

# Moderne Meß- und Auswerteverfahren in der Landtechnik

Heinz Dieter Kutzbach

Institut für Landmaschinen, TU Braunschweig

## 1. Einleitung \*)

In der gesamten Technik sind die mechanischen Meßgeräte, wie beispielsweise Manometer, Meßuhren, Federwaagen, wegen ihrer Einfachheit, Robustheit und Preiswürdigkeit immer noch von Bedeutung. Diese Geräte sind jedoch in ihrer Anzeige sehr träge, sie sind in der Regel verhältnismäßig groß, und eine Aufzeichnung der Meßwerte ist sehr umständlich, so daß sie für Feldmessungen an fahrenden Landmaschinen mit gleichzeitiger Aufzeichnung mehrerer Drehzahlen, Drehmomente und Kräfte kaum noch geeignet sind. Erst die moderne elektronische Meßtechnik mit ihren Meßaufnehmern, Verstärkern und Aufzeichnungsgeräten hat die Möglichkeit geschaffen, die verschiedensten Beanspruchungsgrößen auch im Feldeinsatz gleichzeitig zu messen und zu registrieren. Aufgrund der geringen Trägheit dieser Verfahren können auch Schwingungen und Spitzenwerte festgehalten werden. Die in neuerer Zeit hinzugekommene elektronische Auswertetechnik bringt in vielen Fällen eine weitere Erleichterung, Verbesserung und Beschleunigung des gesamten Auswerteverfahrens, womit die Vorteile der elektronischen Meßverfahren weiter unterstrichen werden [1].

So ist die moderne Feldmessung gekennzeichnet durch eine Vielzahl von Meßstellen, die über einen Kabelbaum mit den zugehörigen elektrischen Geräten verbunden sind. Diese können in den meisten Fällen nicht auf der untersuchten Landmaschine untergebracht werden, sondern sind in einem Meßwagen, der neben der Landmaschine herfährt, angeordnet (Bild 1). Bei Anwendung moderner Telemetrieanlagen lassen sich Meßwerte durch Funk von der fahrenden Landmaschine unter Einsparung von Verbindungskabeln an den ruhenden Meßwagen übermitteln.

## 2. Die elektrische Meß- und Auswertekette

Die Meßkette besteht aus der Gruppe der Aufnehmer und Verstärker, aus der Gruppe der Aufzeichnungsgeräte und aus der Gruppe der Auswertegeräte (Bild 2).

Ein Teil der Aufnehmer und Verstärker liefern elektrische Größen, im allgemeinen sind es geringe Spannungen oder Ströme, die den gemessenen Größen, beispielsweise einen Drehmomentverlauf, in ihrer Größe und ihrem Verlauf genau entsprechen. Die Information über den Meßwert steckt also beispielsweise in der Größe der entsprechenden Spannung. Diese Aufnehmer werden als analoge Aufnehmer bezeichnet. Sie liefern Spannungen, deren Größe zu jedem Zeitpunkt genau der Größe des Meßwertes entspricht, also analog zu ihm ist.

Ein anderer Teil von Aufnehmern mit den zugehörigen Verstärkungsgeräten geben den Meßwert in anderer Weise wieder. So kann beispielsweise die Drehzahl einer Welle registriert werden, wenn bei jeder Umdrehung einmal kurzzeitig ein Kontakt geschlossen wird, und damit ein Stromimpuls bestimmter Größe entsteht. Bei größerer Wellendrehzahl ändert sich nun nicht die Größe des Stromimpulses, sondern die Anzahl der Impulse in einer bestimmten Zeit. Es brauchen nur noch die Impulse gezählt zu werden, um damit sofort die Drehzahl anzugeben. Diese Aufnehmer, die Impulse liefern, werden als digitale Aufnehmer bezeichnet. Sie liefern den Meßwert in digitaler Form. Da die Übermittlung dieses digitalen Wertes eine kurze Zeit benötigt, kann der digitale Wert dem Meßwert nicht stetig folgen. Es werden immer nur Meßpunkte aus dem Meßverlauf herausgegriffen, und diese in digitale Zahlenwerte verwandelt.

Dabei kann die Zeit zwischen zwei Meßpunkten in großem Rahmen verändert werden.

Die analogen elektrischen Größen beziehungsweise digitalen Werte werden während des Versuches von einem beispielsweise im Meßwagen stehenden Aufzeichnungsgerät registriert beziehungsweise gespeichert. Je nach Art des verwendeten Aufzeichnungsgerätes können die Meßverläufe auf Meßschriften oder Fotos fixiert werden; sie können zum Beispiel elektrisch auf einem Magnetband aufgezeichnet werden, sie können aber auch auf Tabellen mit Zahlenwerten oder in Lochstreifenform festgehalten werden. Die beiden letzten Aufzeichnungsverfahren sind jedoch nicht so sehr für Feldversuche sondern mehr für stationäre Versuchstände geeignet.

Nach den Versuchen müssen die aufgezeichneten Meßwerte ausgewertet werden, um die Abhängigkeit der einzelnen Drehmomente oder Kräfte vom Durchsatz, der Drehzahl usw. darzustellen. Dazu können wiederum verschiedene Auswertegeräte herangezogen werden, die auf die Aufzeichnungsart abgestimmt sein müssen. Einfachste Auswertegeräte wären Zentimetermaß und Rechenschieber, im Gegensatz zu großen Analog- und Digital-Rechnern. Das Ziel der Auswertung schließlich ist das Aufstellen geeigneter Formeln und Diagramme, um die gemessene Abhängigkeit möglichst sinnvoll darzustellen.

Im folgenden sollen die Aufnehmer und Verstärker, die Aufzeichnungsgeräte und die Auswertegeräte ausführlich erläutert werden. Auch werden dabei einige nützliche und bewährte eigene Anordnungen dargestellt.

