

Dr. W. HELBIG  
Dipl.-Ing. E. SCHERPING

## Messungen der Teilchengeschwindigkeit in Rohrleitungen von Fördergebläsen

### 1. Aufgabenstellung

Die Vorteile der Fördergebläse bei der Befüllung von Hochsilos rechtfertigen eingehende Untersuchungen des Fördermechanismus im Hinblick auf ausreichende Leistung und optimale Ausführung. Bereits seit längerer Zeit werden von verschiedenen Autoren grundlegende Untersuchungen über Konstruktionsfragen und die Messung verschiedener Größen wie Leistungsbedarf, Abwurfgeschwindigkeit und Wurfhöhe veröffentlicht [1] [2] [3].

Aus diesen Arbeiten geht hervor, daß auch der Geschwindigkeitsverlauf des Fördergutes über der Rohrlänge, insbesondere bei gekrümmten Rohrleitungen, von Interesse ist. Der Geschwindigkeitsverlauf ist nicht einfach berechenbar, da er von sehr vielen Faktoren abhängt. Es wurde deshalb versucht, ihn experimentell zu bestimmen.

### 2. Meßmethode

Dieser Versuch wurde an waagrecht liegenden Rohren von TESCH [3] mit Hilfe einer Zeitlupen-Filmkamera unternommen, die durch Einblicköffnungen an verschiedenen Stellen des Rohres die Verfolgung einzelner Halme an aufeinanderfolgenden Filmaufnahmen ermöglichte. Der technische Aufwand und der Zeitbedarf sind hierbei außerordentlich groß.

Die Anwendung der radioaktiven Meßtechnik bietet sich hier günstig an: Markiert man ein Teilchen des Fördergutes radioaktiv, so kann die von diesem Teilchen ausgehende  $\gamma$ -Strahlung durch das umgebende Material und die Rohrwand hindurch Strahlungsempfänger (z. B. Geiger-Müller-Zählrohre) erreichen, die außerhalb des Rohres angebracht sind (Bild 1a). Da die von einem Strahlungsdetektor empfangene Strahlungsintensität mit dem Quadrat der Entfernung von der Quelle abnimmt, wird das Teilchen dann registriert, wenn es sich nahe am Zählrohr befindet, also beim Vorbeifliegen (Bild 1b).

Bringt man mehrere Zählrohre am Förderrohr verteilt an und registriert die Signale, erhält man die Durchgangszeiten eines Teilchens über der Rohrlänge. Daraus lassen sich die mittleren Geschwindigkeiten in den Teilstrecken errechnen [4].

So einfach dieses Meßprinzip ist, erfordert es doch besondere strahlungsmeßtechnische Überlegungen und eine spezifische Gerätekombination, die kurz beschrieben werden sollen.

Die Markierung muß so erfolgen, daß sich die markierten Teilchen bei der Förderung ebenso verhalten wie andere. Wir verwendeten einen Wollfaden, auf den die radioaktive Substanz aufgebracht wurde. Als Nuklid fand Gold-198 ( $T_{1/2} = 2,7$  Tage) Anwendung, das durch Eintauchen des Wollfadens in eine komplexe organische Goldlösung auf den Faden gebracht wurde. Bei ersten Versuchen wurde der Faden durch Kochen in einer Toluol-Jod-Lösung mit J-131 ( $T_{1/2} = 8,1$  Tage) markiert.

Von diesem Wollfaden wurden kleine Stücke abgeschnitten und an ein Grünfutterteilchen angebunden. Dadurch ändern sich die Eigenschaften dieses Teilchens bezüglich der Förderung nicht, zumal es in seiner Beweglichkeit durch die umgebende Masse eingeschränkt ist.

Der besondere Vorteil dieser Markierung ist, daß die Größe der Aktivität nach den ersten Vorversuchen auf einfache Weise durch die Wahl der Fadenlänge optimal festgelegt werden kann.

