

## Wirtschaftliche Bedeutung und Möglichkeiten einer verkürzten Erprobungszeit bei Landmaschinen

*Der vorliegende Aufsatz ist ein Auszug aus dem Referat, das Dr.-Ing. Wilfried Fahr auf der Tagung „Erprobungsmethoden für Landmaschinen“ der VDI-Fachgruppe Landtechnik in Heidelberg am 22. Oktober 1963 gehalten hat.*

Betrachten wir die internationale Landmaschinen-Industrie, so stellen wir fest, daß die Produktions-Serien größer geworden sind. Sehen wir uns die landwirtschaftlichen Betriebe an, dann zeigt sich, daß die Investitionen für einzelne Maschinen steigen und der Einsatz der Maschinen intensiver geworden ist. Die Folge daraus ist, daß die Forderung nach gut erprobten Maschinen unabdingbar geworden ist. Es ist aber in Zukunft kaum noch tragbar, Konstruktionen während der Serie ausreifen zu lassen. Dabei kann man die kleinen Kinderkrankheiten, die es trotzdem bei jedem Serienanlauf gibt, außer acht lassen. Diese dürfen aber nicht größer sein, als daß sie ein gut funktionierender Kundendienst sofort beheben kann.

Obwohl in den Vereinigten Staaten von Nordamerika auf dem Gebiete der Erprobung mehr getan wird als bei uns, verlangt der dortige Farmer noch größere Betriebssicherheit. Als Beispiel ist die kontinuierliche Befüllung der Groß-Silos zu erwähnen, bei der die dazu erforderliche Arbeitskette in durchgehendem 24-Stunden-Betrieb keinerlei Unterbrechung erfahren darf.

Es ist daher nicht verwunderlich, wenn die Entwicklungszentren der Großfirmen ihren Schwerpunkt immer mehr auf Erprobungsmethoden verlagern, die eine Verkürzung der Probezeit ermöglichen. Bild 1 zeigt die Anzahl der während der Lebensdauer einer Maschine auftretenden Störungen, und zwar bei schlecht erprobten Maschinen, bei gut erprobten Maschinen und im Idealfall.

Wenn heute die landwirtschaftlichen Betriebe dazu übergegangen sind, nicht mehr wahllos Einzelmaschinen anzuschaffen, sondern Systeme, die auf wohlüberlegter und kalkulierter Basis beruhen, so muß die für den jeweiligen Arbeitsgang innerhalb einer Arbeitskette vorgesehene Maschine alle Anforderungen in bezug auf Leistung und Standfestigkeit erfüllen; denn beim Ausfall einer Maschine versagt die ganze Arbeitskette, die mit großem Investitionsaufwand angeschafft wurde. Die Struktur- und Verfahrensänderungen, die die Europäische Wirtschaftsgemeinschaft (EWG) zwangsläufig mit sich bringt, stellen uns vor neue Aufgaben, die verhältnismäßig schnell gelöst werden müssen. Eine lange Erprobungszeit ist gefährlich, wenn der Wettbewerb schneller arbeitet. Die Verkürzung der Erprobungszeit ist daher von großer Bedeutung. Im folgenden soll versucht werden, einen Überblick über das Gebiet der Erprobung und die verschiedenen Methoden zu geben.

Die Erprobung von Landmaschinen ist sehr problematisch, da die Betriebsbedingungen infolge verschiedener Einflüsse voneinander abweichen. Beim Boden spielt die Struktur, die Art und der Zustand eine große Rolle, bei der Pflanze sind Art, Zusammen-

setzung und Reifegrad zu berücksichtigen, beim Klima die verschiedenen Temperaturen und Luftfeuchtigkeiten, und schließlich muß bei der Untersuchung auf eine sinnvolle betriebswirtschaftliche Einordnung geachtet werden.

Betrachten wir die verschiedenen Erprobungsmethoden für Landmaschinen, so kommen drei Arten in Frage: die Prüfstanderprobung, die Prüfstreckenerprobung und die Felderprobung. Keine dieser drei Erprobungsarten kann alleine zum Ziel führen. Sie bilden ein gemeinsames Ganzes. Je mehr sie aufeinander abgestimmt sind, desto größer ist der Erfolg.