## 3. Aufnehmer und Verstärker

Die Aufnehmer wandeln die zu messenden Beanspruchungsgrößen in elektrische Größen um, die Verstärker verstärken diese Größen. Die Aufnehmer arbeiten dabei nach verschiede-



Bild 1: Feldversuche an einer Aufsammelpresse

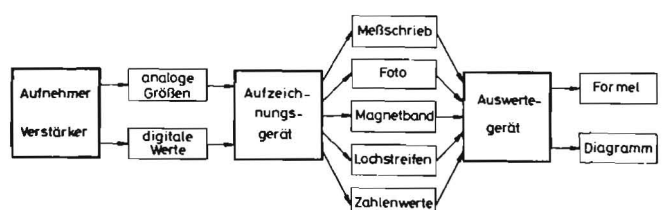


Bild 2: Meß- und Auswertekette

\*) Vorgetragen am 20. Oktober 1970 während der Arbeitstagung der 3. Sektion der CIGR in Wageningen

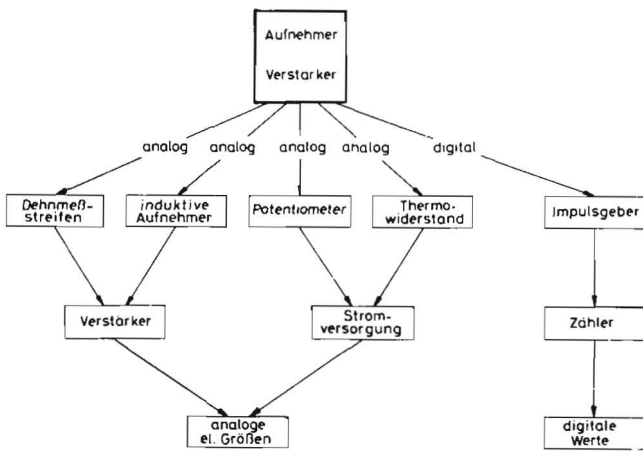


Bild 3: Aufnehmer und Verstärker

nen physikalischen Gesetzmäßigkeiten. In Bild 3 sind die für die Landtechnik wichtigsten Aufnehmer dargestellt. Es sind die Dehnmeßstreifen und induktiven Aufnehmer zum Messen von Dehnungen und kleinen Verschiebungen, womit über geeignete Meßkörper, Kräfte, Drücke und Drehmomente gemessen werden können. Da beide Aufnehmer nur eine sehr kleine Spannung abgeben, muß diese anschließend mit einem Verstärker verstärkt werden. Zum Messen von größeren Wegen bis zu einem Meter lassen sich gut Potentiometer einsetzen, zum Messen von Temperaturen Thermowiderstände. Beide Aufnehmerarten müssen in Verbindung mit einer Stromversorgung betrieben werden, um eine dem Meßwert analoge elektrische Größe abgeben zu können. Impulsgeber werden hauptsächlich zum Messen von Drehzahlen und Geschwindigkeiten eingesetzt. Die Impulse können mit einem Zähler gezählt oder aber auch direkt aufgezeichnet werden.

### 3.1. Dehnmeßstreifen

Der Dehnmeßstreifen hat die größte Bedeutung für die analoge Messung mechanischer Größen, die man fast immer durch geeignete Meßkörper, Biegestäbe, Torsionswellen, Membrankörper, auf Dehnungen zurückführen kann. Die Vorteile des Dehnmeßstreifens sind Genauigkeit, auch bei hohen Frequenzen, kleine Abmessungen und große Vielseitigkeit. Er läßt sich für normale Meßaufgaben einfach und problemlos handhaben und ist relativ preisgünstig. Ein Nachteil ist seine geringe Ausgangsspannung von einigen Millivolt.

### 3.2. Induktive Aufnehmer

Die induktiven Aufnehmer liefern ebenso wie die Dehnmeßstreifen nur eine sehr geringe Meßspannung, die weiter verstärkt werden muß. Ein induktiver Aufnehmer kostet ungefähr acht- bis zehnmal so viel wie eine Meßstelle mit Dehnmeßstreifen, er läßt sich jedoch immer wieder verwenden. Grundsätzlich eignen sich die induktiven Aufnehmer ebenso wie die Dehnmeßstreifen zum Messen von Kräften und Drücken, lassen sich jedoch wegen ihrer Baugröße schlechter einsetzen. Ihr Hauptanwendungsgebiet liegt beim Messen kleinerer Wege von einigen Millimetern bis zu ungefähr 5 cm. Die sogenannten tastlosen induktiven Aufnehmer messen berührungsfrei den Abstand eines Eisenteiles von ihrer Stirnseite. Bei ihnen beträgt der größte Meßbereich wegen des nichtlinearen Zusammenhanges zwischen dem Abstand und der Ausgangsspannung nur einige Zehntel Millimeter, jedoch ist die Auflösung sehr hoch.

### 3.3. Verstärker

Es wurde schon darauf hingewiesen, daß die Dehnmeßstreifen und die induktiven Aufnehmer mit einem Verstärker betrieben werden müssen. Neben einer Verstärkung des Meßwertes übernehmen diese Geräte im allgemeinen auch

die Stromversorgung und den Abgleich der Aufnehmerbrückenschaltung. Der Abgleich muß durchgeführt werden, damit bei unbelastetem Aufnehmer im Ruhezustand auch die Ausgangsspannung des Verstärkers gleich Null ist. Die schon früher eingesetzten Trägerfrequenzverstärker arbeiten mit einer Wechselspannung hoher Frequenz, die sich sehr viel einfacher als eine Gleichspannung verstärken läßt. Die Trägerfrequenzverstärker erreichen gute Linearitäten von  $1 \dots 2 \text{ ‰}$ . Der Nullpunkt wandert sehr wenig.

