

Mit diesem Beitrag beginnen wir eine Fortsetzungsreihe, deren erste Serie 6 Teile umfassen wird. Veranlassung dazu gab die mit zunehmender Kompliziertheit der Landtechnik bei Entwicklung und Prüfung immer zwingender und umfassender anzuwendende Meßtechnik und der ständig anwachsende größere Kreis von Ingenieuren, der demzufolge mit diesen Fragen konfrontiert wird. Wenn auch diese Folge speziell den Fragen der Landmaschinenuntersuchungen gewidmet ist, so enthält sie doch viele allgemeingültige Aufgaben der Meßtechnik, deren Beherrschung eine unabdingbare Voraussetzung für eine erfolgreiche Automatisierung ist.

Diese Fortsetzungsreihe kann naturgemäß kein Lehrgang über Meßtechnik sein, sie soll vielmehr einen Überblick und erste Kenntnisse vermitteln, auf vertiefende Literatur verweisen und damit schließlich zu einem gründlichen Studium einzelner Fragen oder des ganzen Gebietes anregen. Da nach Beendigung dieser Folge eine Fortsetzung, voraussichtlich zu speziellen Fragen der Meßtechnik im Instandhaltungswesen, geplant ist, bitten wir um Hinweise und Vorschläge unserer Leser zur weiteren Gestaltung dieser Reihe.

Die Redaktion

1. Zuverlässigkeit der Meßtechnik

Für die Entwicklung und Neugestaltung von Landmaschinen bzw. für deren optimalen Einsatz erweist es sich als immer notwendiger, wichtige Informationen durch meßtechnische Untersuchungen zu erlangen. Als Voraussetzung hierzu bietet die moderne Meßtechnik Methoden und Verfahren, die es gestatten, mit noch vertretbarem Aufwand genügend genaue, ausreichend gesicherte und auswertbare Meßergebnisse zu gewinnen.

Es gibt eine ganze Reihe von Meßverfahren, die zwar unter ganz bestimmten Bedingungen aussagekräftige Ergebnisse liefern, aber das Konstanthalten dieser Bedingungen ist häufig zu schwierig und aufwendig, die Einhaltung der vorgeschriebenen Versuchsbedingungen im Praxiseinsatz nicht möglich. Es kommt dadurch zu schwer oder gar nicht einschätzbaren Meßfehlern, so daß die Ergebnisse keine Aussagekraft besitzen. Deshalb ist eine Analyse der möglichen Meßfehler das Wichtigste einer Messung, wobei in den meisten Fällen nicht nur der unter den technischen Daten eines Meßgerätes angegebene Fehler herangezogen werden darf, sondern es ist zu überprüfen, ob auch die Voraussetzungen für das Einhalten des Fehlers gegeben sind. Diese Nebenbedingungen, die zu Meßfehlern führen können, sind bei Geräten und Verfahren sehr spezifisch, es lassen sich aber auch einige allgemeingültige Kriterien angeben.

1.1. Empfindlichkeit der Meßgeräte

Die Empfindlichkeit, d. h. die Anzeigegrößenänderung (z. B. Zeigerausschlagänderung bei einer Meßwertänderung), muß so groß sein, daß im für die Fehlerangabe gültigen Bereich gearbeitet werden kann. Wird z. B. bei einem elektrischen Anzeigegerät 1 Prozent Fehler angegeben, dann ist der absolute Fehler für das Gerät 1 Prozent vom Skalenendwert, z. B. 1 Prozent von 100 mA gleich 1 mA. Liegt nun aber der angezeigte Meßwert im Bereich bis 10 mA, so ist der wirkliche relative Fehler 1 mA von 10 mA gleich 10 Prozent. Abhilfe ist hier möglich durch Auswahl eines Meßgerätes mit passender Empfindlichkeit oder durch Zwischenschalten von Verstärkereinrichtungen mit Meßbereichswähler.

