

# Zur Methodik der experimentellen Untersuchung von Landmaschinen

Dozent Dr.-Ing. K. Plötner, KDT, Universität Rostock, Sektion Landtechnik

## 1. Problemstellung

Bei der Entwicklung, beim Betrieb und bei der Instandhaltung von Landmaschinen treten Probleme auf, die ihrem Charakter nach komplexe Erscheinungen darstellen. Durch das Zusammenwirken von maschinenbautechnischen und landtechnischen Gesetzmäßigkeiten sind diese Erscheinungen oft sehr vielseitig und mit Hilfe bekannter Grundlagen des Maschinenbaus und der Landtechnik nur in seltenen Fällen vollständig theoretisch lösbar.

Eine verhältnismäßig schnelle und sichere Lösung dieser Probleme kann beim derzeitigen Erkenntnisstand der Landtechnik nur durch experimentelle Untersuchungen erreicht werden. Die Ziele solcher experimentellen Untersuchungen sind:

- Ermittlung von charakteristischen Kennwerten für die Entwicklung, den Betrieb und die Instandhaltung von Landmaschinen und
- Ableitung und Überprüfung von allgemeingültigen theoretischen Gesetzmäßigkeiten für die Entwicklung, den Betrieb und die Instandhaltung von Landmaschinen.

Um den Material-, Zeit- und Arbeitskräfteaufwand bei den experimentellen Untersuchungen auf ein Minimum zu beschränken und um sichere Ergebnisse zu erhalten, sind bei diesen bisher bewährte Grundsätze und Methoden zu beachten und anzuwenden. Die folgenden Betrachtungen beschäftigen sich mit Grundsätzen und Schwerpunkten der experimentellen Untersuchung von Landmaschinen als Voraussetzung für die Rationalisierung der Untersuchungsarbeit. Auf die Prüfung von Landmaschinen, die die Untersuchung der Eignung der Landmaschinen für die sozialistische Landwirtschaft beinhaltet, wird in diesem Beitrag nicht näher eingegangen.

## 2. Allgemeine Grundsätze für experimentelle Untersuchungen

Grundsätze, die allgemeingültig für wissenschaftliches Arbeiten sind und von denen der Erfolg von experimentellen Untersuchungen abhängig ist, sind:

- Experimentelle Untersuchungen müssen systematisch konzipiert und durchgeführt werden. Die einzelnen Schritte experimenteller Untersuchungen müssen logisch aufeinanderfolgen.
- Alle Vorgänge und Ergebnisse experimenteller Untersuchungen müssen reproduzierbar sein. Die Bedingungen, unter denen bestimmte Ergebnisse ermittelt wurden, müssen definiert, charakterisiert und kontrolliert werden, damit sie wieder hergestellt und wiederholt werden können.
- Die Versuchsbedingungen und die Versuchsergebnisse müssen kritisch betrachtet werden, um Fehler auszuschalten und um die Genauigkeit der Ergebnisse feststellen zu können.
- Die Versuchsergebnisse sind so weit als möglich zu verallgemeinern. Aus ihnen sind neue Untersuchungsaufgaben zu schlußfolgern und theoretische Gesetzmäßigkeiten abzuleiten und zu bestätigen.
- Hinsichtlich der Einhaltung von Terminen und der Verwendung von finanziellen Mitteln sowie der Aussagekraft der Versuchsergebnisse ist rationell zu arbeiten.

Diese Grundsätze sind für die Vorbereitung, Durchführung und Auswertung von experimentellen Untersuchungen wichtig.

## 3. Schwerpunkte jeder experimentellen Untersuchung

Die Schwerpunkte jeder experimentellen Untersuchung nach Bild 1 müssen von der Aufgabenstellung bis zu den Angaben für das Ergebnis eine Einheit bilden. Bevor mit den eigentlichen experimentellen Untersuchungen begonnen wird, müssen diese Schwerpunkte entsprechend dem Ziel der experimentellen Untersuchungen inhaltlich und methodisch fixiert sein. Mit Hilfe von Beispielen werden im folgenden wichtige methodische Gesetzmäßigkeiten für die experimentelle Untersuchung von Landmaschinen abgeleitet.

### 3.1. Aufgabenstellung für die experimentelle Untersuchung

Die Aufgabenstellung für experimentelle Untersuchungen von Landmaschinen umfaßt verschiedenartige Probleme, wie z. B. Untersuchung

- von Arbeitselementen, Baugruppen oder Maschinen hinsichtlich ihrer Belastungen und Beanspruchungen, hinsichtlich ihres dynamischen Verhaltens
- des Arbeitserfolges von Arbeitselementen, Baugruppen oder Maschinen
- der Funktionssicherheit und Zuverlässigkeit von Arbeitselementen, Baugruppen oder Maschinen.

Diese Beispiele sollen im Rahmen dieses Beitrags ausreichen, wenn auch die Reihe von wichtigen Untersuchungsaufgaben aufgrund der Vielzahl noch ungeklärter Probleme in der Landtechnik beliebig fortgesetzt werden könnte. Alle genannten Untersuchungsaufgaben sind sowohl an bekannten als auch an neuentwickelten Arbeitselementen, Baugruppen oder Maschinen möglich.

