

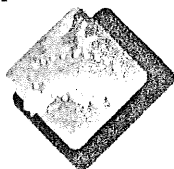
WETENSCHAP EN TECHNOLOGIE IN EUROPA

ONDERZOEK EN ONTWIKKELING IN 20 LANDEN

Prof. Cornelis T. de Wit
Nederland

Voormalig hoogleraar
Afdeling Theoretische Teeltkunde,
Landbouwniversiteit Wageningen

Nature & Technology
Scientific Publishers Ltd
Maastricht/Brussels/London
1990, pp. 188-191



FOUNDATION SCIENTIFIC EUROPE



VOORSPELLINGEN IN DE AKKERBOUW

Met moderne computermodellen, gebaseerd op oude theorieën uit de teeltkunde, achterhaalt men hoe allerlei factoren de opbrengst van een gewas beïnvloeden.



Prof. Cornelis T. de Wit
Nederland

Voormalig hoogleraar
Afdeling Theoretische Teeltkunde,
Landbouwniversiteit Wageningen

Een rijke oogst is in de hongergebieden van Afrika een zeldzaamheid. In Europa waar overproductie door de successen van de landbouwwetenschappen en het agrarische EG-beleid thans het voornaamste probleem is, is dit een alledaags verschijnsel. Toch maakt iedere landbouwer die een redelijk bestaan wil opbouwen, zich nu nog net zo druk over de produktiviteit van zijn land als zijn grootvader deed. Er zijn veel factoren die daarbij (in)direct van invloed zijn op de opbrengst. Zo resulteert te weinig bemesting in produktieverlies, terwijl overbemesting een verkwisting is van geld en moeite en bovendien het milieu vervuult.

Teeltkundigen analyseren de interacties van die factoren in complexe levende systemen om boeren te kunnen adviseren hoe ze met een beperkte input toch tot een hoge produktie kunnen komen. Hun belangrijkste gereedschap is de systeemdynamica, waarbij gegevens over de gewassen en de factoren die van invloed zijn op de produktie worden ingevoerd in computermodellen. De afgelopen twintig jaar heeft Landbouwniversiteit Wageningen deze techniek verbeterd. Maar het idee van dynamische modellen in de landbouw is al veel ouder dan dit soort manipulaties met de computer.

Vroegere concepten

Nadat Napoleon zich in 1812 uit Moskou had teruggetrokken, liepen zijn Pruisische bondgenoten over naar de Russen om met hen tegen *la Grande Armée* te vechten. Om de vervalg te verdrijven, begon de Pruisische officier Carl von Wulffen na te denken over het 'boeren' op zijn landgoed. Hij was een leerling van de befaamde Albrecht Thaer, een voorvechter van een wetenschap-

pelijke benadering van de landbouw. Von Wulffen's dynamische benadering zou onder Duitse landeigenaren zeer populair worden. Hij vroeg zich namelijk af hoe de bodemvruchtbaarheid geoptimaliseerd kon worden. Hij onderscheidde drie parameters, te weten hoeveelheid, intensiteit en efficiëntie. In zijn analyses is de opbrengst van een veld een bepaalde fractie van de totale vruchtbaarheid (*Reichtum*) en deze fractie (*Thätigkeit*) is een maat voor de intensiteit van de landbouwkundige bewerking. Tenzij bemesting wordt toegepast, zullen opeenvolgende gewassen de bodem uitputten (afb. 3). Eén van zijn inzichten was dat men de hoeveelheid mest niet moet uitdrukken in het aantal volle karren, maar in de hoeveelheid voedsel, geconsumeerd door de dieren die de mest produceren. Dit maakt het mogelijk elke combinatie van bodem en bemesting te karakteriseren met een index voor de efficiëntie van het mestgebruik. Deze index (*Gattung*) bedraagt 1 als de vruchtbaarheid van een veld op het oorspronkelijke niveau blijft, indien men de hele oogst aan een kudde voert en alle mest die daaruit voortkomt op het veld terugstort. Deze parameters verkreeg men door elk jaar bemesting en opbrengsten van elk veld te noteren. Vervolgens rekende men uit hoeveel weiland nodig was teneinde genoeg mest te produceren om de oogst op het gewenste *Beharrungspunkt* (evenwichtspunt) te krijgen en te houden (afb. 4).

