

Theoretische und experimentelle Untersuchungen mit der Förderkette des Rohrkettenförderers

Dr.-Ing. H. Rasniewski, KDT¹⁾/Dipl.-Ing. R. Wilhelm, KDT

Verwendete Formelzeichen

A	m ²	Förderquerschnitt
d _M	m	Durchmesser des Mitnehmers
F _{RG}	N/m	spezifische Fördergutareibungskraft
F _{R, ges}	N/m	spezifische Gesamtreibungskraft
F _{RZ}	N/m	spezifische Zugorganreibungskraft
F _{W(i)}	N	Bewegungswiderstand auf geradliniger Strecke
F _Z	N	Zugkraft
g	m/s ²	Normalbeschleunigung
h ₂	m	Höhe
K		Faktor des Zusammenhangs von Vertikal- und Normaldruck
l _(i)	m	Länge eines Streckenabschnitts
M ₁		rechenstechnischer Faktor
P _H	N/m ²	Horizontaldruck
P _{H2}	N/m ²	Horizontaldruck in einem vollgefüllten Rohr
P _{N2}	N/m ²	Normaldruck in einem vollgefüllten Rohr
P _V	N/m ²	Vertikaldruck
P _{V2} , P _{V3}	N/m ²	Vertikaldruck in einem vollgefüllten Rohr
P _{Res}	N/m ²	resultierender Druck aus Vertikal- und Horizontaldruck
Q _m	kg/h	Massestrom
q	N/m	spezifische Eigenlast des Fördergutes
q _z	N/m	spezifische Eigenlast des Zugorgans
r ₁	m	Rohrinnenradius
r _M	m	Mitnehmerabstand
v _K	m/min	Fördergeschwindigkeit
w _i		spezifischer Zugorganbewegungswiderstand
w _{iq}		spezifischer Fördergutbewegungswiderstand
β	°	Winkel zwischen Resultierender und Normaldruck
η _F		volumetrischer Füllungsgrad
η _K		konstruktiver Füllungsgrad
Θ	°	Winkel zwischen senkrechter Achse und betrachtetem Punkt B
ρ	kg/m ³	Schüttdichte
φ _i	°	innerer Reibwinkel

1. Problemstellung

Zur Förderung trockener, mehlig und pelletierter Futtermittel werden in der Schweine- und Geflügelproduktion stationäre Verteileinrichtungen eingesetzt. In der Broilerproduktion herrschte die Auffassung vor, daß der bevorstehende Übergang zur Käfighaltung auch bei Broilern keine Weiterentwicklung der Fütterungstechnik notwendig macht. Die Fütterungseinrichtungen wurden deshalb kaum weiterentwickelt und entsprechen nicht mehr den agrotechnischen Anforderungen. Vor allem in Verbindung mit dem Ad-libitum-Fütterungssystem der Geflügel- und Schweineproduktion wird die Rohrfütterungsanlage jedoch ihre Bedeutung behalten [1].

In einer Studie wurde als Vorzugsvariante der Rohrkettenförderer herausgearbeitet,

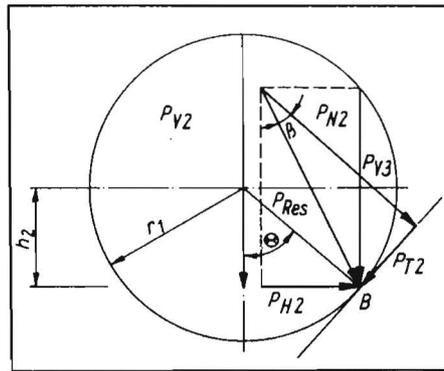


Bild 1. Querschnitt durch ein gefülltes Förderrohr und im unteren Teil entstehende Drücke

der sich durch Förderung und Umlenkbarkeit in allen Ebenen, Unempfindlichkeit gegenüber Fremdkörpern und relativ geringen spezifischen Stahleinsatz auszeichnet [2].

2. Stand der Wissenschaft und Technik

2.1. Fördertechnische Grundlagen

Nach Standard TGL 20166 gehört der Rohrkettenförderer als Stetigförderer zur Gruppe der Stegkettenförderer, bei denen das Fördergut auf einer Unterlage durch ein sich bewegendes Zugorgan, an dem Stege angebracht sind, verschoben oder/und getragen wird. Der Massestrom in einem Rohrkettenförderer ergibt sich aus der Kontinuitätsgleichung

$$Q_m = A \cdot v_{KQ} \cdot \eta_F \cdot \eta_K \quad (1)$$

Dabei ist η_K der konstruktive Füllungsgrad, d. h. das Verhältnis von tatsächlich vorhandenem zum theoretisch vorhandenen Volumen eines Rohrabschnitts.