Neben dem Trägerfrequenzverstärker haben in den vergangenen Jahren die preisgünstigen Gleichspannungsverstärker immer mehr an Bedeutung gewonnen. Sie sind jedoch nur zum Betrieb von Dehnmeßstreifen geeignet. Ihre technischen Daten sind ebenfalls sehr gut. Sie werden hauptsächlich bei Messungen höherer Frequenzen eingesetzt.

### 3.4. Potentiometer

Potentiometer lassen sich zur Messung größerer Wege verwenden (Bild 4). Dazu wird auf den Antrieb des Potentiometers ein Skalenrad gesteckt, dessen Größe sich aus dem zu messenden Weg bestimmt. Um das Skalenrad und zwei Umlenkstationen wird ein Skalenseil geführt, das durch eine Spannfeder immer gleichmäßig gespannt bleibt und beispielsweise mit dem Kolben, dessen Weg gemessen werden soll, verbunden ist. Infolge der geringen Masse von Feder, Seil und Potentiometer hat das System eine sehr geringe Trägheit und ist sehr genau. In Bild 5 sind die sehr geringen Abweichungen zwischen dem am Potentiometer schleifer abgenommenen Meßwert und dem tatsächlich zurückgelegten Weg dargestellt. Der Fehler bleibt praktisch immer unter  $1 \text{ ‰}$ . Fehlermöglichkeiten bestehen durch Aufklettern des Skalenseiles auf den Rand des Skalenrades, durch Unlinearität des Potentiometers, durch hohe Strombelastung und durch Schlupf zwischen Skalenseil und Skalenrad. Die abgegebene Spannung braucht nicht verstärkt zu werden.

### 3.5. Feuchtigkeitsaufnehmer mit Thermowiderständen

Zur Messung von Temperaturen können grundsätzlich Thermolemente oder Thermowiderstände verwandt werden. Thermolemente bestehen aus zwei Thermodrähten, beispielsweise Kupfer-Konstanten, die an der Meßstelle zusammengelötet sind und je nach der Temperaturdifferenz im Vergleich zu einer zweiten Lötstelle eine Meßspannung

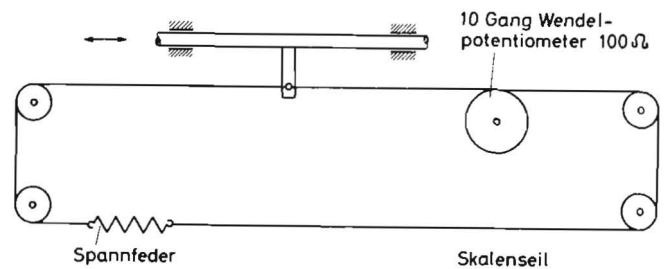


Bild 4: Wegmeßeinrichtung mit einem Wendepotentiometer

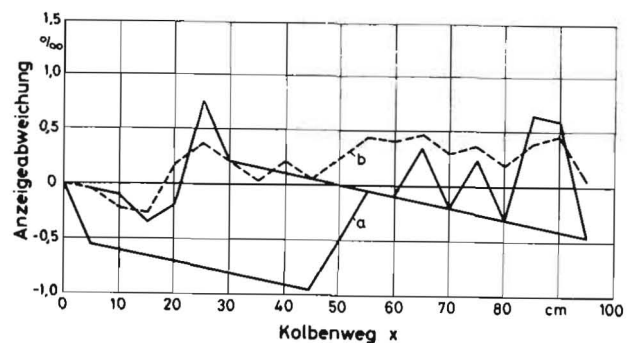


Bild 5: Fehler der Wegmeßeinrichtung nach Bild 4  
a) einmaliger Hin- und Hergang  
b) Mittelbildung über mehrere Hin- und Hergänge

von einigen Millivolt erzeugen. Thermowiderstände hingegen ändern ihren Ohm'schen Wert mit ihrer Temperatur, was über entsprechende Eichkurven zur Temperaturmessung ausgenutzt werden kann.

Die Anwendung der Thermowiderstände soll am Beispiel eines Feuchtigkeitsaufnehmers zur Messung der absoluten Luftfeuchtigkeit beschrieben werden (Bild 6). Auf einem Isolierkörper befindet sich mit Lithiumchlorid getränktes Textilgewebe, auf das zwei Drahtwendeln gewickelt sind, die sich nicht berühren. Wird an diese beiden Wendel eine Spannung gelegt, heizt der fließende Strom die Lithiumchlorid-Lösung auf, bis bei der Sättigungstemperatur der Widerstand der Lösung stark ansteigt und damit der heizende Strom geringer wird. Bei einer bestimmten Temperatur stellt sich so ein Gleichgewicht zwischen dem Dampfdruck

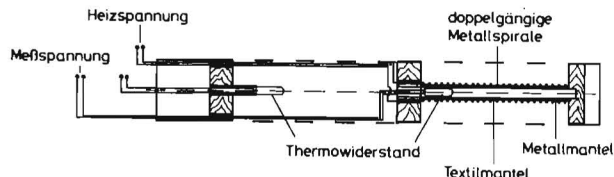


Bild 6: Aufnehmer zur Messung der absoluten Luftfeuchtigkeit

der Umgebung und dem der Lithiumchlorid-Lösung ein. Diese Temperatur wird mit einem Thermowiderstand gemessen und ist ein Maß für die absolute Feuchtigkeit der umgebenden Luft, dessen Temperatur mit einem zweiten Thermowiderstand gemessen wird. Das Gleichgewicht stellt sich nach etwa einer Minute ein.

