

## Messung, Berechnung und Simulierung kontinuierlicher Mischsysteme für Feststoffe mit periodischer Wägedosierung

Dr. M. Beer, KDT / Dipl.-Ing. W. Recker, KDT, Institut für Mechanisierung Potsdam-Bornim der AdL der DDR

### 1. Aufgabenstellung

Die Mischfutterindustrie der DDR, ein wichtiger Faktor für effektive und besonders für industriemäßige Produktion von Fleisch und Milch, stellt mit ihrem Produktionsvolumen von rd. 3 Mill. t im Jahr einen volkswirtschaftlich wesentlichen Industriezweig dar. Geplante hohe Steigerungsraten in den nächsten Jahren zwingen zu grundsätzlichen Überlegungen bei der Auswahl leistungsfähiger Verfahren für Neubau-, Rekonstruktions- und Rationalisierungsvorhaben.

Gegenwärtig wird beim wichtigsten Verfahrensschritt, Dosieren—Mischen auf diskontinuierliche Prozesse (Chargen-Wägedosierung und Chargenmischer, Bild 1b) orientiert. Ihre Automatisierung verursacht hohen Investitions- und Wartungsaufwand. Das mischtechnisch günstigere kontinuierliche Produktionsverfahren (Bild 1a) ist durch die Nachteile des bisher vorgeschalteten Volumendosierers (infolge ständiger Änderung der Dichte einzelner Komponenten) in seiner Arbeitsqualität begrenzt.

Es wurde die Aufgabe gestellt, zu prüfen, ob die Vorteile beider Verfahren — Wägedosierung und kontinuierlicher Mischer — zu einem neuartigen Verfahren für die Herstellung von Feststoffgemischen konstanter Qualität verbunden werden können. Daraus ergab sich die Frage, ob und wann ein kontinuierlicher Mischer in der Lage ist, periodisch anfallende Dosierstöße von Komponenten (periodische Entleerung von Waagen) gleichmäßig in einen Feststoffstrom einzumischen.

#### Verwendete Formelzeichen

$V_M$	Variationskoeffizient des Meßverfahrens
$c_I$	Indikator-Konzentration
$V_I$	Variationskoeffizient der Indikatorgehalte der Einzelproben
$t_m$	effektive mittlere Verweilzeit
$t'_m$	mittlere Verweilzeit (Bruttoverweilzeit)
$D$	Durchsatz in t/h
$m$	Füllmasse im Mischer
$c_E(t)$	zeitlicher Verlauf der I-Konzentration am Mischereingang
$c_A(t)$	zeitlicher Verlauf der I-Konzentration am Mischerausgang
$T_1$	Zeitraum der Überdosierung
$T_2$	Zeitraum „Dosierung = 0“
$T_8$	Störzeit (= $T_1 + T_2$ )

### 2. Meßverfahren

Die hohen Durchsätze kontinuierlicher Produktionslinien (5 bis 20 t/h) sind nur durch eine hohe Anzahl von Proben über längere Produktionszeiten gesichert bewertbar. Chemische Analysen würden dafür nicht realisierbaren Zeit- und Mittelaufwand verursachen. Außerdem sind die wertbestimmenden Bestandteile des Mischfutters (wie Rohprotein und Rohasche) gleichzeitig in mehreren Komponenten enthalten; ihre Analyseergebnisse müssen also nicht eindeutig sein.

Deshalb fand die bereits früher beschriebene radiometrische Indikatormethode /1/ Anwendung, die inzwischen insbesondere bei den nachfolgenden Auswertarbeiten rationalisiert wurde.

### 3. Wirkung kontinuierlicher Mischer auf Dosierschwankungen

In früheren Untersuchungen /2/ konnte gezeigt werden, daß kontinuierliche Mischer nicht nur die Aufgabe haben, übereinander dosierte Komponentenströme vertikal zu vermischen, sondern auch die bei Feststoffen unvermeidbaren Dosierschwankungen (schematisch im Bild 2) über der Zeit auszugleichen.

Am Beispiel eingebrachter definierter Dosierfehler einer radioaktiv markierten Indikatorsubstanz in Form eines Dosier-Abbruchs in Labor- und Industrieanlagen wurde nachgewiesen, daß die ausgleichende Wirkung des kontinuierlichen Mischers durch die effektive mittlere Verweilzeit  $t_m$  charakterisiert wird, die aus der exponentiellen Funktion der Mischer-Antwort auf solche Störungen bestimmt werden kann (Bild 3).

