

# Ergebnisse der Betriebsbelastungsanalyse an der Grabnerkette

Dipl.-Ing. R. Krone

## 1. Problemstellung

Bei der Herstellung von Standausrüstungen für die Milchviehhaltung bedeutet Verbesserung der Materialökonomie u. a., den Stahlbedarf je Tierplatz zu senken. Standausrüstungen werden nicht nur zum Aufbau neuer industriemäßiger Milchproduktionsanlagen benötigt, sondern auch zur Realisierung der umfangreichen Rationalisierungs- und Rekonstruktionsvorhaben in den vorhandenen älteren Ställen. Bei der Anbindehaltung wird häufig die Grabnerkette angewendet. Die Senkung des spezifischen Stahlaufwands bei der Grabnerkette war bisher aufgrund der unzureichenden Kenntnisse über die bei normalem technologischen Ablauf tatsächlich auftretenden Betriebsbelastungen nur begrenzt möglich. Bestimmte Forschungsarbeiten dienen der Analyse der Belastungsverhältnisse an ausgewählten Baugruppen der Standausrüstung für die Milchviehhaltung. Zuerst wurden die Betriebsbelastungen an der Grabnerkette analysiert, um mit den am Einzeltierstand gewonnenen Meßwerten Grundlagen für andere Standausrüstungsbau- teile zu erarbeiten. Die experimentellen Untersuchungen an der Grabnerkette sind abgeschlossen. Über erzielte Ergebnisse wird im folgenden berichtet.

## 2. Funktion der untersuchten Bauteile

Die Grabnerkette ist eine bewährte technische Lösung zum Anbinden von Kühen am Standplatz. Sie erfüllt folgende wesentliche Anforderungen an Anbindevorrichtungen [1]:

- Die Grabnerkette legt die Kuh am vorgesehenen Standplatz (gleichzeitig Freß- und Liegeplatz) sicher fest.
- Die Grabnerkette schränkt den Bewegungsbereich soweit ein, daß die angebundene Kuh die Liegefläche nicht durch Kot und

Harn verunreinigt, aber andererseits ihre natürlichen Bewegungsabläufe beim Wechsel vom Stehen zum Liegen und umgekehrt sowie bei der Futteraufnahme nicht behindert werden.

- Die Grabnerkette kann leicht an die unterschiedliche Größe der anzubindenden Kühe angepaßt werden.
- Im Havariefall können die Kühe innerhalb der gesetzlich festgelegten Zeit abgekettet werden.

Die Grabnerkette wird bei Kurzstandaufstallung angewendet, wenn die Kühe mit einer Rohrmelkanlage am Standplatz gemolken werden. Den schematischen Aufbau der Grabnerkette nach Standard TGL 32302 zeigt Bild 1 [2]. Die Kuh wird mit dem Halsbügel an die im Fußboden und im Abkettrohr befestigte Senkrechtkette angebinden. Die vom Anwender eingestellte Länge der Kette begrenzt den Bewegungsbereich der Kuh. Die Bauteile der Grabnerkette werden erst dann belastet, wenn die Kuh die Kette straff spannt.

## 3. Dimensionierung der Bauteile

Entscheidend für die Dimensionierung der Bauteile sind die Maximal- und Betriebsbelastung. Die Maximalbelastung tritt bei maximalen Tierkräften auf, die durch die maximal mögliche Reibkraft der Materialpaarung Klaue—Stallfußboden begrenzt werden. Die Größe der Reibkraft ist abhängig von den Reibkoeffizienten der vorliegenden Reibpaarung und der Lebendmasse der Kuh. Für die Reibpaarung Klaue—Stallfußboden ermittelten Bähr und Türpitz die Reibkoeffizienten [3]. Wenn die Grabnerkette bei strohloser Aufstallung angewendet wird, kommt als Liegeflächenbelag häufig eine Gummimatte zum Einsatz. In diesem Fall beträgt der Reibkoeffizient  $\mu = 0,58$  [3]. Gl. (1) beschreibt den Zusammenhang zwischen Reibkraft, Lebendmasse und Reibkoeffizient:

$$R_{\max} = \mu m_T g; \quad (1)$$

$R_{\max}$  maximale Reibkraft in N

$\mu$  Reibkoeffizient

$m_T$  Kuhlebendmasse in kg.