Der Nachweis der Teilchen muß beim Vorbeilaufen an einem Zählrohr innerhalb eines kleinen Zeitintervalls  $\Delta t$  von Größenordnungsmäßig 10 ms erfolgen. Je kleiner dieses Zeitintervall ist, desto genauer ist die Zeitbestimmung für den Teilchendurchgang, desto geringer der Fehler der Geschwindigkeitsmessung. Innerhalb dieser Zeitspanne  $\Delta t$  muß eine ausreichende Zahl von  $\gamma$ -Quanten im Zählrohr Impulse auslösen. Da das Zählrohr von der Quelle aus gesehen nur einen kleinen Raumwinkel einnimmt ( $\approx 10^{-3}$ ), und von den Quanten, die das Zählrohr treffen, ebenfalls nur ein kleiner Anteil ( $\approx 10^{-2}$ ) Impulse auslöst, müssen von der Quelle in dem Zeitintervall  $\Delta t$   $10^5$  mal mehr Quanten ausgesandt werden, als man für die eindeutige Registrierung unbedingt braucht.

Will man wenigstens 10 Impulse innerhalb  $\Delta t \approx 10$  ms erhalten, muß das markierte Teilchen in 1 s somit etwa 2 bis  $3 \cdot 10^8$   $\gamma$ -Quanten emittieren, wenn man noch den statisti-

Bild 1. Schema der Messung von Teilchengeschwindigkeiten. a) Verteilung von Zählrohren über der Förderrohrlänge, b) Meßstelle mit nicht abgeschirmtem Zählrohr, c) Zählrohr durch Bleibauweise abgeschirmt

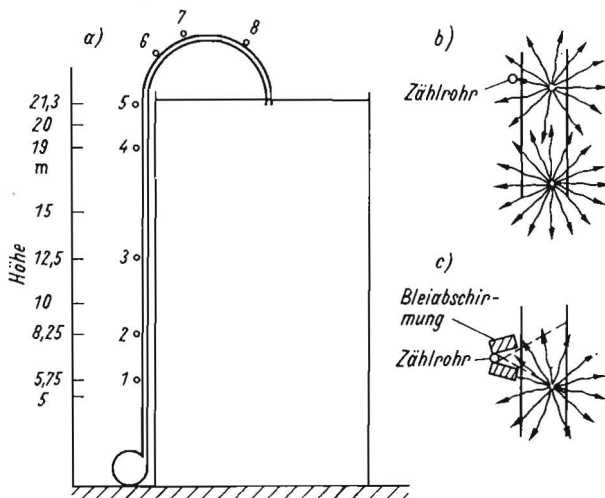
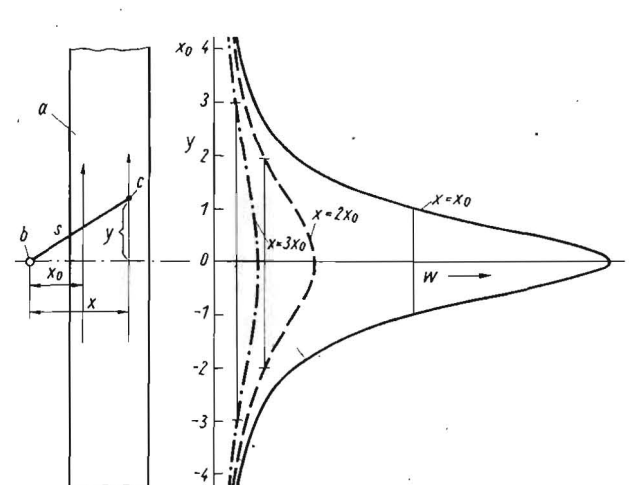


Bild 2. Nachweiswahrscheinlichkeit  $w$  eines Teilchendurchgangs durch ein außerhalb des Förderrohrs angebrachtes Zählrohr. a) Förderrohr, b) Zählrohr, c) markiertes Teilchen;  $x_0 = x_{\min}$ , Halbwertsbreite =  $2x$



