

# Einfluß der Aufstallungsform für Milchkühe auf die Reinheit und den Zeitaufwand für die Reinigung des Euters

Dr. agr. F. Uhmann/Dipl.-Agr.-Ing. Karin Färber/Prof. Dr. sc. agr. E. Thum, KDT  
Karl-Marx-Universität Leipzig, Sektion Tierproduktion und Veterinärmedizin

Dr. agr. W. Ebendorff/Agr.-Ing.-Päd. K.-H. Storch, Institut für Rinderproduktion Iden-Rohrbeck der AdL der DDR

## 1. Problemstellung

An die Erzeugung von Rohmilch werden hohe hygienische Anforderungen gestellt. Durch zweckentsprechendes konstruktives Gestalten und Betreiben der Milchgewinnungsanlagen sowie der technischen Ausrüstung für Kühlung, Lagerung und Transport — in der Gesamtheit Reinigung und Desinfektion einbezogen — kann man die Rohmilch auf dem Weg vom Ort der eigentlichen Gewinnung bis zum verarbeitenden Betrieb von negativen Qualitätseinflüssen weitgehend fernhalten. Grundvoraussetzung für die Erfüllung hoher Qualitätsansprüche ist, daß die Milch als erstes schmutz- und keimarm gewonnen wird. Das bedingt eine angemessene Reinheit des Euters vor dem Ansetzen des Melkzeugs.

Trotz großer Fortschritte bei der Mechanisierung und Automatisierung der Milchgewinnung muß die Euterreinigung heute noch von Hand ausgeführt werden. Dies wird sich in absehbarer Zeit kaum ändern, weil die befriedigende Mechanisierung dieses Bearbeitungsgangs eine schwierig zu lösende Aufgabe darstellt [1]. Damit ist bis zu einem gewissen Maße nicht zu umgehen, daß die Melker zunächst noch ungünstigen arbeitshygienischen Bedingungen und insbesondere in Großanlagen mit langer Schichtdauer einer nicht zu unterschätzenden physischen Belastung ausgesetzt sind.

Bei Vorhaben zur Rationalisierung von Reinigungsprozessen muß man zuerst prinzipiell prüfen, ob sich Maßnahmen anbieten, mit deren Anwendung eine Verunreinigung des interessierenden Reinigungsobjekts gänzlich ausgeschlossen oder zumindest herabgesetzt werden kann. Mit dem Ziel der Verbesserung der Arbeitsbedingungen erhält dieser Grundsatz in bezug auf die Euterreinigung eine Vorrangstellung. Die gleiche Orientierung trifft jedoch auch für eine künftig anzustrebende Mechanisierung dieses Bearbeitungsgangs zu.

Aus den bisherigen Grundlagenuntersuchungen ist eindeutig abzuleiten, daß bei zunehmender Euterverschmutzung der Aufwand für Mechanisierungseinrichtungen zur Euterreinigung stark ansteigt und bezüglich der technologischen Einordnung der Reinigung in den gesamten Melkprozeß erhebliche Probleme entstehen [2]. Letztlich kann durch eine reinheitsgerechte Aufstallung der Kühe auch der von der veterinärmedizinischen Seite gestellten Forderung nach Anhebung des allgemeinen Hygienestatus in der Milchproduktion entsprochen werden.

Beim weiteren Ausbau der industriemäßigen Milchproduktion in der DDR gewinnen die einstreulose Aufstallung der Kühe und das Melken im Melkstand immer mehr an Bedeutung. Speziell für diese Bedingungen wurde unter den vorgenannten Aspekten in Praxisanlagen untersucht, wie einige typische Aufstallungsformen im Hinblick auf die Euterreinheit und den daraus resultierenden Zeitaufwand für die Euterreinigung zu bewerten sind. Die vergleichenden Ergebnisse sollen Hinweise geben, die sowohl bei der Weiterentwicklung der Anlagenprojekte als auch bei Rekonstruk-

tions- bzw. Rationalisierungsmaßnahmen zu beachten sind.

## 2. Untersuchungsmethode

In zehn Milchviehanlagen mit den in Tafel 1 und im Bild 1 erläuterten Aufstallungsformen wurden an insgesamt 3290 Kühen die Euterreinheit vor und nach der Euterreinigung sowie die für die Euterreinigung aufgewendete Handarbeitszeit ermittelt. Die Reinigung wurde vom Melkpersonal der jeweiligen Anlage ausgeführt. Die Bewertung der Euterreinheit erfolgte visuell nach den in Tafel 2 dargestellten Kriterien. Sie wurde nur an der dem Melker zugewendeten Euterhälfte und getrennt nach Zitzenbasis, -schaft und -spitze vorgenommen. Aus diesen Teilwerten ist arithmetisch der Mittelwert der Reinheit für das Gesamteuter

errechnet. Von den mit einer statistischen Auswertung des Zahlenmaterials gewonnenen Kennwerten werden nachfolgend nur die wichtigsten zum Vergleich der Anlagen herangezogen.

