

# Voorspellen, plannen en bewaken van kwaliteit en kwantiteit in akker- en tuinbouwketens met behulp van gewasgroeimodellen

**A.J. Haverkort en L.F.M. Marcelis**

*Instituut voor Agrobiologisch en Bodemvruchtbaarheidsonderzoek (AB-DLO),  
Postbus 14, 6700 AA Wageningen  
e-mail A.J.Haverkort@AB.DLO.nl en L.F.M.Marcelis@AB.DLO.nl*

De primaire plantaardige productie bevindt zich midden in de agroproductieketen. Voor de gehele keten is geïntegreerd onderzoek nodig vanaf het concept van een genotype (bijvoorbeeld het ideotypen van de aardappel voor tropische omstandigheden) tot en met de wensen van de consument. Genotype, teelt en na-oogst condities dienen onderling op elkaar afgestemd te worden. Tijdens de teelt moet de productie (kwantiteit en kwaliteit) al gestuurd worden naar een optimale na-oogst benutting. Voor de innovatieve kwantitatieve benaderingen in de productieketen van open en bedekte teelten maakt het AB-DLO gebruik van computermodellen van groei en ontwikkeling van gewassen met temperatuur en zonnestraling (in kassen kan dit ook kunstmatige belichting zijn, bovendien is daar CO<sub>2</sub> belangrijk) als drijvende krachten en van de beschikbaarheid van hulpbronnen, met name water en stikstof, uit de bodem. Innovaties op het gebied van informatie- en communicatietechnologieën brengen zelflerende systemen voor kennisvermeerdering en -overdracht binnen handbereik. Deze bijdrage belicht twee casussen waarbij gewasgroeimodellen en informatie- en communicatietechnologieën worden ingezet voor kennisvermeerdering en -overdracht. De oogstvoorspellingsmodellen van komkommer zijn een voorbeeld van gerichte ondersteuning bij de teelt en ketenvorming in de glastuinbouw en de inzet van gewasgroeimodellen in de aardappelproductieketen is hier een voorbeeld van bij de open teelten.

wordt in bijna drie gram drogestof omgezet maar minder naarmate de temperatuur hoger is, de straling intensiever of het gewas lijdt aan biotische of abiotische stressfactoren. De verdeling van de gevormde drogestof over de verschillende plantedelen hangt samen met genetische en omgevingsfactoren. Bij de aardappel speelt met name het door daglengte en andere omgevingsfactoren bepaalde moment van knolaanleg een rol. Bij komkommer wordt de vruchtzetting voornamelijk bepaald door de verhouding tussen aanmaak en verbruik van suikers. Bij de tuinbouwgewassen gaat het veelal niet om de hoeveelheid drogestof maar juist om het versgewicht of het aantal bloemen of vruchten. Modellen voor deze gewassen houden dan ook rekening met het watergehalte en met het aantal geoogste organen.

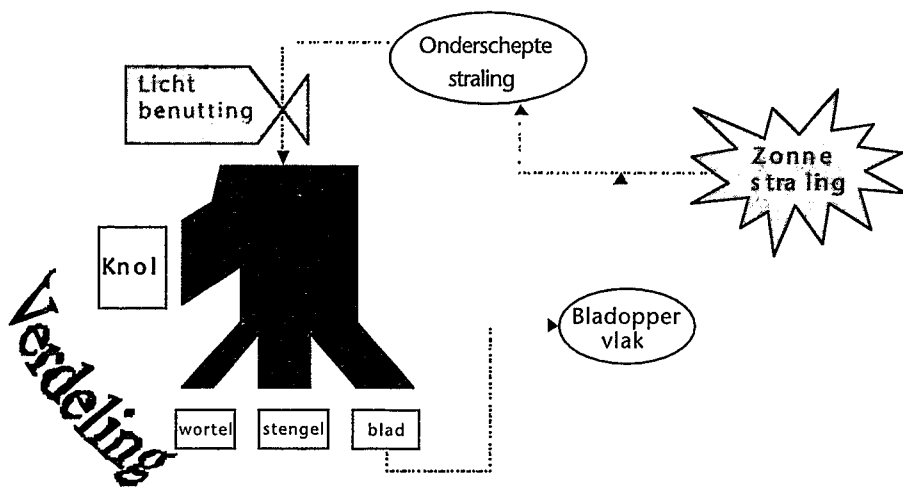
Gewasgroeimodellen worden op het AB-DLO ontwikkeld en toegepast in vrijwel alle schakels van de productieketen van agrogrondstoffen en verse tuinbouwproducten. Voor agro-ecologische zonering worden op nationale of mondiale schaal geschikte gebieden en seizoenen geïdentificeerd, veelal op basis van temperatuursverlopen. Daarna berekent het model de potentiële en waterbeperkte opbrengsten. Ideotypering geeft vervolgens de gewenste genetische eigenschappen (bijvoorbeeld drogestofverdeling en bewortelingsdiepte) om die opbrengsten te realiseren. Na realisatie door biotechnologie en veredeling verkent het gewasgroeimodel het opbrengend vermogen (aangepastheid) van genotypen in doelregio's en seizoenen. Modellen worden ingezet bij ondersteuning van strategische, tactische en operationele teeltbeslissingen. Strategische beslissingen zijn langere-termijn beslissingen