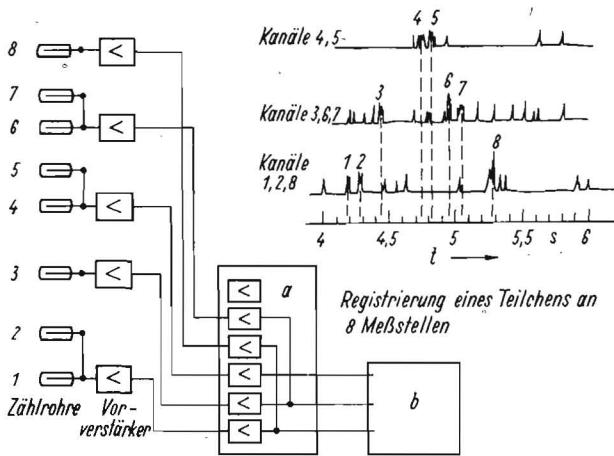


Bild 3. Schaltschema für Messung von Teilchengeschwindigkeiten. a 6-Kanal-Impulsdichtemesser, b 3-Kanal-Schreiber

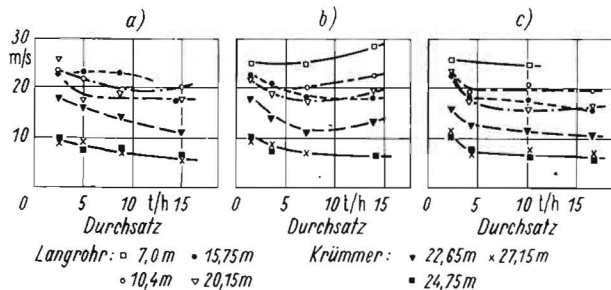


Bild 5. Teilchengeschwindigkeit in Abhängigkeit vom Durchsatz. Parameter: Ort der Meßstelle. Wiesengras a) mittellang, b) kurz, c) lang, frisch

schen Charakter des radioaktiven Zerfalls und die Absorption der Strahlung auf dem Wege zum Detektor berücksichtigt. Diese Aktivität, in der üblichen Maßeinheit rund 10 mCi, erfordert schon besondere Strahlenschutzvorkehrungen, zumal für eine rationelle Versuchsanstellung mehrere Teilchen nacheinander zum gleichen Versuch verwendet werden müssen.

Hohe Meßgenauigkeit erhält man, wenn das Zeitintervall  $\Delta t$  der Anzeige eines Durchgangs klein ist. Einfache geometrische Überlegungen führen zu folgenden Aussagen (Bild 2): Die Wahrscheinlichkeit dafür, daß vom markierten Teilchen ausgesandte Quanten im Zählrohr registriert werden, variiert sowohl in der Amplitude (also der Zahl der Impulse) als auch in der Breite  $\Delta t$  (die etwa gleich der Halbwertsbreite der gezeichneten Peaks ist) stark mit den geometrischen Koordinaten des Teilchens in bezug auf das Zählrohr. Eine Verbesserung ist auf zwei Wegen erreichbar: Das Zählrohr kann mit Bleikörpern gegen den Strahlungsbeitrag abgeschirmt werden, der einen einstellbaren Öffnungswinkel übersteigt (Bild 1 c).

Nachteilig ist dabei, daß man gezwungen ist, auch bei den ungünstigsten geometrischen Bedingungen noch einen sicheren Nachweis zu garantieren, also eine sehr hohe Aktivität je Teilchen anzuwenden. Die zweite Lösung kann aus Bild 2 abgeleitet werden: Die Peaks sind groß und schmal, wenn das Teilchen nahe am Zählrohr vorbeiläuft. Bringt man anstelle eines Zählrohres 2 oder 3 an einem Rohrquerschnitt um den Umfang gleichmäßig verteilt an und schaltet sie parallel, so werden die Nachweiswahrscheinlichkeiten addiert, und man erhält eine bessere Auflösung als mit einem unabgeschirmten Zählrohr. Die elektronische Verarbeitung der Impulse erfolgt nach Vorverstärkung (Bild 3) in einem 6-Kanal-Impulsdichtemesser (Eigenbau). Üblicherweise werden zeitlich veränderliche Zählraten analog verarbeitet, also von einem Impulsdichtemesser in eine variable Gleichspannung umgeformt. Eingehende Untersuchungen haben gezeigt, daß diese Messung