### 1. Die Prüfstanderprobung

#### a) Die Festigkeitsprüfung

Es ist davon auszugehen, daß von den eigentlichen Prüfstandversuchen eingehende Messungen der Betriebsbelastungen in Feldversuchen vorgenommen wurden. Diese Messungen können entweder an ähnlichen Maschinen aus vorangegangenen Entwicklungen oder aber an Versuchsbaugruppen durchgeführt werden. Bild 2 zeigt die Ermittlung des Betriebsbelastungsspektrums eines Feldhäckslers im praktischen Einsatz mit Hilfe von elektronischen Meßinstrumenten über Klassiergerät oder Direkt-schreiber.

Die Kräfte, Spannungen, Drehmomente und Beschleunigungen werden mit Hilfe von Dehnmeßstreifen und anderen Meßwertaufnehmern gemessen. Die Verstärkung der Meßströme erfolgt in Trägerfrequenzverstärkern. Diese liefern eine der Belastung analoge Spannung, die zur Aussteuerung verschiedener Registriergeräte verwendet wird.

Als solche Geräte stehen einmal Oszillographen und Direkt-schreiber zur Verfügung. Diese Geräte schreiben die Meßdaten in Form von Kurven in Abhängigkeit von der Zeit auf. Die Meß-schriebe lassen eine Auswertung nach Amplitude, Frequenz, Spitzenanteil und Mittelwert zu. Sie geben den Belastungsverlauf vollständig und ohne Verzerrung wieder und stellen somit die genaueste Registriermethode dar. Die Auswertung ist jedoch mühsam, wenn Mittelwerte, Häufigkeiten, Spitzen- und Frequenz-Kollektive bestimmt werden sollen. Sie eignen sich aber besonders gut für eine Beurteilung spezieller, kurzzeitig ablaufender Vorgänge.

Belastungsspektren können genauer und schneller mit elektronischen Klassiergeräten ermittelt werden. Hierbei werden in festen Zeitabständen — zwischen 0,1 und 1,0 s — Stichproben-Messungen durchgeführt und die Momentanwerte in Belastungsstufen eingereiht. Jeder Stufe ist ein Zählwerk zugeordnet, das die Anzahl der jeweils in dieser Stufe liegenden Stichprobenwerte summiert. Auf diese Weise erhält man die Summenhäufigkeitsverteilung der einzelnen Belastungswerte. Der Vorteil dieses Verfahrens liegt in der unmittelbar nach der Messung vorliegenden Übersicht der

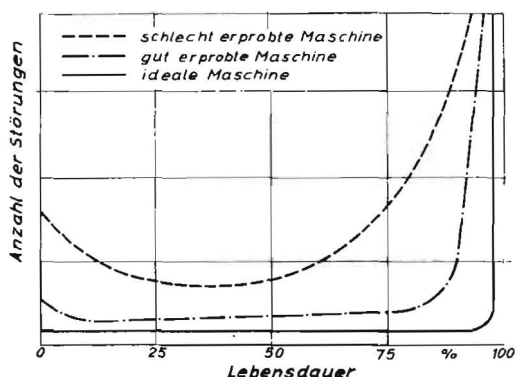


Bild 1: Abhängigkeit der Störungen an Maschinen von der Lebensdauer



Bild 2: Ermittlung des Betriebsbelastungsspektrums eines Feldhäckslers durch Meßwagen

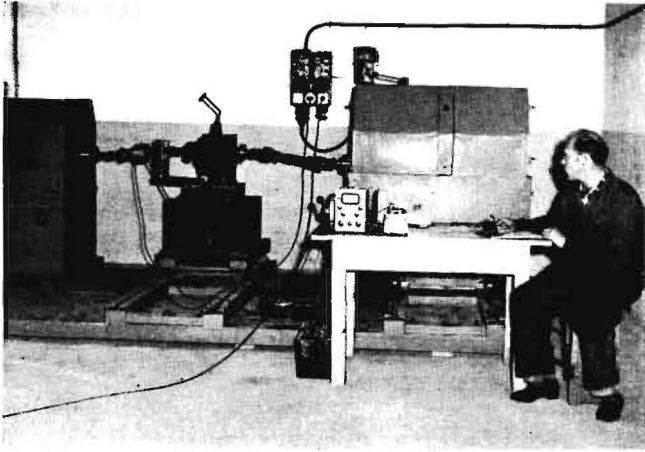


Bild 3: Dauerbelastungsprüfung von Kreuzgelenken

Ergebnisse. Über das Frequenzspektrum des Belastungsverlaufs sagt dieses Verfahren leider nichts aus.

