

zugsvarianten verringern gegenüber dem Ist-Stand (Variante 0)

- die Brückenbildung um 80 bis 100 % und
- den mittleren Variationskoeffizienten um 50 bis 80 %

sowie erhöhen

- den Preis um 10 bis 30 %,
- den Stahlaufwand um 5 bis 15 % und
- den Energieaufwand um 1 bis 80 %.

Funktionell werden die besten Ergebnisse mit dem Keiltrichter (Variante 6) erzielt. Er erfordert jedoch gegenüber der Variante 0 einen um etwa 30 % höheren Preis. Der Stahlaufwand ist etwa 15 % höher. Außerdem ist die Eignung für Rekonstruktionsmaßnahmen geringer als beim Installieren eines höhenverstellbaren Einbaus (Varianten 4a und 4d). Variante 4d erhält gegenüber Variante 4a den Vorzug, weil die Brückenbildungsrate niedriger ist, und wird deshalb der Praxis empfohlen.

## 7. Zusammenfassung

Am Beispiel des Schweinemastfutters S II wird die Lagerung von Trockenmischfutter in Be-

hältern untersucht. Als Beurteilungskriterien gelten vor allem die Verringerung von Brückenbildung und Entmischung. Die besten Ergebnisse sind mit einem Keiltrichter oder durch die Umstellung von pneumatischer auf mechanische Befüllung zu erreichen. Beide Varianten können jedoch aufgrund der relativ hohen ökonomischen und energetischen Aufwendungen für die Praxis nicht empfohlen werden. Den Vorzug erhält deshalb die Nachrüstung mit einem höhenverstellbaren Einbauelement.

## Literatur

[1] Füll, C.: Grundlagen für die Berechnung von Auslaufquerschnitten zur Entnahme landwirtschaftlicher Güter aus Behältern. *Wiss. Zeitschrift der Wilhelm-Pieck-Universität Rostock* 25 (1976) H. 4, S. 457—463.

- [2] Schubert, G.: Gestaltung und Dimensionierung der Bunker und Silos auf der Grundlage der Schüttguteigenschaften. Vortrag zum Berg- und Hüttenmännischen Tag der Bergakademie Freiberg 1979.
- [3] Larsson, K.: Lagring av kraftfoder (Lagerung von Kraftfutter). *Jordbrukstekniska institutet Uppsala* (1975) Mitteilung Nr. 362.
- [4] Füll, C.: Lagerung von Trockenfutter in Hallen und Behältern. *agrartechnik* 26 (1976) H. 11, S. 523—525.
- [5] Scholz, V.: Grundlagen zur geometrischen Anordnung starrer Einbauten in Schüttgutbehältern. *agrartechnik* 30 (1980) H. 4, S. 163—166.
- [6] Johanson, J. R.: The use of flow-corrective inserts in bins (Die Benutzung fließverbessernder Einbauten in Behältern). *Journal Engineering Industry* 88 (1966) H. 2, S. 224—230.
- [7] Füll, C.: Einfluß des Abriebanteils von kompaktiertem Trockenfutter auf die Gestaltung von Lagerbehältern. *agrartechnik* 28 (1978) H. 5, S. 200—203.
- [8] Gatzky, D.: Modifizierte Schneckenförderer zum Dosieren und Entnehmen von Trockenfuttermitteln aus Behältern. *agrartechnik* 31 (1981) H. 8, S. 359—362.

A 3021

# Zusatzeinrichtungen für die Lagerung von Trockengrobfutterpellets in Behältern

Dr.-Ing. C. Füll, KDT, Forschungszentrum für Mechanisierung der Landwirtschaft Schlieben/Bornim der AdL der DDR

## 1. Problemstellung

In der DDR haben sich in den letzten Jahren die Kapazitäten für das Pelletieren von Trockengrünut und Stroh-Konzentrat-Gemischen beträchtlich erhöht. Die Vorteile von pelletiertem Futter ergeben sich durch höhere tierische Leistungen und durch die niedrigeren Aufwendungen bei den Transport-, Umschlag- und Lagerprozessen. Die Erhöhung der Effektivität stellt sich bei Lager- und Dosierprozessen jedoch nur dann ein, wenn Trockengrobfutterpellets die Eigenschaften eines möglichst frei fließenden Schüttgutes aufweisen. Hierzu gehört, daß man zur Zwischenlagerung an Tierproduktionsanlagen die Behälter benutzen kann, die für loses und pelletiertes Mischfutter verwendet werden. Die Hauptforderung ist dabei das störungsfreie Ausfließen der Pellets aus den Behältern. Läßt sich das nicht realisieren, müssen für das Zwischenlagern und Dosieren Annahmedosierer vorgesehen werden, die jedoch wesentlich höhere spezifische Aufwendungen erfordern.