Eine Analyse der Förderstrecke bei den Hauptanwendungsfällen Broilermaststall und Legehennenaufzucht ergab, daß rd. 70 % aller auftretenden Förderwiderstände Bewegungswiderstände auf geradlinig waagerechter Förderstrecke sind. Deshalb beschränken sich die nachfolgenden Betrachtungen auf diese Bewegungswiderstände.

Die Berechnung der Förderwiderstände erfolgt nach der Methode der Einzelwiderstände. Die Wirkprinzipie der Förderelemente und die allgemeinen Berechnungsgleichungen der Kräfte und Einzelwiderstände sowie durchgeführte experimentelle Ermittlungen der spezifischen Zugorgan- und Fördergutareibungskräfte sind in [3, 4] veröffentlicht worden. Danach ergibt sich der spezifische Bewegungswiderstand $F_{W(i)}$ auf geradliniger waagerechter Förderstrecke mit

$$F_{W(i)} = (q \cdot w_{iq} + q_z \cdot w_i) \cdot l_{(i)} \quad (2)$$

Die experimentell ermittelten Zugorgan- und Fördergutbewegungswiderstände gestatten nach Gl. (2) die Ermittlung der maximalen Kettenzugkraft bei gegebener Förderstrecke, ohne daß Aussagen über die Abhängigkeit

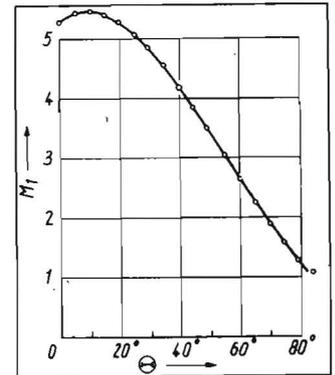


Bild 2. Abhängigkeit zwischen Faktor M_1 und Drehwinkel Θ (bei $\varphi_i = 27^\circ$)

der spezifischen Zugorgan- und Fördergutbewegungswiderstände von Konstruktions- und Betriebsparametern sowie Stoffkenngrößen getroffen werden können.

2.2. Dimensionierung der Förderkette

Als Zugorgan werden beim Rohrkettenförderer Rundstahlketten eingesetzt, an denen Mitnehmer angebracht sind. Die maximal zulässige Kettenzugkraft ergibt sich unter Berücksichtigung von Sicherheitsfaktoren aus der garantierten Mindestbruchkraft. Durchgeführte Messungen unter Praxisbedingungen [5] zeigen eine Überlastung der Förderkette und unterstreichen die Notwendigkeit, die spezifischen Zugorgan- und Fördergutbewegungswiderstände bei maximalem Massestrom zu minimieren.

3. Theoretische Betrachtungen

Am Beispiel eines Rohres mit dem volumetrischen Füllungsgrad $\eta_F = 1$ werden die wirkenden Normalkräfte verdeutlicht (Bild 1). Für die Betrachtungen werden folgende Annahmen getroffen:

- Die Dichte des Fördergutes ist im gesamten Querschnitt gleich.
- Im Fördergut wirkt der innere Reibwinkel φ_i .
- Das Schüttgut ist nicht adhäsiv, d. h., der Zusammenhang zwischen Vertikaldruck und Horizontaldruck läßt sich durch die Rankinsche Gleichung beschreiben.
- Das Fördergut erzeugt durch den Horizontaldruck Normalkräfte auf einen Mitnehmer, die entgegengesetzt gerichtet sind und sich aufheben.
- Verdichtungen des Fördergutes während des Fördervorgangs und damit wirkende passive Rankinsche Drücke werden vernachlässigt.
- Der Befüllvorgang erfolgt durch freies Fließen ohne äußere Druckeinwirkung. Die Gutschicht mit der Höhe $r_1 + h_2$ erzeugt in der Ebene des Punktes B den Vertikaldruck

$$P_{V2} = \rho g (r_1 + h_2) = \rho g (r_1 + r_1 \cos \Theta) \quad (3)$$

Damit wirkt im Punkt B nach der Rankinschen Gleichung

1) Dr.-Ing. Rasniewski ist im VEB Ausrüstungskombinat für Rinder- und Schweineanlagen Nauen tätig

