

zung und Handarbeitszeitaufwand für die Euterreinigung ermittelt. Schlußfolgernd wird unter dem Aspekt der Senkung des Arbeitszeitaufwands und zugleich der Verbesserung der Arbeitsbedingungen in der Milchproduktion eine stärkere Beachtung der Erkenntnisse zur reinheitsgerechten Haltung des Milchviehs bei der Wahl der Aufstallungsform gefordert.

#### Literatur

[1] Thum, E.: Beitrag zur Weiterentwicklung der maschinellen Milchgewinnung. *agrartechnik* 27 (1977) H. 4, S. 166—169.

- [2] Uhmann, F.: Zwischenbericht zu Untersuchungen zur Mechanisierung der Euterreinigung — Studie zur technologischen Einordnung einer mechanisierten Euterreinigung im Karussell- und Fischgrätenmelkstand. Karl-Marx-Universität Leipzig, Sektion Tierproduktion und Veterinärmedizin 1974 (unveröffentlicht).
- [3] Woll, E.: Eine neue tiergerechte und funktions-sichere Gitterrostbauart für Milchviehanbindeställe. *Tierzucht* 25 (1971) H. 8, S. 309—311.
- [4] Lommatzsch, R.: Zum Standlängenproblem im Rinderanbindestall ohne Einstreu. *agrartechnik* 23 (1973) H. 2, S. 73—75.
- [5] Seidemann, R.; Eckstein, W.: Ergebnisse aus

Untersuchungen zu Haltingsfragen in industriemäßigen Milchproduktionsanlagen. *Tierzucht* 28 (1974) H. 12, S. 535—537.

- [6] Autorenkollektiv: Forschungsbericht — Ergebnisse aus der Analyse von Aufstallungs-, Fütterungs- und Haltungsvarianten in der Milchviehhaltung unter Berücksichtigung der Eignung einzelner Verfahren und Teillösungen für künftige MVA. Institut für Rinderproduktion Iden-Rohrbeck der AdL der DDR, 1974 (unveröffentlicht).

A 1801

# Experimentelle Ermittlung der Belastungswerte für die Standausrüstung in Milchproduktionsanlagen

Dipl.-Ing. R. Krone, Technische Universität Dresden, Sektion Kraftfahrzeug-, Land- und Fördertechnik

## 1. Problemstellung

Entsprechend der Direktive des IX. Parteitagess der SED wird die materiell-technische Basis der Landwirtschaft weiter planmäßig entwickelt und ihre Leistungsfähigkeit gesteigert. Der Hauptweg zur Steigerung der Produktion ist die sozialistische Intensivierung [1].

Zur Erhöhung der Effektivität der Milchproduktion sind neben der Errichtung von neuen industriemäßig produzierenden Großanlagen komplexe Rationalisierungs- und Rekonstruktionsmaßnahmen in den vorhandenen Ställen erforderlich, um deren Kapazität zu erweitern und gleichzeitig die Arbeits- und Lebensbedingungen für die dort tätigen Genossenschaftsbauern und Arbeiter zu verbessern [2].

Für die neu zu errichtenden Milchproduktionsanlagen und für die umfangreichen Rationalisierungs- und Rekonstruktionsvorhaben werden u. a. auch neue Standausrüstungen benötigt, die am Gesamtstahlbedarf für die Ausrüstungstechnik einen großen Anteil haben.

Zur Erhöhung der Materialökonomie ist der Stahlbedarf je Tierplatz zu senken. Da bisher keine Schadensfälle, wie unzulässig große Verformungen oder Brüche, an der Standausrüstung in Milchproduktionsanlagen bekannt geworden sind, liegt die Vermutung nahe, daß die Elemente der Standausrüstung überdimensioniert sind. Hohe Materialökonomie kann nur mit einer beanspruchungsgerecht dimensionierten Standausrüstung erreicht werden.