## 2. Stand der Forschung

Ökonomisch optimale Behälterkonstruktionen erhält man, wenn die Fließeigenschaften der Pellets eine punktförmige Entnahme im Gravitationsfluß ermöglichen. Die Fließfähigkeit vermindert sich vor allem durch zunehmenden Abriebanteil und hohe Feuchtigkeitsgehalte. Die Grenze des Abriebanteils, bis zu der die Fließfähigkeit erhalten bleibt, wurde in früheren Untersuchungen theoretisch begründet [1]. Sie ist eine Funktion der Schüttdichte von ab-

riebfreien Pellets, der Pelletdichte und der Schüttdichte des Abriebs. Weiterhin wurde durch Ausfließversuche aus einem Modellbehälter festgestellt, daß bei einem Abriebanteil über 8 % die Behälteraktivität deutlich abnimmt und der Schüttwinkel progressiv ansteigt [2, 3]. Eldelind [4] fordert für den Feuchtigkeitsgehalt 12 % und für den Abriebanteil 10 % als zulässige Grenzen.

Für die Dimensionierung von Behältern zur kurzzeitigen Lagerung von Pellets mit einem Durchmesser von 8 bis 16 mm empfiehlt Eldelind [4] pyramidenstumpfförmige Auslauftrichter mit Wandneigungen von 45° zur Vertikalen und Seitenlängen der quadratischen Öffnung von > 300 mm. Bei Trockengrünutbriketts mit Durchmessern bis zu 16 mm sollten Seitenlängen > 350 mm vorgesehen werden. Als Wandneigungen sind Werte < 30° zur Vertikalen notwendig; wobei es vorteilhaft ist, wenn mindestens eine Wand senkrecht verläuft. Für längerfristige Lagerzeiten müssen die Seitenlängen quadratischer Öffnungen  $\geq 1000$  mm sein.

## 3. Zielstellung für experimentelle Untersuchungen

Durch experimentelle Untersuchungen am technischen Original sind folgende Probleme zu klären:

— Bestimmung der Grenzwerte von Feuchtigkeitsgehalt, Abriebanteil und Lagerungsdauer, bei denen ein störungsfreies Ausfließen ohne Zusatzeinrichtungen in den Behältern erfolgt

— Untersuchung von aktiv und passiv arbeitenden Zusatzeinrichtungen zur Verbesserung des Ausfließens. Störungsfreies Ausfließen liegt vor, wenn die technische Verfügbarkeit  $\geq 98$  % beträgt.

## 4. Versuche

### 4.1. Eigenschaften der verwendeten Pellets

Als Versuchsgut wurden hauptsächlich Stroh-Konzentrat-Pellets mit einem mittleren Strohanteil von 33 % verwendet. Sie haben folgende mechanische Eigenschaften:

Pelletdurchmesser	14 mm
Feuchtigkeit	10,9 bis 14,0 %
Abriebanteil	14,3 bis 39,2 %
Schüttdichte	396 bis 478 kg/m <sup>3</sup>
radiale Druckfestigkeit	18,0 bis 23,2 N/cm <sup>2</sup> .

Die Werte für Feuchtigkeit und radiale Druckfestigkeit liegen innerhalb der in den agrotechnischen Forderungen angegebenen Grenzen. Der gemessene Abriebanteil ist dagegen zu hoch.

### 4.2. Technische Lösungsvarianten

Alle experimentellen Untersuchungen wurden am Mischfuttersilo T 721 sowohl ohne als auch mit Zusatzeinrichtungen durchgeführt. Folgende Lösungsvarianten kamen zur Anwendung (Bild 1):

— Variante 0: Mischfuttersilo T 721 ohne Zusatzeinrichtungen

- Variante 1: starrer Kegel im Behälterauslauf
- Variante 2: starres diametrales Dach im Behälterauslauf
- Variante 3: Entlastungsnasen durch Einbau ebener Wände
- Variante 4: Kombination von diametralem Dach und vertikalem Rührwerkzeug
- Variante 5: Rüttelkorb
- Variante 6: Einblasen von Druckluft
- Variante 7: Entlastungsraum durch Herabsetzen des Abschlußkegels (Vorschlag der MVA De-delow).