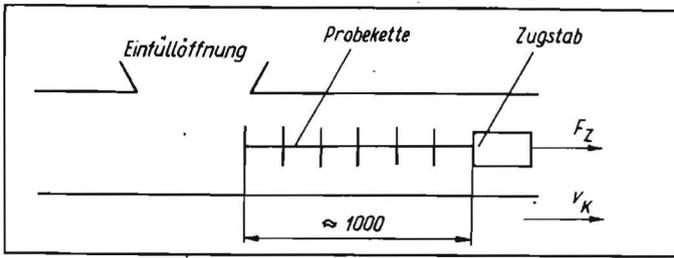


Bild 3
Schema des Versuchsaufbaus

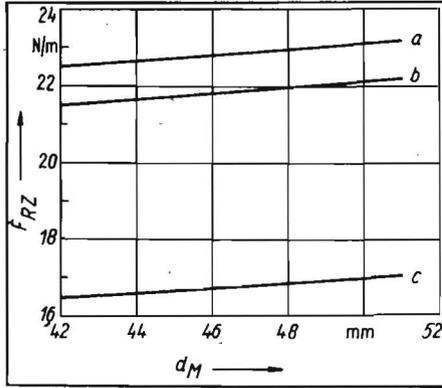


Bild 4. Spezifische Zugorganreibungskraft \bar{F}_{RZ} in Abhängigkeit von Mitnehmerdurchmesser d_M und Fördergeschwindigkeit v_K der Förderkette RFA 2

Kurve	v_K m/min
a	5,05
b	5,40
c	6,60

$$P_H = P_V \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi_1}{2} \right) = P_V K \quad (4)$$

der Horizontaldruck

$$P_{H2} = \rho g K (r_1 + r_1 \cos \theta) \quad (5)$$

Gleichzeitig wirkt im Punkt B der Vertikaldruck P_{V3} der über dem Punkt B liegenden Gutschicht $2h_2$:

$$P_{V3} = \rho g 2 r_1 \cos \theta \quad (6)$$

Der Horizontaldruck P_{H2} und der Vertikaldruck P_{V3} bilden die Resultierende

$$P_{Res} = \frac{P_{H2}}{\sin(\theta - \beta)} \quad (7)$$

Weiterhin gilt

$$\tan(\theta - \beta) = \frac{P_{H2}}{P_{V3}} \quad (8)$$

$$\beta = \theta - \arctan \left(\frac{P_{H2}}{P_{V3}} \right) \quad (9)$$

Die Normalkomponente P_{N2} ergibt sich dann aus

$$\cos \beta = \frac{P_{N2}}{P_{Res}} \quad (10)$$

Wenn Gl. (7) in Gl. (10) eingesetzt wird, ergibt sich

$$P_{N2} = \frac{P_{H2} \cos \beta}{\sin(\theta - \beta)} \quad (11)$$

Mit Gl. (5) folgt

$$P_{N2} = \frac{\rho g K (r_1 + r_1 \cos \theta) \cos \beta}{\sin(\theta - \beta)}$$

$$\text{mit } \cos \beta = \theta - \arctan \left[\frac{K(1 + \cos \theta)}{2 \cos \theta} \right] \quad (12)$$

Der Gesamtnormaldruck P_{N2} für den unteren Teil einer Seite des Förderrohrs ergibt sich

durch Integration von θ in den Grenzen von $0 \leq \theta < \frac{\pi}{2}$.

Zur rechenstechnischen Vereinfachung ist dabei

$$M_1 = \frac{(1 + \cos \theta) \cos \beta}{\sin(\theta - \beta)} \quad (13)$$

so daß

$$dP_{N2} = \rho g K r_1 \int_0^{\frac{\pi}{2}} M_1 d\theta \quad (14)$$

Das Integral erwies sich nicht als vollständig lösbar. Deshalb erfolgte eine näherungsweise Lösung des Integrals nach dem Sehn-Trapez-Verfahren durch Berechnung der Stützstellen auf dem Kleinrechner K 1003.

Im Bild 2 ist die Abhängigkeit des Faktors M_1 vom Drehwinkel θ am Beispiel eines Fördergutes mit $\varphi_1 = 27^\circ$ dargestellt. Der Verlauf der Kurve gibt einen qualitativen Eindruck der wirkenden Normaldrücke auf die Rohrwandung. Bezogen auf die Grundfläche, errechnen sich die wirkenden Normalkräfte aus den Normaldrücken.

