

LANDTECHNISCHE FORSCHUNG

HERAUSGEBER: LANDMASCHINEN- UND ACKERSCHLEPPER-VEREINIGUNG IM VDMA

Heft 3/4-1971

München

19. Jahrgang

Aufnahme und Auswertung von Belastungsverläufen in Schleppertriebwerken

Hans Kühlborn

Institut für Betriebstechnik FAL, Braunschweig-Völkenrode

Die fertigungsgerechte Gestaltung und optimale Werkstoffausnutzung sind Forderungen, die verstärkt im Landmaschinenbau beachtet werden. Eine derartige Entwicklung setzt allerdings voraus, die bisher benutzten Sicherheitsfaktoren zur Dimensionierung der Bauteile durch beanspruchungsgerechtere Bewertungskriterien zu ersetzen. Auf diese Notwendigkeit haben bereits mehrere Verfasser hingewiesen [1...5].

Für verschiedene Landmaschinen wurden Belastungskollektive aufgenommen, die zur Ermittlung der Betriebsfestigkeit benötigt werden [6...10]. Diese Bewertungsmöglichkeit ist insofern vorteilhaft, als durch den verstärkten Einsatz von Computern in den Entwicklungs- und Forschungszentren der Industrie die Verarbeitung und Auswertung der in großer Zahl anfallenden Meßergebnisse in kurzer Zeit durchgeführt werden kann. Durch diese modernen Hilfsmittel erreichen die Meßergebnisse sehr schnell den Konstrukteur, der gegebenenfalls erforderliche Gegenmaßnahmen und Änderungen vornehmen kann.

Als mögliche Erweiterung dieses Fragenkomplexes ist der vorliegende Beitrag anzusehen, in dem versucht wird, die Aufnahme und Auswertung von Belastungsverläufen in Schleppergetrieben durch die Verwendung einer Hybridrechenanlage aufzuzeigen. Einem späteren Beitrag bleibt die ausführliche Erläuterung der erzielten Versuchsergebnisse vorbehalten.

1. Einleitung

Die Aufgabenstellung der vorstehenden Arbeit gliedert sich in zwei Hauptpunkte auf.

1. Aufnahme der Belastungsverläufe in den Antriebswellen eines Schleppergetriebes höherer Leistungsklasse¹⁾ in Abhängigkeit wichtiger landwirtschaftlicher Arbeiten.
2. Verzweigung der Beanspruchungsgrößen innerhalb des Getriebes zur genauen Bestimmung des Leistungsflusses.

Durch die Registrierung der Momentenbelastung aller wichtigen Antriebswellen bei verschiedenen Arbeitsgängen wird das Gesamtkollektiv der Betriebsbeanspruchungen ermittelt, das zur Grundlage der Dimensionierung herangezogen wird.

Die Ermittlung des Leistungsflusses ergibt die Aufteilung der Antriebsleistung auf Vorder- und Hinterradantrieb. Dadurch können eventuell Rückschlüsse auf die Konstruktion des Schleppers gezogen werden, die unter anderem die Probleme der Gewichtsverteilung klären helfen.

Des weiteren können die Wirkungsgrade des Getriebes sowie die der Triebreifen aufgrund der Messung der verschiedenen Leistungsanteile unter praktischen Einsatzbedingungen ermittelt werden. Die Bedeutung derartiger Kennwerte wurde bereits bei der Berechnung der erforderlichen Motorleistung erkennbar, die bei der Auswahl eines Schleppers von großem Interesse ist [11].

2. Versuchsdurchführung

Da das Pflügen ein sehr wichtiger landwirtschaftlicher Arbeitsgang für Schlepper größerer Leistungsstärke ist, wurde es den Versuchen zugrunde gelegt. Die Messungen wurden bei unterschiedlichen Antriebszuständen, Hinterrad- und Allradantrieb, durchgeführt.

Aufgrund der beschränkt vorhandenen Aufnahmekanäle des verwendeten Magnetbandgerätes konnten nur die Meßdaten der am Schlepper angebrachten Meßstellen aufgenommen werden, während die Meßwerte von den Arbeitsmaschinen nicht aufgezeichnet wurden. Diese Messungen werden bald durch die Verwendung eines größeren Gerätes nachgeholt. Damit ist es möglich, den Wirkungsgrad der Leistungsübertragung vom Motor zur Arbeitsmaschine zu bestimmen.

3. Getriebeaufbau und Meßstellenanordnung

Als Versuchsschlepper wurde ein 95-PS-Allrad-Schlepper eingesetzt, bei dem wahlweise der Vorderradantrieb ein- und ausgeschaltet werden kann. In Bild 1 ist das Getriebschema des verwendeten Schleppers dargestellt. Die eingetragenen Zahlen geben die Zähnezahlen der Zahnradpaarungen wieder, aus denen die Übersetzungen ermittelt werden können.

