

Steuer- und Regeleinrichtungen für die Maschinenketten zur Hochsilofüllung

Ing. H. Kraut, KDT*

Im Zusammenhang mit der zunehmenden Konzentration der Rinder- und Milchproduktion werden an die Verfahren zur Hochsilofüllung steigende Forderungen bezüglich der Füllleistung gestellt. Dies führte zur allgemeinen Erhöhung des Nenndurchsatzes bei Fördergebläsen sowie zum Einsatz leistungsfähigerer Gurtbandteilstörderer. Bisher werden solche Förderer mit hohem Nenndurchsatz nicht optimal ausgelastet. Das liegt begründet im zeitlich stark schwankenden Durchsatz sowie — speziell bei Füllung mit Fördergebläsen — in der Furcht vor Gebläserohrverstopfungen. Diese Erscheinung steht im Widerspruch zur weiteren Erhöhung des Nenndurchsatzes. Sie bekommt besondere Bedeutung, wenn die stationäre Maschinenkette zur Befüllung mit der Anlieferung der Felderntetechnik exakt abgestimmt wird. Eine solche Abstimmung ist unbedingt erforderlich, denn Förderer in Großanlagen sind Teil einer komplexen Maschinenkette, die hohe Grundmittel bindet.

Aus dieser Situation leiten sich die zu lösenden Aufgaben ab. Es ist zu untersuchen,

- durch welche automatisch arbeitenden Einrichtungen bei Füllung mit Fördergebläsen Rohrverstopfungen ohne nennenswerte Senkung des Auslastungsgrades zuverlässig verhindert werden können
- durch welche regelungstechnischen Maßnahmen der Betriebsdurchsatz von Stollengurtsteilförderern bzw. Fördergebläsen maximal gesteigert werden kann.

1. Automatischer Verstopfungsschutz

Bei Füllung mit Gebläse (Bild 1) wird das zu fördernde Siliergut *b* von der Kratzerkette des Dosierers *a* gegen die Frästrommeln *c* bewegt und auf den Abzugsförderer *f* abgeworfen. Anschließend läuft es über die Zwischenförderer *g*, *h* sowie über das Fördergebläse *i* in den Hochsilobehälter *k*. Der automatische Verstopfungsschutz wird in dieser Maschinenkette notwendig, weil bei hoher Auslastung von Fördergebläsen durch geringfügige Änderungen der Gutparameter oder des Durchsatzes leicht Gebläserohrverstopfungen auftreten. Solche Verstopfungen ziehen die körperlich anstrengende Rohrreinigung und einen Füllzeitausfall von durchschnittlich 15 Minuten nach sich. Die betriebssichere Verhütung von Verstopfungen beseitigt eine Ursache der mangelhaften Auslastung der Fördergebläse. Der Verstop-

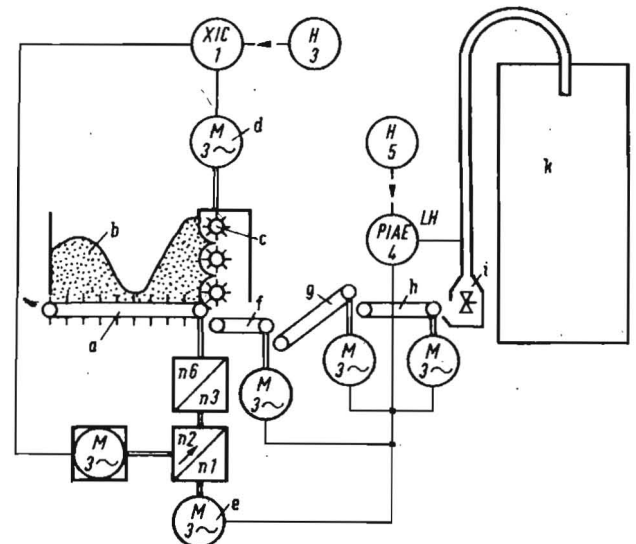
fungsschutz besteht aus einem Meßglied und einer Programmsteuerung für die dem Gebläse vorgeschalteten Antriebe. Als Meßprinzip für den Auslastungsgrad des Fördergebläses wird die Druckmessung im Gebläserohr benutzt. Dieses Prinzip eignet sich naturgemäß nur für Gebläse mit ausreichend hohem Luftförderanteil, wie z. B. das Fördergebläse FG 35-2.

