

Ansprüche der Produktionstechnik an die elektronische Steuerung / Regelung

Von Edmund Isensee, Kiel*)

DK 631.3:62-53

Die Aufgabe der Elektronik liegt im anwendungstechnischen Bereich in der Kontrolle des Arbeitsablaufs sowie in der Steuerung oder Regelung wichtiger Arbeitsorgane an Schlepper und Arbeitsmaschine [1, 2].

Die Ansprüche an deren Exaktheit werden an wesentlichen Beispielen aus der landwirtschaftlichen Produktionstechnik abgeleitet.

1. Einführung und Methodik

Die Elektronik dient der Kontrolle im Arbeitsablauf sowie der Steuerung und Regelung an wichtigen Arbeitsorganen von Schleppern und Arbeitsmaschinen. Die hier angesprochene Produktionstechnik umfaßt all die Maßnahmen, die der Entwicklung des Pflanzenbestandes sowie der Sicherung von Wachstum und Ertrag dienen.

Die Ansprüche an die Genauigkeit der elektronischen Hilfsmittel hängen mit der jeweiligen Arbeitsaufgabe zusammen. Das wird im vorliegenden Beitrag an wichtigen Arbeitsverfahren dargestellt. Die elektronischen Systeme sind nicht Selbstzweck, sondern haben den agrartechnischen Erfordernissen zu dienen. Am landtechnisch Notwendigen und nicht am technisch Möglichen orientieren sich Konzept und Beurteilung der Agrarelektronik.

In diesem Sinne werden pflanzenbauliche Überlegungen sowie Kriterien der Maschinenprüfung daraufhin analysiert, welche Ansprüche an die Elektronik sich in Verbindung mit den jeweiligen Arbeitsorganen formulieren lassen.

Zum anderen werden im Praxisversuch erfaßte Daten dargestellt, um das auftretende Spektrum zu verdeutlichen und die Verbindung mit der möglichen bzw. notwendigen elektronischen Regelung aufzuzeigen. Das geschieht für ausgewählte Arbeitsverfahren, in denen wichtige Parameter wie Geschwindigkeit, flächenbezogene Ausbringungsmenge oder Ablagetiefe mit elektronischen Systemen zu erfassen sind.

Dazu wurden mehrere Sensor-Systeme am gleichen Gerät installiert, deren Meßwerte zur steten Kontrolle während des Versuchs analog aufgezeichnet wurden. Die Auswertung und Digitalisierung unterteilte die gesamte vergleichbare Meßstrecke von 30–50 m in einzelne Abschnitte von zunächst 0,1 m, sodann 0,5 m und 5 m.

Die Messungen fanden auf saarfertigem Acker mit unterschiedlicher Rückverfestigung sowie auf Stoppelacker und gepflügten Flächen statt.

2. Anforderungen für die Kontrolle

Bei den Kontrollfunktionen ist zu unterscheiden nach dem Bereich, den der Fahrer überschaut, sowie nach dem produktionstechnisch Notwendigen [2].

Für die Mitwirkung und Versuchsdurchführung sei den Mitarbeitern Dr. W. Sonderhoff und cand. agr. E. Koehler gedankt.

*) Prof. Dr. E. Isensee ist Direktor im Institut für Landwirtschaftliche Verfahrenstechnik der Universität Kiel.

2.1 Überwachungsfunktion des Fahrers

Der Fahrer kontrolliert mehrere Funktionsgruppen, und das in unterschiedlicher Intensität, **Tafel 1**: die Parameter zu Motor und Fahrtechnik überprüft er gelegentlich, nur eine Auswahl der wichtigsten Parameter zum jeweiligen Betriebszustand hat er stets im Blickfeld. Grenzwerte zu Temperatur oder zu den Fahreigenschaften werden über eine akustische oder optische Warnung signalisiert.

Mit der Durchführung der eigentlichen Arbeit kommt zu der gelegentlichen Kontrolle die stetige Kontrolle, konzentriert auf die Abweichungen des Fahrzeugs oder der Arbeitsorgane vom Soll-Wert. Das gilt primär für die Fahrt in der Spur wie in Reihenkulturen an den Pflanzen entlang; dann können wenige cm Abweichung von der Sollinie zu Verlusten führen.

Zur Regelung oder Kontrolle vorhandene Sensoren und Meßdaten sind nach Bedarf für weitere Zwecke zu nutzen: der Kraftstoffverbrauch und die Betriebszeit gehen in die Ist-Rechnung der Kosten

Aufgabenbereiche	Art der Anzeige			
	gelegentliche Kontrolle	im Blickfeld	Soll-Ist-Abweichung	Warnsignal
1. Motortechnik				
Temperatur und Druck des Öls				X
Temperatur des Kühlwassers				X
Füllstand von Kraftstoff	X			
Betriebszeit	X			
Inspektion	X			
2. Fahrtechnik				
Drehzahl		X		
Drehmomentbereich		X		
Motorauslastung		X		
eingeleger Gang		X		
Geschwindigkeit	X			
Lenk-Anzeige		X	X	
Kontrolle der Vorderachslast				X
Grenze zulässiger Geschwindigkeit				X
3. System-Schlepper-Arbeitsmaschine				
Maschineneinstellung	X			
Tiefenführung		X	X	
seitliche Führung		X	X	
Funktionskontrolle			X	
Lage des Krafthebers	X	X		
Zapfwelldrehzahl	X			
Füllstand im Vorratsbehälter	X			X
4. Registrieren				
Kraftstoffverbrauch	X			
Fahrstrecke	X			
Fläche	X			
Betriebszeit	X			
Teilzeiten	X			
5. Straßenverkehr				
Fahrtrichtungsanzeige	X	X		
Bremse	X			X
Fernlicht	X	X		

Tafel 1. Arten und Aufgaben von Kontrollanzeigen auf dem Schlepper.

ein. Der Weggeber gibt die Basis für die Berechnung der bearbeiteten Fläche. Die erfaßten Teilzeiten lassen eine Analyse nach produktiver Hauptzeit und vermeidbaren Wege- oder Störzeiten zu. Alle diese Parameter mögen die innerbetriebliche Überprüfung oder die Abrechnung im überbetrieblichen Einsatz transparenter gestalten.

2.2 Kontrolle in der Produktionstechnik

Eine spezifisch produktionstechnische Aufgabe von Mechanisierungslösungen liegt darin, Betriebsmittel in der angestrebten Menge auf die angestrebte Zielfläche oder in die angestrebte Tiefe zu bringen. Bei diesen Verteilarbeiten hilft die Elektronik zunächst, die auszubringende Masse zu wiegen und während der Ausbringung die Ausbringrate bzw. Ablage zu kontrollieren.