Im Fall des idealen kontinuierlichen Mischers, der auch unter Produktionsbedingungen bei Durchsätzen bis 20 t/h annähernd realisiert werden konnte, ist die effektive mittlere Verweilzeit mit der aus Durchsatz  $D$  und Masse  $m$  des Mischerinhalts berechenbaren mittleren Verweilzeit

$$t'_m = \frac{m}{D}$$

identisch (Bild 3a). Bei realen Mixern kann für die Aus-

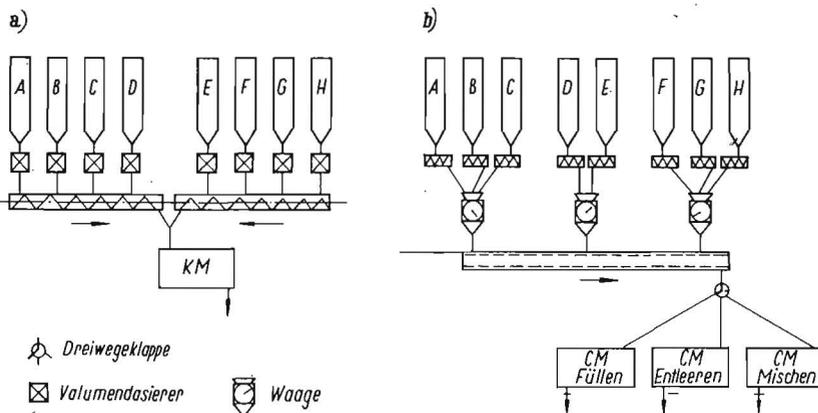
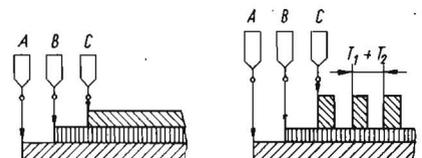


Bild 1. Anlagenbeispiele für kontinuierliche und diskontinuierliche Produktion von Mischfutter a) kontinuierliche Produktion b) diskontinuierliche (Chargen-)Produktion; KM kontinuierlicher (Durchlauf-)Mischer, CM diskontinuierlicher (Chargen-)Mischer.

Bild 2. Kontinuierliche und periodisch diskontinuierliche Dosierung.



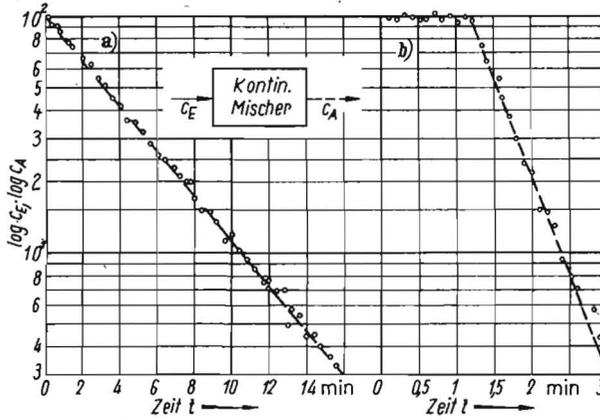


Bild 3. „Antwort“ von Industriemischern auf Abbruchstörungen nach der Funktion  $c_A(t) = c_0 \cdot e^{-t/t_m}$

a) KM 1000 mit	b) Doppelschneckenmischer mit
$m = 1,0 \text{ t}$	$m = 0,3 \text{ t}$
$D = 12,8 \text{ t/h}$	$D = 10,0 \text{ t/h}$
$t_m = 4,6 \text{ min}$	$t_m = 0,6 \text{ min}$
$t'_m = \frac{1,0 \text{ t}}{12,8 \text{ t/h}} = 0,078 \text{ h}$	$t'_m = 1,8 \text{ min}$
$= 4,7 \text{ min}$	

gleichwirkung von Dosierschwankungen nur mit der aus der Abbruch-Antwortkurve ermittelten effektiven Verweilzeit  $t_m$  gerechnet werden (Bild 3b).

#### 4. Vorausberechnung kontinuierlicher Mischsysteme bei periodischer Dosierung

Das mathematisch definiert beschreibbare Verhalten kontinuierlicher Mischer gegenüber definierten Dosierschwankungen stellte zwangsläufig die Frage, welcher Zusammenhang zwischen Eingangsfunktion  $c_E(t)$ , Mischergröße bzw. seiner effektiven Verweilzeit und der Ausgangsfunktion  $c_A(t)$  besteht, die die Restschwankungen beim Verlassen des Mixers charakterisiert.

