

# ATO Agrotechnologie en Computer Beeld Analyse

A.J.M. Timmermans

*Sinds januari 1990 wordt op ATO-DLO onderzoek verricht aan de toepassing van beeldverwerking voor de beoordeling van landbouwkundige produkten. De sectie Computer Beeld Analyse (CBA) is ondergebracht bij de afdeling Systeemkunde van het ATO. In de afdeling Systeemkunde worden o.a. systemen ontwikkeld, gebaseerd op diverse technieken (Operations Research, Kunstmatige Intelligentie, etc.) om beslissingen in diverse schakels van een logistieke keten te kunnen ondersteunen. Verder wordt fundamenteel en experimenteel onderzoek gedaan aan verpakkings- en koeltechnologie.*

*Vanaf 1 januari 1991 werken op het ATO vier onderzoekers full-time aan beeldverwerking. Op dit moment staan twee beeldverwerkingssystemen tot de beschikking. Het Quantimet 520 apparaat wordt vooral voor het routinematig meten ingezet. Verder wordt Imaging Technology SR-151 hardware gebruikt, gekoppeld aan het Visilog softwarepakket voor de ontwikkeling van de meer complexe routines. Binnen het ATO staan nog twee andere beeldverwerkingssystemen. Een met TCL-Image software uitgeruste PC is gekoppeld aan de Confocale Laser Scan Microscop (CLSM) voor opname en bewerking van de CLSM-beelden. Een Olympus systeem is speciaal aangeschaft voor het meten van microscoop fluorescentie om bijvoorbeeld Calcium concentraties in cellen te meten.*

## Inleiding

In dit artikel wordt een beeld gegeven van de toepassingsgebieden van beeldverwerking binnen het ATO werkveld. Vervolgens worden de toepassingsmogelijkheden voor een aantal produkten uitgewerkt. Tot slot worden een aantal speciale aspecten uit het onderzoek aan beeldverwerking toegelicht.

## Toepassing van beeldverwerking

Het aandachtsgebied van het ATO omvat produkten van agrarische herkomst nadat ze geoogst zijn. Classificatie van deze produkten op kwaliteit is een belangrijk proces in de afzetketen. De kwaliteitssortering bepaalt bijvoorbeeld de afzetmogelijkheid en de prijsvorming. Digitale beeldverwerking kan ingezet worden bij de beoordeling van visuele kwaliteit. Met deze techniek kunnen objectief vorm, afmetingen, kleur en kleurafwijkingen bepaald worden.

Door deze mogelijkheden wordt vaak bij landbouwkundige produkten de link gelegd naar toepassing in optische sorteerlijnen. Eenvoudig gesteld worden hierbij de produkten via een transportband langs een camera geleid, die een opname maakt van het object. Na digitalisatie wordt het beeld bewerkt volgens een bepaald algoritme en informatie over dat object komt beschikbaar. Na het nemen van een beslissing over de klasse-indeling wordt een mechanisch

systeem geactiveerd om het produkt in de juiste sortering te doen belanden.

Sortering op afmeting is vaak mogelijk met puur mechanische sorteersystemen. Voor het detecteren van kleur en kleurafwijkingen is het nodig een systeem met een optische sensor te gebruiken. Er bestaan systemen uitgerust met camera's die bepaalde soorten groenten en fruit op vorm, kleur en afmetingen sorteren (Nunnink, 1991). Bij het ATO onderzoeken we voor bepaalde produkten hoe onder de beste opname-omstandigheden en met het meest geschikte analyse-algoritme de uitwendige kwaliteit gekwantificeerd kan worden. In samenwerking met het bedrijfsleven kan op basis van deze meetmethode een operationeel prototype ontwikkeld worden. De onderzoeksprojecten voor de beoordeling van de uitwendige kwaliteit van uien en bloembollen en het project industriële groenten en fruit zijn hiervan voorbeelden.