## 3. Untersuchungsergebnis

Aus der Übersicht in Tafel 3 sind in bezug auf die Reinheitswerte vor der Reinigung beträchtliche Unterschiede der Euterverschmutzung zwischen den verschiedenen Aufstallungsformen erkennbar. Wird die Euterverschmutzung in der ungünstigsten Anlage 10 gleich 100% gesetzt, so tritt im Vergleich dazu in der günstigsten Anlage 7 nur eine Euterverschmutzung von 57,4% auf. Bei der Betrachtung aller untersuchten Anlagen ergeben sich mit Reinheitswertbereichen von 1,20 bis 1,34 (Anlagen 1

Tafel 1. Charakteristik der untersuchten Milchviehanlagen

Anlage	Aufstallungsform	Entmistungsverfahren <sup>1)</sup>	Melkstandform <sup>2)</sup>
1	Kotroststand	U	FGM
2	Kotroststand	U	FGM
3	Kotroststand	U	FGM
4	Liegebox	U	MK
5	Liegebox	U	MK
6	Liegebox	U	FGM
7	Freß-Liege-Box	U	FGM
8	Freß-Liege-Box	U	MK
9	Sperrbox	U	FGM
10	Sperrbox mit Kragrost	O mit Faltschieber	FGM

1) U unterflur, O oberflur

2) FGM Fischgrätenmelkstand, MK Melkkarussell

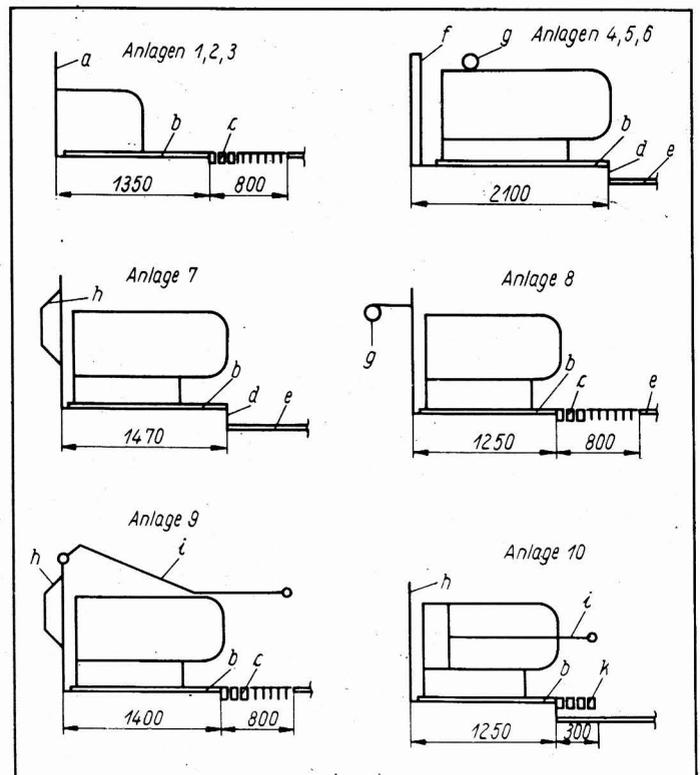


Bild 1  
Schematische Darstellung der untersuchten Aufstallungsformen:  
a Halsrahmen-Anbindevorrichtung  
b Gummimatte  
c Kotrost  
d Kotstufe  
e Spaltenboden  
f Wand bzw. Gitter  
g Nackenriegel  
h Freßgitter  
i Absperrvorrichtung  
k Kragrost

Tafel 2. Schema zur Bewertung der Euterreinheit

Reinheitsgrad	Bezeichnung	Erläuterung
0	visuell sauber	keine erkennbare Verschmutzung
1	gering verschmutzt	maximal halber Flächenbereich mit dünner Schmutzschicht überzogen; Rest visuell sauber
2	mittel verschmutzt	Gesamtfläche mit dünner Schmutzschicht überzogen oder maximal ein Drittel der Fläche mittlere Schmutzschicht; Rest geringer verschmutzt
3	stark verschmutzt	Gesamtfläche mittlere Schmutzschicht oder maximal je ein Drittel der Fläche starke, mittlere und dünne Schmutzschicht
4	sehr stark verschmutzt	mindestens ein Drittel der Fläche starke und zwei Drittel der Fläche mittlere Schmutzschicht

