

Qualitätsmessung landwirtschaftlicher Produkte durch visuelle Sensorsysteme

Dozent Dr. sc. techn. M. Gawendowicz, KDT/Dipl.-Ing. F. Glombitza
Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg, Sektion Mathematisch-naturwissenschaftliche und technische Grundlagen

1. Bedingungen der Qualitätsmessung

Die Qualitätssicherung gewinnt im Produktionsprozeß immer größeren Einfluß auf die Steigerung der Effektivität. Es geht um die Erhöhung der Sicherheit und Leistungsfähigkeit des Prüfprozesses. Dies erfordert in vielen Bereichen die Ablösung des Menschen als Prüfperson zur Vermeidung monotoner und gesundheitsschädlicher Arbeiten zur Freisetzung von Arbeitskräften. Somit wird die Qualitätssicherung immer stärker zu einem Meßproblem, das als Voraussetzung für die Schaffung von Sortierautomaten zu lösen ist.

Lösungsansätze haben sich an der Definition des Begriffs „Erzeugnisqualität“ zu orientieren, der in [1, S. 76] als „die Gesamtheit der wesentlichen Eigenschaften, die die Eignung für den vorgesehenen Verwendungszweck bestimmen“, definiert ist.

Diese wesentlichen Eigenschaften müssen als Voraussetzung für die Messung der Qualität als Kenngrößen definiert werden. Die Qualitätsmessung ist somit „Prüfung der Übereinstimmung der Kenngrößen der Erzeugnisqualität mit den festgelegten Forderungen“ [1, S. 222].

Im Hinblick auf die Lösung der Meßaufgabe ist die Unterscheidung in maßliche und nichtmaßliche Qualitätskontrolle bedeutsam. Bei maßlicher Qualitätskontrolle läßt sich ein Vektor „einfacher“ Meßgrößen (Abmessungen, Rauhtiefe, Farbe) angeben, die im Meßprozeß abgearbeitet werden müssen. Der Meßprozeß bietet Ansatzpunkte zur Anwendung der bekannten Meßverfahren. Hervorzuheben ist unter gegenwärtigen Bedingungen, daß die Eignung dieser Meßverfahren zur Eingliederung in einen automatischen Prüfprozeß gefordert werden muß. Bei nichtmaßlicher Qualitätskontrolle wird die Erzeugnisqualität durch Eigenschaften beschrieben, die nicht direkt durch Meßgrößen angegeben werden können oder müssen. (Aussehen, Geschmack, Geruch u. a.). Wo solche Eigenschaften mit technischen Verfahren nicht meßbar sind, müssen Meßpersonen

eingesetzt werden. Im Hinblick auf den Einsatz visueller Systeme sollen nachfolgend Probleme betrachtet werden, die sich auf das Erscheinungsbild des Objekts zurückführen lassen. Hierbei handelt es sich um Sichtprüfungen. Die Meßinformation ist in diesem Erscheinungsbild enthalten und muß durch geeignete Meßmethoden erkannt und ausgewertet werden.

Der erreichte technische Entwicklungsstand der optoelektronischen Sensorelemente und Mikrorechenstechnik ermöglicht zunehmend die Übernahme von Sichtprüfungen durch technische Systeme. Es sind auf dieser Basis visuelle Sensorsysteme entstanden, die in Anlehnung an die visuelle Wahrnehmung einer für die Sichtprüfung eingesetzten Meßperson folgende Komplexe enthalten:

- Abbildung des Prüfobjekts
- Herauslösen qualitätsrelevanter Bildinformationen (im Sinn von Meßwerten)
- Bewertung der Erzeugnisqualität (im Sinn der Ermittlung des Meßergebnisses; Klassierung).

Die Qualitätsmessung durch Sichtprüfung hat in der Landwirtschaft besonders große Bedeutung. Früchte (Obst, Gemüse, Kartoffeln) und andere Produkte (Eier, Fleisch, u. a.) werden überwiegend visuell begutachtet (abgesehen von Klassierungen nach Abmessungen oder Masse), weil sich innere (fehlerbehaftete) Strukturen auf der Oberfläche abzeichnen. Nicht zuletzt wird die Erzeugnisqualität der landwirtschaftlichen Produkte durch den visuellen (ästhetischen) Eindruck auf den Verbraucher bestimmt.