De opkomst van de computer heeft het in de zeventiger jaren mogelijk gemaakt om veel berekeningen naast en na elkaar en ook zeer snel uit te voeren. Was het aanvankelijk een instrument van onderzoekers, gaandeweg vond de technologie haar gebruik bij bedrijven, ook in de land- en tuinbouw. Eerst met name voor tekst en dataverwerking, zogenaamde spreadsheets voor de financiële boekhouding, later ook voor het bijhouden en berekenen van inputs in de tuinbouw. Als de groeisnelheid bekend is, kan berekend worden hoeveel water en nutriënten het gewas nodig heeft, of andersom, als bekend is hoeveel water en nutriënten aan het gewas worden gegeven volgt daaruit de groeisnelheid. Als ook nog de belangrijkste drijvende krachten van de groei worden

meegenomen in berekeningen kunnen groei en ontwikkeling en de daaruit volgende opbrengst en kwaliteit vrij nauwkeurig worden berekend. Ofwel, indien de inputs en de omgevingsvariabelen van tevoren bekend zijn, worden voorspeld.

Gewasgroeimodellen zijn samengesteld uit een aantal rekenregels met parameterwaarden die afkomstig zijn van eerder gedane proeven. Zo weten we dat een kiem ongeveer 0,7 mm per graaddag groeit dus kan het model berekenen wanneer een gewas opkomt als pootdiepte en grondtemperatuur bekend zijn. De bladuitbreidingsnelheid is ook afhankelijk van de temperatuur maar daarnaast van stikstof- en wateraanbod. Elke megajoule opgevangen straling





Figuur 1 – Schematische weergave van een gewasgroeimodel.

zoals welke bedrijfsgrootte, machines, veld of kas worden ingezet. Tactische beslissingen worden genomen voor een heel groeiseizoen zoals rastype en plantdatum. Operationele beslissingen zijn de korte-termijn beslissingen die tijdens de teelt genomen worden zoals berekening, bemesting of kasklimaatregeling.

Door het monitoren van het gewas door getrapte oogsten maar vooral door modellen van gewasgroei en ontwikkeling met invoer van real-time weers- of kasklimaat- en teeltgegevens worden kwaliteit (bijvoorbeeld maatsortering, inhoudsstoffen, bewaar- en verwerkbaarheid) en de fysieke en financiële opbrengst op elk moment vastgelegd. Met scenariostudies, tenslotte, worden verkenningen uitgevoerd hoe in welke situatie optimaal gebruik gemaakt kan worden van (a)biotische en socio-economische hulpbronnen (bijvoorbeeld de beperking van de emissie van milieubelastende stoffen of het bereiken van toegevoegde waarde aan de grondstof door het op het bedrijf laten ondergaan van bewaring en/of bewerking).

De bedoeling van deze bijdrage is het gebruik van gewasgroeimodellen te illustreren aan de hand van twee casussen. De oogstvoorspelling van de komkommer en het optimaliseren van de aardappelproductie. Toekomstige ontwikkelingen, tenslotte worden geschetst zoals het gebruik van gewasgroeimodellen in zelflerende systemen en toepassingen in integrale zorgsystemen en certificering van producten, teeltwijzen en bedrijven.

### Oogstvoorspelling bij komkommer

De organisatie van de afzet van tuinbouwproducten is momenteel sterk in beweging. Verschillende afzetmethoden, zoals voorverkoop en bemiddeling, maken opgang en er ontstaan meer deelmarkten. De markt vraagt stabiele prijzen, een stabiele kwaliteit en wil niet meer afhankelijk zijn van een grillig aanbod. Voor goede prijsvorming, verkoopacties en logistieke afhandeling wordt het steeds belangrijker dat er een goed zicht is op de te verwachten aanvoer. Moderne bedrijfsvoering in de tuinbouw betekent planmatig telen, waarbij voorspellen en sturen van de productie en kwaliteit belangrijke elementen zijn. Groeimodellen vormen hierbij een effectief hulpmiddel.

Het AB-DLO heeft in samenwerking met andere onderzoeksinstituten (LUW, PBG) mechanistische groeimodellen voor een aantal kasgewassen ontwikkeld. Deze groeimodellen kunnen aan de hand van klimaatgegevens, plantgegevens en teeltgegevens (kasgegevens) de groei van het gewas en de kwantiteit, kwaliteit en timing van de te oogsten producten berekenen. Een mechanistisch groeimodel beschrijft de verschillende processen die in het gewas plaatsvinden en berekent op basis van plantprocessen de productie. Belangrijke rekenstappen van een model voor bijvoorbeeld een vruchtgroentegewas zijn de berekening van de lichtdoorlatendheid van de kas, lichtonderschepping door de bladeren, fotosynthese en ademhaling van het gewas, drogestofproductie, verdeling van drogestof over de vegetatieve delen en de verschillende vruchten, zetting, abortie, assimilatenbehoefte en uitgroei van organen (vruchten),

relatie tussen vers- en drooggewicht en gewicht en kwaliteit van de oogstbare vruchten (voor overzicht over groeimodellen in de tuinbouw zie Marcelis et al., 1998).