Tafel 3. Untersuchungsergebnisse zur Euterreinheit und zum Zeitaufwand für die Euterreinigung

Anlage	Euterreinheit vor der Reinigung	Euterreinheit nach der Reinigung	Handarbeitszeitaufwand für eine Euterreinigung AK · s	Korrelationskoeffizient <sup>1)</sup>	spezifischer Handarbeitszeitaufwand <sup>2)</sup> AK · s
1	1,27	0,07	9,3	+0,56	7,8
2	1,34	0,07	14,0	+0,38	11,0
3	1,30	0,04	13,8	+0,58	10,9
4	1,32	0,03	14,7	+0,56	11,4
5	1,26	0,05	11,9	+0,63	9,8
6	1,34	0,07	16,0	+0,75	12,6
7	1,20	0,09	17,8	+0,53	16,0
8	2,09	< 0,01	27,3	+0,62	13,1
9	1,73	0,23	27,0	+0,46	14,9
10	1,98	0,38	23,8	+0,57	16,0

1) Beziehung zwischen der Verschmutzung vor der Reinigung und dem Arbeitszeitaufwand für die Reinigung

2) Handarbeitszeitaufwand bezogen auf Verminderung der Euterverschmutzung um einen Reinheitsgrad während des Reinigungsprozesses

bis 7) bzw. 1,73 bis 2,09 (Anlagen 8 bis 10) zwei deutlich abgegrenzte Qualitätsgruppen. Als wesentlich reinheitsbegünstigende Faktoren können für die erste Gruppe einerseits die zweckentsprechende Anbindehaltung und andererseits bei Laufstallhaltung die Liegefläche mit Kotstufe angesehen werden.

Für die Anbindehaltung (Anlagen 1 bis 3) lassen die relativ einheitlichen Euterreinheitswerte von 1,27 bis 1,34 erkennen, daß in der Kombination von Anbindung mit Halsrahmen, Standlänge und Gitterrostgestaltung eine optimale Kotroststand-Ausführung gefunden wurde. Infolge der zusätzlichen Eingrenzung des seitlichen Bewegungsraums der Kühe durch den Trennbügel werden Kot und Harn überwiegend auf den Gitterrost abgesetzt. Bedingt durch die Variation der Tierlängen ist nicht völlig vermeidbar, daß die Kühe teilweise mit dem auf die Liegefläche gelangten bzw. nicht durch den Gitterrost gefallenen Kot in Berührung kommen.

In den untersuchten Milchviehanlagen mit Laufstallhaltung und Liegebox (Anlagen 4 bis 6) konnte eine fast gleichwertige Euterreinheit (1,26 bis 1,34) wie bei der Anbindehaltung festgestellt werden. Mit der dargestellten Standausführung werden die Kühe durch die Kotstufe veranlaßt, sich vollständig auf die Liegefläche zu legen. Der Nackenriegel wiederum zwingt die Tiere, beim Aufstehen zurückzutreten, so daß der Kot auf den Spaltenboden fallen kann. Eine geringfügige Euterverschmutzung ist nicht auszuschließen, da die Tiere mit den Klauen etwas Kot auf die Liegefläche tragen und sich verschiedentlich über die Kotstufe hinweg teilweise oder vereinzelt sogar ganz auf den Spaltenboden legen.

In Milchviehanlagen mit Freß-Liege-Box ohne Arretierung sind die Unterschiede in der

Euterreinheit besonders ausgeprägt. Der sehr günstige Reinheitswert von 1,20 in Anlage 7 dürfte vorrangig auf die zweckmäßigen Standabmessungen und insbesondere auf die vorhandene Kotstufe zurückzuführen sein. In der Anlage 8 wurde dagegen mit einem Reinheitswert von 2,09 die insgesamt größte Euterverschmutzung vorgefunden. Als Hauptursache ist das Fehlen einer Kotstufe in Verbindung mit einer relativ geringen Länge der Liegefläche anzusehen. Die Kühe müssen sich gezwungenermaßen zumindest teilweise auf den Gitterrost legen. In nicht geringem Umfang liegen die Tiere vollständig auf dem Spaltenboden. Insgesamt entspricht diese Aufstallung in der gegebenen Ausführung nicht den Sauberkeitsanforderungen.

Die Sperrbox-Varianten (Anlagen 9 und 10) können mit Euterreinheitswerten von 1,73 bzw. 1,98 ebenfalls nicht befriedigen. Der angebrachte Afterriegel läßt den Tieren einen noch zu großen Längsspielraum, wodurch die Kühe in einem weniger eng begrenzten Bereich koten können und beim Liegen stärker verschmutzen. Bei Sperrboxen mit Kragrost hat die Oberflurermischung mit Schleppschaufel eine besonders ungünstige Auswirkung auf die Eutersauberkeit. Infolge des auf dem Treibgang vorhandenen schmierigen Kotfilms wird mehr Schmutz auf die Liegeflächen getragen.