Die Ergebnisse werden im Wahrscheinlichkeitsnetz eingetragen, wo sie bei einer Normalverteilung der einzelnen Belastungen eine Gerade ergeben, aus deren Steigung und Lage Mittelwert und Verteilung der Unter- und Spitzenbelastungen abgelesen werden können.

Bei einer anderen Meßmethode werden die Belastungen auf dem Feld auf Tonband aufgenommen, das nach dem Versuch über Digitalrechner ausgewertet wird. Diese Auswertung kann je nach Art des Rechners wesentlich vielseitiger vorgenommen werden, wobei jedoch ebenfalls wieder die Darstellung der Ergebnisse im Häufigkeitsschaubild an erster Stelle steht.

Der Konstrukteur kann in der Regel mit Einzelmessungen wenig anfangen. Auch Mittelwerte haben nicht immer die erforderliche Aussagekraft. Erst die Kenntnis der Spitzen nach Größe und Häufigkeit gibt die Grundlage für Festigkeitsberechnungen. Neben der unmittelbaren Verwertung der Meßdaten durch den Konstrukteur wird das Betriebsbelastungsspektrum in steigendem Maße zur praxisnahen Auslegung der Steuerprogramme von Dauerprüfständen herangezogen. Hierbei ist die richtige Auswahl der verschiedenen Belastungsarten das schwierigste Problem. Im Kraftfahrzeugbau werden schon seit Jahren Methoden angewandt, die eine erstaunlich gute Übereinstimmung der im praktischen Fahrbetrieb mit den auf dem Prüfstand ermittelten Betriebsfestigkeitswerten zeigen.

Nachdem die auftretenden Kräfte bekannt sind, lassen sich die statischen und dynamischen Belastungsverhältnisse auf dem Prüfstand einstellen, die dem praktischen Einsatz entsprechen. Es ist zum Beispiel nicht erforderlich, daß Getriebe einer Landmaschine in jahrelangen Feldversuchen erprobt werden, sondern sie können in bezug auf Festigkeit auf dem Prüfstand nahezu serienreif gemacht werden. Der Feldversuch, der saisonbedingt und immer zeitlich begrenzt ist, kann sich dann auf die Funktionsprüfung und auf die Bestätigung der Prüfstandsversuche beschränken. Gerade der Prüfstandsversuch ist in der Lage, in der Festigkeitserprobung die Verkürzung der Erprobung besonders zu beeinflussen. Bild 3 zeigt eine Dauerbelastungsprüfung von Kreuzgelenken. In Bild 4 wird ein Viereckverspannungs-Prüfstand zur Untersuchung von Getrieben unter Last gezeigt. Nach dieser Methode lassen sich mit geringster Antriebsleistung sehr hohe Drehmomente — auch in Form von Wechsellasten — aufbringen. Um den Spannungsverlauf an Konstruktionsteilen zu erkennen, bedient man sich bekanntlich der Reißlackmethode. Ein derartiger Versuch an einem Ackerwagen ist in Bild 5 zu sehen, worin die Spannungslinien gut zu erkennen sind.

Für Schwingungsuntersuchungen läßt sich in vielen Fällen ein Lichtblitz-Stroboskop einsetzen. In Bild 6 ist dieses Gerät zur Untersuchung der Bewegungsvorgänge auf einem Mährescher-Strohschüttler eingesetzt.

#### b) Verschleißprüfung

Die Verschleißprüfung wird oft mit der Festigkeitserprobung kombiniert, vor allem dann, wenn sie unter Last erfolgen muß.