Das Meßglied wird aus zwei U-Rohr-Manometern gebildet, die über Schlauch mit dem Druckentnahmestutzen am unteren Ende des Gebläserohrs verbunden sind. Beide sind mit einem eingefärbten Elektrolyten gefüllt und zur Füllstandsabtaugung von Schwellwerten mit höhenverstellbaren Elektroden ausgerüstet. Ein U-Rohr-Manometer bildet den der Stopfgrenze entsprechenden Überlastimpuls, das andere liefert ein Signal, wenn das Gebläserohr wieder frei ist.

Nach Erreichen des eingestellten Überlastschwellwerts am Druckwächter PIAE 4 werden sämtliche dem Gebläse vorgeschalteten Förderer *h*, *g*, *f*, *a* stillgesetzt. Bedarfsgerecht verzögert bewirkt das Signal „Gebläserohr frei“ das schrittweise Wiederanlaufen der einzelnen Förderer in der Reihenfolge entgegen der Förderrichtung. Der Abzugsförderer unter dem Dosierer *f* wird während der Förderpause von den ständig laufenden Frästrommeln des Dosierers *c* mit etwa der zwei- bis dreifachen Schütthöhe belegt. Daher läuft er beim Wiederanlauf in zwei gleich großen Schritten leer. Die Pausen zwischen allen Schritten sind so gewählt, daß während des Wiederanlaufprogramms der Druckwächter nicht erneut anspricht.

Nach den bisherigen Betriebserfahrungen werden durch den automatischen Verstopfungsschutz Gebläserohrverstopfungen zuverlässig verhindert, sofern der Überlastschwellwert richtig eingestellt ist und die Druckentnahmestutzen nach Bedarf gereinigt werden. Die richtige Einstellung des Überlastschwellwerts ist in gewissen Grenzen abhängig von der Gutart und -feuchte. Sie muß empirisch ermittelt werden. Zweckmäßig wird die Einstellung etwa 10 Prozent unterhalb

Bild 1. Arbeitsablauf bei der Füllung. *a* Kratzerkette des Dosierers, *b* Siliergut im Dosierer, *c* Frästrommeln des Dosierers, *d* Antriebsmotor der Frästrommeln, *e* Antriebsmotor der Kratzerkette, *f* Abzugsförderer vom Dosierer, *g* und *h* Zwischenförderer, *i* Fördergebläse (mit ausreichendem Luftförderanteil), *k* Hochsilobehälter; PIAE 4 und H 5 Drucküberwachung mit Anzeige, Grenzwertsignalisierung und Noteingriff sowie Grenzwertverstellung von Hand



* Institut für Mechanisierung der Landwirtschaft Potsdam-Bornim der DAL zu Berlin (Direktor: Obering. O. Bostelmann)

(Fortsetzung von Seite 310)

ungsmaßnahmen für das vorgesehene Bedienungspersonal, die mitentscheidend für einen hohen Nutzeffekt derartiger Einrichtungen sind.

Bei Berücksichtigung dieser Punkte kann vermieden werden, daß einzelne Beschäftigte in der Einrichtung ein unerwünschtes Überwachungsinstrument sehen und daß die Einrichtung nicht optimal genutzt wird.

Literatur

- 1/ Oberländer, P.: Datenerfassung in der Stückgut- und Chargenfertigung. (Reihe Automatisierungstechnik 120) Berlin: VEB Verlag Technik 1971
- 2/ Hesse, H.: Die Produktionskontroll- und -lenkungsanlage „FERTU-DATA 1100“. Rechentechnik und Datenverarbeitung 10 (1966) S. 10 bis 19 A 8533