Bei Freß-Liege-Boxen und Sperrboxen hat auch die Art der krüppenseitigen Standgestaltung einen Einfluß auf die Eutersauberkeit. Darauf konnte im Rahmen der Untersuchungen nicht näher eingegangen werden.

Der Zusammenhang zwischen Euterverschmutzung und Reinigungszeitaufwand läßt sich nur angenähert ausweisen. Die Aussagekraft der in Tafel 3 aufgeführten Kennwerte ist von vornherein dadurch eingeschränkt, daß die Reini-

gung durch unterschiedliches Melkpersonal erfolgte und weder bei Einzeltieren noch im Durchschnitt der Anlagen eine einheitliche Endreinheit der Euter erzielt worden ist. Insofern macht die statistisch hoch gesicherte Korrelation trotz teilweise niedriger Korrelationskoeffizienten den Einfluß der Euterverschmutzung auf den Reinigungszeitaufwand innerhalb einer Anlage deutlich. Zum Vergleich der Anlagen untereinander wurde vereinfacht der spezifische Handarbeitsaufwand errechnet, der das Verhältnis von Reinigungszeit zur Verbesserung der Euterreinheit um einen Reinheitsgrad beim Reinigungsprozeß darstellt. Dieser Kennwert ist unter Vernachlässigung von Nebeneinflüssen theoretisch von der Anfangs- und Endreinheit unabhängig. Die aus Tafel 3 ersichtlichen großen Differenzen des spezifischen Handarbeitszeitaufwands (7,8 bis 18,0 AK · s) lassen auf eine starke Einwirkung subjektiver und objektiver Einflußfaktoren schließen (Art der Reinigung, Arbeitsintensität, technologische Einordnung der Reinigung in den Gesamtmelkprozeß einschließlich unterschiedlicher Anzahl der speziell der Euterreinigung zugeordneten Arbeitskräfte u. a. m.). Eliminiert man die Nebenfaktoren, dann besteht mit einem einheitlichen spezifischen Handarbeitszeitaufwand eine direkte Beziehung zwischen Euterverschmutzung und absolutem Gesamtzeitaufwand. Werden als günstig anzusehende Bezugsgrößen der spezifische Handarbeitszeitaufwand mit 10 AK · s und die Endreinheit mit 0,05 unterstellt, so ergibt sich im mittleren Gesamtzeitaufwand für eine Einzelreinigung bei den untersuchten Anlagen eine maximale Differenz von 8,9 AK · s (Vergleich zwischen den Anlagen 7 und 8). Umgerechnet beispielsweise auf eine 2000er-Milchviehanlage müssen danach während einer Schicht für die schmutzigste Arbeit in der Milchproduktion im ungünstigsten Falle 4 AK · h mehr aufgewendet werden, als bei maximaler Nutzung der Möglichkeiten für eine reinheitsgerechte Aufstallung notwendig ist.

#### 4. Schlußfolgerungen

In der Gestaltung der Milchviehaufstallung ist ergänzend zu anderen Rationalisierungsgesichtspunkten verstärkt auch darauf zu achten, daß im Hinblick auf die Arbeitsbedingungen und letztlich zur Sicherung einer hohen Rohmilchqualität die Anforderungen an die Eutersauberkeit berücksichtigt werden. Keinesfalls darf sich das Rationalisierungsbemühen nur einseitig auf die Investitionsmaßnahmen beschränken. In die Effektivitätsberechnung einbezogen werden müssen auch die aus investitions-sparenden Veränderungen erwachsenden Konsequenzen für den täglichen Produktionsprozeß, im vorliegenden Beispiel die Auswirkung auf die Euterreinigung.

Die deutliche Abhängigkeit der Euterverschmutzung von der Aufstallungsform ist durch bestimmte Funktionselemente bedingt. Deshalb sind solche Aufstallungsvarianten zu bevorzugen, die insbesondere das Verschmutzen der Liegefläche und beim Liegen der Tiere eine Berührung mit Kot außerhalb dieser Fläche weitgehend ausschließen. Die in einer Reihe von anderen Untersuchungen [3] [4] [5] [6] ermittelten Optimalparameter für Standlänge, Kotstufe u. a. müssen konsequenter zur Anwendung gelangen.

#### 5. Zusammenfassung

Durch Untersuchungen in zehn Milchviehanlagen wurden eindeutige Zusammenhänge zwischen Aufstallungsform, Euterverschmut-

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