Um die maximale Reibkraft berechnen zu können, ist in Gl. (1) die maximale Kuhlebend-

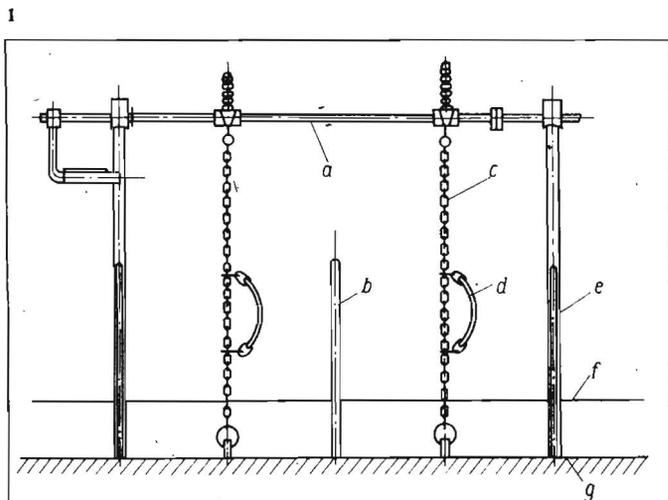
masse einzusetzen. Nach Standard TGL 32456 sind für die Dimensionierung von Stallfußböden für die Kuhlebendmasse 600 kg anzusetzen [4]. Mit diesem Wert für die Kuhlebendmasse ergeben sich die maximale Reibkraft und wegen des herrschenden statischen Gleichgewichts auch die maximale horizontale Tierkraft zu 3,4 kN.

Für die Annahme der Maximalbelastung an den Bauteilen ist die Anzahl der dasselbe Bauteil gleichzeitig belastenden Kühe zu beachten. Die Bauteile Abkettrohr und Krippensäule der Grabnerkette können durch mindestens zwei Kühe gleichzeitig belastet werden, während die Belastung von Standtrennbügel, Kette und Fußanker nur durch eine Kuh erfolgt. Um den Maximalfall für die Bauteile, die von zwei Kühen belastet werden, zu betrachten, sind folglich zweimal rd. 3,4 kN für die Tierkraft anzunehmen. Diese maximalen Tierkräfte wirken über die senkrecht angeordnete Kette auf Abkettrohr und Krippensäulen ein. Für die statische Dimensionierung des Abkettrohrs sind demzufolge unter Beachtung der vorliegenden geometrischen Verhältnisse zweimal rd. 5,1 kN als Maximalbelastung anzunehmen. Wird davon ausgegangen, die Bauteile der Grabnerkette nach diesem maximalen Lastfall auszulegen, so ergibt sich die Frage nach seiner Bedeutung für die während der Gesamtnutzungsdauer der Grabnerkette tatsächlich auftretenden Belastungen. Dazu wurden die Kettenzugkräfte in der Senkrechtkette gemessen. Die Untersuchungen erfolgten in einem Anbindestall unter Produktionsbedingungen. Bild 2 zeigt einen Teil des Meßplatzes. Zur Messung der Kettenzugkräfte dienten spezielle mit Halbleiter-Dehnmessstreifen bestückte Dehnglieder. Die Aufzeichnung des Meßsignals erfolgte mit Hilfe eines Acht-Kanal-Lichtschreibers. Der Belastungsverlauf wurde mit dem Verfahren „Zählung aller Extremwerte“ klassiert. Über das Ziel der laufenden Forschungsarbeiten, die Meßmethode, das Auswerteverfahren und einige Ergebnisse eines Tastversuchs wurde bereits an dieser Stelle berichtet [5].

Um die Bedeutung der Annahme maximaler Tierkräfte für die Dimensionierung der Bauteile richtig einschätzen zu können, wurden keine

Bild 1. Schematischer Aufbau der Grabnerkette nach TGL 32302/02; a Abkettrohr, b Standtrennbügel; c Senkrechtkette, d Halsbügel, e Krippensäule, f Krippe, g Stallfußboden

Bild 2. Kühe auf dem Versuchsstand



Extremsituationen, wie Tierpanik, Schlagen der Tiere u. a., während der Versuche hervorgerufen. Die folgenden Ausführungen gelten deshalb nur für den normalen technologischen Ablauf. Der Einfluß und die Häufigkeit von Extremsituationen auf die Belastung muß noch geklärt und hinsichtlich der Wahl von Lastannahmen eingeschätzt werden. Das Verhältnis zwischen der größten bei normalem technologischen Ablauf je Versuchstag gemessenen Kettenzugkraft und der physikalisch maximal möglichen Kettenzugkraft wird durch den nach Gl. (2) gebildeten Koeffizienten wiedergegeben:

$$k_i = \frac{F_{K_i \max d}}{F_{K_i \max}} \cdot 100 \%; \quad (2)$$

$k_i$  prozentualer Anteil der je Versuchstag registrierten größten Summe an der physikalisch maximal möglichen Summe von  $i$  gleichzeitig auftretenden und dasselbe Bauteil belastenden Kettenzugkräften

$F_{K_i \max d}$  je Versuchstag registrierte größte Summe von  $i$  gleichzeitig auftretenden Kettenzugkräften

$F_{K_i \max}$  aufgrund der vorliegenden Reibverhältnisse physikalisch maximal mögliche Summe von  $i$  gleichzeitig auftretenden Kettenzugkräften

$i$  Index zur Kennzeichnung der Anzahl der dasselbe Bauteil belastenden Kühe.