Die Definition und Auffindung von Qualitätsmerkmalen im Erscheinungsbild landwirtschaftlicher Produkte sowie die Kenntnis der Einflußgrößen auf ihre Darstellung im Erscheinungsbild müssen vor dem Hintergrund der sich entwickelnden visuellen Meßmethoden als ein wichtiges Arbeitsgebiet landtechnischer Forschung angesehen werden.

2. Visuelle Sensorsysteme

2.1. Abbildung des Prüfobjekts

Für die Erzeugung der Abbildung werden nach gegenwärtigem Erkenntnisstand vorwiegend die physikalischen Gesetzmäßigkeiten der Remission und Transmission angewendet. Andere Eigenschaften, wie z. B. die fluoreszierende Wirkung von Fäulnis, befinden sich im Stadium der Erforschung. Die Remission betrifft Eigenschaften der Oberfläche und oberflächennaher Schichten des Prüfobjekts bezüglich der Absorption einfallender Strahlung. In Abhängigkeit von der Wellenlänge der einfallenden Strahlung und ihrem Zustand gibt das Prüfobjekt eine geschwächte Strahlung ab, die die Meßinformation enthält (Bild 1).

Bei Durchstrahlung des Prüfobjekts (Transmission) betrifft die Meßinformation auch die in seinem Inneren befindlichen Strukturen. So werden z. B. Faulstellen durch dunklere Bereiche im Abbild und Reifegrade durch

charakteristische Farben des Abbilds erkennbar.

Die Aufgabe des Bildaufnahmesystems besteht in der Abbildung derartiger für die Messung der Qualität charakteristischer Merkmale und ihrer Hervorhebung für die anschließende Meßsignalverarbeitung.

Von besonderem Einfluß sind:

- Strahlungsquelle
 - Wellenlänge der Strahlung (Mischlicht, monochromatisch, monochromatisch in mehreren Wellenlängen)
 - Strahlungsintensität (Beleuchtungsstärke, Integrationszeit des Sensorelements)
 - Anordnung bezüglich der Bestrahlung des Objekts (Auflicht, Durchlicht, diffus, gerichtet, Blitzlicht)

Vorführung des Prüfobjekts

- Ruhelage oder Bewegung
- translatorische Bewegung (determiniert, frei fallend)
- rotatorische Bewegung
- Mischformen der o. g. Bewegungsarten, der Bildwandler zur Erzeugung eines elektronischen Abbilds des Objekts
- optisches System (Standardobjektiv mit geeigneter Brennweite und Blende)
- optoelektronisches Sensorelement (Fototransistor, -diode, -widerstand, Aufnahmeöhre, CCD-Element).

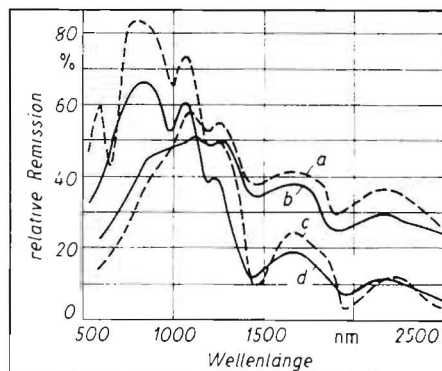
Für den erreichten Entwicklungsstand visueller Sensorsysteme sind die optoelektronischen Sensorelemente, vor allem in integrierter Form, mitbestimmend. So entstanden neben der Fotodiode Arrays und integrierte zeilenförmige (Diodenzeile, CCD-Zeile) und flächenförmige (Diodenmatrix, CCD-Matrix) Sensorelemente, die als Basis zur Bilderzeugung verwendet werden. In der DDR werden die Röhrenkamera und CCD-Zeilenkamera (auf der Basis von Sensorelementen mit 256 oder 1024 Bildpunkten) gegenwärtig industriell gefertigt.