2.2.1 Waage im Kraftheber

Eine Waage im Kraftheber gibt eine Information über den Füllstand bzw. die Masse an Pflanzenschutz- oder Düngemittel im Vorratsbehälter. Damit läßt sich z.B. die insgesamt ausgebrachte Menge erfassen. Der Genauigkeitsanspruch an die Einzelwägung bleibt relativ gering.

Interessant wäre es, mit Hilfe einer solchen Wiegeeinrichtung jeweils das Dosierorgan einzustellen: nach einer Probefahrt über eine definierte Strecke des Ackers darf nur eine entsprechende Teilmenge ausgebracht sein, z.B. 50 kg Dünger (bei 500 kg/ha) nach 100 m Fahrt mit 10 m Arbeitsbreite. Diese Teilmenge darf gemäß dem Anspruch an die Düngung (Abschn. 3.1) einem Meßfehler von maximal $\pm 10\%$ unterliegen. Folglich ist der geringe Wert der Abweichung von hier z.B. 5 kg auf die insgesamt gewogene Masse, also Dünger und Streuer, zu beziehen. Der zulässige Fehler liegt hier also deutlich unter 1%. Nach Messungen von Ahmels [3] erfüllt diesen Anspruch ein in das Anbau-Dreieck integriertes System auch jetzt noch nach 3,5jährigem Einsatz.

In diesem System wirken sich die Lage des Dreipunktgestänges sowie die Schwerpunktlage der aufgebrachten Last nicht aus. Sensoren im Gestänge oder im Ölkreislauf reagieren sensibel und stellen hohe Anforderungen an die Justierung: in definierter Einstellung geht der Wiegefehler zurück [4].

2.2.2 Kontrolle von Weg und Geschwindigkeit

Die Geschwindigkeitsanzeige ermöglicht dem Fahrer die Kontrolle, ob er den vorgegebenen Wert einhält. Meist ist bei Verteilarbeiten die Geschwindigkeit konstant zu halten, entsprechend dem vorgegebenen Durchfluß des Düngerstreuers bzw. des Gülleverteilers.

Ein Weggeber kann im Rahmen der Arbeiten zur Bestandsführung die Position der Arbeitsmaschine auf dem Acker angeben. Zukunftskonzepte möchten die auf einem Feld bestehenden örtlichen Unterschiede in Nährstoffversorgung, Schädlingsbefall und Ertrag registrieren und durch gezielte Dosierung der jeweiligen Betriebsmittel ausgleichen. Aufgrund der auf dem Acker festgestellten Unterschiede, Bild 1, hat Lamp [5] für entsprechende digitale Hof-Bodenkarten eine Ermittlung der Grunddaten in Meßabschnitten von 5–10 m gefordert. Bei einem solchen Vorgehen hätte der Weggeber bei den Verteilarbeiten die Position mit entsprechender Genauigkeit zu fixieren, damit sich das Raster der Ausbringung nicht gegenüber dem Raster der Grunddaten verschiebt.

Schließlich sind mit dem Weggeber die jeweils auf dem Schlag zurückgelegte Strecke sowie die Entfernungen zum Einsatzort als Daten zum Arbeitsablauf zu registrieren. Hier besteht ein vergleichsweise geringer Anspruch an die Meßgenauigkeit, sofern die Zahlen der Betriebskontrolle und Verfahrensanalyse dienen. Anders wäre es, wenn aufgrund der Meßwerte Geschäftsvorgänge abgerechnet werden, die eichrechtlichen Ansprüchen genügen müßten.

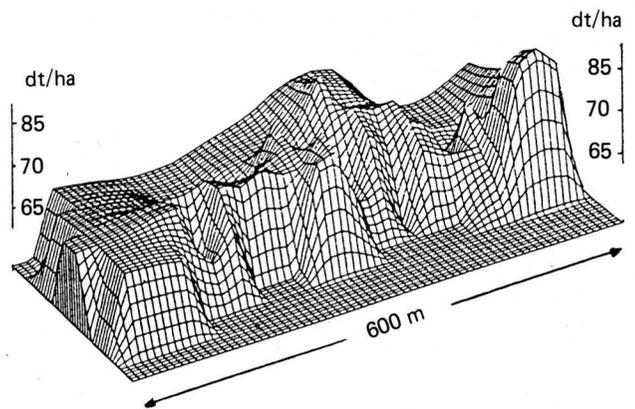


Bild 1. Verteilung des Ertrages auf einem Weizenschlag, ermittelt aus 50 Einzelerhebungen; nach Lamp u. Schnug [5].

3. Weg- bzw. geschwindigkeitsabhängige Steuerung/Regelung

Bei der wegabhängigen Steuerung wirkt der Weggeber — z.B. anstelle eines Bodenrades — direkt auf das Dosierorgan, z.B. den Vorschub oder die Säwelle. In einem entsprechenden Regelkreis folgt aus dem Wegsignal der Soll-Wert, dem der Ist-Wert anzugleichen ist, z.B. über den Druckregler der Pflanzenschutzspritze.

3.1 Länge des Meßabschnitts

Die Genauigkeit der Messung hat zur Exaktheit der jeweiligen Aufgabe zu passen. Der Geber an der Sämaschine z.B. muß den Weg so genau erfassen, wie die gewünschte Saatgutablage vorgibt: die Körner liegen im Abstand von wenigen cm [6, 7, 8].

Zweckmäßigerweise werden die Anforderungen aus vorhandenen Prüfverfahren abgeleitet [6, 9, 10, 11]. Sie mögen den Stand der Technik und das Anspruchsniveau definieren. In der Regel bezieht sich dieses auf nur ein Merkmal: die Längs- oder die Querverteilung, je nachdem, welche von beiden der Hersteller mit der Konstruktion verantwortet.

Da ein Betriebsmittel gleichmäßig über die Fläche zu verteilen ist, liegt es nahe, den definierten Anspruch an die Querverteilung auch für die Längsverteilung zu übernehmen.