1.2. Der Einfluß anderer Größen

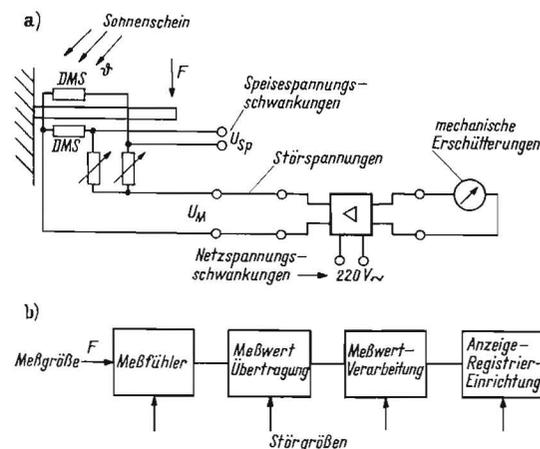
auf den angezeigten Wert ist möglichst auszuschalten, d. h. man muß prüfen, ob die Meßstrecke oder der Meßfühler nur auf die gewünschte physikalische Größe anspricht. Bild 1 zeigt schematisch am Beispiel einer Kraftmessung mögliche

andere Einflüsse. Dazu soll hier nur eine kurze Erläuterung gegeben werden. Beim Wirken der Kraft F auf den eingespannten Biegeträger, auf den zur Messung an der Einspannstelle oben und unten Dehnungsmeßstreifen (DMS) geklebt sind, werden die DMS infolge der Dehnung bzw. Stauchung ihren elektrischen Widerstand verändern. Der gleiche Effekt kann aber auftreten, wenn durch Sonneneinwirkung die Oberflächen des Trägers eine unterschiedliche Temperatur annehmen. Der Meßfühler ist schon mindestens für zwei Größen empfindlich. Die Empfindlichkeit der zur Anzeige der Widerstandsänderung benutzten Brückenschaltung ändert sich mit der Speisespannung U_{sp} , d. h. bei Speisespannungsänderung ist die angezeigte Spannung U_M bei gleicher Meßgröße F nicht mehr konstant. Damit bewirkt eine zweite Störgröße einen Meßfehler. Außerdem können noch weitere Störgrößen auftreten, die z. B. die Übertragungstrecke, den verwendeten Verstärker oder das Anzeigeorgan selbst beeinflussen. Wichtig ist immer die Analyse der Fehlermöglichkeiten, um sie berücksichtigen zu können oder Maßnahmen gegen die Störgrößeneinwirkung (Sonnenschein abschirmen, Konstanthalten der Speisespannung, Abschirmen der Leitungen usw.) zu treffen.

1.3. Unsachgemäßes Bedienen oder Einstellen der Meßgeräte

Welche Fehler hierdurch verursacht werden, hängt stark vom Meßgerätetyp ab, aber auch zu diesem Punkt lassen sich einige allgemeine Ursachen nennen.

Bild 1. Beispiel für das Entstehen von Meßfehlern



* Sektion Landtechnik der Universität Rostock
(Direktor: Prof. Dr.-Ing. habil. CHR. EICHLER)

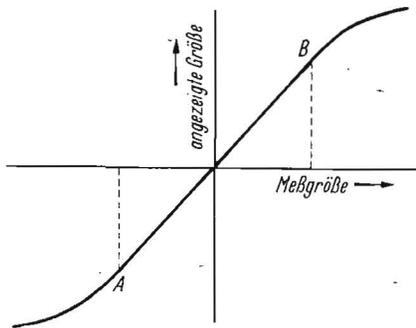


Bild 2. Kennlinie eines Meßsystems, der annähernd lineare Verlauf wird durch die Punkte A und B begrenzt

1.3.1. Übersteuerung des Geräts

Vielfach ist der Bereich einer linearen Kennlinie (Bild 2: A bis B) begrenzt. Beim Überschreiten der Punkte A und B durch den Meßwert tritt eine verfälschte Anzeige auf, wenn die Krümmung unberücksichtigt bleibt. Die Berücksichtigung kann erfolgen bei statischen Messungen, d. h. wenn der Meßwert noch ausreichend lange konstant bleibt, aber bei dynamischen Messungen, d. h. wenn sich der Meßwert zeitlich dauernd verändert, können recht unangenehme Erscheinungen auftreten.