Het model van Von Wulffen werkt ook nu nog. Het begrip *Reichtum* komt overeen met de stikstofreserves in de bodem en *Thätigkeit* en *Gattung* met coëfficiënten voor respectievelijk stikstofopname door het gewas en de afname van stikstof uit de bodem door andere processen. De stalrest kan tegen-

▲ Thaer en Von Wulffen

De Duitse pioniers op het gebied van landbouwwetenschappen, Albrecht Thaer en zijn leerling Carl von Wulffen, zijn vereeuwigd in een bas-reliëf, vervaardigd door Hugo Hagen. Het tijdens de Tweede Wereldoorlog beschadigde werk wordt bewaard in de Humboldt Universiteit in Oost-Berlijn. Volgens Hans-Heinrich Stamer (Bad Freienwalde) staat Thaer geheel rechts en Von Wulffen links van het midden met een lupine in zijn hand. Deze plant bracht hij mee uit Grenoble voor het verrijken van stikstofarme gronden.

woordig worden aangevuld met kunstmest. Er worden nu weliswaar uitgebreide modellen opgesteld waarin rekening wordt gehouden met organische stof, stikstofoverdracht, de rol van microben en effecten van water, maar voor gebruik in de praktijk worden deze vereenvoudigd tot modellen die sterk lijken op die van Von Wulffen.

Verklarende modellen

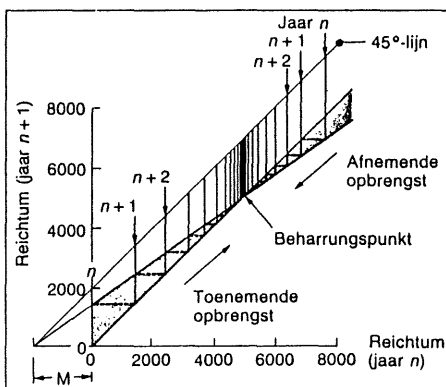
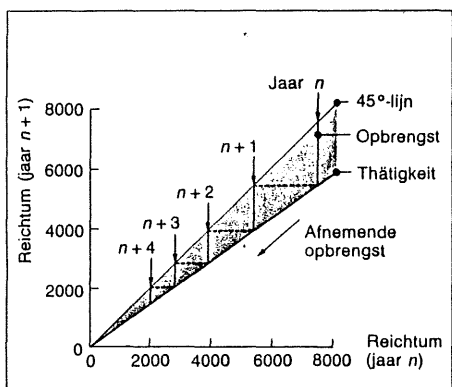
Ofschoon stikstof in veel hedendaagse analyses op de voorgrond staat, zijn er veel andere factoren die de produktie beïnvloeden. Deze strekken zich uit over alle verklarende en beschrijvende niveaus van integratie van de biologie, zoals die van moleculen, cellen, weefsel, organen, organismen, populaties en ecosystemen. Bij de laatste heeft het onderzoek niet alleen betrekking op het weer en

het water, maar ook op de chemie van de bodem. De ruime beschikbaarheid van computers heeft geleid tot een overmatig gebruik van de statistische donderbus-modellen (Monteith), waarbij gewasopbrengsten in verband worden gebracht met allerlei factoren, zonder gebruik te maken van de kennis van de processen die hierbij een rol spelen. Voor het ordenen van gedachten over het mogelijke en voor het doen van voorspellende uitspraken waaraan enige waarde kan worden gehecht, is het nodig modellen te ontwikkelen die verklaren en niet alleen beschrijven wat er gebeurt.

Verklarende modellen hoeven niet dynamisch te zijn. Er zijn bijvoorbeeld statische modellen die de lichtstroom door een gewas beschrijven en daarbij rekening houden met de transmissie en reflectie van bladeren en met de opbouw van het bladerdek. Uitgaan-

de van lichtresponskrommen voor één enkel blad worden deze modellen op grote schaal gebruikt voor het berekenen van de potentiële fotosynthese-activiteit van allerlei gewasoppervlakken, variërend van tarwe tot natuurlijke bossen. Ook bij teledetectie past men zulke modellen toe.