¹⁾ Der Firma Motorenfabrik Anton Schlüter sei an dieser Stelle für die Bereitstellung eines Versuchsschleppers gedankt (Allradschlepper 95 PS)

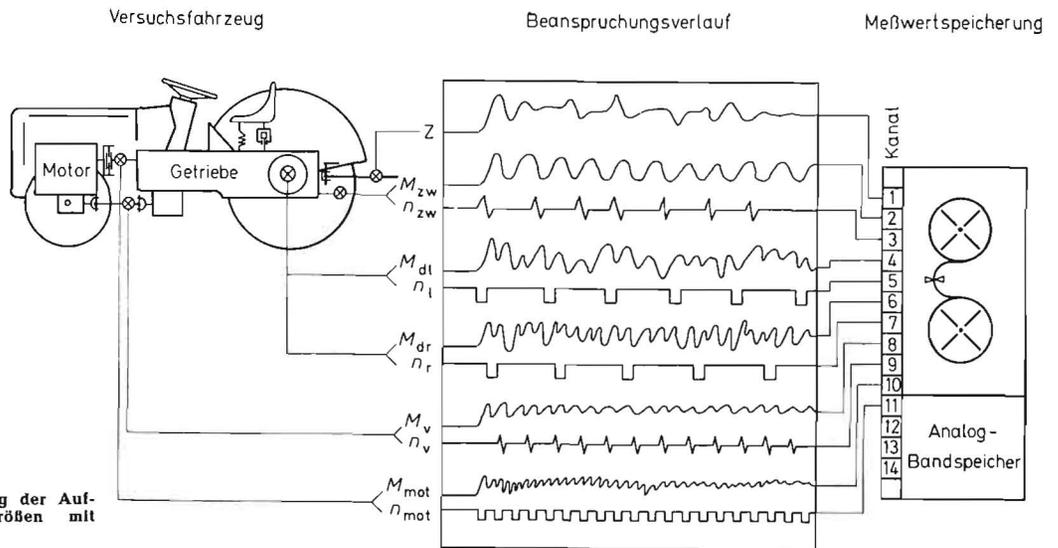


Bild 4: Schematische Darstellung der Aufnahme der Beanspruchungsgrößen mit einem Analog-Magnetbandgerät

Als weitere Meßgrößen wurden die Beanspruchungen in den beiden hinteren Seitenwellen registriert²⁾. Mit der gleichzeitigen Ermittlung der Drehzahlen kann die Leistung berechnet werden. Ferner ist damit die Aufteilung der Leistung auf Vorder- und Hinterradantrieb sowie die Berechnung des Getriebewirkungsgrades möglich.

Die eben erwähnte Aufteilung der Leistung setzt die Berücksichtigung der Vorderradleistung voraus, die durch Messung des Momentes und der Drehzahl der Zwischenwelle bestimmt werden kann. Sofern außerdem die Antriebsleistung einer Arbeitsmaschine ermittelt wird, läßt sich zusätzlich der Wirkungsgrad der Leistungsübertragung durch die Reifen berechnen.

Bei Berücksichtigung der bisher erwähnten Beanspruchungsgrößen ergeben sich mit der Registrierung von Zugkraft und Fahrgeschwindigkeit zwölf Meßwerte. Da für die Versuche nur ein Magnetbandgerät mit sieben Aufnahmekanälen zur Verfügung stand, mußte eine Auswahl der zu messenden Größen getroffen werden. Unter anderem wurde auf die Registrierung einiger Drehzahlen sowie der Antriebsleistung des Arbeitsgerätes verzichtet. Schwerpunktmäßig wurden die Momentenverläufe der Seitenwellen, der Zwischenwelle zur Vorderachse und der Motorwelle gespeichert, weil diese Werte für die Auslegung eines Schleppergetriebes von großer Bedeutung sind.

4. Auswertung

Da bei der Aufnahme und Auswertung von Lastkollektiven stets wiederkehrende Probleme auftreten, sind EDV-Anlagen bestens geeignet, derartige Aufgaben zu lösen. Bei den erwähnten EDV-Anlagen handelt es sich vorwiegend um Digitalrechner, während die Versuchsdaten fast ausschließlich in analoger Form anfallen und gespeichert werden. In Bild 4 ist dieser Zusammenhang dargestellt, bei dem die analogen Meßwerte, vom Versuchsschlepper kommend und dem aufgezeigten Beanspruchungsverlauf folgend, auf einem Magnetband gespeichert werden.

Aufgrund des unterschiedlichen Charakters der vorliegenden und zu verarbeitenden Meßwerte ist eine direkte Koppelung von Analogbandgerät zum Digitalrechner nicht unmittelbar möglich. Zwischen beiden Einheiten muß ein Konverter geschaltet werden, in dem eine Umwandlung der analogen Daten erfolgt. Im linken Teil von Bild 5 wird die Umwandlung und Auswertung der Meßdaten von einem Hybridrechner durchgeführt. Bei der im rechten Teil dargestellten Anlage erfolgt die Konvertierung von einem gesonderten,

vorgeschalteten Wandler. Die digitalisierten Daten werden nachfolgend vom Digitalrechner nach bereits vorliegenden Programmen verarbeitet.

Die mehrfach erwähnte Konvertierung der Meßwerte ist schematisch in Bild 6 wiedergegeben. Die analoge, sich über der Zeit kontinuierlich ändernde Meßgröße wird mit einer sehr kleinen Abfragefrequenz Δt in diskrete Meßpunkte der rechts in Bild 6 stehenden Tabelle überführt. Entsprechend sind Frequenzzähler vorhanden, die zur Verarbeitung von Drehzahlimpulsen geeignet sind.

