

Der Computer, der Unkraut erkennen kann

Automatische Bildanalyse in der Landtechnik

Von Franz-Josef Bockisch, Heiko Georg und Andres Kriete

Im Rahmen der landwirtschaftlichen Verfahrenstechnik sind zahlreiche Behandlungsvarianten wie Techniken zur Bearbeitung des Erntegutes und des Bodens sowie zur Verteilung von mineralischem oder organischem Dünger zu beurteilen. Bisher erfolgten diese Bewertungen meist mit qualitativen und subjektiven Verfahren oder Methoden, die z. T. fehlerhafte Ergebnisse lieferten. Um Entwicklungsfortschritte und Verbesserungen bei der Landtechnik zu erreichen, ist es für viele Bereiche dieses Forschungszweiges notwendig, exakte Bewertungen vornehmen zu können. Ein Problem ist zum Beispiel der Vergleich verschiedener Häckseltechniken für die Ernte von Silomais, Getreideganzpflanzen und Ackerbohnen. Zur Ermittlung des Bruch- und Minderkornanteils als Bewertungskriterium für Druschqualitäten und als Maßstab bei der Ent-

wicklung von Dreschsystemen oder Einstellvarianten beim Ausdrusch ist eine schnelle und objektive Methode zur Qualitätsbestimmung von Getreide wünschenswert. Übliche Bewertungssysteme in diesen Bereichen sind meistens sehr zeitaufwendig, unterliegen einem großen zufälligen Fehler, und die untersuchten Proben sind nicht immer repräsentativ. Zur Beurteilung von Bodenbearbeitungsmaßnahmen, insbesondere bei Sekundärbodenbearbeitung, sind zur Bestimmung von Aggregatgrößen und -verteilungen berührungslos arbeitende objektive Vergleichsmethoden notwendig. Die auf die Anforderungen in der landwirtschaftlichen Verfahrenstechnik bezogene Entwicklung von Beurteilungsverfahren unter Einbeziehung der automatischen Bildanalyse (BA) kann dazu einen wichtigen Beitrag leisten.

Die automatische BA wird schon seit einigen Jahren in anderen Disziplinen intensiv eingesetzt, so z. B. in der Medizin. Daher kann zur Lösung landtechnischer Probleme auf fundierte Erkenntnisse und Grundlagen zurückgegriffen werden. Dies war Anlaß zu einer Zusammenarbeit zwischen dem Institut für Anatomie und Zytobiologie des Fachbereichs Humanmedizin und dem Institut für Landtechnik der Universität Gießen im personellen und geräte-technischen Bereich, um einerseits bildanalytische Erfahrungen zu nutzen und andererseits Personalengpässe zu reduzieren.

In der landwirtschaftlichen Verfahrenstechnik besteht häufig das Problem, daß Ist-Zustände objektiv und wiederholbar genau gemessen werden müssen. Dies ist notwendig, um Techniken, Verfahrens- oder Bewegungsabläufe, z. B. bei Tieren, Menschen und Maschinen genauestens beschreiben zu können. Der Einsatz einer optischen Erfassungs- und Beschreibungsmethode hat dabei den zusätzlichen Vorteil, daß die Objekte nicht beeinträchtigt werden können und daß dasselbe Datenmaterial bei Bedarf wiederholt nach verschiedenen Kriterien ausgewertet werden kann. Dies ist

besonders wertvoll, wenn bei ersten Analysen Erkenntnisse gewonnen werden, die vorab in keiner Weise vermutet wurden und das Datenmaterial nochmals nach anderen Parametern auswertbar ist. Speziell bei der Erfassung von Bewegungsabläufen bei Tieren und Menschen können neben der objektiven quantitativen Auswertung zusätzlich qualitative Kriterien mit einbezogen werden.

Geht man von einem beschreibenden Vorgehen im off-line-Verfahren zur on-line-Verarbeitung über, d. h. zur direkten Steuerung auf-

grund gemessener Stellgrößen aus den Bildinformationen, so kann die Bildanalyse Sensorfunktionen übernehmen. Beispiele dafür sind die Steuerung des Melkroboterarmes beim automatischen Melken von Kühen, die Fahrzeugsteuerung beim Fahren durch Reihenkulturen wie Mais und Zuckerrüben und die automatische Unterscheidung zwischen Unkraut und Kulturpflanzen zur Steuerung der Ausbringung von Pflanzenschutzmitteln oder zur Steuerung von mechanischen Hackgeräten. Das allgemeine Ziel ist es also, Ist-Zustände möglichst objektiv und mit einer geringen Fehlerbelastung schnell zu beschreiben und in Informationen umzusetzen.

Außerlandwirtschaftliche Einsatzgebiete

Objekte zu erkennen und zu vermessen ist in vielen Disziplinen notwendig, z. B. in der Medizin. Hier müssen u. a. Zellen oder Gewebsveränderungen anhand von Mikroschnitten vermessen werden. Ein Blick auf zahlreiche bekannte Einsatzbereiche außerhalb der Landwirtschaft zeigt die Vielseitigkeit der automatischen Bildanalyse. Hauptsächliche Anwendungsgebiete der digitalen Bildverarbeitung sind:

- Medizin (CT, NMR, Radiologie, Visualisierung) und Biologie (Zellbilder, Mikroskopie)
- Geologie (Rohstoffschätzung), Geographie (Kartierung), Ozeanographie (Seegangsspektren, Strömung und Vermischung) und Meteorologie (Wettervorhersage)
- Umweltschutz (Gewässerüberwachung)
- Fernerkundung, Photogrammetrie (Bildvergleich, Bildkorrelation, 3-D-Rekonstruktionen), Automobilindustrie (photogrammetrische Auswertung von Crash-Tests)
- Kriminalistik (Fingerabdrücke, Schrifterkennung)
- Militär (Objekterkennung, Steuerung)
- Robotik (Steuerung, Qualitätskontrolle), und Informatik (Mustererkennung)

Grundlagen

Um ein Bild mit einem digitalen Bildanalyse-System verarbeiten zu können, muß die bildhafte Vorlage (Foto, Dia, Zeichnung, Objekt usw.) oder das mittels CCD- oder Röhrenkamera aufgezeichnete Bild in ein Digitalbild umgewandelt werden (Abb. 1). Ein Digitalbild kann mathematisch als zweidimensionale Funktion $s(x,y)$ verstanden werden. Bei der Digitalisierung wird das Bild in X- und Y-Richtung gerastert (Diskretisierung), wobei der Funktionswert (Helligkeitswert) $s(x,y)$ des Schwarz/Weiß-Bildes an der Stelle x,y als Grauwert bezeichnet wird (Quantisierung). Die durch die Rasterung entstandenen quadratischen Bildelemente nennt man Pixel, abgeleitet von Picture Element (Abb. 1).