## 2. Ziel der Forschungsarbeiten

Die Standausrüstung ist ein Teil der vom Menschen für die Haltung von Tieren geschaffenen künstlichen Umwelt. Sie dient zur Steuerung des Verhaltens der aufgestellten Tiere, um ein für den technologischen Ablauf optimales Tierverhalten zu erzielen und bietet alle Möglichkeiten zur Ausschöpfung der genetischen Leistungsfähigkeit der Tiere. Die der technologisch erforderlichen Verhaltenssteuerung entgegengesetzten Tierreaktionen sind die Ursache für die an der Standausrüstung angreifenden Tierkräfte. Tiere reagieren auf äußere Einflüsse nicht eindeutig. Ihre Reaktionen lassen sich nur mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit vorhersagen. Tierkräfte

sind deshalb als Zufallsvariable zu behandeln. Bei der Ermittlung der auftretenden Tierkräfte und der die Größe, die Wirkungsrichtung sowie die Häufigkeit des Auftretens beeinflussenden Faktoren ist für die Zufallsvariable Tierkraft die Anwendung der Methoden der mathematischen Statistik erforderlich.

Für die materialökonomisch optimale Dimensionierung der Standausrüstung werden folgende Beanspruchungsnachweise benötigt:

- Statischer Spannungsnachweis
- Ermüdungsfestigkeitsnachweis
- Formänderungsnachweis
- Standsicherheitsnachweis
- Stabilitätsnachweis.

Die Aussagekraft dieser analytischen Nachweise hängt wesentlich von der Genauigkeit der für die Berechnung der Beanspruchungskennwerte benötigten Eingangsgrößen ab. Beispielsweise wird der Ermüdungsfestigkeitsnachweis erst ermöglicht, wenn das Belastungskollektiv gesichert vorliegt. Die an den Bauteilen der Standausrüstung für Kühe bei normalem technologischen Ablauf in der Anlage tatsächlich auftretenden Belastungen sind nicht bzw. noch nicht hinreichend bekannt [3]. Sie können nur experimentell ermittelt werden [4].

Beim statischen Spannungsnachweis wird als Ausgangswert für die Berechnung die maximale Tierkraft benötigt. Ihre Größe läßt sich abschätzen, da sie durch die Reibpaarung Klaue-Stallfußboden begrenzt wird. Die Größe der maximalen Reibkraft ist abhängig von der Masse des Tiers und vom Haftreibungskoeffizienten der Paarung Klaue-Stallfußboden. Experimentelle Untersuchungen von Bähr und Türpitz [5] zur Größe des Haft- und Gleitreibungskoeffizienten auf Stallfußböden zeigten, daß der Haftreibungskoeffizient sich bei der vorliegenden Reibpaarung Klaue-Stallfußboden nicht vom Gleitreibungskoeffizienten unterscheidet und Werte zwischen 0,46 und 0,92 bei den verschiedenen Betonestricharten und Fußbodenzuständen annehmen kann. Wird die maximale Masse einer Kuh mit 700 kg angenommen, so ergibt sich ein Intervall für die maximale Tierkraft von etwa 3 kN bis 6 kN. Untersuchungsergebnisse von Marquardt [6] über die maximale Kraft von Kühen an

Freßgittern liegen im angegebenen Intervall.

Für den analytischen oder experimentellen Ermüdungsfestigkeitsnachweis ist die Kenntnis der Maximalkraft nicht ausreichend. Dazu werden neben den Werkstoffkennwerten noch die Einsatzfälle des Bauteils, die zu den ermittelten Einsatzfällen gehörenden Belastungskollektive, die zeitliche Verteilung der Belastung über die normative Nutzungsdauer und die Belastungsfrequenz benötigt. Diese Kennwerte können experimentell gewonnen werden.

Unter Nutzung der vorhandenen und erprobten Methoden zur Belastungsermittlung ist ein Meßverfahren zu erarbeiten, das die aus der Wechselwirkung zwischen Tier und Standausrüstung resultierenden Besonderheiten berücksichtigt. Meßergebnisse werden benötigt, die mit einem genügend kleinen Meßfehler behaftet sind und statistisch gesicherte Aussagen ermöglichen.

