houden. Anderzijds is met een hoog opbrengstniveau veel minder land-

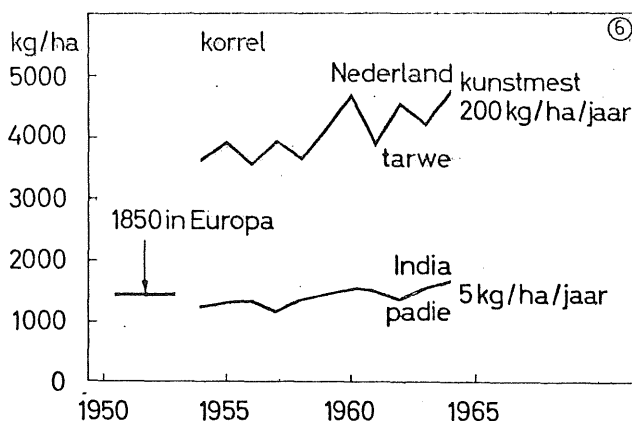
bouwgrond nodig en veel minder kunstmest, biociden en water per eenheid produkt. Een kleinere industrie kan dan in de behoeften voorzien en het is in ieder geval minder moeilijk om de verspreiding van ongewenste stoffen tegen te gaan in de veel grotere gebieden die nog bedekt zijn met een meer of minder natuurlijke vegetatie.

Er zijn op het ogenblik veel biologen en andere mensen die zich zorgen maken om de moderne ontwikkelingen en die van mening zijn dat het beter is de geïndustrialiseerde landbouw te verbieden en terug te keren tot de oude gesloten landbouwsystemen. Men moet zich dan echter wel voor ogen stellen dat dit leidt tot opbrengstniveaus van 2000 kg graan/ha, zoals de ervaring in het begin van de 19e eeuw heeft geleerd, en dat deze lage opbrengsten noodzakelijk tot de onmogelijke keus: óf meer land ontginnen, óf grote delen van de wereldbevolking laten verhongeren.

Traditionele landbouw

Er zijn grote delen van de wereld waar de landbouw nog op traditionele wijze wordt bedreven en waar ondanks een goed klimaat en de beschikbaarheid van water, opbrengsten van slechts 1000 kg graan per ha worden verkregen. Dit is bijvoorbeeld het geval met de geïrrigeerde rijst in India en andere Aziatische landen. De opbrengst van dit gewas is in fig. 6 weergegeven, samen met de tarwe-opbrengst in Nederland en de tarweopbrengsten in West-Europa in het midden van de vorige eeuw. Opbrengsten van rond 1000 kg/ha, dezelfde dus als in West-Europa vóór de invoering van kunstmest, tonen aan dat het gebruik van kunstmest in India nog verwaarloosbaar klein is. Dit is inderdaad het geval; ofschoon aan het toenemen, ligt het totale gebruik nog in de buurt van de 10 kg/ha en dat is minder dan $\frac{1}{20}$ van het Nederlandse verbruik. Om de produktie te verhogen is het in de eerste plaats nodig het kunstmestverbruik op te voeren. Het is zelfs mogelijk de opbrengsten te verhogen zonder invoering van nieuwe variëteiten, hoewel een combinatie van hoger meststoffenverbruik, betere variëteiten en een goede ziekten- en plagenbestrijding de grootste opbrengststijgingen geeft. In verschillende Aziatische landen is aangetoond dat op deze manier meer dan 9000 kg korrel/ha kan worden verkregen van één rijstoogst.

Een groot verschil tussen India nu en Europa vroeger is dat in India de bevolkingsdruk reeds lang zo zwaar is dat in vele gebieden geen grond voor veehouderij beschikbaar is. Dit is een van de redenen dat er geen produktie van 2000 kg graan tot stand komt (geen stalmest) en er een eiwittekort aanwezig is. We moeten evenwel bedenken dat de gewassen een laag eiwitgehalte hebben omdat de stikstofbemesting zo laag is en niet om fysiologische redenen. Met de opbrengsttoename door bemesting neemt het eiwit-



Figuur 6. De opbrengst van laagland-rijst (padie) in India en van tarwe in Nederland en de tarwe-opbrengst in West-Europa omstreeks 1850.

gehalte eveneens aanzienlijk toe en daalt dienovereenkomstig het eiwittekort. Dit proces wordt nog versneld door het feit dat er met de produktietoename meer land vrijkomt voor de verbouw van voeder gewassen, waardoor meer belangstelling voor veehouderij ontstaat en de kwaliteit van het voedselpakket verbetert.

De problemen van de ontwikkelingslanden nu en van de ontwikkelde landen vroeger lopen, technisch gezien, een heel eind gelijk op, behalve dat de honderden jaren die nodig geweest zijn om te leren hoge opbrengsten te verkrijgen nu niet meer nodig zijn.