Entsprechend dem Coulombschen Gesetz ergeben sich aus den Normalkräften Reibkräfte, die als Fördergutbewegungswiderstände wirken. Aus den theoretischen Betrachtungen folgt, daß die spezifische Masse des Zugorgans zu minimieren ist, um einen hohen konstruktiven Füllungsgrad η_f und minimale Zugorganbewegungswiderstände zu erreichen. In systematischen Versuchen waren dazu Mitnehmerabstand, -durchmesser sowie Fördergeschwindigkeit zu variieren. Als Zugorgan wurde eine Rundstahlkette gewählt, die eine höhere Festigkeit gegenüber der Basisvariante hat und geringere Ausfälle erwarten läßt.

4. Experimentelle Untersuchungen

Der Versuchsaufbau ist im Bild 3 schematisch dargestellt. Der Durchmesser der Einfüllöffnung des PVC-Rohrs R 63 x 3 betrug 24 mm. Durch das Rohr wurde jeweils eine Probekette (Länge rd. 1 000 mm) gezogen, so daß die im Zugstab gemessenen Kräfte spezifische Reibungskräfte sind. Auf den Zugstab wurden in bekannter Weise in Vollbrückenschaltung mit 2 aktiven Streifen Halbleiter-Dehnmeßstreifen geklebt. Die Probekette bestand aus einer Rundstahlkette, an der Mitnehmerscheiben unterschiedlichen Durchmessers in verschiedenen Abständen schraubbar angebracht werden konnten. Die experimentellen Untersuchungen erfolgten in den Bereichen:

Mitnehmerabstand t_M :
 $92,5 \text{ mm} \leq t_M \leq 220 \text{ mm}$

Mitnehmerdurchmesser d_M :
 $42 \text{ mm} \leq d_M \leq 51 \text{ mm}$

Fördergeschwindigkeit v_K :
 $5,5 \text{ m/min} \leq v_K \leq 6,5 \text{ m/min}$.

In Vorversuchen wurde die Anzahl der Versuche je Versuchseinstellung bei vorgegebener statistischer Sicherheit von 0,95 mit

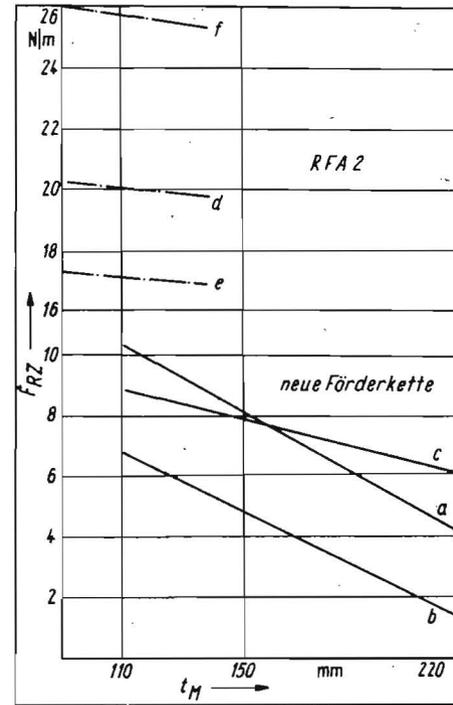


Bild 5. Spezifische Zugorganreibungskraft \bar{F}_{RZ} in Abhängigkeit von Mitnehmerabstand t_M und Fördergeschwindigkeit v_K

Kurve	v_K m/min
a	5,08
b	5,52
c	6,55
d	5,05
e	5,40
f	6,60

$n = 9$ ermittelt. Der Variationskoeffizient betrug 17 %.

Um das tendenzielle Verhalten der Einflußgrößen zu erkennen, wurde in den Hauptversuchen die Anzahl der Wiederholungen mit $n = 3$ festgelegt. Diese Tastversuche wurden mit Hilfe der Regressionsrechnung ausgewertet. Die Versuchsdurchführung erfolgte zuerst als Leerlauf, so daß die ermittelten Zugkräfte die spezifischen Zugorganreibungskräfte \bar{F}_{RZ} sind.