Um eine möglichst große Reduzierung des Stahlaufwands je Tierplatz für die Standausrüstung zu erreichen, müssen die Faktoren ermittelt werden, die die Belastung wesentlich beeinflussen. Sind diese Einflußfaktoren bekannt, so können die Bedingungen angegeben werden, die zu minimalen Tierkräften führen. Das Ziel der Untersuchung besteht darin, die für die materialökonomisch optimale Dimensionierung der Standausrüstung erforderlichen Kennwerte der Belastung zu erarbeiten.

## 3. Untersuchungsmethode

Für die Messung der Betriebsbelastung von Bauteilen ist eine Vielzahl qualitativer und quantitativer Verfahren bekannt. Die an der Standausrüstung angreifende Tierkraft kann nicht direkt gemessen werden, sondern nur über die durch sie hervorgerufenen Materialbeanspruchungen. Nach dem Hookeschen Gesetz ist die Dehnung an der Oberfläche des belasteten Bauteils im elastischen Bereich der am Bauteil angreifenden Kraft direkt proportional. Aus einem Variantenvergleich wurde die elektrische Messung der nichtelektrischen Größe Dehnung mit Hilfe von Halbleiterdehnmeßstreifen aufgrund folgender Vorteile ausgewählt:

- Direkte Messung der Oberflächendehnung

des Bauteils mit kleinem Meßfehler, guter Linearität, sowie guter Temperatur- und Zeitkonstanz bei langer Versuchsdauer durch verstärkerlose Übertragung des Meßsignals über Entfernungen von 300 m bei vernachlässigbar kleiner Übertragungsverzögerung

- selbsttätige kontinuierliche Registrierung des Meßsignals in analoger oder digitaler Form
- leichte Realisierbarkeit der Verknüpfung von Meßwerten
- konstruktiv kleine Gestaltung der Meßstelle ermöglicht die Messung an Originalbauteilen mit hoher Zuverlässigkeit; bei richtiger Gestaltung der Meßstelle wird das Verhalten der Tiere nicht beeinflusst
- gute Verfügbarkeit für Meßgeräte und Zubehör sowie vorhandene Einsatzverfahren.

Bild 1 zeigt im Blockschaltbild die ausgewählten Vorzugsvarianten der Meßkette. Für die Tastversuche wurde die analoge Registrierung angewendet. Die Auswertung der Meßschriebe erfolgte mit dem einparametrischen Auswertungsverfahren „Zählung aller positiven und negativen Spitzen“ (Extremwertzählung), da dieses Auswertungsverfahren die besten Ergebnisse der einparametrischen Verfahren liefert [7].

Da die Belastung der Bauteile aus der Verhaltenssteuerung der Tiere resultiert, unterliegt sie einer Vielzahl von Einflüssen. Man kann nicht alle Einflüsse eliminieren oder konstant halten, um vergleichbare Ergebnisse zu erzielen, da das Feld der Einflußfaktoren gegenwärtig nur durch Analogschlüsse und Erfahrungswerte abzustecken ist. Um die Versuchsdurchführung effektiv zu gestalten, wurde nach den Methoden der statistischen Versuchsplanung gearbeitet [8].

#### 4. Versuchsdurchführung

Die Belastungsmessungen wurden im Milchviehstall der Technischen Universität Dresden unter Produktionsbedingungen durchgeführt. Die im Versuch eingesetzten Kühe der Rasse SR (01) waren auf einem Kurzstand mit Gummimatte und Kotrost aufgestellt. Fixiert wurden sie durch eine Grabnerkettenanbindung. Die Messungen wurden 7 Tage lang ohne Unterbrechung durchgeführt. Die Temperatur im Stall schwankte zwischen 10°C und 18°C.