Heu	Durchsatz t/h	Zahl der Messungen	Frisches Wiesengras	Durchsatz t/h	Zahl der Messungen
• lang	1...4	33	• lang	4...16	16
• mittellang	0,9...5,3	20	• mittellang	2,8...15	30
• kurz	1,3...3,2	16	• kurz	1,6...14	25

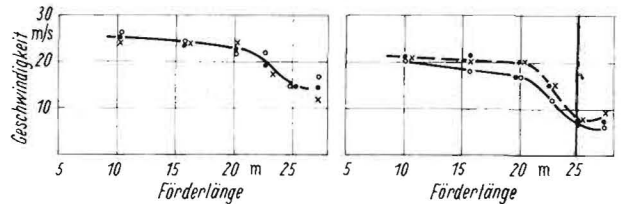


Bild 4. Teilchengeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Förderlänge

bei schnell veränderlichen Zählraten nachteilig ist [5]. Deshalb werden die Impulse nach der Verstärkung direkt ohne Integration auf einen 3-Kanal-Schnellschreiber geführt. An einem Beispiel wird die Registrierung des Durchgangs eines aktiven Teilchens an 8 Zählrohren deutlich (Bild 3). Die Schwerpunkte der Impulsgruppen sind auf  $\pm 5$  bis 15 ms Fehler auswertbar.

Die Anwendung einer 3-kanaligen Registrierung erleichtert die Erkennung einer eventuell ausgefallenen Meßstelle.

### 3. Versuchsdurchführung und Meßergebnisse

Bisher wurde vor allem das Gebläse Superlift 26 während der Förderung von Wiesengras mit verschiedenen Durchsätzen, Häcksellängen und Feuchtigkeiten untersucht. Mit einer Einstellung dieser drei Größen wurde etwa 1 min befüllt und dabei jeweils 6 bis 7 markierte Teilchen in Abständen von einigen Sekunden nacheinander in den Futterstrom am Gebläseeingang gegeben. Aus dem Gut, das über ein Fallrohr neben dem Hochsilo zurück auf einen Hänger gelangte, ließen sich die markierten Teilchen ohne Schwierigkeiten in wenigen Minuten mit Hilfe eines Strahlungsmeßgerätes wieder herausfinden, so daß Fördergut und markierte Teilchen wiederverwendet werden konnten. Im Ergebnis zeigte sich eine gleichbleibende charakteristische Verteilung der Geschwindigkeit über die Förderlänge (Bild 4). Die Geschwindigkeit nimmt im senkrecht stehenden Rohr bis zu 20 m Höhe nur wenig ab. Mit dem Eintritt des Gutes in den Auswurfbogen sinkt die Geschwindigkeit beträchtlich, erreicht noch vor dem höchsten Punkt des Krümmers mit etwa  $\frac{1}{2}$  bis  $\frac{1}{3}$  der Anfangsgeschwindigkeit einen

minimalen Wert und bleibt dann konstant im nach unten weisenden Endstück.

Weiterhin wurde ein nur geringfügiger Einfluß der Häcksellängen auf die Geschwindigkeitsverläufe festgestellt.

Die Abhängigkeit der Geschwindigkeit vom Bruttodurchsatz ist insbesondere zwischen 5 und 15 t/h nur gering (Bild 5). Dies gilt sowohl für die Geschwindigkeit im aufsteigenden Rohr als auch im Auswurfbogen. Im aufsteigenden Rohr ist an den unteren Meßstellen (7 bis 10 m) bei kurzem Wiesengras sogar eine mit höherem Durchsatz ansteigende Geschwindigkeit nachweisbar.