In der Sätechnik wird die Querverteilung vom Verfahren bestimmt — Breitsaat bzw. Band-, Drill- oder Einzelkornsaat bei vorgegebenem Reihenabstand. Der Weggeber ist nur für die Längsverteilung von Bedeutung. Der (rechnerische) Soll-Abstand der Körner ist mit 1–3 cm sehr eng. Tatsächlich streut die Kornablage auch bei konstantem Antrieb während der DLG-Prüfung bei der bestehenden Dosiertechnik etwa in folgender Größenordnung: im 5 cm-Abschnitt liegen durchschnittlich 1,8 Körner, davon:

Zahl der Körner	Häufigkeit
0	15 %
1	33 %
2	33 %
3	15 %

Aus technischen Gründen ist daher der Meßabschnitt zu erweitern. So legt Boll [6] seinen umfangreichen Untersuchungen einen Meßabschnitt von 10 cm zugrunde.

Im Pflanzenschutz wird die Querverteilung für ein Raster von 10 cm Breite gemessen, die Teilmengen sollen nicht mehr als $\pm 15\%$ vom Mittelwert abweichen [10]. Einen ebenso kurzen Streckenabschnitt müßte der Weggeber erfassen. Das Regelsystem muß dann in Verbindung mit dem jeweiligen Düsenystem die genannte Abweichung einhalten.

Die üblicherweise verwendete Flachstrahldüse hinterläßt einen schmalen Applikationsstreifen. Anders die Kegelstrahldüse, die eine volle Kreisfläche beaufschlagt. Ihr Überlappungsbereich könnte den Meßabschnitt auf 50 cm erweitern.

Als weiteres Kriterium kann der Volumenstrom der Düsen gelten, die im Abstand von 50 cm montiert sind. Die Abweichung darf $\pm 5\%$ nicht überschreiten.

In der mineralischen und organischen Düngung wird die Verteilung mit Auffangschalen gemessen, die mit den Maßen 50 x 50 cm den notwendigen Meßabschnitt vorgeben [9, 12, 13]. Für die DLG-Anerkennung darf der Variationskoeffizient (VK) der so ermittelten Ausbringungen 15 % nicht übersteigen. Diese Werte muß der Weggeber im Zusammenwirken mit der Regelung und dem Verteilorgan einhalten.

Dazu sei allerdings angemerkt, daß Prüfungen in der Halle zu geringeren Werten der Abweichung führen. Im Freiland steigt der VK auf das Doppelte oder mehr [9]. Vor allem ist auch hier die Arbeitsweise des Verteilorgans zu berücksichtigen. Die weitverbreiteten Verteilsysteme Pneumatik- und Wurfstreuer verteilen den Dünger über eine große Fläche, so daß ein ausgleichender Effekt in Fahrtrichtung entsteht. In gleicher Weise trifft das für Verteilorgane in der Gülledüngung nach dem Prinzip der Schwenk- und Pralldüse zu, Bild 2. Folglich kann hier der Meßabstand auf 5 m ansteigen. Er liegt damit in dem Bereich, den auch die Bestandsführung im Sinne von Bild 1 verlangt.

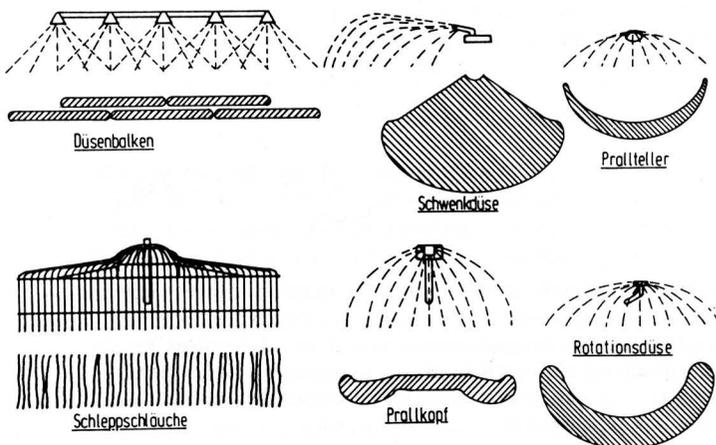


Bild 2. Verteilungsbilder verschiedener Verteilsysteme für Gülle; nach Thamsen [13].

Aus dem Verteilungsmuster sind somit z.T. enge Anforderungen zur Längsverteilung formuliert. Sie erhalten dann ihre volle Bedeutung, wenn den Signalen des Weggebers auch die entsprechend schnelle Reaktion folgt. In dieser Hinsicht wären die Dosiersysteme näher zu analysieren. Für die Drillmaschine ist das geschehen [6].

Der Sinn des Steuerungssystems liegt letztlich darin, daß mit der erfaßten Geschwindigkeit sich auch die Körnerfrequenz ändert. Tatsächlich aber reagiert die Kornfrequenz in der Drillreihe recht träge auf die reale Geschwindigkeit. Die statistische Beziehung zwischen beiden Variablen nähert sich erst nach Mittelung über eine Strecke von 5–8 m stärker dem an sich erwarteten Koeffizienten 1, Bild 3.

Es mangelt bisher offenbar an der Präzision von Saatgutzuteilung und -ablage. Dieser mechanische Teil müßte verbessert sein, bevor hohe Anforderungen an den elektronischen Teil sinnvoll sind.

An den recht hohen Ansprüchen an die Auflösung des Meßsystems und die Reaktion der Aktoren sollte sich konsequenterweise auch die Angabe von statistischen Kennzahlen orientieren, mit denen die Elektroniksysteme charakterisiert werden.

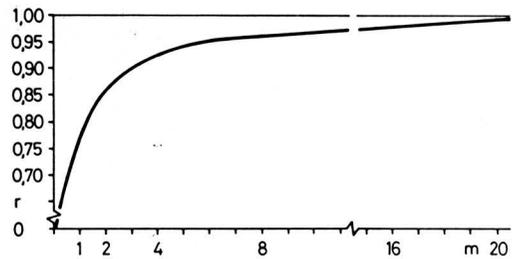


Bild 3. Korrelationskoeffizient aus Radschlupf und Kornablage in Abhängigkeit von der Länge des Meßabschnittes; nach Boll [6].

Der Mittelwert zeigt ggf. die systematische Abweichung vom gedachten Sollwert und regt dazu an, das System zu justieren. Die Streuung veranschaulicht die Variabilität der Einzeldaten. Zweckmäßigerweise werden angesichts des unterschiedlichen Niveaus der Mittelwerte die Angaben zur Streuung durch Berechnung des Variationskoeffizienten vergleichbar gemacht. Die Beurteilung sollte aber nicht nur die einfache Streuung s , sondern auch die Extremwerte berücksichtigen, da gerade die Werte außerhalb des engen Toleranzbereichs von Bedeutung für die Produktionstechnik sind.