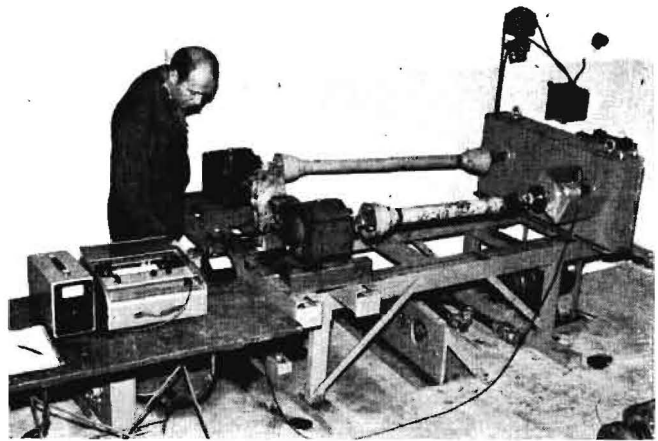


Bild 4: Viereckverspannungs-Prüfstand für Getriebe

Dabei kann man sich in vielen Fällen der Prüfstände bedienen, wie sie bei der Festigkeitsprüfung verwendet werden. Wenn die Belastung durch das Verarbeitungsgut nicht die ausschlaggebende Rolle spielt, können mit der ganzen Maschine Prüfstandsversuche gefahren werden. Denn oft sind die eigenen Massenkräfte der beweglichen Aggregate größer als die Arbeitsbelastungen. Der Aufbau dieser Prüfstände ist sehr einfach, da die Maschine nur mit Elektromotoren angetrieben zu werden braucht. In Staubkammern lassen sich zum Beispiel Lager, Getriebe, Gleitführungen und andere Verschleißteile unter den verschiedenartigsten Bedingungen auf ihr Verschleißverhalten untersuchen. Es ist vorteilhaft, in Verschleißversuchen während eines Winters zu Ergebnissen zu kommen, zu denen man auf dem Felde mehrere Jahre benötigen würde.

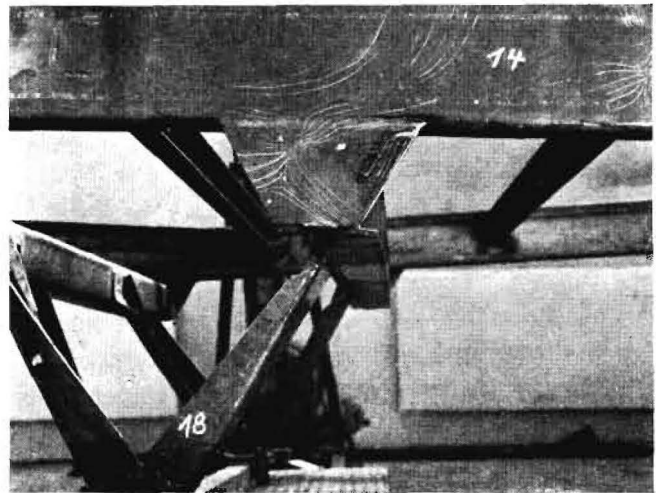


Bild 5: Reißlackversuche an Ackerwagen

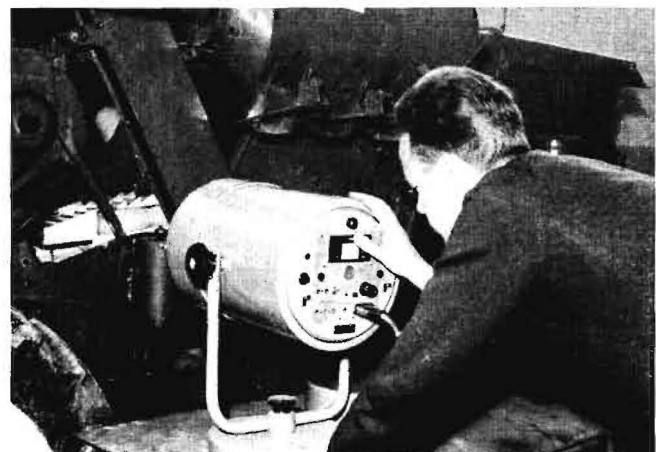


Bild 6: Stroboskop zur Untersuchung von Bewegungsvorgängen an einem Mährescher-Strohschüttler

### c) Funktionsprüfung

Die Funktionsprüfung muß im wesentlichen im praktischen Feldeinsatz durchgeführt werden. Gewisse Vorgänge lassen sich jedoch oft besser auf dem Prüfstand untersuchen, vor allem dann, wenn es um die Ermittlung technologischer Gesetzmäßigkeiten geht.