### 3.6. Drehzahlmeßeinrichtungen (Impulsgeber)

Als Beispiel für einen digitalen Aufnehmer soll eine Drehzahlmeßeinrichtung beschrieben werden, die entsprechend Bild 7 aufgebaut ist. Auf der Welle ist eine mit Löchern versehene Scheibe angeordnet, die den Lichtweg von der Lichtquelle auf der einen Seite der Scheibe zur Fotodiode auf der anderen Seite nur kurzzeitig freigibt. Die dabei entstehenden Impulse können direkt registriert werden, oder sie kommen in einen Zähler, der die Impulse über eine bestimmte Zeit aufaddiert und diese Zahl als digitalen Meßwert zur Weiterverarbeitung freigibt.

### 3.7. Berührungslose Messung von Geschwindigkeiten

Eine berührungslose Messung der Geschwindigkeit frei fliegender Massen läßt sich gut mit einer Anordnung nach Bild 8 durchführen. Die Masse passiert zwei Lichtschranken, wobei die Unterbrechung der ersten Schranke einen Zähler in Gang setzt, und die Unterbrechung der zweiten Schranke den Zähler stoppt.

Am Eingang des Zählers ist ein Eichoszillator mit bekannter Frequenz angeschlossen, der gleichmäßig Impulse abgibt. Durch geeignete Wahl der Impulsfrequenz (100 kHz) entspricht die vom Zähler angezeigte Zahl direkt der verstrichenen Zeit in Millisekunden. Daraus und aus der bekannten Entfernung der beiden Lichtschranken voneinander läßt sich die Geschwindigkeit berechnen.

## 4. Aufzeichnungsgeräte

Aufzeichnungsgeräte dienen als Brücke zwischen den eigentlichen Messungen und der späteren Auswertung; sie halten den Verlauf der einzelnen Meßwerte zunächst fest, indem sie die Meßwerte registrieren beziehungsweise speichern, um sie bei der Auswertung wieder zur Verfügung zu stellen. Die wichtigsten Aufzeichnungsgeräte sind die Oszillographen, die den Meßwertverlauf auf einem Papiermeßschrieb festhalten, die Oszilloskope, deren Bild abfotografiert werden kann, die Anzeigegeräte in Verbindung mit einem manuellen Aufschreiben der Werte, die Magnetbandgeräte zum elektronischen Aufzeichnen der analogen Größe oder der digitalen Werte auf Magnetband und die Stanzen, die die

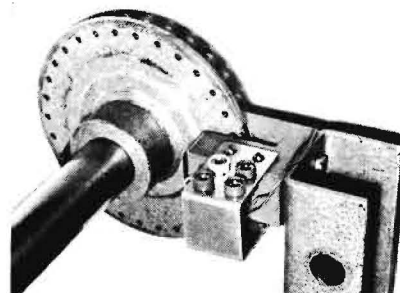


Bild 7: Drehzahlmeßeinrichtung

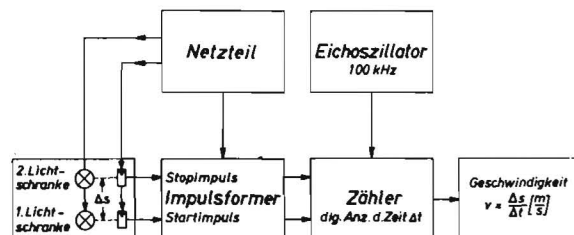


Bild 8: Geschwindigkeitsmessung durch Abdunklung zweier Lichtschranken

Meßwerte auf Lochstreifen beziehungsweise Lochkarten festhalten (Bild 9).

### 4.1. Oszillographen

Die Lichtstrahl-Oszillographen haben sich aus den mechanischen Registriergeräten entwickelt, die mit Wachspapier und geheizten Stiften oder mit Tintenstiften die Meßverläufe auf Papierschriften aufzeichnen.

Der Nachteil dieser mechanischen Schreiber ist im wesentlichen die relativ große Masse ihrer Schreibsysteme, so daß sie nur sich langsam verändernde Meßwerte bei geringer Schreibbreite verarbeiten können. Die Lichtstrahl-Oszillographen hingegen benutzen einen trägheitslosen Lichtstrahl, der auf einen Spiegel des Meßwerkes trifft, und dann auf lichtempfindliches Papier zurückgeworfen wird, wo er den entsprechenden Meßwertverlauf durch Belichten des Papiers aufzeichnet.

Die Oszillographen können bis zu 20 Meßwerte gleichzeitig in Abhängigkeit von der Zeit registrieren. Auch Schwingungen höherer Frequenz bis zu einigen kHz können durch hohe Papiervorschubgeschwindigkeit und entsprechende Meßwerke sichtbar gemacht werden. Im allgemeinen reichen jedoch für Messungen an Landmaschinen ölgedämpfte Meßwerke aus, die bis zu 1000 Hz registrieren und relativ einfach an die Aufnehmer beziehungsweise Verstärker angepaßt werden können.

### 4.2. Oszilloskope

Für Vorgänge sehr viel höherer Frequenz oder für Vorgänge, die in sehr kurzer Zeit ablaufen, wie beispielsweise Schneidvorgänge, können Elektronenstrahl-Oszilloskope ein-

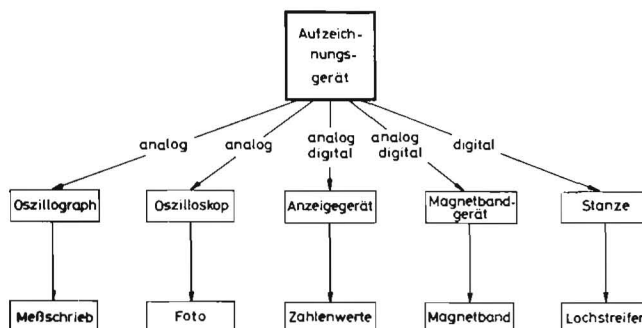


Bild 9: Aufzeichnungsgeräte

gesetzt werden, deren Bild fotografiert wird. So können bis zu vier Meßwerte gleichzeitig in Abhängigkeit von der Zeit oder einem weiteren Meßwert aufgetragen werden.