Daneben existiert eine Vielfalt von Rationalisierungslösungen auf der Basis der CCD-Technik, vor allem der CCD-Sensorzeilen.

Ausgehend von der Häufigkeit der Anwendungen kann ein Entwicklungstrend von diskreten Sensorelementen über Arrays zu CCD-Sensorzeilen beobachtet werden. Auch die Röhrenkamera wird durch die CCD-Kamera verdrängt. Die Ursachen hierfür sind die günstigen Betriebsbedingungen (niedrige Spannungen, hoher Integrationsgrad, geringe Abmessungen) und die Existenz diskreter Bildpunkte (entsprechend der Situation des Sensorelements). Sie bietet die besten Voraussetzungen für eine Bildauswertung mit digitalen Algorithmen. Das zeilenweise aufgenommene Bild der Objektfläche führt zu einer Bildpunktmatrix (Relativbewegung zwischen der Zeilenkamera und dem Objekt senkrecht zur Zeilenachse). Mit Hilfe einer Matrixkamera entsteht ohne Relativbewegung ebenfalls eine Bildpunktmatrix.

Der Einsatz diskreter optoelektronischer Sensorelemente ist dort erfolgreich, wo primäre Meßgrößen zur Qualitätsmessung ausrei-

Bild 1. Spektrales Remissionsverhalten nach [2, S. 937 und 938];
a Apfel mangelbehaftet (Fäule), b Kartoffel mangelhaft (Fäule), c Kartoffel mangelfrei, d Apfel mangelfrei



Tafel 1. Ausgewählte Sortierautomaten für landwirtschaftliche Produkte

Bezeichnung	Land	Sortiergut	Meßsystem
Megascan 2000	USA	Karottenwürfel, Zwiebelstücke, weiße Bohnen	2 Fotozellen, 2 Fraktionen
Aweta	Niederlande	Äpfel, Tomaten	2 Sensoren, Farbmessung, 3 Fraktionen
Elbiscon	Belgien	Gemüse, Früchte, Puffbohnen	Fotodioden, 2 Fraktionen
Spectra-Sort	Österreich	stückige Güter, Früchte, Lebensmittel	Halbleiterkamera, 2 Fraktionen
Eletroscon	Italien	Äpfel, Orangen, Kartoffeln, Kiwi	CCD-Kamera, 2 Fraktionen, Größe, Masse

chen (z. B. Farbe der Objektoberfläche auch mit Berücksichtigung des inneren Zustandes). Durch Anordnung mehrerer Sensorelemente und Bildung von Arrays ist sowohl die Erfassung des gesamten Objekts (integrierende Meßwertbildung) als auch von bestimmten Anteilen möglich. Auf dieser Basis ist im zurückliegenden Jahrzehnt international eine Anzahl von technischen Lösungen bekannt geworden (Sortierung von Früchten, Müse und Fertigprodukten, vgl. Tafel 1).

Der Trend zum CCD-Bildwandler wird hauptsächlich unterstützt durch den technischen Fortschritt der Mikroelektroniktechnologie und seiner Auswirkungen auf die Sensortechnik.

2.2. Bildbearbeitung

Das Ziel der Bildbearbeitung liegt in der Erkennung und Bewertung der qualitätsbestimmenden Merkmale. Entsprechend dem Bildaufbau sind diese in den Grauwerten der Bildpunkte und deren Anordnung bzw. Verteilung in der Bildpunktmatrix enthalten. Im Unterschied zu Qualitätsmessungen an Industrieprodukten ist bei landwirtschaftlichen Objekten die Zuordnung von Qualitätsmerkmalen zu Bildpunkten nicht eindeutig. Dies ergibt sich z. B. aus sortenabhängigen Strukturen (Farbmuster, Stiele, Blüten), Qualitätsmängeln unterschiedlicher Art (Fäule, Druckstellen, Verfärbungen, Beschädigungen, Schimmelformen, Krankheiten) und Mischarten (Fäule soll zur unbedingten Aussortierung führen, andere Qualitätsmängel werden in

