

---

Schön, H.; Auernhammer, H.: Entwicklungsperspektiven des Pflanzenbaues und der Tierhaltung unter dem Einfluß neuer Techniken der Prozeßsteuerung und Automatisierung. In: Berg, E.; Henrichsmeyer, W.; Schiefer, G.: Agrarwirtschaft in der Informationsgesellschaft. Schriften der Gesellschaft für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften des Landbaues e.V., Band 35, Münster-Hiltrup: Landwirtschaftsverlag (1999), S.325-339.

---



# ENTWICKLUNGSPERSPEKTIVEN DES PFLANZENBAUES UND DER TIERHALTUNG UNTER DEM EINFLUß NEUER TECHNIKEN DER PROZESSSTEUERUNG UND AUTOMATISIERUNG

von

H. SCHÖN und H. AUERNHAMMER\*

## 1 Einführung

Wettbewerbsfähige und umweltverträgliche Verfahren des Pflanzenbaues und der Tierhaltung erfordern eine Optimierung der Energie- und Stoffströme. Diese Prozesse sind gekennzeichnet durch das Zusammenwirken der Faktoren Mensch, Technik/Gebäude und biologische Produktionsmittel (ENGLERT und SCHÖN, 1998). Das Produktionssystem steht dabei in vielfältigen Wechselbeziehungen zu standortspezifischen, ökonomischen, ökologischen und institutionellen Rahmenbedingungen.

Dieses System bekommt eine neue Qualität durch die Nutzung der Elektronik und Informationstechnologie, da nun die einzelnen Systemelemente direkt miteinander korrespondieren können. Dadurch werden die Elektronik und Steuerungstechnik zum integralen Bestandteil künftiger Produktionsverfahren bis hin zur Automatisierung. Möglichkeiten und Auswirkungen dieser technischen Revolution sollen jeweils an einem Beispiel des Pflanzenbaues und der Tierhaltung dargestellt werden.

## 2 Rechnergestützte Bestandesführung im Pflanzenbau

Die exakte Steuerung und Überwachung der Stoffströme ist eine außerordentlich komplexe Aufgabe, die von den natürlichen Standortbedingungen, dem Witterungsverlauf und von Stoffumwandlungsprozessen der Pflanze bestimmt wird. Im traditionellen Pflanzenbau wurden größere standortspezifische Unterschiede innerhalb einer Gewanne durch entsprechend kleinflächige Flurgestaltung berücksichtigt. Mit zunehmender Betriebs- und auch Schlaggröße erhöht sich die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten unterschiedlicher Bedingungen innerhalb eines Schlages. Zusätzlich fehlen Orientierungsmöglichkeiten, so daß ortsspezifische Merkmale nur grob berücksichtigt werden können. Mit der ständigen Steigerung der Arbeitsgeschwindigkeit und der Arbeitsbreiten der Landmaschinen werden diese Probleme noch verstärkt (EHLERT, 1998). Ein erfolgversprechender Lösungsansatz ist die teilflächenspezifische, rechnergestützte Bestandesführung. Die Satellitenortung GPS (Global Positioning System) liefert dazu mit Ort und Zeit die Ortung, das Landwirtschaftliche BUS-System (LBS) stellt die erforderliche elektronische Kommunikation sicher und ermöglicht den Datentransfer zwischen Betriebsführung und mobiler Elektronik (AUERNHAMMER, 1998).

### 2.1 GPS und LBS als Basistechnologie

Mit der **Satellitenortung GPS** (Global Positioning System) steht ein kostenloser Positionierungs- und Zeitdienst für Jedermann kostenfrei zur Verfügung. Drei Systeme sind verfügbar, bzw. in Planung und zeichnen sich durch die in Tabelle 1 zusammengestellten Merkmale aus.

Für den Einsatz in der Landwirtschaft werden für die Ortung Genauigkeiten von  $\pm 1$  m, für die Automatisierung von  $\pm 1$  cm gefordert. Diese Genauigkeiten können über Korrekturstationen

\* Prof. Dr. Hans Schön und Prof. Dr. Hermann Auernhammer, Institut für Landtechnik, Technische Universität München, Vöttinger Str. 36, 85350 Freising

(Fehlerermittlung auf bekannten Positionen) und Fehlernachbearbeitung oder über online-Korrekturübermittlung per Telemetrie erreicht werden.

**Tabelle 1:** Systemmerkmale von „Globalen Positionierungssystemen“

**GPS (NAVSTAR) der USA**

- seit 17.6.1995 uneingeschränkt verfügbar (FOC = Full Operational Capability)
- 24 Satelliten
- Koordinatensystem WGS 84
- Fehler für zivile Nutzer:  $\pm 100$  m (2s-Bereich); kostenfrei nutzbar
- mehr als 430 Empfängertypen verfügbar (Preise ab 400 bis etwa 200 000 DM)

**GLONASS (Global Navigation Satellite System) der GUS**

- seit 18.1.1996 vollständig verfügbar (IOC = Initial State of Capability)
- 24 Satelliten
- Koordinatensystem SGS 85
- Fehler für zivile Nutzer:  $\pm 25 - 35$  m (2s-Bereich); kostenfrei nutzbar
- weniger als 10 Empfängertypen verfügbar (Preise ab etwa 10 000 DM)

**GNSS (Global Navigation Satellite Systems) der EU**

**GNSS 1**

- System aus GPS und GLONASS zusammen mit 3 (5) zusätzlichen, geostationär positionierten Satelliten
- angestrebte Genauigkeit:  $\pm 20 - 30$  m
- Aufbau ab 1988

**GNSS 2**

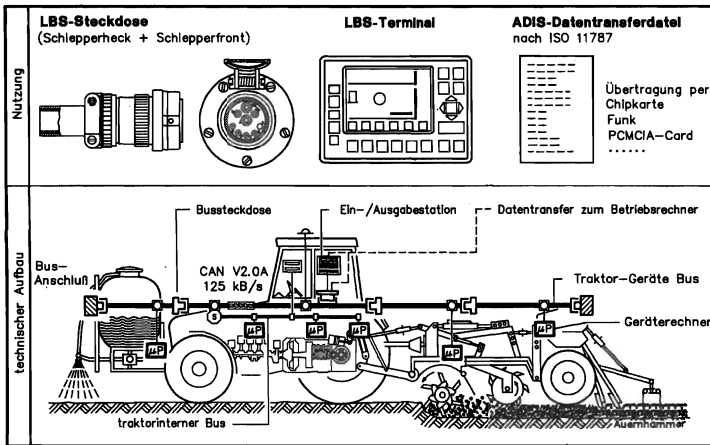
- Ziviles Nachfolgesystem für GPS und GLONASS (EU, Japan, (USA))
- etwa 42 Satelliten
- Grundgenauigkeit:  $\pm 10$  m
- Aufbau ab 2005

Bei Investitionen von etwa 1 500 bis 2 000 DM inkl. einmalig zu entrichtender Empfangslicenz stellen die landgestützten Korrektursysteme die kostengünstigsten Lösungen dar. Für das Langwellenkorrektursystem sind Kombinationsantennen verfügbar, welche sowohl die Satellitensignale, wie auch die Korrekturdatensignale empfangen können. Hingegen erfordern die satellitengestützten Korrektursysteme eine einmalige Investition von etwa 5 000 bis 6 000 DM/Empfänger mit einer kostenfreien Nutzung im ersten Jahr. Für die Folgejahre sind Empfangsgebühren von etwa 1 500 DM/Empfänger zu entrichten. Sonderkonditionen bei Nutzung mehrerer Empfänger sind zu erwarten.