Verklarende dynamische groeimodellen simuleren de toename van de biomassa op het veld door de wisselwerking te berekenen tussen opname van koolstofdioxide, ademhaling, verdeling van koolhydraten en bladvorming. Elk van deze processen hangt af van externe factoren, zoals temperatuur en licht, en interne factoren, zoals biomassa, de bouw van bladeren en wortels en hun stikstofgehalte. De biomassa die in een kort tijd-interval is bijgevormd, wordt berekend en opgeteld bij de reeds aanwezige biomassa. Ook de toestand van andere variabelen stelt



3, 4. Naar een evenwicht
Carl von Wulffen veronderstelde dat de grond een zekere *Reichtum* (vruchtbaarheid) heeft, die zonder bemesting ieder jaar terugloopt(3). De afname van de *Reichtum* is gelijk aan de jaarlijkse opbrengst. De opbrengst zal met de jaren snel dalen (zie de verticale lijnstukken tussen

de 45°-lijn en de lijn die de *Thätigkeit* (gebruikscoefficiënt) karakteriseert. Door bemesting verschuiven de lijnen naar links (4), waarbij M de hoeveelheid jaarlijks opgebrachte mest weergeeft. De 45°-lijn schuift over dezelfde afstand M omhoog; de toename in *Reichtum* door bemesting. Als de eerste opbrengst groter is

dan M, daalt de *Reichtum* tot er een evenwicht is bereikt, door Von Wulffen aangeduid als het *Beharrungspunkt*. Bij een kleine *Reichtum* en een lage opbrengst kan bemesting zorgen voor een stijging tot het *Beharrungspunkt*. Deze negentiende-eeuwse concepten gelden heden ten dage nog steeds.

1, 2. Contrasten in Afrika

Terwijl plantenkwekers in Mali (1) een steeds grotere gierstopbrengst nastreven, blijken traditionele landbouwmethoden averechts te werken. Platbranden van bos (2) levert nieuwe landbouwgrond op, maar tijdens de brand gaan wel waardevolle stikstofcomponenten verloren. Zelfs in droge gebieden is het gebrek aan stikstof en/of andere voedingsstoffen de belangrijkste groeilimiterende factor.

men op deze manier van tijd tot tijd bij. Deze berekeningen worden gedurende het hele groeiseizoen herhaald. Door de groei van een gewas aldus uit te drukken, combineert men de kennis van fysiologische, fysische en chemische processen met die van de invloed van externe factoren. Door simulaties te vergelijken met veldproeven, groeit het vertrouwen in de bruikbaarheid van modellen bij onderzoek en het maken van voorspellingen.

Gelimiteerde opbrengst

De analyses maken onderscheid tussen drie groepen factoren die de produktie beïnvloeden: klimaatfactoren die de boer niet in de hand heeft en die de potentiële produktie bepalen, factoren zoals water en voedingsstoffen waarmee de groei van een gewas kan worden beïnvloed en factoren zoals onkruid, ongedierte en planteziekten die de opbrengst aantasten.

Als voedingsstoffen en water optimaal voorradig zijn, zijn de volgende factoren belangrijk voor de groeisnelheid: de temperatuur, de intensiteit van de zonnestraling, het ontwikkelingspatroon van het gewas en de efficiëntie waarmee het gewas het licht opvangt en benut voor de aanmaak van koolhydraten. Koolhydraten worden tijdelijk opgeslagen, bijvoorbeeld als zetmeel, en daarna gebruikt om de plant in leven te houden en te laten groeien. In het laatste geval worden koolhydraten omgezet in structurele biomassa.