Daher gebe man die Spannweite an, um das Spektrum extremer Werte zu verdeutlichen, oder den Anteil der Ausreißer, die außerhalb vorgegebener Grenzen liegen. In diesem Sinne sei der alte DLG-Maßstab für Düngestreuer erwähnt, nach dem die mittlere relative Abweichung unter 10 % liegen muß, Extremwerte wegen der Ertragswirkung aber nicht mehr als 30 % vom Mittel abweichen dürfen.

Im Gegensatz zu diesen auf die Anwendung abgestimmten Daten beruhen Aussagen zur Genauigkeit von Meßwertgebern auf langen Strecken bis 50 m. Das mag die Versuchsdurchführung vereinfachen, läßt aber die eigentliche Aufgabe des Arbeitsorgans auf dem Acker außer acht. Und wenn die Agrarelektronik die exakte Funktion der Maschinen steigern soll, darf sie nicht etwa weniger präzisen Ansprüchen genügen.

In der Realität landwirtschaftlicher Arbeiten ändert sich die Geschwindigkeit ständig nach kurzen Wegstrecken, im Bereich von unter 1 m. Das belegen Messungen von Boll auf saarfertigem Acker – wo die Geschwindigkeit zwischen 4,2 und 5 km/h wechselt, Bild 4. Als Bezugsebene, um die wahre Fahrgeschwindigkeit zu messen, dient eine über den Acker ausgelegte Holzbahn. Damit entfällt hier die fahrbahnabhängige Eigen-Streuung des Meßwertaufnehmers (vgl. Tafel 2). Der Meßwertverlauf verdeutlicht, daß die Geschwindigkeit kontinuierlich zu messen ist. Sie punktuell zu ermitteln, reicht nicht aus; sie über eine längere Strecke zu integrieren, gibt produktionstechnisch wichtige Informationen auf. Andererseits nehmen bei der Mittelung Streubreite und Standardabweichung mit der Länge des Meßabschnittes ab, Bild 5.

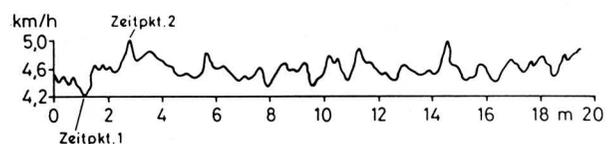


Bild 4. Verlauf der wahren Fahrgeschwindigkeit eines Schleppers auf dem Acker; nach Boll [6].

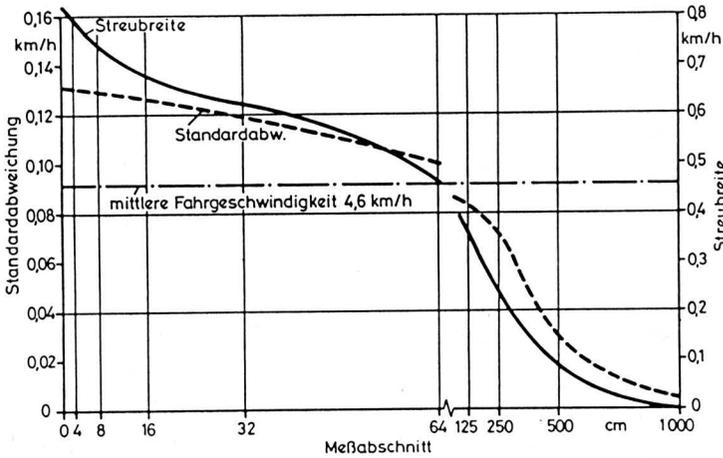


Bild 5. Mittelwert und Streuung der Fahrgeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Länge des Meßabschnittes; nach Boll [6].

3.2 Geschwindigkeitsgeber

Als Meßwertgeber für die wahre Fahrgeschwindigkeit stehen berührungslos arbeitende und über den Boden abrollende Anordnungen zur Verfügung [6, 13, 14, 15].

Der Radar-Sensor scheint als kompakte Einheit flexibel und einfach anzubringen zu sein. Tatsächlich wird er im definierten Winkel montiert. Die Reflexionsfläche sei eben, also in der Fahrgasse oder geräumter Furche. Dabei hat sich die Anordnung in Höhe der Motorhaube oder der Kabine bewährt. In keinem Fall gehört der Sensor unter den Schlepperrumpf, wo der Pflanzenbestand oder größere Unebenheiten der Oberfläche die Funktion stören. Nach Ergebnissen von Boll [6, 7] entscheidet primär die Ausbildung der Reflexionsfläche, sodann die Anbauposition über die Genauigkeit. Sie überlagern den Einfluß des Gerätetyps.

Auch ein abrollendes Rad als Weggeber sollte in fester, glatter Spur laufen, **Tafel 2**, und große Abmessungen aufweisen. Die Varianz dieser Weggeber hängt zu zwei Dritteln vom Bodenzustand ab, daneben wirken sich die Größe des Rades positiv und die Einsinktiefte negativ aus [6, 7].

Daraus ergibt sich die Empfehlung, den Geber vor und ggf. während der Arbeit für die gegebenen Verhältnisse auf dem Acker zu justieren. Daraus folgt aber auch, daß ein Meßsystem eine einsatzbedingte eigene Streuung aufweist, die sich den Änderungen der Fahrgeschwindigkeit überlagert.

Fahrbahn	VK (%)
Asphalt	1,5
Holzbahn	1,8
Acker (nach Saatbettbereitung)	5,5
Acker (vor Saatbettbereitung)	9,1

Tafel 2. Streuung der mit einem Meßrad auf unterschiedlichen Fahrbahnen für 0,10 m-Meßabschnitte ermittelten Geschwindigkeiten.

Welche Bedeutung dem zukommt, veranschaulicht ein Gesamtüberblick von Köhler [16] über alle Messungen auf wechselnden Ackerflächen, **Bild 6**: am häufigsten treten Abweichungen der Geschwindigkeit in Höhe von 10–20 % des Mittelwerts auf. Unter der produktionstechnisch kritischen Grenze von 10 % liegen nur wenige Meßwerte, hier für 0,10 m-Meßabschnitte ermittelt.