Neben dem Ortungssystem ist für einen rechnergestützten Pflanzenbau ein standardisiertes Kommunikationssystem an den mobilen Geräten, insbesondere am Schlepper, erforderlich. Ähnlich der Dreipunkthydraulik sind eindeutige Schnittstellen zu schaffen und in Form von genormter Hardware (Stecker, Kabel, Bedieneinheiten, Chips) und Software (Form der Kommunikation, Übertragungsraten, Adressen, Dateninhalte, Dateiformate) in die Technik zu integrieren. Mit dem Landwirtschaftlichen BUS-System (LBS) steht seit 19.1.1998 die erforderliche Norm zur Verfügung (Abbildung 1). Eine KTBL-Arbeitsgruppe unter dem Vorsitz von AUERNHAMMER (1993) hat hier international die wissenschaftlichen Vorarbeiten geleistet. Auf der Agritechnica 1997 in Hannover wurden vielfältige Exponate gezeigt. Die Einführung von LBS in die Praxis wird derzeit durch die hohen Erstinvestitionen gehemmt. Als Einstiegslösungen werden deshalb neben den sogenannten Systemen mit voller LBS-Leistung

solche mit einer LBS-Basistechnologie und eingeschränktem Leistungsumfang angeboten, die in einem späteren Schritt weiter ausbaufähig sind.

**Abbildung 1:** Landwirtschaftliches BUS-System (LBS) nach DIN 9684



## 2.2 Automatische Datenerfassung

Basis einer rechnergestützten Bestandesführung sind Informationen über den Standort (Boden, Wasserführung, Nährstoffversorgung und Ertragsleistung), die einmalig bzw. jährlich erhoben werden. Laufend zu erfassen sind Informationen über die zurückliegende und aktuelle Witterung, den Stand des Wachstums und den Schädlings-, Pilz- und Unkrautdruck. Mit größer werdenden Betriebseinheiten nimmt der erforderliche Aufwand zu, der Übergang zur Teil-schlagtechnik vervielfacht den Aufwand. Deshalb muß für diese Anforderungen eine automa-tisierte Datenerfassung vorgesehen und bereitgestellt werden.

### 2.2.1 Lokale Bodenbedingungen und Bodenbeprobung

Die lokalen Bodenbedingungen wurden erstmals bei der Reichsbodenschätzung erfaßt. In ei-nigen Teilen Deutschlands wurde diese Bodenkartierung durch ergänzende Erhebungen zur Hangneigung, Wasserführung und dem Steingehalt erweitert. In Zukunft sollte sie durch be-triebsinterne Erhebung ergänzt werden.

Über die Bodenbeprobung soll die Nährstoffversorgung des Bodens erfaßt und in die Dün-gungsmaßnahmen einbezogen werden. Für die P- und K-Versorgung reichen aufgrund der geringen Beweglichkeit im Boden Analysen in größeren Zeitabständen, während für den Stickstoff die jeweils aktuellen Verhältnisse zum Vegetationsbeginn und innerhalb der Vege-tation entscheidend sind.

Aufgrund der bisher homogenen Betrachtung und Behandlung eines Schlages wurden die Bo-denproben nach dem Zufallsprinzip gezogen und als repräsentative Mischprobe für die Analy-se bereitgestellt. Mit der Einbeziehung der Ortung und Navigation wird nun die lokale Analy-se bei der Bodenbeprobung möglich.

Zur laufenden Bestimmung der N-Versorgung zeichnet sich die Entwicklung von berührungslosen Sensoren ab, die indirekt einen zuverlässigen Rückschluß auf die Nährstoffversorgung der Pflanze ermöglichen (s. Abschnitt 2.3).

### 2.2.2 Lokale Ertragsermittlung

Eine weitere wichtige Datenbasis sind Informationen über das lokale Ertragspotential; diese werden über eine teilschlagbezogene Ertragsermittlung auf den Erntemaschinen gewonnen.

Für Mähdrescher sind mittlerweile mehrere Ertragsmeßsysteme zu einem Preis von 8 000 - 12 000 DM auf dem Markt, die eine lokale Ertragsermittlung mit einem Fehler (2s) von 7 - 8% erlauben und teilweise auch die Gutsfeuchte ermitteln. Bei „Nichtgetreide“ befinden sich die erforderlichen Sensoren in Entwicklung bzw. im Feldtest (Tabelle 2).

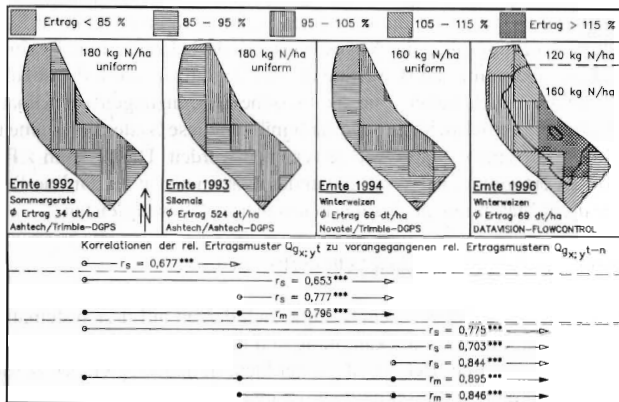
**Tabelle 2:** System für die lokale Ertragsermittlung in Erntemaschinen