### 4.3. Anzeigergeräte

Die Anzeigergeräte können durchaus für das Messen der Parameter, die während eines Versuches konstant gehalten werden sollen oder die sich nur langsam und gleichmäßig ändern, verwendet werden. Die Kontrolldaten werden während der Versuche von Hand aufgeschrieben oder mit einem Drucker, der die Meßwerte nach einer wählbaren Zeit als Dezimalzahlen ausdrückt, erfaßt.

Das direkte Ablesen und Aufschreiben der Meßwerte ist eine billige und doch brauchbare Aufzeichnungsmöglichkeit für Versuche, die über einen langen Zeitraum gehen, wobei sich die Meßwerte nur geringfügig ändern.

Die bis jetzt aufgezeigten Aufzeichnungsmethoden haben den Vorteil, daß der Verlauf der Meßwerte sofort sichtbar wird und damit sofort Aussagen über den Erfolg des Versuches getroffen werden können. Ihr Nachteil liegt bei der späteren Auswertung, die nur manuell durch Ablesen einzelner Werte und durch Aufstellen von Tabellen durchgeführt werden kann; sie ist damit sehr zeitaufwendig. Deswegen erlangen solche Aufzeichnungsgeräte immer mehr Bedeutung, die die Meßwerte so aufzeichnen, daß sie später von Auswertegeräten automatisch abgetastet werden können.

### 4.4. Magnetbandgeräte

Magnetbandgeräte speichern die Meßwerte elektrisch. Sie können als analoge Geräte direkt zum Speichern der aus den Aufnehmern oder Verstärkern kommenden Spannungen dienen und je nach Bauart bis zu 14 Meßwerte gleichzeitig registrieren. Die obere Grenzfrequenz hängt von der Bandgeschwindigkeit ab und beträgt einige kHz. Der Fehler, der durch die Speicherung auf Magnetband auftritt, ist mit rund 1 % relativ gering. Allerdings werden die Meßwerte nach dem Abspielen, besonders bei kleiner Bandgeschwindigkeit von einem Rauschen überlagert. Durch den großen Bereich der Bandgeschwindigkeit von 1:16 bis 1:32 können Zeitdehnungen zur Anpassung an die Auswertegeräte oder Zeitraffungen zur Beschleunigung der Auswertung in weitem Umfang durchgeführt werden.

Die digitalen Bandgeräte können — wie alle digitalen Aufzeichnungsgeräte — nur einen Meßwert zur Zeit speichern, so daß im allgemeinen Steuergeräte und Meßstellenumschalter vor das digitale Bandgerät geschaltet werden. Die Aufzeichnungsgeschwindigkeit ist sehr groß; sie wird im allgemeinen durch den Meßstellenumschalter begrenzt. Bei entsprechenden Meßstellenumschaltern und Bandgeräten können einige 1000 Messungen je Sekunde registriert werden.

Ebenso wie beim analogen Bandgerät ist eine Beurteilung über den Erfolg eines Versuches erst möglich, wenn die registrierten Meßwerte von Band abgespielt und ausgewertet oder zumindest sichtbar gemacht werden. Diese blinde Regi-

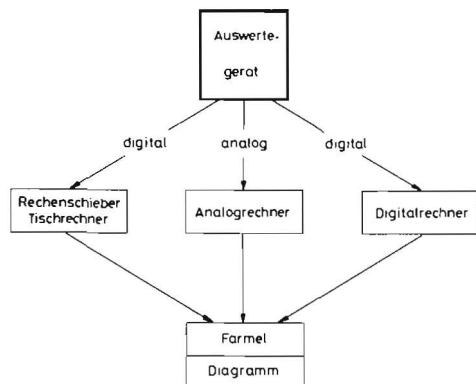


Bild 10: Auswertegeräte

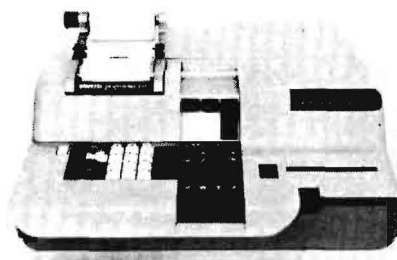


Bild 11: Programmierbarer Tischrechner

strierung ist ein großer Nachteil der Bandgeräte, selbst ein totaler Ausfall der Registrierung kann oft nicht sofort festgestellt werden, so daß unter Umständen eine große Zahl von Versuchen ohne Erfolg durchgeführt wird.

### 4.5. Stanzen

Die Lochstreifenstanzen sind wesentlich langsamer als digitale Bandgeräte und entsprechend preisgünstiger. Sie können bis zu 10 Meßwerte je Sekunde registrieren, was für viele Messungen, hauptsächlich für stationäre Langzeitversuche ausreicht, nicht jedoch beispielsweise für das Registrieren von Drehmomentenverläufen. Ebenso wie bei digitalen Bandgeräten muß auch den Stanzen ein Meßstellenumschalter mit einem Steuergerät vorgeschaltet werden, wenn mehrere Meßstellen registriert werden sollen. Nach den Versuchen werden die registrierten Meßwerte im Labor mit den entsprechenden Hilfsmitteln ausgewertet.

## 5. Auswertegeräte

Die wesentlichen Gruppen der Auswertegeräte zeigt Bild 10. Es sind dies die manuelle Auswertung mit Unterstützung kleiner Rechengenäte, wie Rechenschieber oder Tischrechner, die Analogrechengenäte mit ihren einzelnen Rechenelementen und die Digitalrechner.