Onder ideale omstandigheden bedraagt de door licht gelimiteerde groeisnelheid 150 tot 350 kg droge stof per hectare per dag. De gewasopbrengst hangt af van de tijdsduur dat het gewas maximaal groeit. Suikerriet scoort hoog: dit gewas kan meer dan 100 000 kg droge biomassa per hectare per jaar opbrengen door een produktie van meer dan 300 kg/ha/dag, en dat het hele jaar door. Een goed maïsgewas kan vier maanden optimaal groeien en aldus per hectare 20 000 kg maïskorrels en evenveel stro opbrengen. De opbrengst aan korrels is voldoende om een heel jaar in de energiebehoefte van meer dan 60 personen te voorzien. Tarwe en rijst kunnen een periode van maximale groei hebben van 100 dagen, maar hun potentiële groeisnelheid is lager, zodat de maximale opbrengst slechts weinig meer is dan 10 000 kg/ha. Dit is altijd nog heel hoog vergeleken met een gemiddelde van 1500 kg/ha in de tijd van Von Wulffen.

In de jaren zestig hielden velen zulke opbrengsten voor onmogelijk, maar voor de belangrijkste gewassen zijn ze bevestigd door veldproeven en fotosynthesemetingen

in het open veld (afb. 7). Natuurlijk is onder minder gunstige omstandigheden de produktie lager, maar het doel van de berekeningen is juist om de andere beperkende factoren te achterhalen.

Opbrengsten zijn vaak lager dan mogelijk zou zijn, omdat de gewassen, althans in principe een gedeelte van het seizoen, te weinig water krijgen. Beschikbaarheid van grondwater en een efficiënt gebruik daarvan worden dan belangrijk. Een plant die te weinig water krijgt, sluit de huidmondjes van zijn bladeren. Dit vermindert het waterverlies door transpiratie, maar blokkeert tevens de toevoer van koolstofdioxide. Berekeningen van fotosynthese en groei bij watertekort kan men daarom mede baseren op berekeningen van de transpiratie, zoals Penman die 40 jaar geleden in Rothamsted in Groot-Brittannië ontwikkelde. De geldigheid van modellen met water als limiterende factor, die op basis daarvan werden ontwikkeld, is in uiteenlopende situaties bevestigd. Het blijkt dat veeteelt de overhand krijgt als de door water gelimiteerde biomassa-opbrengsten minder dan éénvijfde bedragen van de door licht gelimiteerde opbrengsten. Het risico dat graangewassen geen zaad zullen vormen, is dan te groot.

Sinds 1945 zijn in West-Europa en de Verenigde Staten de opbrengsten weliswaar met een paar procent per jaar gestegen, maar er blijkt nog steeds ruimte te zijn voor een verdere produktiestijging. In ontwikkelingslanden zijn de opbrengsten in de regel slechts ééntiende van wat mogelijk is. Deze opbrengst is niet te verbeteren, tenzij men het tekort aan plantevoedingsstoffen weet op te lossen. Ook voor semi-aride gebieden, zoals de Sahel aan de zuidrand van de Sahara, blijkt dit op te gaan. Hier is door gebrek aan water de groeiperiode maar ongeveer drie maanden per jaar, evenals dit het geval is door gebrek aan warmte op hogere breedtegraden. Tijdens de natte moesson in de Sahel wordt de groei echter eerder beperkt door de geringe bodemvruchtbaarheid dan door gebrek aan water. Men kan het voorkomen van nomadische veeteelt dan ook alleen begrijpen als men dit saillante feit onder ogen ziet (afb. 8).

Door een mondiaal gebrek aan vruchtbare grond heeft het de voorkeur ernaar te streven het groeiend aantal mensen te voeden door betere bemesting van bestaande landbouwgronden dan door verdere landontginning ten koste van regenwouden en andere kwetsbare ecosystemen. Om dit soort strategieën te ontwikkelen blijken wiskundige modellen onontbeerlijk te zijn. Ze verminderen aanzienlijk de noodzaak van tijdrovende en dure veldproeven.