Für  $i = 1$  beschreibt Gl. (2) das Verhältnis von aufgrund der vorliegenden Reibverhältnisse maximal möglicher zu der je Versuchstag und Versuchstier gemessenen maximalen Kettenzugkraft. Ein Teil der Meßergebnisse ist in Tafel 1 zusammengestellt. Die Ergebnisse dieses Vergleichs zeigen, daß es über längere Zeiträume hinweg durchaus einmal vorkommen kann, daß die physikalisch maximal mögliche Kettenzugkraft erreicht wird. Nach einer Versuchsdauer von  $7 \times 24$  h ohne Unterbrechung wurden einmal 98,4% der physikalisch maximal möglichen Kettenzugkraft von der Kuh 3 erreicht. Dagegen erreichte die Kuh 1 in zweimal 7 Tagen Versuchsdauer nur einmal 75,4% der möglichen Größe. Während der gesamten Versuchsdauer blieb sie sonst unter der Grenze von 70%. Bei der Interpretation der Ergebnisse in Tafel 1 ist zu beachten, daß alle angegebenen Werte Maximalwerte sind. Die Mittelwerte liegen wesentlich unter den angegebenen Werten.

Die Erwartungswahrscheinlichkeit des Maximalwertes wird nach Gl. (3) berechnet:

Tafel 1. Verhältnis von je Versuchstag registrierter maximaler Kettenzugkraft zu maximal möglicher Kettenzugkraft je Kuh

| Kuh-Nr. | Versuchs-Nr. | Versuchstag | maximal mögliche Kettenzugkraft $F_{K_i \max}$<br>N | je Versuchstag registrierte maximale Kettenzugkraft $F_{K_i \max d}$<br>N | $k_i$<br>% |
|---------|--------------|-------------|---|---|------------|
| 1       | 1            | 1           | 5086  | 1834  | 36,1       |
| 1       | 1            | 2           | 5086  | 1167  | 22,9       |
| 1       | 1            | 3           | 5086  | 2584  | 50,8       |
| 1       | 1            | 1...7       | 5086  | 2584  | 50,8       |
| 2       | 1            | 1           | 4655  | 1001  | 21,5       |
| 2       | 1            | 2           | 4655  | 1167  | 25,1       |
| 2       | 1            | 3           | 4655  | 1001  | 21,5       |
| 2       | 1            | 1...7       | 4655  | 1315  | 28,2       |
| 1       | 5            | 1           | 5086  | 3169  | 62,3       |
| 1       | 5            | 2           | 5086  | 2894  | 56,9       |
| 1       | 5            | 3           | 5086  | 2621  | 51,5       |
| 1       | 5            | 1...7       | 5086  | 3836  | 75,4       |
| 3       | 5            | 1           | 3957  | 3613  | 91,3       |
| 3       | 5            | 2           | 3957  | 2894  | 73,1       |
| 3       | 5            | 3           | 3957  | 2835  | 71,6       |
| 3       | 5            | 1...7       | 3957  | 3895  | 98,4       |
| 4       | 5            | 1           | 5060  | 1834  | 36,2       |
| 4       | 5            | 2           | 5060  | 2835  | 56,0       |
| 4       | 5            | 3           | 5060  | 1501  | 29,7       |
| 4       | 5            | 1...7       | 5060  | 2835  | 56,0       |

$$p(A_i) = \frac{H(A_i)}{n_i}; \quad (3)$$

$p(A_i)$  Wahrscheinlichkeit für das Eintreten des Ereignisses  $A_i$

$H(A_i)$  Häufigkeit des Eintretens des Ereignisses  $A_i$

$n_i$  Gesamtanzahl der Ereignisse.

Unter dem Eintreten des Ereignisses  $A_i$  wird dabei das Auftreten von  $i$  gleichzeitig wirkenden Kettenzugkräften je Versuchstag verstanden. Die Gesamtanzahl der Ereignisse ist gleichbedeutend mit der Anzahl der Lastwechsel, die durch  $i$  Kühe an einem Bauteil hervorgerufen werden. Zur Berechnung der Erwartungswahrscheinlichkeit nach der in Gl. (3) angegebenen Definition ist die Kenntnis der Gesamtanzahl der Lastwechsel erforderlich. Für die Berechnung wurde die in Tafel 2 enthaltene und experimentell in den angegebenen Versuchen ermittelte Anzahl an Lastwechseln verwendet.

In der vorliegenden Stichprobe ist das Auftreten der Maximalkraft nur in einem Fall näherungsweise registriert worden. Da die Mehrzahl der untersuchten 5 Kühe nicht in den Bereich des physikalischen Grenzwertes der Kettenzugkraft gekommen ist, kann mit den vorliegenden