Fruchtart	Wirkprinzip	Entwicklung/Test	Fehler (2s [%])
Getreide	Zellenrad, Volumen Lichtschranke, Volumen radiometrisch, Masse Impuls, Masse	Claas	7 %
		MF u.a. John Deere	8 %
		Case	?
Silomais	radiometrisch, Masse	TUM-Weihenstephan	8,1
Zuckerrüben	Bandwaage, Wiegerollen Bandwaage, Druckmes- sung Laserabtastung, Volumen	TUM, Harvest Master	?
		Kleine	?
		Uni Bonn, Ropa	?
Kartoffeln	Bandwaage, Wiegerollen	TUM, Harvest Master	7,2
Grünfutter/ Rauhfutter	Wiegung Rundballenpresse	TUM	10,0

Die genannten Sensoren werden in den Erntemaschinen fest installiert. Als Ertragsmeßsysteme benötigen sie zudem Informationen über die Arbeitsbreite und die tatsächlich zurückgelegten Wegstrecken in Arbeitsposition sowie eine Informationsdarstellungseinheit und eine Datenspeicherung. Für exakte lokale Zuordnungen wird zusätzlich die Ortung mit einer Genauigkeit von etwa  $\pm 1$  m benötigt. Ferner müssen zur Ertragsstandardisierung die Gutsfeuchten (und die Inhaltsstoffe) erfaßt und unter Berücksichtigung systeminterner Fehler in aussagefähige Ertragskartierungen umgesetzt werden.

Für die Verrechnung der Ertragsdaten eignen sich geographische Informationssysteme, wobei sich Raster mit 50 m Seitenlänge anbieten und eine Kartierung in relative Ertragsklassen von 10 bzw. 20 %. Über die Jahre ergibt sich daraus eine stabile Datenbasis für die Abschätzung der Ertragsstrukturen innerhalb eines Schlages (AUERNHAMMER und DEMMEL, 1997) (Abbildung 2).

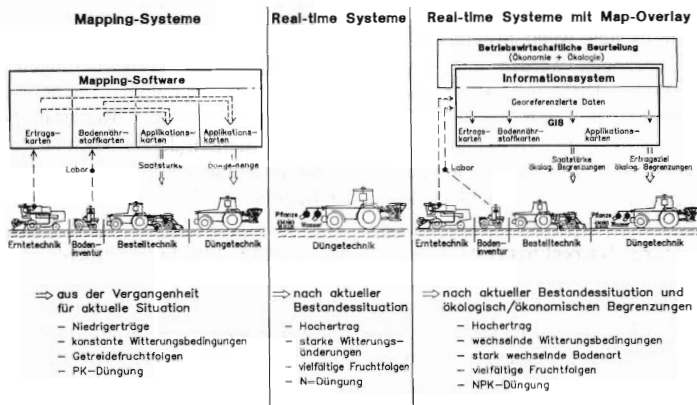
**Abbildung 2:** Relative Ertragsmuster und Korrelationen der rel. Erträge für die Erntejahre 1992 bis 1996 des Schläges „Eulenwies“ in Scheyern



### 2.3 Teilflächenspezifische Düngung

Werden die aufgezeigten Informationen in einen Regelkreis einbezogen, dann ist eine teilflächenspezifische und damit umweltgerechte Düngung möglich. Die dafür erforderliche Technik ist für die Ausbringung mineralischer Dünger verfügbar, für organischen Dünger sind entsprechende Geräte in Entwicklung. Gegenüber den bisherigen vereinfachten Überlegungen zur Steuerung der Nährstoffversorgung sind in Zukunft - je nach Standort- und Bewirtschaftungsbedingungen - unterschiedliche Umsetzungsstrategien für eine teilschlagorientierte Düngung sinnvoll (Abbildung 3).

**Abbildung 3:** Systeme für die teilschlagorientierte Düngung im Pflanzenbau (AUERNHAMMER, 1998)



Das Mapping-System (mapping approach) bezieht die Grundinformationen hinsichtlich Witterung, Wasserversorgung und Nährstoffverfügbarkeit aus der Vergangenheit. Deshalb kann auf abweichende Situationen nur unzureichend reagiert werden, weshalb derartige Systeme eher für die Versorgung von P und K auf einem niedrigen Ertragsniveau geeignet sein dürften.

Beim Realtime-System (online sensor approach) wird über die Nahinfrarot-Spektroskopie bzw. die Laser-induzierte Fluoreszenz die aktuelle N-Versorgung der Pflanze erfaßt (NN). Über die zusätzliche Erfassung des Wasserstresses in der Pflanze wird dann die direkte „Online-Applikation“ möglich, wenn für die jeweiligen Kulturarten aussagefähige Referenzwerte für eine optimale Versorgung über die Vegetationsperiode bekannt sind. Realtime-Systeme sind nicht in der Lage, ökonomische Bewertungen und Begrenzungen in die abzuleitende Applikation einzubeziehen. Auch können sie ökologische Begrenzungen (Maximalmengen an definierten Stellen) nicht berücksichtigen. Deshalb müssen diese Systeme für eine nachhaltige Landbewirtschaftung mit einem Map-Overlay versehen werden. Dieser kann z.B. die lokale Bodenart, P- und K-Versorgung, pH-Wert und andere Parameter in die Online-Regelung einbeziehen und damit ein Maximum an „lokaler Feinsteuerung“ gewährleisten.

## **2.4 Pflanzenschutz nach räumlichen Schadschwellen**

Der Elektronikeinsatz für den Pflanzenschutz stützt sich derzeit auf drei systematische Ansätze. Diese richten sich auf die Unkrautbekämpfung und lassen sich nach der Form der Bonitur und nach der Differenziertheit der Behandlung einordnen. In nahezu gleicher Weise wären sie jedoch auch auf den Fungizid- und Insektizideinsatz übertragbar.

Das manuelle Kartierungssystem stützt sich auf Zeitreihen, die mit tragbaren Betriebsrechnern mit GPS-Ortung und Feld-GIS ermittelt werden. Für die Bekämpfung werden Unkrautkartierungen erstellt. Sie können als manuelle Dosierhilfen bei der Spritzung verwendet werden oder GPS-gestützte Systeme arbeiten unmittelbar mit den Kartierungen. Die Bekämpfung kann mit einer vordefinierten Mischung einheitlich auf den jeweils zu behandelnden Flächen erfolgen oder es werden Direktinjektionssysteme eingesetzt.

Der hohe manuelle Bonituraufwand kann durch eine Pflanzenbedeckungsbonitur ersetzt werden und läßt sich dann automatisiert direkt in lokale Behandlungsmaßnahmen umsetzen. Da eine Differenzierung nach Unkrautarten nicht erfolgt, kann nur eine einheitliche lokale Behandlung realisiert werden.