Voor oogstvoorspelling bij komkommer is het het groeimodel KOSI ('KOMkommer-SIMulatie voor oogstvoorspelling') ontwikkeld (Marcelis & Gijzen, 1998a, 1998b). Het model kan gebruikt worden voor korte-, middellange- en langetermijnvoorspellingen. Het model kan een voorspelling geven voor het gehele groeitraject. Op het moment van inzetten van de teelt kan reeds een voorspelling voor de gehele oogstperiode gemaakt worden. Deze modelberekeningen kunnen in principe elke dag aangepast worden aan werkelijke weersgegevens van de afgelopen periode of weersverwachting voor de komende dagen; de voorspelling kan dus elke dag opnieuw gedaan worden.

Op basis van tijdstip van planten en ruimen van het gewas, kan het model al een oogstvoorspelling doen. Er wordt dan uitgegaan van een gemiddeld weerpatroon. Bij voorkeur wordt ook de afstand tot de kust opgegeven, omdat met name de instraling dicht bij de kust afwijkt van die landinwaarts. Om het werken met het model zo eenvoudig mogelijk te houden worden voor alle andere factoren (zoals kasklimaatregeling, lichtdoorlatendheid van de kas, oogststrategie, plantafstand, aantal aan te houden stamvruchten, plantgrootte bij planten, raseigenschappen, verhouding tussen bruto en netto kasoppervlak, etc.) gemiddelde waarden aangenomen. Door per tuinder deze factoren aan het model op te geven zou de oogstvoorspelling duidelijk verbeterd kunnen worden. Afhankelijk van de doelstelling of beschikbaarheid van gegevens kan een modelberekening gedaan worden op basis van meer of minder invoervariabelen.

Het model berekent per teelt voor elke dag de totale productie in kilogrammen en stuks ( $\text{kg m}^{-2} \text{ week}^{-1}$ ;  $\text{aantal m}^{-2} \text{ week}^{-1}$ ), het percentage in de kwaliteitsklasse Binnenland, de verdeling van komkommers over de gewichtsklassen en de leeftijd van de vruchten op moment van oogst.

## KOSI in de praktijk

Om te testen of de uitkomsten van het model KOSI overeenkomen met de praktijk is met het model voor een tiental tuinders op basis van gerealiseerd klimaat de wekelijkse productie berekend. De berekeningen zijn gebaseerd op weekgegevens van gemeten straling, temperatuur, CO<sub>2</sub>-concentratie en weeknummer van planten en ruimen van het gewas. Gemiddeld over alle tuinders kwamen de modelberekeningen zeer goed overeen met de werkelijke oogst: de gemiddelde totale productie van 10 tuinders bedroeg in 1996 71,8 kg m<sup>-2</sup>, terwijl het model 72,0 kg m<sup>-2</sup> berekende, dus slechts 0,3% afwijking. De gemiddelde wekelijkse fout bedroeg 0,17 kg m<sup>-2</sup> ofwel 12,6%.

Vervolgens is nagegaan hoe goed de productie van deze tien tuinders voorspeld kan worden op basis van alleen de begin- en eindweken van elke teelt en afstand tot de kust. Voor de verwachte instraling en buitentemperatuur werd uitgegaan van een gemiddeld weerpatroon (30-jarig gemiddelde van De Bilt, gecorrigeerd voor afstand

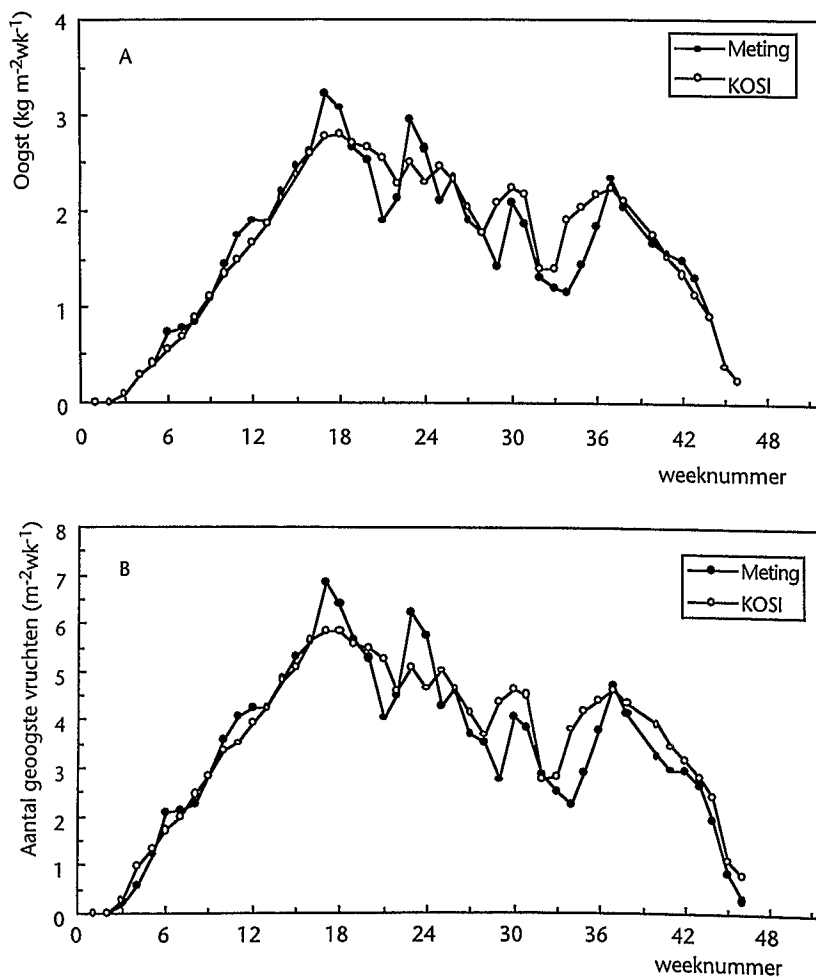
tot de kust). Voor klimaatregeling en teeltcondities werd uitgegaan van gemiddelde waarden.