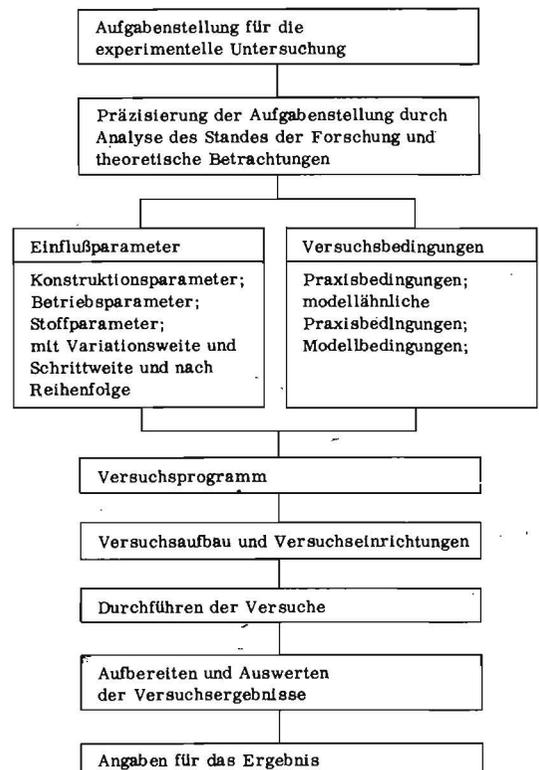


Bild 1. Schwerpunkte für die experimentelle Untersuchung von Landmaschinen

### 3.2. Präzisierung der Aufgabenstellung

Wie bei der Lösung von Aufgabenstellungen beliebiger Art, ist auch bei experimentellen Untersuchungen die Präzisierung der wichtigste Schwerpunkt der Untersuchungsaufgabe. Die Präzisierung der Aufgabenstellung trägt entscheidend zur Realisierung der im Abschnitt 2 genannten Grundsätze und damit zur Rationalisierung der Untersuchungsarbeit bei. Liegt ein Beispiel von den genannten als Aufgabenstellung zur Bearbeitung vor, dann werden dazu zuerst der Stand der Forschung analysiert und soweit als möglich theoretische Betrachtungen angestellt. Daraus ergeben sich wertvolle Schlußfolgerungen für die weiteren Schwerpunkte der experimentellen Untersuchung sowie für das Deuten der Versuchsergebnisse.

Eigene Erfahrungen haben immer wieder bestätigt, daß es zweckmäßig ist, die Präzisierung von Aufgabenstellungen für experimentelle Untersuchungen mit Hilfe von Heuristischen Programmen nach Müller /1/ /2/ vorzunehmen. Als Ergebnis der Präzisierung der Aufgabenstellung werden die Einflußparameter und Versuchsbedingungen festgelegt.

#### 3.2.1. Festlegen der Einflußparameter

Die Einflußparameter folgen nur teilweise aus der Aufgabenstellung der experimentellen Untersuchung. Die notwendigen Teilschritte zum Festlegen der Einflußparameter gehen aus dem Heuristischen Programm E 121 „Versuchsplanung mit eingeschränkter Kombination“ hervor /2/.

Es hat sich bewährt, die Einflußparameter in folgende drei Gruppen einzuteilen:

- Konstruktionsparameter
- Betriebsparameter
- Stoffparameter.

Durch die Konstruktionsparameter werden die Form und die Abmessungen sowie Bewegungsgesetzmäßigkeiten des Arbeitselements, der Baugruppe oder Maschine im Stillstand charakterisiert. Wird das Arbeitselement, die Baugruppe oder Maschine entsprechend der vorgesehenen Aufgaben und nach den gewählten Bewegungsgesetzmäßigkeiten in Bewegung versetzt, dann kommen weitere Parameter hinzu, die den Betrieb kennzeichnen und als Betriebsparameter definiert werden. Nach dieser Definition beinhalten die Betriebsparameter die räumliche Zuordnung des Arbeitselements, der Baugruppe oder der Maschine zu den zu be- bzw. zu verarbeitenden landtechnischen Stoffen sowie deren Relativbewegungen. Die Stoffparameter charakterisieren die Eigenschaften, den Aufbau und das Verhalten der bei der Untersuchung vorliegenden Stoffe. Wichtig ist, daß die Stoffe in direkter Verbindung mit ihrer Be- oder Verarbeitung gekennzeichnet werden.

Außer der Einteilung der Einflußparameter in diese drei Gruppen ist noch die Wichtigkeit und Reihenfolge sowie die Variationsweite und Schrittweite für die Parameter zu bestimmen. Dabei ist zu beachten, welche Parameter bei den Untersuchungen variiert werden müssen und welche nur zur Charakterisierung der Versuchsbedingungen dienen und demzufolge oder auch aus anderen Gründen konstant gehalten werden sollen.

Als Parameter, ob variabel oder konstant, werden nur die Einflußgrößen ausgewählt, die für die Auswertung und Einschätzung der Versuchsergebnisse erforderlich sind. Hier sind präzise Überlegungen zur Auswertung der Ergebnisse notwendig: Oft sind Vorversuche und Zwischenauswertungen zweckmäßig, um die Entscheidungen zu den Einflußparametern zu bestätigen oder weiter zu präzisieren.

#### 3.2.2. Festlegen der Versuchsbedingungen

Neben dem Festlegen der Einflußparameter ist noch zu entscheiden, unter welchen Bedingungen die experimentellen Untersuchungen durchgeführt werden sollen. Weil die Mehrzahl von experimentellen Untersuchungen in der Landtechnik Wirkpaarungen „Arbeitselement — landtechnischer

Tafel 1. Kombinationsmöglichkeiten für Versuchsbedingungen am Beispiel der Wirkpaarung „Arbeitselement — landtechnischer Stoff“

Arbeitselement	landtechn. Stoff	Originalstoff	Originalstoff mit Modellform und -abmessung	Modellstoff
Originalarbeitselement		1	2	3
Teile des Originalarbeitselementes		4	5	6
Modellarbeitselement		7	8	9
Versuchsbedingungen	Kombinationsmöglichkeit			
Praxisbedingung	1			
modellähnliche Praxisbedingung	2; 4; 5;			
Modellbedingung	3; 6; 7; 8; 9			

Stoff“ als Gegenstand der Untersuchungen, sollen die verschiedenen Möglichkeiten für Versuchsbedingungen für dieses Beispiel dargelegt werden, ohne auf die Untersuchungsaufgabe selbst näher einzugehen.