Tafel 2. Erwartungswahrscheinlichkeit für die je Versuchsperiode registrierte maximale Kettenzugkraft je Kuh

| Kuh-Nr. | Versuchs-Nr. | Anzahl Lastwechsel je Versuchsperiode $n_i$ | Erwartungswahrscheinlichkeit für die je Versuchsperiode registrierte maximale Kettenzugkraft $p(A_i)$ |
|---------|--------------|---|---|
| 1       | 1            | 27992                                       | $3,5724 \cdot 10^{-5}$  |
| 2       | 1            | 13896                                       | $7,1963 \cdot 10^{-5}$  |
| 1       | 5            | 12825                                       | $7,7973 \cdot 10^{-5}$  |
| 3       | 5            | 29757                                       | $3,3606 \cdot 10^{-5}$  |
| 4       | 5            | 13010                                       | $7,6864 \cdot 10^{-5}$  |
| 1       | 1 u. 5       | 40817                                       | $2,4500 \cdot 10^{-5}$  |

Meßergebnissen nur die obere Schranke der Erwartungswahrscheinlichkeit für das Auftreten der maximal möglichen Kettenzugkraft mit  $3,36 \cdot 10^{-5}$  geschätzt werden. Dieser Wert wurde bei der Kuh 3 gemessen. Die in Tafel 2 angegebenen Erwartungswahrscheinlichkeiten beziehen sich auf das Auftreten des je Versuchsperiode gemessenen Maximalwertes in Tafel 1. Sie zeigen, daß der je Versuchsperiode gemessene Maximalwert im

Tafel 3. Verhältnis von je Versuchstag gemessener maximaler Summe zu physikalisch maximal möglicher Summe gleichzeitig auftretender Kettenzugkräfte bei zwei Kühen

| Kuh-Nr.: 1, 2<br>Versuchs-Nr.: 1<br>Versuchstag |                       |            | Kuh-Nr.: 1, 3<br>Versuchs-Nr.: 5<br>Versuchstag |                       |            | Kuh-Nr.: 4, 5<br>Versuchs-Nr.: 5<br>Versuchstag |                       |            |       |      |      |
|---|-----------------------|------------|---|-----------------------|------------|---|-----------------------|------------|-------|------|------|
| $F_{K_2 \max}$<br>N                             | $F_{K_2 \max d}$<br>N | $k_2$<br>% | $F_{K_2 \max}$<br>N                             | $F_{K_2 \max d}$<br>N | $k_2$<br>% | $F_{K_2 \max}$<br>N                             | $F_{K_2 \max d}$<br>N | $k_2$<br>% |       |      |      |
| 1   | 9740                  | 2120       | 21,8  | 1                     | 9040       | 3280  | 36,3                  | 1          | 11610 | 4080 | 35,1 |
| 2   | 9740                  | 2000       | 20,5  | 2                     | 9040       | 3600  | 39,8                  | 2          | 11610 | 4480 | 38,6 |
| 3   | 9740                  | 2800       | 28,7  | 3                     | 9040       | 4000  | 44,2                  | 3          | 11610 | 3840 | 33,1 |
| 4   | 9740                  | 2800       | 28,7  | 4                     | 9040       | 3680  | 40,7                  | 4          | 11610 | 3840 | 33,1 |
| 5   | 9740                  | 2560       | 26,3  | 5                     | 9040       | 4160  | 46,0                  | 5          | 11610 | 4640 | 40,0 |
| 6   | 9740                  | 3040       | 31,2  | 6                     | 9040       | 4480  | 49,5                  | 6          | 11610 | 4960 | 42,7 |
| 7   | 9740                  | 2240       | 23,0  | 7                     | 9040       | 4160  | 46,0                  | 7          | 11610 | 4640 | 40,0 |
| 1...7   | 9740                  | 3040       | 31,2  | 1...7                 | 9040       | 4480  | 49,5                  | 1...7      | 11610 | 4960 | 42,7 |

Tafel 4. Verhältnis von je Versuchstag gemessener maximaler Summe zu physikalisch maximal möglicher Summe gleichzeitig auftretender Kettenzugkräfte bei drei und vier Kühen im Versuch 5

| Kuh-Nr.: 1, 3, 4<br>Versuchstag | $F_{K_3 \max}$ | $F_{K_3 \max d}$ | $k_3$ | Kuh-Nr.: 1, 3, 4, 5<br>Versuchstag | $F_{K_4 \max}$ | $F_{K_4 \max d}$ | $k_4$ |
|---------------------------------|----------------|------------------|-------|------------------------------------|----------------|------------------|-------|
|                                 | N              | N                | %     |                                    | N              | N                | %     |
| 1                               | 14 100         | 3 800            | 27,0  | 1                                  | 20 660         | 6 800            | 32,9  |
| 2                               | 14 100         | 3 760            | 26,7  | 2                                  | 20 660         | 5 440            | 26,3  |
| 3                               | 14 100         | 4 480            | 31,8  | 3                                  | 20 660         | 6 480            | 31,4  |
| 4                               | 14 100         | 4 080            | 28,9  | 4                                  | 20 660         | 6 240            | 30,2  |
| 5                               | 14 100         | 5 040            | 35,7  | 5                                  | 20 660         | 6 240            | 30,2  |
| 6                               | 14 100         | 5 200            | 36,9  | 6                                  | 20 660         | 7 520            | 36,4  |
| 7                               | 14 100         | 3 920            | 27,8  | 7                                  | 20 660         | 6 080            | 29,4  |
| 1...7                           | 14 100         | 5 200            | 36,9  | 1...7                              | 20 660         | 7 520            | 36,4  |

Durchschnitt noch wesentlich unter dem physikalisch möglichen Grenzwert liegt und die oben angegebene Erwartungswahrscheinlichkeit berechtigt als obere Grenze betrachtet werden kann.