Gemiddeld over alle tuinders kwam de oogst zowel voor wat betreft de kilogramals stuksproductie goed overeen met de modelberekeningen (Figuur 2). De gemiddelde totale productie bedroeg in 1996 71,8 kg m<sup>-2</sup>, terwijl het model 73,8 kg m<sup>-2</sup> voorspelde, dus slechts 2,8% afwijking. De gemiddelde wekelijkse fout in 1996 bedroeg 0,19 kg m<sup>-2</sup> ofwel 14,9%. Van week 33 tot 36 werd de productie door het model iets te hoog berekend doordat het in productie komen van de derde teelt door het model niet altijd goed ingeschat werd. Hierbij speelt onder andere een rol dat het in deze periode veel uitmaakt of op maandag of vrijdag wordt geplant, terwijl aan het model alleen het weeknummer werd opgegeven.

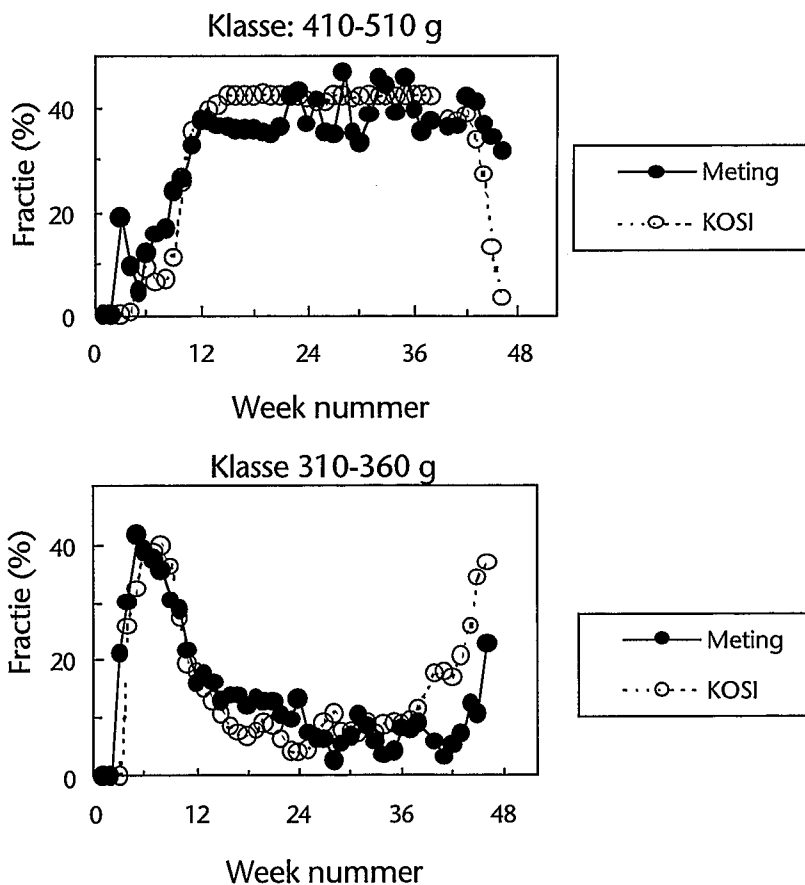
Hoewel per individuele tuinder de berekende productie ook redelijk overeenkwam met de praktijk, zijn er soms ook behoorlijke afwijkingen. Op zich is dit niet zo ver-

wonderlijk aangezien voor veel factoren (bijvoorbeeld oogststrategie, aantal stamvruchten, lichtdoorlatendheid van de kas) van gemiddelden werd uitgegaan. Als meer gegevens beschikbaar zijn om aan het model op te geven, kan de berekening per individuele tuinder verbeterd worden.