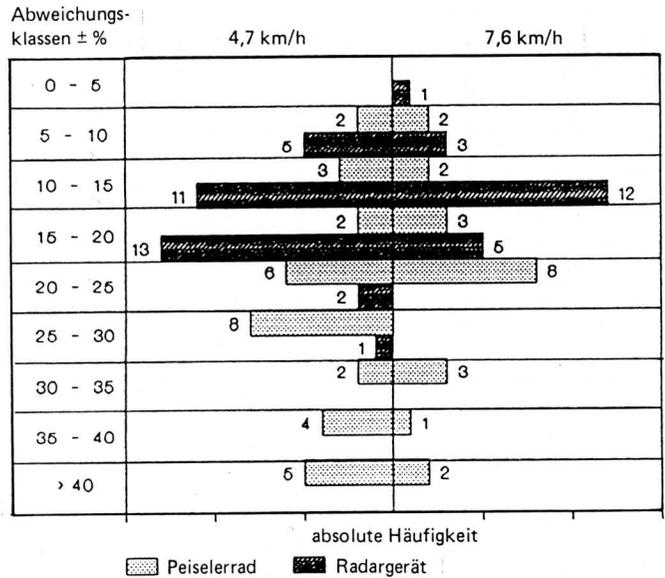


Bild 6. Häufigkeitsverteilung für Abweichungen der Fahrgeschwindigkeit, gemittelt über alle Versuchsvarianten; nach Köhler [16].

Da zwei Wegaufnehmer parallel eingesetzt waren, wird deren Unterschied deutlich: das Peiseler-Rad streut über einen wesentlich weiteren Bereich, indem das Rad offenbar stärker auf das Mikrorelief reagiert. Die Mittelwerte differierten in einigen Versuchen ebenfalls – ein Hinweis darauf, wie bedeutsam die Kontrolle eines solchen elektronischen Meßsystems ist.

3.3 Ergebnisse von Geschwindigkeitsmessungen mit Schlepper und Anbaugerät

Bei der Bestellung mag der bearbeitete Acker als Fahrbahn relativ homogen erscheinen, tatsächlich wechseln stärker gelockerte und feste Teilflächen. Somit ändern sich Mittelwert und Streuung der Geschwindigkeit bzw. des Schlupfs am Schlepperrad, aber auch die Genauigkeit eines abrollenden Meßwertgebers. Diese Verhältnisse werden für die Aussaat dargestellt, gelten im Grunde auch für Dünge- sowie Pflanzenschutzarbeiten im Vor- und Nachauflauf-Verfahren. Spätere Maßnahmen treffen eine verfestigte Fahrgasse an oder aber – bei mangelnder Infiltration – eine nasse, Schlupf verursachende Spur.

Der wechselnde Bodenzustand bei der Aussaat beeinflusst also den Schlupf des Schleppers sowie eines Radsensors, **Bild 7**. Reifen der üblichen Abmessungen an Sämaschinen unterliegen auf lockerem Boden einem um 10 % höheren Schlupf als auf festem Boden. Bei Breitreifen, die auch an gezogenen Düngern laufen, treten auf lockerem und normalem Boden deutlich kleinere Werte des Schlupfes auf, so daß die Unterschiede für verschiedene Bodenzustände zurückgehen. Positiv fallen die beiden ungewöhnlichen Meßwertgeber auf: das Stelzrad verzahnt sich gut im Boden, die Stabwalze läuft angesichts des Durchmessers von 0,6 m und der Breite von 3 m sicher ab.

Ein Schlepper insgesamt bewegt sich auf dem wechselnden Boden mit gleichmäßigerer Geschwindigkeit, der Allradantrieb wirkt dabei stabilisierend. In den Versuchen hielt ein Schlepper mit gleichgroßen Rädern auf wechselndem Boden seine Geschwindigkeit von 4,7 km/h im Durchschnitt recht gut ein. Schlupfänderungen blieben bei Betrachtung großer Meßabschnitte vernachlässigbar gering [16].

Wie **Tafel 3** zeigt, überschreitet die Streuung der Meßwerte für kurze Meßabschnitte die zu fordernden Grenzen, geht für größere Meßabschnitte aber deutlich zurück. Der lockere und gepflügte Boden verursacht höhere Werte der Streuung, ebenfalls die Fahrt bei geringem Gefälle.

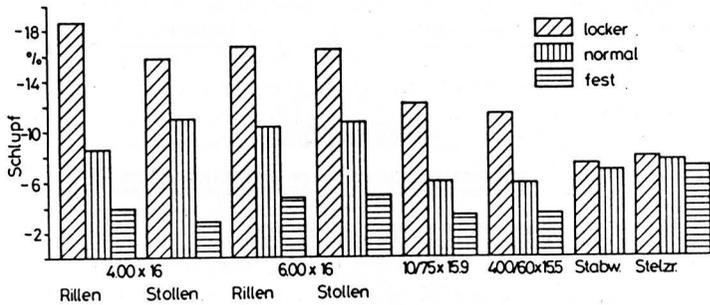


Bild 7. Schlupf verschiedener Reifen, einer Stabwalze und eines Stelzrades als Weggeber auf unterschiedlich bearbeitetem Boden; nach Boll [6].

Bodenzustand		Meßabschnitt – Länge		
		0,10 m	0,50 m	5 m
fest	VK %	5,1	4,0	1,1
	Abweichung %	19,1	9,2	1,5
locker		6,0	4,5	1,3
		20,8	14,2	2,0
gepflügt		6,6	4,6	1,0
		24,8	14,0	1,5
fest	3 % Steigung	3,0	2,7	1,4
		8,8	6,2	1,9
3 % Gefälle		6,1	4,7	1,3
		21,9	13,4	1,7

Tafel 3. Werte zur Streuung der Geschwindigkeit für unterschiedlich lange Meßabschnitte auf unterschiedlichem Acker; nach Köhler [16], Mittl. Geschw. 4,7 km/h, Radarsensor.