1.3.2. Falsche Nullpunkteinstellung

Solche Fehleinstellungen sind vor allem bei Brückenabgleichgeräten oder Kompensatoren sehr leicht möglich und lassen sich nur vermeiden, wenn man die Bedienungsanweisungen genau beachtet bzw. sich anhand der Funktionsweise über die richtige Einstellung im klaren ist.

1.3.3. Falsches Beurteilen des angezeigten Wertes

Ein Registriergerät zeichnet den zeitlichen Verlauf der Meßgröße auf, es sei denn, das dynamische Verhalten der Meßeinrichtung läßt das nicht zu oder es ist bewußt anders ausgelegt.¹ Anzeigergeräte dagegen sind häufig bewußt so ausgelegt, daß sie von Wechselgrößen, d. h. von sich zeitlich so schnell veränderlichen Größen, daß das Auge oder der Zeiger selbst gar nicht mehr folgen könnte, einen charakteristischen Wert anzeigen. Üblich sind dabei der Spitzenwert und Mittelwerte nach einer besonderen Bewertung; Bild 3 veranschaulicht die Zusammenhänge. Für harmonische Zeitverläufe gibt es noch Umrechnungsmöglichkeiten für die einzelnen Größen, man muß sich jedoch bei jeder Messung im klaren sein, welcher Wert angezeigt und welcher benötigt wird, d. h. ob und — wenn ja — wie noch umzurechnen ist. Für nicht bekannte Zeitverläufe ist die Umrechnung im allgemeinen nicht möglich, nur bei gewissen statistischen Aussagen lassen sich einige Umrechnungen vornehmen. Hier sollte man von vornherein ein Gerät benutzen das den gewünschten Wert anzeigt, bzw. bei der Angabe von Meßwerten dieses Gerät genauer charakterisieren. Besonders wichtig ist das bei Geräten mit spezieller Bewertung, wie z. B. bei Geräuschuntersuchungen, oder beim Arbeiten mit auch in der Landtechnik häufig verwendeten Klassiergeräten, da es hierfür unterschiedliche Verfahren gibt.

¹ s. auch unter 1.4

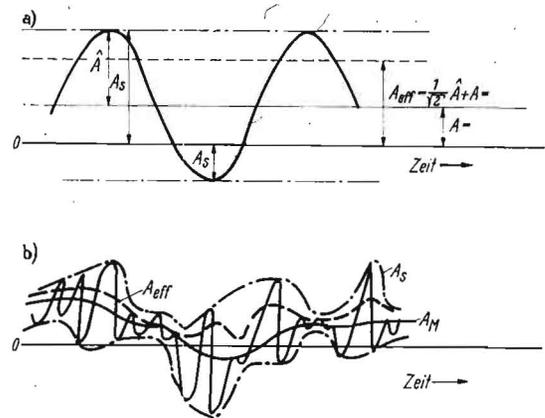


Bild 3. Bezeichnungen und Beziehungen der angegebenen Meßgrößen; A_{eff} Effektivwert (quadratischer Mittelwert), $A_M = A$ arithmetischer Mittelwert, A_S positiver Maximalwert $A_{max} = \hat{A} + A$ und negativer Maximalwert $A_{min} = \hat{A} - A$

1.3.4. Nicht ausreichende Rückwirkungsfreiheit

Verläuft der Prozeß im untersuchten System unterschiedlich mit und ohne Meßeinrichtung, so ist das Meßergebnis dadurch untypisch und auch unbrauchbar. Nur in seltenen Fällen läßt sich eine Umrechnung vornehmen. Man sollte so etwas überprüfen und zu vermeiden suchen.