Durch die Zusatzeinrichtungen der Varianten 1, 2, 3 und 7 werden im Behälterauslauf Entlastungsräume geschaffen, durch die der Druck der darüberliegenden Gutsäule auf die unteren Gutschichten vermindert wird. Außerdem kann sich das Gut während des Fließens zur Auslaufföffnung in diesen Räumen auflockern.

In Variante 4 wird dieser Effekt mit der Wirkung eines aktiv arbeitenden Rührwerks kombiniert. Bei den Varianten 5 und 6 erfolgt nur ein aktives Einwirken auf das Gut.

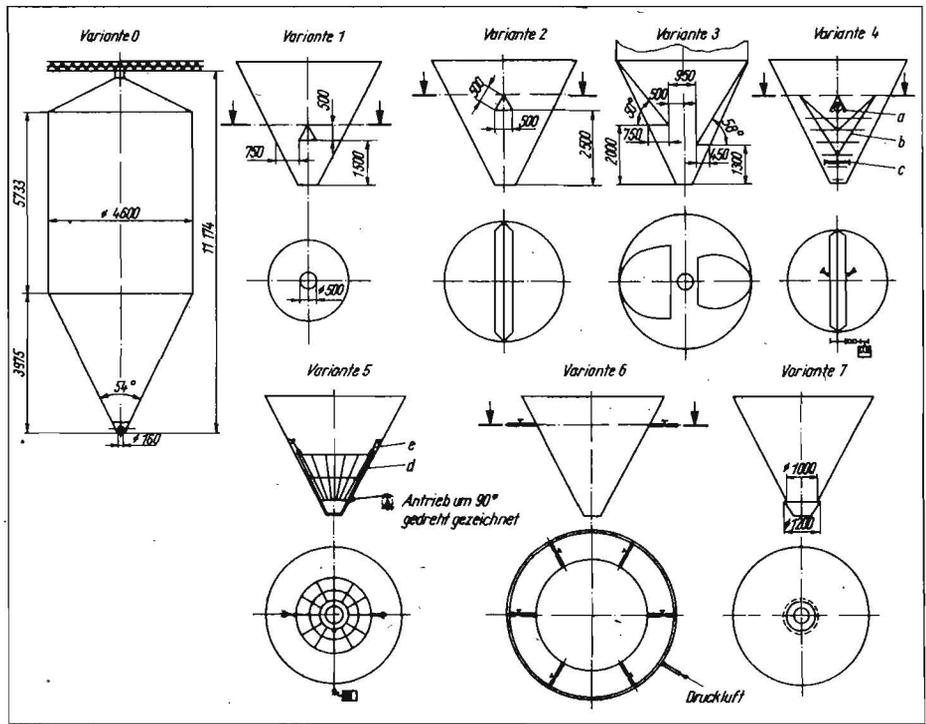


Bild 1. Varianten der experimentellen Untersuchungen am Mischfuttersilo T 721 ohne und mit Zusatzeinrichtungen

### 4.3. Versuchsdurchführung und -auswertung

Das Einlagern der Pellets in das Mischfuttersilo T 721 erfolgte mechanisch über Bechwerk und Schneckenförderer. Um den Einfluß der Lagerungsdauer zu erfassen, wurde diese von rd. 0 bis 148 h variiert. Unterschiedliche Abriebanteile und Gutfeuchtigkeiten ergaben sich durch die Schwankungen im Produktionsbetrieb.

Zur Bestimmung der Guteigenschaften wurden die Proben unmittelbar am Behälterauslauf entnommen. Als Abrieb gilt die Korngröße  $d_A[1]$ :

$$d_A \leq 0,5 d_p;$$

$d_p$  Pelletdurchmesser.

Die Bestimmung des Abrieb-Masseanteils erfolgte durch Aufnahme von vollständigen Korngrößenverteilungen und Ermittlung der Summenhäufigkeit des Siebdurchgangs bei der Korngröße  $d_A = 0,5 d_p$ .