5. Klassiermethode

Aufgrund der vorliegenden Programme wurde der Beanspruchungsverlauf nach der Methode der „Überschreitungshäufigkeit“ ausgewertet. Wie aus Bild 7 dabei hervorgeht, werden beim Lastanstieg die Klassengrenzen des steigenden Kurvenastes registriert, während beim Lastabfall die Klassengrenzen im negativen Bereich ermittelt werden.

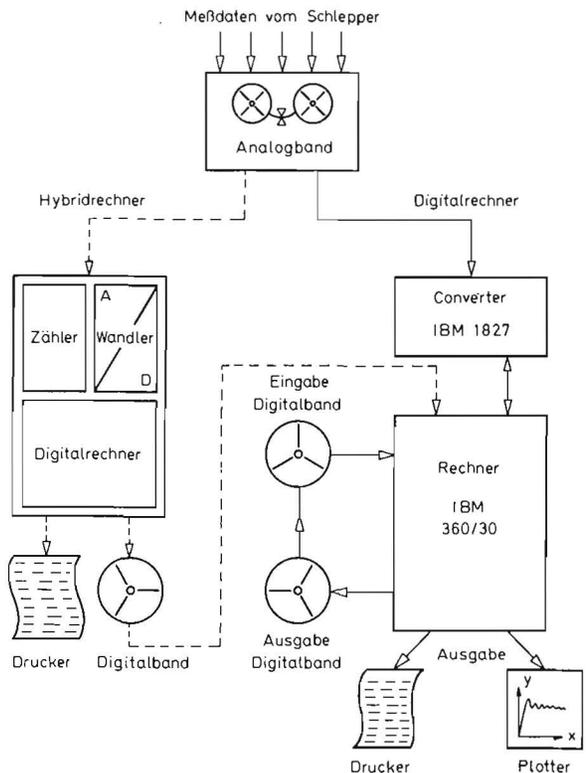


Bild 5: Konvertierung und Auswertung der Meßdaten
links: mit einem Hybridrechner; rechts: mit einem Digitalrechner nach [12]

²⁾ Die Firma ZF-Friedrichshafen unterstützte diese Arbeit einerseits durch die meßtechnische Herrichtung der beiden Seitenwellen, andererseits durch die Bereitstellung der Programme, nach denen die Auswertung auf einer Hybrid-Rechenanlage der Firma Dornier durchgeführt wurde

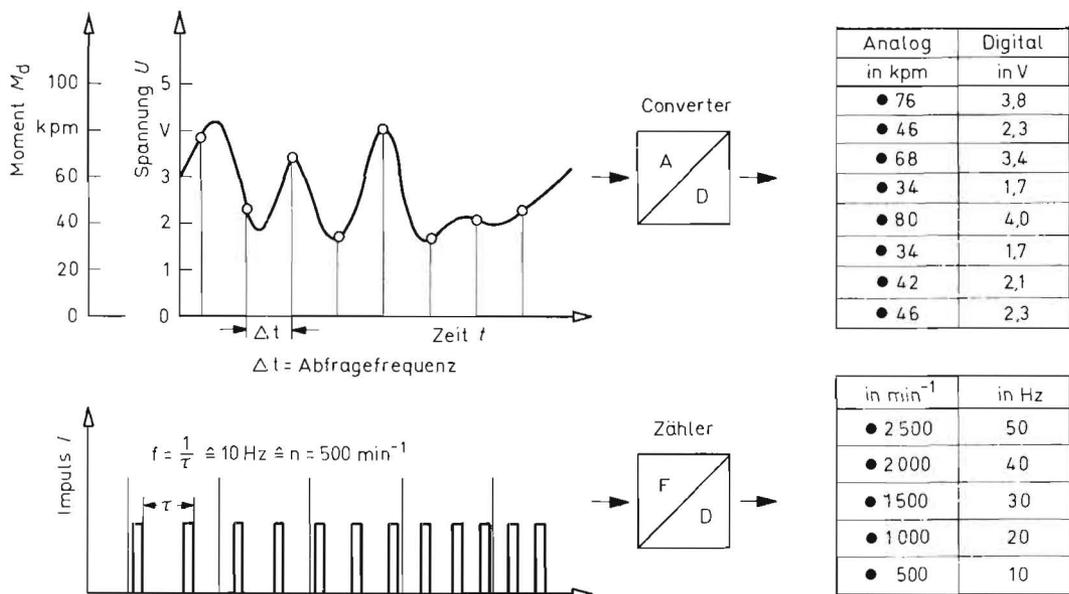


Bild 6: Darstellung analoger Meßdaten und deren Konvertierung

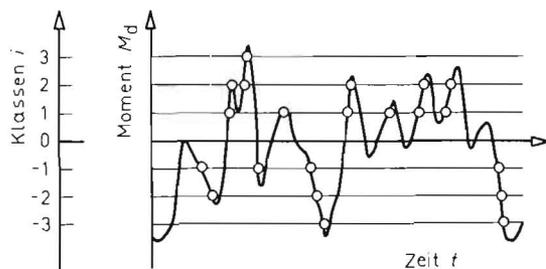


Bild 7: Auswertung des Beanspruchungsverlaufes nach der Methode der Überschreitungshäufigkeit (level crossing counting)

Die Ergebnisse stehen sowohl in Form von Tabellen als auch in Histogrammen zur Verfügung. Wie aus den Tabellen hervorgeht, werden außer der relativen und absoluten Verteilungsdichte je Klasse die Anzahl der untersuchten Punkte, der lineare Mittelwert, der Effektivwert sowie die Streuung und der Maximalwert ausgedrückt.