unterschiedlichen Anteilen zugelassen). Außerdem sollen mögliche Beimengungen (Steine, Kluten, Blattwerk u. a.) unterschieden werden. Daraus ergibt sich, daß neben dem Grauwert der Bildpunkte und der Anzahl der auftretenden Grauwerte andere Meßgrößen erforderlich werden, um die Voraussetzungen für die Qualitätsmessung zu schaffen (morphologische Größen, Nachbarschaften von Bildpunkten u. a.). Aus vielen Bereichen sind Lösungen für ähnliche Aufgabenstellungen seit einiger Zeit unter der Bezeichnung automatische Bilderkennung bzw. -auswertung bekannt. So werden, ausgehend von den Anfängen der Bildanalyse in der Kerntechnik, in der Astronomie, Geographie und Medizin fotografische Aufnahmen (z. B. Luftbilder, Schirmbilder u. ä.) mit Hilfe von Algorithmen der Bilderkennung analysiert, um die Anwesenheit vorgegebener Merkmale sowie deren Abmessungen, Formen, Farben usw. festzustellen. Kennzeichnend sind für die genannten Verfahren logische Verknüpfungen großer Datenmengen, hohe Bildauflösung und, daraus resultierend, Bearbeitungszeiten für ein Bild im Sekundenbereich. Deshalb sind diese Verfahren der Bilderkennung für den Einsatz in technologischen Prüf- und Sortierprozessen unter Echtzeitbedingungen nicht einsetzbar. Für Einsatzfälle unter Echtzeitbedingungen hat die Entwicklung von visuellen Sensorsystemen begonnen, die vor allem für die Steuerung von Robotern erforderlich sind (Lageerkennung von Werkstücken, Unterscheidung von Formen, Erkennung der Vollständigkeit) und die die berührungslose Messung entscheidender Prozeßgrößen er-

möglichen (Werkstückabmessungen, Schneidenzustand von Werkzeugen, Werkstückoberflächen u. a.). In Tafel 2 sind einige visuelle Sensorsysteme (Bildererkennungssysteme) zusammengestellt.

Neben der erforderlichen Bearbeitungszeit (bedingt durch verwendete Algorithmen und Arbeitsgeschwindigkeiten der Rechner) ist der benötigte Speicherplatz (einfache oder mehrfache Speicherung der genannten Bildpunktmatrix gegenüber der Speicherung von Teilbildern) eine wichtige Kenngröße. Die Möglichkeiten der Echtzeitverarbeitung ergeben sich daher sowohl aus einer verfügbaren minimalen Hardware zur Meßdatenverarbeitung als auch aus geeigneten Algorithmen der Bilddatenverarbeitung zur Ermittlung von Qualitätskenngrößen. Die Erarbeitung dieser Algorithmen muß als Hauptfeld der landtechnischen Forschung zur Lösung der Qualitätsmeßprobleme betrachtet werden, wozu auch jene Wechselwirkungen gehören, die zwischen Soft- und Hardwarelösungen bestehen. So wird zur ökonomischen Realisierung eines leistungsfähigen Qualitätsmeßverfahrens eine spezielle Hardwarekonfiguration erforderlich sein.

2.3. Bewertung der Erzeugnisqualität

Die Endstufe der Bildbearbeitung besteht in der Klassifizierung der vom erkannten Qualitätsmerkmal abgeleiteten Qualitätskenngröße entsprechend den geltenden Festlegungen. Die angedeuteten Algorithmen der Erkennung von Qualitätsmerkmalen bieten prinzipiell die Möglichkeit zur Bildung mehrerer Qualitätsklassen (z. B. unbedingte Aussonderung, bedingte Verwendung, Güteklasse I, II).

Die Klassifikation erfolgt dabei stufenweise, indem die Abweichungen von Qualitätskenngrößen ausgewertet werden. Die gemessenen Grauwerte (Helligkeitswerte) sind Ausgangspunkt der Klassifikation.

