

Elektrische und elektronische Meßverfahren Von M. HUPFAUER, Freising-Weihenstephan*)

bei der Prüfung von landwirtschaftlichen Maschinen, Geräten und Schleppern

DK 621.317 : 631.37

Die stürmische Entwicklung in der Landtechnik ist der Erfahrungssammlung vorausgeeilt. Während man im Zeitalter der Gespanntechnik auf oft generationenalte, gewissermaßen in Fleisch und Blut übergegangene Erfahrungswerte bei der Anwendung landwirtschaftlicher Maschinen und Geräte zurückgreifen konnte, stellt die moderne Entwicklung die Landwirtschaft ständig vor neue Probleme, deren Lösung normalerweise mehrere Jahre erfordert, weil die unterschiedlichsten Betriebs- und Wetterbedingungen zur vollkommenen Klärung aller Fragen berücksichtigt werden müssen. Die tech-

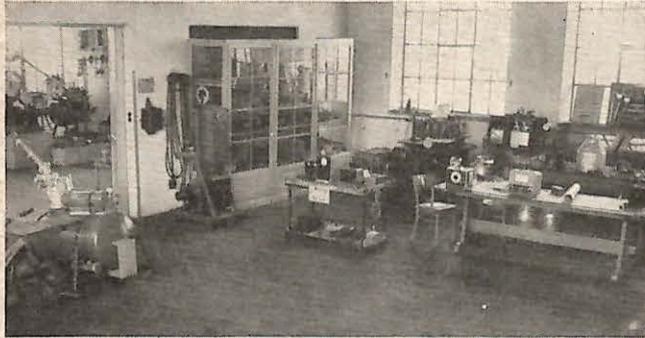


Bild 1. Übersicht über einen Prüfraum der Bayer. Landesanstalt für Landtechnik und Motorisierung in Weihenstephan mit elektrischen und elektronischen Meßeinrichtungen.

nische Entwicklung ist inzwischen aber schon wieder weiter fortgeschritten, und so hinkt die Erkenntnis den tatsächlichen Verhältnissen stets nach. Man könnte einwenden, daß dies nur solange der Fall sein wird, bis die technische Entwicklung in ruhigere Bahnen mündet, was zweifelsohne zu erwarten sein darf. Die Dringlichkeit, welche die Landwirte zur Mechanisierung zwingt, läßt aber ein solch geruhames Abwarten in bezug auf die Sammlung von Erfahrungen nicht zu. Es müssen also Mittel und Wege gesucht werden, um das Tempo in der Erfahrungssammlung zu beschleunigen. Groß angelegte Vergleichsprüfungen einer bestimmten Gruppe von Geräten und Maschinen können wegen der erheblichen Kosten, die damit verbunden sind, leider nur in bescheidenem Umfang durchgeführt werden. Sie würden die Sammlung von Erfahrungen bei genügender Verteilung über verschiedene Klimagebiete in Europa in einem Jahr zu Ergebnissen führen, die sonst vielleicht nur in einer Reihe von Jahren zu erreichen wären. Die hohe Belastung, die heute schon das in Maschinen und Geräten investierte Kapital für den einzelnen Landwirt ausmacht und worin schon erhebliche Verluste durch

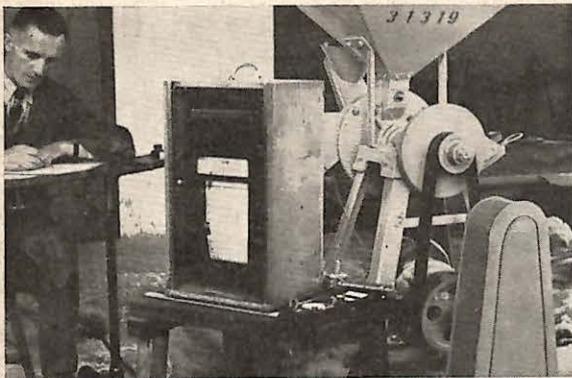


Bild 2. Prüfung des Kraftbedarfes einer Hammerschlagmühle mit Hilfe eines Wattschreibers.

ungeeignete Anschaffungen stecken, sollte die landwirtschaftlichen Berufsorganisationen zu einem gemeinsamen Schritt bei den Regierungen veranlassen, das Prüfungswesen mit ausreichenden Mitteln auszustatten. Es ist aber notwendig, bei solch umfangreichen Prüfungen an mehreren Stellen die angewandten Meßverfahren zu koordinieren, um vergleichbare Werte zu erhalten.