### 5.1. Manuelle Auswertung

Die Meßwerte, die auf Meßschriften beziehungsweise Fotos vorliegen, können fast immer nur manuell ausgewertet werden, es müssen also die Meßwerte an bestimmten Punkten beziehungsweise Spitzenwerte abgelesen und in Tabellenform gebracht werden. Um eine erste Umrechnung zu sparen, benutzt man im allgemeinen zum Ablesen der Meßwerte einen selbstgefertigten Maßstab, der direkt in den Einheiten des Meßwertes geeicht ist und auch eventuell nichtlineare Zusammenhänge berücksichtigt. Die abgelesenen Werte werden je nach der vorzunehmenden Auswertung nach ihrer Größe geordnet (beispielsweise zum Klassieren) oder entsprechend weiterer Rechenvorschriften umgerechnet (beispielsweise Berechnung der Dichte aus dem Kolbenweg und der eingefüllten Gutmenge).

Für die Rechnungen reicht die Genauigkeit des Rechenschiebers immer aus, jedoch läßt sich die Auswertung durch Einsatz eines kleinen elektronischen Tischrechners erheblich beschleunigen. Der in Bild 11 gezeigte Tischrechner läßt sich programmieren, so daß der gesamte Rechenvorgang von selbst abläuft. Es müssen nur jeweils die entsprechenden Zahlenwerte eingetippt werden. Das Ergebnis wird dann fast sofort ausgedruckt oder bei anderen Maschinen mit Leuchtziffern angezeigt. Diese Rechner können auf Tastendruck die Grundrechenarten und die Berechnung der Quadratwurzel ausführen. Etwas teurere Maschinen haben mehr Speicherplätze und können auch die Werte der Kreisfunktionen und der log. Funktionen berechnen. Im allgemeinen können Tischrechner auch logische Entscheidungen treffen und damit den Rechengang selbständig in Abhängigkeit zuvor berechneter Ergebnisse beeinflussen. Tischrechner sind sehr einfach zu bedienen und leicht zu programmieren, so daß sie auch von unübten Kräften nach kurzer Einweisung sofort benutzt werden können.

Dennoch sollte die manuelle Auswertung wegen ihres sehr großen Arbeitsbedarfs und ihrer Ungenauigkeit umgangen beziehungsweise nur bei den Vorversuchen eingesetzt werden. Die Anwendung moderner Analog- und Digitalrechner wird die Auswertung sehr beschleunigen, wenn auch zunächst einige Zeit zum Programmieren dieser Maschinen benötigt wird.

## 5.2. Analogrechner

Der Analogrechner ist das wichtigste Gerät der analogen Auswertetechnik. Er kann jedoch nur die Meßwerte verarbeiten, die in elektrischer Form vorliegen, die also beispielsweise vorher mit einem Magnetbandgerät registriert wurden. Die verschiedenen Rechenelemente sind Potentiometer für Maßstabsänderungen, Summierer für Additionen und Subtraktionen, Multiplizierer für Multiplikationen und Divisionen, Integrierer für Mittelwertbildungen und Funktionsgeber zum Linearisieren nichtlinearer Eichkurven oder beispielsweise zum Logarithmieren.

Die Potentiometer, Summierer und Integrierer sind sehr genau. Die Fehler liegen unter  $1/100$ . Die Multiplizierer dagegen können, obwohl mit einer Genauigkeit von 1 % angegeben, erhebliche Fehler verursachen, wenn sie nicht voll angesteuert sind. Werden beispielsweise zwei Spannungen von 0,2 der Vollaussteuerung multipliziert, so beträgt das Ergebnis 0,04 der Vollaussteuerung. Ein Fehler von 1 % oder 0,01 der Vollaussteuerung kann also, auf das tatsächliche Ergebnis bezogen, schon einen Fehler von 25 % bedeuten. Damit wird die Wichtigkeit einer guten Aussteuerung für Multiplizierer oder Dividierer klar.

Da ein Analogrechner schon ein relativ teures Gerät ist und für die Auswertung oft nur einige wenige Rechenelemente benötigt werden, sollen im folgenden einige selbstgebaute Einheiten beschrieben werden.

### 5.2.1. Summierer

Bild 12 zeigt eine Recheneinheit, die vier Verstärker mit Summiernetzwerken und eine Stromversorgung enthält. Als Verstärker wurde ein sehr billiger Operationsverstärker mit äußerer Beschaltung (Offset-Abgleich) eingesetzt. Dieser Baustein kann zur Vorzeichenumkehr, zur Anpassung, zum Summieren und Subtrahieren eingesetzt werden. Er hat nach Abgleich auch eine Genauigkeit von  $1/100$  und einen relativ konstanten Nullpunkt.

### 5.2.2. Multiplizierer, Dividierer

Ein Schema eines sehr genauen Multiplizierers mit Fehlern unter  $1/100$  zeigt Bild 13. Die gesamte Einheit besteht aus einem mechanisch gekoppelten Doppelpotentiometer mit Motorantrieb und einem Verstärker mit hohem Ausgangsstrom von 0,5 A. In der Schaltung als Multiplizierer wird eine Multiplikatorspannung eingespeist. Am Abgriff, der durch den Vergleich genau auf der Stellung  $Z = Y$  steht, ist somit die Spannung  $Z = X \cdot Y$ , also das Produkt der Eingangsspannungen vorhanden. In die Genauigkeit gehen Linearitäten der Potentiometer, auch die Abweichung gegeneinander und die Belastung ein. Als Multiplizierer eignet sich diese Einheit gut, wenn sich ein Wert langsam ändert, damit das Motorpotentiometer folgen kann. Der zweite Wert  $X$  kann sich schnell ändern, ohne das Ergebnis zu verfälschen.