Bei der kleinen Erwartungswahrscheinlichkeit für das Auftreten des Maximalwertes der Kettenzugkraft erhebt sich die Frage, welchen Einfluß das gleichzeitige Belasten eines Bauteils durch zwei, drei und vier Kühe hat. Unter gleichzeitiger Belastung eines Bauteils wird verstanden, daß in einem Zeitraum von  $\pm 5$  s vom Auftreten einer Lastspitze bei einer Kuh auch bei den Nachbarkühen Lastspitzen größer als 100 N auftreten. Untersucht wurde zunächst das Verhältnis von tatsächlich aufgetretener maximaler Belastung durch zwei, drei und vier Kühe zu der Summe der physikalisch möglichen maximalen Kettenzugkräfte. Zum Vergleich dient wieder Gl. (2). Der Index  $i$  in Gl. (2) nimmt die Werte 2, 3 und 4 an, je nachdem, ob die Kettenzugkräfte von 2, 3 oder 4 Kühen untersucht werden. Für  $i=2$  sind die Ergebnisse in Tafel 3 zusammengestellt. In insgesamt  $7 \times 24$  h Versuchsdauer mit 5 Kühen zu je 3 Paaren wurden 1818 gleichzeitig auftretende Kettenzugkräfte registriert. Der Maximalwert des Koeffizienten  $k_2$  beträgt 49,5%. In keinem Fall beträgt die Summe der gleichzeitig auftretenden Kettenzugkräfte mehr als 50% der möglichen Grenze. Wird die Summe der gemessenen maximalen Kettenzugkräfte, die von zwei Kühen verursacht wurden, mit der von einer Kuh mit einer Lebendmasse von 600 kg maximal möglichen Kettenzugkraft verglichen, so sind beide Beträge annähernd gleich groß. Die Lebendmasse der im Versuch 5 eingesetzten Kuh 5 betrug rd. 760 kg, die Lebendmassen der anderen Kühe lagen zwischen 450 und 600 kg.

Die Werte für gleichzeitige Belastung eines Bauteils durch drei und vier Kühe sind in Tafel 4 zusammengestellt. Die gemessene maximale Summe der gleichzeitig auftretenden

Kettenzugkräfte beträgt nur etwa 37% der Summe der maximal möglichen Kettenzugkräfte. Ein Vergleich mit der von einer Kuh mit einer Lebendmasse von 600 kg maximal hervorruhbaren Kettenzugkraft zeigt, daß das 1,5fache des von dieser Kuh theoretisch erreichbaren Grenzwertes bei gleichzeitigem Kraftangriff durch 3 und 4 Kühe nicht überschritten wurde. Die Differenz der Mittelwerte zwischen  $k_3$  und  $k_4$  ist nicht signifikant. Die Ergebnisse der Messungen zeigen, daß die gleichzeitige Belastung durch 2, 3 und 4 Kühe auf die Maximalbelastung während des Untersuchungszeitraums keinen wesentlichen Einfluß hatte. Da die Meßdauer zeitlich beschränkt bleiben muß, sagen diese Ergebnisse noch nichts über die Erwartungswahrscheinlichkeit für das gleichzeitige Auftreten von 2, 3 und 4 Tierkräften an einem Bauteil aus. Die Tafeln 5 und 6 enthalten die experimentell bestimmten Erwartungswahrscheinlichkeiten für das gleichzeitige Auftreten von mehreren Tierkräften. Zur Berechnung der in diesen Tafeln angegebenen Wahrscheinlichkeiten wurde Gl. (3) verwendet.

Anhand der vorliegenden Meßwerte ist es möglich, die Wahrscheinlichkeit für das Auf-

treten der physikalisch maximal möglichen Kettenzugkräfte bei gleichzeitig 2, 3 und 4 Kühen zu berechnen. Für die Bewertung des Ergebnisses wird eine Gesamtnutzungsdauer der Standausrüstung von 10 Jahren angesetzt. Die Berechnung der Wahrscheinlichkeit für das gleichzeitige Auftreten der physikalisch maximal möglichen Kettenzugkräfte bei gleichzeitig 2, 3 und 4 Kühen an einem Bauteil erfolgt mit Gl. (4):

$$p(B_i) = p(A_i) p(C_i); \quad (4)$$

$p(B_i)$  Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von gleichzeitig  $i$  physikalisch maximal möglichen Kettenzugkräften

$p(A_i)$  Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von  $i$  gleichzeitig wirkenden Kettenzugkräften

$p(C)$  Wahrscheinlichkeit für das Erreichen der physikalisch maximal möglichen Kettenzugkraft durch eine Kuh

$i$  Index zur Kennzeichnung der Anzahl gleichzeitig auftretender Kettenzugkräfte.