Als erstes ist eine Qualitätskenngröße auszuwerten, die das Vorhandensein von qualitätsmindernden Eigenschaften des Objekts überhaupt repräsentiert. Es ist im ersten Ansatz der Klassifikation ein 2-Klassen-Problem zu lösen, indem entschieden wird, ob Abweichungen von der geforderten Norm vorhanden sind. Derartige 2-Klassen-Probleme werden allgemein mit den Methoden der statistischen Entscheidungstheorie gelöst.

So ist durch Schwellwertoperation oder Histogrammauswertung eine Entscheidung zur weiteren Untersuchung zu treffen bzw. die Qualität anzuerkennen. In einem Lernvorgang des Klassifikators muß diese Entscheidung durch Bestätigen oder Ablehnen durch den Menschen optimiert werden. Anschließend können in einem zweiten Schritt der Klassifikation Bedingungen geprüft werden, die zur Klassenzuweisung „schlecht“ oder Qualitätsklasse I, II usw. führen.

In vielen Fällen erfordern bei landwirtschaftlichen Produkten Faulstellen eine unbedingte Zuordnung in die Klasse „schlecht“. In Abhängigkeit von anderen Qualitätskenngrößen (z. B. Mächtigkeit mangelbehafteter Oberflächenanteile) kann aber eine weitere Aufteilung in Klassen unter dem Aspekt noch möglicher Verwendbarkeit erfolgen („schlecht – verwendbar“ „schlecht – nicht verwendbar“).

Ebenso sind mechanische Beschädigungen, Verfärbungen oder andere Veränderungen der Objektoberfläche häufig auch in Abhängigkeit von ihrer Größe qualitätsmindernd

Tafel 2. Ausgewählte Bilderkennungssysteme für den Echtzeitbetrieb

Bezeichnung	Bildaufnahme	Rechnersystem, Verarbeitung
BES 2000 (Bildererkennungssystem)	CCD-Zeilenkamera ZFK 1021, 1041	K 1520 Multiplexer (3 Kameras) Fensterkomparator RLC-Kodierung Eingabe: mikrorechnergesteuert, DMA-gesteuert
BAS 4000 (Bildanalyse-system)	CCD-Zeilenkamera ZFK 1021, 10841	K 1520 (U 880) ADU – 4 Bit (16 Graustufen) Grauwertverarbeitung (GIPP) Eingabe: mikrorechnergesteuert Ausgabe: Farbmonitor (Graphiksteuerung) Schwarz-Weiß-Monitor (GDM)
UOS (universelles optoelektronisches Sensorsystem)	CCD-Zeilenkamera 256, 1024 Pixel	K 1520 (880), EMR U 8840 ADU – 4 Bit (16 Graustufen) Eingabe: mikrorechnersteuert Ausgabe: Steuersignale
MSB (Modul-System-Bildverarbeitung)	Matrixkamera Zeilenkamera Röhrenkamera	Bit-Slice-Rechenwerke: Histogrammprozessor, Logikprozessor, Steuerprozessor, Interface zum Steuerrechner (16-Bit-Personalcomputer)

oder lassen nur bestimmte Verwendungen nicht mehr zu (Vermarktung, Saatgut). So kann auch hier als Qualitätskenngröße die Mächtigkeit mangelbehafteter Partien zur Klassifikation in verschiedene Qualitätsklassen dienen.

Häufig ist die Mächtigkeit mit anderen Kenngrößen zu kombinieren. Es entstehen mehrdimensionale Räume, in den durch theoretisch ermittelte und experimentell bestätigte Trennfunktionen Strukturen erzeugt werden, die die Klasseneinteilung repräsentieren. Die Kompliziertheit wird von der Anzahl der zu kombinierenden Merkmale und ihrer Kenngrößen bestimmt.