Unter der Annahme einer Dosierung in Form von Rechteckimpulsen mit nachfolgenden Dosierpausen (z. B. periodisch entleerenden Waagen) läßt sich aus der Mischerfunktion relativ einfach die Größe der Maxima, Minima und der Kurvenverlauf von  $c_A(t)$  im Verhältnis zur Form und Frequenz der Störung und der effektiven mittleren Verweilzeit  $t_m$  bestimmen (Bilder 4 und 5). Die daraus berechneten Variationskoeffizienten (Bild 6) wurden in einer Reihe von Werken bei Praxisexperimenten bestätigt (Tafel 1).

Es ist demnach möglich, bei gegebenem Mischer und festgelegter Mindest-Homogenität der Endprodukte die Mindest-

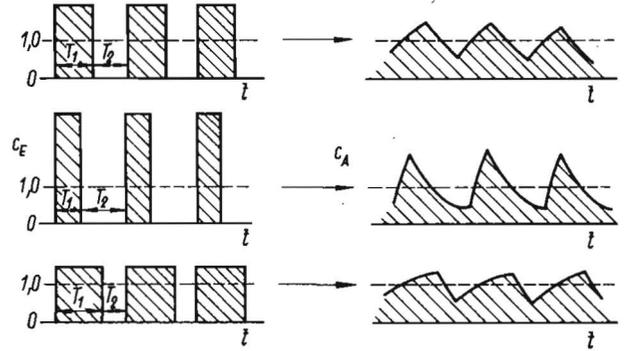


Bild 4. Veränderung von Dosierimpulsen ( $T_1:T_2 = 1:1, 1:2, 2:1$ ) durch kontinuierliche Mischer

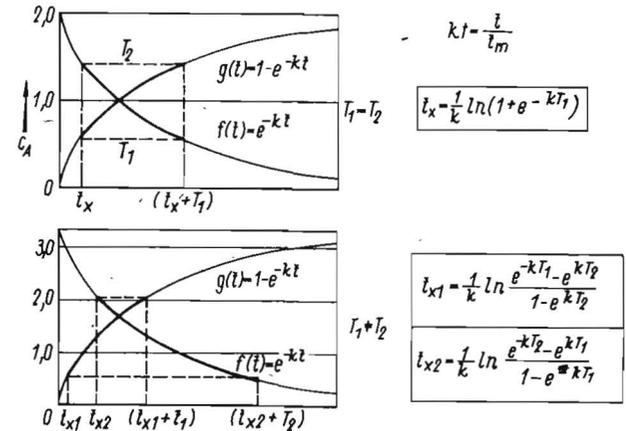


Bild 5. Berechnung des Verlaufs von  $c_A$  bei Impulsdosierung von  $c_E$

frequenz der periodischen Waagenentleerungen festzulegen oder umgekehrt die Mindestgröße (Füllmasse) des Mixers zu bestimmen.

#### 5. Simulation der Reihenschaltung von kontinuierlichen Mixern

Es gibt Werke, die nach dem Prinzip der Chargenproduktion arbeiten, bei denen Schaltfehler zwischen den einzelnen Arbeitstakten hohe Störanfälligkeit bewirken und bei denen technologisch bedingte Schulpausen zwischen den Dosierzyklen effektiv zu annähernd 50 Prozent Stillstand führen. Es lag nahe, zu prüfen, ob der gegebene zyklische Dosiervorgang bei pausenlosem Ablauf in Verbindung mit einem kontinuierlichen Mischer zu homogenen Produkten bei

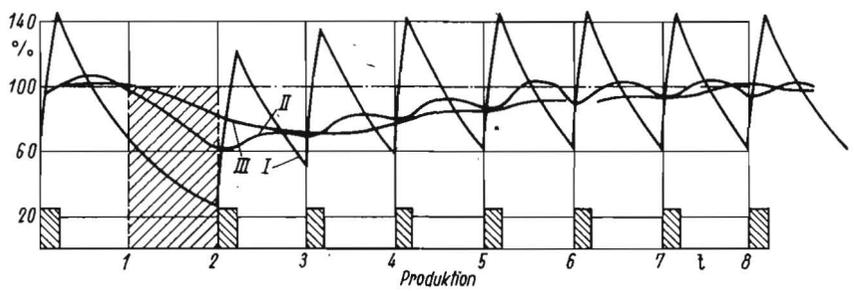
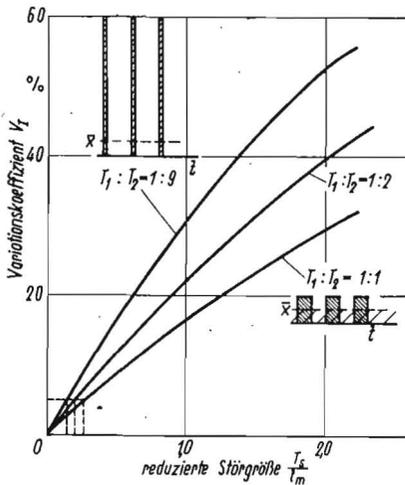


