

grubber und zapfwellengetriebener Egge in das Mechanisierungskonzept sowie gezielte Gerätekombination läßt sich die befahrene Fläche auf rd. 7500 m²/ha reduzieren. Neben einer Verringerung des Fahrverkehrs sollte auch neuen Bewirtschaftungsverfahren besondere Aufmerksamkeit gewidmet werden, bei denen durch den gezielten Anbau geeigneter Zwischenfrüchte ein massiger Pflanzenmulch erzeugt wird. Dieser gewährleistet infolge der guten Durchwurzelung des Bodens eine Verbesserung der Strukturstabilität sowie durch die oberirdischen Pflanzenteile einen wirksamen Schutz der Bodenoberfläche gegen Witterungseinflüsse. Das „Mulchsaatverfahren“ wird vorrangig bei

Reihenfrüchten, vor allem bei Zuckerrüben und Mais, bereits mit großem Erfolg angewendet. Je nach vorliegenden Bodenverhältnissen und Entwicklung des Pflanzenmulchs lassen sich Verfahren und Gerätelösungen für eine Mulchsaat mit oder ohne Bodenbearbeitung nutzen (Bild 7). Obwohl die Mulchsaatverfahren vorrangig zur Verhinderung von Bodenerosionen entwickelt worden sind, sollten sie aus heutiger Sicht jedoch nicht auf erosionsgefährdete Standorte beschränkt bleiben, sondern generell auf strukturschwachen Böden zu einer bodenschonenden Bewirtschaftung herangezogen werden.

Fazit

Die moderne Landtechnik wird in Zukunft die Wechselwirkungen zwischen Technik und Boden, Technik und Pflanze, Technik und Umwelt ganz konsequent berücksichtigen müssen. Vielfältige Ansatzpunkte sind vorhanden, um eine Lösung der anstehenden Probleme und Zielsetzungen zu erreichen. Ausschlaggebend ist jedoch, daß akkerbauliche Überlegungen und moderne landtechnische Arbeitsverfahren gezielt aufeinander abgestimmt werden. Dann besteht die Chance, eine bodenschonende und dennoch schlagkräftige Bodenbewirtschaftung bei Aufrechterhaltung hoher Ernteerträge sicherzustellen.

A 5899

Zur Automatisierung landtechnischer Prozesse am Beispiel der Bodenbearbeitung

Prof. Dr. sc. techn. R. Soucek, KDT, Technische Universität Dresden, Sektion Kraftfahrzeug-, Land- und Fördertechnik

1. Aufgaben und Ziele

Die allgemeinen Aufgaben und Ziele für die Automatisierung landtechnischer Prozesse (Tafel 1) gelten auch für die Bodenbearbeitung. Der erreichte Stand ist aufgrund der komplexen Zusammenhänge bei der Verarbeitung landwirtschaftlicher Stoffe sehr differenziert. Praktische Lösungen haben sich zuerst dort eingeführt, wo Ergebnisse aus anderen Gebieten der Technik übertragbar, die mathematische Modellierung und die Stoffgesetze hinreichend genau geklärt und die Wirtschaftlichkeit der Anwendung nachgewiesen sind (Tafel 2).

In der Pflanzenproduktion ist der Prozeß der mechanischen Bearbeitung des Bodens für die Automatisierung noch ungenügend aufbereitet. Das allgemeine Ziel, durch Bodenbearbeitung im Komplex mit Melioration, Düngung und Pflanzenschutz die physiologischen, phytosanitären und technologischen Funktionen des Bodens so zu gewährleisten, daß das Ertragspotential der Kulturpflanzen in einem gegebenen natürlichen Standort bestmöglich ausgenutzt werden kann, ist vor allem auch wegen des nicht vorhersehbaren Witterungsverlaufs während der Vegetationsperiode nur schwer zu quantifizieren. Die agrartechnischen Forderungen an den

Bodenzustand lassen sich deshalb nur als Bereiche solcher Kennwerte abgrenzen, die bei der Bearbeitung unmittelbar verändert werden. Solche charakteristischen Kenngrößen sind Dichte (Porenvolumen), Aggregatgrößenzusammensetzung und -verteilung, Mischung, Ebenheit und Rückstand an der Oberfläche.

Die Prozeßautomatisierung vollzieht sich in der Bodenbearbeitung wie auch auf vielen anderen Gebieten in Teilschritten entsprechend den sich entwickelnden technischen Möglichkeiten und wirtschaftlichen Vorteilen.