Die Einteilung des Beanspruchungsverlaufes wird in jeweils 20 Klassen — für positive und negative Meßwerte — vorgenommen.

Mit Hilfe der Zeit pro Klasse und der Häufigkeit der Amplitudenüberschreitung kann die mittlere Verweildauer einer Wechsellast in einem bestimmten Bereich berechnet werden.

6. Versuchsergebnisse

Um eine größere Sicherheit in den Aussagen der Versuche zu erhalten, wurden die Versuchszeiten auf über 30 Minuten ausgedehnt. Damit war aber auch schließlich der Einsatz von EDV-Anlagen erforderlich, da nur noch mit Hilfe dieser Maschinen derartig viele Meßwerte verarbeitet werden können.

Die Pflugversuche wurden mit einem 3-Schar-Anbau-Beetpflug auf einem Rübenacker durchgeführt. Die Pflugtiefe betrug 25 cm. Der Wassergehalt des Bodens lag bei 14 % an dem Furchengrund und stieg auf 18 % an der Bodenoberfläche an. Der Porenanteil bewegte sich zwischen 34 und 37 %.

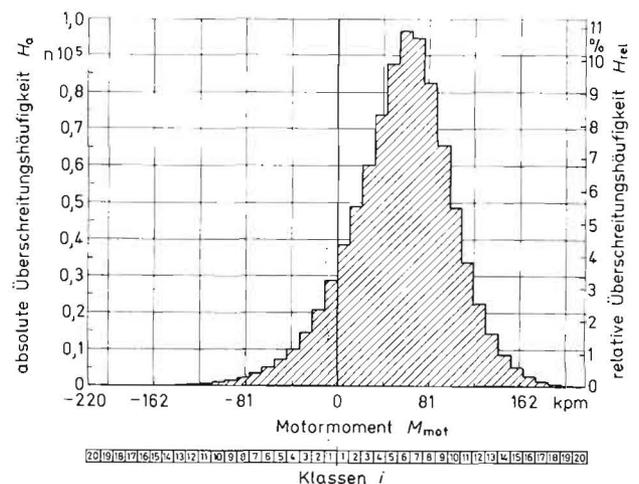


Bild 8: Überschreitungshäufigkeit des Motormomentes beim Hinterrad-antrieb

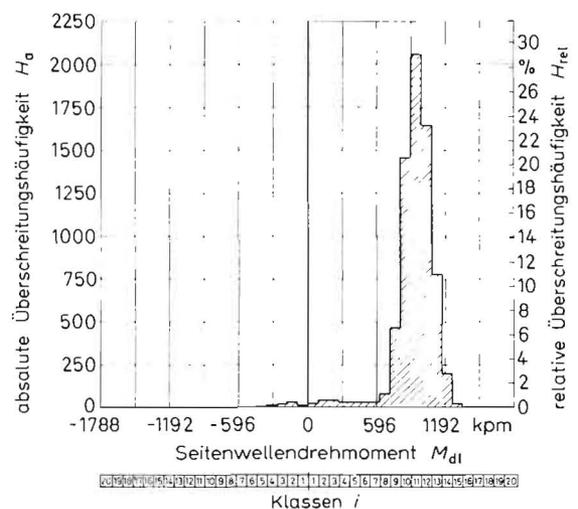


Bild 9: Überschreitungshäufigkeit des linken Seitenwellendrehmomentes beim Hinterradantrieb

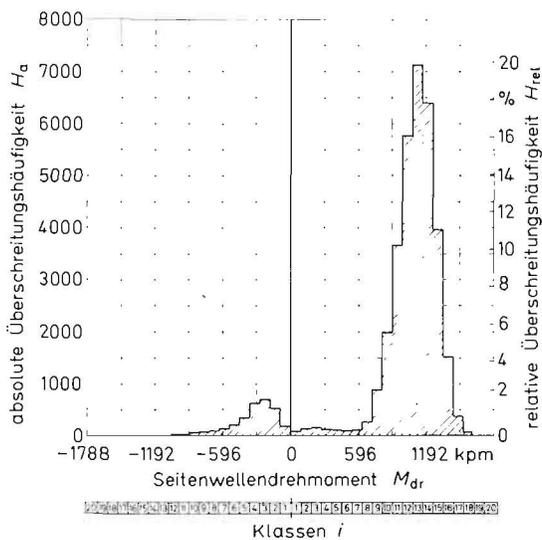


Bild 10: Überschreitungshäufigkeit des rechten Seitenwellendrehmomentes beim Hinterradantrieb

6.1. Versuch Nr. 1

Im ersten Versuch wurde der Schlepper mit Hinterradantrieb gefahren und das Motormoment M_{mot} sowie die beiden Seitenwellendrehmomente M_{dl} und M_{dr} registriert. Die Versuchsdauer betrug $T_{vers} = 2316$ s.