1.4. Dynamische Fehler

Bei der Messung zeitlich veränderlicher Vorgänge muß man sich immer im klaren sein, ob die Meßeinrichtung die Vorgänge in dieser Form auswerten kann. Das bedeutet z. B. bei einem Registriergerät, ob der Vorgang zeit- und amplitudengetreu aufgezeichnet wird. Viele technische und natürliche Systeme können ab einer bestimmten Geschwindigkeit der Meßwertänderung nicht folgen und es kommt dann zu ganz erheblichen Meßfehlern. Auf die Analyse des dynamischen Fehlers sowie die Verfahren und Methoden einer Verhaltensanalyse kann in diesem Rahmen wegen des erheblichen Umfangs dieser Probleme nicht eingegangen werden, hierzu sei auf die Literatur verwiesen [1] [2] [3]. Dennoch sollte man diese Probleme, auch wenn sie etwas schwieriger zu erfassen sind, niemals außer acht lassen, denn in jüngerer Zeit müssen immer schnellere Zeitvorgänge untersucht werden.

Besonders dynamisches Verhalten ist oft auch die Voraussetzung für die unter 1.3.3 genannten Bewertungen, denn die Mittelwertbildung erfordert eine Integration, was letzten Endes durch das Zeitverhalten der Meßsysteme schon bewirkt werden kann oder durch zusätzliche Maßnahmen geschaffen werden muß. Ob eine wirkliche Integration erfolgt, sollte man durchaus einmal untersuchen, wenn vergleichbare Werte erwünscht sind. So wußte man z. B. bald aus der Erfahrung, daß hydraulische Zugkraftmesser oder Drehmomentmesser nicht den genauen Zeitverlauf registrieren, vermutete aber, daß sich hieraus recht gute Mittelwerte bestimmen lassen, da nur die schnellen Vorgänge schon integriert seien. Daß diese Annahme eigentlich nicht richtig ist, zeigten dann exakte dynamische Untersuchungen an hydraulischen Registriergeräten und Meßwertaufnehmern dieser Art [4].

2. Allgemeine Aussage über Meßmethoden und -verfahren

2.1. Unterscheidungsmerkmale der Meßanlage

Bei einer Messung erfolgt eine Informationsübertragung vom Meßort zum Gehirn des Menschen oder einer Meßwert-

auswerteinrichtung, z. B. in einer automatischen Anlage. Die Informationsaufnahme von Meßdaten erfolgt beim Menschen im allgemeinen durch das Auge, seltener durch andere Sinnesorgane, da hier die quantitative Aussage durch Vergleich infolge fehlender Übung meist schwieriger wird. Die Information ist an Energie gebunden, die z. B. einen Zeigerausschlag, eine Ablenkung eines Registrierorgans oder die Anzeige einer Ziffer bewirkt. Ist der Meßwert der Energie und damit der Auslenkung proportional, spricht man von analogen Meßwerten, wird eine Ziffer angezeigt oder eine Entscheidung über das Erreichen eines Wertes mit ja oder nein getroffen, spricht man von digitaler Form der Meßwerte. Die digitale Meßwertanzeige wird in letzter Zeit immer häufiger verwendet, besonders bei Meßwertweiterverarbeitung durch Maschinen; aber auch wenn es auf höhere Genauigkeiten ankommt, bieten die digitalen Verfahren die günstigeren Möglichkeiten. Der Preis derartiger, noch nicht so weit verbreiteter Anlagen liegt im allgemeinen dann auch höher.

Weitere Unterscheidungsmerkmale der verschiedensten Meßanlagen sind begründet durch die Art der Energie, die als Informationsträger dient. In modernen Geräten kann in seltensten Fällen die Energie der Meßgröße selbst das Anzeige- oder Registrierorgan betätigen oder anderweitig wahrgenommen werden bzw. eine Datenverarbeitungsanlage steuern.

Die Energie der ursprünglichen Meßinformation muß auch vielfach in eine der Meßwertanzeige, -registrierung oder -verarbeitung genehme Form gebracht werden. Oft ist die Energie so gering, daß sie für die gewünschten Effekte nicht ausreicht, weil es entweder das ausgenützte physikalische Gesetz mit sich bringt oder weil bei einem sehr empfindlichen Meßgerät noch kleinste Werte fehlerfrei angezeigt werden sollen, ohne den Prozeß selbst zu stören. Deshalb benutzt man zunächst verschiedenste Formen von Hilfsenergie: elektrische, hydraulische, pneumatische oder auch Kernenergie, elektromagnetische Strahlung (auch als Licht) und anderes mehr.² Man benötigt dann Organe zur Steuerung der Hilfsenergie. Das können sowohl die Meßfühler selbst als auch erst im Verlaufe einer Meßkette eingebaute Organe sein. Diese dienen mitunter nicht nur zur Verstärkung der Meßenergie, sondern auch zur Umwandlung der einen Energieform in eine andere.