2. Gegenwärtiger Stand

Der gegenwärtige Stand der Automatisierung ist gekennzeichnet durch:

- Messung aktueller Prozeßdaten und deren Verarbeitung zu Fahrerinformationen für die Überwachung und Steuerung des Prozesses (Fahrerinformationssystem)
- Dabei bestehen zwischen technischen Möglichkeiten und wirtschaftlicher Anwendung von Meßverfahren noch erhebliche Lücken. Der Bordcomputer zählt heute zum technischen Stand von Traktoren und selbstfahrenden Landmaschinen.
- Einsatz und weitere Entwicklung steuerbarer

rer Antriebs- und Arbeitsorgane, um den Prozeß immer besser nach vorgegebenen Kriterien steuern zu können

- Analyse und Modellierung der Prozesse bezüglich ihrer stofflichen, energetischen und informationellen Abläufe, um immer mehr Teilprozesse zu automatisieren
- Speicherung betriebswirtschaftlicher Daten und Übergabe in stationäre Rechner als Grundlage für die Abrechnung, Planung und Leitung des landwirtschaftlichen Produktionsprozesses.

Wird von einer idealisierten Zielstellung ausgegangen (Bild 1), so ist festzustellen, daß heute alle Maßnahmen zur Automatisierung im komplexen Zusammenhang von maschinenbezogener Prozeßoptimierung bezüglich Aufwand (Energie, Arbeitszeit, Material, Kosten) und Ergebnis (Arbeitsqualität, Flächenleistung) sowie Erfassung der Daten und deren Übernahme in die Betriebsabrechnung und zur Unterstützung des Leitungsprozesses betrachtet werden müssen.

Entsprechend den Erfordernissen und Möglichkeiten wurden bisher drei Zielbereiche relativ unabhängig voneinander untersucht, wobei es für die ersten beiden bereits vielfältige entwickelte und auch produzierte Lösungen gibt.

Tafel 1. Automatisierung landtechnischer Prozesse (in Anlehnung an [1, 2])

Aufgaben	Ziele
1. Prozeßüberwachung Kontrolle des Verhaltens der Funktionskreise, Signalisation von Grenzwertüberschreitungen, Sicherheitsvorkehrungen bei Gefahr	Erhöhen der Arbeitsproduktivität, -qualität, Umweltfreundlichkeit, Zuverlässigkeit
2. Prozeßstabilisierung Gewährleisten der Prozeßabläufe innerhalb vorgegebener Toleranzen durch Störgrößenkompensation	Senken der spezifischen Aufwendungen (Material, Energie, Arbeitszeit, Kosten)
3. Prozeßoptimierung Optimieren der Prozeßabläufe nach vorgegebenen Kriterien	Erleichtern der Arbeit
4. Prozeßführung Führen des technologischen Arbeitsablaufs in sachlich und zeitlich richtiger Reihenfolge	Verbessern des Leistungsprozesses
5. Prozeßbilanzierung Erfassen der Aufwendungen und Ergebnisse für Aufwands- und Produktivitätsberechnungen	

Tafel 2. Beispiele für die Automatisierung landtechnischer Prozesse/Verfahren

Prozeß/Verfahren	Führungsgrößen
Antrieb der Funktionselemente	Arbeitsgeschwindigkeit, Drehzahl, Flächenleistung, Motorauslastung, spezifischer Energieverbrauch, Belastung, Schlupf
Dosieren, Mischen und Verteilen von Stoffen bei Düngung, Aussaat, Pflanzenschutz, Fütterung	Volumen, Masse, Stück, Volumen-, Massestrom, Strecken-, Flächen-, Raumbeladung
Durchsatz des Mähdeschers	Schüttler-, Reinigungsverluste
Zielsteuerung von Funktionselementen beim Melken, Obstpflücken, Baumbeschneiden	Lage eines Körpers im Raum