Bild 7. Einfluß von Dosier-Störungen auf  $c_A$ -Änderungen am Ausgang eines kontinuierlichen Mischsystems mit periodischer Dosierung (3 Mischer mit je  $m = 1 \text{ t}$ ,  $D = 20 \text{ t/h}$ ;  $T_s:t_m = 1:1$ , Dosierung (Höhe 1:100)

Bild 6. Variationskoeffizient  $V_I$  am Ausgang eines kontinuierlichen Mixers als Funktion von Dosierart, -frequenz und mittlerer effektiver Verweilzeit des Mixers.

Tafel 1. Vergleich experimentell ermittelter und theoretisch berechneter Homogenität von Feststoffgemischen bei periodischer Dosierung in Abhängigkeit von der Dosierfrequenz (Rechteckimpulse 1:10, D = 8 t/h, m = 1,0 t, KFM Teltow,  $V_I$  = Variationskoeffizient der Indikatorgehalte)

$T_s : t_m$		0,6	0,5	0,4	0,3	0,2
$V_I$ (exp.)	%	22	16	12	10	6
$V_I$ (ber.)	%	20	16	13	9	5

Tafel 2. Vergleich von auf dem Analogrechner und im Werkstest (Schwerin-Wüstmark) ermittelten Werten für die Homogenität der Endprodukte bei 3 in Reihe geschalteten Mischern ( $m = 1,2$  t, D = 20 t/h, Abstand zwischen den Waagenentleerungen 500 kg je Zyklus,  $T_s = 1,5$  min)

	berechnet %	experimentell %
nach dem I. Mischer	18	20
nach dem II. Mischer	8	7
nach dem III. Mischer	4	4...5

Tafel 3. Abfall der Indikatorkonzentration nach in Reihe geschalteten Mischern bei Ausfall der Indikator Komponente über 2 Dosierzyklen (D = 20 t/h,  $m_1 = m_2 = m_3 = 1,1$  t, 500 kg je Zyklus;  $T_s = 1,5$  min)

	I. Mischer %	II. Mischer %	III. Mischer %
experimentell	32	62	73
simuliert	30	60	72

wesentlich gesteigerter Leistung führen kann. Die Rechnung (nach Bild 5) ergab eine Mindestgröße des Mixers in der Größenordnung von 3 t. Mixer der Größe standen nicht zur Verfügung. Die einzige denkbare Sofortlösung war die Reihenschaltung der vorhandenen drei, bisher im Wechseltakt arbeitenden Mixer.

Das große Risiko eines Umbaus ist ohne Vorausberechnung nicht tragbar. Es war nachzuweisen, ob die Reihenschaltung von drei 1-t-Mischern in der Wirkung einem 3-t-Mischer äquivalent war. Eine rein mathematische Lösung, die die Ausgangsfunktion des ersten Mixers als Eingangsfunktion für einen weiteren Mischer verwendet usw., ist nur mit unvermeidbar hohem Aufwand möglich.

Die einfache Übergangsfunktion des kontinuierlichen Mixers und die gute Übereinstimmung der Rechnungen mit praktischen Messungen gestatten jedoch die Simulation auf dem Analogrechner durch Nachbildung der analogen Schaltfunktionen: Regelglieder  $T_1$ , d. h. Regelkreisglieder mit der Verzögerung erster Ordnung, entsprechen genau dem Verhalten der Mixer und ergeben die allgemeine Lösung der Differentialgleichung

$$T \dot{x} + x = 0$$

Diese Regelglieder sind mit Trenngliedern einfach in Reihe schaltbar. Durch Veränderung von T ist es möglich, jedes beliebige Zeitverhalten (in Analogie zur effektiven mittleren Verweilzeit  $t_m$ ) zu simulieren. Als Eingangssignal wurden Rechteckimpulse 1 : 10 verwendet, die dem zeitlichen Einlauf einzelner Mikrokomponenten in den Mixer weitgehend entsprachen.