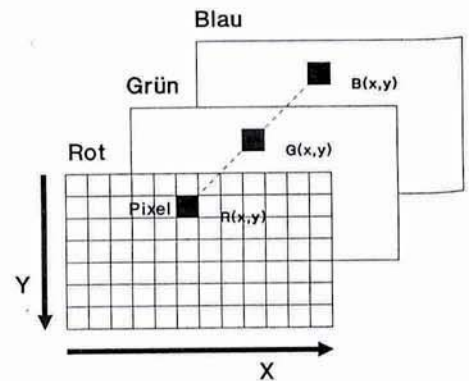


Abb. 2: Prinzip der Digitalisierung eines Farbbildes (nach CASTLEMAN)

Echtfarbbildes ist dadurch größer, allerdings ist auch der Entwicklungsaufwand für Software zur Echtfarbverarbeitung wesentlich höher (Abb. 2).

An die Digitalisierung schließt sich die Speicherung des Bildes in Echtzeit im Bildspeicher des Bildanalyse-Systems an (Abb. 1). Echtzeit bedeutet, daß die Speicherung in weniger als 40 ms abläuft. Zur Darstellung des Bildes auf einem TV-Monitor wird der Speicherinhalt über eine Art Grauwertmatrix, dem sogenannten „look-up-table“ und den Videoausgang (-generator) transformiert. Die weitere Verarbeitung der digitalen Bilder ist stark von der jeweils eingesetzten Hard- und Software abhängig.

Einfache Bildverarbeitungsfunktionen lassen sich bereits mit herkömmlichen VGA-Grafikkarten auf der Basis leistungsfähiger Personalcomputer mit entsprechender Software realisieren. Durch den Einsatz von Frame-Grabbern zur Digitalisierung der Bilder und speziellen Bildverarbeitungskarten im PC können mehr Funktionen durch die Hardware ausgeführt und unterstützt werden. Größere Bildanalyse-Systeme besitzen einen eigenen Bildverarbeitungsprozessor, der PC hat in diesem Fall nur Kontroll- und Steuerfunktionen.

In Umfang und Art der Software gibt es bei Bildanalyse-Systemen sehr große Unterschiede. Vereinfacht lassen sich die Systeme nach der Art der Bedienung durch den Anwender in drei Ebenen gliedern: 1. Menuebene, 2. Ma-

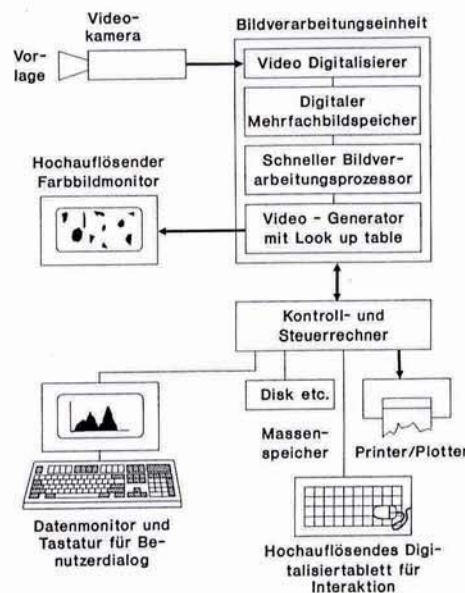


Abb. 1: Schematischer Aufbau eines automatischen Bildanalyse-Systems

Zur Gewinnung eines Echtfarbbildes werden die Grundfarben Rot, Grün und Blau getrennt digitalisiert, d. h. es entsteht für jeden Farbauszug je ein Schwarz/Weiß-Bild. Im Gegensatz zum Schwarz/Weiß-Bild, daß nur einen Intensitätswert für die Helligkeit (Grauwert) besitzt, sind beim Echtfarbbild für jeden Punkt x,y drei Intensitätswerte für Rot, Grün und Blau vorhanden. Der Informationsgehalt eines

kroprogrammierung und 3. freie Programmierung. Unter der Menüebene ist die reine menügesteuerte Bedienung des Bildanalysesystems zu verstehen, während bei der Programmierung von Makros vom Anwender eine Art Stapeldatei mit Befehlsfolgen zur Steuerung, Batch-Datei, geschrieben wird. Bei der freien Programmierung eines Bildanalysesystems besteht die Möglichkeit, eigene Algorithmen zu implementieren und die mitgelieferte Software zu ergänzen.

Durch die gute Zusammenarbeit zwischen dem Institut für Landtechnik und dem Institut für Anatomie und Zytobiologie der Universität Gießen auf dem Gebiet der Bildverarbeitung bestehen praktische Erfahrungen mit zwei unterschiedlichen Bildanalysesystemen, einem reinen Anwender-System, und einem kombinierten Entwicklungs- und Anwender-System. Die Unterschiede in Hard- und Software und ihre Auswirkungen auf die Anwendungsmöglichkeiten von Bildverarbeitungssystemen zeigt ein kurzer Vergleich dieser Systeme (Tab. 1).

Der Benutzer des einfachen Anwender-Systems hat, wie bei einem Audio-Rekorder, nur die Möglichkeit, bestimmte Funktionsfolgen im Menü aufzuzeichnen und wiederholt ablaufen zu lassen. Der Makro-Interpreter des Entwicklungs-/Anwendungs-Systems hingegen erlaubt nicht nur das nachträgliche Bearbeiten verschiedener Makro-Programme, sondern bietet direkte „on-line-Hilfen“ auf Tastendruck beim Schreiben des Makros an. Mit der strukturierten Interpreter-Sprache können Schleifen für Wiederholungsmessungen programmiert werden und zusätzlich Funktionen zum Benutzerdialog eingebaut werden. Interessant ist auch, daß im Entwicklungs-/Anwendungssystem das Gerüst für das Makro-Programm beim Dialog mit der grafischen Menüoberfläche „nebenbei“ erzeugt wird und lediglich mit kleinen Ergänzungen zu einem vollwertigen Makro-Programm wird. Diese Eigenschaften sind besonders wichtig, wenn der Anwender sich häufig wiederholende Messungen, wie z. B. die Auswertung von Serienschritten, vereinfachen möchte, ohne gleich eine Programmiersprache zu lernen.

Programmierkenntnisse in einer strukturierten Hochsprache wie „C“ oder „Pascal“ sind dazu nötig. Dieser Bereich bleibt dadurch in der Regel Softwareentwicklern und spezialisierten Anwendern vorbehalten. Sowohl das Anwender-System als auch das kombinierte System können unter Benutzung bestehender Bildverarbeitungsfunktionen frei programmiert werden. Grenzen sind in diesem Fall nur durch die Hardware (s. o.) gesetzt.

Anwendungen in der Landtechnik

Die praktischen Einsatzmöglichkeiten und die Notwendigkeit von Beurteilungsverfahren unter Einbeziehen von Bildanalysesystemen in der landwirtschaftlichen Verfahrenstechnik lassen sich am besten anhand von speziellen Anwendungen darstellen.