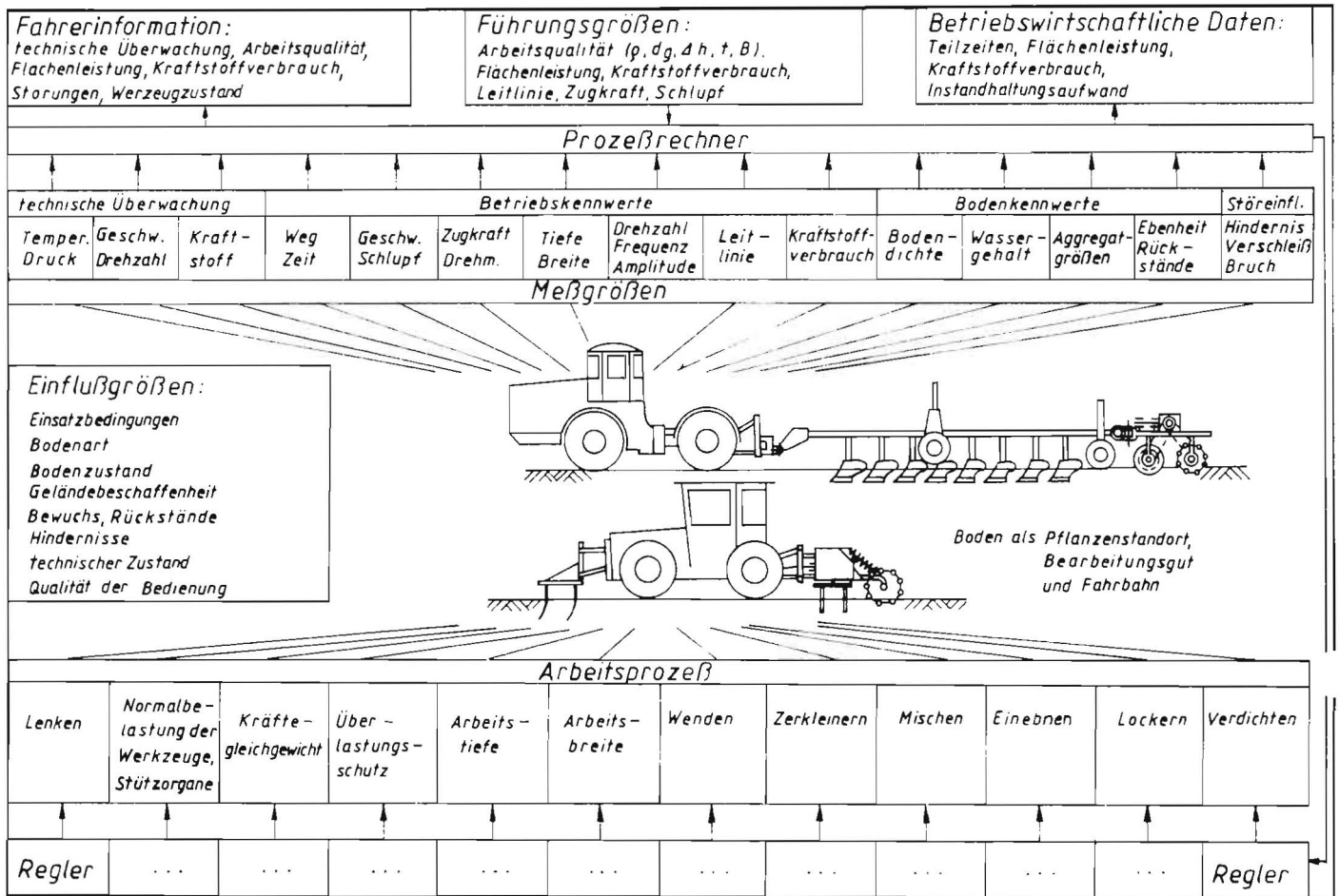


Bild 1. Idealierte Prozeßsteuerung bei der Bodenbearbeitung

Erstens:

Das Ziel der Führung des Traktor-Maschine-Aggregats entlang einer Leitlinie (Bild 2) besteht in der Gewährleistung der Arbeitsqualität durch genauen Anschluß der Werkzeuge und in der Entlastung des Fahrers. Da hierbei die eingesparte Arbeitszeit nur gering ist, wird die automatische Lenkung nur dort eingesetzt, wo ohne diese ein Abfall der Arbeitsgeschwindigkeit, z. B. beim Fahren in Pflanzenreihen, oder der Arbeitsqualität, z. B. durch erhöhte Ernteverluste, eintritt. Der Weg zur Mehrmaschinenbedienung durch einen Leitfahrer wird vor allem in der UdSSR untersucht. Dabei ergibt sich ein eigenes breites Problemfeld.