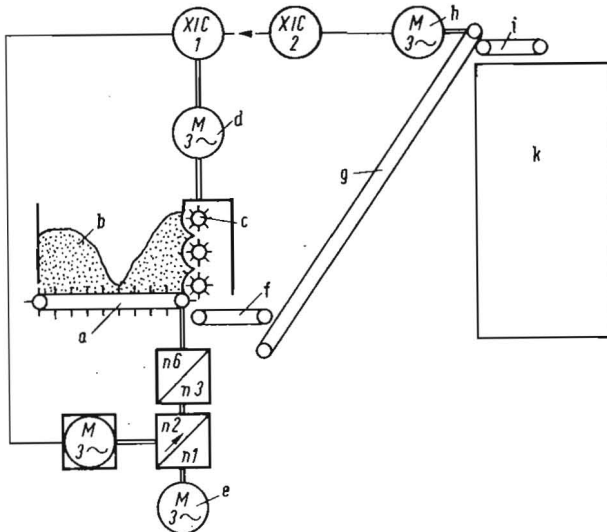


Bild 2. Stationäre Maschinenkette zur Befüllung mit dem Steilförderer; a bis e. und k wie in Bild 1; f, n Zwischenförderer ($n \geq 2$), g Steilförderer, h Antriebsmotor des Steilförderers, i Zentrumsförderer; XIC 1 Regelung des Leistungsbedarfs von d, XIC 2 Hauptregelung für Durchsatz, führt Regelung XIC 1 nach Nenn-Leistungsbedarf von h

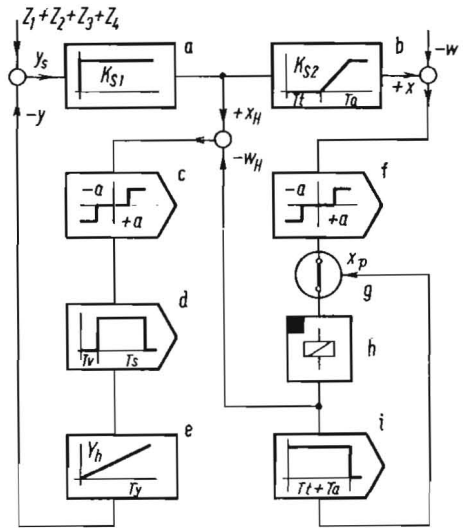


Bild 3. Gliederung der Regelstrecke; a Teil 1 der Regelstrecke: Kratzerkette bis Fräströmmeln. b Teil 2 der Regelstrecke: n Zwischenförderer bis Ende Steilförderer ($t + ta \geq 15$ s), c, d, e Zweilaufregler, kompensiert nur Störgröße z_1 ; f, g, h, i Führungsregler, kompensiert insbesondere die Störgrößen z_2, z_3, z_4 ; c, f, Wirkleistungsmeßglied mit Dreipunkt-Relaisausgang; d Schaltverstärker, zeitverzögert; e Stellantrieb für stufenloses Getriebe der Kratzerkette; g Ausschalter, gesteuert durch i; h Sollwertspeicher für Zweilaufregler; i Schaltverstärker für Ausschalter, Impulsdauer $\geq t + ta$; z_1 wirksamer Abfräsquerschnitt des Silierguts; z_2, \dots, z_4 Dichte, Häcksellänge und Art des Silierguts; w Solldurchsatz in t/h

desjenigen Druckwerts gewählt, bei dem die ersten Verstopfungsanzeichen auftreten.

Der Nutzeffekt des Verstopfungsschutzes entsteht

- durch Reduzierung des Füllzeitausfalls nach einer Überlastung auf etwa 2 Prozent des bisherigen Mittelwerts,
- durch höhere Auslastung des Fördererbläses, weil der Auslastungsgrad am U-Rohr-Manometer erkennbar ist und weil gelegentliche Überlastungen nicht mehr die körperlich anstrengende Rohrreinigung nach sich ziehen.

2. Durchsatzregelung bei Hochsilofüllung mit Stollengurtsteilförderer

Die stationäre Maschinenkette zur Befüllung durch Steilförderer (Bild 2) beginnt mit einem Dosierer, seiner Kratzerkette a, seinen Fräströmmeln c sowie deren Antrieben d, e. Anschließend folgen mindestens zwei Gurtbandzwischenförderer (im Bild 2 als Band / zusammengefaßt dargestellt), ein Stollengurtsteilförderer g, ein Gurtbandzentrumsförderer i sowie eine Verteileinrichtung im Hochsilobehälter.