2.2. Die Bausteine in einer Meßkette

lassen sich ganz allgemein, unabhängig von ihrer Ausführung und Aufgabe vereinfacht darstellen (Bild 4) und wie folgt zusammenfassen:

- I. Energieumformer oder auch Wandler genannt, in folgenden Ausführungsformen:
 - Meßwertgeber (Beispiel: Thermoelement)
 - Meßwertwandler (Beispiel: Hubmagnet)
 - Anzeige- oder Registriermeßwerk (Beispiel: Bourdonfeder)
- II. Energiesteuerorgane, in folgenden Ausführungsformen:
 - Meßwertfühler (Beispiel: Dehnungsmeßstreifen mit elektrischer Energiezuführung über Brückenschaltung)
 - Verstärker (Beispiele: elektronischer Verstärker) gesteuerte Meßwertwandler (Beispiel: Prallplatte)
- III. Übertragungs- bzw. Bewertungsglieder (Beispiele: Leitungen, Gleichrichter)

Man versucht sich nun auf möglichst wenige Energiearten im Verlaufe einer Meßkette zu beschränken, so daß nur wenige Umformungen durchgeführt werden müssen, z. B. einmal beim Anzeige- oder Registrierorgan. Die dann da-

² s. Beitrag auf S. 212

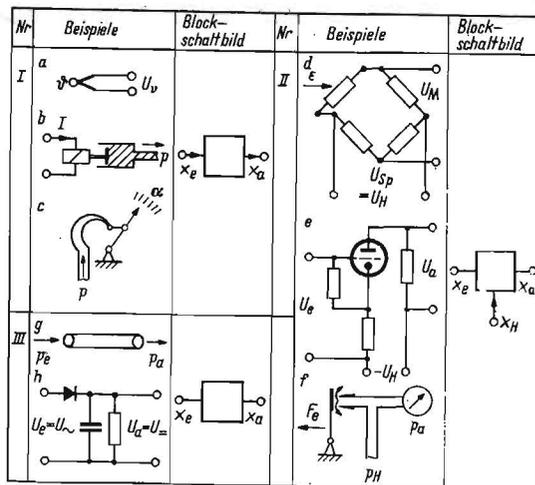


Bild 4. Verallgemeinerte Darstellung verschiedener Systeme innerhalb einer Meßkette; a Thermoelement, b Hubmagnet mit Hydraulikkolben, c Manometer mit Bourdonfeder, d Dehnungsmeßstreifen mit Brückenschaltung, e elektronische Verstärkerstufe, f Prallplatte, g Druckleitung, h Gleichrichter

zwischen liegende Energieform charakterisiert das Meßgerät, z. B. als elektrisches, hydraulisches oder pneumatisches, bei komplizierteren Geräten ist diese Charakterisierung jedoch nicht immer so einfach.

2.3. Vor- und Nachteile der einzelnen Meßgeräte

Die technische Verwirklichung der verschiedensten Energieumwandlungen für meßtechnische Zwecke hat eine Vielzahl unterschiedlicher Meßgeräte hervorgebracht. Bei der Auswahl sollte man die Vor- und Nachteile kennen. Es wird hier versucht, allgemeingültige Aussagen voranzustellen, obgleich das im speziellen Fall anders aussehen kann.