Zweitens:

Weltweit hat sich seit Jahrzehnten die „Re-

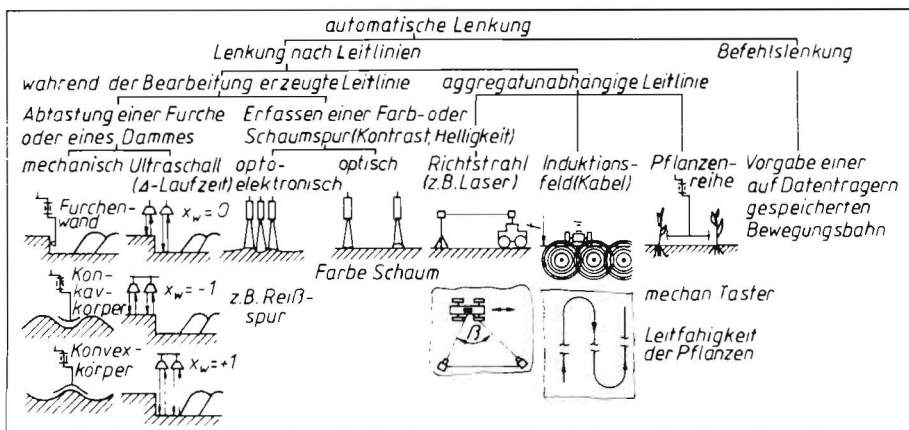
gelhydraulik“ in der Kraftheberanlage des Traktors eingeführt. Im Verlauf der Entwicklung haben sich heute die Zugkraft- und Lageregelung sowie ihre Kombination zur Mischregelung durchgesetzt. Ihre Anwendung bringt gegenüber der reinen Zugkraft- oder Lageregelung einen besseren Ausgleich der Arbeitstiefe bei kurzzeitigem Oberflächenprofil und schwankendem Bodenwiderstand sowie eine gleichmäßigere Auslastung der Antriebsleistung. Zur Zugkraftregelung ist zu bemerken, daß die im Lager der unteren Lenker gemessene Längskraft F_{bx} (Bild 3) nur im Sonderfall mit der Zugkraft F_{Gx} identisch ist und meist je nach Größe und räumlicher Lage des Geräte-widerstands F_G mit einem nicht konstanten Anteil von ihr abweicht. Ebenfalls nur aus

energetischer Sicht läßt sich die in der Einführung befindliche Schlupfregelung beurteilen, die auf der Zugkraftregelung aufbaut und gleichfalls eine Schwankung der Arbeitstiefe bedingt (Bilder 4 und 5) [4]. Einen weiteren Fortschritt verspricht die Führung des Traktor-Maschine-Aggregats mit dem Ziel der Minimierung des Energieaufwands oder Maximierung der Flächenleistung bei vorausgesetzter Erfüllung der geforderten Arbeitsqualität, die bei solch Steuerkonzepten ebenfalls nicht im Vordergrund steht. Je nach Wertigkeit beider Teilziele lassen sich beliebige Mischungsverhältnisse wählen und die flächenbezogenen Gesamtkosten minimieren. Derartige Lösungen sind Stand der Technik und werden von mehreren Firmen angeboten. Je nach Steuerstrategie wird die Lage des Betriebspunktes im Motorkennfeld vorgewählt. Durch energiesparende Fahrweise kann zu Lasten der Flächenleistung bis zu 20% Energie eingespart werden [5]. Zu untersuchen ist aber noch, wie sich in diesem Bereich die Arbeitsqualität verändert. Bekanntlich sind beim Pflügen und Grubbern das Wenden, Zerkleinern, Mischen und Einebnen wesentlich von der Arbeitsgeschwindigkeit abhängig.

Drittens:

Das Traktor-Maschine-Aggregat sollte aus der Sicht des landwirtschaftlichen Produktionsprozesses vor allem nach den in den agrotechnischen Forderungen festgelegten Kriterien der Arbeitsqualität geführt werden. Das geschieht heute in der Praxis durch - die subjektive Einschätzung der Bodenbedingungen vor der Bearbeitung (Eingangszustand) und Auswahl von Werkzeugen

Bild 2 Automatische Lenksysteme für Bodenbearbeitungsgeräte [3]; x_w Regelabweichung



und Werkzeugkombinationen sowie von Arbeitsgängen, um einen gewünschten Ausgangszustand zu erreichen

- die visuelle Beurteilung von Dichte, Aggregatgrößenzusammensetzung, Porenvolumen, Mischung, Ebenheit und Rückstand als dem erreichten Bearbeitungsergebnis (Ausgangszustand)
- die manuelle Einstellung der Konstruktions- und Betriebsparameter der Werkzeuge zur gezielten Beeinflussung des Ausgangszustands; das sind für passive Werkzeuge: Arbeitsquerschnitt $b \cdot t$, Fahrgeschwindigkeit v_f , Normalbelastung F_z , Anstellwinkel α zur Bewegungsrichtung
- aktive Werkzeuge: $b \cdot t$, v_f , Umfangsgeschwindigkeit v_u , v_u/v_f , F_z , α , Frequenz f , Amplitude h , Lage der Achse für Dreh- oder Schwingbewegung zur Fahrtrichtung.