Komkommers worden gesorteerd op gewicht. Het gewicht van de vruchten is dan ook één van de belangrijkste kwaliteitsparameters van een komkommervrucht. Het model berekent dan ook niet alleen de productie in kilogrammen en stuks maar ook de verdeling over de verschillende sorteringen. In Figuur 3 is te zien dat het percentage vruchten in twee van de belangrijkste gewichtsklassen goed overeenkwam met de praktijk. Aan het eind van het jaar werd de vruchtgrootte echter duidelijk onderschat door het model, waardoor het percentage vruchten in de klasse 410-510g onderschat werd. Een nadere analyse van oogststrategie en vruchtgroei in deze periode is nodig om de berekeningen te kunnen verbeteren. De gemiddelde wekelijkse fout van het gemiddeld vruchtgewicht was 6.5%.



Figuur 2 – De met het model KOSI voorspelde kilogram- (A) en stuksproductie (B) bij komkommer. De modelberekeningen zijn gebaseerd op een meerjarig weergemiddelde. De praktijkgegevens zijn een gemiddelde van 10 tuinders (uit Marcelis & Gijzen, 1998b)



**Figuur 3** – De met het model KOSI voorspelde percentages vruchten in de gewichtsklassen 310-360 g (A) en 410-510 g (B) bij komkommer. De modelberekeningen zijn gebaseerd op een meerjarig weergemiddelde. De praktijkgegevens zijn een gemiddelde van 10 tuinders.

ling dan wel oogstplanning gekoppeld worden aan o.a. logistieke ketenmodellen en voorspellingen van de consumentenvraag.

### Schakels in de aardappel-productieketen

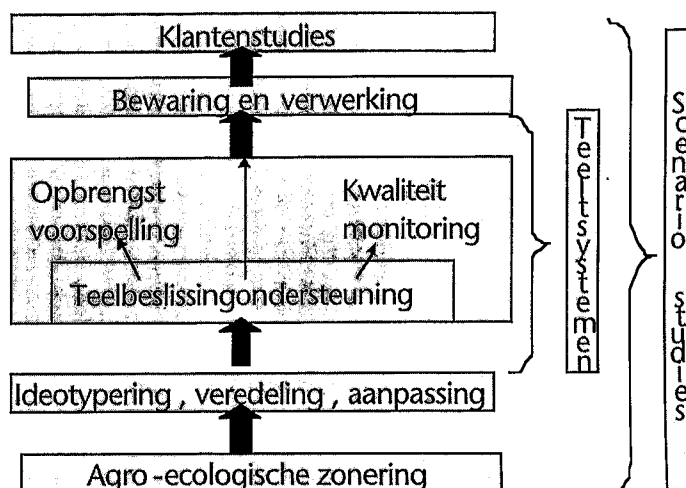
Het functioneren van ketens hangt in hoge mate af van de informatie-uitwisseling tussen de schakels. Wensen en eisen verderop in de keten moeten vertaald worden naar de primaire ketendelen. Incidentele of permanente veranderingen in het primaire deel moeten doorgerekend en doorgegeven worden naar de gevolgen verderop (verwerking en toepassing) en naar voren (veredeling, uitgangsmateriaal). Het agrobiologisch onderzoek wordt benut door zichtbaar te maken dat interacties tussen de schakels efficiënt gestuurd kunnen worden door kwantitatieve informatie te genereren via modellen. Bij veel beslissingen en keuzen in ketens is die kwantitatieve doorrekening over schakels van essentieel belang.

Een goed voorbeeld van de modeltoepassing is de aardappelproductieketen. Hierbij wordt uitgegaan van de wens van de consument om een bepaald aardappelproduct (verse aardappel op het schap bij de groente-

Naast vruchtgrootte is de fysiologische leeftijd van een komkommervrucht een belangrijk kwaliteitsaspect. De temperatuursom van bloei tot oogst is een goede maat voor de fysiologische leeftijd (Marcelis & Baan Hofman-Eijer, 1993). Zowel te jonge als te oude komkommers hebben een beperkte houdbaarheid door, respectievelijk, het optreden van zogenaamde slappe nekken of het snel vergelen van de vrucht (Welles, 1990; Janse, 1994). Het model berekent van elke vrucht de fysiologische leeftijd bij de oogst. Het model kan hierdoor ook

gebruikt worden bij voorspelling van houdbaarheid van de vruchten.

De vergelijking tussen KOSI en praktijk laat zien dat groei modellen een goed perspectief bieden voor voorspelling van zowel de kwantiteit als kwaliteit van tuinbouwgewassen. Voorspelling van oogst is een eerste stap op weg naar een meer ketengerichte benadering van productie in de glastuinbouw. Een volgende stap is dat modellen gebruikt worden voor planning van de productie en dat modellen voor oogstvoorspel-



**Figuur 4** – Schakels in de primaire productieketen

boer, zetmeel dat voldoet aan bepaalde specificaties, pootgoed geschikt voor een bepaalde toepassing of voorgebakken frites) af te nemen. De verschillende elementen zijn: *consumentenpreferenties* → *toepassingen* → *bewaarbaar en verwerkbaar product* → *teelt(begeleiding) gericht op opbrengsten (agro-ecologische zonerings)*, *aanvoer- en opbrengstvoorspellingen, kwaliteit, milieubelasting* → *scenariostudies uitgangsmateriaal* → *veredeling/expressie/pleiotropie* → *biotech/pathways* → *ideotypering* → *agro-ecologische zonerings*. Het schema in figuur 4 geeft de keten weer. Integratie, bewerking en interpretatie van waarnemingen binnen de verschillende delen van de primaire productieketen leiden tot de ontwikkeling van zelflerende systemen.