Tafel 1. Korrelationskoeffizienten  $r_{xy}$  für das Übereinstimmen der Merkmale „Anzahl der Lastspitzen je Stunde“ und „Mittelwert der Kettenzugkraft je Stunde“ zwischen den benachbarten Kühen x und y

Versuchstag	Korrelationskoeffizient $r_{xy}$ für das Merkmal Anzahl der Lastspitzen je Stunde	Mittelwert der Kettenzugkraft je Stunde
1	-0,658	-0,067*
2	0,595	0,392*
3	0,593	0,254*
4	0,891	0,705
5	0,804	0,556
6	0,516	0,550
7	0,490*	0,796
1...7	0,740	0,860

Bemerkung: Alle angegebenen Korrelationskoeffizienten, außer den mit \* gekennzeichneten, sind statistisch gesichert mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit  $\alpha$  von 0,01 (Sicherheitswahrscheinlichkeit 99%)

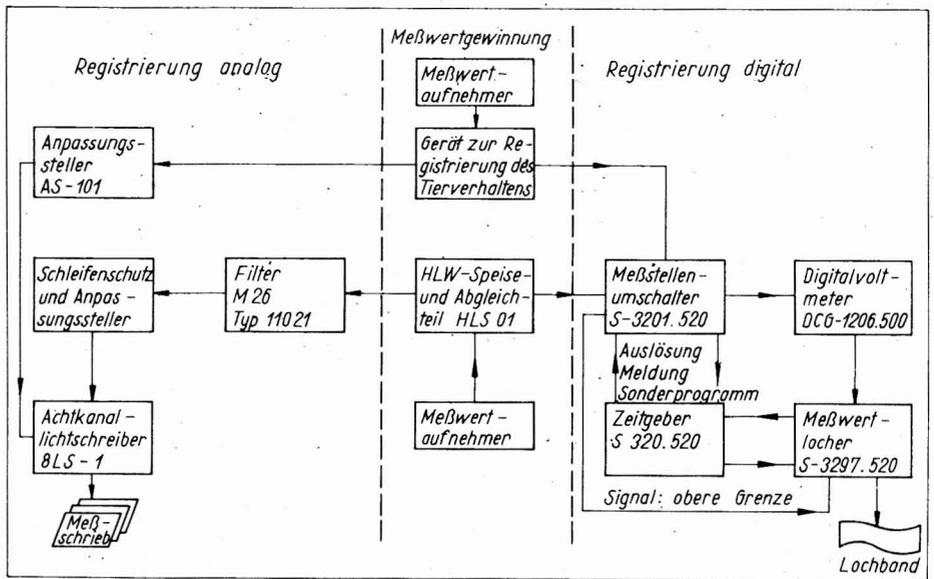


Bild 1 Informationsflußplan für die Messung von Kennwerten der Belastung und des Tierverhaltens an der Standausrüstung für Rinder