Da der Geschwindigkeitsverlauf in erster Näherung unabhängig ist von der Art des Fördergutes, dem Durchsatz im untersuchten Bereich und der Förderhöhe im senkrechten Rohr (Größenordnung 20 m/s), lassen sich folgende Diskussionspunkte herausgreifen:

Die Durchsätze lassen nach den bisherigen Messungen noch keinen oberen Grenzwert erkennen, soweit das senkrechte Rohr für sich betrachtet wird. Während des Durchlaufens durch den aufsteigenden Auswurfbogen verliert das Gut rund die Hälfte seiner Geschwindigkeit. Da das Futter den höchsten Punkt des Auswurfbogens noch mit etwa 10 m/s (7 bis 15 m/s) durchläuft, fällt es nicht aus dem unten offenen Rohrbogen heraus, sondern erfüllt noch den eigent-

## Dichte und Temperatur in Siliergutstapeln mit freier Oberfläche

### 1. Aufgabenstellung

In der DDR hat sich die Silagebereitung zum bedeutendsten Konservierungsverfahren der Grundfutterproduktion für Rinder entwickelt. Etwa 70 Prozent des Grundfutters werden zukünftig als Silage verabreicht. Aufgabe der Silier-technik ist es, optimale Bedingungen für den Gärverlauf zu schaffen, um gute bis sehr gute Silage zu erhalten.

Die Gärverluste sind um so geringer, je niedriger die Temperatur im Futter ist. Das setzt voraus, daß der Gasaustausch zwischen Futter und Atmosphäre weitgehend eingeschränkt wird. In der Zeitspanne der Beschickung haben Siliergutstapel stets freie Oberflächen und sind einem ungehinderten Luftzutritt ausgesetzt. Vorliegende Beobachtungen lassen einen Zusammenhang zwischen Dichte und Temperatur erkennen, der jedoch noch nicht für verschiedene Futterpflanzen geklärt ist. Um das Gasvolumen im Futterstock möglichst klein zu halten und somit die Sauerstoffzufuhr und eine starke Anfangswärmung zu vermeiden, wird das Futter in Horizontalsilos aktiv verdichtet. Im Hochsilo findet eine Verdichtung durch die Schwerkraft des Futterstockes statt. Wird in Hochsilos auf eine aktive Verdichtung verzichtet, ist täglich eine bestimmte Siliergutmenge einzulagern. Es wird eine durchschnittliche Dichte des Futters von 400 kg/m<sup>3</sup>, bei einem TM-Gehalt von 30 bis 50 Prozent angestrebt. Um dies zu erreichen, muß täglich eine Schicht von etwa 5 m eingelagert werden. Bei einem Hochsilo von 7,30 m Durchmesser sind das rund 85 t/d und bei einem Silo mit 12 m Durchmesser etwa 230 t/d.

Bisher konnten diese Mindestfüllmengen bei den z. Z. angewendeten Verfahren der Hochsilobewirtschaftung nicht erreicht werden. Die Beziehungen zwischen Dichte, Siliergutart und Temperatur in der Futterschüttung sind nur unzureichend bekannt. Es ist zu ermitteln, welchen Einfluß die Futterarten und der TM-Gehalt auf den Temperaturverlauf von Schüttungen unterschiedlicher Dichte aufweisen. Für die Technologie und die Siliertechnik ergeben sich daraus

Schlußfolgerungen über Mindestdichten, die bei freier Oberfläche eine unzulässige Temperaturerhöhung vermeiden.

### 2. Methode und Versuchsdurchführung

In fünf zylindrischen Blechbehältern mit 0,95 m Durchmesser und 0,96 m Höhe wird Siliergut unterschiedlicher Dichte eingelagert. Der Boden ist geschlossen, die Oberfläche durch einen Gitterrost, der einen ungehinderten Luftzutritt ermöglicht, abgedeckt. Für auftretenden Sickersaft ist ein Abfluß vorgesehen. Um eine Wärmeabgabe durch die Behälterwände einzuschränken, sind die Wände mit einer wärmedämmenden Isolierschicht umgeben.

Siliergut einer bestimmten Häcksellänge und eines bestimmten TM-Gehaltes wird gewogen, in die Behälter gefüllt und durch eine hydraulische Presse auf die vorgesehene Dichte gebracht (Bild 1).