In der Versuchsauswertung wurde das Erreichen der Zielstellung durch eine Ja-Nein-Entscheidung bestimmt.

## 5. Ergebnisse

### Variante 0:

Einfluß auf das Fließverhalten haben Abriebanteil  $m_A$ , Gutfeuchte  $f$  und Lagerungsdauer  $t_L$  (Bild 3). Im untersuchten Bereich muß mit Brückenbildung gerechnet werden, wenn folgende Grenzfunktion überschritten wird:

$$m_A = \frac{642,34}{f} - 0,19 t_L - 21,99;$$

$$B = 0,96.$$

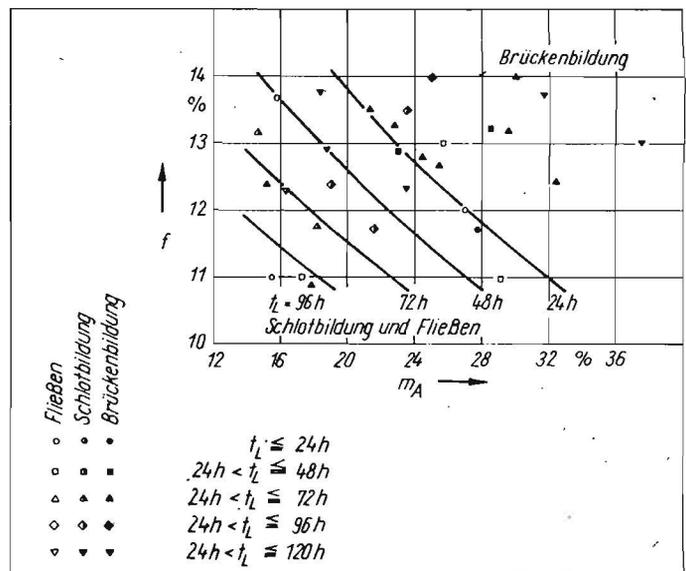
Es kann jedoch auch dann noch Schlotbildung auftreten, d. h., es bildet sich nach anfänglichem Fließen im Silozentrum ein Schlot, bzw. eine vollständige Entleerung durch freies Ausfließen wird nicht erreicht. Bei einem Abriebanteil bis 30% ist eine Entnahme ohne

Tafel 1. Grenzwerte für das Ausfließen von Trockengrobfutterpellets aus dem Mischfuttersilo T 721 (Durchmesser der Entnahmeschnecke 160 mm)

Variante	Strohpellets $d_p$ mm	$m_s$ %	Ausfließen ohne Störung			Ausfließen mit Störung		
			$t_L$ h	$f$ %	$m_A$ %	$t_L$ h	$f$ %	$m_A$ %
1	14	33	$\leq 24$	14,0	25,0	$\leq 24$	14,0	39,0
2	23	80	12	13,0	18,0	n. g. <sup>1)</sup>	n. g.	n. g.
3	14...23	80	$\leq 24$	n. g.	< 30,0	$\leq 24$	n. g.	> 30,0
4	14	33	96	14,0	25,0	148	14,5	33,0
			108	13,5	30,0			
5	14	33	72	13,3	23,0	72	12,4	33,0
6	14	33	72	12,8	20,0	60	14,0	30,0
						120	13,0	25,0
7	14	33	36	13,2	25,0	60	12,8	25
			48	13,0	25,0			

1) n. g. nicht gemessen

Bild 2. Abriebanteil  $m_A$  von Strohpellets bei der Lagerung im Mischfuttersilo T 721; Pelletdurchmesser  $d_p = 14$  mm; Strohanteil  $m_s = 33$  %; Schüttdichte  $\rho_s = 396 \dots 478$  kg/m<sup>3</sup>; Feuchtigkeit  $f = 10,9 \dots 14,0$  %



Störungen nur bei Lagerungszeiten  $t_L \leq 48$  h und Gutfeuchten  $\leq 11$  % möglich. Der zulässige Abriebanteil für höhere Lagerungszeiten und Gutfeuchten, bei dem die Entnahme ohne Störungen verläuft, konnte nicht ermittelt werden. Er liegt auf jeden Fall unter 15 %. Das stimmt mit den Ergebnissen theoretischer Untersuchungen überein [1]. Mit zeitweiligen Störungen und Schlotbildung muß sogar schon bei Abriebanteilen  $m_A \geq 10$  % gerechnet werden.