In den Bildern 8 bis 10 ist die Verteilungsdichte der Bereichsüberschreitungen aufgetragen. Ein Vergleich des Bildes 8 mit Bild 9 und 10 läßt erkennen, daß das Motormoment durch die wesentlich größere Überschreitungshäufigkeit hochfrequenter verläuft als die beiden Seitenwellendrehmomente. Die Funktion der Überschreitungshäufigkeit von M_{mot} folgt einer Glockenkurve.

Wesentlich niedriger ist die Anzahl der beanspruchten Klassen der beiden Seitenwellendrehmomente. Sie erreichen zwar untereinander dieselben Amplitudenwerte an der oberen Grenze, lassen jedoch auch sehr deutlich einen Unterschied in der absoluten Häufigkeit erkennen. Obwohl beide Momentverläufe über derselben Zeitdauer registriert wurden, erreichen die Häufigkeitswerte der linken Seitenwelle nur etwa den dritten Teil der Werte von der rechten Seitenwelle. Hierfür bietet sich die Erklärung an, daß der Bodenzustand in der Furche wesentlich unnachgiebiger ist als die Ackeroberfläche, die aufgrund ihrer größeren Nachgiebigkeit bei auftretenden Kraftspitzen verstärkte Dämpfungseigenschaften besitzt. Während deshalb beim Furchenrad die Momentspitzen nicht sehr gedämpft werden, tritt am Landrad aufgrund der eben dargelegten Eigenschaft eine wesentlich höhere Dämpfung der Lastspitzen auf und somit auch eine Senkung der Überschreitungshäufigkeit.

Die Auftragung der Zeitanteile je Klasse in den Bildern 11 bis 13 läßt eine entsprechende Form der Verteilungsfunktionen erkennen. Auch hier verlaufen die Zeitanteile je Klasse für die beiden Seitenwellen in einem eng begrenzten Momentbereich.

6.2. Versuch Nr. 2

Im zweiten Versuch wurde der Schlepper im Allradbetrieb berücksichtigt. Es wurden wiederum die beiden Seitenwellenmomente M_{dl} und M_{dr} sowie das Zwischenwellenmoment M_{zw} , das an den Vorderrädern zur Verfügung steht, aufgezeichnet. Grundsätzlich sind dieselben Tendenzen erkennbar, jedoch treten kleine bemerkenswerte Abweichungen (Bild 14 bis 16) auf.

Zunächst kann festgestellt werden, daß die Amplituden der Seitenwellendrehmomente kleinere Werte annehmen.

Diese Erscheinung ist durchaus verständlich, zumal jetzt ein gewisser Teil der Leistung durch die Vorderräder übertragen wird, die hinteren Seitenwellen also entlastet werden. Des weiteren ist bei dieser Antriebsart auch eine größere Überschreitungshäufigkeit der rechten Seitenwelle festzustellen, jedoch nur noch mit dem Faktor 2.

In Bild 16 sind die Beanspruchungen der Zwischenwelle aufgetragen. Bemerkenswert aber auch gleichzeitig unglaublich erscheinen die höchsten negativen Werte, wenn sie auch nur mit einer sehr geringen Häufigkeit auftreten. Da bei den Versuchen stets eine Vorlast vorhanden ist, hervorgerufen durch den mittleren Zugwiderstand, werden derartig große, negative Beanspruchungen unwahrscheinlich.

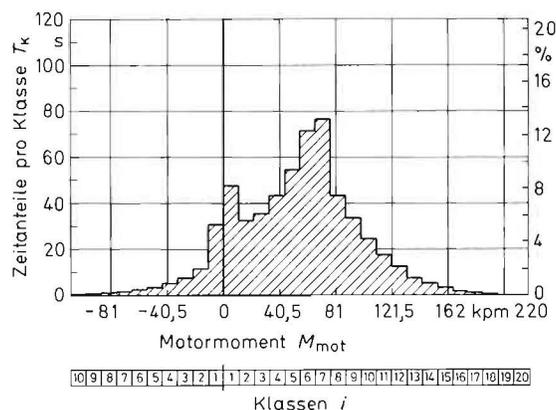


Bild 11: Zeitanteile je Klasse des Motormomentes beim Hinterradantrieb

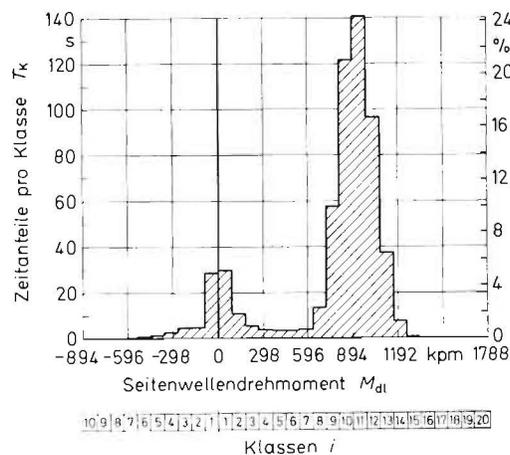


Bild 12: Zeitanteile je Klasse des linken Seitenwellendrehmomentes beim Hinterradantrieb