Mit einem Druck bis max. 3 kp/cm<sup>2</sup> kann das Futter im Behälter auf rund 900 kg/m<sup>3</sup> verdichtet werden. Nach dem Verdichten wird die rostförmige Abdeckung an der Behälteroberkante befestigt, um eine Rückdehnung zu verhindern. Die Behälter werden dann unter einem Schutzdach abgestellt.

Zur Messung der Temperatur werden Eisen-Konstantandraht-Thermoelemente verwendet. Zur leichteren Einführung wird von oben eine Öffnung an der vorgesehenen Stelle in den Futterstock getrieben. Um eine eventuelle Temperaturdifferenz von der Mitte des Behälters nach außen hin zu erfassen, werden im Behälter fünf Meßstellen angeordnet (Bild 2).

Eine sechste Meßstelle erfaßt die Außentemperatur. Von einem Kompensationsbandschreiber *a* wird der Temperaturverlauf aufgezeichnet (Bild 3). Ein Thermostat *b* dient zur Einhaltung der Gegenlötlötlentemperatur von 50 °C. Ein Programmzeitgeber *c* ermöglicht es, daß die Temperatur in den einzelnen Behältern in einer festgelegten Reihenfolge vom Kompensationsbandschreiber aufgezeichnet werden kann.

(Fortsetzung von Seite 470)

lichen Rohr-Querschnitt. Mit der Verringerung der Geschwindigkeit im Krümmer um den Faktor  $\frac{1}{a}$  ist also eine *a*-fache größere Füllung des Rohrvolumens verbunden. Es besteht folglich die Möglichkeit der Stauung im Übergang vom senkrechten Rohr zum Auswurfbogen. Die Leistung der Anlage könnte durch diesen Sachverhalt begrenzt werden, die eingehende Untersuchung konstruktiver Varianten wäre zu erwägen.

Die Methode ermöglicht die Messung des Geschwindigkeitsverlaufes in Förderrohren mit relativ geringem Aufwand. Damit kann auch eine exakte Aussage über den Füllungsgrad im Rohr gemacht werden: Die Dichte  $\rho$  des Gutes im Rohr beträgt.

$$\rho = \frac{D}{q \cdot v}$$

Hierin bedeuten:

- D* Durchsatz
- q* Querschnitt
- v* Geschwindigkeit

Es ergibt sich bei den zu den Versuchen vorhandenen Be-

dingungen ( $D = 15 \text{ t/h}$ ,  $v = 20 \text{ m/s}$ ,  $f = 7 \text{ dm}^2$ ) im senkrechten Rohr

$$\rho \approx 0,003 \text{ t/m}^3, \text{ also } 3 \text{ kg/m}^3$$

im Auswurfbogen dagegen (mit  $v = 7 \text{ m/s}$ )

$$\rho \approx 8,5 \text{ kg/m}^3$$

Die Methode wird 1970 zu weiteren systematischen Untersuchungen an Gebläsen für die Hochsilo-Belüftung angewendet.

### Literatur

- [1] KAMPF, G.: Theoretische und experimentelle Untersuchungen an Wurfgeläsen. VDI-Forschungsheft 466, Beilage zu „Forschung auf dem Gebiet des Ingenieurwesens“ B, Band 24, (1958)
- [2] GLUTH, M.: Aufbereitungstechnik II, 12, S. 733 (1969). Vortrag anläßlich einer VDI-Tagung in Braunschweig
- [3] TESCH, M.: Vollmechanisierte Bergung und Verwendung von Häckselstroh in der sozialistischen Landwirtschaft. Dissertation Humboldt-Universität, Berlin 1968
- [4] BEER, M. / W. HELBIG / H. RETTIG: Bewegungsuntersuchungen mit radioaktiv markierten Stoffen. Deutsche Agrartechnik (1968) II, 7, S. 304
- [5] HELBIG, W. / K. BAGANZ: Digitale Registrierung schnell veränderlicher Zählraten am Beispiel der kontinuierlichen Bodendichtemessung unter dem fahrenden Schlepper. Isotopenpraxis (in Vorbereitung) A 8068