Ein weiterer wesentlicher Punkt ist die Entwicklung von Prüfmethoden, mit welchen Beziehungen zwischen den natürlichen Arbeitsverfahren und meßtechnischen Untersuchungen

hergestellt werden. Es kann durch sinnreiche Anwendung neuzeitlicher Erkenntnisse auf dem Gebiet der Meßtechnik in manchen Fällen die Möglichkeit geschaffen werden, Zusammenhänge zu finden, die die Beurteilung von Maschinen und Geräten unabhängig von der jeweiligen Kulturperiode oder von Messungen in der Praxis auf systematische Kontrollen auf den Prüfstand verlegt. Damit ist im allgemeinen ein erheblicher Zeitgewinn zu erreichen, weil die Prüfstandsversuche unabhängig von den Kulturperioden oder sonst im praktischen Einsatz erforderlichen Zeiträumen durchgeführt werden können.

Um solche Zusammenhänge zu finden, genügt es aber nicht – wie das in der eingangs erwähnten Stufe der Gespanntechnik noch vielfach üblich war – rein subjektive Beobachtungen anzustellen, welche durch ihre Häufigkeit und durch ihre große Variationsbreite im Zeitraum von Jahren zu einigermaßen gesicherten Ergebnissen führten, sondern es ist notwendig, mit Hilfe geeigneter Meßgeräte innerhalb einer möglichst kurzen Versuchsdauer einwandfreie Meßwerte zu erhalten.

Bei wissenschaftlichen Untersuchungen hat man schon auf der Stufe der Gespanntechnik Meßgeräte verschiedener Art, wie z. B. mechanische und hydraulische Zugkraftmesser, bei der Ermittlung des Kraftbedarfes gezogener Geräte angewandt. Mit der Einführung des Elektromotors in der Landwirtschaft zum Antrieb von Landmaschinen fanden Stromzähler aller Art bei der Beurteilung der Arbeitsgeräte mit elektrischem Antrieb Verwendung. Diese Meßgeräte, welche für den industriellen Bedarf schon seit Jahrzehnten entwickelt und hergestellt wurden, finden bei der Landmaschinenprüfung in ständig wachsendem Maße Anwendung. Sie gestatten

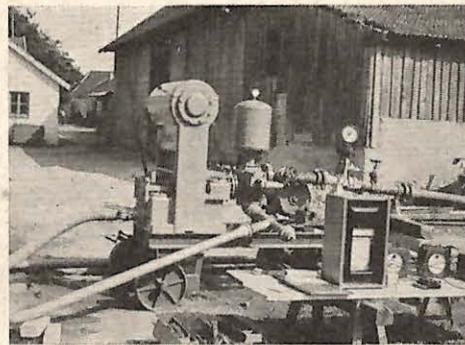


Bild 3. Wattschreiber bei der Untersuchung von Güllepumpen auf einem Gut.

nicht nur die Feststellung des durchschnittlichen Kraftbedarfes während eines Arbeitsvorganges, wie er mit Hilfe eines normalen Stromzählers ermittelt werden kann, sondern eben durch die Belastungskurve, welche sie aufzeichnen, ein genaues Bild des Kraftbedarfverlaufes. Es sind dies die unter dem Sammelbegriff Wattschreiber fallenden Meßgeräte. Durch Verwendung von Stromwandlern können sie in ihrem Meßbereich verändert werden und werden dadurch für verschiedene Belastungsfälle geeignet.

Mit der fortschreitenden Motorisierung treten an die Stelle von gezogenen Geräten, bei welchen rotierende Vorgänge über ein mit Spatengreifern ausgestattetes Laufrad ausgelöst und häufig mit Hilfe geeigneter Getriebe in hin- und hergehende Bewegungen umgewandelt werden, solche, die von der Zapfwelle des Motors aus direkt die erforderliche Bewegungsenergie erhalten. Damit ist die Messung von Drehkräften besonders wichtig geworden. Für Versuchszwecke kann diese Drehkraft, sofern elektrische Energie am Prüfgelände zur Verfügung steht, auch von einem gezogenen Elektromotor mit einem Drehmomentenwandler in geeigneter Weise erzeugt werden. Ihre Messung ist dann mit einem Wattschreiber wie beim stationären elektrischen Antrieb möglich. Gelingt es, eine den Belastungskurven im Feld ähnliche Beanspruchung durch eine laboratoriumsartige Belastung herzustellen, so kann ein wesentlicher Teil der Prüfung in das Labor übertragen werden. Die ermittelten Kurven verschiedener Geräte für den gleichen Verwendungszweck gestatten hinsichtlich des Kraftbedarfes die Auffindung der