Fleisch/Fett-Verhältnis von Schweineschlachtkörpern

Eine relativ einfache und bekannte Anwendung ist die Bestimmung des Fleisch/Fett-Verhältnisses am Schlachtkörper von Schweinen. Im Rahmen der allgemeinen Landwirtschaft wird zur Beurteilung der Schlachtkörperqualität beim Schwein seit langem das Fleisch/Fett-Verhältnis durch Anschnitt einer Schlachtkörperhälfte zwischen der 13. und 14. Rippe festgestellt. Dies wurde früher durch Abzeichnen der Konturen von Fleisch- und Fettgrenzen auf ein Pergamentpapier vorgenommen. Diesen Aufzeichnungen wurde ein Raster unterlegt, auf dem die jeweiligen Einzelraster ausgezählt und die Fleisch- und Fettfläche ermittelt wurden. Mit diesen Daten war das Fleisch/Fett-Verhältnis berechenbar. Später wurde diese Stelle direkt mit einer Rasterung fotografiert. Der nächste Schritt war eine mechanische Ausplanimetrierung der fotografischen Vorlage (Abb. 3). Heute ist es kein Problem, die Bildvorlage automatisch mit Hilfe der digitalen Bildanalyse zu vermessen. Wenn es die Sachlage erfordert, könnte das Objekt auch direkt mit der Kamera erfaßt und on-line ausgewertet werden.

Häckselgutaufbereitung

Die Aufbereitung von Halmgut (z. B. Silomais, Getreideganzpflanzen, Ackerbohnen) hat bei der Gewinnung von Silage, also Gärfutter, für die Wiederkäuerfütterung eine große Bedeutung. Das Material muß zunächst zerkleinert werden, damit durch eine gute Dichtlagerung im Silostock eine schnelle

kombiniertes Entwicklungs- und Anwendungssystem	reines Anwendungssystem
Menüsteuerung (grafisch)	Menüsteuerung (grafisch)
Makro-Interpreter	Makro-Recorder
Freie Programmierung (Hochsprache "C", umfangreiche Bibliothek für Bildverarbeitung)	Freie Programmierung (alle Progr.-Sprachen mögl. feste Funktionen in Form von Buchstabenkürzeln)
Speicherung von Bildern auf Festplatte, Optical-Disk oder Floppy. Direkte Hardcopy auf einen Laserdrucker oder Ausgabe als TIFF - Datei.	keine Speicherung oder Ausgabe von Bildern möglich.
Echtfarbverarbeitung mittels herkömml. 3-Chip-CCD- oder 3-Röhren-Farbkamera als RGB- oder HSI-Signal.	Echtfarbverarbeitung nur mit spezieller Kamera in HSI-Farbdarstellung möglich.

Tab. 1: Vergleich von zwei Bildverarbeitungssystemen aus der Sicht des Benutzers

Aus der Sicht des Anwenders betrachtet, der die Bildanalyse nur als eine Meßmethode für einfache Auswertungen benutzt, ist das Anwender-System mit seiner grafischen Oberfläche als benutzerfreundlich einzustufen. Allerdings ist der im Menü dieses Systems zur Verfügung stehende Umfang an Bildverarbeitungsfunktionen geringer als beim kombinierten Entwicklungs- und Anwendungssystem. Beispielsweise gibt es keine Funktionen zur Fourier-Transformation. Noch größere Unterschiede bestehen bei der Makro-Programmierung der beiden Bildverarbeitungssysteme.

Durch die Konzeption des reinen Anwender-Systems ist es bisher nicht möglich, Bilder zu speichern. Dem entsprechend hat eine automatische Verarbeitung von gespeicherten Bildserien wie beim kombinierten System hier technische Grenzen.

Die freie Programmierung eines Bildverarbeitungssystems spielt eine große Rolle, wenn nur wenig Software für eine bestimmte Aufgabe zur Verfügung steht. Dies ist zum Beispiel bei der Auswertung von Farbbildern der Fall.

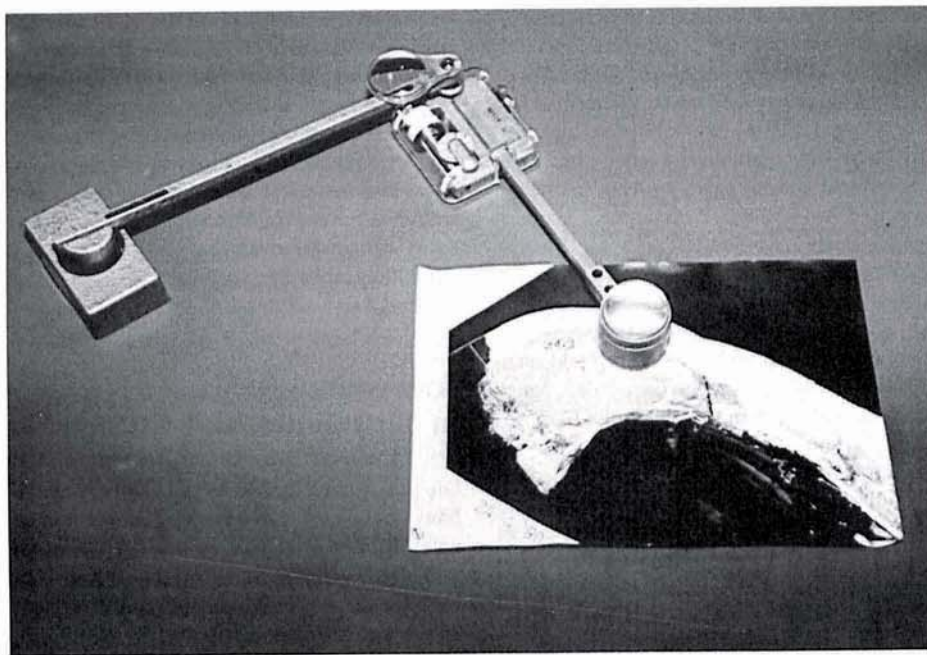


Abb. 3: Mechanisches Planimetriergerät zur Bestimmung des Fleisch/Fett-Verhältnisses zwischen der 13. und 14. Rippe am Schlachtkörper eines Schweines

Milchsäuregärung einsetzt. Allerdings darf das Futter dabei nicht zermahlen oder gemustert werden, weil durch die zerstörte Struktur eine schlechte Verdauung des Futters erfolgt und Verdauungsstörungen beim Wiederkäuer entstehen können. In Lehrbüchern der Tierernährung wird beispielsweise für die Milchkuhfütterung verlangt, daß 18 bis 22 Prozent Rohfaser in der Gesamtration enthalten sein sollen. Zusätzlich wird gefordert, daß diese Rohfaser „strukturiert“ ist. Das Problem dabei ist, die „Struktur“ physikalisch und quantitativ zu definieren (Abb. 4). Dies ist aber notwendig, damit die Anforderungen an die Häckseltechnik genau beschrieben werden können.

So unterliegt die Futteraufnahme beim Rind vielfältigen Einflußfaktoren. Dabei muß grundsätzlich zwischen physiologischen, „vom Tier bedingten“, wie Leistung, Körpermasse, Körperzustand, und nutritiven „vom Futter oder von der Fütterung bedingten“ Faktoren, wie chemische Zusammensetzung und physikalische Form des Futters, unterschieden werden. Durch die physikalische Form des Futters werden im Pansen die Fermentation und die Passagerate des Futters und somit maßgeblich die Höhe der Grundfutteraufnahme beeinflusst.