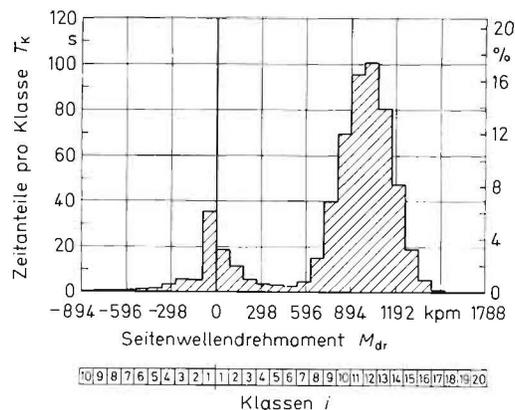


Bild 13: Zeitanteile je Klasse des rechten Seitenwellendrehmomentes beim Hinterradantrieb

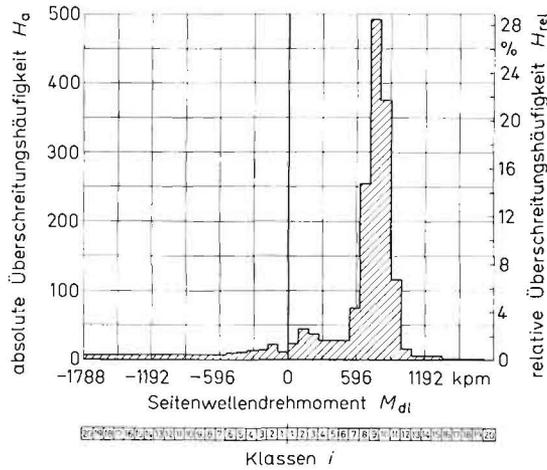


Bild 14: Überschreitungshäufigkeit des linken Seitenwellendrehmomentes beim Allradantrieb

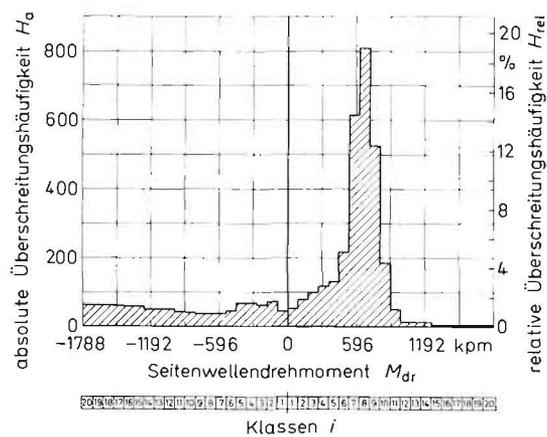


Bild 15: Überschreitungshäufigkeit des rechten Seitenwellendrehmomentes beim Allradantrieb

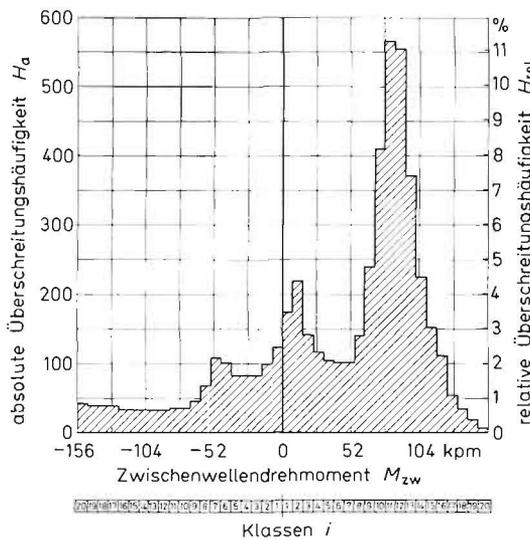


Bild 16: Überschreitungshäufigkeit des Zwischenwellendrehmomentes beim Allradantrieb

Es liegt der Gedanke nahe, daß eine kurzzeitige Störung die Zählung in allen Klassen ausgelöst hat. Diese Möglichkeit wird durch die Darstellungen in den Bildern 17 bis 19, insbesondere von Bild 19 unterstrichen, in denen die Zeitanteile je Klasse aufgetragen sind. Die Werte für den negativen Momentbereich sind zunächst nur bis Klasse 10 dargestellt und erreichen bereits dort keine Anzeige mehr, so daß auch die höchsten negativen Momentenwerte kaum auftreten können.

7. Zusammenfassung

In dem vorliegenden Beitrag wurde die Auswertung von Beanspruchungsverläufen mit Hilfe von EDV-Anlagen beschrieben. Die Vielzahl der anfallenden Daten sowie die stets wiederkehrenden Ausführungen von Anweisungen sind ideale und notwendige Voraussetzungen für den Einsatz moderner Computer. Ein weiterer Vorteil dieser modernen Hilfsmittel ist in der sehr schnellen Information der Konstrukteure und Versuchsingenieure zu sehen, die unter Umständen noch rechtzeitig Eingriffe in eine Entwicklung vornehmen können.