*) Kons. Dr.-Ing. Dr. agr. M. Hupfauer ist Leiter der Bayer. Landesanstalt für Landtechnik und Motorisierung.

am besten geeigneten Konstruktion unter sonst gleichen Verhältnissen auf schnellstem Wege. Der Vergleich der Kurvenbilder ergibt ja nicht nur die Durchschnittsbelastung, sondern zeigt Größe, Dauer und Zahl der auftretenden Belastungsspitzen in Abhängigkeit von der Arbeitszeit.

Die Anwendung der elektrischen Messung im Feldbetrieb ist aber, wie bereits erwähnt, nur dort möglich, wo eine ausreichend leistungsfähige Stromversorgung zur Verfügung steht. Sie hat außerdem noch den Nachteil, daß sich das Belastungskurvenbild nicht ganz naturgetreu dem motorischen Antrieb mit seinen anders gearteten Drehmomentenverlauf anpaßt. Hier kann die Anwendung einer elektronischen Meßmethode Abhilfe schaffen, indem zwischen der Zapfwelle des Schleppers und der des Arbeitsgerätes eine Meßwelle eingeschaltet wird, auf die man Dehnungsmeßstreifen aufgebracht hat. Dehnungsmeßstreifen haben bekanntlich die Eigenschaft, unter dem Einfluß einer mechanischen Belastung, in diesem Falle einer Verdrehung der Welle,

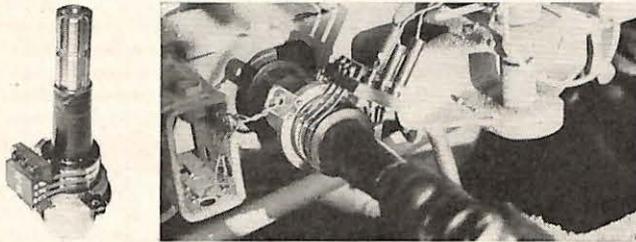


Bild 4. Meßwelle an einem Schlepper. Links: Die Meßwelle.

innerhalb der zulässigen Grenzen mit dem Werkstück, auf welchem sie aufgebracht sind, ihre Form elastisch zu verändern und damit auch ihren Widerstand proportional der Beanspruchung zu variieren. Eine durch den Meßstreifen geleitete elektrische Spannung wird sinngemäß ihren Wert verändern. Die Abnahme des Meßwertes erfolgt zweckmäßig über Silberringe mit Silbergraphitbürsten von der rotierenden Meßwelle auf das festliegende abgeschirmte Meßkabel. Der Meßwert wird über das Kabel auf eine direkt anzeigende Meßbrücke gebracht, entsprechend verstärkt und auf dem Bildschirm eines Kathodenstrahl-Oszillographen sichtbar gemacht. Bei einem normalen Einstrahl-Oszillographen kann zur Einblendung der Nulllinie ein Elektronenschalter verwendet werden. Die Frequenz der Zeitablenkung wird so gewählt, daß die Kurven gut auswertbar werden. Mit Hilfe einer vor dem Bildschirm angeordneten Kamera lassen sich einzelne Kurvenbilder photographieren. In vielen Fällen wird man eine fortlaufende Registrierung der Belastungskurve wünschen. Dazu benutzt man eine spezielle Filmkamera, die Voigtländer Philips Registrierkamera FE 106. Die Zeitablenkung des Oszillographen wird hierbei ausgeschaltet, den Zeitmaßstab bildet dann das von einem Synchronmotor bewegte Filmband, welches bei der erwähnten Kamera in zehn netzsynchronen Stufen durch Wechselräder bei 50 Hertz auf ca. ein bis zweihundert Zentimeter pro Sekunde Geschwindigkeit eingestellt werden kann. Die höchst registrierbare Frequenz beträgt bei diesem Gerät etwa zwanzigtausend Hertz.