Der mit dieser Maschinenkette erreichbare Durchsatz wird im Normalfall vom Steilförderer begrenzt. Sämtliche anderen Glieder der Kette lassen bereits einen höheren Durchsatz zu oder sollten mit relativ geringem Mehraufwand so ausgelegt werden, daß sie den möglichen Durchsatz des Steilförderers nicht beschränken. Es ist daher die Aufgabe der Durchsatzregelung, den Steilförderer ständig voll auszulasten. Der Durchsatz soll als Massestrom gemessen werden. Außerdem gibt es eine Begrenzung des Fördervolumens. Es liegt nahe, als Meßgröße für den Auslastungsgrad den Wirkleistungsbedarf des Antriebsmotors heranzuziehen. Weil beim Steilförderer der Leistungsbedarfswachstum unter Last im wesentlichen durch die zu leistende Hubarbeit verursacht wird, stellt die Wirkleistungsmessung am Antriebsmotor eine prinzipiell geeignete Meßgröße für die Regelgröße „Durchsatz“ dar. Nachteilig ist die relativ große Tot- und Ausgleichszeit von etwa 15 s, mit der das Meßsignal auf die Änderung einer Störgröße reagiert. Die Glieder der Förderstrecke können Regelabweichungen während dieser Dauer nicht abfangen, weil dies eine geringere Auslastung einer gegebenen Maschinenkette bedingen würde. Daraus folgt die Notwendigkeit, noch ein zweites Durchsatzmeßglied möglichst weit am

Anfang der Regelstrecke unterzubringen. Die Wirkleistungsaufnahme des Antriebsmotors für die Fräströmmeln des Dosierers eignet sich dafür nur bedingt. Dieses Meßsignal besitzt zwar keine Totzeit, aber es ist nicht nur durchsatzabhängig, sondern auch abhängig von Dichte, Häcksellänge und Art des Silierguts. Zur sinnvollen Ausnutzung der Vorzüge beider Meßglieder werden zwei Regler vorgesehen, die zu einer Kaskadenregelung zusammengeschaltet sind. Der untergeordnete Grundregler XIC 1 arbeitet zwar nicht nur durchsatzabhängig, aber totzeitfrei. Der übergeordnete Führungsregler XIC 2 arbeitet durchsatzproportional, ist jedoch mit großer Tot- und Ausgleichszeit behaftet. Er stellt den Sollwert für den Regler XIC 1 ein. Die Störgrößen Dichte, Häcksellänge und Art des Silierguts ändern sich im allgemeinen nur in größeren Zeitabständen. Es ist daher zulässig, nach einer Sollwertkorrektur den Informationsfluß im Regler XIC 2 für die Dauer von Tot- und Ausgleichszeit zu unterbrechen.

Die Regelstrecke ist in zwei Teile gegliedert (Bild 3). Teil a reicht bis zu den Fräströmmeln des Dosierers, Teil b bis zum Ende des Steilförderers. Nach Durchlaufen der ersten Teilregelstrecke a wird die Hilfsregelgröße x_H mit der Führungsgröße w_H in einem Wirkleistungsmeßglied mit Dreipunkt-Relaisausgang c verglichen. Regelabweichungen größer $\pm a$ beaufschlagen über einen zeitverzögerten Schaltverstärker d und den als I-Glied arbeitenden Stellantrieb e das stufenlose Getriebe der Kratzerkette so, daß die Regelabweichung nach Null geht. Dieser Grundregelkreis beinhaltet einen relativ schnellen Zweilaufregler, der insbesondere die Störgröße z_1 , wirksamer Abfräsquerschnitt des Silierguts, kompensiert. Am Ende der zweiten Teilregelstrecke b wird die Regelgröße x mit dem Sollwert w wiederum in einem Wirkleistungsmeßglied mit Dreipunkt-Relaisausgang f verglichen. Auftretende Regelabweichungen werden insbesondere durch die Störgrößen z_2, z_3 und z_4 verursacht. Sie bewirken eine Korrektur der Führungsgröße w_H . Der Korrekturwert wird nach Ablauf von Tot- und Ausgleichszeit gesteuert, vom Schaltverstärker i durch das Ausschalter g abgetastet und in den Speicher für die Führungsgröße w_H übertragen.