Die Schaltung als Dividierer zeigt ebenfalls Bild 13. Der Motor wird so lange angetrieben, bis die Spannung  $Y$  und der Abgriff  $Z$  an dem mit  $X$  eingespiesenen Potentiometer gleich sind. Es gilt  $Y = Z \cdot X$ . Da die Schleiferstellung an dem zweiten mit der Spannung  $U$  betriebenen Potentiometer gleich ist, kann hier der Wert  $Z = Y : X$  abgegriffen werden. Dieser Dividierer konnte sehr gut bei Getriebeuntersuchungen zur Bestimmung des Wirkungsgrades eingesetzt werden, weil auch die Antriebsmotore und Bremsen eine gewisse Zeit zur Erreichung eines stationären Betriebs-

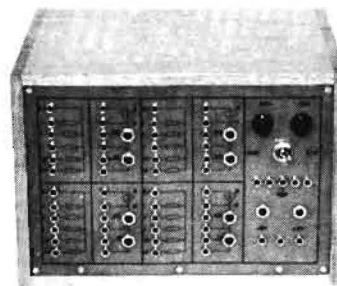


Bild 12: Recheneinheit mit vier Summierern

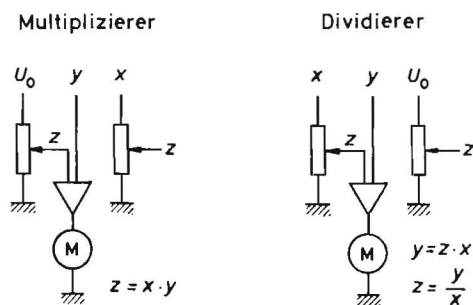


Bild 13: Servomultipliziereinheit  
Schaltung als Multiplizierer (links)  
Schaltung als Dividierer (rechts)

zustandes benötigen und die geringe Geschwindigkeit des Dividierers somit keine Rolle mehr spielt.

### 5.2.3. XY-Schreiber

Die Aufzeichnung der mit dem Analog-Rechner oder mit einzelnen Rechenelementen berechneten Ergebnisse erfolgt im allgemeinen mit einem XY-Schreiber, der die Abhängigkeit zweier Größen, wie beispielsweise des Kolbendruckes von der Dichte, direkt darstellen kann. Die Genauigkeit dieser Geräte ist groß, jedoch ist ihre Schreibgeschwindigkeit sehr gering, so daß nur langsame Vorgänge (einige Hz) einwandfrei dargestellt werden können. Bei einer Aufzeichnung der Meßwerte auf Magnetband, bereitet eine Zeitdehnung jedoch keine Schwierigkeit.

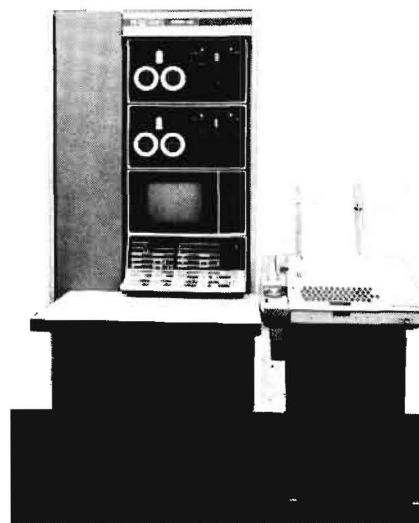


Bild 14: Digitalrechner mit 8 k Kernspeicher, zwei Bandstationen und acht Analogeingängen

### 5.3. Digitalrechner

Für digital auf Magnetband oder auf Lochstreifen gespeicherte Meßwerte sind große Digitalrechner, wie sie in Rechenzentren zur Verfügung stehen, geeignete Auswertegeräte. Diese Rechner zeichnen sich durch universelle Programmierbarkeit, große Speicherkapazität und die verschiedensten Ausgabegeräte aus, wie zum Beispiel Oszilloskope, XY-Schreiber, Schnelldrucker, Lochstreifenstanzen und Schreibmaschinen. Die für die Programmierung erforderliche Zeit kann jedoch ganz beträchtlich sein, so daß sich der Einsatz meist erst bei einer entsprechend großen Zahl von Versuchen lohnt.

Bild 14 zeigt einen kleineren Digitalrechner mit einer Speicherkapazität von 8 k, zwei Bandstationen, einem Oszilloskop und einer Schreibmaschine. Der Rechner arbeitet mit einer mittleren Geschwindigkeit, die Addition dauert also einige  $\mu$ s. Der Rechner hat außerdem acht Analogeingänge, in die direkt analoge Meßwerte eingegeben werden können, die mit einer Abfragegeschwindigkeit von 32 000 Messungen je Sekunde bei allerdings nicht zu hoher Genauigkeit digitalisiert und auf dem Bandspeicher gespeichert werden.

### 6. Kriterien für die Wahl einer Meßanlage

Aus der Vielzahl der vorhandenen Meß-, Aufzeichnungs- und Auswertegeräte läßt sich das für eine bestimmte Meßaufgabe am besten geeignete Gerät nur unter Beachtung verschiedenster Gesichtspunkte herausfinden. Dabei kann die Entscheidung nicht grundsätzlich nur zugunsten der analogen beziehungsweise der digitalen Geräte ausfallen, denn beide Meßarten haben ihre ganz spezifischen Einsatzgebiete und können sich vorteilhaft gegenseitig ergänzen. Diese Entwicklung zeigt sich beispielsweise auch in der Rechentchnik, wo große Analogrechengeräte zusätzlich digitale Komponenten und große Digitalrechner Analogkomponenten erhalten.