Voraussetzung für die Anwendung von Gl. (4) ist, daß die gleichzeitig auftretenden Kettenzugkräfte voneinander unabhängig sind. In Tafel 7 sind die Korrelationskoeffizienten für die Größe der gleichzeitig bei zwei Kühen auftretenden Kettenzugkräfte angegeben. Die Ergebnisse zeigen, daß bei gleichzeitigem Kraftangriff die Größe der Kraft zueinander negativ korreliert. Folglich ist im statistischen Mittel eine Kraft stets größer als die andere. Positive Korrelation konnte nicht gesichert werden. In diesen Fällen ist der Korrelationskoeffizient so klein, daß Unabhängigkeit zwischen den Kräften angenommen wird. Die im folgenden ausgewiesenen Erwartungswahrscheinlichkeiten können deshalb ebenfalls als obere Grenzen betrachtet werden, da im statistischen Mittel eine größere Kraft von einer Kuh nicht zwangsläufig eine annähernd gleich große Kraft bei den Nachbarkühen nach sich zieht. Anhand der in den Tafeln 2, 5 und 6 angegebenen Wahrscheinlichkeiten sollen im folgenden noch

Tafel 6. Erwartungswahrscheinlichkeit für das gleichzeitige Auftreten von 3 und 4 Tierkräften an der Grabnerkette im Versuch 5

| Kuh-Nr.: 1, 3, 4<br>Versuchstag |          |                        | Kuh-Nr.: 1, 3, 4, 5<br>Versuchstag |          |                        |     |        |
|---------------------------------|----------|------------------------|------------------------------------|----------|------------------------|-----|--------|
| $n_3$                           | $H(A_3)$ | $p(A_3) \cdot 10^{-3}$ | $n_4$                              | $H(A_4)$ | $p(A_4) \cdot 10^{-3}$ |     |        |
| 1                               | 7 120    | 42                     | 5,8988                             | 1        | 10 928                 | 25  | 2,2877 |
| 2                               | 6 442    | 11                     | 1,7075                             | 2        | 9 909                  | 5   | 0,5045 |
| 3                               | 7 513    | 42                     | 5,5903                             | 3        | 12 006                 | 30  | 2,4987 |
| 4                               | 8 070    | 46                     | 5,7001                             | 4        | 12 827                 | 29  | 2,2608 |
| 5                               | 8 550    | 42                     | 4,9122                             | 5        | 12 712                 | 33  | 2,5959 |
| 6                               | 9 421    | 87                     | 9,2346                             | 6        | 13 205                 | 57  | 4,3165 |
| 7                               | 8 476    | 45                     | 5,3091                             | 7        | 12 701                 | 23  | 1,8108 |
| 1...7                           | 55 592   | 315                    | 5,6662                             | 1...7    | 84 288                 | 202 | 2,3965 |

Tafel 5. Erwartungswahrscheinlichkeit für das gleichzeitige Auftreten von 2 Tierkräften an der Grabnerkette

| Kuh-Nr.: 1, 2<br>Versuchs-Nr.: 1<br>Versuchstag |          |                        | Kuh-Nr.: 1, 3<br>Versuchs-Nr.: 5<br>Versuchstag |          |                        | Kuh-Nr.: 4, 5<br>Versuchs-Nr.: 5<br>Versuchstag |          |                        |        |     |        |
|---|----------|------------------------|---|----------|------------------------|---|----------|------------------------|--------|-----|--------|
| $n_2$   | $H(A_2)$ | $p(A_2) \cdot 10^{-2}$ | $n_2$   | $H(A_2)$ | $p(A_2) \cdot 10^{-2}$ | $n_2$   | $H(A_2)$ | $p(A_2) \cdot 10^{-2}$ |        |     |        |
| 1   | 6 995    | 16                     | 0,2287  | 1        | 6 313                  | 102   | 1,6157   | 1                      | 4 615  | 107 | 2,3185 |
| 2   | 5 019    | 8                      | 0,1594  | 2        | 4 589                  | 77  | 1,6779   | 2                      | 5 320  | 35  | 0,6579 |
| 3   | 5 647    | 4                      | 0,0708  | 3        | 5 472                  | 155   | 2,8326   | 3                      | 6 534  | 108 | 1,6529 |
| 4   | 4 706    | 49                     | 0,6616  | 4        | 6 367                  | 152   | 2,3873   | 4                      | 6 460  | 82  | 1,2693 |
| 5   | 4 835    | 41                     | 0,8480  | 5        | 6 427                  | 117   | 1,8204   | 5                      | 6 285  | 95  | 1,5115 |
| 6   | 5 920    | 41                     | 0,6926  | 6        | 7 294                  | 215   | 2,9476   | 6                      | 5 911  | 155 | 2,6222 |
| 7   | 6 066    | 23                     | 0,3792  | 7        | 6 120                  | 140   | 2,2876   | 7                      | 6 581  | 96  | 1,4587 |
| 1...7   | 41 888   | 182                    | 0,4345  | 1...7    | 42 582                 | 958   | 2,2498   | 1...7                  | 41 706 | 678 | 1,6257 |