Die Beschreibung des Häckselgutes wird normalerweise nur qualitativ durch Sinnenprüfung oder mit Methoden wie der Siebanalyse, also der Bestimmung des relativen Gewichtsanteils einer bestimmten Ausgangsmenge in Abhängigkeit zu den Lochdurchmessern in den einzelnen Sieben vorgenommen, die bei heterogenem Material eine sehr hohe zufällige Fehlerquote aufweisen. Dazu zählt auch die

Angabe der theoretischen Häcksellänge, die in Abhängigkeit vom Abstand zwischen Schneide und Gegenschneide (Trommel- oder Scheibenradhäcksler), der Umdrehungszahl sowie des Vorschubes des zu häckselnden Materials die Länge des geschnittenen Halmgutes angibt. Weitere Möglichkeiten bestehen darin, die Häckselqualität mittels der Siliereigenschaften zu beurteilen, z. B. durch Gär säurebestimmung oder Ermittlung von Gär gasver-

lusten. Das Problem bei diesen Beurteilungstechniken ist aber, daß noch nichts über die eigentlichen Struktureigenschaften ausgesagt wird.

Bisher wurde als Beurteilungsparameter für die Struktur des Futters vielfach die theoretische Häcksellänge herangezogen. Durch Verringerung der Häcksellänge von z. B. 22 auf 5 mm bei Grassilage konnten Grundfutteraufnahmen bis zu 3 kg pro Tier und Tag gesteigert werden. Zusätzlich wird allgemein durch zunehmendes Zerkleinern von Gärfutter die Lagerungsdichte erhöht, das Entmischen von Stengel-, Blatt- und Kornanteil vermindert und durch den verstärkten Aufschluß der pflanzlichen Zellen ein schneller, intensiver Gärverlauf gefördert. Somit läßt sich auch über die Verbesserung der Silagequalität eine höhere Futteraufnahme erreichen. Diese Zusammenhänge gelten grundsätzlich auch bei Maissilage.

Bei Häcksellängen von 5 und 16 mm (26 bis 36 Prozent Trockensubstanz (TS)-Gehalt) konnten einige Autoren bei Maissilagefütterung an Bullen keine Unterschiede feststellen. Allerdings wurde kürzere Silage im Vergleich zu längerer innerhalb des TS-Bereiches von 26 bis 28 Prozent besser gefressen, während bei TS-Gehalten von 35 bis 36 Prozent die Aufnahme der kürzeren Maissilagen schlechter war. Insgesamt läßt sich aus der bekannten Literatur der Tierernährung erkennen, daß das Halmfutter bei höher werdendem TS-Gehalt umso intensiver aufbereitet werden sollte, um eine bessere Verwertung der Futternährstoffe zu gewährleisten. Gleichzeitig muß aber der Strukturwert für eine entsprechende Pansen-

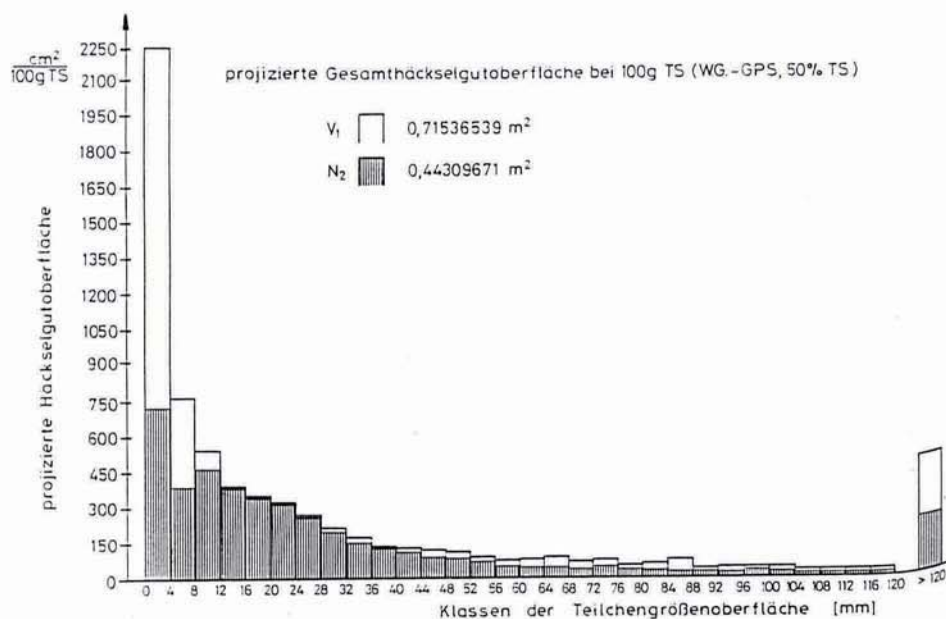


Abb. 5: Projizierte Teilchenoberfläche von 100 g Trockensubstanz einer Wintergerstenganzpflanzsilage, die mit einer Normal- und einer Vielmessertrommel gehäckselt wurde.

physiologie und Wiederkaufbarkeit erhalten bleiben.

Für die landwirtschaftliche Verfahrenstechnik wäre es deshalb wichtig, eine objektive und wiederholbare Methode zu finden, die das gehäckselte Material „tierunabhängig“ genau beurteilen kann. Dazu bietet sich die automatische Bildanalyse an, weil dadurch grundsätzlich jedes einzelne Teilchen einer zu untersuchenden Probe vermessen werden kann. Hierzu haben wir 1985 erste Untersuchungen durchgeführt. Insgesamt wurden sechs verschiedene Häckseltechnikvarianten bei Getreideganzpflanzensilage (Wintergerste) verglichen. Die dabei vermessene Teilchenzahl je 100 g getrockneter Probe lag zwischen 50 000 und 160 000 Teilchen. Insbesondere zeigten diese ersten Messungen große Unterschiede zwischen den spezifischen projizierten Oberflächen auf. Diese reichten von 44,3 dm² [Normaltrommel, (N)] bis 71,5 dm² [Vielmessertrommel, (V)] je 100 g Trockensubstanz. Zwischen der Normal- und Vielmessertrommelbauart lagen Scheibenradvarianten. Wenn die beiden extremen Varianten (hinsichtlich der spezifischen Oberfläche) verglichen werden (Abb. 5), fällt auf, daß diese sich in den Teilchenflächenklassen bis 12 mm² und größer als 120 mm² stark unterscheiden. Vergleichsuntersuchungen anhand derselben Stichproben mit der standardisierten Siebanalyse ergaben keine Unterschiede zwischen den sechs Varianten (Abb. 6).