Die experimentellen Untersuchungen können durchgeführt werden unter

- Praxisbedingungen
- modellähnlichen Praxisbedingungen oder
- Modellbedingungen

Diese verschiedenen Versuchsbedingungen werden durch die bei der Untersuchung verwendeten Arbeitselemente und landtechnischen Stoffe bedingt. Als Arbeitselement und landtechnische Stoffe werden die in Tafel 1 aufgezählten Varianten verwendet. Die drei Varianten für Arbeitselemente sind auch bei der Untersuchung von Baugruppen oder Maschinen möglich. Für Einzelkörper und für Haufwerke mit gleichen und unterschiedlichen Stoffkomponenten treffen die drei Varianten für die landtechnischen Stoffe auch zu.

Die drei Varianten für die Arbeitselemente sind mit den drei Varianten für die landtechnischen Stoffe kombinierbar, so daß sich insgesamt neun Möglichkeiten ergeben, die nach Tafel 1 den definierten Versuchsbedingungen zugeordnet sind. Für die Zerkleinerung von Zuckerrüben ergeben sich diese neun Möglichkeiten wie folgt:

Kombinationsmöglichkeit 1:

Rübenschnitzler, wie er von der Industrie gefertigt wird, und Haufwerk von Zuckerrüben

Kombinationsmöglichkeit 2:

Rübenschnitzler, wie er von der Industrie gefertigt wird, und Haufwerk von zylinderförmigen Modellkörpern von Zuckerrüben

Kombinationsmöglichkeit 3:

Rübenschnitzler, wie er von der Industrie gefertigt wird, und Haufwerk von Modellkörpern mit bestimmten Formen, Abmessungen und Eigenschaften, die den Zuckerrüben ähnlich sind.

Bei den Kombinationsmöglichkeiten 4 bis 6 wird nicht sofort der Rübenschnitzler in die Untersuchungen einbezogen, sondern es werden zuerst die Schnitzmesser, dann die Messerhalterung, dann beide Teile in Kombination, danach die Anordnung der Messer usw. untersucht. Für den landtechnischen Stoff, die Zuckerrüben, werden die Varianten wie bei 1 bis 3 angewendet.

Die Kombinationsmöglichkeiten 7 bis 9 sind auch durch diese Varianten für den landtechnischen Stoff gekennzeichnet. Als Arbeitselemente kommen Modellarbeitselemente in Frage. Die Modellarbeitselemente können sein:

- Arbeitselemente mit Modellformen und Originalabmessungen oder
- Arbeitselemente mit Originalformen und Modellabmessungen.

Tafel 2. Vor- und Nachteile der verschiedenen Versuchsbedingungen

Versuchsbedingungen	Vorteile	Nachteile
Praxisbedingungen	<ul style="list-style-type: none"> <li>einfacher Aufbau durch Verwenden von Serienmaschinen, d. h. kein größerer Aufwand an besonderen Versuchseinrichtungen erforderlich</li> <li>Realistische Bedingungen, die nach einer Vielzahl von Wiederholungen der Einzelversuche zu realistischen Versuchsergebnissen führen können</li> <li>Bei Untersuchungen, die im Zusammenhang mit dem Boden stehen, einfache Variation der Bodenarten möglich</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ungenauere Versuchsergebnisse durch zahlreichere zufällige Einflußparameter, die sich stark verändern und nur schwer oder nicht erfassbar sind (z. B. Erschütterungen, Klima u. a.)</li> <li>Reproduzierbarkeit der Untersuchung und der Versuchsergebnisse ist in Frage gestellt.</li> <li>Hohe Anzahl von Wiederholungen der Versuchsreihen ist zur statistischen Sicherung der Versuchsergebnisse erforderlich</li> <li>Untersuchungen sind oft nur in geringen Zeitspannen im Jahr möglich (z. B. Erntemaschinen)</li> <li>Einsatz geeigneter Meßverfahren und Meßeinrichtungen ist aufgrund der zufälligen Einflußparameter schwierig</li> <li>zusätzlicher Geräteaufwand ist z. B. infolge der komplizierten Stromversorgung bei elektrischen Messungen notwendig</li> </ul>
Modellbedingungen	<ul style="list-style-type: none"> <li>genauere Versuchsergebnisse, weil die zufälligen Einflußparameter auf ein Minimum beschränkt oder ganz ausgeschaltet werden. Ansonsten sind die Einflußparameter leicht erfassbar.</li> <li>geringere Anzahl der Wiederholung der Einzelversuche erforderlich</li> <li>statische (erschütterungsfreie) Anordnung der Meßeinrichtungen und damit deren Kontrolle ist gegeben</li> <li>Reproduzierbarkeit der Untersuchung und der Versuchsergebnisse ist meist garantiert</li> <li>Untersuchungen sind über das ganze Jahr möglich (z. B. nicht von Erntekampagnen abhängig)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Hoher Aufwand für Versuchseinrichtungen und damit hohe Untersuchungskosten sind notwendig</li> <li>Variation der Stoffparameter ist bei bestimmten Stoffen, wie z. B. Boden, mit hohem Aufwand verbunden</li> <li>Übertragbarkeit der Versuchsergebnisse auf Praxisbedingungen ist oft schwierig oder nicht möglich</li> <li>Zusätzliche Untersuchungen unter Praxisbedingungen sind notwendig</li> </ul>

Beide Varianten werden bei experimentellen Untersuchungen in der Landtechnik und auch in anderen Bereichen der Technik angewendet.