De bio-industrie

Bij het lezen van de artikelen in dit nummer komt naar voren dat waar de landbouw bij de milieuvervuiling betrokken is het voornamelijk de bio-industrie is, dus de grotere eenheden waar vlees wordt geproduceerd, die de problemen geeft. In tegenstelling tot andere bronnen van vervuiling is de bio-industrie een puntvervuiler en dat houdt in dat de technische middelen aanwezig zijn om de vervuiling te bestrijden. De kosten bedragen ongeveer 10 gulden per afgeleverd kalf, wat in vergelijking met de totale kosten niet hoog is, maar aanzienlijk is wanneer gelet wordt op het nettoresultaat van de mesterij.

In Nederland is het principe aanvaard dat de vervuiler ook moet betalen. Maar de landbouwpolitiek nemend zoals ze is, lijkt het waarschijnlijk dat het probleem opgelost wordt door een of andere vorm van subsidie. Daaraan zit weer de nadelige kant dat mesterijen worden opgezet en in stand gehouden op kwetsbare plaatsen waar normaal de kosten van vuilafvoer een vestiging zouden voorkómen.

Hoe de politiek op korte termijn ook mag zijn, in de loop van de tijd zal het probleem geleidelijk verdwijnen om ethische redenen.

Toen Napoleon de Derde in het midden van de 19e eeuw een beloning beschikbaar stelde voor de ontdekking van een 'substituut voor boter, geschikt voor de marine', wierp de industrie zich daarop en deze slaagde erin een plantaardige boter te maken die veel goedkoper is dan het dierlijk produkt en ten minste vergelijkbaar in kwaliteit en smaak. Zo zijn nu ook goede vervangers van leer en wol beschikbaar en is het stadium bereikt dat kunstvlees van plantaardige oorsprong van goede kwaliteit en goedkoper dan het klassieke produkt op de markt komt. Dikwijls wordt gesteld dat de smaak en gewoonten zo conservatief zijn dat de toekomst voor plantaardige eiwitten als een vervanging van vlees niet rooskleurig is. Het is evenwel zo, dat kunstmatig bont het niet wint van het natuurlijk produkt, omdat het zoveel beter is, maar omdat in de moderne samenleving het doden van op-

gejaagde of opgefokte dieren meer en meer als onzedelijk wordt beschouwd om een produkt te krijgen dat ook op een minder aanstootgevende manier verkregen kan worden. Er is geen twijfel aan dat de bio-industrie ook bij een ieder buiten de landbouw die er tegenaan loopt, afkeer wekt. Televisie en andere massamedia zullen ongetwijfeld het hunne daartoe bijdragen en dit kan vrij spoedig leiden tot een situatie waarin goede vleesvervangers geprefereerd worden boven het vlees van de bio-industrie.

Een ontwikkeling van de samenleving in deze richting zou niet alleen de afvalproblemen, die door de bio-industrie worden geschapen, helpen verminderen, maar er ook toe leiden dat minder oppervlakte nodig is voor voedselproduktie. Het is al zo dat elke 1000 kg plantaardig materiaal ten minste 200 kg plantaardig eiwit kan leveren, terwijl elke 1000 kg van dit mate-



riaal als veevoer op zijn hoogst 100 kg dierlijk eiwit geeft. Hierbij zien we dan af van het voedsel dat nodig is voor de instandhouding van voldoende ouderdieren en helemaal van de grote hoeveelheden hoogwaardige melkeiwitten die gebruikt worden als voer voor dieren.

LITERATUUR

- SIBMA, L., Growth of closed green crop surfaces in The Netherlands. *Neth. J. Agric. Sci.* 16 (1968) 211-216.
- WIT, C.T. DE, Photosynthesis of crop surfaces. *Advanc. Sci.* 23 (1966) 159-162.
- WIT, C.T. DE, Photosynthesis of leaf canopies. *Agr. Res. Reports* no. 663, Pudoc, Wageningen.
- WIT, C.T. DE, Photosynthesis: its Relationship to Overpopulation. IMC-Symposium Chicago, 1966: Harvesting the Sun, Ac. Press (1967).
- WIT, C.T. DE, Plant Production. Misc. series, Med. Landbouwhogeschool, Wageningen, 1968.

FOTO'S IN DIT NUMMER

- Woldendorp/van Straeten: omslag p. 1, pp. 350 t/m 357.
- DSM, Voorlichtingsdienst: pp. 344, 370, 376, 381, 382, 387, 393, 401, 407.
- De foto's op pp. 338, 347, 361, 364, 390, 397, 403 en 408 zijn ontleend aan het DSM-kalenderboek 1968 'Hoe groen is dit dal'. Omslag p. 3 idem.
- Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders: p. 372.
- C. T. de Wit: p. 399.
- M. Verjans: pp. 342, 385, 404 en omslag p. 4.

Clichés: Clichéfabriek 'Maastricht'.
Productie: nv Leiter-Nypels, Maastricht.