Bild 5. Der Oszillograph mit Registrierkamera und Meßbrücke.

Die Stromversorgung im Feldbetrieb, soweit nicht Netzanschluß vorhanden ist, erfolgt mit Hilfe eines von einem Benzinmotor angetriebenen Stromerzeugers, dessen Spannung über einen Spannungsstabilisator konstant gehalten wird. Die Frequenz wird mit Hilfe eines Frequenzkontrollers überwacht.

Der Meßvorgang kann sich über eine Meßstrecke von 100 Meter mit Hilfe eines 50 Meter langen Meßkabels bei völlig

stillstehenden Meßgeräten durchführen lassen. Die Meßwelle muß selbstverständlich vorher statisch und dynamisch geeicht werden, wozu man einen 716 mm langen Hebelarm bzw. einen Pronyschen Bremszaum benutzt.

Um die Auswertung des Photobildes bzw. des Filmstreifens zu vereinfachen, kann in die Meßstellen ein Widerstand eingebaut werden, dessen Wert einer bestimmten bei der Eichung ermittelten Belastung entspricht. Der Widerstand wird so angeordnet, daß er mit Hilfe eines Kontaktes in einer bestimmten Stellung der Meßwelle in den Meßkreis eingeschaltet wird und auf dem Bildschirm die aus der Eichkurve erkennbare vertikale Ablenkung des Kathodenstrahls verursacht. Mit Hilfe der Verstärkung wird diese Amplitude so gewählt, daß bei der zu erwartenden auftretenden Spitzenbeanspruchung die Kurve noch ganz auf den Schirm kommt. Da dieser Meßwert bei der geschilderten Anordnung mit jeder Umdrehung wiederkehrt, findet er gleichzeitig als Drehzahlmarke Verwendung.

Ein Beispiel, welches deutlich zeigt, daß mit Hilfe der Herstellung einer Beziehung zwischen natürlichen Vorgängen und meßtechnischen Werten landtechnische Prüfungen erheblich abgekürzt werden, gibt die elektronische Untersuchung der Pulscurven von Melkmaschinen-Pulsatoren. Die physiologische Wirkung einer bestimmten Melkmaschinenpulsator-Kurve kann durch die Messung der in der Zeiteinheit aus dem Euter austretenden Milch erkannt werden. Nachdem durch mehrjährige Stallversuche bei verschiedenen Tierrassen ermittelt worden war, welche Pulscurve die höchste Melkgeschwindigkeit ergibt, konnte durch Sichtbarmachung der Pulscurve mit Hilfe eines Gebers aus Dehnungsmeßstreifen auf einer Stahlmembrane, die vom Pulsator bewegt wurde, in wenigen Minuten die Güte der Arbeit des Pulsators ermittelt werden. Ohne Kenntnis des Zusammenhangs zwischen der Form der Pulsator-Kurve und der physiologischen Wirkung des Pulsators wären monatelange Stallversuche notwendig.

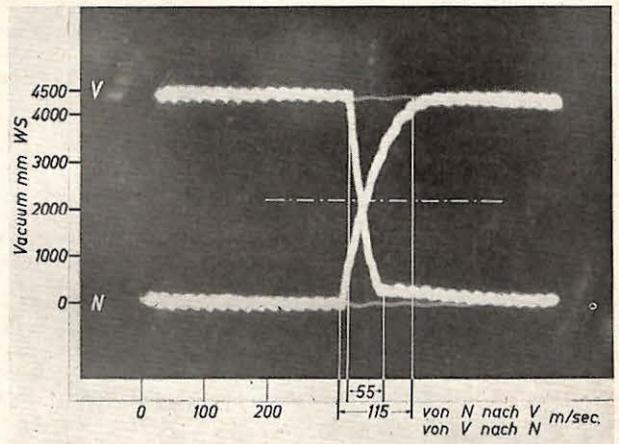


Bild 6. Darstellung einer Pulscurve.

Untersuchungen an Schleppermotoren können mit Hilfe von piezoelektrischen Indikatoren, unter Zuhilfenahme der entsprechenden Einrichtungen, wie Elektrometervorsatz, Elektronenschalter und Kathodenstrahl-Oszillograph, in gleicher Weise bei landtechnischen Untersuchungen durchgeführt werden, wie das bei der Industrie seit langem üblich ist.