Die Vor- und Nachteile der Praxis- und Modellbedingungen sind in Tafel 2 gegenübergestellt. Bei den modellähnlichen Praxisbedingungen werden die Nachteile der Praxisbedingungen durch zielgerichtete Vorbereitungen verringert. Trotz der genannten Vor- und Nachteile nach Tafel 2 werden bei den experimentellen Untersuchungen in der Landtechnik die beschriebenen drei Möglichkeiten der Versuchsbedingungen angewendet und auch weiter angewendet werden. Die Vor- und Nachteile der verschiedenen Versuchsbedingungen wirken sich auf alle weiteren Schwerpunkte der experimentellen Untersuchung aus. Die Nachteile müssen so weit als möglich ausgeschaltet werden bzw. hinsichtlich der Auswirkungen auf die Versuchsergebnisse untersucht werden. Sie führen zu Fehlern, die für die Versuchsergebnisse unbedingt zu bestimmen sind.

Beim derzeitigen Stand der Erkenntnisse zur Übertragung von Versuchsergebnissen, die unter Modellbedingungen gewonnen wurden, auf Praxisbedingungen sind in jedem Falle Kontrollversuche unter Praxisbedingungen erforderlich, um Fehlschlüsse zu vermeiden. Die Gesetzmäßigkeiten für die Modellbedingungen und modellähnlichen Praxis-

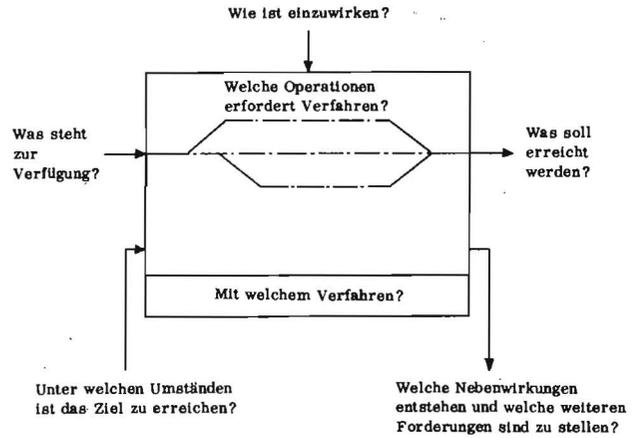


Bild 2. Blockschaltbild für die Präzisierung der Aufgabenstellung

bedingungen müssen im Vergleich zu den Praxisbedingungen zielstrebig weiter untersucht werden, weil unter diesen Bedingungen die allgemeinen Grundsätze für experimentelle Untersuchungen realisiert werden können. Neben den Übertragbarkeitsbedingungen für die unter Modellbedingungen gewonnenen Versuchsergebnisse auf Praxisbedingungen müssen die Fragen der Zeitraffung bei experimentellen Untersuchungen weiter geklärt werden. Verschleißuntersuchungen, Betriebsfestigkeitsuntersuchungen und andere Untersuchungen können erst dann in dem erforderlichen Umfang an Arbeitselementen, Baugruppen und Maschinen durchgeführt werden.

Das Ergebnis der Präzisierung der Aufgabenstellung kann durch verbale Beschreibung, Leitblätter oder Flußhilder dargestellt werden /1/ /2/. Entscheidend ist, daß dieses für die weiteren Schwerpunkte der experimentellen Untersuchung bedeutende Ergebnis übersichtlich und eindeutig dargelegt wird. Das Blockschaltbild nach Müller /1/ /2/ hat sich als zweckmäßig zur Darstellung der Präzisierung der Aufgabenstellung erwiesen. Die einzelnen Fragen nach Bild 2 beinhalten die in diesem Abschnitt behandelten Probleme. Das Heuristische Programm A 2 „Präzisierung von Aufgabenstellungen“ /1/ /2/ ist gut geeignet, die Untersuchungsaufgabe als System zu analysieren und nach der Analyse die Fragen im Bild 2 umfassend zu beantworten.

### 3.3. Versuchsprogramm

Entsprechend der Präzisierung der Aufgabenstellung ist unter Verwendung der festgelegten Versuchsbedingungen und der Einflußparameter das Versuchsprogramm zu entwickeln. Die einfachste Lösung für ein Versuchsprogramm wäre, jeden Parameter in den gewählten Variationsweiten und mit den gewählten Schrittweiten mit jedem zu kombinieren.

Um für die einzelnen Parameter und Parameterkombinationen brauchbare Abhängigkeiten zu erhalten, müssen die Schrittweiten in der Variationsweite des Parameters so gewählt werden, daß als Ergebnis mindestens 6 Meßpunkte vorliegen. Treten in Abhängigkeiten Extrema auf, dann ist in deren unmittelbarer Nähe die Schrittweite zu verringern und die Anzahl der Meßpunkte zu erhöhen.