Mittlerweile haben umfangreiche Untersuchungen an unserem Institut für Landtechnik mit einer fachlichen Begleitung durch das Institut für Tierernährung ergeben, daß bei Rindern die Futterverwertung beim Silomais (bei TS-Gehalten von über 30 Prozent) bezogen auf die Stengel und Halmteile bis zu 17 Pro-



Abb. 4: Gehäckselte Getreideganzpflanzensilage

zent höher ist, wenn die spezifische Oberfläche des Halmgutes – bei einer bestimmten Häufigkeitsverteilung der Teilchengrößenklassen – vergrößert wird. Dabei kann u. a. angenommen werden, daß die stark vergrößerte Oberfläche der Halm- und Stengelteile, besonders für die zellulolytischen Bakterien, in den Vormägen der Wiederkäuer verbesserte Verwertungsbedingungen bietet. Durch diese Untersuchungen mit den Rindern zeigt sich, daß zwischen den bildanalytisch gewonnenen Daten über die physikalische Form und der Futterverwertung logische Zusammenhänge bestehen. Hinsichtlich der physikalischen Form von Häckselgut haben sich in weiteren bildanalytischen Untersuchungen, die Relatio-

nen und Ergebnisse der ersten Messungen bestätigen lassen. Dadurch ist es nun möglich, die „tierunabhängige“ Beurteilungsmethode zu verbessern und zu beschleunigen, um für die Entwicklung, Forschung und Praxis ein objektives Beurteilungsinstrumentarium zur Verfügung zu stellen. Ein vergleichbares Problem besteht bei der Beschreibung von Häckselstroh, welches mit Anbauhäckslern am Mährescher hergestellt wird. Auch hier ist eine „optimale“ Zerkleinerung für einen guten mikrobiellen Aufschluß bei der Umsetzung im Boden notwendig.

Kornbruchanalysen

Für die Konstruktion, Weiterentwicklung und Einstellung von Mähreschern bezüglich der Dreschqualität ist es wichtig, objektive Aussagen über den Bruchkornanteil und Fremdbesatz, also über Unkrautsamen, Schmutz, andere Getreidearten etc., zu erhalten. Ebenfalls ist deren Kenntnis für Qualitätsbewertungen notwendig; so wird z. B. für Qualitätsgetreide EG-weit gefordert, daß der Anteil der Bruchkörner zwei Prozent nicht übersteigen darf. Mit vorhandenen Methoden ist eine fehlerfreie Beurteilung von Kornqualitäten nicht möglich. Die visuell-manuelle Bewertung, die hauptsächlich zur Einordnung von Maschinenarbeitsqualitäten eingesetzt wird, läßt trotz des hohen Aufwands nur einen geringen Stichprobenumfang zu.

Hier bietet sich die Beurteilung mittels geometrischer Kenngrößen der Körner und Bruchkörner an. Mit der automatischen Bildanalyse wurden 1987 erste Untersuchungen an Getreideproben vorgenommen. Diese Messungen erfolgten am Institut für Anatomie und

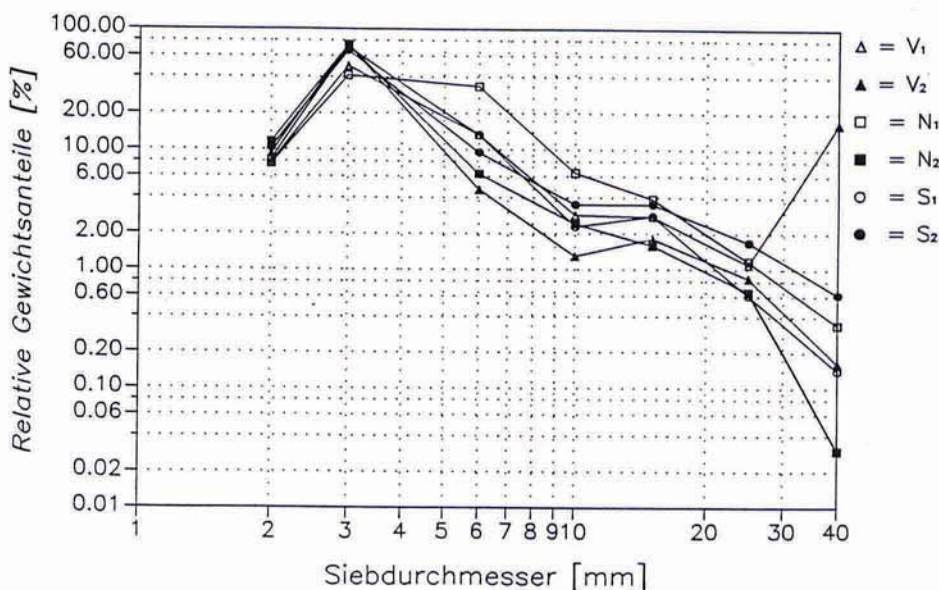


Abb. 6: Relative Gewichtsanteile bei verschiedenen Häckseltechniken – bestimmt mit der Siebanalyse – von Wintergerstenganzpflanzensilage

Zytobiologie an einem IBAS-2000-System. Von den projizierten Objekten wurden u. a. Fläche, Umfang, maximaler Durchmesser, Abweichung von der elliptischen Form und Abweichung von der Kreisform gemessen. Dabei ließen die gewonnenen Daten erkennen, daß aufgrund eines Parameters eine Differenzierung in ganze Körner und Bruchkörner nur mit einer hohen Fehlerbelastung möglich ist. Dies zeigt die Häufigkeitsverteilung von 1925 Körnern und Bruchkörnern für die projizierte Teilchenfläche (Abb. 7). Die vorher manuell sortierten Körner, in ganze und gebrochene, zeigen eine Überlappung in den Größenklassen 15 bis 18 mm², 18 bis 21 mm² und 21 bis 24 mm². Wird dieser Sachverhalt positiv dargestellt, so ist dieser Analyse zu entnehmen, daß 0,62 Prozent der Bruchkörner oder absolut zwölf Bruchstücke bei einfaktorieller Betrachtung in diesem Beispiel nicht als solche erkannt werden, wenn die Grenze zwischen ganzen Körnern und Bruchkörnern bei 15 mm² projizierter Oberfläche gezogen wird. Negativ ausgedrückt bedeutet es, daß rund 50 Prozent der Körner nicht richtig zugeordnet werden können. Wird dazu übergegangen, aus verschiedenen Parametern, deren Erfassung mit der automatischen Bildanalyse keine Probleme bereitet, dimensionslose Differenzierungsfaktoren zu bilden, so ist eine sichere Analyse möglich (Tab. 2). Allerdings müssen für jede Getreideart spezielle Differenzierungsfaktoren erarbeitet werden. Liegen genügend exakt erfaßte quantitative Grunddaten vor, können über statistische Standardprogrammpakete durch Diskriminanz- und Clusteranalysen die Differenzierungen vorgenommen werden.

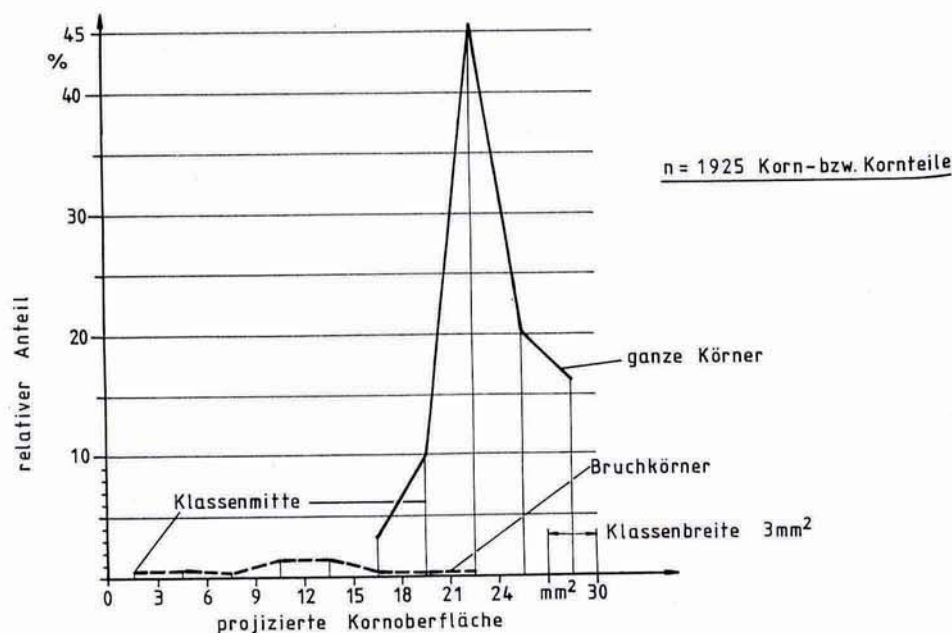


Abb. 7: Korn- und Bruchkornanteil, differenziert aufgrund der projizierten Kornoberfläche.