Die Lastversuche ergaben die spezifischen Gesamtreibungskräfte $\bar{F}_{R,ges}$, aus denen sich nach Gl. (15) die spezifischen Fördergutreibungskräfte ermitteln ließen:

$$\bar{F}_{RG} = \bar{F}_{R,ges} - \bar{F}_{RZ} \quad (15)$$

5. Ergebnisse

Die im Bild 4 dargestellte Abhängigkeit der spezifischen Zugorganreibungskraft \bar{F}_{RZ} vom Mitnehmerdurchmesser d_M rechtfertigt keine Vergrößerung des Mitnehmerdurchmessers. Das wird auch durch die Betrachtung der spezifischen Gesamtreibungskraft bestätigt.

Die Abhängigkeit der spezifischen Zugorganreibungskraft \bar{F}_{RZ} vom Mitnehmerabstand t_M für verschiedene Förderketten und Fördergeschwindigkeiten ist im Bild 5 dargestellt. Bei steigendem Mitnehmerabstand zeigen die Kurven einen fallenden Verlauf. Diese Tendenz wird auch bei der Messung der spezifischen Gesamtreibungskraft $\bar{F}_{R,ges}$ im untersuchten Bereich bestätigt. Eine weitere Vergrößerung des Mitnehmerabstands zur weiteren Materialminimierung wurde nicht durchgeführt, da bereits bei einem Mitnehmerabstand $t_M = 220 \text{ mm}$ die Funktions-

weise des Rohrkettenförderers in der Umlenkstation nicht gewährleistet war.

Aus den experimentellen Untersuchungen wurden als optimale Parameter für den geförderten Einsatzfall einer Förderkette folgende Angaben abgeleitet:

- Mitnehmerabstand $t_M = 110$ mm
- Mitnehmerdurchmesser $d_M = 42$ mm
- Fördergeschwindigkeit $v_K \approx 5,5$ m/min
- Abstützung der Förderkette während des Laufs durch die Umlenkstation
- Krafteinleitung vom Antriebskettenrad auf die Rundstahlkette.

6. Zusammenfassung

Für die horizontale und vertikale Förderung von trockenen, mehligen oder pelletierten Futtermitteln ist eine stationäre Trockenfutterverteilereinrichtung, der Rohrkettenförderer, notwendig. Schwerpunkt der Weiterentwicklung mußte das Zugorgan Förderkette sein, dessen Betriebs- und Konstruktionsparameter im Zusammenwirken mit den Stoffkenngrößen Einfluß auf die Förderwider-

stände haben. In theoretischen Betrachtungen und experimentellen Untersuchungen wurden der Einfluß der Konstruktionsparameter Mitnehmerabstand und -durchmesser sowie des Betriebsparameters Fördergeschwindigkeit ermittelt und daraus Richtwerte für eine neu zu entwickelnde Förderkette abgeleitet.

Literatur

- [1] Eckhof, W.: Die Aufgaben des landtechnischen Anlagenbaus im Fünfjahrplanzeitraum bis 1985. agrartechnik, Berlin 32 (1982) 2, S. 48–50.
- [2] Rasniewski, H.: Vergleich ausgewählter Trockenfutterverteilereinrichtungen. Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg, Studie 1981 (unveröffentlicht).
- [3] Rössel, D.: Einige Kenngrößen zur Projektierung von Rohrkettenförderern. agrartechnik, Berlin 27 (1977) 4, S. 174–175.
- [4] Rössel, D.: Untersuchungen zur Ermittlung von Projektierungskenngrößen für Rohrkettenförderer. Wissenschaftliche Zeitschrift der Wilhelm-Pieck-Universität Rostock, Mathematisch-natur-

wissenschaftliche Reihe; 26 (1977) 5; S. 547–551.

- [5] Rasniewski, H.: Weiterentwicklung des Rohrkettenförderers. Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg, Forschungsbericht 1982 (unveröffentlicht).

A 4188

Untersuchungen zur Überlagerung von Reaktionskräften an lose aufgelagerten Standausrüstungen für Milchvieh

Dr.-Ing. W. Garske, KDT/Prof. Dr. sc. techn. D. Rössel, KDT/Dipl.-Math. U. Partzsch

1. Problemstellung

In der Landwirtschaft der DDR sind für die Entwicklung, Konstruktion, Produktion und Montage, besonders von Anlagen der Tierproduktion, wissenschaftlich-technische Vorarbeiten notwendig, die in den zurückliegenden Jahren nicht für alle Bereiche vorlagen. Die ersten Lösungen industriemäßig produzierender Anlagen weisen teilweise funktionelle und materialökonomische Mängel auf [1, 2].