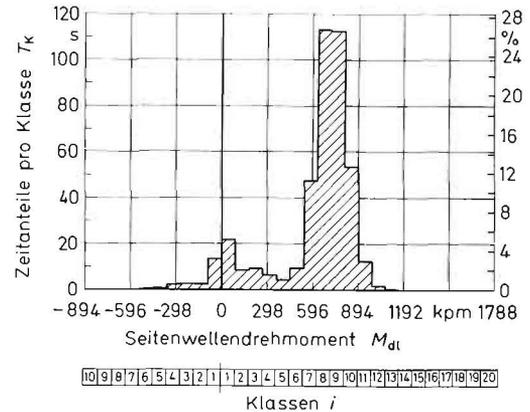


Bild 17: Zeitanteile je Klasse des linken Seitenwellendrehmomentes beim Allradantrieb

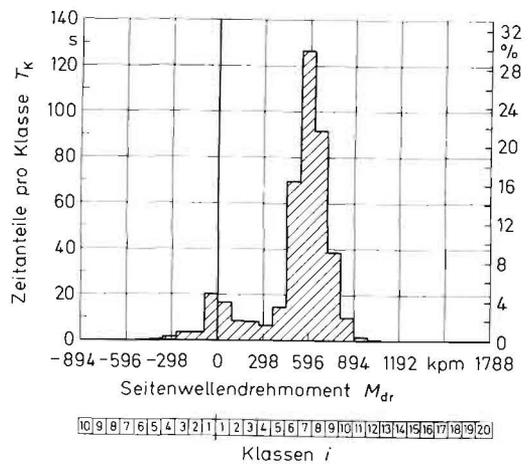


Bild 18: Zeitanteile je Klasse des rechten Seitenwellendrehmomentes beim Allradantrieb

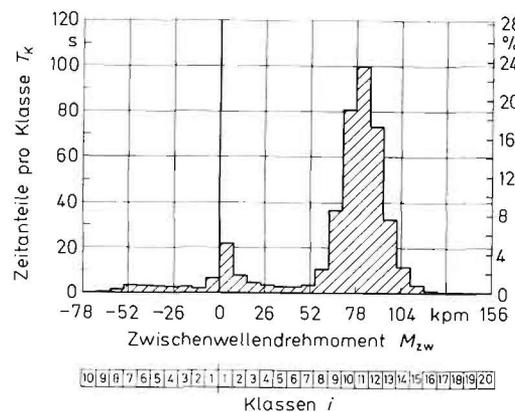


Bild 19: Zeitanteile je Klasse des Zwischenwellendrehmomentes beim Allradantrieb

Der Inhalt des Berichtes beschränkte sich zunächst auf die Beschreibung der zu messenden Beanspruchungsgrößen sowie der erforderlichen Meßstellen in dem verwendeten Schlepper. Neben der Beschreibung der Klassiermethode werden die Zusammenhänge zwischen den anfallenden analogen Meßdaten auf digital arbeitenden Rechenanlagen geklärt.

Die schließlich ausgewerteten Versuche vermittelten erste Angaben über die Beanspruchungsgrößen nach Höhe und Häufigkeit bei unterschiedlichen Einsätzen.

Vorwiegend Schlepper höherer Leistungsklassen bei unterschiedlichen Antriebsverhältnissen — Hinterrad- und Allradantrieb — werden in diesem Zusammenhang beurteilt.

8. Schrifttum

- [1] KLOTH, W. und Th. STROPPEL: Der Energiefluß im Zapfwellenbinder. Technik in der Landwirtschaft 13 (1932) S. 1—8
[2] KLOTH, W. und Th. STROPPEL: Kräfte, Beanspruchungen und Sicherheiten in den Landmaschinen. VDI-Z. 80 (1936) S. 85—92

- [3] GASSNER, E.: Betriebsfestigkeit. Eine Bemessungsgrundlage für Konstruktionsteile mit statistisch wechselnden Betriebsbeanspruchungen. Konstruktion 6 (1954) S. 97—104
[4] EIMER, M.: Möglichkeiten einer festigkeitgerechten Bewertung von Belastungsaufzeichnungen. Landtechn. Forschung 19 (1966) S. 56—62
[5] KAHR, M.: Die Auslegung von Landmaschinenbauteilen nach Lastkollektiven. Landtechn. Forschung 13 (1963) S. 171—179
[6] COENENBERG, H. H.: Dynamische Beanspruchungen von Ackerschleppern. Landtechn. Forschung 11 (1961) S. 145—150 und 12 (1962) S. 7—12
[7] GERLACH, A.: Erfassung der Triebwerksbelastung von Ackerschleppern. Landtechn. Forschung 8 (1958) S. 61—67
[8] GLUTH, M. und H. VOSS: Ein Beitrag zur Frage der Betriebsbeanspruchungen von Feldhäckslerorganen. Landtechn. Forschung 16 (1966) S. 177—182
[9] SACHT, H. O.: Betriebsbeanspruchungen in den Organen einer Hochdruckballenpresse. Landtechn. Forschung 16 (1966) S. 184—188
[10] KÜHLBORN, H.: Beanspruchungen der Antriebsselemente von Schlegelfeldhäckslern. Grundlagen d. Landtechnik 18 (1968) S. 185—190
[11] KÜHLBORN, H.: Der Leistungsbedarf wichtiger Arbeitsmaschinen zur Halmfuttermittelgewinnung (Teil I). Landtechn. Forschung 18 (1970) S. 132—137 und S. 153—164
[12] MAIER, X.: Prozeßsteuerereinheit IBM 1827 für Analogdatenverarbeitung. Interner Bericht der Fa. ZF, Friedrichshafen 1970