De aardappel is het belangrijkste akkerbouwgewas in Nederland. De totale opbrengst van de circa 180 000 ha per jaar gaat de 8 miljoen ton te boven. Eenderde wordt verwerkt door de zetmeelindustrie, een kwart wordt gebruikt als pootgoed voor binnen- en buitenlands gebruik en de rest is voor consumptie als verse aardappel of verwerkt tot diepvriesproducten en chips. Zo'n 700 000 ton pootgoed gaat naar gebieden waar de groeiomstandigheden sterk verschillen van die in Nederland.

De eerste activiteit wanneer een aardappelproductieketen in een nieuw gebied verkend wordt is het nagaan van de verwachte consumptie. Na de marktstudie van consumentenacceptatie, consumentendichtheid en

koopkracht wordt een Agro-ecologische zonerings uitgevoerd. Hierbij wordt nagegaan of een bepaald gebied geschikt is voor de aardappelteelt en wat de opbrengsten zullen zijn bij verschillende niveaus van inputs zoals beregening en bemesting. Voor aardappels wordt eerst gekeken hoelang het groeiseizoen is waarbij de gemiddelde maandelijkse minimumtemperatuur boven de vijf graden is (vorstvrij) en de gemiddelde maximum temperatuur beneden achten-twintig graden. Potentiële opbrengsten zijn de berekende opbrengsten waarbij geen groeibeperkende factoren (water en meststoffen) aanwezig zijn. Zijn die er wel dan is sprake van "haalbare opbrengsten", zoals berekend door van Keulen en Stol (1995). In aanwezigheid van groeikortende factoren (ziekten, plagen of onkruiden) halen telers actuele opbrengsten die vaak slechts de helft of minder van de potentiële opbrengst zijn. Strategische beslissingen om een teelt aan te vangen worden zo kwantitatief onderbouwd.

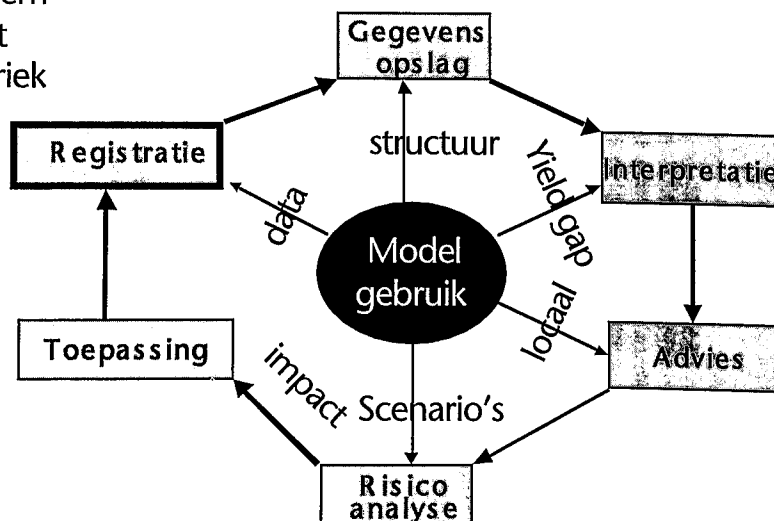
Vervolgens wordt modelmatig verkend hoe het ideale ras in het geschetste groeiseizoen eruit moet zien (ideotypering). Het model berekent dan de juiste lengte van de groeicyclus die net zo lang moet zijn als het beschikbare groeiseizoen. Bij vroege rassen wordt al vroeg veel drogestof naar de knol vervoerd en blijft er weinig over voor het blad dat dan vroeg afsterft. Bij hoge temperatuur en lange dag vindt de knolaanleg later plaats en zal het ras langer groeien. Ook berekent het model hoe het gewas aan

water komt en hoe dat het beste kan inzetten voor productie (Spitters en Schapendonk, 1990). Als het geschikte genotype is geïdentificeerd kan door modelverkenning tevens worden nagegaan in welke andere omgevingen dit ras bepaalde opbrengstniveaus kan halen. Dit is een voorbeeld van een tactische beslissing gebaseerd op kwantitatieve voorinformatie.