Bild 7 zeigt einen derartigen Winterprüfstand. Bei der Funktionsprüfung kommt uns vor allem die Fototechnik zugute. Mit



Bild 7: Laborprüfstand, hier für Feldhäcksler

Hilfe der Zeitdehnerkamera kann man heute Vorgänge festhalten deren Beobachtung man vor Jahren bei Feldversuchen noch für unmöglich hielt. Als Beispiel sei die Erfassung des Dreschvorganges mit Hilfe einer Zeitdehnerkamera genannt. Ein Vorgang von 2 s Dauer läuft im Film auf der Leinwand in 3 min ab. Man kann hiermit den Dreschvorgang genau verfolgen und sich über den Bewegungsablauf der ausgedroschenen Körner, des Lang- und Kurzstrohs ein genaues Bild verschaffen.

## 2. Prüfstreckenerprobung

Auch bei der Prüfstreckenerprobung müssen wir zwischen Festigkeits- und Verschleißerprobung unterscheiden. Hierbei werden folgende Methoden angewendet:

### a) Marterstrecke

Auf ihr müssen die auf dem Feld auftretenden typischen Beanspruchungen verwirklicht werden können:

verschiedene Steigungen und Gefälle;

verschiedene Hanglagen;

verschiedene Unebenheiten; hierbei ist vor allen Dingen auf verschiedene Frequenzen zur Behebung der im praktischen Einsatz auftretenden Schwingungen zu achten.

starke Erhebungen und Senkungen für Gewalterprobungen; diese müssen so beschaffen sein, daß die Bruchgrenze erreicht wird.



Bild 8: Mähdrescher auf der Marterstrecke

In Bild 8 ist ein Mähdrescher auf einer derartigen Hindernisstrecke zu sehen.

### b) Sandstrecke

Die Sandstrecke soll nicht in die Marterstrecke eingebaut sein, da hauptsächlich nur Fahrzeuge, die im Sand eingesetzt werden, erprobt werden. Bei Fahrzeugen und Motoren treten gerade beim Einsatz auf Sandboden oft Störungen auf, die der Konstrukteur nur auf diesem Wege rechtzeitig erkennen kann.

### c) Schlammstrecke

Hierfür gilt dasselbe wie für die Sandstrecke.

### d) Wasserdurchfahrt

Bei der Wasserdurchfahrt ist vor allem folgendes zu berücksichtigen:

günstige Lage der Luftansaugung und des Auspuffs bei Motoren; guter Schutz zum Beispiel der elektrischen Aggregate oder des Fahrwerks gegen Wasser und Korrosion.

### e) Rundlauf

Der Rundlauf (Bild 9) stellt eine spezielle Art der Marterstrecke für Dauerprüfungen aller Art von gezogenen Landmaschinen dar. Durch die Einsparung des Schleppers wird der Versuchsmonteur keiner körperlichen Belastung mehr ausgesetzt, sondern übernimmt nur noch Kontrollfunktionen oder kann vorübergehend eingespart werden. Für besondere Verhältnisse lassen sich im Rundlauf beliebige Hindernisse, wie sie bei der Hindernisstrecke beschrieben sind, einbauen.

## 3. Felderprobung

Bei der Felderprobung steht die Funktionsprüfung im Vordergrund. Bei einer guten Prüfstands- und Prüfstreckenerprobung können sich Festigkeits- und Verschleißerprobung nur noch auf Bestätigungsversuche beschränken. Die Funktionserprobung muß aber mit aller Gründlichkeit durchgeführt werden. Dabei ist besonders darauf zu achten, daß die Einsätze auf großen Versuchsflächen erfolgen, um geringe Leerzeiten und lange Arbeitszeiten unter gleichen Bedingungen zu bekommen. Durch Standortwechsel entsprechend der Erntezeit-Verschiebung lassen sich sehr lange Einsatzperioden erreichen. Der Feldeinsatz unter rauen Bedingungen ermöglicht die schnelle Ermittlung der Grenzen. Auch muß die oft zu erwartende schlechte Wartung berücksichtigt werden. Die genaue Erfassung aller Betriebsdaten und Beobachtungen in einem Versuchsprotokoll, das durch Tabellen, Diagramme und fotografische Aufnahmen ergänzt wird, sollte als selbstverständlich gelten.