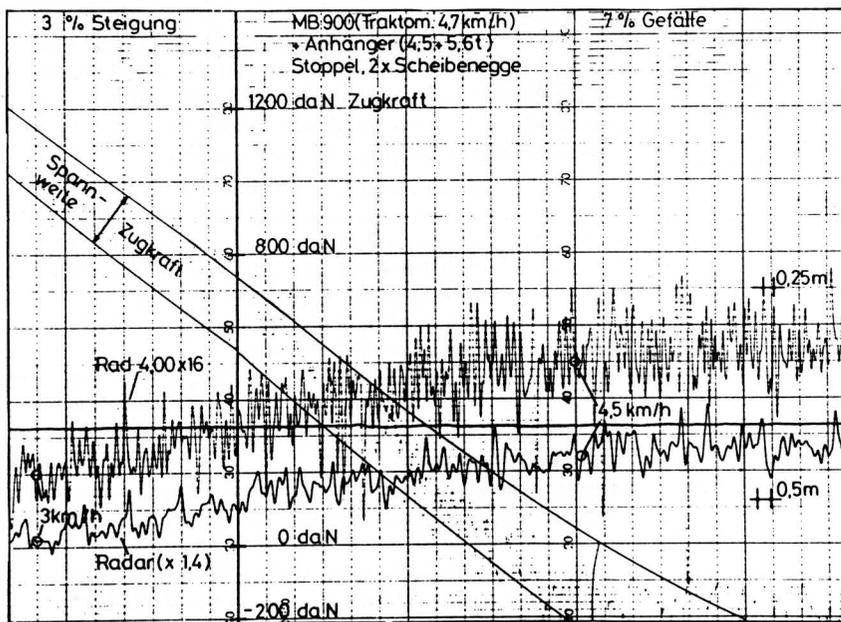


Bild 8. Ausschnitt aus einem Meßschrieb der Fahrgeschwindigkeit: Kurve des Peiseler-Rades und (versetzt) des Radarsensors im Übergang von geringer Steigung zum Gefälle; nach Messungen von Köhler [16].

3.4 Messungen mit angehängter Arbeitsmaschine

Bei Verteilarbeiten mit schweren Geräten wie Großraumstreuer oder Güllewagen wird der wechselnde Zugkraftbedarf die reale Geschwindigkeit von Schlepper und Gerät stark beeinflussen. Dabei werden sich wechselnder Bodenzustand und unterschiedliche Neigung der Fahrbahn verstärkt auswirken [17, 18]. Ein zugsicherer Allrad-Schlepper läßt allerdings derartige Einflüsse weniger wirksam werden.

Nach Messungen von Thamsen [13] blieb bei der Gülleausbringung der VK der Geschwindigkeitsabweichungen unter 5 % – allerdings auf gut befahrbarem Boden, der zur fachgerechten Arbeit gehört. Denn starker Schlupf verursacht starken Schaden an Boden und Pflanze. Somit kommen dem Fahrwerk und der Kraftübertragung allein aus Gründen der Bodenschonung große Bedeutung zu.

In diesem Zusammenhang hat Köhler [16] unter realen Verhältnissen auf festem und gelockertem Stoppelacker sowie einer gepflügten Fläche festgestellt, in welchem Maß sich die Geschwindigkeit ändert. Der Schlepper fuhr jeweils einmal allein und mit angehängter Last. Die Zugkraft wurde registriert, um ihre wechselnde Wirkung, insbesondere auch bei Schub hangabwärts, zu erkennen.

Zunächst gibt ein Auszug aus dem Meßschrieb, Bild 8, die Spannweite der Ergebnisse wieder: der Rad-Sensor reagiert sensibler als das parallel eingesetzte Radargerät (Meßwerte im Bild um den Faktor 1,4 versetzt dargestellt). Die mittlere Geschwindigkeit steigt von 3 auf 4,5 km/h, während der Schlepper mit Anhänger von der geringfügigen Steigung über das ebene Teilstück zur Strecke mit Gefälle fährt. Dabei geht die Zugkraft von etwa 1000 daN in eine Schubkraft von etwa 200 daN über.

Die Meßwerte der Fahrgeschwindigkeit schwanken im Kurzzeitbereich um $\pm 10\%$, das hätte eine entsprechend feinfühligere Regelung zu berücksichtigen. Bei der Düngung reicht hier ein Bereich von 5 m; die Meßwerte, die in der Kurve für 25 m wiedergegeben sind, wurden also für Strecken von 5 m gemittelt. Diese mittleren Werte weichen immerhin um $\pm 25\%$ vom Mittelwert der gesamten Meßfahrt ab, dem entsprechend würden auch die örtlichen Nährstoffgaben schwanken.

Einige Ergebnisse aus dem Gesamtversuch sind in Tafel 4 zusammengestellt. Die Anhängelast wirkt sich nicht auf die mittlere Geschwindigkeit aus. Die geringe mittlere Zugkraft erklärt sich daraus, daß im Gefälle Schubkräfte auftreten. Spannweite und relative Abweichung liegen allerdings deutlich höher als angestrebt; sie beträgt bei 0,5 m-Meßabschnitten in beiden Fällen noch 14 % und sinkt erst bei 5 m unter 5 % [16].

Auf die Anhängelast und den mittleren Schlupf mag der Fahrer sein Fahrzeug einstellen. Wechselnder Boden oder wechselnde Neigung der Fahrbahn hingegen bedeuten, daß die Geschwindigkeit und bei Fehlen einer entsprechenden Regelung auch die Dosierung stets wechseln. Wie Bild 9 für den mittleren Meßbereich noch einmal veranschaulicht, ändert sich die Geschwindigkeit des Schleppers ohne Anhängelast um $\pm 10\%$. Diese Abweichungen werden bedeutsam für die Verteilung von Betriebsmitteln sowie für die Positionsfindung während der Arbeiten zur gezielten, örtlichen Bestandsführung.

Insgesamt zeigen die Ergebnisse, daß auf festem und lockerem Boden für den Schlepper allein die Schlupfwerte um 5 % liegen, mit Zugkraftanspruch allerdings 10 % erreichen und übersteigen. Somit wären die Kontrolle der Geschwindigkeit oder ein Regelsystem zweckmäßig.

	Fahrzeugmasse			
	4,5 t		4,5 t + 5,6 t	
	Geschw.	Zugkraft	Geschw.	Zugkraft
Mittelwert	4,3 km/h	75 daN	4,3 km/h	380 daN
Spannweite	3,0 km/h	430 daN	3,4 km/h	590 daN
Abweichung	34 %	290 %	40 %	78 %
Var. Koeffiz.	8 %	—	9 %	—
Schlupf	8,3 %		8,1 %	

Tafel 4. Statistische Kenngrößen für die Geschwindigkeitsermittlung in 0,10 m-Meßabschnitten für einen Schlepper mit und ohne Anhängelast auf lockerem Boden.