Ähnlich verhält es sich, wenn anstelle der Online-Pflanzenbedeckung Luftbilder oder Satellitenbilder herangezogen werden und die Bekämpfung anhand von Kartierungen erfolgt (EHLERT, 1998). Differenzierte Behandlungen werden möglich, wenn Online-Erkennungssysteme zum Einsatz kommen. Die dafür erforderlichen Lösungsansätze sind weitgehend erarbeitet (HOLLSTEIN und BILLER, 1998). Sie scheitern derzeit noch an den erforderlichen hohen Rechnerleistungen mit den damit verbundenen hohen Investitionen. Demnach richtet sich der Einsatz dieser Technik stärker in die Zukunft.

## **2.5 Bewertung der rechnergestützten Bestandesführung und Folgerungen**

Eine umfassende Bewertung des rechnergestützten Pflanzenbaues ist in dem jetzigen frühen Entwicklungsstadium noch schwierig. Das ATB Bornim (EHLERT, 1998) führt in Zusammenarbeit mit der Industrie in einem landwirtschaftlichen Großbetrieb im Oderbruch mit stark wechselnden Standortbedingungen Untersuchungen zur teilflächenspezifischen Bewirtschaftung bei der Stickstoffdüngung, zu der Aussaat und dem Herbizideinsatz durch. Eine erste Wertung ergab, daß bei der Stickstoffdüngung je ha 30 - 35 kg N Dünger eingespart und die Getreideerträge gleichzeitig um 6 - 7 dt/ha gesteigert werden konnten. Der teilflächenspezifische Herbizideinsatz bei Winterweizen erbrachte Einsparungen an Pflanzenschutzmitteln von 15 - 22 DM/ha.

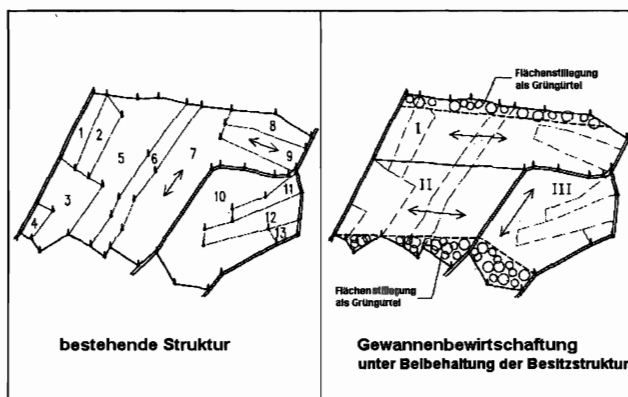


Bei zusätzlichen Investitionen von 120 000 DM im Betrieb verbesserte sich der Deckungsbeitrag um 135 DM/ha und Jahr. Mindestens ebenso wichtig dürften die ökologischen Vorteile durch einen differenzierten Einsatz von Dünger- und Pflanzenschutzmitteln sein.

Die künftigen Aspekte eines rechnergestützten Pflanzenbaues gehen aber weit über die Teilflächenbewirtschaftung hinaus. Sie reichen von einer künftigen automatischen Geräteführung über die Dokumentation von Produktionsdaten bis hin zum überbetrieblichen Management.

Es wäre auch möglich, in kleinstrukturierten Regionen ganze Gewannen überbetrieblich zu bewirtschaften und trotzdem einzelbetrieblich abzurechnen. Teure Flurbereinigungen und Flächenzusammenlegungen könnten sich so erübrigen. In Abbildung 4 ist dafür ein konkreter Vorschlag dargestellt (AUERNHAMMER, 1998).

**Abbildung 4:** Gewannenbewirtschaftung mit GPS (AUERNHAMMER, 1998)



### 3 Rechnergestützte Verfahren der Tierhaltung am Beispiel der Milchviehhaltung

Die Tierhaltung hat eine herausragende Bedeutung für die deutsche Landwirtschaft. 62% aller Betriebseinnahmen kommen aus diesem Betriebszweig, wobei die Milchviehhaltung mit 27% den größten Anteil hat. Trotz dieser Bedeutung weist insbesondere die Milchviehhaltung erhebliche strukturelle und haltungstechnische Defizite auf. Künftige Stallsysteme müssen folgende Kriterien erfüllen:

- hohe Tier- und Produktionsleistung bei hoher Produktqualität
- größere Herden bei geringerer Arbeitsbelastung und besseren sozialen Bedingungen
- niedriger Investitionsbedarf
- und schließlich höhere Anforderungen an den Tier- und Umweltschutz.

Für diese, sich teilweise widersprechenden Anforderungen an Technik und Bauwesen in der Tierhaltung zeichnen sich zwei grundsätzliche Lösungsansätze für kostengünstige und tiergerechtere Haltungssysteme ab, die am Beispiel der Milchviehhaltung näher vertieft werden sollen (SCHÖN und BOXBERGER, 1991).




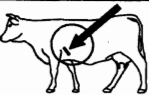
1. Ansatz: Volle Ausschöpfung des genetischen Leistungspotentials durch rechnergestützte Verfahren

2. Ansatz: Reduzierung des Aufwandes für Stallgebäude auf die Ansprüche des Tieres.

### 3.1 Elektronische Einzeltiererkennung und rechnergestützte Fütterung

Eine tierindividuelle Fütterung, Tierüberwachung und ein tierindividueller Milchentzug erlauben auch in größeren Herden eine volle Ausschöpfung des genetischen Leistungspotentials. Schlüsseltechnik ist eine kostengünstige, elektronisch lesbare Tieridentifikation (Abbildung 5). Neuere Verfahren wie Injektate und Bolus ermöglichen darüber hinaus eine fälschungssichere Produktkontrolle vom Kalb bis hin zur Verarbeitung (KLINDTORTH und WENDL, 1997) (Abbildung 5).

**Abbildung 5:** System der elektronischen Tieridentifizierung bei Rindern (KLINDTORTH und WENDL, 1997)

Bauart/Applikationen	DM/Einheit
<u>Halsband</u> 	70 – 120
<u>Ohrmarke</u> 	10 – 20 ( 5 * )
<u>Injektat</u> 	10 – 20 ( 5 * )
<u>Bolus</u> (Im Retikulum oder Pansen) 	10 – 20 ( 5 * )
	*) Zielpreis

Für eine leistungsangepaßte Fütterung sind derzeit zwei Systeme bekannt:

- die rechnergestützte individuelle Kraftfuttergabe bei freier Grundfutteraufnahme und
- die rechnergestützte individuelle Kraft- und Grundfuttermvorlage.