Die wirtschaftliche Auswirkung der Erprobung und deren Verkürzung macht sich in den Kostenkonten der Firmen bemerkbar. Der prozentuale Anteil der Entwicklungskosten an den Gesamtkosten einzelner Maschinen schwankt zwischen 1% und 10%.



Bild 9: Prüfstrecke für Rundlauf

Leider stehen allgemeine Zahlen über das Verhältnis dieser Entwicklungskosten zu den anfallenden Garantiekosten nicht zur Verfügung, da sie bei den einzelnen Fabriken und den verschiedenen Maschinen stark variieren. Erreicht werden muß eine einwandfreie Zielsetzung der Konstruktion und eine systematische Durchführung und Erprobung.

Wenn dieses Ziel unter nicht zu großem Zeitaufwand erreicht wird, dürfte die wirtschaftliche Seite des Problems gelöst sein.

### Zusammenfassung

Es werden die verschiedenen Möglichkeiten der Erprobung neuer Landmaschinenkonstruktionen vor dem eigentlichen Serienanlauf erörtert. Hierbei werden die Methoden hervorgehoben, die eine Verkürzung der Probezeiten gestatten; das sind insbesondere die Erprobung auf dem Prüfstand, auf Prüfstrecken und in Form von Feldversuchen. Die Prüfstand-Erprobung stützt sich in der Hauptsache auf Festigkeits- und Verschleißprüfungen, wobei in der Regel Dauerversuche unter möglicher Annäherung an die aus Erfahrungswerten gewonnenen Betriebsbelastungen durchgeführt werden. Aber auch Funktionsprüfungen können im Labor vorgenommen werden, wobei unter Umständen die technologischen Gesetzmäßigkeiten noch besser erfaßt werden können als im praktischen Einsatz der Maschinen.

Auch die Prüfstrecken-Erprobung beruht im wesentlichen auf Festigkeits- und Verschleißprüfungen. Es werden die verschiedenen Arten der Prüfstrecke (Marterstrecke, Sand-, Schlamm- und Wasserstrecke, Rundlauf) beschrieben. Bei der Felderprobung steht die Funktionsprüfung im Vordergrund.

Die Meßmethoden für die einzelnen Erprobungsarten werden erläutert. In der Hauptsache werden elektronische Meßgeräte in Form von Oszillografen, Direktschreibern und Klassiergeräten eingesetzt. Außerdem werden auch Filmkameras mit Zeitdehner-einrichtung und Stroboskope, insbesondere bei der Funktionsprüfung und Erforschung der technologischen Vorgänge, verwendet.

Abschließend wird die wirtschaftliche Bedeutung der Verkürzung der Probezeit hervorgehoben.

### Résumé

Wilfried Fahr: "Economic Importance and Possibilities of a Shortened Testing Period with Agricultural Machinery."

The various possibilities of testing new designs of agricultural machinery before they are produced in series are discussed. Special mention is made of those methods which permit a shortening of the testing period. There are above all test-stand trials, test-distance experiments and field trials. The test-stand trial consists chiefly of strength and wear tests, whereby, as a rule, continuous experiments are made with working loads approaching as much as possible those obtained from empirical values. However, also operational tests can be carried out in the laboratory, the technological interrelationships being possibly determined more exactly than during the practical application of the machines.

The test-distance trial, too, is based mainly on strength and wear tests. The various kinds of test distances (extremely bad distance, sandy, muddy and water distance, circular course) are described. In field trials the operational testing is of prime importance.

The measuring methods for the individual kinds of testing are explained. Electronical measuring instruments in the form of oscillographs, direct recorders and classifying devices are chiefly used. Moreover, also slow motion cameras and stroboscopes are employed, particularly in operational tests and for investigating technological processes.

In conclusion the economic importance of a shortened testing time is pointed out.

Wilfried Fahr: «L'importance économique et les possibilités d'un raccourcissement du temps d'essai des machines agricoles.»

On discute les différentes possibilités d'essai de nouvelles machines agricoles avant de commencer la fabrication en série proprement dite. On examine en particulier les méthodes qui permettent de réduire la période d'essai. Il s'agit surtout des essais au banc, des essais sur pistes d'essai et des essais pratiques dans le champ. Les essais

### Übersetzungen von DIN-Normen

Die heutige Entwicklung in der Technik ist durch eine ständig wachsende internationale Verflechtung gekennzeichnet. Vonseiten der Industrie besteht daher ein reges Interesse, die deutschen Normen im Ausland — insbesondere in den entwicklungsfähigen Ländern — mehr als bisher bekannt zu machen.