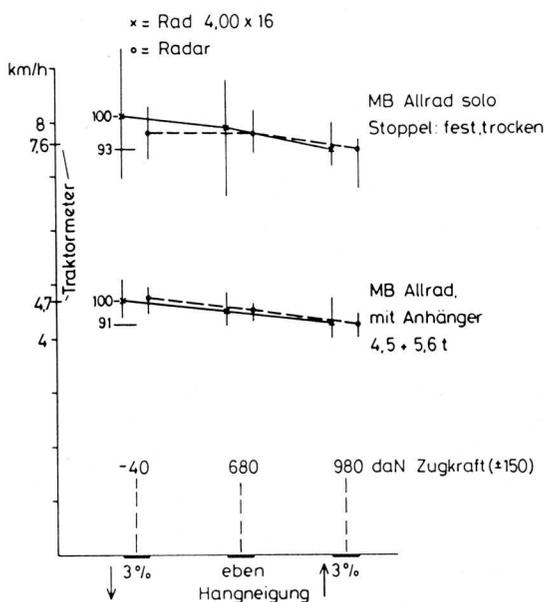


Bild 9. Am Traktormeter angezeigte Geschwindigkeit und Mittelwert sowie Spannweite der mit verschiedenen Geschwindigkeitssensoren auf festem Stoppelacker gemessenen Geschwindigkeit; nach Daten von Köhler [16].

4. Konzepte zur Steuerung

In klassischen Systemen steuert der Weggeber das Dosierorgan für Saatgut, Dünger oder Flüssigkeit. Das kann jedoch nur in Verbindung mit solchen Verteilorganen befriedigen, deren Verteilbild und -qualität sich nicht mit dem Gutdurchsatz ändern [17, 18, 19]. Tatsächlich aber verschlechtert eine Durchsatzänderung um 10 % den Variationskoeffizienten eines Gülle-Verteilers um 3–5 %. Im Pflanzenschutz läßt die Durchflußcharakteristik bei klassischen Düsen einen Regelbereich von 15 % zu, bei neuen Bauarten hingegen 30 %.

In dieser Hinsicht günstige Eigenschaften besitzen der Schlauchverteiler, dem die drehzahleregelte Pumpe verschiedene Mengen zuführt, oder der Rohrverteiler, dessen Düsenöffnungen in Intervallen von Magnetventilen frei gegeben werden [18].

Zu überprüfen ist aber auch ein Konzept, bei dem die Geschwindigkeit des Schleppers selbst besser geregelt wird. Dabei soll über die Motordrehzahl oder das (teilweise) stufenlose Getriebe der wechselnde Schlupf kompensiert werden, so daß die wahre Fahrgeschwindigkeit konstant bleibt – bei konstantem Durchsatz der Arbeitsmaschine.

So mag die Drehzahl in der Ebene geringer liegen, um für zunehmenden Schlupf bei erhöhtem Zugkraftbedarf Reserven zu bieten. Umgekehrt wäre hangabwärts (bei geringem oder gar negativem Schlupf) die Drehzahl im Sinne von Bild 8 zu senken. Für ein solches Verfahren benötigen Dosier- und Verteilorgan allerdings einen Antrieb – ölhdraulisch oder elektrisch –, der nicht von der Schlepperdrehzahl abhängig ist.

In ähnlicher Weise könnten auch moderne Getriebe genutzt werden: ausgehend von der Mitte des stufenlosen Regelbereichs wäre die Konstanz der wahren Geschwindigkeit anzustreben.

Die Motorleistung wird dazu reichen, denn sie wird nur zu 40 bis 95 % genutzt. Dieses Spektrum belegt Pecher [20] mit seinen Messungen beim Einsatz von gezogenen oder im Boden arbeitenden Verfahren, wobei er als Einfluß am Hang nicht nur die Neigung, sondern auch den Boden und Schleppertyp herausstellt.

5. Zusammenfassung

Die Möglichkeiten der Elektronik für die Verbesserung der Dosierung und Geschwindigkeitserfassung sind am Anspruch der Produktionstechnik zu beurteilen, die die Maßnahmen zugunsten von Boden und Pflanze umschreibt.

Diese Ansprüche sind recht hoch und mit der gegebenen Sensor- und Aktor-Technik schwierig zu erfüllen. Das verdeutlichen Messungen unter realen Verhältnissen: die Streubreite der Bedingungen, z.B. von Zug- und Rollwiderstand, und damit der Geschwindigkeit ist sehr groß.

Regelungstechnische Konzepte beruhen zumeist darauf, den Durchfluß als manipulierbare Größe zu sehen. Das erscheint von Nachteil, soweit die Verteilgüte des Dosierorgans leidet. Daher wird vorgeschlagen, die Geschwindigkeit des Schleppers als zu regelnde Größe stärker zu berücksichtigen.

Schrifttum

Bücher sind durch ● gekennzeichnet

- [1] ● Artmann, R. u. R. Biller: Elektronik in der pflanzlichen Produktion, Teil II: Verteilarbeiten und Erntearbeiten. DLG-Manuskript 72, Frankfurt: DLG-Verlag 1986.
- [2] Isensee, E.: Schlepper und Maschinen im überbetrieblichen Einsatz: diese Anforderungen sollten erfüllt werden. Lohnunternehmen in Land- u. Forstwirtschaft Bd. 40 (1985) Nr. 11, S. 584/86.
- [3] Ahmels, P.: Im Test: Jetzt wiegt der Schlepper Dünger und Silage. top agrar 11/1986, S. 54/55.
- [4] Auernhammer, H., M. Demmel u. H. Stanzel: Wiegemöglichkeiten in der Schlepperdreipunkthydraulik. Landtechnik Bd. 43 (1988) Nr. 10, S. 414.
- [5] ● Lamp, J. u. E. Schnug: Computergestützte Düngung mit Hilfe digitaler Hof-Bodenkarten. In: Vorträge zur Hochschultagung 1987. Schriftenr. Agrarwiss. Fakultät Univ. Kiel, Heft 69, S. 61/70. Hamburg/Berlin: Paul Parey 1987.
- [6] ● Boll, E.: Elektronik an Drillmaschinen. Diss. Univ. Kiel 1987, KTBL-Schrift Nr. 322, Münster-Hiltrup: Landwirtschaftsverlag 1987.
- [7] Boll, E. u. E. Isensee: Eignung von Geschwindigkeitsgebern. Landtechnik Bd. 42 (1987) Nr. 2, S. 57/59.
- [8] Große-Hokamp, H.: Gibt es Alternativen zu unserer Drilltechnik? DLG-Mitteilungen Bd. 99 (1984) Nr. 2, S. 88/91.
- [9] Köller, K.: Der Beste ist gerade gut genug – Worauf es bei Düngerstreuern ankommt. DLG-Mitteilungen Bd. 102 (1987) Nr. 2, S. 67/70.
- [10] Kohsiek, H.: Anforderungen an Feldspritzgeräte. Landtechnik Bd. 39 (1984) Nr. 4, S. 160/61.