Zur individuellen Kraftfutterzuteilung hat sich in Laufställen der Kraftfutter-Abwurfautomat durchgesetzt. Bei der Futterbilanzierung wird dabei die Grundfutteraufnahme geschätzt. Bei einer leistungsorientierten Gesamtbilanzierung wäre es deshalb notwendig, auch die individuelle Grundfutteraufnahme zu erfassen, wofür derzeit noch ein erheblicher technischer Aufwand erforderlich ist (Einzelwiegetröge). Als finanziell vertretbaren Kompromiß bietet sich eine rechnergestützte Gruppenfütterung an, wobei die jeweiligen Tiergruppen erst am Freßplatz getrennt werden. Nach dem Vorschlag von PIRKELMANN und WENDL (1989) werden dabei die Gruppen kostengünstig durch wenige elektronische Einzeltore getrennt, wobei allerdings eine Trennung von Liege- und Freßbereich erforderlich ist (4-reihiger Liegeboxenlaufstall oder Laufstall mit Laufhof).

### 3.2 Automatische Melksysteme (AMS)

Während für die Tiererkennung und die rechnergestützte Fütterung praxisreife Systeme verfügbar sind, fehlen bisher praxistaugliche automatische Melksysteme (AMS). Erste erfolgreiche

Versuche zur Automatisierung des Melkens erfolgten u.a. von ROSSING und IPEMA (1985); ARTMANN, SCHILLINGMANN und SCHÖN (1990). Einige dieser Funktionsmodelle wurden Grundlage für die Weiterentwicklung zu marktgängigen Systemen. Derzeit sind über 180 automatische Melksysteme installiert, vor allem in den Niederlanden. Bereits kurzfristig zeichnet sich also eine technische Revolution in der Milchviehhaltung ab, die weitreichende Konsequenzen auf die Arbeitsorganisation, das Bauwesen und die Struktur der Milchviehhaltung haben wird.

### 3.2.1 Technik und Bauformen automatischer Melksysteme

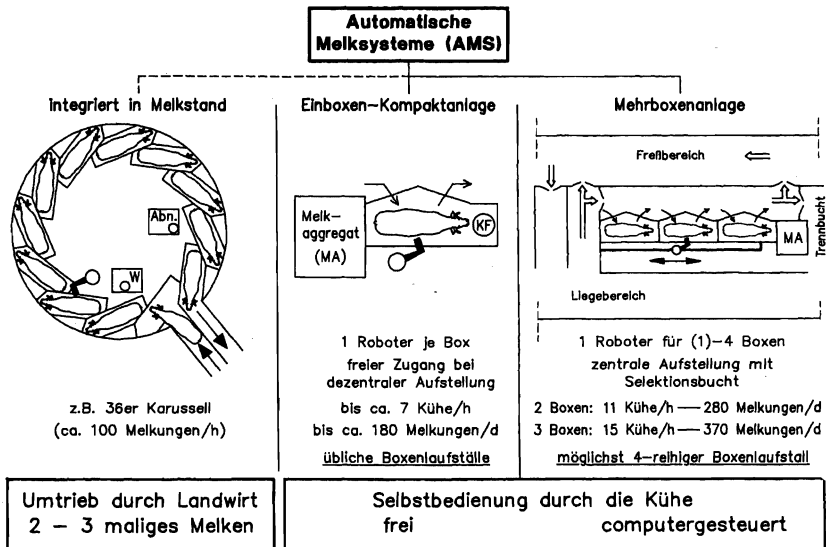
Bei dieser, fälschlicherweise als Roboter bezeichneten Technik wird das Reinigen der Zitzen und das Ansetzen der Melkzeuge durch einen Handhabungsautomaten vorgenommen, während der übrige Melkablauf den hochmechanisierten Melkständen entspricht (SCHÖN und PIRKELMANN, 1997). Bei diesen Anlagen wird ein weitgehend bedienungsfreies Melken ohne ständige Überwachung angestrebt. Dies setzt eine hohe Funktionssicherheit, den selbständigen Zu- und Abgang der Kühe zum und vom AMS und die Automatisierung aller Kontroll- und Überwachungsarbeiten voraus. Bei automatischen Melksystemen reicht ein Melkzeug für bis zu 60 laktierende Kühe. Für das einzelne Melkzeug ist deshalb ein hoher Aufwand an elektronischen Sub-Systemen zur Qualitäts- und Tierüberwachung gerechtfertigt. Folgende Sensoren und Überwachungsprogramme sind möglich:

- Programme zur Eingewöhnung von neuen, nicht laktierenden Kühen. Für diese Kühe wird der Melkablauf ohne Ansetzen der Zitzen simuliert.
- Euter- und Zitzenreinigung; dafür sind Waschbürsten, Rollreiniger und in die Melkzeuge integrierte Systeme üblich. Optische Systeme zur Kontrolle der Verschmutzung sind wünschenswert.
- Abmelken und Prüfen des Vorgemelkes; zur Qualitätsüberwachung der Milch eignet sich besonders die für jedes Viertel getrennte Erfassung der elektrischen Leitfähigkeit.
- Getrennte Ableitung der Milch je Viertel mit Erfassung der Milchmenge und der Melkdauer, der elektronischen Leitfähigkeit und der Milchttemperatur.
- Milchflußgesteuerter Milchentzug mit Vormelk-, Haupt- und Nachmelkphase (je Viertel möglich); dies läßt sich beim AMS kostengünstig realisieren und ist deshalb ein wichtiger Ansatz weiterer Entwicklungen.
- Kontrolle des Tierverhaltens durch Erfassung der Melkfrequenz, Melkdauer und des Aufsuchens der Melkbox ohne Melken.

Durch die Managementhilfen ist eine intensive Tier- und Milchqualitätsüberwachung sowie eine Früherkennung von Krankheiten auch in größeren Herden möglich. Managementprogramme verknüpfen diese und andere Daten und ermöglichen eine exakte Herdenführung und Kostenkontrolle.

Automatische Melksysteme sind in verschiedenen Bauformen möglich (Abbildung 6).

**Abbildung 6: Bauarten von AMS und Kuhumtrieb**



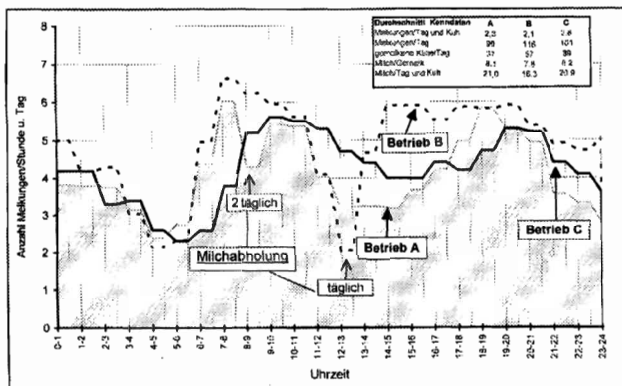
Die bisherigen Erfahrungen und Ergebnisse praktischer Einsatzversuche mit Einboxenanlagen lassen sich wie folgt zusammenfassen (SCHÖN et al. 1998).