5



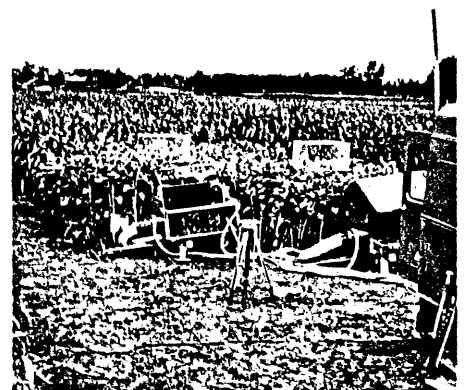
6

5, 6. Limieten aan de groei

De gewasproduktie staat in Europa in de winter op een laag pitje door gebrek aan licht en door lage temperaturen. Ierse boeren (5) profiteren van de lange zomerdagen door de suikerbieten vroeg te zaaien. In Mali (6), in tropisch Afrika, is er daarentegen het gehele jaar volop zon en zijn de temperaturen hoog, maar hier beperkt meestal de neerslag het groeiseizoen.

7. Groeimetingen

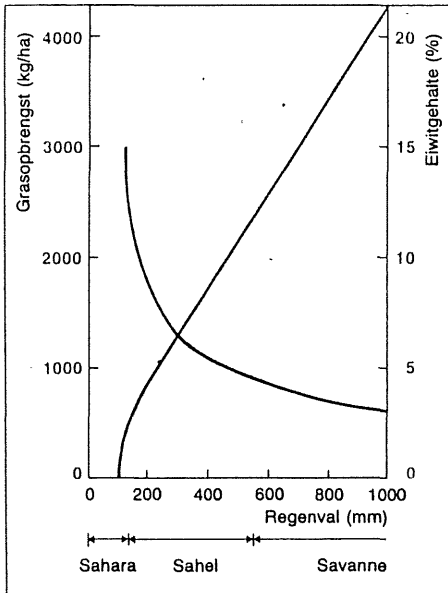
Een Nederlandse landbouwkundige gebruikt kastjes van kunststof voor meting van de fotosynthese (CO_2 -assimilatie) en de transpiratie (waterdamp die het gewas verlaat). Gegevens in de meetwagen geregistreerd, geven duidelijk aan dat de groeisnelheid varieert met de hoeveelheid licht, de temperatuur en de beschikbare hoeveelheid CO_2 .



7

8. Paradox

Nederlandse wetenschappers wierpen enig licht op de problemen die zich voordoen aan de rand van de Sahara. Woestijnvegetatie is hier schaars (groene curve), maar wel rijk aan eiwit (blauwe curve). In het regenseizoen graast het vee van de Sahel over een groot gebied in de 200mm-regenzone en neemt sterk in aantal en gewicht toe. Schade ontstaat in het droge seizoen, als het vee zich concentreert in de 500mm-regenzone waar de geringe bodemvruchtbaarheid de kwaliteit en de kwantiteit van het voer beperkt.



8



9

9. Verdwijende begroeiing

In het droge seizoen trekt het vee van de Afrikaanse Sahel naar het zuiden tot de landbouwgronden. Er moet dan veel vegetatie van lage kwaliteit worden verbrand om het kleine beetje voedsel van hoge kwaliteit te produceren, dat nodig is voor het behoud van de kudde. Remedies die worden aanbevolen, zijn verrijking van de grond door de verbouw van stikstofbindende voedergewassen en met lokaal gewonnen fosfaat. Daarnaast wordt integratie van landbouw en veeteelt aanbevolen.

Ongedierte, ziekten en onkruid

Uitgebreide modellen die verbanden leggen tussen de groei van gewassen en de activiteiten van ongedierte, planteziekten en onkruid worden eveneens volgens bepaalde basisprincipes ontwikkeld en in veldsituaties uitgetest. Deze modellen laten zien in hoeverre een goed groeiend gewas enerzijds beter concurreert met onkruid en anderzijds bladluizen juist beter laat gedijen. De modellen laten ook zien dat ziekten zoals roest minder schadelijk zijn in lage-opbrengst-situaties, waarin de bladeren van het gewas toch al voortijdig afsterven door gebrek aan voedingsstoffen.