Die simulierten Ergebnisse (Bild 7) ergaben im Vergleich mit Messungen bei Produktionsdurchsätzen bis 23 t/h gute Übereinstimmung nach dem ersten, zweiten und dritten Mischer (Tafel 2).

Selbst bei extremen Provokationen, wie Ausfall einer Komponente bei der periodischen Entleerung der Waagen (Bild 7) wurde gute Übereinstimmung festgestellt (Tafel 3).

Das überraschendste Ergebnis dieser Simulationsvergleiche und experimentellen Überprüfung war die Tatsache, daß die Reihenschaltung von 2 bzw. 3 Mixern mit der Füllmasse m keine Notlösung darstellt, sondern daß ihre Wirkung im Gebiet  $T_s : t_m < 1$  sogar besser ist, als die von Mixern der Größe 3 m.

Die Ergebnisse dieser Untersuchungen gestatten nicht nur die Vorausberechnung der Wirkung beliebiger kontinuierlicher Mischsysteme mit vorgelagerter periodischer Wägedosierung, sie lassen auch deutliche Möglichkeiten zur Weiterentwicklung des Aufbaus effektiver kontinuierlicher Mixer und zur Neukonzipierung von Dosierern erkennen.

## 6. Zusammenfassung

Kontinuierliche Mixer lassen sich durch Messung der effektiven mittleren Verweilzeit charakterisieren. Die theoretische Übergangsfunktion von Störungen nach Mischerdurchgang ermöglichte die Vorausberechnung von Mischsystemen aus periodischer Massedosierung und kontinuierlichem Mischen, die bei experimenteller Überprüfung unter Produktionsbedingungen gute Übereinstimmung ergaben.

Die Simulation der Vorgänge auf dem Analogrechner erlaubt Aussagen über kompliziertere, mit einfachen mathematischen Mitteln nicht mehr berechenbare kontinuierliche Mischsysteme (z. B. Reihenschaltung von Mixern).

## Literatur

- 1/ Beer, M.; Helbig, W.: Homogenitätsuntersuchungen bei der Herstellung von industriellen Mischfuttermitteln. Isotopenpraxis 3 (1967).
- 2/ Beer, M.: Untersuchung der Wirkung kontinuierlicher Feststoffmischer mit Hilfe von radioaktiven Nukliden. Vortrag auf der Konferenz „Maschinen in der chemischen Industrie“. Budapest, April 1968.
- 3/ Adolphi, G. u. a.: Lehrbuch der Chemischen Verfahrenstechnik. Leipzig: Verlag für Grundstoffindustrie 1973. A 9497

## KDT-Veranstaltungen

Aus der Vielzahl von Veranstaltungen anderer Fachverbände der KDT haben wir einige weitere ausgewählt (s. a. H. 4, S. 186 und H. 5, S. 240), für die Interesse auch bei unseren Lesern zu erwarten ist:

### Fachverband Maschinenbau

- |   |                            |
|---|----------------------------|
| Arbeitszeit und materialeinsparende Technologien der Uniform- und Abtrenntechnik  | 29.—30. Juni<br>Leipzig    |
| Vermittlung neuester Erkenntnisse der Kleb- und Gießharztechnik für den Einsatz in der metallverarbeitenden Industrie und im Bauwesen | 1.—2. Okt.<br>Leipzig      |
| Rationalisierung der Arbeit des Konstruktionsingenieurs   | 22.—23. Okt.<br>Dresden    |
| Einsatz produktiver Beschichtungsverfahren im Maschinenbau zur Erhöhung der Qualität der Erzeugnisse und Effektivität der Fertigung   | 6. Nov.<br>Karl-Marx-Stadt |
| Neue Aspekte der Anwendung der WAO im Maschinenbau  | 19.—20. Nov.<br>Dresden    |
| Erhöhung der Zuverlässigkeit und Stabilität der Fertigungsprozesse in der metallverarbeitenden Industrie                              | 3. Dez.<br>Karl-Marx-Stadt |

### Wissenschaftlich-technische Gesellschaft Energiewirtschaft

- |   |                        |
|---|------------------------|
| Probleme der effektiven Instandhaltung in der Braunkohleindustrie (Instandhaltungstagung) | 24.—25. Sept.<br>Borna |
|---|------------------------|

AK 9893