Die entworfene Kaskadenregelung ermöglicht die maximale Auslastung des Steilförderers. Sie stellt aber bei stark wech-

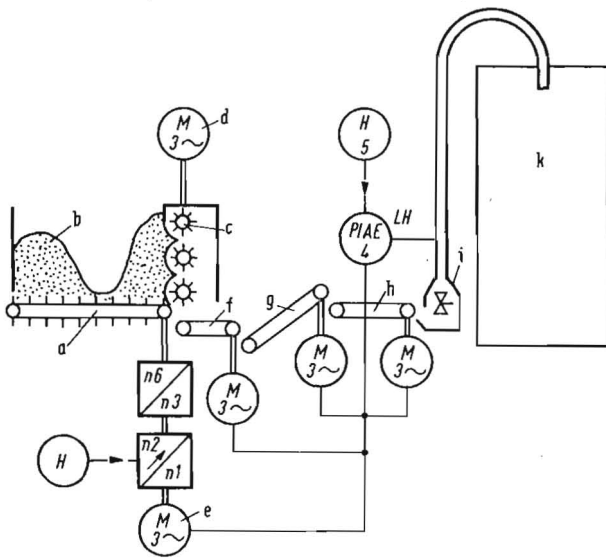


Bild 4. Stationäre Maschinenkette zur Befüllung mit dem Fördergebläse; a bis k wie in Bild 1; XIC 1 und H 3 Regelung des Leistungsbedarfs von d mit Sollwertverstellung von Hand; PIAE 4 und H 5 Drucküberwachung mit Anzeige, Grenzwertsignalisierung und Noteingriff sowie Grenzwertverstellung von Hand

selnder Dichte des Förderguts hohe Forderungen an die Volumendurchlaßfähigkeit sowie an die kurzzeitig zulässige Stopfgrenze aller Glieder der Maschinenkette. Solchen Forderungen wird in praktischen Befüllketten nur begrenzt Rechnung getragen. Folglich bleibt ab Erreichen der Volumenförderergrenze bei Dichteänderungen eine Anpassung des eingestellten Solldurchsatzes w in Abhängigkeit von der vorliegenden Gutdichte notwendig. Ferner beeinflussen Änderungen des Leerlaufleistungsbedarfs des Steilförderers, wie sie z. B. durch Temperatureinflüsse oder durch seitliches Anlaufen des Gurtbandes infolge verschmutzter Antriebs- und Umlenkrollen auftreten können, ebenfalls den eingestellten Solldurchsatz.

Aus diesen und später zu nennenden Gründen erscheint es zweckmäßig, den Regler XIC 2 vollständig einzusparen und seine Aufgaben, die Störgrößen z_2 bis z_4 zu kompensieren, dem Maschinenführer zu übertragen. Er kann die sich relativ selten ändernden Störgrößen Dichte, Häcksellänge und Gutart durch Beobachtung des angelieferten Silierguts sowie der Steilfördererauslastung abschätzen und ihren Einfluß durch eine Sollwertkorrektur von XIC 1 weitgehend ausgleichen. Diese vereinfachte Variante der Durchsatzregelung belastet den Maschinenführer nur wenig mehr, senkt aber den regeltechnischen Aufwand wesentlich.

Als Meßglied für den Auslastungsgrad des Steilförderers bei Siliergut hoher Dichte, z. B. Frischgut, kann ein wandlergespeister Strommesser mit Nennstrommarkierung des Antriebs empfohlen werden. Bei Siliergut geringer Dichte, z. B. Welkgut, ist der Auslastungsgrad an der dabei auftretenden Wölbung der oberen Bandabdeckung zu erkennen.

3. Durchsatzregelung bei Hochsilofüllung mit Fördergebläse

Die stationäre Maschinenkette zur Befüllung durch Fördergebläse (Bild 4) besteht aus einem Dosierer a, c, d, e, aus mindestens zwei Zwischenförderern f, g, h, einem Fördergebläse i und einer Verteilvorrichtung im Hochsilobehälter. Der mit dieser Maschinenkette erreichbare Durchsatz wird ausschließlich vom Fördergebläse begrenzt. Alle anderen Glieder der Maschinenkette sind so auszulagen, daß sie einen höheren Durchsatz zulassen. Daraus ergibt sich als Aufgabe der Durchsatzregelung, das Fördergebläse ständig optimal auszulasten. Es liegt nahe, als Meßglied für den Auslastungsgrad des Gebläses ein U-Rohr-Manometer vom automatischen Verstopfungsschutz zu nutzen. Die Höhe der