1. Die Umstellungsphase erfordert einen verstärkten Arbeitseinsatz von etwa zwei Wochen während der gesamten Tages- und Nachtzeit. Ein ruhiger und sorgfältiger Umgang mit den Tieren ist dabei für das spätere selbständige Aufsuchen des AMS entscheidend.
2. Etwa 10% der Kühe sind für das automatische Melken wegen ihrer Euterform, schweren Klauenschäden oder Überreaktionen nicht geeignet.
3. Automatische Melksysteme haben bei Einboxenanlagen mit ca. 97% Ansetzerfolg eine hohe Funktionssicherheit erreicht. Verbesserungsansätze sind allerdings bei der Melktechnik und der Sensorik zur laufenden Milchqualitäts- und Tierüberwachung notwendig.
4. Die Tiere suchen während der gesamten Tages- und Nachtzeit das AMS auf, wobei allerdings in der zweiten Nachthälfte ein deutlicher Rückgang zu beobachten ist (Abbildung 7). Die Melkfrequenz eines Tieres ist abhängig von der Milchleistung, dem Laktationsalter, der baulichen Zuordnung und der Zahl der laktierenden Kühe je Melkbox.

Nach unseren bisherigen Untersuchungen ist eine 100%-Belegung des AMS nicht möglich und bereits ab etwa 55 laktierenden Kühen ist bei einer Einboxenanlage eine rückläufige Melkfrequenz zu beobachten (Betrieb B in Abbildung 7), bei Mehrboxenanlagen sollten je Melkbucht noch weniger laktierende Kühe zugeordnet werden.

5. Bei Weidebetrieben reduziert sich wegen der langen Zu- und Abtriebswege die mögliche Belegung des AMS erheblich. Für diese Betriebe fehlen bisher überzeugende Verfahrenslösungen.

**Abbildung 7:** Anzahl der Melkungen im Tagesverlauf bei drei Betrieben mit Einboxen-AMS



- Bei mehrmaligem täglichem Melken ist mit einer Steigerung der Milchleistung um 10% zu rechnen, wie frühere Untersuchungen zur Melkfrequenz belegen. Die bisherigen Beobachtungen deuten darauf hin, daß dies auch auf die automatischen Melksysteme zu übertragen ist, vorausgesetzt, die Tiere suchen mehrmals am Tag das AMS auf.

### 3.3 Bewertung der rechnergestützten Milchviehhaltung und Folgerungen

Mit dem rechnergestützten Haltungsverfahren, insbesondere aber mit automatischen Melksystemen, ist ein grundlegend neuer Ansatz für die Entwicklung neuer Haltungssysteme in der Milchviehhaltung mit einer Reihe entscheidender Vorteile möglich.

- Rechnergestützte Stallsysteme ermöglichen eine artgerechtere Handhabung bei gleichzeitig intensiver Einzeltierfütterung und Tierüberwachung.
- Der Produktionsrhythmus wird nicht mehr durch den Arbeitsrhythmus des Menschen (zweimalige Stallarbeitszeit), sondern den Lebensrhythmus des Tieres bei der Futteraufnahme und der Milchabgabe bestimmt. Dies führt unter anderem auch zu gesteigerter Leistungsbereitschaft.
- Der Mensch wird von der engen Bindung an den Arbeitsablauf befreit. Dies verbessert nicht nur entscheidend die Arbeitsbedingungen, sondern ermöglicht es auch, die Stallsysteme konsequent auf die Ansprüche des Tieres auszurichten.

#### 3.3.1 Bauliche Folgerungen

Die tatsächlichen Verhaltens- und Klimaansprüche der Rinder weichen erheblich von den derzeitigen, durch den arbeitenden Menschen bestimmten Haltungsbedingungen ab. Sie lassen sich in einfachen Wahlversuchen klären, wie z.B. von KOCH (1985). Dazu wurde den Tieren der wahlweise Aufenthalt im wärmegeprägten Stall oder in einem Waldgehebe bei niedrigen Außentemperaturen angeboten. Wenn den Tieren im warmen Stall eine harte, wenig gedämmte Liegefläche zur Verfügung stand, bevorzugten alle Tiere, selbst bei niedrigen Außentemperaturen, ein eingestreutes Lager im Freien. Für Rinder genügt deshalb ein einfacher Witterungsschutz, wenn für ein weiches, trockenes und zugfreies Lager gesorgt wird. Dafür bieten

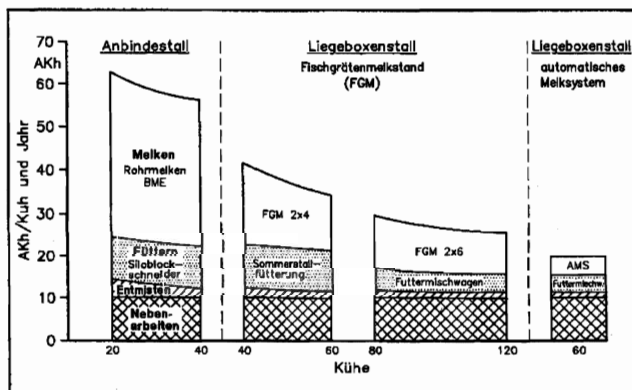
sich eingestreute Liegeflächen an. Dabei wird den Tieren nicht nur ein elastisches Lager, sondern auch ein besonderer Wärmeschutz angeboten. Der stärkere Einsatz von Stroh und die Erzeugung von Festmist erfordert je nach Stallform aber einen um 3-5 AKh/GV und Jahr höheren Arbeitszeitbedarf. Der Liegeboxenlaufstall wird deshalb auch in Zukunft die Standardlösung für die Milchviehhaltung darstellen. Dies schließt nicht aus, daß bei Umbaulösungen in Ackerbaubetrieben auch andere Stallformen ihre Bedeutung haben.

Auf der Grundlage dieser Erkenntnisse wurden in den letzten Jahren verschiedene Außenklimaställe mit Liegeboxen entwickelt, wobei der Liegeboxenstall mit Außenfütterung einen sinnvollen Kompromiß zwischen Wind- und Wetterschutz und dem Bedürfnis nach Klimareizen für die Tiere darstellt. Die geringsten Bauinvestitionen erfordert dabei der 4-reihige Liegeboxenlaufstall (RITTEL 1997). Der vierreihige Liegeboxenstall bietet sich darüber hinaus als günstige Lösung für automatische Melksysteme an. Durch die kompakte Bauweise (kurze Wege für die Tiere) und eine konsequente Trennung von Liege- und Freßbereich ist ein günstiger Kuhtrieb möglich.