Auch auf diesem Gebiet beginnt die Automatisierung mit der Fahrerinformation über das erreichte Arbeitsergebnis. Bisher sind mit den Verfahren zur Bodenbearbeitung und den Werkzeugen auch Methoden, Verfahren und Geräte zur Kennzeichnung des Bodenzustands vor und nach der Bearbeitung entwickelt worden, die meist nur als Labormessverfahren und selbst hierfür nicht immer effektiv anwendbar sind (γ -Sonde, Stechzylinder, Siebanalyse, Schubfestigkeit). In der Prozeßmeßtechnik werden für die Erfassung der Bodenkennwerte, besonders der Aggregatgrößenzusammensetzung, die ersten Schritte getan.

3. Perspektiven der weiteren Prozeßautomatisierung und Aufgaben der Forschung

Im weiteren werden die Aufgaben zur automatischen Lenkung und zur Optimierung des Aufwands an Energie und Arbeitszeit ausgeklammert. Sie sind forschungsseitig im Zusammenhang mit dem erzielten Arbeitsergebnis wieder besonders interessant [6, 7, 8]. Dazu sind vorher die gesetzmäßigen Zusammenhänge zwischen Konstruktions-, Betriebs- und Bodenparametern so aufzuklären, daß auf der Grundlage von im Prozeß gemessenen Kennwerten der Arbeitsqualität

die Wirkung der geometrischen, kinematischen und kinetischen Werkzeugparameter auf den Boden automatisch gezielt beeinflusst werden kann. Derzeit wird die Entscheidung über notwendige, manuell einzuleitende Stellvorgänge wegen unbekannter oder nur sehr beschränkt gültiger Stoffgesetze aus bekannten qualitativen Zusammenhängen abgeleitet, z. B. Dichte $\rho = f(F_z, v_f, v_u)$ sowie mittlerer gewogener Aggregatgrößendurchmesser d_g , Aggregatgrößenkennwert d' und Gleichmäßigkeitskoeffizient n bei der Siebanalyse $d_g, d', n = f(F_z, v_f, v_u, v_u/v_f, f, h)$. Erscheint ein solches Vorgehen technisch und ökonomisch noch sinnvoll, so sind für den Übergang zur Prozeßautomatisierung noch vor oder parallel zu den Meßverfahren viele Aufgaben in interdisziplinärer Zusammenarbeit zu lösen:

- Perspektivische Bedeutung der Bodenbearbeitung in der Pflanzenproduktion; Entwicklung der Verfahren und in ihrer Wirkung auf den Boden steuerbarer Werkzeuge; aufgrund natürlicher und betriebswirtschaftlicher Unterschiede bei der Durchführung der landwirtschaftlichen Produktion wird es hierzu keine einheitlichen Standpunkte und Lösungen geben.