2.3.1. Mechanische Meßgeräte

Hier werden die für die Anzeige- oder Registrierorgane notwendigen mechanischen Bewegungen direkt erzeugt, bei mechanischen Meßgrößen ohne Umwandlung, bei anderen Größen durch Ausnutzen entsprechender physikalischer Effekte (z. B. Wärmeausdehnung). Diese Meßgeräte sind oft einfach aufgebaut und leicht zu handhaben, erreichen aber nicht immer die geforderte Empfindlichkeit und damit auch nicht die Rückwirkungsfreiheit, versagen bei schnelleren Vorgängen und lassen kaum eine Übertragung vom Meßort weg zu. Die derartigen Meßgeräte anhaftenden Mängel haben bewirkt, daß sie bei Landmaschinenuntersuchungen nur noch selten verwendet werden.

2.3.2. Hydraulische und pneumatische Meßgeräte

Vor allem die, wenn auch nur begrenzte, Übertragung der Meßwerte vom Meßort und die Robustheit der Meßwertaufnehmer waren Anlaß für die Entwicklung hydraulischer Meßgeräte zur Messung mechanischer Kräfte und Momente, sie hatten für landtechnische Untersuchungen eine gewisse Bedeutung erlangt. Die Mängel, die in der noch nicht ausreichenden Dynamik und begrenzten Genauigkeit liegen, haben sie jedoch heute schon als Meßgeräte selbst unbedeutend werden lassen. Lediglich im Zusammenhang mit hydraulischen Regelanlagen sind sie noch von Interesse. Ähnlich arbeitende pneumatische Meßverfahren (deshalb der heute gebräuchliche Sammelname „Fluidtechnik“) sind oft empfindlicher, haben etwas bessere dynamische Eigenschaften und lassen auch gute Meßwertverarbeitung zu. Sie haben in anderen Industriezweigen, wie in der Chemie vor allem wegen der Explosionssicherheit, Vorteile und wurden

im Zusammenhang mit weiteren Automatisierungsanlagen in den letzten Jahren stark entwickelt. Für landtechnische Untersuchungen dagegen behindert z. Z. wohl vor allem die nicht sehr bequeme Meßwertübertragung bei Feldversuchen, die nicht ausreichende Dynamik und das Umstellen auf diese neue Technik mit zugehöriger Druckluftzerzeugung noch eine weitere Verbreitung.

2.3.3. Elektrische Meßverfahren

Diese Verfahren sind bei entsprechender Entwicklung für Landmaschinenuntersuchungen die geeignetsten, wenn auch die Hauptnachteile, der oft hohe Preis und die erforderliche besondere Qualifizierung des Bedienungs- und Wartungspersonals, lange Zeit eine weite Verbreitung verhindern konnten. Die bei entsprechender Entwicklung und Handhabung der Geräte voll wirksamen Eigenschaften, die die elektrische Energie bei der Informationsübertragung und -auswertung bietet, sind: hohe Empfindlichkeit und damit Rückwirkungsfreiheit, gute Meßwertübertragung, -verarbeitung, -speicherung, gute dynamische Eigenschaften (auch leicht beeinflussbar), hohe Genauigkeit und gute Reproduzierbarkeit. Wieweit alle Eigenschaften erreicht werden, sofern dies überhaupt notwendig ist, hängt von dem Aufwand für die Entwicklung und Herstellung ab. Auf der anderen Seite wird es auch von den Anwendern der Meßgeräte abhängen, wie sie mit diesen fertig werden, und wie sie zu ihrer Weiterentwicklung beitragen, weshalb ja auch diese Beitragsserie hier erscheint. Die bisher häufig noch problematische Bereitstellung der elektrischen Hilfsenergie ist durch die Transistorisierung der Geräte bzw. auch sonstige Anpassung an die Stromversorgung aus einer Fahrzeugbatterie soweit erleichtert, daß ein Meßgerätewagen mit den entsprechenden

Stromversorgungseinrichtungen nicht mehr unbedingt erforderlich ist, obwohl die anderen Vorteile eines derartigen Wagens für die Beibehaltung sprechen. Die für die Anwendung in der Landwirtschaft sonst zu beachtenden Besonderheiten der einzelnen Meßgerätetypen sollen dann bei den speziellen Darlegungen noch genannt werden.