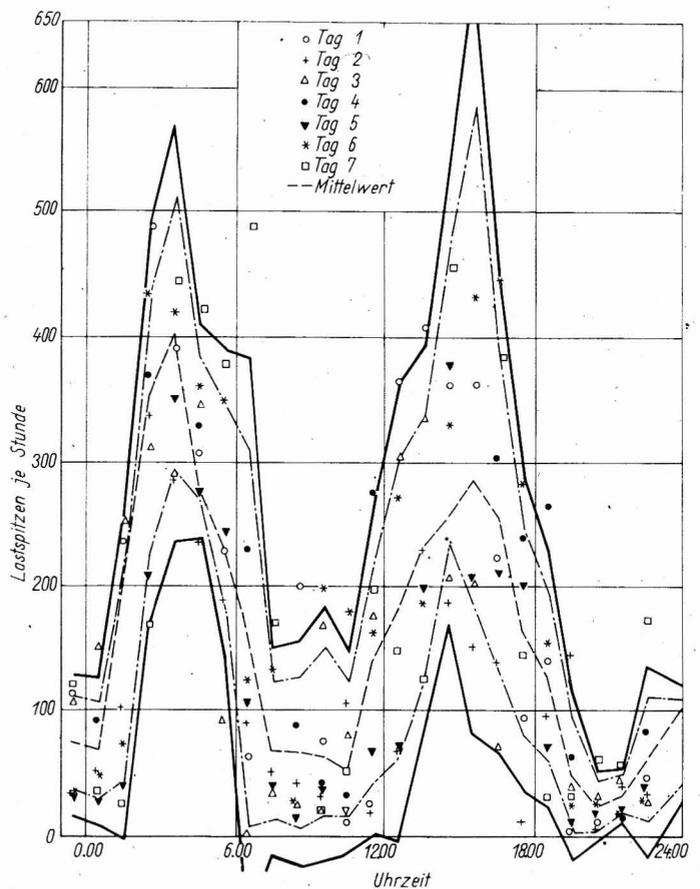


Bild 2 Verteilung der Anzahl der Lastspitzen je Stunde in der Grabnerkette im Verlauf einer Woche für die Kuh x mit Angabe der Konfidenzgrenzen für

Die relative Luftfeuchtigkeit lag zwischen 50% und 95%. Mit Hilfe eines speziellen Dehngliedes wurde die Zugkraft in der Senkrechtkette der Anbindevorrichtung gemessen. Die Kühe wurden entsprechend ihres Laktationsstandes leistungsgerecht versorgt. Leistungsdepressionen sind durch die Versuchstätigkeit nicht aufgetreten, der Steh-Liege-Rhythmus blieb unverändert. Andere Kennwerte des Tierverhaltens, wie Wiederkautätigkeit, Herzfrequenz u. a., wurden nicht meßtechnisch überwacht.

#### 5. Ergebnisse der Tastversuche

Um einen Überblick über den erforderlichen Versuchsumfang und über die zu erwartenden Ergebnisse zu erhalten, wurden Tastversuche konzipiert und durchgeführt. Gemessen wurden

die an den wichtigsten Baugruppen der Grabnerkette und der Halsrahmenfang- und -anbindevorrichtung auftretenden Belastungen. Ein Teil der Ergebnisse ist in den Bildern 2 bis 5 dargestellt.

Um eine möglichst genaue Widerspiegelung der Belastungszeitanteile zu erhalten, wurde die Anzahl der Lastwechsel je Stunde ermittelt. Bild 2 zeigt die Anzahl der Lastwechsel je Stunde. Die Schwankungen sind durch die unterschiedliche Aktivität der Kühe während der Stallarbeitszeit und während der Ruhezeit bedingt. Wird mit den Meßergebnissen die Anzahl der Lastwechsel in der normativen Nutzungsdauer von 10 Jahren für die Bauteile der Grabnerkette berechnet, so sind  $6 \cdot 10^6$  bis  $1,8 \cdot 10^7$  Lastwechsel zu erwarten. Der stündlich