3. Auswirkungen auf die Standards

Die Erzeugnisqualität wird in den staatlichen Standards und anderen technischen Vorschriften normativ beschrieben. Die Festlegung der Qualitäts- und Zuverlässigkeitskenngrößen geht dabei von den Bedürfnissen der Volkswirtschaft und der Bevölkerung aus, weil gewünschte Gebrauchseigenschaften das vergleichende Normativ zur Festlegung der Erzeugnisqualität sind. Die meßtechnischen Möglichkeiten, Gebrauchsminderungen am Erzeugnis bereits vor dem Gebrauch zu erkennen, bestimmen außerdem entscheidend die Zuweisung der Qualitätskenngrößen. So beeinflusst der Entwicklungsstand der Meßtechnik die Qualitätssicherung und deren Festlegungen. Im Bereich der Landwirtschaft wird die Erzeugnisqualität durch visuelle Begutachtung festgelegt.

Im jeweiligen Standard zur Qualität eines landwirtschaftlichen Produktes sind folgende beschreibende Angaben enthalten:

- zur Methode der Qualitätsprüfung
- zum Vorhandensein gebrauchsmindernder Eigenschaften
- zur Einstufung in Qualitätsklassen.

Die Prüfmethode widerspiegelt dabei die manuelle Tätigkeit besonders ausgebildeter bzw. unterwiesener Personen. Die Produkte werden aufgrund ihrer Oberflächenbeschaffenheit eingestuft und durch Aufschneiden in ihrem inneren Zustand geprüft. Mit technischen Sensoren im Sortierprozeß gemessene Qualität hat dagegen andere Voraussetzungen:

- Bei Verwendung des Remissionsprinzips werden die an der Oberfläche wirksamen Strahlungsintensitäten in ihrer Wechselwirkung mit der Beleuchtung des Objekts und der spektralen Empfindlichkeit des Sensorelements ausgewertet. Die Empfindlichkeit des technischen visuellen Sensorsystems unterscheidet sich deshalb von der des menschlichen Auges. Manche Oberflächenbeschaffenheiten werden deutlicher, andere weniger deutlich erfaßt.
- Durch die zerstörungsfreie Prüfmethode visueller Sensorsysteme sind bestimmte innere Beschaffenheiten vom Meßsystem nicht erfaßbar. Die Remission bezieht nur eine Wechselwirkung mit den dicht unter der Oberfläche liegenden Schichten in die Erzeugung der wirksamen Strahlungsintensität ein.

Die Festlegung gebrauchsmindernder Eigenschaften ist unter dem Aspekt einer anderen Prüfmethode zu überprüfen. So ist z. B. zu überdenken, ob bei landwirtschaftlichen Produkten bei Einstufung von Oberflächenbeschädigungen nach ihrer Tiefe auch eine Kenngröße für ein technisches visuelles Sensorsystem sein muß. Ebenfalls sind manche detaillierte Unterscheidungen in dem Standard für Speise- und Pflanzkartoffeln hinsichtlich verschiedener Fäulearten nicht erforderlich, wenn Faulstellen infolge der zerstörten Gewebepartien grundsätzlich durch

das Meßverfahren als mangelbehaftet erkannt werden. Ebenso ist die Einstufung in Qualitätsklassen zu überprüfen, sowie die Zulassung produktfremder Bestandteile. Der zugelassene Anteil produktfremder Bestandteile wird sich verringern lassen. Die Einstufung in Qualitätsklassen sollte zunächst von der grundsätzlichen Frage einer Verwendbarkeit ausgehen und anschließend verwendbare Produkte nach einem festgelegten Beschädigungsgrad in verschiedene Güteklassen teilen.

Anschließend ist nochmals hervorzuheben, daß die Festlegung der Qualitätskenngrößen mit der angewandten Prüfmethode übereinstimmen muß. So erfordert der Übergang von visueller Einschätzung durch Meßpersonen zu technischen visuellen Sensorsystemen eine Neufestlegung der Qualitätskenngrößen in den staatlichen Standards und anderen technischen Vorschriften. Dieser Forderung wird durch die Erarbeitung von agrotechnischen Forderungen für landwirtschaftliche Automatisierungsmittel Rechnung getragen. Diese Forderungen orientieren sich an den bisherigen Vorschriften, berücksichtigen aber die neue Prüfmethodik und deren technische Weiterentwicklung.