Es ist das Ziel des Aufstellens des Versuchsprogramms, eindeutig festzulegen, welche Parameterkombinationen in welcher Reihenfolge zur Lösung der Untersuchungsaufgaben unbedingt untersucht werden müssen. Diese Frage ist oft nicht leicht zu entscheiden. In den meisten Fällen sind zur Entscheidung dieser Frage theoretische Untersuchungen oder Vorversuche notwendig. Eine klare Entscheidung der Fragen ist sehr wichtig, weil von einem exakten Versuchsprogramm der Ablauf der experimentellen Untersuchungen und deren Erfolg abhängt. In Verbindung mit dem Versuchsprogramm ist eine Zeit-, Material- und Arbeitskräfteplanung für den Gesamtablauf der Untersuchungen bis zu den Angaben für

Tafel 3. Aufbau des Versuchsprogrammes für experimentelle Untersuchungen von Landmaschinen

Schematische Darstellung der Versuchsvariante	Versuchsbedingungen			Einflußparameter			Darstellung der Versuchsergebnisse in Bild und/oder Tafel	Bemerkungen
	Arbeits-element	landtechn. Stoff	Versuchsreihe	Konstruktionsparameter	Betriebsparameter	Stoffparameter		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>Bemerkungen:</b>								
Spalte		Bemerkung						
1		Schematische Darstellung der Versuchsvariante mit Angabe wichtiger Konstruktions- und Betriebsparameter						
2, 3		Bezeichnung der Versuchsbedingungen nach Tafel 1						
4		Bezeichnung der Versuchsreihen mit Kurzzeichen für Versuchsvariante, Versuchsbedingungen, variablen Parameter, Nr. der Versuchsreihe und laufende Nummer						
5, 6, 7		Symbole und gesetzliche Einheiten für die Einflußparameter mit Variations- und Schrittweite für den variablen Parameter und mit absoluten Größen für die konstanten Parameter in der betreffenden Versuchsreihe						
8		Angabe der Bild- bzw. Tafel-Nr., in denen die Ergebnisse der Versuchsreihe dargestellt sind						
9		Wichtige Hinweise zu den Versuchsvarianten und zum Durchführen der Versuche						

das Ergebnis durchzuführen, um zu sichern, daß die Ergebnisse planmäßig und mit vertretbarem Aufwand geliefert werden.

Für den Aufbau und die Darstellung des Versuchsprogramms gibt es verschiedene Möglichkeiten. Bewährt hat sich die Form nach Tafel 3. Mit den Angaben für das Versuchsprogramm ist die Reihenfolge der Versuchsvarianten eindeutig festgelegt und entschieden, welcher Einfluß unter welchen Bedingungen bei der jeweiligen Versuchsvariante untersucht werden soll. Werden keine Wirkpaarungen, wie nach Tafel 3 angenommen wurde, untersucht, dann trifft der Aufbau des Versuchsprogramms in analoger Weise zu.

### 3.4. Versuchsaufbau und Versuchseinrichtungen

Aus dem Versuchsprogramm einer Untersuchungsaufgabe ergeben sich unter Berücksichtigung der Versuchsbedingungen eindeutige Schlußfolgerungen für den Versuchsaufbau und die Versuchseinrichtungen. Durch den Versuchsaufbau werden die für die Untersuchungsaufgabe erforderlichen Versuchseinrichtungen in ihrer An- und Zuordnung festgelegt. Zu den Versuchseinrichtungen gehören

- die zu untersuchenden Arbeitselemente, Baugruppen oder Maschinen und
- die zur Messung der Einflußparameter und der gewählten Kennwerte für die Ergebnisse der Untersuchung der Arbeitselemente, Baugruppe oder Maschine notwendigen Meßgeräte.

Nach dem Versuchsprogramm werden die erforderlichen Versuchseinrichtungen ausgewählt und bei den Untersuchungen eingesetzt. Erfüllen die zur Verfügung stehenden Versuchseinrichtungen nicht alle gestellten Forderungen, dann ist eine Anpassung an die Meßaufgabe notwendig. Bei vielen Untersuchungsaufgaben der Landtechnik müssen die Versuchseinrichtungen für die betreffende Untersuchungsaufgabe neu entwickelt werden. Die notwendigen Meßgeräte werden nach folgenden Gesichtspunkten ausgewählt, angepaßt oder neu entwickelt:

- gewählte Versuchsbedingungen
- erforderliche Genauigkeit für die Versuchsergebnisse
- verwendetes Meßverfahren.

Die beiden zuerst genannten Gesichtspunkte bestimmen das verwendete Meßverfahren in entscheidendem Maße. Unter Berücksichtigung der Charakteristika der mechanischen, hydraulischen, pneumatischen, optischen und elektrischen Meßverfahren ist bei der Auswahl der Meßverfahren zu beachten, daß der Versuchsaufbau so einfach wie möglich wird. Es müssen unter Berücksichtigung der Ökonomie der Untersuchung die Meßgeräte ausgewählt werden, die in ihrer Genauigkeit für die gestellte Meßaufgabe ausreichend sind.

Da Untersuchungsaufgaben in der Landtechnik vorrangig dynamische Probleme umfassen, werden unter den verschiedenen Versuchsbedingungen fast ausschließlich elektrische Meßverfahren angewendet. Betrachtet man den grundsätzlichen Aufbau einer Meßeinrichtung für ein elektrisches Meßverfahren nach Bild 3 /3/, dann muß man für Untersuchungsaufgaben in der Landtechnik feststellen, daß die Meßgeber (Aufnehmer und Wandler) den Hauptschwerpunkt darstellen, vor allem deshalb, weil die Aufnehmer in den meisten Fällen für die jeweilige Meßaufgabe neu zu entwickeln sind. Als Wandler werden vorrangig Dehnungsmeßstreifen verwendet. Für die Übertrager, Meßverstärker, Anzeige-, Registrier- und Auswertegeräte, die in elektrischen Meßverfahren zum Einsatz kommen, werden handelsübliche Einrichtungen und Geräte verwendet.

Da in der Mehrzahl der Fälle die Untersuchungen unter Modell- und Praxisbedingungen durchgeführt werden, ist anzustreben, daß die ausgewählten, angepaßten oder neu entwickelten Versuchseinrichtungen sowohl unter Modell- als auch unter Praxisbedingungen eingesetzt werden können. Für den Versuchsaufbau einer Untersuchungsaufgabe ist es zweckmäßig, ein Blockschaltbild anzugeben und für die Versuchseinrichtungen selbst wichtige Daten und Kennwerte festzuhalten.