Tafel 7. Korrelationskoeffizienten für das Merkmal „Größe der Kettenzugkraft“ bei gleichzeitig auftretenden Kräften bei den Nachbarkühen x und y

| Ver-<br>suchs-<br>Nr. | Ver-<br>suchs-<br>tag | Kuh<br>x | Kuh<br>y | Korrelations-<br>koeffizient<br>$r_{xy}$ | Signifi-<br>kantz-<br>niveau<br>% |
|-----------------------|-----------------------|----------|----------|--|-----------------------------------|
| 1                     | 1                     | 1        | 2        | -0,824                                   | 99,90                             |
| 1                     | 2                     | 1        | 2        | -0,804                                   | 95,00                             |
| 1                     | 3                     | 1        | 2        | -0,817                                   | 95,00                             |
| 1                     | 4                     | 1        | 2        | -0,719                                   | 99,90                             |
| 1                     | 5                     | 1        | 2        | -0,467                                   | 99,73                             |
| 1                     | 6                     | 1        | 2        | -0,563                                   | 99,90                             |
| 1                     | 7                     | 1        | 2        | -0,712                                   | 99,90                             |
| 5                     | 1                     | 1        | 3        | -0,057                                   | —                                 |
| 5                     | 1                     | 4        | 5        | -0,028                                   | —                                 |
| 5                     | 2                     | 1        | 3        | -0,377                                   | 99,00                             |
| 5                     | 2                     | 4        | 5        | +0,022                                   | —                                 |
| 5                     | 3                     | 1        | 3        | -0,428                                   | 99,90                             |
| 5                     | 3                     | 4        | 5        | -0,189                                   | 90,00                             |
| 5                     | 4                     | 1        | 3        | -0,280                                   | 99,00                             |
| 5                     | 4                     | 4        | 5        | -0,307                                   | 99,00                             |
| 5                     | 5                     | 1        | 3        | -0,188                                   | 99,00                             |
| 5                     | 5                     | 4        | 5        | -0,310                                   | 99,90                             |
| 5                     | 6                     | 1        | 3        | -0,393                                   | 99,90                             |
| 5                     | 6                     | 4        | 5        | +0,061                                   | —                                 |
| 5                     | 7                     | 1        | 3        | -0,256                                   | 90,00                             |
| 5                     | 7                     | 4        | 5        | -0,194                                   | 90,00                             |

die Wahrscheinlichkeiten für das Auftreten von gleichzeitig 2, 3 und 4 physikalisch maximal möglichen Kettenzugkräften geschätzt werden. Für das Auftreten der maximal möglichen Kettenzugkraft bei einer Kuh wird der Wert von  $3,36 \cdot 10^{-5}$  angenommen. Die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von gleichzeitig zwei Tierkräften beträgt nach den vorliegenden Meßergebnissen  $2,83 \cdot 10^{-2}$ . Folglich ergibt sich die Wahrscheinlichkeit für das gleichzeitige Auftreten von zwei Kräften mit der maximal möglichen Größe zu  $3,19 \cdot 10^{-11}$ . Da in der normativen Nutzungsdauer von 10 Jahren an einem Bauteil, das durch zwei Kühe belastet wird, aber nur  $2,29 \cdot 10^7$  Lastwechsel zu erwarten sind, müßten 1369 Bauteile je 10 Jahre lang belastet werden, damit der

gesuchte Fall bei normalem technologischen Ablauf im Stall einmal auftritt. Die vorliegenden Meßergebnisse lassen den Schluß zu, daß an rd. 1400 Grabnerketten in 10 Jahren normativer Nutzungsdauer der maximale Lastfall einmal zu erwarten ist. Es wird deshalb die Schlußfolgerung gezogen, daß der Lastfall „zwei Kühe belasten dasselbe Bauteil mit der maximalen Kraft“ bei der statischen Dimensionierung der Grabnerkette für den normalen technologischen Ablauf nicht berücksichtigt zu werden braucht. Ähnlich verhält es sich mit dem gleichzeitigen Auftreten von drei und vier maximal möglichen Kettenzugkräften an einem Bauteil. Die Wahrscheinlichkeit ist mit  $2,15 \cdot 10^{-16}$  bei drei und  $3,06 \cdot 10^{-21}$  bei vier gleichzeitig auftretenden Kräften, die den physikalischen Grenzwert erreichen, so klein, daß diese Fälle bei der Dimensionierung der Bauteile für die Grabnerkette vernachlässigt werden können. Zu prüfen ist noch, ob die vorliegenden Meßergebnisse auf andere Baugruppen der Standausrüstung übertragen werden können. Da die Belastungen auch durch die Umwelt, in der die Kühe leben, beeinflusst werden, sind diese Fehler hinsichtlich ihrer Wirkung auf die Ergebnisse noch abzuschätzen.