Die Kinematographie als Forschungsmittel zur Beurteilung der Einzelvorgänge an Bodenbearbeitungsgeräten

Rolf Engel

Max-Planck-Institut für Landarbeit und Landtechnik, Bad Kreuznach

1. Neue wirtschaftliche und technische Voraussetzungen für die Bodenbearbeitung

Das weitverbreitete Bestreben zur Vereinfachung des Betriebsaufbaus und der Fruchtfolgen lassen Anzeichen zum verstärkten Gareschwund auf einigen europäischen Ackerböden erkennen. Neben pflanzenbaulichen und anderen Gründen ist die Ursache dieser Erscheinung in der Bodenbearbeitung selbst zu suchen. Die veränderten Wirtschaftsformen verkürzen die Zeitspannen für die Bodenbearbeitung und vermindern die Zeit für die Ruhe des Bodens bis zum natürlichen Setzen des Saatbettes. Durch diese veränderten Tatsachen werden heute an Bodenbearbeitungsgeräte bezüglich ihrer Wirkung und ihrer Flächenleistung größere Anforderungen gestellt.

Die heutigen Verfahren der Bodenbearbeitung sind ebenso wie die dazu verwendeten Werkzeuge überwiegend empirisch entstanden und haben, solange es sich um gezogene und nicht selbst angetriebene Geräte handelt, sich im Laufe der Zeit kaum verändert. Dies trifft für die klassischen Bodenbearbeitungsgeräte, den Pflugkörper, die Egge mit starren Zinken — als das bis heute noch verbreitetste Pflugnachfolgegerät — und die Walze, zu. Diese Geräteentwicklungen entstammen aus Zeiten der tierischen Zugkraft. Die höheren Schlepperleistungen und die damit möglichen höheren Arbeitsgeschwindigkeiten der Schlepper haben keine grundlegenden Veränderungen ihrer Bauformen hervorgerufen.

Das eigentliche Ziel der Bodenbearbeitung ist die zweckmäßige Beeinflussung der Bodenstruktur, um den verschiedenen Ansprüchen der Kulturpflanzen gerecht zu werden. Durch veränderte Wirtschaftsformen sind hinsichtlich der Ansprüche an die Geräteformen heute folgende neue Anforderungen erkennbar:

1. Zur Erzielung größerer Leistungen je Arbeitskraft sind größere Arbeitsbreiten, höhere Arbeitsgeschwindigkeiten, bessere Intensität der Werkzeuge und Kopplung von Arbeitseffekten erforderlich.

2. Die kurzen Zeitspannen erzwingen Bodenbearbeitungen unter schwierigen Bedingungen (Nässe oder Trockenheit). Der Bodenschluß für die Saat muß oftmals künstlich geschaffen werden.
3. Der stärker werdende Stroh- und Stoppelanfall verlangt eine intensive Mischarbeit, welche die konventionellen Geräte nur unvollkommen erreichen.
4. Höhere Maschinengewichte und abnehmender Humusgehalt des Bodens bringen für einige Böden eine zunehmende Verdichtung, welche eine gezielte Auflockerung erfordert.

Diese neuen wirtschaftlichen und technischen Voraussetzungen für Bodenbearbeitungsgeräte sind erkennbar und haben in den vergangenen Jahren eine Reihe von Neukonstruktionen hervorgerufen. Es ist in diesem Zusammenhang aber nicht an die größere Arbeitsbreite der Geräte, welche durch die größere Zugkraft und das bessere Hubvermögen der hydraulischen Geräteaushebung ermöglicht wurde, gedacht, sondern an die Bodenbearbeitungswerkzeuge, welche durch die Schlepperzapfwelle angetrieben werden. Hier scheint ein Teil der durch den Boden gezogenen Werkzeuge durch angetriebene rotierende oder sich hinundherbewegende Werkzeuge ersetzt zu werden. Diese Werkzeuge ermöglichen eine bessere Ausnutzung der höheren Schlepperleistungen, indem ein Teil der Motorkraft über die Zapfwelle übertragen wird. Außerdem ist vielfach durch den von der Fahrgeschwindigkeit unabhängigen, meist variierbaren Antrieb der Werkzeuge sicherer der gewünschte Arbeitseffekt zu erzielen und eine bessere Abstimmung auf den herrschenden Bodenzustand zu erreichen.

Die Wirkung aller Bodenbearbeitungsgeräte auf die physikalischen Bodeneigenschaften ist jedoch in gleicher Weise vielgestaltig und erfordert einen differenzierten Einsatz der Werkzeuge. Sowohl für den Einsatz als auch für die Konstruktion von Werkzeugen und Geräten ist eine sichere Kenntnis der Wirksamkeit des Werkzeugs auf den Boden erforderlich. Die meisten bisher verwendeten Meßverfahren für den Bodenbearbeitungseffekt erlaubten nur die Fest-