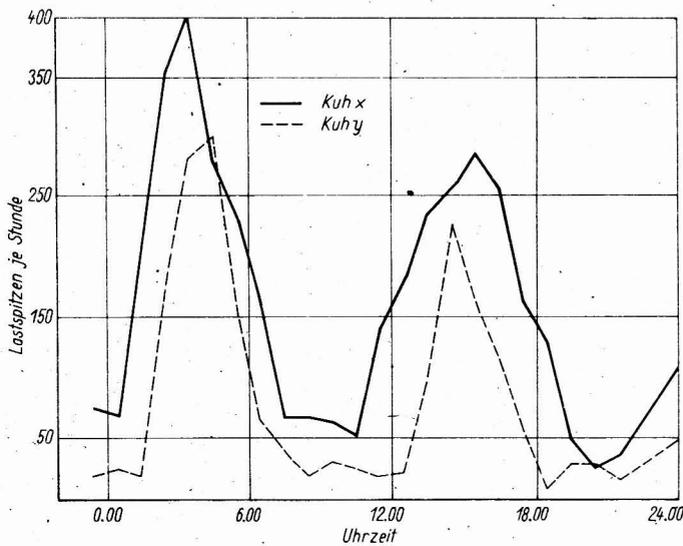
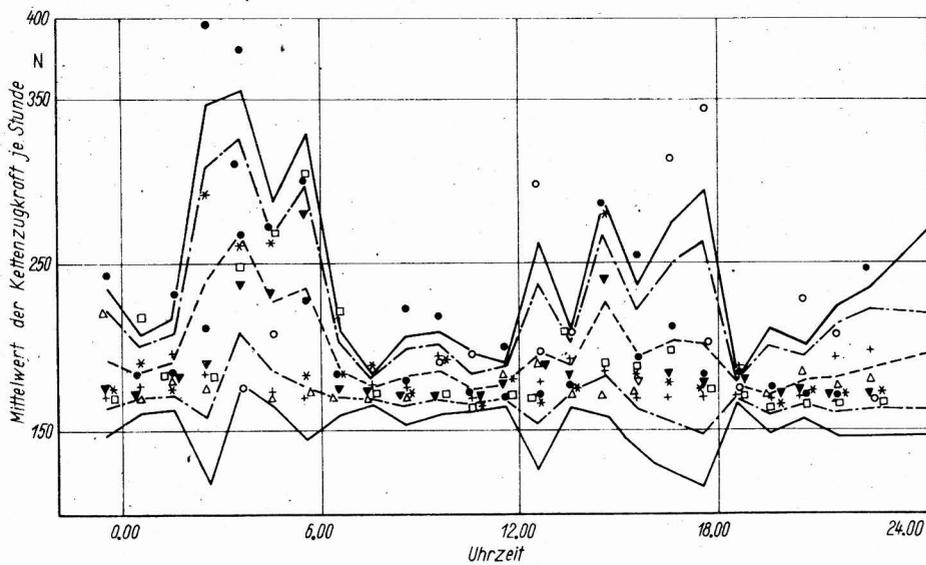


Bild 3  
Verteilung der Mittelwerte der Kettenzugkraft je Stunde in der Grabnerkette im Verlauf einer Woche für die Kuh x mit Angabe der Konfidenzgrenzen; Legende siehe Bild 2

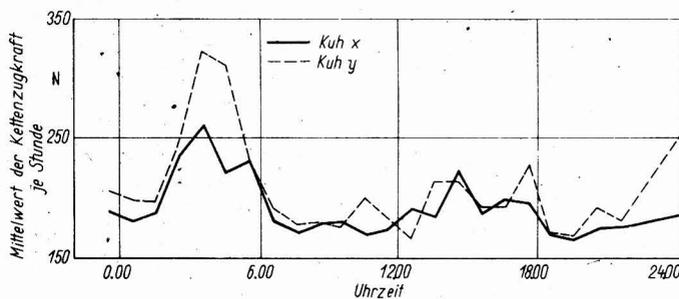


Bild 4  
Durchschnittliche Anzahl der Lastspitzen je Stunde in der Grabnerkette an einem Tag für die Kühe x und y; Korrelationskoeffizient  $r_{xy} = 0,740$

Bild 5  
Verlauf des Mittelwerts der Zugkraft je Stunde in der Grabnerkette an einem Tag für die Kühe x und y; Korrelationskoeffizient  $r_{xy} = 0,860$

auf tretende Mittelwert der Kettenzugkraft lag im Bereich von 160 N bis 380 N. Er unterliegt nicht so starken Schwankungen wie die Anzahl der Lastwechsel. Der im Versuchszeitraum gemessene Maximalwert betrug 3 kN und wurde innerhalb von 7 Tagen zweimal registriert. Die Meßergebnisse zeigen, daß die Versuchstiere die Bauteile relativ niedrig belasten. Die untersuchten Bauteile sind im Vergleich zu den Meßwerten überdimensioniert. Das Auftreten von Maximalwerten war an konkrete Bedingungen gebunden. Eine wichtige Einflußgröße ist die Entfernung des Futters vom Tier. Die Nachbartiere zeigten ein annähernd gleiches Verhalten hinsichtlich des Mittelwerts der Kettenzugkraft und der Ver-

teilung der Belastungswechsel über die Tageszeit (Bilder 4 und 5, Tafel 1). Die Mehrzahl der angreifenden Kräfte hatte dynamischen Charakter, quasistatische Lasten traten selten auf.