Operationele beslissingen worden genomen als een bepaald ras eenmaal is gepoot. Op basis van gewasgroeimodellen en parameterwaarden van de omgevingsfactoren (zoals bijvoorbeeld het weer en het waterbergend vermogen van de bodem) kan het model berekenen hoeveel opbrengsttoename van een bepaalde hoeveelheid beregeningswater verwacht mag worden. Of hoeveel stikstof nog bijbemest moet worden om te voldoen aan de resterende stikstofvraag gedurende het groeiseizoen. Bij deze berekeningen maakt het model gebruik van actuele weersgegevens tot de dag van berekening en van langjarige weersgegevens vanaf die dag. Op deze wijze worden ook de totale opbrengsten voor hele sectoren (bijvoorbeeld de suikerbietenopbrengst in Nederland) al maanden voor de eind oogst benaderd. Veel van de modelgegevens en de actuele respons in deze teeltbegeleidingssystemen dienen als basis voor zelflerende systemen door ze niet weg te gooien maar in een gegevensbestand te bewaren en te interpreteren.

Tenslotte verkennen modellen scenariostudies voor beslissers in het beleid op het niveau van de politiek en het al dan niet overkoepelende bedrijfsleven. Verkenningen in scenariostudies geven dan antwoorden op vragen als: wat zijn de opbrengstverwachtingen als water op recept gaat of wanneer er bij de eind oogst niet meer dan zestig kilo nitraat in het profiel mag zitten. Of andere vragen zoals welk gewas maakt het best gebruik van de beschikbare hulpbronnen of wat is het risico op schade door nachtvorst of droogte voor een bepaald gewas in een bepaald gebied of periode van het jaar.

Weer  
Bodem  
Teelt  
Fabriek



Figuur 5: Schematische weergave van zelflerende systemen

**Figuur 6. Voorbeeld van databehoeftte in een zelflerend systeem**

Zelflerende systemen

Voorbeeld van in- en uitgaande gegevens

*Casus zetmeelaardappelteelt*

Gegevens die het zelflerend systeem **IN** gaan op perceelsniveau

**EENMALIG OF EENS IN DE ZOVEEL JAAR**

- Grondsoort, granulaire eigenschappen
- pH, Organische-stofgehalte,
- Bewortelingsdiepte, waterbergend vermogen

Elk jaar

- Bodemvoorraad in voorjaar (water, nutriënten)
- Teeltregistratiegegevens (bemesting, ras, pootdata, oogstgegevens (opbrengst, kwaliteit (drogestof, tarra,...))
- Teeltbegeleidingsgegevens (aaltjes, waterplanner, NBS, ...)
- Weersgegevens (dagelijkse temperatuur, neerslag, zonnestraling van een nabijgelegen weerstation, neerslag eventueel ter plekke).

Wat het syteem doet

- telt elk jaar de gegevens op bij de gegevens van de vorige jaren en versterkt zodoende de database
- verbetert de correlaties voor strategische en tactische beslissingen
- verbetert de risicoanalyse en genereert mogelijke nieuwe teeltbeslissingsondersteunende maatregelen

Gegevens die het zelflerend systeem **UIT** gaan op perceelsniveau

- strategische beslissingsondersteuning (perceels- en raskeuze, grondverbetering, ...)
- tactische beslissingsondersteuning ((bij)bemesting, berekening, gewasbescherming, oogsttijd,...) als versterking van bestaande ondersteuning van teeltbeslissingen
- gegevens ten behoeve van teelt- en bedrijfs-certificering (input/output, emissie, residuen,...)

**Voordelen van het zelflerend systeem**

De ervaring opgedaan in voorgaande jaren blijft op kwantitatieve manier behouden. Strategische en tactische teeltmaatregelen kunnen daardoor beter, en wel naarmate het systeem langer draait steeds beter, getalsmatig onderbouwd worden. Tevens wordt het steeds beter mogelijk het risico van het al dan niet toepassen van een maatregel te onderbouwen. Vragen worden beantwoord als: hoe laat moet het ras zijn dat ik poot, hoeveel mm regen geef ik op 1 juli met hoeveel kg stikstof ?,....

Let wel

Het is met invoering van het systeem niet de bedoeling meer gegevens te verzamelen per perceel, alleen doelgericht met gerichte terugkoppeling!

## **Zelflerende systemen bij ondersteuning van teeltbeslissingen**

Alle informatie binnen schakels van de productieketen wordt momenteel vastgelegd door telers, overheden, afnemers en verwerkende bedrijven en retailers. Ketenvorming in de agribusiness is een drijvende kracht achter het vastleggen van gewas- en bedrijfsgegevens voor product- en bedrijfs-certificering. De ontwikkelingen in de informatie- en communicatietechnologie maken het mogelijk om historische, actuele en toekomstige gegevens vast te leggen en in te richten als een zelflerend systeem. Het schema in figuur 5 geeft de diverse schakels van het zelflerende systeem weer.