Viele harmonische Bewegungsvorgänge an Landmaschinen lassen sich mit Hilfe eines Stroboskops auf andere, meist unerwünschte Schwingungen untersuchen. Wird die Frequenz des Lichtblitzes von der normalen Schwingung selbst gesteuert, so können auch bei Schwankungen in der normalen Bewegung andere, meist unerwünschte Schwingungen sichtbar gemacht werden. Die Wirkungsweise des Stroboskops beruht bekanntlich darauf, daß die Lichtblitze synchron mit der Bewegung laufen und das bewegte Stück immer nur in ein und derselben Lage beleuchten. Mit Hilfe des Stroboskops können auch Drehzahlmessungen vorgenommen werden, ohne daß die Drehzahl mechanisch beeinflusst wird, wie das beim Ansetzen eines Drehzahlmessers an hochtourig umlaufenden Teilen mit geringer Masse möglich ist. Auf diese Weise wurden z. B. Untersuchungen an einem Landwirtschafts-Staubsauger vorgenommen.

Ein besonderes Forschungsgebiet in der Landtechnik ergibt sich aus der Tatsache, daß die physische Beanspruchung bei modernen hochmechanisierten Arbeitsverfahren von der reinen Muskeltätigkeit bei der Handarbeit auf eine ständige geistige Wachsamkeit und physische Griffarbeit bei der Bedienung der zahlreichen Hebel an modernen Landmaschinen

verlagert wird. Zu Untersuchungen auf diesem Gebiet kann ein photoelektrischer Pulszähler, wie er von Prof. Dr. E. A. Müller am Max-Planck-Institut für Arbeitsphysiologie entwickelt wurde, eingesetzt werden. Mit Hilfe einer am Ohr läppchen der Versuchsperson angebrachten Photozellenlampe als Geber wird gleichlaufend mit der Pulszahl ein Spannungstoß hervorgerufen, der entweder über ein Zählwerk registriert oder auch über einen Oszillographen sichtbar gemacht werden kann. Die Möglichkeiten, elektrische und elektronische Meßeinrichtungen zur Verbesserung der Prüfmethode und zur Beschleunigung des Prüfverfahrens in der Landtechnik einzusetzen, sind mit den vorstehenden Schilderungen natürlich längst nicht erschöpft. Es sind hier nur die Beispiele erwähnt, die in Weihenstephan an der Landesanstalt für Landtechnik und Motorisierung durch den Verfasser und seine Mitarbeiter angewendet wurden bzw. sich in der Erprobung befinden. Dieser Beitrag soll nur ein Hinweis sein, um die Gedanken von Industrie und Landwirtschaft auf dieses im Rahmen der Untersuchung an landwirtschaftlichen Maschinen und Geräten bei Schleppern interessante Gebiet zu lenken und zur Erfassung weiterer Möglichkeiten anzuregen.

Die Elektro-Ausrüstung am landwirtschaftlichen Schlepper

Von W. HENNEBERG, Stuttgart*)

DK 621.312+628.94+621.355 : 631.372

Wie alle motorgetriebenen Fahrzeuge ist auch der landwirtschaftliche Schlepper ohne eine elektrische Anlage nicht mehr denkbar. Auch der Landwirt will, ja er muß sogar, an den technischen Fortschritten unserer Zeit teilhaben. Während er, um nur ein Beispiel zu nennen, früher sich noch mühte, den Schleppermotor mit der Hand anzukurbeln, verzichtet er heute bestimmt nicht mehr auf den elektrischen Anlasser, der ihm die schwere Mühe abnimmt.

So ist der Schlepper in die Reihe der Motorfahrzeuge vorgerückt, für die es eine Art Standard-Elektro-Ausrüstung gibt, und er unterliegt deshalb auch, was seine Zulassung und seinen Betrieb angeht, der Straßenverkehrs-Zulassungsordnung (StVZO) und der Straßenverkehrsordnung (StVO).

In großen Zügen betrachtet, stellt sich die elektrische Schlepper-Ausrüstung dar als ein kleines Elektrizitätswerk zur Erzeugung, Speicherung und Verteilung elektrischer Energie für die angeschlossenen, wahlweise einschaltbaren Verbraucher. Der Betrieb dieser Einrichtungen muß auf die robuste Handhabung in der Landwirtschaft zugeschnitten sein.