Vorteile analoger Anlagen sind: Überschaubarkeit, Schnelligkeit, Preiswertigkeit, Messung höchster Frequenzen, Stetigkeit. Ein typisches Beispiel für den Einsatz einer analogen Anlage sind die gleichzeitigen Messungen von Kräften und Wegen während Halmgutverdichtungsversuchen, bei denen der Verdichtungsprozess bereits nach rund einer Sekunde abgeschlossen ist. Zur Messung wurden Dehnmeßstreifen benutzt, die Aufzeichnung erfolgte mit einem Magnetbandgerät. Zur späteren Umrechnung und Logarithmierung der Meßwerte wurde ein Analogrechner eingesetzt.

Vorteile digitaler Anlagen sind: Genauigkeit, fehlerfreie Übertragbarkeit, Ausführung auch schwierigster Rechenoperationen.

Als typisches Beispiel für den Einsatz einer digitalen Anlage lassen sich die Temperaturmessungen mit Thermowiderständen bei Trocknungsversuchen anführen. Ausgenutzt wurden dabei die große Genauigkeit und die gute Übertragbarkeit, denn die Temperaturänderungen während der Trocknung verursachten nur Widerstandsänderungen von einigen Prozent. Wesentlicher Gesichtspunkt für den Einsatz der digitalen Anlage war außerdem die Möglichkeit, die Meßwerte nur alle 15 Minuten abzufragen, um die Fülle der Daten einzuengen, denn ein Trocknungsversuch dauerte bis zu drei Tagen. Zur Auswertung wurde ein Digitalrechner eingesetzt.

Weiterhin sind auch Gesichtspunkte wie schon vorhandene Geräte, der Vertrautheit des Bedienungspersonals mit dem Analogen oder Digitalen, Umfang der Versuche und der Vertrautheit mit den Ergebnissen von Bedeutung.

So besteht die Planung einer Meßanlage nicht nur darin, geeignete Aufnehmer und eventuell auch Verstärker auszusuchen. Ebenso wichtig ist die rechtzeitige Planung der Auswertung, um sowohl die Aufnehmer wie auch die Aufzeichnungsgeräte auf die Auswertegeräte abstimmen zu können, damit sich ein gleichmäßiger und stetiger Lauf der Meßdaten von der Meßstelle bis zum fertigen Ergebnis einstellt.

### 7. Zusammenfassung

Erst die modernen elektrischen Meß- und Auswerteverfahren ermöglichen überhaupt ein gleichzeitiges Messen mehrerer Drehmomente, Kräfte und Drehzahlen, wie es zur Landmaschinenprüfung im Feldeinsatz notwendig ist. Die bis zum fertigen Ergebnis benötigten Geräte lassen sich in drei Gruppen, nämlich die Aufnehmer und ihre Verstärker, die Aufzeichnungsgeräte, und die Auswertegeräte unterteilen. Die Aufnehmer wandeln die zu messende Größe in ein elektrisches analoges oder digitales Signal um, das von den Aufzeichnungsgeräten während des Versuches registriert und damit gespeichert wird. Die registrierten Meßverläufe werden später mit den Auswertegeräten ausgewertet. Es werden die für die Landtechnik wichtigsten Aufnehmer-, Aufzeichnungs- und Auswertegeräte beschrieben und ihre Einsatzmöglichkeiten angegeben.

#### Schrifttum

[1] ROHRBACH, Chr.: Handbuch für elektrisches Messen mechanischer Größen. VDI-Verlag Düsseldorf 1967

## Praktisches Kostenwissen für Ingenieure

Technischer Fortschritt und wachsender Konkurrenzkampf zwingen vor allem den Ingenieur, sein Fachwissen immer mehr zu vertiefen. Trotz vorhandenen Interesses bleibt ihm zum Studium anderer Fachzweige nur sehr wenig oder überhaupt keine Zeit. Die Kluft zwischen Technik und Betriebswirtschaft wird aber immer größer, so daß auch eine optimale Zusammenarbeit zwischen Ingenieuren und Kaufleuten im Unternehmen schwieriger wird.

Ziel des Seminars „Praktisches Kostenwissen für Ingenieure“, das vom VDI-Bildungswerk des Vereins Deutscher Ingenieure am 5. und 6. März 1971 in Karlsruhe, Karl-Friedrich-Straße 17, Landesgewerbeamt, veranstaltet wird, ist es, in der relativ kurzen Zeit von eineinhalb Tagen das für die Praxis notwendige Wissen um die Grundlagen der Kostenrechnung auch dem mehr technisch ausgerichteten Mitarbeiter zu vermitteln, das Verständnis und Interesse für technisch-wirtschaftliche Zusammenhänge zu wecken und vor allem jeden Mitarbeiter zu einem ökonomischen Verhalten bei seiner täglichen Arbeitsverrichtung zu veranlassen. (VDI)

## Deutsche Consulting Stiftung

Die unabhängigen deutschen Consulting Büros haben eine zentrale deutsche Consulting-Organisation, eine nationale Repräsentation des deutschen Consultingwesens, geschaffen. Mit der German Consult AG, so lautet ihre offizielle Bezeichnung, verfolgen die beiden deutschen Consultingverbände, der Verband unabhängig beratender Ingenieurfirmen (VUBI) und der Verband beratender Ingenieure (VBI), in Zusammenarbeit mit der öffentlichen Hand das Ziel, die internationale Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Consultants entscheidend zu verbessern. Das Kapital der Aktiengesellschaft soll auf eine gemeinnützige Stiftung, auf die Deutsche Consulting Stiftung, übertragen werden. Durch diese Regelung sollen Einzelinteressen neutralisiert, die unparteiische Berücksichtigung der Interessen aller Partner der German Consult AG gewährleistet werden. Ein Stiftungsrat, von Vertretern des deutschen Consultings, der Bundesregierung und der Wirtschaft gebildet, soll die Verwaltung der Stiftung übernehmen. (Stifterverband)