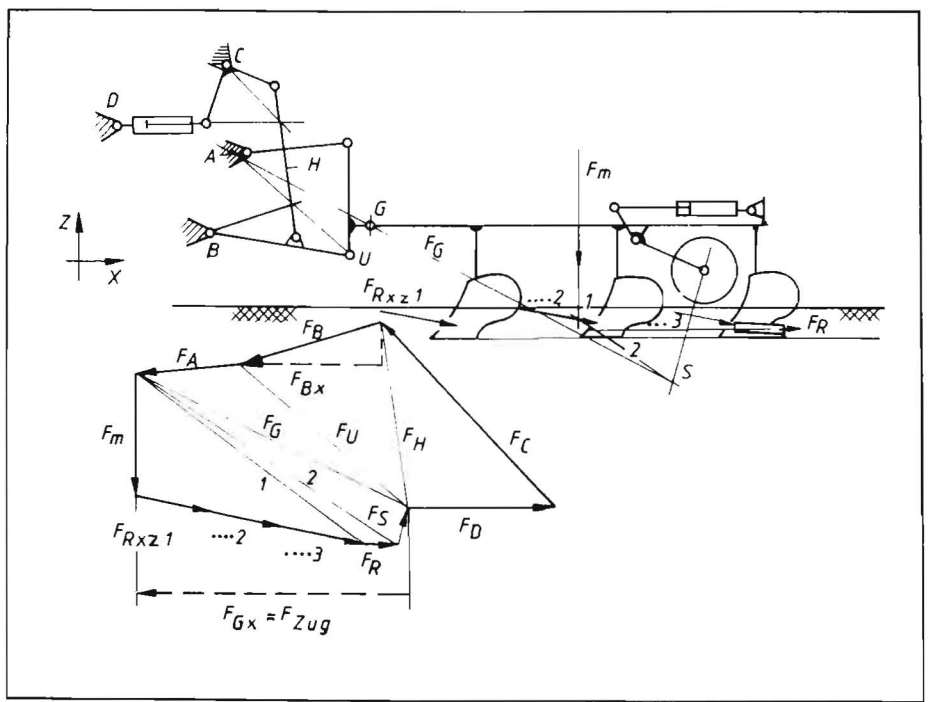


Bild 3. Vergleich der Zugkraft F_{Gx} mit der Horizontalkraft F_{Bx} im Anlenkpoint des unteren Lenkers für einen Aufsattelpflug

- Notwendigkeit und Nachweis der Wirtschaftlichkeit der Regelung des Bearbeitungsergebnisses durch Nachweis unterschiedlicher Bodenbedingungen auf einem Feld (Eingangsgrößen), die zu unzulässigen Schwankungen der Ausgangsgrößen führen (Bilder 6 und 7). Hierbei ist klar zwischen standortbedingten, langwelligen

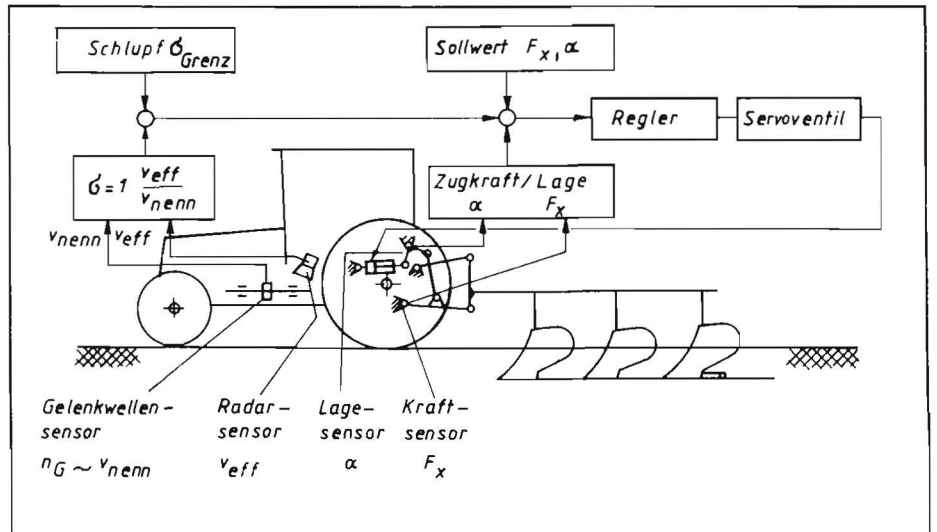
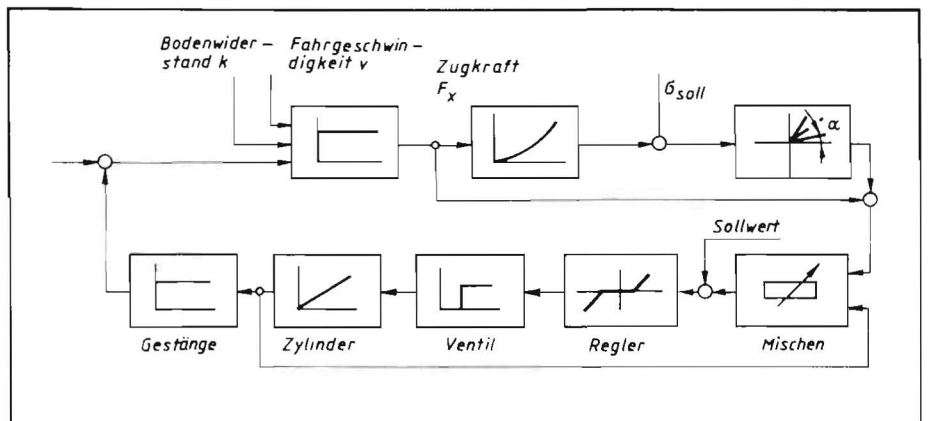


Bild 4. Zugkraft-Schlupf-Lage-Regelung für Allradtraktoren nach [4]

Bild 5. Signalfußplan Zugkraft-Schlupf-Lage-Regelung nach [4]