Eine deutliche Unterscheidungslinie läßt sich dabei ziehen zwischen der elektrischen Anlage für Zweiachs-Schlepper, die heute mit Diesel-Motoren ausgerüstet sind, und der für Einachs-Schlepper, die im allgemeinen einen Benzinmotor haben und deshalb eine elektrische Zündung benötigen. Einachs-Schlepper mit einer Leistung von 9 bis 10 PS werden heute allerdings fast ausschließlich von einem Diesel-Motor angetrieben.

Als Betriebsspannung ist in der ersten Gruppe durchweg eine Spannung von 12 Volt vorgesehen, während man in der zweiten, wegen des fehlenden Anlassers, fast überall mit 6 Volt durchkommt. Die höhere Spannung bringt den Vorteil eines größeren Drehmoments beim Anlasser, was insbesondere für das Anlassen bei tiefen Temperaturen von großer Wichtigkeit ist. In vereinzelt Fällen ist bei großen Schleppern (bis 60 PS) auch eine Spannung von 24 Volt für den Anlasser vorgesehen, die durch Hintereinanderschalten von zwei 12-Volt-Batterien mit einem besonderen Schalter während des Anlaufvorgangs erreicht wird.

A. Die Ausrüstung für Zweiachs-Schlepper

Die Lichtmaschine

Von der mechanischen Energie des laufenden Motors wird ein Teil zur Erzeugung der elektrischen Energie benutzt in der Weise, daß der Motor einen Dynamo, die Lichtmaschine, antreibt. Der Anteil der mechanischen Energie wird nominell bestimmt durch die Leistung der Lichtmaschine und durch ihren Wirkungsgrad, der bei derartigen Maschinen in der Größenordnung von 0,5 liegt. Die Lichtmaschinenleistung richtet sich wiederum nach der Zahl und Art der elektrischen Verbraucher, insbesondere des Anlassers, und nach der Größe des Schleppers. Für Schlepper bis zu etwa 35 PS hat sich eine Lichtmaschinenleistung von 75 Watt als ausreichend erwiesen,

für Schlepper bis zu etwa 45 PS sind Lichtmaschinen mit 130 Watt üblich und bis zu etwa 60 PS solche mit einer Leistung von 200 Watt. In manchen Fällen sind außerdem auch Maschinen von 90 Watt Leistung zu finden. Hinsichtlich des Einbaues und der Befestigung sind zwei Hauptgruppen zu unterscheiden, nämlich Lichtmaschinen mit Sattelbefestigung und solche mit Schwenkarm; bei der letztgenannten Art ergibt sich eine einfache Möglichkeit, die Spannung des Antriebsriemens zu verändern. Bei fast allen Schlepperarten ist zur mechanischen Kraftübertragung der Keilriemen als Antriebsorgan das gebräuchlichste Mittel, wobei sich als Folge des unmittelbaren Antriebs eine ebenso unmittelbare Abhängigkeit der Lichtmaschinenleistung von der Motordrehzahl ergibt, ein Verhältnis, das in gleicher Weise auch beim Automobil- oder Motorradmotor vorhanden ist. Bei der Anwendung der Lichtmaschine im Schlepperbetrieb gab es deshalb auch kein besonderes Problem hinsichtlich der Spannungsregelung mehr zu lösen. Man konnte auf bekannte und bewährte Größen und Formen zurückgreifen, um so mehr, als der Umfang der Motordrehzahlen innerhalb des bisher gut beherrschbaren Bereiches liegt. Es versteht sich von selbst, daß Lichtmaschinen im Schlepperbetrieb staubdicht gekapselt sein müssen.

Der Anlasser

Auch bei den Anlassern bietet sich ein recht reichhaltiges Bild von verschiedenen Größen und Ausführungsformen je nach der Schleppergröße. Bei Schleppern bis zu etwa 30 PS findet man den sogenannten Schub-Schraubtrieb-Anlasser, bei dem durch einen Magnetschalter das Ritzel auf einem Steilgewinde in den Zahnkranz des Motors eingeführt wird. Der-

*) Ing. W. Henneberg ist Mitarbeiter der Firma Robert Bosch GmbH, Stuttgart.