#### Variante 1:

Diese Lösung hat sich bis zu Abriebanteilen  $m_A \leq 25$  % und Lagerungszeiten  $t_L \leq 24$  h sowie Gutfeuchten  $f \leq 14$  % bewährt (Tafel 4). Da diese Werte in der Praxis größtenteils höher sind, kann eine Empfehlung nicht gegeben werden.

#### Variante 2:

Auch mit dieser Variante werden Verbesserungen erreicht, die jedoch für die Praxis nicht genügen. Berücksichtigung findet diese Lösung durch eine Kombination mit einem Rührwerk (Variante 4).

#### Variante 3:

Mit dem Einbau von Entlastungsnasen ist eine deutliche Steigerung der Fließfähigkeit zu erzielen. Der störungsfreie Betrieb erstreckt sich bis zu Abriebanteilen von 30 %. Da die ebenen Wände im Vergleich zum Kegeltrichter höher belastet werden, ist auf eine ausreichende Dimensionierung besonders zu achten.

#### Variante 4:

Durch diese Einrichtung werden die besten Ergebnisse auch bei langen Lagerungszeiten erreicht. Brückenbildung im Bereich der Behälteröffnung zwischen dem diametralen Dach  $a$  und der Trichterwand ist durch das aktive Einwirken des Rührwerkzeugs  $b$  nicht möglich. Die zentrische Lage des Rührwerkzeugs wird durch Ketten  $c$  fixiert (Bild 1). Die Belastung des Rührwerkzeugs und des diametralen Daches ist sehr hoch. Für eine sichere Funktion müssen die Bauteile ausreichend dimensioniert werden. Ist das gewährleistet, können Strohpellets selbst bei Lagerungszeiten von 108 h und einem Abriebanteil von 30 % störungsfrei entnommen werden. Die Gutfeuchte sollte auch hier nicht über 14 % betragen [15].

#### Variante 5:

Beim Einbau eines Rüttelkorbs ergeben sich Festigkeitsprobleme, die beachtet werden müssen. Durch die Befestigung des Rüttelkorbs  $d$  über die Glieder  $e$  an der Trichterwand kommt es zu einer Verformung im Bereich des Anlenkpunktes (Bild 1). Der Korb senkt sich und liegt an der Trichterwand an. Auf diese Weise wird die gewünschte Funktion nicht mehr erfüllt, und die Ergebnisse sind nicht mehr zufriedenstellend.

#### Variante 6:

Mit dem Einblasen von Druckluft in der ausgeführten Form werden kaum bessere Ergebnisse als in der Variante 0 erreicht.

#### Variante 7:

Diese Lösungsvariante brachte in Kombination mit einer veränderten Entnahmeschnecke gute Erfolge. Diese Entnahmeschnecke ist eine Sonderanfertigung und hat eine in Förderrichtung zunehmende Steigung. Weiterhin ergibt sich durch das Herabsetzen des Abschlußkegels ein offener Spalt, der als Stoßeröffnung benutzt werden kann. Dadurch ist es einer Bedienungsperson möglich, entstandene Brücken mit geringem Aufwand sofort zu zerstören. Ein zufriedenstellendes Ausfließen entsprechend der Zielstellung ist bei Trockengrünutpellets jedoch nur bis zu einem Abriebanteil von 30 % und geringen Lagerungszeiten möglich. Bei Strohpellets ist die Verbesserung jedoch nicht ausreichend. Störungsfreier Betrieb ist nur bis zu einer Gutfeuchte von 13 %, einem Abriebanteil von 25 % und einer Lagerungsdauer von 48 h möglich.

Alle Aussagen zu den untersuchten Lösungsvarianten gelten nur für Pellets, deren Festigkeit so groß ist, daß unter den herrschenden Druckverhältnissen ihre Geometrie kaum verändert wird. Vor allem ungenügend gekühlte Pellets werden im Behälter plastisch verformt und bilden dann ein stark verfestigtes Haufwerk, das auch mit aktiven Zusatzeinrichtungen kaum noch entnommen werden kann.