Centraal staat het gewasgroeimodel. Op perceelsniveau worden waarnemingen verricht aan bijvoorbeeld het weer of kasklimaat, de bodem of substraat, de teeltgrenzen en de opbrengst en kwaliteit. Deze gegevens worden opgeslagen in een database en met behulp van gewasgroeimodellen geïnterpreteerd door middel van analyse van potentiële, water- en andere hulpbronnen beperkte opbrengsten. Vervolgens wordt een perceelsspecifiek advies gegenereerd waarop een kwantitatieve risicoanalyse volgt. Na toepassing volgt opname van de dosisrespons in de registratie. Door aan te vangen met zoveel mogelijk historische data (bijvoorbeeld relaties tussen weer, stikstofgiften en opbrengsten) en door jaarlijks additionele gegevens op te nemen in het systeem wordt het systeem steeds slimmer en kan beter gefundeerde teeltondersteuning worden gegeven bij vragen als: hoe vroeg moet een ras voor de voorlevering zijn? Wanneer en hoeveel te beregenen of stikstof bij te bemesten bij restricties voor gebruik ervan? Figuur 6 toont een voorbeeld van het soort waarnemingen dat verricht kan worden op een perceel zetmeelaardappelen.

## Perspectieven voor huidige en toekomstige toepassingen

Modellen, teelt- en bedrijfsregistratie voor kwaliteit- en milieuzorg en informatie- en communicatietechnologieën nemen snel toe in belang bij het voorspellen, plannen en bewaken van productkwantiteit, -kwaliteit in zowel de open als bedekte teelten.

Responsiviteit is het trefwoord in de ontwikkeling van ketenkennis. Belangrijke vraag hierbij is niet alleen hoe de producent van agrarische producten door middel van bijvoorbeeld teeltmaatregelen, cultivars, teeltgebieden, seizoenen of kasklimaatregeling kan inspelen op de snelle wisseling in wensen van de afnemer c.q. consument, maar tevens welke speelruimte er is. Het kwantitatief gewaskundig onderzoek resulteert in steeds meer modules waarin de relaties tussen de teelt (keuze teeltgebieden, sturingsmogelijkheden, oogsttijdstip) en de andere schakels in de keten (productie uitgangsmateriaal, bewaring, transport en verwerking) zijn opgenomen, zodat ketens optimaal zijn geplaatst en functioneren.

Nationaal en internationaal is er een duidelijke toename van interesse van bedrijven en instanties voor toepassing van gewasgroei-modellen. Enkele voorbeelden van huidige financiers en afnemers van dit onderzoek zijn onder andere het Internationaal Aardappel Centrum (ideotypering en scenario's), de Europese Unie en de Kunst-

mestindustrie (teeltbeslissing), de Zetmeelindustrie (optimalisering van de primaire productie en productsturing), de verwerkende industrie (teeltregistratie en zelflerende systemen en LNV (precisielandbouw, duurzame teeltsystemen in de glastuinbouw), veiligen (voorspelling van productie en productkwaliteit), programmabureau Economie, Ecologie en Technologie (minimalisatie van nutriëntenemissies in de glastuinbouw), automatiseringsbedrijven (kasklimaatregeling en sturing van productkwantiteit en -kwaliteit) en adviesbureaus (analyse en sturing van productie). Nieuwe modules voor nieuwe opdrachtgevers richten zich thans onder andere op milieucontaminanten om de invloed van bijvoorbeeld etheen en ozon op opbrengst en kwaliteit te kunnen monitoren en kwantificeren. Deze toepassingen beslaan via teelt en scenario's een groot deel van de gehele productieketen.

## Referenties

- Haverkort, A.J. en R.J.F. van Haren, 1998. The application of modeling in the potato production chain. *Acta Horticulturae* 476: 13-22.
- Janse, J. 1994. Effect of growing methods on the incidence of rubber necks in cucumber fruits. *Acta Horticulturae* 379: 281-288.
- Marcelis, L.F.M. & Baan Hofman-Eijer, L.R., 1993. Effect of temperature on the growth of individual cucumber fruits. *Physiologia Plantarum* 87: 313-320.
- Marcelis, L.F.M. & Gijzen, H., 1998a. Evaluation under commercial conditions of a model of prediction of the yield and quality of cucumber fruits. *Scientia Horticulturae* 76: 171-181.
- Marcelis, L.F.M. & Gijzen, H., 1998b. A model for prediction of yield and quality of cucumber fruits. *Acta Horticulturae* 476: 237-242.
- Marcelis, L.F.M., Heuvelink, E. & Goudriaan, J. 1998. Modelling biomass production and yield of horticultural crops: a review. *Scientia Horticulturae* 74: 83-111.
- Spitters, C.J.T. & Schapendonk A.H.C.M., 1990. Evaluation of breeding strategies for drought tolerance in potato by means of crop growth simulation. *Plant and Soil* 123:193-203.
- Van Keulen, H & Stol, W., 1995. Agroecological zoning for potato production. In: A.J. Haverkort & D.K.L. MacKerron (eds.). *Potato Ecology and modeling of crops under conditions limiting growth*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht pp: 41-60.
- Welles, G.W.H. 1990. Belangrijke kwaliteitsproblemen bij de teelt van groentegewassen onder glas. In: *Fysiologie en kwaliteit van tuinbouwproducten* (H.M. Dekhuijzen & S.C. van de Geijn, eds.). *Agrobiologische Thema's*, AB-DLO Wageningen, pp3-14. @