#### 4. Zusammenfassung

Diskutiert wurden Meßergebnisse der Betriebsbelastungsanalyse an der Grabnerkette, die unter Produktionsbedingungen in einem Anbindestall bei normalem technologischen Ablauf gewonnen wurden. Für die statische Dimensionierung der Baugruppen spielt die Wahl der Lastannahmen eine große Rolle. Bei der Erarbeitung von Lastannahmen sind alle Lastfälle zu berücksichtigen, um die Bauteile für alle Anwendungsgebiete und über die gesamte Nutzungsdauer funktionstüchtig zu gestalten. Die notwendige Senkung des Stahleinsatzes je Tierplatz erfordert, die Bedeutung der Lastannahmen und ausgewählten Lastfälle für die tatsächlich auftretende Belastung während der gesamten Nutzungsdauer festzustellen. Die vorliegenden Meßergebnisse lassen die Schlußfolgerung zu, daß bei der Erarbeitung der Lastannahmen für die statische Dimensionierung der Bauteile der Grabnerkette

die Lastfälle „2, 3 und 4 Kühe belasten gleichzeitig dasselbe Bauteil mit der maximal möglichen Kraft“ wegen der kleinen Erwartungswahrscheinlichkeit nicht berücksichtigt zu werden brauchen. Diese Aussagen gelten nur für normalen technologischen Ablauf. Extremsituationen sind hinsichtlich ihrer Bedeutung für die Betriebsbelastungen gesondert zu betrachten.

#### Literatur

- [1] Krone, R.: Entwicklung einer Festlegevorrichtung für das Puerperalabteil einer Milchproduktionsanlage großer Tierkonzentration. Technische Universität Dresden, Sektion Kraftfahrzeug-, Land- und Fördertechnik, Forschungsbericht 1976 (unveröffentlicht).
- [2] TGL 32302/02 Standausrüstung für Rinder; Freßplatzabtrennungen. Ausg. 9/76, verbindlich ab 1. Juli 1977.
- [3] Bähr, H.; Türpitz, L.: Die Trittsicherheit von Stallfußböden und der Einflußfaktor Reibwiderstand. agrartechnik 26 (1976) H. 5, S. 241—243.
- [4] TGL 32456 Stallfußboden; Allgemeine Forderungen. Ausgabe 10/76, verbindlich ab 1. Juli 1977.
- [5] Krone, R.: Experimentelle Ermittlung der Belastungswerte für die Standausrüstung in Milchproduktionsanlagen. agrartechnik 27 (1977) H. 11, S. 488—490. A 2072

## Verringerung der Reibung an Gleitbandförderanlagen

Dipl.-Ing. M. Ziesch

### 1. Problemstellung

In Anlagen der industriemäßigen Rinderproduktion bilden Gurtbandförderer zur Verteilung und zum Transport von Futtermitteln ein entscheidendes Mechanisierungsmittel. Einer großen Anzahl von Vorteilen dieses Transportmittels, wie z. B.

- weitestgehend schonender Guttransport
  - große Leistung bei hohen Fördergeschwindigkeiten
  - geringer Verschleiß der Bauelemente
  - Möglichkeit der automatischen Steuerung und Regelung
  - geringe Wartungs- und Betriebskosten
  - geringer Bewegungswiderstand
  - geringer Platzbedarf
- stehen aber einige Nachteile gegenüber, die

einer noch schnelleren Verbreitung in Tierproduktionsanlagen (TPA) entgegenwirken. Solche Nachteile, die sich besonders aus den Einsatzkriterien der TPA ergeben, sind z. B.

- Beschränkung des Förderwinkels
  - geringe Fördermasse durch die geringe Schüttdichte der Futtermittel
  - Haften des Fördergutes am Band, an Umlenk- und Tragrollen
  - hohe Anschaffungskosten
  - relativ hoher Materialaufwand
  - Geradlinigkeit der Bandtrassenführung.
- Bandförderanlagen können grundsätzlich in zwei Typen eingeteilt werden:
- Anlagen mit tragrollengestütztem Gurt
  - Anlagen mit gleitendem Gurt.

Nach dem Fördergutquerschnitt werden flache

und gemuldete Bänder unterschieden.

Aus der Sicht der Funktion ist es für beliebige Einsatzfälle gleich, ob ein gleitendes oder ein tragrollengestütztes Band einzusetzen ist. In TPA kommen folgende gleitende Bandführungen zum Einsatz:

- Krippenauszugsband
- obenliegendes Band mit oszillierendem Abstreicher
- Gleitisch zur Aufhebung der Bandmuldung bei Abstreichstellen.

Die Reibung zwischen Band und Gleitfläche und eine maximal mögliche Bandlänge, die sich daraus ergibt, daß der Bewegungswiderstand mit zunehmender Bandlänge linear ansteigt, bilden Grenzen für die weitere Anwendung von Gleitbandförderanlagen in TPA, obwohl sie