### 3.3.2 Arbeitswirtschaftliche Folgen

Der Arbeitsaufwand für das Melken und die feste zeitliche Bindung wird bei der Stallhaltung entscheidend gemindert. Nach ersten Arbeitszeitstudien in einem Stall für 50 Kühe mit Einboxen-AMS-Anlage halbiert sich der Arbeitszeitaufwand für das Melken auf 7 AKh/Kuh und Jahr, wobei die Kontroll- und Managementarbeiten am Computer den größten Anteil haben. Insgesamt sinkt dadurch der Arbeitszeitbedarf in Herden ab 70 Kühe auf unter 20 AKh/Kuh und Jahr (Abbildung 8). Zu ähnlichen Ergebnissen kam SCHLEITZER (1998) bei ersten Arbeitszeitstudien in größeren Milchviehbeständen.

**Abbildung 8:** Arbeitszeitbedarf in der Milchviehhaltung ohne Nachzucht in Abhängigkeit von Aufstallung und Melktechnik (ganzjährige Stallung) (KTBL ergänzt nach LIEBLER)



Auf der anderen Seite muß der Landwirt 24 h für eventuelle Störungen erreichbar sein. Trotz erheblicher arbeitswirtschaftlicher Entlastung durch das AMS sollte das Arbeitsvolumen je Arbeitskraft (ca. 75 Kühe/AK) deshalb nicht wesentlich gesteigert werden, um die freiwerdende Zeit verstärkt für das Management und die Tierbeobachtung zu nutzen und um dem Landwirt mit Milchviehhaltung erstmals Arbeitsbedingungen zu schaffen, die mit denen der übrigen Bevölkerung vergleichbar sind.

### 3.3.3 Ökonomische Bewertung und strukturelle Folgen

Ein besonders sorgfältigen Prüfung bedarf die Wirtschaftlichkeit des automatischen Melkens. Nach Berechnungen von STOCKINGER und WEISS (1997) sind dafür Einsparungen bei den sonstigen Investitionen, eine Milchleistungssteigerung durch eine erhöhte Melkfrequenz und eine volle Auslastung der Anlage während des gesamten Jahres zwingende Voraussetzung. Zudem lassen sich derzeit die laufenden Betriebskosten, insbesondere für den Wasser- und Energiebedarf noch nicht mit genügender Sicherheit bewerten.

Unabhängig davon verstärken AMS den Trend zur ganzjährigen Stallhaltung und erfordern eine Anpassung der Herdengröße an die Melkkapazität. Letzteres wird den Strukturwandel in der Landwirtschaft erheblich beschleunigen, da für bäuerliche Familienbetriebe Herden von 70 bis 80 Kühe (ca. 500 000 l Milchquote) notwendig sind. Dies dürfte die Preise für Milchkontingente weiter erhöhen und die Finanzierung wachsender Betriebe erschweren.

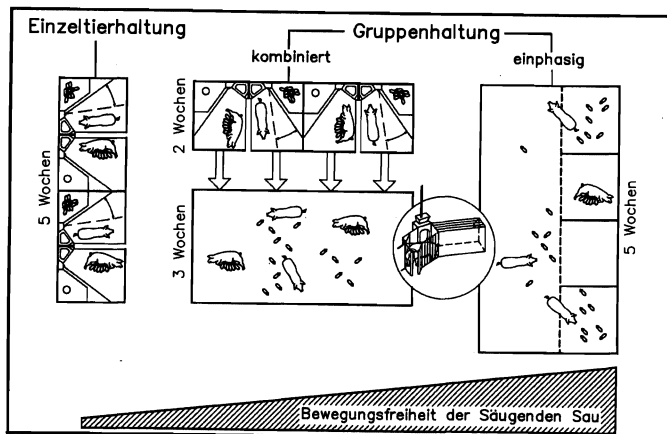
Es bleibt aber festzuhalten, daß automatische Melksysteme nach entsprechender Bewährung in der Praxis vielen Betrieben mit Milchviehhaltung - wenn auch bei veränderter Struktur - eine Zukunftsperspektive in sozialer Hinsicht bieten und die Wettbewerbsfähigkeit dieser mittelständischen Unternehmen gegenüber denen bei Großherden stärken. AMS sind darüber hinaus ein wichtiger Ansatz, um die Tiergerechtigkeit moderner Haltungssysteme weiter zu verbessern.

### 3.4 Rechnergestützte Verfahren für andere Tierarten

Die am Beispiel der Milchviehhaltung dargestellte technische Entwicklung zu rechnergestützten Haltungsverfahren ist auch bei anderen Tierarten erkennbar. Besonders weit fortgeschritten ist diese Technik bei der Kälberhaltung. Hier lassen sich die technischen und baulichen Trends besonders eindrucksvoll darstellen. In der Vergangenheit hat der Zwang zur tierindividuellen Fütterung und Tierüberwachung zur Einzelhaltung mit bedenklichen Einschränkungen des Tierverhaltens geführt, mit der Notwendigkeit einer aufwendigen Bau- und Klimagestaltung, mit hygienischen Schwierigkeiten und einer Fülle von Verordnungen zum Tierschutz. Rechnergestützte Fütterungsautomaten erlauben nun eine tiergerechtere Gruppenhaltung, bei der trotzdem eine individuelle Fütterung möglich ist. PIRKELMANN und WENDL (1992) haben dieses System zu einer umfassenden Prozeßsteuerung mit Gewichtserfassung, Temperaturkontrolle und gesteuerter Tränke- und Kraftfuttermittelsversorgung weiterentwickelt.

Bei der Zuchtsauenhaltung geht es darum, den Sauen auch in der Säugephase mehr Bewegungsfreiheit zu verschaffen bis hin zur artgerechteren Gruppenhaltung (Abbildung 9). Die konsequente Umsetzung ethologischer Erkenntnisse erfolgt in der Gruppenhaltung von säugenden Sauen. Dem natürlichen Verhalten der Muttersauen entsprechend sondern sich die Sauen während der Geburt in eine frei zugängliche Einzelbucht ab, um nach wenigen Tagen in den Gruppenverband zurückzukehren. Nach den bisherigen Erfahrungen sollten dabei nicht mehr als 4 ferkelführende Sauen in der Gruppe gehalten werden. Eine individuelle Fütterung der Sauen erfolgt durch eine rechnergesteuerte Abrufstation, die darüber hinaus mittels Sensoren weitere Tierdaten erfassen kann, wie z.B. die Lebendmasse und die Körpertemperatur zur Gesundheitsüberwachung. BICHMANN und HEEGE (1997) haben die Abrufstationen mit einer automatischen Trächtigkeitserfassung mittels Ultraschall gekoppelt. Noch sind diese Verfahren in der Versuchs- und Erprobungsphase, allerdings zeichnet sich schon jetzt ein Trend zur kombinierten Einzelhaltung von 7 Tagen und einer anschließenden Gruppenhaltung in einem einfachen Gruppenstall ab.