### 3.5. Durchführen von Versuchen

Mit dem festgelegten Versuchsaufbau und nach dem entwickelten Versuchsprogramm werden die Einzelversuche der Versuchsreihen und Versuchsvarianten durchgeführt. Wichtig für das Durchführen der Versuche ist eine exakte Zeit- und Arbeitskräfteplanung. Eigene Erfahrungen haben immer wieder gezeigt, daß es vorteilhaft ist, für das Durchführen der Versuche ein Programm mit der Reihenfolge der Detailaufgaben und der Zuordnung der Arbeitskräfte zeitabhängig zu erarbeiten. Bei der Zuordnung der Arbeitskräfte sind die Arbeitsbedingungen, insbesondere der Arbeitsschutz, zu beachten. Ein solches Programm gibt die Garantie dafür, daß bei jedem Einzelversuch alle erforderlichen Detailaufgaben

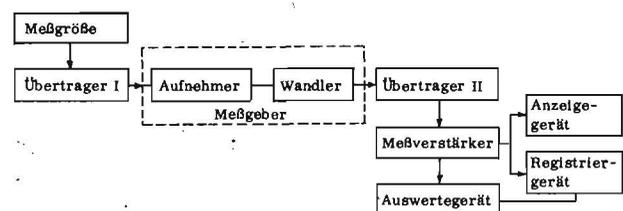


Bild 3. Grundsätzlicher Aufbau einer Meßeinrichtung

Tafel 4. Gewinnen, Aufbereiten und Auswerten der Kennwerte zum Charakterisieren von Versuchsergebnissen

Kennwerte zum Charakterisieren der Versuchsergebnisse	Meßeinrichtung oder Meßgeräte	Meßgrößen	Form der Meßwerte	Methode für das Aufbereiten und Auswerten der Meßwerte	Berechnungsgleichungen für das Aufbereiten und Auswerten der Meßwerte	Angaben für das Ergebnis
1	2	3	4	5	6	7
<i>Bemerkungen:</i>						
	Spalte	Bemerkung				
	1	Die Kennwerte werden entsprechend dem Ziel der Untersuchungsaufgabe definiert. Für sie wird die Bezeichnung, das gewählte Symbol und die gesetzliche Einheit angegeben. (Solche Kennwerte können auch Stoffparameter sein, wenn diese experimentell bestimmt werden müssen.)				
	2	Bezeichnung und Typ der verwendeten Meßeinrichtung oder des verwendeten Meßgerätes				
	3	Bezeichnung, Symbol und gesetzliche Einheit für die Meßgrößen, wie sie nach der Messung vorliegen				
	4	Charakterisierung der Meßwerte nach digitaler Speicherung oder analoger Aufzeichnung				
	5	Notwendige Schritte von der digitalen Speicherung oder analogen Aufzeichnung bis zu den Kennwerten nach Spalte 1				
	6	Berechnungsgleichungen für die Kennwerte nach Spalte 1, in die die Meßgrößen und andere Konstruktions-, Betriebs- oder Stoffparameter eingehen				
	7	Angaben für das Ergebnis, wie Mittelwert, Standardabweichung, Vertrauensbereich oder Extremwerte				

gelöst werden und der Ablauf der Einzelversuche rationell erfolgt. Bei der Versuchsdurchführung entstehen zusätzliche Fehler, wenn ein derartiges erprobtes Programm fehlt.

### 3.6. Aufbereiten und Auswerten der Versuchsergebnisse

Nach dem Durchführen der Versuche liegen die Versuchsergebnisse in unterschiedlichen Formen vor, z. B. als analoge Aufzeichnung auf Meßschrieben, als Folge abgelesener Meßwerte oder als eine Anzahl digital gespeicherter diskreter Werte. Es besteht nun die Aufgabe, diese Versuchsergebnisse so aufzubereiten und auszuwerten, daß mit den Ergebnissen bei der Entwicklung, beim Betrieb und bei der Instandhaltung von Arbeitselementen, Baugruppen oder Maschinen gearbeitet werden kann.

Die notwendigen Angaben zum Gewinnen, Aufbereiten und Auswerten der Kennwerte zum Charakterisieren von Versuchsergebnissen sind in Tafel 4 enthalten. Verwendet man eine solche Tafelform für diese Angaben bei experimentellen Untersuchungsaufgaben, dann ist der Weg vom Gewinnen der Meßwerte bis zu den Angaben für das Ergebnis übersichtlich und logisch dargestellt.

Die Methoden für das Aufbereiten und Auswerten der Meßwerte richten sich nach der Form der Meßwerte, die deterministische Größen oder Zufallsgrößen darstellen können. Insbesondere durch die Eigenschaften, den Aufbau und das Verhalten der zu be- bzw. zu verarbeitenden landtechnischen Stoffe und durch die dabei ablaufenden dynamischen Vorgänge tragen die Meßwerte vorrangig stochastischen Charakter. Bei der Aufbereitung und Auswertung müssen deshalb die Gesetzmäßigkeiten der mathematischen Statistik angewendet werden. Zur Rationalisierung der Aufbereitung und Auswertung von Versuchsergebnissen werden im verstärkten Maße Auswertegeräte und elektronische Rechenanlagen eingesetzt. Für die statistische Auswertung von Versuchsergebnissen liegen in den Rechenzentren eine Reihe von vielseitig verwendbaren Rechenprogrammen vor.

Eine umfassende Fehlerbetrachtung der Versuchsergebnisse gehört unbedingt zur Auswertung von Versuchsergebnissen. Aus der Fehlerbetrachtung kann abgeleitet werden, inwieweit sich die Versuchsergebnisse verallgemeinern lassen.