- [11] DLG Prüfrahrmen. Prüfstelle für Landmaschinen Groß-Umstadt, August 1988.
- [12] ●Luoma, T.S.: Ausbringen und Verteilen von Flüssigmist. Diss. Univ. Kiel 1982, KTBL-Schrift 279. Münster-Hiltrup: Landwirtschaftsverlag 1982.
- [13] ●Thamsen, R.: Verteilgüte beim Ausbringen von Flüssigmist. Diss. Univ. Kiel 1984, KTBL-Schrift 303. Münster-Hiltrup: Landwirtschaftsverlag 1984.
- [14] Schmitt, H.: Einsatz von Radargeräten in der Landwirtschaft. Landtechnik Bd. 41 (1986) Nr. 10, S. 434/35.
- [15] Speckmann, H. u. G. Jahns: Untersuchungen zur Messung der Geschwindigkeit fahrender landwirtschaftlicher Arbeitsmaschinen. Grundl. Landtechnik Bd. 36 (1986) Nr. 3, S. 78/86.
- [16] Köhler, E.: Ansprüche an die Geschwindigkeitsregelung und eigene Messungen. Diplomarbeit Inst. für Landw. Verfahrenstechnik, Univ. Kiel 1989.
- [17] ●Isensee, E.: Neue Entwicklungen beim Ausbringen von organischen Düngern. KTBL-Arbeitspapier 110, Darmstadt: KTBL 1986.
- [18] ●Isensee, E.: Düngung. In: VDI-LAV-Jahrbuch 1989. Düsseldorf: VDI-Fachgruppe Landtechnik 1989.
- [19] Krause, R. u. H. Peters: Sensoren und Aktoren für eine geschwindigkeitsabhängige Durchflußregelung an Flüssigmist-Tankwagen. Grundl. Landtechnik Bd. 36 (1986) Nr. 4, S. 97/104.
- [20] ●Pecher, H.-P.: Die verfahrenstechnische Beurteilung von lastschaltbarem und stufenlosem Antrieb bei Acker-schleppern. Diss. Univ. Kiel 1985, Forsch.-Ber. Agrartechnik des Arbeitskreises Forschung und Lehre der Max-Eyth-Gesellschaft, MEG-Schrift 103.

Ein Verfahren zur einzeltier- oder gruppenspezifischen Zuweisung von Freßplätzen in Laufställen

Von Rudolf Artmann, Braunschweig-Völkenrode*)

DK 636.084.74:62-53

Eine leistungsorientierte überwachte Fütterung des Einzeltieres ist Voraussetzung sowohl für die Wirtschaftlichkeit der Erzeugung als auch für die züchterische Weiterentwicklung der Bestände. Während die individuelle Kraftfutterzuteilung auch bei den neueren arbeitssparenden Haltungsverfahren weitgehend eingeführt ist, fehlen bisher für die kontrollierte Vorlage des Grundfutters geeignete Verfahren, die es erlauben, Daten über das Freßverhalten der Einzeltiere zu gewinnen. Hier wird über ein Verfahren berichtet, bei dem ein Tiererkennungssystem mit einem modifizierten Fangfreßgitter und einem Mikrocomputer kombiniert ist. Damit ist es möglich, den Tieren individuell oder gruppenspezifisch einen Freßbereich zuzuweisen, die Tiere am Freßplatz einzufangen und tierspezifische Daten zu erfassen.

1. Problemstellung

Für eine wirtschaftliche Milchproduktion sind u.a. die spezifischen Futterkosten so niedrig wie möglich zu halten. Am besten kann dies durch eine am individuellen Bedarf des Einzeltieres orientierte Fütterung erreicht werden. Bisher gibt es keine technische Lösung, die zu tragbaren Kosten die dafür erforderliche individuelle Fütterung freilaufender Tiere mit Grund- und Kraftfutter gestattet.

Bei der Entwicklung der beschriebenen technischen Lösung haben die Herren Fröhnel und Ihle beim Aufbau der Elektronik, Herr Espe beim Programmieren und Herr Stumpfenhausen im Rahmen seiner Diplomarbeit bei der Durchführung und Auswertung der Versuche mitgewirkt. Ihnen sei an dieser Stelle herzlich gedankt.

*) Dipl.-Ing. agr. R. Artmann ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Betriebstechnik (Leiter: Prof. Dr. H. Schön) der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft, Braunschweig-Völkenrode.

Um diesem Ziel nahezukommen, werden in der Praxis die Tiere entweder in Gruppen mit ähnlichen Nährstoffansprüchen eingeteilt und gruppenspezifisch gefüttert, oder die Tiere erhalten freien Zugang zum Grundfutter, wobei nur das teure Kraftfutter entsprechend der individuellen Leistung zuteilt wird.

Die Gruppenhaltung und -fütterung ist insbesondere in Standardlaufställen und kleinen Beständen schwierig durchzuführen. Andererseits steht auch bei Gruppenhaltung für die individuelle Kraftfutterzuteilung keine Information über die Nährstoffaufnahme aus dem Grundfutter zur Verfügung, so daß die Berechnungen der erforderlichen Kraftfutttergabe auf Schätzungen bezüglich der Grundfuttteraufnahme beruhen.

Nachfolgend wird über die Entwicklung eines Verfahrens berichtet, das eine programmgesteuerte Zuweisung der verfügbaren Freßplätze an die Tiere ermöglicht. Damit können einerseits die Probleme der Gruppenhaltung beseitigt, Informationen über die Aufenthaltsdauer an den Freßplätzen und damit zusammenhängende Größen gesammelt sowie andererseits die Voraussetzungen für eine tierindividuelle Fütterung am Trog geschaffen werden.

Ziel der Entwicklung war, durch Kombination von elektronischem Erkennungssystem, angepaßten Freßgittern und Mikrocomputern eine kostengünstige Lösung zur Regelung des Zuganges zu den Freßplätzen zu schaffen.

2. Vorhandene Entwicklungen

Für den technischen Aufwand zur Realisierung einer Zugangsregelung ist der Einsatzzweck von entscheidender Bedeutung. Eine gruppenspezifische Fütterung ist bereits möglich, wenn der Zugang zu den Freßbereichen der einzelnen Gruppen reglementiert wird. Dazu sind nur wenige Zugänge zu kontrollieren und einfache Systeme zur Unterscheidung der Gruppenzugehörigkeit einsetzbar. Die einzeltierspezifische Freßplatzzuweisung erfordert dagegen ein System zur Einzeltiererkennung und eine am Freßplatz angebrachte Vorrichtung zur Regelung des Zugangs. Für beide Alternativen wurden bereits Systeme entwickelt, Bild 1.