**Abbildung 9:** Tendenzen bei der Haltung säugender Sauen  
(nach DE BAEY-ERNSTEN und HESSE, 1993)



Auch bei der Pferdehaltung erlaubt nach PIRKELMANN (1992) ein rechnergesteuerter Kraftfutterautomat eine tiergerechtere Gruppenhaltung bei geringen Arbeits- und Bauaufwendungen.

#### 4 Zusammenfassung

Elektronik und Prozesssteuerung erlauben die informatorische Verknüpfung aller Systemelemente landwirtschaftlicher Produktionsverfahren. Rechnergestützte Systeme des Pflanzenbaues ermöglichen ein hohes Produktionsniveau, verbunden mit einem umweltverträglichen Betriebsmitteleinsatz. In der Tierhaltung ermöglicht die Elektronik eine artgerechtere Gruppenhaltung bei intensiver Einzeltierbetreuung und weitgehender Automatisierung aller Arbeitsgänge. Dies ist Voraussetzung für neue Stallsysteme, die den erhöhten Anforderungen an Wirtschaftlichkeit und Tierschutz genügen. In beiden Fällen liefern rechnergestützte Produktionssysteme eine Fülle an Daten für das Produktions-, Qualitäts- und Betriebsmanagement. Es ist dringend erforderlich, dieser Schnittstelle zwischen Agrartechnik und Betriebswirtschaft größere Aufmerksamkeit zu schenken und neue, zukunftsgerichtete Systeme des Pflanzenbaues und der Tierhaltung im Spannungsfeld ökonomischer und ökologischer Anforderungen zu entwickeln.

#### Literaturverzeichnis

- AUERNHAMMER, H. (1998): Elektronik zur umweltverträglichen Bestandesführung. In: Innovationen in Technik und Bauwesen für eine nachhaltige Landwirtschaft. KTBL-Arbeitspapier 254, Darmstadt 1998.
- AUERNHAMMER, H.; DEMMEL, M. (1997): Die Stabilität von Ertragsstrukturen im mehrjährigen Vergleich. VDI-Bericht 1356, Düsseldorf 1997.
- AUERNHAMMER, H.; FRISCH, J. (Hrsg.) (1993): Landwirtschaftliches BUS-System-LBS. KTBL-Arbeitspapier 196, Darmstadt 1993.
- BICHMANN, M.; HEEGE, H.J. (1997): Automatisierung der Trächtigkeitsdiagnose mittels Ultraschall an Sauen. In: Bau, Technik und Umwelt in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung. Beiträge zur 3. Internat. Tagung. Hrsg.: Institut für Landw. Verfahrenstechnik, Univ. Kiel.



- DE BAEY-ERNSTEN, H. (1993): Gruppenhaltung ferkelführender Zuchtsauen. In: Schweinehaltung. Landtechnik Schrift Nr. 5, Weihenstephan 1993.
- EHLERT, D. (1997): Systemeinsatz und Bestandteile der teilflächenspezifischen Bewirtschaftung. In: Claas-Agro-Com: Neue Managementmethoden für Landwirte und Lohnunternehmer mit Hilfe von Informations- und Kommunikationstechnologien. Harsewinkel 1997.
- ENGLERT, G. SCHÖN, H. (1998): Systemtechnik in der landwirtschaftlichen Verfahrenstechnik. Landtechnik 53, H. 3.
- FRÖHLICH, G.; WEIGANG, J.; WENDL, G.; HAIMERL, J.; BERGMEIER, J. (1998): Erfassung und Bereitstellung von Wetterdaten im Bayer. Agrarmeteorologischen Meßnetz. Zeitschrift z. Agrarinformatik 6, H. 3.
- HOLLSTEIN, A.; BILLER, R.H. (1998): Weiterentwicklung eines optoelektronischen Sensorsystems zur gezielten Unkrautkontrolle. Agrartechnische Forschung 4 (1998), H. 1.
- KLINDTWORTH, M.; WENDL, G. (1997): Die elektronische Kennzeichnung von Rindern mit Injektaten. In: Bau, Technik und Umwelt in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung. Beiträge zur 3. Internat. Tagung. Hrsg.: Institut für Landw. Verfahrenstechnik, Univ. Kiel.
- PIRKELMANN, H. (1992): Pferdehaltung. 2. Auflage, Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart 1992.
- PIRKELMANN, H. (Hrsg.) (1992): Tiergerechte Kälberhaltung mit rechnergesteuerten Tränkeverfahren. KTBL-Schrift 352, Darmstadt.
- PIRKELMANN, H.; WENDL, G. (1989): Elektronikeinsatz zur leistungsbezogenen Milchviehfütterung. Landtechnik, 44, Sonderheft.
- RITTEL, L. (1997): Vergleich kostengünstiger Stallgebäude für Milchvieh. In: Wendl, G. (Hrsg.) Außenklimaställe und automatische Melksysteme in der Milchviehhaltung. Landtechnik-Schrift Nr. 7, Weihenstephan.
- SCHÖN, H.; BOXENBERGER, J. (1991): Technische Ansätze zur Entwicklung naturnaher Haltungssysteme in der Milchviehhaltung. In: Brem, G.: Fortschritte in der Tierzüchtung. Festschrift H. Kräußlich. Verlag E. Ulmer, Stuttgart.
- SCHÖN, H.; PIRKELMANN, H. (Hrsg.) (1997): Automatisches Melken (AMS). KTBL/DLG-Arbeitspapier 248, Darmstadt.
- SCHÖN, H.; WENDL, G.; RITTEL, L.; KARRER, M. (1998): Einsatzerfahrungen mit automatischen Melksystemen. KTBL-Arbeitspapier 250, Darmstadt 1998.
- SCHLEITZER, G. (1998): Zur Wirtschaftlichkeit automatisierter Melksysteme. KTBL-Arbeitspapier 250, Darmstadt 1998.
- STOCKINGER, CH.; WEISS, A. (1997): Stand der Technik, Stallsysteme, Wirtschaftlichkeit - erste Erfahrungen. In: Schön, H.; Pirkelmann, H. (Hrsg.): Automatisches Melken (AMS). KTBL/DLG-Arbeitspapier 248. Darmstadt.