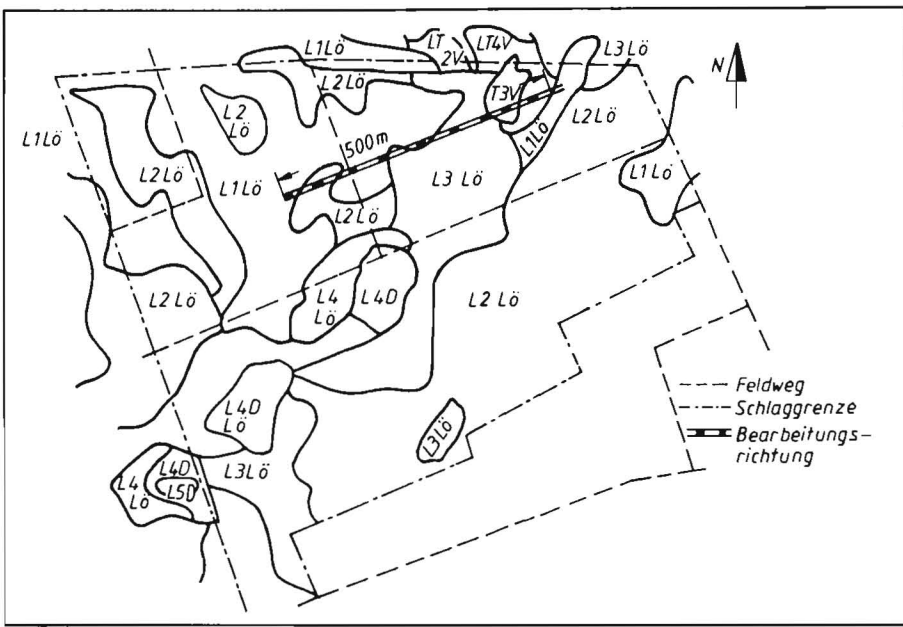


Bild 6. Anordnung der Bodenareale innerhalb eines Schlags (natürliche Standorteinheit Lö 1)

(z. B. Bodenart, Wassergehalt) und verfahrensbedingten (z. B. Fahrspuren), kurzweiligen Schwankungen der Bodenkennwerte zu unterscheiden. Bei letzteren hat ihre Lage zur Bearbeitungsrichtung entscheidende Bedeutung. Für die gesonderte Behandlung der Fahrspuren vorausgegangener Arbeitsgänge innerhalb der Arbeitsbreite einer Bodenbearbeitungsmaschine gibt es z. Z. keine technische Lösung.

– Physikalische und mathematische Modellierung der Bearbeitungsvorgänge als gesetzmäßiger Zusammenhang zwischen Bodenparametern vor und/oder nach der Bearbeitung und den Konstruktions- und Betriebsparametern. Gemessen an der bisherigen Fülle der Literatur zur Bodenmechanik und ihrer Brauchbarkeit zur Auslegung von Regelalgorithmen sind hier die schwierigsten Aufgaben noch zu lösen.

Die Entwicklung der Prozeßmeßverfahren zur Erfassung des Arbeitsergebnisses wird ein wesentlicher Abschnitt in der Forschung zur Bodenbearbeitung sein. Sie sind notwendig

- für eine höhere Effektivität in der Forschung und Entwicklung selbst
- für die zuverlässige Fahrerinformation und Beurteilung der Arbeitsqualität

- als Entscheidungsgrundlage für einzuleitende Stellmaßnahmen
- als Regelgröße für die automatische Prozeßführung.

Die zu entwickelnden Meßverfahren sind als physikalische Wirkprinzipie wahrscheinlich bereits bekannt. Ihre konkrete technische Lösung und wirtschaftliche Anwendung in der Bodenbearbeitung werden jedoch noch einige Zeit dauern.

Für bindige Böden ist die Aggregatgrößenzusammensetzung ein wichtiger Kennwert zur Kennzeichnung des Saatbetts. Die Laborverfahren sind bis zur Schnellprüfung entwickelt [8, 9, 10]. An diesem Beispiel kann gezeigt werden, daß mit der Entwicklung der Prozeßmeßtechnik gleichzeitig gesetzmäßige Zusammenhänge bei der Bodenzerkleinerung und die das Bodengemisch kennzeichnenden Meßgrößen aufgedeckt werden müssen. So wurden bereits Zusammenhänge zwischen Mikrorelief der Bodenoberfläche und Aggregatgrößenzusammensetzung im Saatbett nachgewiesen (Bild 8) sowie Meßverfahren und Auswertemethoden für das Mikrorelief untersucht [12, 13]. Letztlich sind die Aufwendungen mit den qualitativen Zielstellungen und Ergebnissen zu optimieren und die dafür notwendigen Bewertungsverfahren weiterzuentwickeln.