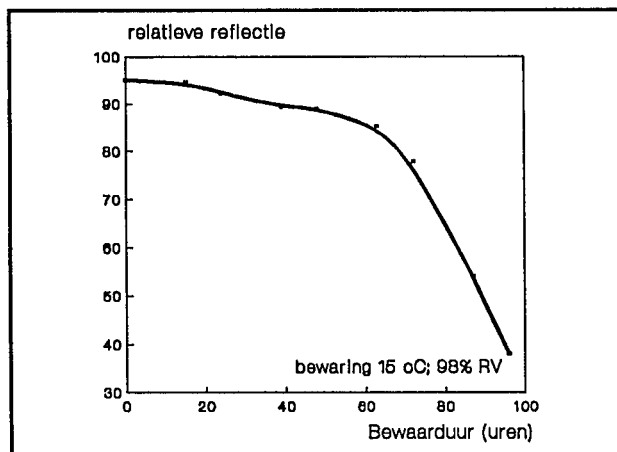
## Ondersteuning van onderzoek

Het CBA onderzoek op het ATO is naast het ontwikkelen van sorteersystemen ook gericht op onderzoek ondersteuning. Met CBA-technieken kunnen bepaalde visuele kenmerken objectief en nauwkeurig gekarakteriseerd worden. Dit betekent dat CBA uitermate geschikt is om in te zetten bij onderzoek om het verloop van kwaliteit van produkten in de tijd te volgen (groei, verkleuring, etc.). Visuele kwaliteitsachteruitgang in verpakkings- en koeltechnische experimenten wordt gemeten en het optimale bewaarpad kan sneller gevonden worden. CBA is een hulpmiddel bij de verificatie van kwaliteitsverloopmodellen, die het gedrag van een produkt na oogst onder verschillende bewaaromstandigheden simuleren.

Fysiologen proberen o.a. inzicht te verkrijgen in de processen die ten grondslag liggen aan veroudering (verwelken bloemen, stress bij planten, groei en verkleuring van champignons, etc.). Verwerking van produkten heeft een verandering van de celstructuur en celinhoud tot gevolg, waardoor de afmetingen veranderen. De behoefte is groot om CBA in te zetten bij het vastleggen van de grootte van deze veranderingen.

## Ontwikkeling van kwaliteitstoetsen

Tussen ondersteuning van ATO-onderzoek en ontwikkeling van geautomatiseerde sorteersystemen, ligt nog een interessant toepassingsgebied. Om met beeldverwerking meer ingewikkelde analyses uit te kunnen voeren is een minimale hoeveelheid rekentijd nodig. Inbouw van complexe routines in snelle sorteersystemen met speciale elektronica is vaak nog niet mogelijk. Door echter een steekproef uit het totale produktaanbod te controleren kan toch iets gezegd worden over de kwaliteit van die sortering (vgl. functie keurmeester op veilingen). Dergelijke kwaliteitstoetsen kunnen bijvoorbeeld bij telers, op veilingen en een proefstation gebruikt worden. De snelheid van een beoordeling speelt dan een minder belangrijke rol.



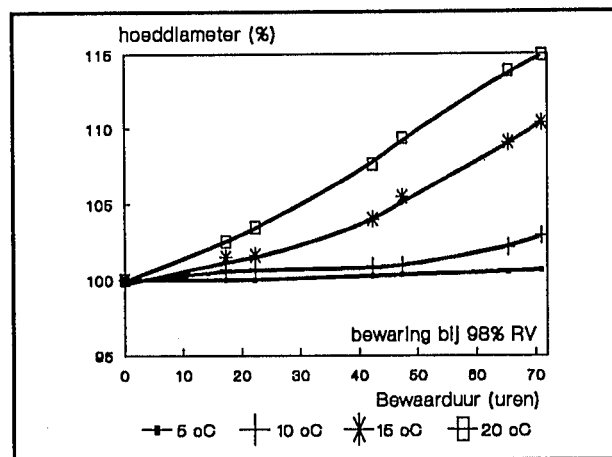
Dergelijke systemen zijn bijvoorbeeld al interessant om objectief kleur of mate van aantasting van produkten te vergelijken. Ook minder voor de hand liggende kenmerken, zoals voor de mens onzichtbare verschijnselen (in infrarood of ultraviolet gebied) en een bepaalde analyse die een directe relatie tussen de meting en interne kwaliteit aangeeft zijn denkbaar. In sommige gevallen bestaan reeds procedures om kwaliteitsaspecten vast te leggen. De introductie van een beeldanalyse apparaat dat een aantal van deze aspecten bepaalt is dan vrij gemakkelijk realiseerbaar.

### Voorbeelden van produkten

De kwaliteit van verse champignons dient aan een aantal vast omschreven criteria te voldoen. De kleur (witheid) en de aanwezigheid van plaatselijke verkleuringen zijn belangrijke kwaliteitsaspecten die met het menselijk oog niet objectief bepaald kunnen worden. Onderzoek heeft aangetoond dat dit met CBA wel mogelijk is. Van belang is dat de opname-omstandigheden bij densitometrische metingen constant blijven. Omdat een champignon van fel wit naar bruin/geel verkleurt levert meting van de totale reflectie voldoende informatie over het kleurverloop. Een kleurencamera is daarom voor deze toepassing niet nodig.