Festmistverteilung

Bei der Anwendung von organischen betriebseigenen Düngemitteln wie Festmist und Gülle ist es neben der Erfüllung anderer Anforderungen wichtig, eine gleichmäßige Quer- und Längsverteilung zu erreichen, damit keine partielle Über- oder Unterdüngung des Pflanzenbestandes stattfindet. Zur Beurteilung von Streuqualitäten verschiedener Verteiltech-

ken ist es deshalb wichtig, eine „pflanzenunabhängige“ objektive Beurteilungsmethode direkt nach der Applikation einzusetzen. Dazu bietet sich ebenfalls eine fotografische Registrierung des Streubildes an. Ausgehend von der Fahrspurmitte werden nach links und rechts Bilder gewonnen, um Aussagen über die Querverteilung vorzunehmen. In einem bestimmten Abstand (10 bis 20 m) in Fahrtrichtung wird die Querverteilung wieder registriert, so daß bei der Auswertung Aussagen über die Quer- und Längsverteilung sowie zur Wiederholbarkeit gemacht werden können. Mit Hilfe der digitalen Bildverarbeitung (hier Leitz CBA 8000) ist es möglich, – bezogen auf eine definierte Ausgangsfläche – den relativen Bedeckungsgrad mit Festmist zu ermitteln. Bei Bedarf können weitere Aussagen über die Größenverteilung der Mistbrocken in Abhängigkeit zur Wurfweite ermittelt werden. Sind derartige quantifizierte Grunddaten vorhanden, können problemlos entsprechende statistische Analysen folgen (Abb. 8).

Pflanzenerkennung

Im Rahmen eines angepaßten bzw. gezielten chemischen und/oder mechanischen Pflanzenschutzes ist es notwendig, genaue Kenntnisse über den Unkrautanteil und die Art der Unkräuter in Relation zu den Kulturpflanzen zu haben. Diese Daten werden normalerweise – wenn überhaupt – über die Bonitierung, d. h. die Auszählung und visuelle Bewertung, von Schlägen (Feldern, Parzellen) erreicht, indem man mit Hilfe eines Schätzrahmens stichprobenartig auszählt und einordnet. Dies ist ein sehr aufwendiges Verfahren, und die Stichpro-

Verschiedene dimensionslose Parameter von ganzen Körnern und Bruchkörnern

	<i>lfd. Teilchennummer</i>	<i>Fläche</i>	<i>Umfang</i>	<i>Formfaktor Ellipsenform</i>	<i>Durchmesser</i>	<i>Differenzierungsfaktor</i>
ganze Körner	1	851,0	129,8	0,3948	32,92	546,8
	2	945,0	148,0	0,3211	34,69	690,0
	3	867,0	144,6	0,3129	33,22	636,5
	4	835,0	170,8	0,2187	32,61	729,0
	5	671,0	128,1	0,3053	29,23	501,7 *)
	6	1038,0	156,6	0,3426	36,35	703,3
	7	946,0	150,1	0,3133	34,71	697,9
	8	850,0	138,8	0,3291	32,90	612,0
Bruchkörner	9	409,0	83,1	0,6856	22,82	163,9
	10	452,0	86,9	0,7552	23,99	165,3
	11	317,0	81,1	0,6282	20,09	125,0
	12	435,0	88,3	0,6886	23,53	168,5
	13	358,0	76,0	0,7703	21,35	130,5
	14	638,0	144,9	0,3689	28,50	340,3
	15	114,0	42,7	0,7229	12,05	44,5
	16	851,0	162,2	0,4129	32,92	418,2 *)

*) Minimal- bzw. Maximalwert

Tab. 2: Verschiedene dimensionslose Parameter von ganzen Körnern und Bruchkörnern als Grundlage für automatische Differenzierungsverfahren

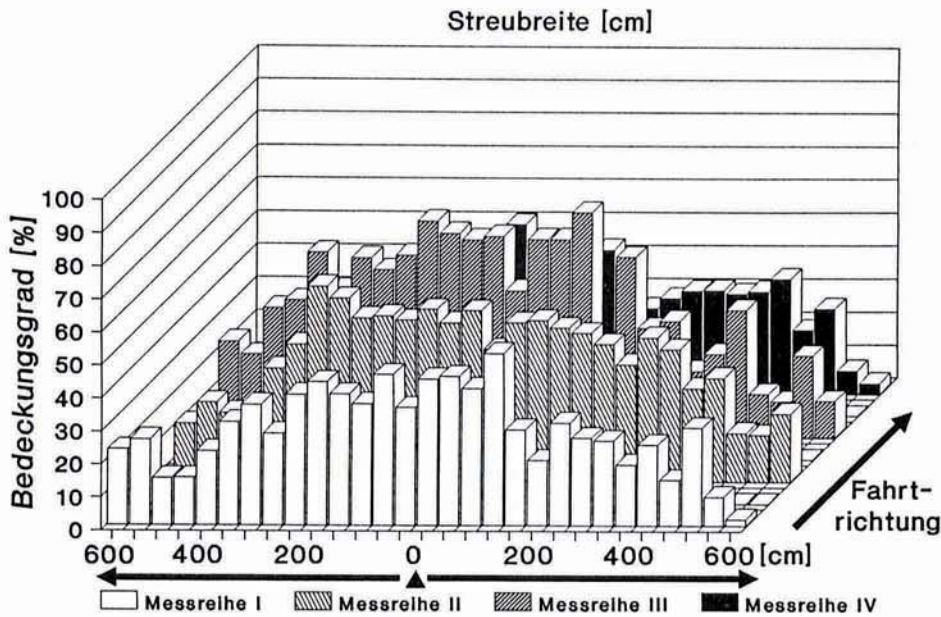


Abb. 8: Prozentualer Bodenbedeckungsgrad mit Festmist in Quer- und Längsrichtung bei einem Breitverteilsystem

benzahl je Feld läßt in der Regel zu wünschen übrig, so daß die Repräsentativität der Ergebnisse fragwürdig ist. Die gewonnenen Daten dienen meistens als Grundlage für die Auswahl des oder der Pflanzenschutzmittel.