Steigende Rohstoffpreise auf dem Weltmarkt fordern in der Volkswirtschaft der DDR z. B. bis 1985 u. a. folgende Einsparungen [3]:

- 60 bis 70 Mill. t Rohbraunkohle
- 2 Mill. t Walzstahl
- 1 Mill. t Zement.

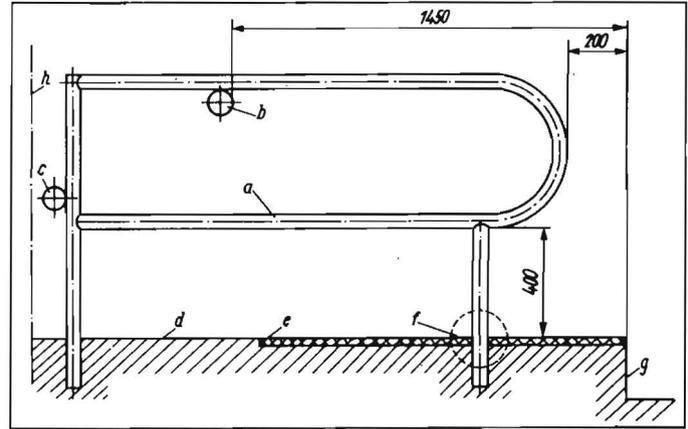
Deshalb ist auch für die Ausrüstungstechnik in der Tierproduktion die Anwendung der vom Institut für Leichtbau und ökonomische Verwendung von Werkstoffen Dresden aufgestellten Leichtbauprinzipien zwingend notwendig.

In Untersuchungen an vorhandenen Standausrüstungen [4] wird vorwiegend auf die Materialminimierung bzw. Materialoptimierung an Elementen der Standausrüstung eingegangen [5 bis 7].

Es zeigt sich aber, daß z. Z. bei gleichem Konstruktionsprinzip eine weitere Minimierung des Materialaufwands, z. B. der eingesetzten Tierplatzbegrenzungselemente, nicht möglich ist.

Bei Berücksichtigung der schon mehrfach in der Literatur angeführten Kriterien für die Neuentwicklung von Ausrüstungen [8 bis 11] wird die Aggregation von lose aufgelagerten Liegeflächenelementen für die Milchviehhaltung theoretisch und experimentell untersucht und dargestellt.

Bild 1
Liegeflächentrennbügel
nach Standard TGL
32303/02;
a Liegeflächentrennbügel, b Nackenriegel,
c Trennriegel, d Liegefläche, e Gummi-
matte, f kritischer Bereich, g
Kotgang, h Systemlinie



2. Stand der Erkenntnisse

2.1. Stand der Technik

Mit den Untersuchungen von Krone [5], Runge [6], Venzlaff [7] und Wetzl [12] wurde der Nachweis erbracht, daß die gegenwärtig eingesetzten Standausrüstungen [4] zum größten Teil überdimensioniert sind. Die Ergebnisse der Untersuchungen führten in Abhängigkeit von den Tierkräften zur Ermittlung der optimalen Dimensionen dieser Standausrüstungen.

Durch die elastische Gestaltung der aneinandergereihten Einzelelemente (Aggregation), die durch lose Auflagerung und durch Verwendung von Dämpfungselementen erreicht wird, entfallen die aufwendigen Einsatzverbindungen (Einspannung im Beton). Da über diese Einspannstellen Kräfte und Momente in das Bauwerk abgeleitet werden, treten unmittelbar über der Einspannstelle hohe Biegebeanspruchungen auf. Hinzu kommt, daß

in Tierproduktionsanlagen aggressive Medien (u. a. Kot, Harn, Reinigungs- und Desinfektionsmittel sowie Schadgase) auftreten und verstärkt Korrosion an der Standausrüstung auslösen [13].

Beide Faktoren – Belastung und Korrosion – bewirken im vorliegenden Fall besonders im kritischen Bereich (Bild 1) vorzeitige Abnutzung, Ausfall und daraus resultierend zusätzliche Kosten. Weiterführende Untersuchungen an der kombinierten Freß-Liege-Box [14] zur Minimierung des Stahlaufwands unter Verwendung von elastischen Elementen wurden von Wetzl [12] durchgeführt. Die Ergebnisse der theoretischen und experimentellen Untersuchungen zeigen, daß generell eine Verminderung der Reaktionskräfte in der Standausrüstung, z. B. durch Adapter, erreicht werden kann [15]. Diese Ergebnisse sind richtungweisend und bestätigen die Aussagen von Rössel [9].

Erste Untersuchungsergebnisse von ela-