Behalve de absolute kleur heeft de aanwezigheid van donkere vlekken een negatieve invloed op de kwaliteitswaardering. Omdat de champignonhoed een wat bolle vorm heeft, is het niet mogelijk door directe drempling van het beeld de donkere vlekken te scheiden van de witte hoed. De rand van de hoed heeft namelijk een lagere lichtreflectie dan de bovenkant van de hoed (afhankelijk van positie belichtingsbronnen). De volgende methode wordt toegepast om de vlekken toch te kunnen meten. Door een MAXIMUM-filter met een grootte van 15\*15 pixels op het beeld los te laten, wordt de champignon getransformeerd tot een witte champignon zonder vlekken. Door op hetzelfde beeld een MINIMUM-filter met eenzelfde grootte uit te voeren krijgt de champignon weer zijn originele formaat terug, maar de vlekken blijven weg. Door het origineel af te trekken van het laatste beeld blijft een beeld over, waarin alleen de vlekken zichtbaar zijn. Na drempling zijn de vlekken meetbaar.

Voorbeelden van metingen aan het kwaliteitsverloop van champignons staan in de figuren weergegeven. In figuur 1 staat de hoedgroei onder verschillende bewaar-temperaturen afgebeeld (een champignon groeit door na de



oogst). Figuur 2 laat het gemiddelde reflectieverloop zien van champignons tijdens bewaring (100% reflectie staat voor de reflectie van een wit oppervlak).

De ontwikkelde methode wordt gebruikt voor klimaatonderzoek en verificatie van een kwaliteitsverloopmodel voor champignons. Verder onderzoek zal verricht worden om deze methode geschikt te maken om op grotere schaal de kwaliteit van champignons te beoordelen.

### Hennepulp-karakterisering en papierkwaliteit

In de afdeling Systeemkunde loopt een project met als doelstelling een model te ontwikkelen, waarin de relatie tussen pulpeigenschappen en de kwaliteit van het geproduceerde papier vastgelegd is. Fysische en chemische eigenschappen van de hennepulp zijn, samen met procesvariabelen, zoals maalduur en het type ontsluiting, inputparameters voor het model. De output bestaat uit eigenschappen van het papier, zoals scheursterkte, witheid, watervastheid, etc. Om dit model te valideren moeten experimentele gegevens verkregen worden. Voor het bepalen van de fysische eigenschappen kunnen CBA-technieken worden toegepast (Jordan, 1983).

De lengteverdeling van de vezels is een belangrijke parameter voor dit model. Beeldverwerking wordt gebruikt om de lengte van individuele vezels te meten. Door een goede preparaatvoorbereiding is het mogelijk de vezels redelijk gescheiden van elkaar te krijgen. Voor kruisende vezels is namelijk een ingewikkeld algoritme nodig om deze toch juist te analyseren. Een meetmethode is beschikbaar, maar de analysesnelheid is te laag en een koppeling aan een automatische microscooptafel is nodig. Om een volledig beeld van de verdeling te krijgen moeten namelijk enkele duizenden vezels per monster gemeten worden. Behalve de lengteverdeling zullen in de toekomst andere belangrijke parameters, zoals de breedte van de vezels en de fibrilleringsgraad (aantal losgeslagen fibrillen) gemeten worden.

### Siergewassen

In januari 1991 zijn een aantal nieuwe projecten gestart m.b.t. toepassing van CBA voor diverse soorten landbouwkundige produkten. Voor potplanten en snijbloemen liggen veel mogelijke toepassingen, zowel op het gebied van ondersteuning van ATO-onderzoek als ontwikkeling van praktijkoplossingen.

Onderzoekers streven ernaar snijbloemen na afsnijden zolang mogelijk op de vaas goed te houden. Met een monitoring systeem met één of meerdere camera's worden de bloemen gedurende enkele dagen gevolgd. Door aan deze opnames metingen uit te voeren kunnen bijvoorbeeld stengelgroei, knopstadium en kleurverloop gemeten worden. Extra informatie voor fysiologen komt nu beschikbaar, zonder dat ze zelf dag en nacht aanwezig hoeven te zijn.

Potplanten worden op veilingen in bepaalde klassen ingedeeld op basis van o.a. vorm, grootte en bloeistadium. Voor een aantal potplanten zijn sorteercriteria al beschikbaar. Uitgezocht gaat worden in hoeverre het mogelijk is beeldverwerking te gebruiken voor sortering van deze potplanten.

Chlorophyl-fluorescentie is een techniek, waarbij de mate van fotosynthese activiteit van een plant gemeten wordt. Op het ATO is voor diverse produkten aangetoond dat er een relatie bestaat tussen de gemeten chlorophyl-fluorescentie en de gezondheid van het produkt. Door een array-sensor te gebruiken is het mogelijk plaatselijk en met bepaalde afstand tussen sensor en object een beeld te vormen (Raschke, 1990). Onderzocht zal worden of de fluorisentiemeting uitgevoerd kan worden met een camera en speciale belichting.