Vereenvoudigde versies van deze modellen doen dienst bij het ontwikkelen van methoden voor geïntegreerde gewasbescherming. Daarvoor slaat men de van belang zijnde informatie over akkers op in een databank. Telkens wanneer de boeren nieuwe waarnemingen insturen, stellen de modellen de situatie van ieder veld bij en berekenen de te verwachten schade en verliezen. Op basis daarvan valt een beslissing: behandelen, niet behandelen of later nog eens waarnemen. De Landbouwvoorlichtingsdienst in Nederland heeft dit systeem (Epipre) overgenomen voor gewasbescherming bij tarwe. De boeren die hierbij betrokken zijn, maken dank zij dit systeem een beter overwogen keuze en gebruiken daardoor minder pesticiden. Zulke systemen voor de behandeling van ongedierte, planteziekten en onkruid worden steeds belangrijker, vooral omdat ze het gebruik van en de schade door bestrijdingsmiddelen minimaliseren.

Grenzen aan de kennis

Door leemten in kennis van fundamentele biologische processen bereikt de modelmaker uiteindelijk de grenzen van zijn kunnen. Dit is het meest opvallend bij de ontwikkeling en morfogenese van planten. Tot nu toe zijn twee morfogenetische verschijnselen tot op zekere hoogte modelmatig verklaard. Een daarvan, het evenwicht tussen scheuten en wortels, is gebaseerd op het algemene principe dat de scheuten water en voedingsstoffen nodig hebben, die door de wortels verschaft worden, terwijl de wortels koolhydraten uit de scheuten nodig hebben: de één kan niet groeien zonder de ander.

De vorming van scheuten bij tarwe en rijst wordt gesimuleerd, uitgaande van het verschijnsel 'apicale dominantie'. Daartoe wordt de gemiddelde koolhydraatproductie in de voorgaande twee of drie dagen gedeeld door het totaal aantal scheuten. Er worden nieuwe scheuten gevormd als dit quotiënt

groter is dan een bepaalde drempelwaarde. Is dit getal kleiner, dan wordt het aantal scheuten kleiner. Vervolgens wordt aangenomen dat de snelheid van aarvorming afhangt van de koolhydraattoevoer per overlevende scheut, de vorming van zaden van de toevoer per aar. Zo krijgt het gesimuleerde tarwegewas uiteindelijk het aantal zaden dat het nodig heeft om de koolhydraten die tijdens het rijpen worden gevormd op te slaan. Dit eenvoudige model werkt redelijk, vooropgesteld dat er genoeg gegevens over het gewas beschikbaar zijn om drempelwaarden in te schatten.

De vorming van bladoppervlak wordt berekend door de toename in gewicht te vermenigvuldigen met het 'specifieke bladoppervlak', dat uit veldproeven is afgeleid. Het is echter bekend dat toename in gewicht en bladoppervlak bij planten binnen bepaalde grenzen onafhankelijk zijn, zodat het specifieke bladoppervlak eerder een resultaat van de simulatie moet zijn, dan een sturende variabele. Om dit te verbeteren is een doorbraak in de kennis van de morfogenese hard nodig, maar tot nu toe heeft noch de plantefysiologie, noch de moleculaire biologie daar veel aan bijgedragen.

Dit onderstreept de eclectische aard van systeemanalyse. Bijna twee eeuwen geleden kon Von Wulffen boeren helpen bij vragen over bodemvruchtbaarheid, lang voordat men stikstof als de belangrijkste werkzame factor erkende. Op dezelfde wijze doen wij wat we kunnen binnen de grenzen van onze biologische kennis. Naarmate deze echter toeneemt, kunnen we steeds betere en gedetailleerder modellen verwachten, die een 'web' van verklaringen weven, zodat verbanden zichtbaar worden tussen de processen in complexe ecosystemen en activiteiten van individuele genen.

ILLUSTRATIES

Titelafbeelding: Humboldt-Universität zu Berlin, Duitse Democratische Republiek; informatie bijschrift van H.-H. Stamer, Bad Freienwalde, Duitse Democratische Republiek
 1, 6, 9: Henk Breman, CABO, Wageningen
 2: M. Huet/Agence Hoa-Qui, Parijs
 3, 4, 8: Naar de auteur
 5: The Agricultural Institute, Dublin
 7: Landbouwuniversiteit Wageningen