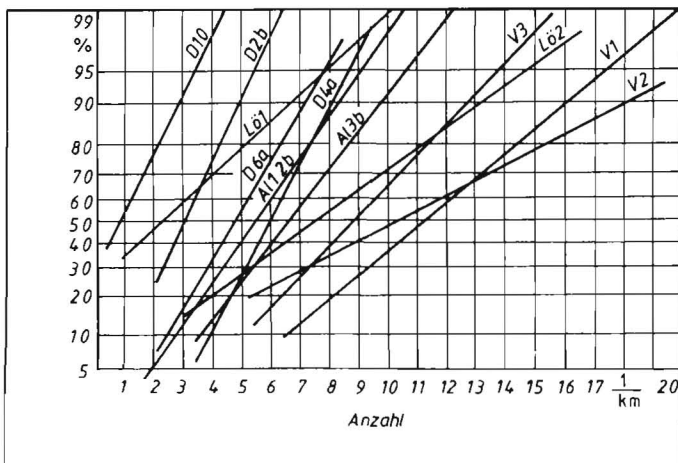


Bild 7 Anzahl der Grenzübergänge innerhalb der Schläge auf verschiedenen natürlichen Standorteinheiten der Bezirke Erfurt und Frankfurt (Oder)

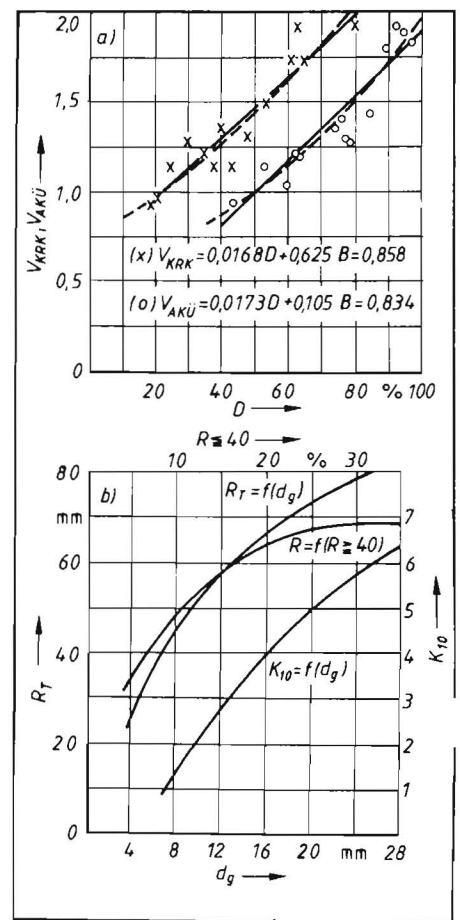


Bild 8. Zusammenhang zwischen Kennwerten des Mikroreliefs und der Aggregatgrößenzusammensetzung [11]

- a) V_{KRK} Variationskoeffizient der klassierten Reliefkoordinaten, V_{AKU} Variationskoeffizient der Klassenüberschreitungen D Siebdurchgang in % Massenanteil (x) = 10 mm (o) = 40 mm
- b) R_T Rauhentiefe, d_g mittlerer gewogener Durchmesser, $R \geq 40$ Siebrückstand ≥ 40 mm in % Massenanteil, K_{10} Anzahl der Schwingbreiten über 10 Klassen innerhalb der Meßlänge

Literatur

- [1] Brack, G.; Maertens, H. D.: Prozeßautomatisierung. Berlin: Verlag Technik 1974.
- [2] Töpfer, H.; Rudert, S.: Einführung in die Automatisierungstechnik. Berlin: Verlag Technik 1982.
- [3] Kollar, L.: Untersuchungen der Eigenschaften mobiler landwirtschaftlicher Aggregate hinsichtlich der Automatisierung der Lenkung. Technische Universität Dresden, Dissertation B 1986.
- [4] Hesse, H.: Elektronische Schlupfregelung von Bosch für Ackerschlepper. Presseinformation der Robert Bosch GmbH, 1985.
- [5] Schimmel, J.; Hulla, H.: Einsatzoptimierung von Ackerschleppern durch elektronische Fahrerinformation. Grundlagen der Landtechnik, Düsseldorf 33(1983)1, S. 5–10.
- [6] Soucek, R.; Anisch, S.; Wolf, S.: Untersuchungen zum Energieaufwand bei der Bodenzerkleinerung. agrartechnik, Berlin 38(1988)5, S. 214–217.

Fortsetzung auf Seite 303