### 6. Zusammenfassung

Es wurden Tastversuche zur Ermittlung der Betriebsbelastung an Anbindevorrichtungen für die Milchviehhaltung durchgeführt. Bei zehnjähriger Nutzungsdauer sind  $6 \cdot 10^6$  bis  $1,8 \cdot 10^7$  Lastwechsel zu erwarten. Der Mittelwert der Kettenzugkraft lag im Bereich von 160 N bis 380 N. Im Versuchszeitraum von 7 Tagen wurde zweimal der Maximalwert von 3 kN registriert.

Die weitere experimentelle Untersuchung der Betriebsbelastung an der Standausrüstung für Milchkühe ist sinnvoll. Die Ergebnisse können für die materialökonomisch optimale Dimensionierung der Bauteile verwendet werden. Um eine Verminderung des Stahleinsatzes an den Baugruppen der Standausrüstung unter Verwendung der erzielten Meßergebnisse vornehmen zu können, sind sie ausreichend statistisch zu sichern. Die Größe der Stahleinsparung ist direkt abhängig von der genauen Kenntnis der den Maximalwert der Tierkraft beeinflussenden Faktoren. Es sind die Bedingungen zu ermitteln, die den Maximalwert der Tierkraft und seine Erwartungswahrscheinlichkeit minimieren, sowie Möglichkeiten aufzuzeigen, wie diese Bedingungen in den Landwirtschaftsbetrieben realisiert werden können. Für belastungsgerecht ausgelegte Bauteile der Standausrüstung ist neben dem statischen Festigkeitsnachweis der Ermüdungsfestigkeitsnachweis zu führen, wenn durch weitere Versuche die vorliegenden Meßergebnisse bestätigt werden.

### Literatur

- [1] Honecker, E.: Bericht des Zentralkomitees der Sozialistischen Einheitspartei Deutschlands an den IX. Parteitag der SED. Berlin: Dietz Verlag 1976.
- [2] Grüneberg, G.: Der IX. Parteitag der SED über die Aufgaben der Land- und Nahrungsgüterwirtschaft sowie die weitere gesellschaftliche Entwicklung auf dem Lande. Berlin: Dietz Verlag 1976.
- [3] Wutzig, H.; Scharmentke, S.; Wobst, R.: Materialökonomie und Standardisierung bei Standausrüstungen für die Rinderhaltung. agrartechnik 27 (1977) H. 4, S. 155—157.
- [4] Krone, R.: Senkung des Materialaufwandes bei der Herstellung des Nackenriegels — Erarbeitung der Aufgabenstellung für die Entwicklung von Prinziplösungen. Technische Universität Dresden, Sektion Kraftfahrzeug-, Land- und Fördertechnik, Forschungsbericht 1976 (unveröffentlicht).
- [5] Bähr, H.; Türpitz, L.: Die Trittsicherheit von Stallfußböden und der Einflußfaktor Reibwiderstand. agrartechnik 26 (1976) H. 5, S. 241—243.
- [6] Marquardt, H.: Untersuchungen über die den Stallbau bestimmenden Körperabmessungen und die das Stallklima beeinflussenden physiologischen Werte der Kühe. Humboldt-Universität Berlin, Dissertation 1968 (unveröffentlicht).
- [7] Autorenkollektiv: Leichtbaukatalog E II/6.1. Institut für Leichtbau Dresden 1969.
- [8] Rasch, D.; Herrendörfer, G.; Bock, J.; Busch, K.: Versuchsplanung und -auswertung — Verfahrensbibliothek. AdL der DDR. Forschungszentrum für Tierproduktion Dummerstorf-Rostock, Manuskriptdruck 1973. A 1777

### Hinweis für unsere Auslandsabonnenten

Wir bitten alle Bezieher außerhalb der DDR, die Erneuerung der Abonnements für 1978 rechtzeitig vorzunehmen. Die Zeitungsvertriebsstellen Ihres Landes finden Sie auf Seite 524.

Redaktion agrartechnik