Es erscheint wegen der genannten Vorteile elektrischer Meßverfahren angebracht, die nachfolgenden speziellen Darlegungen insbesondere diesen zu widmen, zumal andere Meßgeräterearten oft als einfacher angesehen werden. Aber bei der gegenwärtigen Ausbildung (und auch bei der geforderten Weiterbildung) kann man von jedem Ingenieur ein gewisses Maß an Kenntnissen über Elektrotechnik erwarten, so daß diese vorteilhaften Meßverfahren auch breite Anwendung finden werden. Auf der anderen Seite versuchen die Hersteller von Meßgeräten und Hilfsmitteln die Handhabung immer weiter zu vereinfachen. Dennoch sollte man sich wegen der Einschätzung des Meßerfolgs auch gewisse Kenntnisse über die Meßgerätfunktion und die Meßmethodik aneignen. Hierzu soll die Artikelserie beitragen und Anregungen geben.

Literatur

- [1] WOSCIUNI, E.: Meßdynamik. S. Hirzelverlag Leipzig
- [2] OPPELT, W.: Kleines Handbuch technischer Regelvorgänge. VEB Verlag Technik Berlin 1967
- [3] —: Vortragssammlung (Leipziger Frühjahrsmesse 1969) über Meßdynamik. msr (1969) H. 8
- [4] SOUCEK, R.: Die dynamischen Eigenschaften des hydraulischen Drehmomentmeßgeräts Typ C 3 mit Schreibwerk Typ K - 4. Archiv für Landtechnik (1967) H. 1, S. 3 bis 20

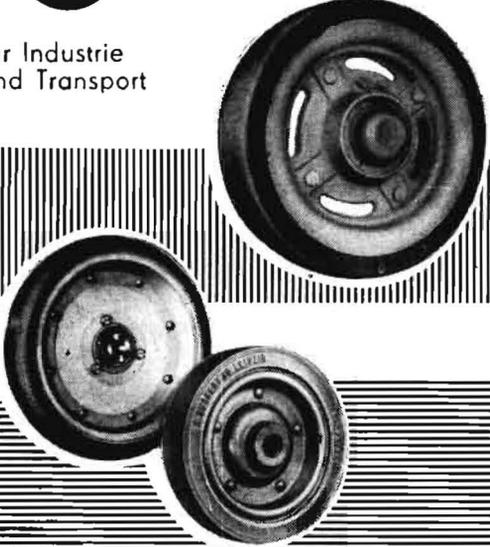
(Forts. folgt)

A 7925/I



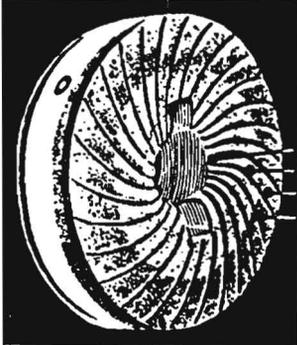
LAUFRÄDER

für Industrie
und Transport



mit Vollgummi-PVC-Hohlkammer- und Schwingmetallbereitung · Ø 50-650 mm · Tragkraft 40-1650 kp.
Bitte fordern Sie Prospektmaterial an!
ARTHUR SUCKERT KG · 705 LEIPZIG
Spezialfabrik für Räder · Mit staatlicher Beteiligung
Stötteritzer Straße 40 · Telefon 60949 · Telegramme Suckerträder

ORANO



Mühlensleine
in allen Größen

Mit

- weichem Herzstück
- Vorschrotbahn
- Feinmahlbahn und
- halbweicher Luftfurche

Deshalb der Schrotstein von höchster Leistung

Folgende Referenzen geben Auskunft über Vorteile und Wirtschaftlichkeit

1. Gebr. Kegler, Mühle, 4804 Eckartsberga
2. LPG „Geschwister Schall“, 193 Wittstock
3. Heinz Ramke, Mühle, 8501 Cossern über Bischofswerda
4. LPG „Ernst Thälmann“, 3601 Veltheim-Osterode

**Fertigung und Reparatur der
Original ORANO-Ilus-Schrotsteine für HSM 55/57.**

ORANO-MÜHLENBAU (13)
Norbert Zwingmann, Mühlenbaumeister
5821 Thamsbrück/Thür.