### 3.7. Angaben zum Ergebnis

Die Angaben zum Ergebnis einer Untersuchungsaufgabe sind abhängig vom Ziel der Untersuchungsaufgabe und von der weiteren Verwendung der Untersuchungsergebnisse. Für die

Angabe der Ergebnisse von Einzelversuchen werden verwendet:

- arithmetische Mittelwerte, Extremwerte oder die statistischen Maßzahlen in Form des arithmetischen Mittelwertes, der Standardabweichung und des Vertrauensbereiches.

Während der arithmetische Mittelwert unter Umständen für eine energetische Betrachtung einer Maschine ausreicht, müssen für die wirkenden Kräfte als Grundlage für die Festigkeitsberechnung die statistischen Maßzahlen bei stochastischen Vorgängen ermittelt werden, um die Schwankungen der Größe und Häufigkeit der Meßwerte um den Mittelwert zu erfassen.

Bei allen Formen der Angaben für das Ergebnis sind Fehlerangaben unerlässlich. Da die Ziele der Untersuchungsaufgaben Gesetzmäßigkeiten für die Entwicklung, den Betrieb und die Instandhaltung von Arbeitselementen, Baugruppen und Maschinen sind, empfiehlt sich die Angabe der statistischen Maßzahlen für das Ergebnis.

Sind die notwendigen Angaben für das Ergebnis der Einzelversuche bekannt, dann werden die Ergebnisse der Versuchsreihen, die bestimmte funktionelle Beziehungen beinhalten, in Tafelform oder in Diagrammform angegeben. Zu den Tafeln oder Diagrammen müssen die Versuchsbedingungen und die konstanten Parameter der betreffenden Versuchsreihen angegeben werden.

Zum besseren Erkennen von Tendenzen im Meßwertverlauf, aber auch zum Aufdecken eventueller Meßfehler ist es zweckmäßig, die Versuchsergebnisse von Versuchsreihen in Diagrammform darzustellen. Die zweckmäßige Teilung der Koordinatenachsen richtet sich nach dem Kurvenverlauf und nach dem Verwendungszweck des Diagramms. Linear geteilte Koordinatenachsen geben meist am anschaulichsten die untersuchten Abhängigkeiten wieder. Für das Ermitteln von Unregelmäßigkeiten im Kurvenverlauf ist oft eine Teilung, durch die die Kurve auf eine Gerade zurückgeführt wird, erforderlich. Dafür stehen verschiedene Funktionspapiere (Liste AF 10 — Schäfers Feinpapier, Plauen/Vogtland) zur Verfügung.

Solche Diagrammdarstellungen enthalten oft empirisch ermittelte Abhängigkeiten, deren mathematische Zusammenhänge nicht bekannt sind. Deshalb besteht bei den Angaben für das Ergebnis die Aufgabe, die empirisch ermittelten Zusammenhänge mathematisch zu formulieren, um in ähnlichen Fällen bereits theoretische Aussagen über zu erwartende Versuchsergebnisse treffen zu können oder um bestimmte Versuchs-

reihen durch Berechnungen zu ersetzen. Obwohl bereits eine Reihe von Formeln auf dem Gebiet der Landtechnik auf diese Weise empirisch ermittelt worden ist (z. B. die bekannte Gorjatschkinsche Formel zur Bestimmung des Zugwiderstands beim Pflügen), muß eindeutig darauf hingewiesen werden, daß die Annäherung einer empirisch gefundenen Abhängigkeit durch eine mathematische Funktion nur sinnvoll ist, wenn die ermittelten Meßwerte für den anzupassenden Kurvenverlauf statistisch gesichert sind. Die Anpassung von Kurven durch Ermitteln einer geeigneten Gleichung kann durch verschiedene Methoden analytisch oder mit Hilfe von Funktionspapier graphisch erfolgen. Für die analytischen Methoden, wie z. B. für die Methode der kleinsten Quadrate, stehen Rechnerprogramme zur Verfügung. In diesem Zusammenhang ist zu empfehlen, die Untersuchungsaufgaben in der Landtechnik so anzulegen, daß die Be- und Verarbeitungsvorgänge und andere Probleme grundsätzlich geklärt werden und Theorien entwickelt, abgeleitet und verallgemeinert werden können.

Jede Untersuchungsaufgabe ist mit Erfolg abgeschlossen, wenn mit den Angaben für das Ergebnis die präzisierte Aufgabenstellung gelöst ist und Schlußfolgerungen für weitere Untersuchungen gezogen werden können.

#### 4. Zusammenfassung und Schlußfolgerungen

Zur Ermittlung von charakteristischen Kennwerten und zur Ableitung und Überprüfung von allgemeingültigen theoretischen Gesetzmäßigkeiten für die Entwicklung, den Betrieb und die Instandhaltung von Landmaschinen sind beim derzeitigen Stand der Erkenntnisse umfangreiche experimentelle Untersuchungen notwendig. Als Voraussetzung für die Rationalisierung der Untersuchungsarbeit werden allgemeine

Grundsätze und Schwerpunkte für experimentelle Untersuchungen behandelt.

Diese Schwerpunkte experimenteller Untersuchungen von Landmaschinen — von der Aufgabenstellung bis zu den Angaben für das Ergebnis — müssen eine Einheit bilden. Mit Hilfe von Beispielen werden für die Schwerpunkte wichtige methodische Gesetzmäßigkeiten für experimentelle Untersuchungen abgeleitet, von deren Realisierung der Erfolg der Untersuchung abhängig ist. Zur weiteren Rationalisierung der experimentellen Untersuchungen von Landmaschinen sind Forschungsarbeiten zu folgenden Problemen erforderlich:

- Übertragbarkeit von Versuchsergebnissen, die unter Modellbedingungen gewonnen wurden, auf Praxisbedingungen und
- weitere Zeitraffung der Untersuchungsarbeit.