### 6. Schlußfolgerungen

Die Grenzen der Stoffkennwerte für das Ausfließen von Trockengrobfutterpellets aus dem Mischfuttersilo T 721 ohne Zusatzeinrichtungen liegen in Wertebereichen, die von der Praxis gegenwärtig nicht eingehalten werden

(Tafel 1). Von den untersuchten Lösungsvarianten gewährleistet das Rührwerkzeug in Kombination mit einem starr angeordneten diametralen Dach (Variante 4) störungsfreies Ausfließen am besten. Extreme Guteigenschaften müssen jedoch auch hierbei vermieden werden. Da die Aufwendungen für das Rührwerk im Vergleich zu anderen Varianten relativ hoch sind, können auch die einfacheren Lösungen der Varianten 1, 3 und 7 für die Praxis empfohlen werden. Die erreichbaren Effekte sind aber deutlich geringer.

### 7. Zusammenfassung

Die Zwischenlagerung von Trockengrobfutterpellets im Mischfuttersilo T 721 ist gegenwärtig in der Praxis mit häufigen Störungen verbunden. Im Beitrag werden die Grenzen der Stoffeigenschaften Abriebanteil und Feuchtigkeitsgehalt sowie der Lagerungsdauer angegeben. Die praktisch gewonnenen Ergebnisse stehen in Übereinstimmung mit früher durchgeführten theoretischen Untersuchungen.

Von den 7 untersuchten Zusatzeinrichtungen, die entweder starr im Behälter angeordnet waren oder aktiv arbeiteten, hat sich ein Rührwerk in Kombination mit einem diametralen Dach am besten bewährt.

### Literatur

- [1] Füll, C.: Einfluß des Abriebanteils von kompaktiertem Trockenfutter auf die Gestaltung von Lagerbehältern. *agrartechnik* 28 (1978) H. 5, S. 200—203.
- [2] Füll, C.: Physikalisch-mechanische und fördertechnische Eigenschaften von Trockengutpellets. *Dt. Agrartechnik* 20 (1970) H. 8, S. 362—365.
- [3] Füll, C.: Lagerung von Trockengrünut in Behältern. *Dt. Agrartechnik* 20 (1970) H. 6, S. 271—275.
- [4] Eldelind, J.: Gardshantering av hetluftstorkat foder (Die Arbeit auf dem Hof mit heißluftgetrocknetem Futter). *Jordbrukstekniska institutet Uppsala* (1976) Mitteilung Nr. 364.
- [5] Haker, D.: Theoretische und experimentelle Untersuchungen zur Entnahme von Trockenfutter aus Lagerbehältern. *Universität Rostock, Sektion Landtechnik, Diplomarbeit* 1977. A 3078

# Modifizierte Schneckenförderer zum Dosieren und Entnehmen von Trockenfuttermitteln aus Behältern

Dipl.-Ing. D. Gatzky, Forschungszentrum für Mechanisierung der Landwirtschaft Schlieben/Bornim der AdL der DDR

## 1. Aufgabenstellung

Die zu erreichende Arbeitsqualität und Funktionssicherheit von Entnahmeeinrichtungen werden durch agrotechnische Anforderungen festgelegt [1]. Die wichtigsten Anforderungen sind:

- schonende und energiearme Entnahme
- Unempfindlichkeit gegen wechselnde Korngröße
- minimale Entmischung durch Erzeugung von Massenfluß
- Erzeugung eines einstellbaren, konstanten,

zeitunabhängigen und reproduzierbaren Massenstromes.

Bei der Konzipierung von neuen Entnahmeeinrichtungen wird besonderer Wert auf eine massenflußbildende Wirkung des Austragorgans bei der Entnahme gelegt. Massenfluß ist dadurch gekennzeichnet, daß der gesamte Bunkerinhalt beim Entnehmen in Bewegung ist, wobei das Gut im Gravitationsfluß der Entnahmeeinrichtung zugeführt wird. Bei den üblichen Einrichtungen wird das Gut von der der Abgabestelle gegenüberliegenden Periphe-

rie des Behälters im Kernfluß ausgetragen, wobei der restliche Inhalt zeitweise bewegungslos stehen bleibt. Diese Einrichtungen begünstigen Entmischungen und Brückenbildungen.

Schneckenförderer, die für das Entnehmen und Dosieren von Trockenfuttermitteln am häufigsten Anwendung finden, erzeugen Kernfluß im Behälter. In Laboruntersuchungen soll ermittelt werden, ob durch konstruktive Änderungen an Schneckenförderern ein massenflußartiges Auslaufverhalten des Behälterinhalts erreicht