Flüssigkeitssäule im Vergleich zum Überlastschwellwert entspricht dem Auslastungsgrad des Fördergebläses, bezogen auf die Verstopfungsgrenze. Wenn man die Aufgaben des Führungsreglers auch in diesem Fall dem Maschinenführer überträgt, kann eine einheitliche Baugruppe Durchsatzregelung für den wahlweisen Einsatz in Befüllketten mit Fördergebläsen oder mit Steilförderern realisiert werden. Bei Einsatz von Gebläsen mit nur geringem Luftförderanteil läßt sich der Auslastungsgrad derselben mit Hilfe eines wandlergespeisten Strommessers mit Nennstrommarkierung des Gebläseantriebs beurteilen.

4. Einsatzergebnisse

Auf der Grundlage vorstehender Konzeption wurde eine einheitliche Baugruppe Durchsatzregelung entwickelt und erprobt. Das benutzte Prinzip und seine technische Ausführung haben sich gut bewährt. Der Nutzen entsteht durch die Steigerung des Betriebsdurchsatzes der Maschinenkette bei gleichzeitiger Entlastung des Maschinenführers von der sehr häufigen Korrektur des Durchsatzes. Der Betrag der möglichen prozentualen Durchsatzsteigerung gegenüber der Einstellung einer nur selten von Hand geänderten Vorschubgeschwindigkeit wird vor allem vom Oberflächenprofil des Guts im Dosierer, vom Nenndurchsatz der Befüllkette und von der Aufmerksamkeit des Maschinenführers beeinflußt. In Verbindung mit dem Dosierer DS 300 durchgeführte Messungen zeigten, daß unter den bisher in der Praxis anzutreffenden Bedingungen ein Betriebsdurchsatz von 20 t/h um etwa 17 Prozent, von 30 t/h um etwa 25 Prozent und von 45 t/h um etwa 38 Prozent gesteigert wird. Die prozentuale Durchsatzsteigerung wächst mit zunehmendem Durchsatz bis maximal 40 Prozent. Daraus wird deutlich, daß der Nutzeffekt der Durchsatzregelung in Befüllketten mit Steilförderern größer ist als in Befüllketten mit Fördergebläsen.

5. Vergleich zwischen Aufwand und Nutzen

Wird eine Maschinenkette zur Hochsilobefüllung zusätzlich mit einer Durchsatzregelung zum Dosierer DS 300 ausgerüstet, so erhöhen sich die erforderlichen Grundmittelaufwendungen für

- eine Befüllkette mit Fördergebläse für zwei Hochsilos HS 25 um 3,5 Prozent bei voraussichtlich 15 Prozent Steigerung des mittleren Betriebsdurchsatzes der Befüllkette,
- eine Befüllkette mit Stollengurtsteilförderer für vier Hochsilos HS 25 um 2 Prozent bei voraussichtlich 30 Prozent Steigerung des mittleren Betriebsdurchsatzes der Befüllkette.

Vorausgesetzt, daß die höheren Durchsätze mit der Anlieferung der Feldernteetechnik exakt abgestimmt werden, ermöglicht die höhere Auslastung der gegebenen Befüllketten geringere Fülldauer und geringeres Wetterrisiko bei gleichzeitig steigender Qualität der Silage.

6. Zusammenfassung

Zur Steigerung des Betriebsdurchsatzes bei der Hochsilofüllung mit Fördergebläsen oder mit Stollengurtsteilförderern werden Lösungsmöglichkeiten sowie die Ergebnisse realisierter Prinzipmuster dargelegt. Es werden ein automatischer Verstopfungsschutz für Fördergebläse mit ausreichendem Luftförderanteil sowie eine Durchsatzregelung realisiert. Die Messung der Regelgröße Durchsatz wird auf die Messung des Wirkleistungsbedarfs der Frästrommeln des Dosierers zurückgeführt. Die zusätzliche Baugruppe Durchsatzregelung ist universell in Befüllketten mit Steilförderern oder mit Fördergebläsen sowie in Verbindung von Dosierern mit stufenlosem oder gestuft verstellbarem Kratzerkettenvorschub einsetzbar. Gegenüber bisherigen Betriebsdurchsätzen konnte eine Steigerung der Massedurchsätze zwischen 15 Prozent und 40 Prozent erreicht werden.

A 8067