Allen Angeboten und Lieferverträgen, denen DIN-Normen zugrunde liegen, werden bereits in steigendem Maße Übersetzungen dieser Normen beigegeben, um die internationale Verständigung zu erleichtern.

Auch die entwicklungsfähigen Länder haben sich wiederholt an den DNA gewandt, die wichtigsten deutschen Normen in englischer, französischer oder spanischer Sprache herauszugeben, um damit die Möglichkeit zu erhalten, eigene Normen nach deutschem Vorbild aufzubauen und nach deutschen Normen zu bestellen.

Auf Grund dieser von den verschiedensten Seiten geäußerten Wünsche hat sich der DNA seit einiger Zeit dieser neuen Aufgabe angenommen und zahlreiche DIN-Normen übersetzen lassen.

Zur Zeit liegen insgesamt etwa 2400 Übersetzungen vor, davon in englischer Sprache etwa 1400, in spanischer Sprache etwa 800 und in französischer Sprache etwa 200.

Die Verzeichnisse der Übersetzungen

English Translations of German Standards,  
Traducciones Espanolas de Normas Alemanas,  
Traductions Françaises des Normes Allemandes

werden kostenlos abgegeben. Weitere Auskünfte erteilt das Übersetzungsbüro des DNA, 1 Berlin 15, Umlandstr. 175.

---

*au banc comportent surtout des essais de résistance mécanique et d'usure. On entreprend généralement des essais prolongés en reproduisant autant que possible les valeurs des efforts subis pendant l'utilisation pratique. Mais il est également possible d'effectuer des essais fonctionnels au laboratoire qui permettent souvent une étude plus précise des lois technologiques que les essais pratiques.*

*Sur les pistes, on effectue surtout des essais de résistance et d'usure. On décrit les différents types de piste (piste de torsure, piste de sable, de boue et d'eau, piste circulaire). Dans le champ, on effectue en premier lieu des essais fonctionnels.*

*On expose ensuite les méthodes de mesure utilisées pour les différents types d'essai. On utilise surtout des appareils de mesure électroniques comme par exemple des oscillographes, des enregistreurs et des appareils de classification. On utilise en outre des caméras cinématographiques pourvues de système de ralenti et de stroboscopes pour l'essai fonctionnel et l'étude des phénomènes technologiques.*

*On souligne enfin l'importance économique du raccourcissement de la période d'essai.*

Wilfried Fahr: «Importancia económica y posibilidades de abreviar el tiempo de pruebas de las máquinas agrícolas.»

Se examinan los diferentes procedimientos de ensayar las nuevas máquinas agrícolas que se efectúan con anterioridad a la fabricación en serie y se hacen resaltar los métodos que permiten abreviar el tiempo que suele invertirse en tales pruebas, o sea en los ensayos en el banco de pruebas, recorridos de ensayo y pruebas en el campo. El objeto principal de las pruebas en el banco es el de comprobar la resistencia de las piezas y sus condiciones de desgaste, se ejecutan generalmente las marchas de duración a base de los valores y de las cargas de servicio, adquiridas por la experiencia. Pero en el laboratorio pueden efectuarse también pruebas de funcionamiento, pudiendo darse el caso de que las reglas tecnológicas pueden apreciarse así mejor que en el empleo práctico de las máquinas.

El objeto principal de las marchas de ensayo es también la comprobación de la resistencia y del desgaste. Se describen las diferentes clases del trayecto de ensayo (trayecto de tormento, arenoso, fangoso, de agua y el circular). En los ensayos que se efectúan en el campo, la comprobación del funcionamiento es la que interesa en primer lugar. Se dan detalles de los diferentes métodos de medición para las pruebas, en las que se emplean principalmente aparatos de medición electrónicos, como oscilógrafos, registradores directos y aparatos clasificadores. Además se emplean máquinas fotográficas de película con dispositivo retardador y estroboscópios, con preferencia en las pruebas de funcionamiento y para la investigación de fenómenos tecnológicos.

Para terminar se considera la importancia económica del acortamiento del tiempo de pruebas.