Literatur

- [1] Hofmann, D.; Meinhard, R.; Reineck, H.: Meßwesen, Prüftechnik, Qualitätssicherung. Begriffe und Definitionen. Berlin: VEB Verlag Technik 1980.
- [2] Herold, B.; Baganz, K.: Entwicklungsstand optischer Sortierautomaten für stückige landwirtschaftliche Produkte. Akademie der Landwirtschaftswissenschaften Berlin, Mikroelektronik in der Land-, Forst- und Nahrungsgüterwirtschaft, Tagungsbericht Nr. 255, Teil III (1987), S. 931–940. A 5833

Möglichkeiten zur Prozeßsteuerung an Schlüsselmaschinen im Verfahren der Zuckerrübenproduktion

Dr. sc. agr. K. Berndt, KDT, Institut für Rübenforschung Klein Wanzleben der AdL der DDR
Dozent Dr. sc. techn. M. Gawendowicz, KDT, Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg,
Sektion Mathematisch-naturwissenschaftliche und technische Grundlagen

Problemstellung

Durch die Erzielung hoher Nährstoffleistungen je Flächeneinheit kommt dem Zuckerrübenanbau in der DDR eine große Bedeutung zu. Neben der stabilen Versorgung der Bevölkerung und der Industrie mit Zucker (jährliche Verarbeitung rd. 6,7 Mill. t Zuckerrüben) ist durch den Zuckerrübenanbau eine maximale Menge an hochwertigem Futter für die Tierproduktion bereitzustellen.

Während im Jahr 1960 der Zuckerrübenanbau durch kleine Anbauflächen der Vertragspartner der Zuckerindustrie (11 ha je Vertragspartner) und durch einen hohen Handarbeitsaufwand gekennzeichnet war (2,2 Arbeitskraftstunden für 1 dt Rüben), konnten durch die zunehmende Mechanisierung die Konzentration und Effektivität der Zuckerrübenproduktion bedeutend erhöht werden. Gegenwärtig beträgt die Anbaufläche je Vertragspartner rd. 277 ha, und es werden 0,45

Arbeitskraftstunden je dt aufgewandt. Perspektivisch ist vorgesehen, durch neue Verfahren in der Zuckerrübenproduktion den Handarbeitsaufwand auf 0,30 h/dt Zuckerrüben zu senken. Dazu sind u. a. weitere Mechanisierungsaufgaben bei der Ertragssteigerung zu lösen. Der Prozeßsteuerung der technologisch bestimmenden Maschinen kommt dabei eine große Bedeutung zu.

Aufgrund der großen Zeitspanne zwischen Bestellung (Eingabe) und Ernte (Ausgabe) in der pflanzlichen Produktion ist gegenwärtig eine Prozeßsteuerung nur in Teilschnitten möglich (z. B. Bodenbearbeitung, Aussaat). Dabei kann bei den Verteilerarbeiten (Aussaat, Düngung, Pflanzenschutz und Beregnung) eine vollständige Prozeßsteuerung realisiert werden, wenn das Arbeitsergebnis erfaßt wird und dementsprechend der Durchsatz, die Ausbringung und die Fahrgeschwindigkeit optimiert werden.

Aussaat

Bei der früher bei Zuckerrüben üblichen Drillsaat kamen ≥ 20 kg Saatgut/ha zur Aussaat. Der mit dieser Saatgutmenge erzielte Aufgangspflanzenbestand betrug 1 bis 2 Mill. Rüben/ha und bedingte, daß bei der Handvereinzelnung jede 10. bis 20. Rübe zur Bestandsbildung ausgewählt werden mußte.

Mit der Einführung monokarper Zuckerrübensorten sowie der Entwicklung einer bodenschonenden und wassersparenden Saattbettbereitung, dem Einsatz von Einzelkornmaschinen und von spezifischen Rübenherbiziden konnten die Aussaatmenge und der Handarbeitsaufwand für die Pflege der Zuckerrüben bedeutend gesenkt werden. Unter günstigen agrotechnischen Bedingungen ist es möglich, bei Endablage des Saatgutes eine handarbeitslose Pflege der Zuckerrüben durchzuführen. Unabdingbar für den erfolg-