Abschließend soll noch darauf hingewiesen werden, daß es notwendig ist, die Methodik der experimentellen Untersuchung von Landmaschinen zu standardisieren, um einen Beitrag zur Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu liefern.

#### Literatur

- /1/ Müller, J.: Grundlagen der Systematischen Heuristik. Schriften zur Sozialistischen Wirtschaftsführung, Berlin: Dietz Verlag 1970.
- /2/ Müller, J.: Programmbibliothek zur Systematischen Heuristik für Naturwissenschaftler und Ingenieure. Technisch-wissenschaftliche Abhandlung des Zentralinstitutes für Schweißtechnik der DDR, Halle (Saale) 1970.
- /3/ Holzweißig, F.: Einführung in die Messung mechanischer Schwingungen. Leipzig: VEB Fachbuchverlag 1963.
- /4/ Plötner, K.: Zur Ermittlung räumlich wirkender Kräfte in der Landtechnik. Wissenschaftliche Zeitschrift der Universität Rostock, mathematisch-naturwissenschaftliche Reihe, 20 (1971) H. 3/4, S. 281 bis 292. A 9525

## Erfahrungsaustausch über den Einsatz der Pflanzenschutzmaschinen Kertitox

Als gemeinsame Veranstaltung des Fachausschusses Pflanzenschutz der Wissenschaftlichen Sektion Chemisierung der Pflanzenproduktion der KDT, des VEB Handelskombinat agrotechnic und der Budapester Landmaschinenfabrik fand Mitte Februar 1975 in Magdeburg ein „Erfahrungsaustausch über den Einsatz von Pflanzenschutzmaschinen Kertitox“ mit 250 Teilnehmern statt.

Dipl.-Landw. Thormeier, Direktor des Pflanzenschutzamtes Magdeburg sprach über die hohe Verantwortung des Pflanzenschutzes

- bei der rationalen Senkung der durch Schaderreger verursachten Verluste zur Sicherung einer hohen Qualität der Ernteprodukte
- beim ökonomisch zweckmäßigen Einsatz des Betriebspflanzenschutzagronomen
- beim gezielten effektvollen Einsatz der Pflanzenschutzmaschinen und der Pflanzenschutzmittel, insbesondere der Herbizide (bei Rüben: Bandspritzung)
- bei der guten Zusammenarbeit zwischen den Kreis-pflanzenschutzstellen, den Kooperativen Abteilungen Pflanzenproduktion (KAP), den Agrochemischen Zentren (ACZ) und den Kreisbetrieben für Landtechnik (KfL).

In den Referaten „Erkenntnisse und Erfahrungen aus der Prüfung der Pflanzenschutzmaschinen des Baukastensystems“ (Dr. Jeske, Institut für Pflanzenschutzforschung Kleinmachnow der AdL der DDR) und „Die Entwicklung und Produktion von Pflanzenschutzmaschinen durch die Budapester Landmaschinenfabrik“ (Dipl.-Ing. Kovács, Werkdirektor, Ing. Tündik, Chefkonstrukteur für Pflanzenschutz in der Budapester Landmaschinenfabrik, Werk Debrecen) wurden die nachstehenden Typen der Kertitox-Hochleistungs-Maschinenreihe für Pflanzenschutz anhand von Lichtbildern vorgestellt und eingehend beschrieben:

- 1000-l-Spritzgerät für Wein- und Obstgärten (Hochdruck-Grundmaschine Typ N 10)
- 1000-l-Sprühgerät für Obst- und Weingärten (Grundmaschine NA 10)
- 2000-l-Spritzgerät für Obstgärten (Grundmaschine N 20); für Handspritzung vorgesehen
- 2000-l-Sprühgerät für Wein- und Obstgärten (Hochdruck-Grundmaschine Typ NA 20)
- 1000-l-Feldspritze (Niederdruck-Grundmaschine K 10)
- 1000-l-Spritz- und Stäubegerät für die Feldwirtschaft (Grundmaschine KR 10)
- 2000-l-Ackerfeld-Spritzgerät (Niederdruck-Grundmaschine K 20).
- 2000-l-Spritz- und Stäubegerät (Niederdruck-Grundmaschine KR 20).

Genannt wurden außerdem die zu jedem Grundmaschinentyp lieferbaren Zusatzausrüstungen (Saugschlauch, Schlauchanschluß zur Hydraulik, elektrische Anlage 1000 bzw. 2000, Zugbügel, Kardanwelle, Spurreißer, Füllinjektor, Zusatz-Scheinwerfer für Arbeiten bei Nacht) und die möglichen weiteren Anwendungsbereiche z. B. zur chemischen Unkrautvertilgung in Gräben und auf Straßenbanketten, zur chemischen Unkrautbekämpfung in Obstanlagen, zur Zwischenreihenspritzung für die chemische Unkrautbekämpfung in herbizidempfindlichen Ackerfeld-Reihenkulturen. Für die Baumstreifenspritzeinrichtung im Obstbau ist in der DDR die amtliche Prüfung noch nicht abgeschlossen und für die Einrichtungen zum Reihenspritzen, zum Driftstäuben und zum automatischen Spritzen im Obstbau sowie für die Zentraldüse zum Sprühen ist bisher in der DDR eine amtliche Anerkennung noch nicht eingeleitet. Sollte sich hierfür in der DDR ein echter Bedarf entwickeln, so müßte ein amtlicher Prüfabschluß herbeigeführt werden.