Um diese Entscheidungen zukünftig auf einer besseren Grundlage treffen zu können, bietet sich die digitale Bildanalyse an. Im off-line-Verfahren kann man versuchen, anhand bildhafter Vorlagen, automatisch eine Erkennung von Unkraut- und Kulturpflanzen vorzunehmen. Zur Differenzierung eignen sich z. B. Farb- bzw. Grauwertunterschiede, Texturparameter (z. B. Oberflächenrauigkeit), Konturunterschiede und geometrische Kennwerte mit anschließenden statistischen Analysen (Abb. 9). Damit können die jeweiligen Pflanzenzahlen und Verunkrautungsgrade bestimmt werden. Durch diese Methode werden die Aussagen repräsentativer, es kann nach dem Schadschwellenprinzip (d.h. es werden Herbizide nur eingesetzt, wenn ein zu hoher Verunkrautungsgrad festgestellt wird) vorgegangen werden, und es kann eine sehr gezielte Mittelauswahl getroffen werden. Mit Hilfe dieser exakten Pflanzenbestandsbeschreibung könnte der chemische Aufwand an Pflanzenschutzmittel auf das notwendige Mindestmaß reduziert werden, was zur Umweltschonung und Kostensenkung beiträgt.

Versucht man die Bilder von einem Pflanzenbestand (z. B. mit einer CCD-Kamera) on-line zu verarbeiten, kann in Abhängigkeit vom Unkrautbesatz das jeweilige Pflanzenschutzmittel auf der entsprechenden Teilfläche in der notwendigen Menge ausgebracht werden. Dies könnte zukünftig so aussehen, daß vor dem Schlepper eine oder mehrere Kameras angeordnet werden, die die digitalisierten Bilder

an einen leistungsfähigen Bordrechner auf dem Schlepper weiterleiten. Dieser Rechner verarbeitet und analysiert die Bildinformationen und gibt die entsprechenden Steuerinformationen an den Rechner für die Applikationstechnik weiter. Der Rechner steuert auch die Zugabe des jeweiligen Mittels und ordnet sie der entsprechenden Teilbreite des Gestänges der Pflanzenschutzspritze zu. Derartige Applikationstechniken sind bereits in der Pra-

xis erhältlich. Was fehlt, sind aktuell erfassende Sensoren. Untersuchungen am Institut für Landtechnik² mit der gerätetechnischen Unterstützung des Institutes für Anatomie und Zytobiologie (IMCO 1000) zeigen, daß mit Hilfe der automatischen Bildanalyse ein derartiger Sensor in absehbarer Zukunft realisierbar ist. Steht ein solcher Sensor zur Verfügung, der objektiv und schnell den aktuellen Pflanzenbestand analysieren kann, ist es auch möglich, mit dieser Information exakt mechanische Unkrauthackgeräte zu steuern, ohne die Kulturpflanzen zu schädigen. Mit Hilfe dieser Technik könnte der chemische Pflanzenschutz auf das absolut notwendige Mindestmaß vermindert werden.

Bewegungsstudien

Zur quantitativen Erfassung von Bewegungsabläufen bei Tieren, Menschen und Maschinen sowie von Materialströmen in Maschinen bietet sich häufig die fotografische Registrierung mit einer anschließenden fotogrammetrischen Auswertung an. Besonders bei der Auswertung kann die automatische Bildanalyse dazu beitragen, den Informationsfluß zu erhöhen, indem sie bestimmte Muster oder Objekte ohne Hilfe des Menschen erkennt. Können also bestimmte Punkte oder Objekte schnell und exakt erfaßt werden, kann ein anschließendes Rekonstruktionsprogramm die jeweiligen aktuellen und tatsächlichen Koordinaten sowohl in einer Ebene als auch im Raum bestimmen. Mit Hilfe der ermittelten



Abb. 9: Fotografie von Getreide- und Unkrautpflanzen als Ausgangsbasis zur automatischen Differenzierung

Koordinaten können, wenn viele Bilder nacheinander registriert und ausgewertet werden, Bewegungsabläufe von einem oder mehreren Objekten aufgezeichnet und analysiert werden. Ähnliches gilt für die Registrierung und Auswertung von Serienschritten in der Anatomie oder in der Datengewinnung mittels der Computertomographie als Grundlage für 3-D-Rekonstruktionen z. B. von Organen oder Skeletten.

Bei Rindern lassen sich mit Hilfe dieser Erfassungs- und Auswertemethode z. B. exakte Analysen der zurückgelegten Wegstrecken in Laufstallsystemen durchführen (Abb. 10). Solche Daten sind als Grundlage für die Entwicklung tierangepasster Haltungstechniken notwendig.

Ein weiterer Bereich sind Untersuchungen zur Arbeitssicherheit beim Auf- und Abstieg von Personen auf einen Schlepper. Die Bewe-

gungsabläufe von Körperteilen wie Arme, Beine und Gelenke können für derartige Fragestellungen, z. B. mit Hilfe der Motografie sichtbar gemacht, fotografisch registriert und bildanalytisch ausgewertet werden.

Weitere Anwendungsbereiche und Ausblick

Im verfahrenstechnischen Bereich beschäftigen wir uns am Institut für Landtechnik auch mit der bildanalytischen Erfassung von Bodenstrukturen und Bodenaggregatgrößenverteilungen¹. Gerade für diese Fragestellung bietet sich die Bildanalyse in Kombination mit anderen Erfassungsmethoden an, weil es ein berührungsloses Meßverfahren ist und die einzelnen Bodenaggregate mechanisch nicht manipuliert werden können. Normalerweise wird für die Beurteilung von Bodenbearbeitungs-

maßnahmen, speziell Sekundärbodenbearbeitung, auch die Siebanalyse eingesetzt. Des weiteren werden Fragen zur Bedeckung von Blattoberflächen mit Pilzen bzw. Pilzgeflechten bearbeitet².

Diese wenigen Bereiche, mit denen wir uns derzeit zur anwendungsorientierten Entwicklung der digitalen Bildanalyse im landtechnischen Gebiet beschäftigen, zeigen eindeutig, daß mit diesem methodischen und sensorischen Instrument viele Fortschritte erreicht werden können. Besonders auf dem Gebiet der automatischen Pflanzenerkennung hat sich die Zusammenarbeit zwischen dem Institut für Anatomie und Zytobiologie und dem Institut für Landtechnik als erfolgreich erwiesen, da für diese Fragestellung sowohl Entwicklung als auch Anwendung der BA auf hohem Niveau erforderlich sind. Durch die BA werden objektive Datenerhebungen und damit exakte Steuerungsmaßnahmen gefördert. Eine solche Vorgehensweise trägt zu einer umweltschonenderen, energie- und kostensparenden Produktionstechnik in der Landwirtschaft bei.

¹ Diese erfolgten in der BA-Entwicklungsabteilung der Fa. Leitz in Wetzlar, wofür an dieser Stelle gedankt wird.