#### **Overige produkten**

De genoemde lijst van produkten waaraan onderzoek verricht wordt geeft nog maar een beperkt overzicht van de CBA activiteiten. Behalve aan champignons, vezels en siergewassen verrichten we onderzoek aan het analyseren van uitwendige en interne kwaliteit van groenten en fruit (vers en verwerkt), uien en bloembollen. Op dit moment wordt o.a. gewerkt aan een meetmethode om uitwendige verwerking van uien te meten, een methode om de uitwendige en inwendige kwaliteit van bloembollen te beoordelen, een methode om de kwaliteit van witlof vast te leggen en om de kleurmeting van patat-frites te objectiveren.

#### **Inzet van speciale opnametechnieken**

Beeldverwerkingsonderzoek bestaat grofweg uit de stappen opname- en belichtingoptimalisatie, beeldbewerking, segmentatie, analyse en interpretatie van de gegevens. De optimalisatie van de opname is voor landbouwkundige toepassingen erg belangrijk. De keuze van het juiste golflengtespectrum en het positioneren van belichting is erg belangrijk. Voor microscopische analyse is goede kleuring vaak een oplossing. Voor de analyse van interne kwaliteit zijn andere sensortechnieken nodig, zoals NMR (Nuclear Magnetic Resonance) en akoestiek. Met NMR is het bijvoorbeeld mogelijk non-destructief rijpheid en interne afwijkingen, zoals rotte plekken en wormvraat van fruit te meten (Chen, 1988).

#### **Kennisgestuurde beeldbewerking**

Beeldbewerking en segmentatie zijn bedoeld om de gewenste elementen uit een beeld te halen. Afhankelijk van de toepassing kan het een probleem zijn hiervoor het juiste algoritme te ontwikkelen. Om een object van zijn achtergrond te onderscheiden zijn een aantal technieken moge-

lijk, waarvan vaak vooraf niet duidelijk is welke de beste is. We willen een stuk gereedschap ontwikkelen, om dit zoekprobleem te sturen. Normaal werkt beeldverwerking bottom-up van een beeld, via segmentatie en analyse naar informatie. Het te ontwikkelen systeem zal een top-down terugkoppellus bezitten, waardoor, indien niet voldoende informatie verkregen is, op beeldniveau nieuwe informatie gezocht kan worden. Als case kan bijvoorbeeld drie dimensionale beeldreconstructie van celstructuren of het herkennen van vezels gekozen worden. Voor remote sensing toepassingen bestaat reeds een dergelijk systeem (Matsuyama, 1990).

#### **Gesimuleerde neurale netwerken**

Interpretatie van meetgegevens kan een lastig probleem zijn. Gelukkig kan de statistiek hierbij behulpzaam zijn. Vaak is het echter lastig een directe relatie te vinden tussen kwaliteit zoals een 'expert' dat vind en wat een beeldverwerkingsalgoritme meet. Dit probleem is niet direct te vertalen in een wiskundige formule. Het gebruik van gesimuleerde neurale netwerken kan mogelijkheden bieden de patronen in dergelijke relaties te vinden. Deze systemen zijn namelijk beter in staat die problemen aan te kunnen die te maken hebben met een hoeveelheid onzekere data met een hoge ruisfactor (Masson, 1990). Bijvoorbeeld bij het vastleggen van een relatie tussen de hennepulp parameters en de kwaliteit van papier kan het een nuttige gereedschap zijn.

Neurale netwerken zijn ook direct inzetbaar voor patroonherkenning op het beeldbewerkingsniveau. Een dergelijk systeem kan bijvoorbeeld leren randen te herkennen, door een leerpatroon bestaande uit een origineel beeld en een rand beeld aan te brengen. Wanneer het netwerk in voldoende mate geleerd heeft, is het in staat van nieuwe beelden een randbeeld te creëren. □

#### **Literatuur**

Chen, P. et al, *Potential use of NMR for Internal Quality Evaluation of Fruits and Vegetables*, ASAE, 1988, papernr. 88-6572

Jordan, B., Page, D., *Application of image analysis to pulp fibre characterisation*, Pulp and Paper Research Institute of Canada, Quebec, 1983.

Masson, E., Wang, Y., *Introduction to computation and learning in artificial neural networks*, European Journal of Operational Research, 47 (1990), pag. 1-28.

Matsuyama, T., Hwang, V., *SIGMA, A Knowledge Based Aerial Image Understanding System*, Plenum Press, New York, 1990.

Nunnink, E., *Sorteren kan nauwkeuriger*, Groenten en Fruit, 1991 no 4.

Raschke, K., et al, *Spatial and Temporal Heterogeneities of Photosynthesis, Detected through Analysis of Chlorophyll-fluorescence Images of Leaves*, Current Research in Photosynthesis, vol IV (1990), pag 573-578.

---

ir. T. Timmermans is werkzaam bij ATO-DLO, Postbus 17, 6700 AA Wageningen, tel. 08370-75122.