² Laufende Doktorarbeit GUTH

³ Laufende Doktorarbeit GEORG

⁴ Laufende Doktorarbeit AUMÜLLER-GRUBER

⁵ Laufende Doktorarbeit DREIER

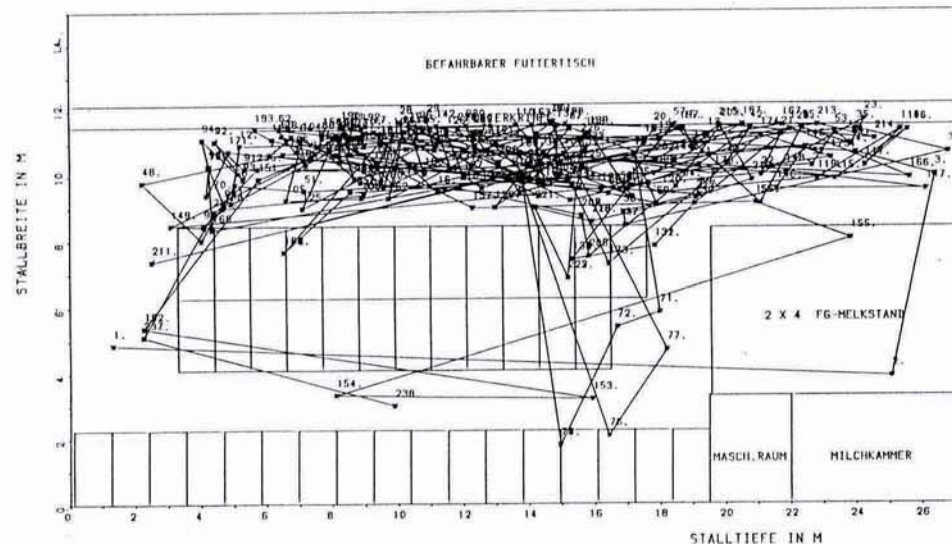
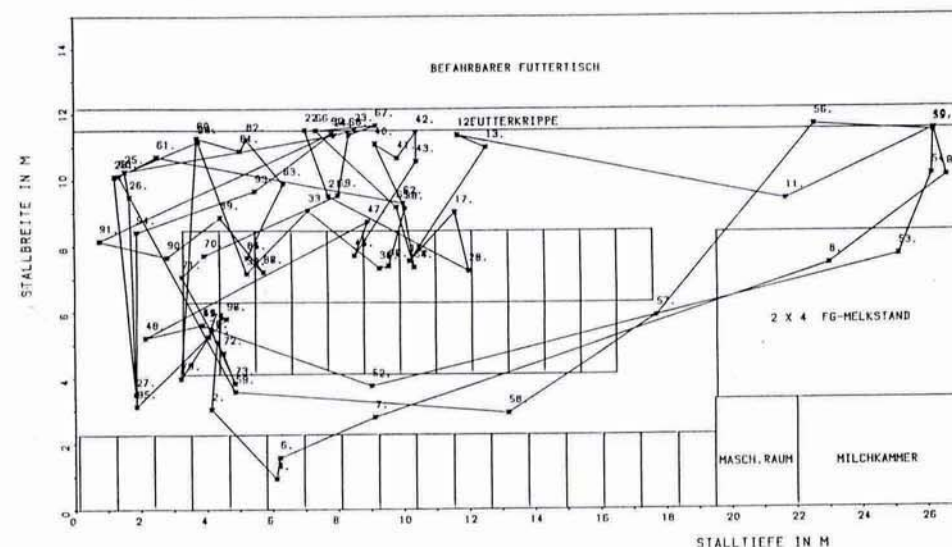


Abb. 10: Wegstrecken von zwei Kühen in einem dreireihigen Liegeboxenlaufstall an einem Beobachtungstag (oben: Kuh „Hera“ mit 1233,7 m/24-Std.-Tag; unten: Kuh „Dora“ mit 291,5 m/24-Std.-Tag) – ermittelt durch fotogrammetrische (stereometrische) Auswertung von Serienbildern. Die hier grafisch wiedergegebenen Wegstrecken sind die linearen, die angeben sind die tatsächlichen (also mit Rundungen).



Zu den Autoren:



Privatdozent Dr. agr. Franz-Josef Bockisch, Jahrgang 1956, Studium der Agrarwissenschaften an der TU München-Weihenstephan von 1976 bis 1980, 1980 landwirtschaftliche Gesellenprüfung, von 1980 bis 1984 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Landtechnik der TU München-Weihenstephan, 1985 Promotion an der TU München-Weihenstephan; seit 1985 Akademischer Rat am Institut für Landtechnik der Universität Gießen und verantwortlich für den Bereich Technik in der Tierhaltung und Bildanalyse. 1990 Habilitation an der Universität Gießen für das Fach Landtechnik. Wissenschaftliche

Schwerpunkte: Verbesserung der Haltungstechnik für landwirtschaftliche Nutztiere hinsichtlich der tierindividuellen Anpassbarkeit, Auswirkungen der Haltungstechnik auf Tierleistung, -gesundheit, -verhalten und Ökonomik, Untersuchungen zur Gülle- und Festmistproblematik, Entwicklungen zum anwendungsorientierten Einsatz der Bildanalyse in der landwirtschaftlichen Verfahrenstechnik.

Dipl. Ing. agr. Heiko Georg studierte an der Justus-Liebig-Universität Gießen Agrarwissenschaften und ist seit 1988 Doktorand am Institut für Landtechnik der Universität Gießen. Im Rahmen seiner Promotionsarbeit beschäftigt er sich mit der Entwicklung von Software und Hardware zur on-line-Erkennung von Ackerunkräutern mit der digitalen Bildverarbeitung. Seit 1990 ist er Mitarbeiter am Institut für Anatomie und Zytobiologie im Klinikum der Universität Gießen und arbeitet dort ebenfalls im Bereich Softwareentwicklung zur digitalen Bildverarbeitung. Darüberhinaus beschäftigt er sich mit der allgemeinen Anwendung der digitalen Bildverarbeitung zur Beurteilung landwirtschaftlicher Verfahrenstechniken wie z. B. der Festmistverteilung.

Dr. rer. nat. Andres Kriete, Diplom-Physiker, Studium der Physik mit Schwerpunkt Optik von 1976 bis 1980 in Bremen und Hamburg, Diplom 1981 an der Universität Bremen, von 1982 bis 1985 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Virologie der Universität Würzburg; Schwerpunkt: digitale Bildverarbeitung in der Zytodiagnostik. Promotion 1985; seit 1986 Mitarbeiter des Instituts für Anatomie und Zytobiologie am Klinikum der Universität Gießen. Wissenschaftliche Schwerpunkte: Licht- und Elektronenmikroskopie, biomedizinische Bildverarbeitung, Bildanalyse und mehrdimensionale Computergrafik.

JUSTUS-LIEBIG-



UNIVERSITÄT
GIESSEN

Spiegel der Forschung

Wissenschaftsmagazin der Universität Gießen

Herausgeber:

Der Präsident der Justus-Liebig-Universität Gießen

Redaktion:

Christel Lauterbach, Pressereferentin, Ludwigstr. 23,
6300 Gießen, Tel.: 0641/7022035, Telex: 482856,
Telefax: (0641) 7022039

Anzeigenverwaltung:

Anzeigenagentur Alpha, Bürstädter Straße 48,
6840 Lampertheim 1, Tel.: (06206) 57021, Telex:
465749

Druck:

„brühl druck + pressehaus giessen“,
Am Urnenfeld 12, 6300 Gießen-Wieseck