

Schrifttum

Bücher sind durch ● gekennzeichnet

- [1] *Krause, F.*: Berechnung pneumatischer Flugförderanlagen für elastische, körnige Fördergüter in der Praxis. Hebezeuge und Fördermittel 7 (1967) H. 4, S. 99/103.
- [2] *Krause, F.*: Beispiel für die Berechnung einer pneumatischen Förderanlage für Weizen nach neuen Berechnungsverfahren. Hebezeuge und Fördermittel 7 (1967) H. 5, S. 149/52.
- [3] ● *Stoess, H.A.*: Pneumatic Conveying. New York, London, Toronto: Wiley Interscience 1970.
- [4] *Müller, W.*: Zur Berechnung von pneumatischen Förderanlagen mit niedrigem Betriebsdruck. Fördern und Heben 17 (1967) Nr. 8, S. 442/48.
- [5] ● *Pajer, G. u. F. Kurth*: Stetigförderer. Berlin: VEB-Verlag Technik 1967.
- [6] ● *Spiwakowski, A.O. u. W.K. Djatschkow*: Förderanlagen. Braunschweig: Vieweg 1959.
- [7] *Nagel, R.*: Das pneumatische Fördern, seine Grenzen und sein Energieverbrauch. Staub-Reinhaltung-Luft 27 (1967) Nr. 2, S. 70/76.
- [8] *Kocsanyi, L. u. G. Vygazo*: Die Bemessung pneumatischer Transportleitungen. Energietechnik 6 (1956) H. 11, S. 496/500 u. H. 12, S. 547/52.
- [9] ● *Weber, M.*: Strömungsfördertechnik. Mainz: Krausskopf 1974.
- [10] *Segler, G.*: Untersuchungen an Körnergebläsen und Grundlagen für ihre Berechnung. Diss. TH München 1934.
- [11] ● *Segler, G.*: Pneumatic Grain Conveying. Eigenverlag Braunschweig 1951.
- [12] ● *Muschelknautz, E. u. H. Wofahn*: "Fördern" in Ullmann's Encyklopädie der technischen Chemie, Bd. 3. Weinheim: Verlag Chemie 1973.
- [13] *Welschhof, G.*: Pneumatische Förderung bei großen Fördergutkonzentrationen. VDI-Forschungsheft 492. Düsseldorf: VDI-Verlag 1962.
- [14] ● *Eck, B.*: Ventilatoren. Berlin, Heidelberg: Springer 1971.

Wirtschaftliche und technische Aspekte der Kornverlustfassung am Mähdrescher

Von Ewald Graeber, Gottmadingen*)

DK 631.354.2:62 - 53

Die Körnerverluste spielen bei der Erntebergung mit dem Mähdrescher eine wichtige Rolle. Die Höhe der Verluste wird im wesentlichen bestimmt von der Leistungsfähigkeit der Maschine einerseits und von den Einsatzbedingungen und der Betriebsweise andererseits. Daher sind sowohl die Konstrukteure wie auch die Betreiber der Mähdrescher daran interessiert, Informationen zur Höhe der Körnerverluste zu gewinnen. Für eine Optimierung des Mähdreschereinsatzes genügt die Kenntnis der Verluste allein nicht; es muß sich eine Bewertung der Verluste anschließen.

1. Einleitung

Untersuchungen in der DDR [1] ergaben, daß Ernteverluste von über 10 % nicht selten sind. Allgemein sieht man einen Körnerverlust in Höhe von 1 % als zulässig bzw. wirtschaftlich an. Unter Körnerverlust wird hier der mit der Arbeit von Schüttler und Sieben verbundene Verlust verstanden, also nicht der unter Umständen erhebliche Verlust durch unvollständiges Erfassen des Gutes (Schneidwerkverlust) und durch unvollständiges Entkörnen des Fruchtstandes (Ausdruschverlust).

Die heute üblichen Bauarten der Elemente Schüttler und Sieb erlauben es, den Körnerverlust durch Beschränken des Erntegutdurchsatzes auf ein Mindestmaß zu reduzieren. Häufig wird daher die Fahrgeschwindigkeit der Maschine und damit der Durchsatz soweit gedrosselt, daß bei grober Betrachtung keine Verluste mehr erkennbar sind.

Eine derartige Betriebsweise ist sicher nicht optimal und läßt sich nur aus der Tatsache erklären, daß der Landwirt keine praktikable Möglichkeit hat, die Verluste hinreichend genau zu bestimmen und als Grundlage einer wirtschaftlichen Betrachtung zu verwenden.

2. Der zulässige Körnerverlust

Daß die Frage, welcher Körnerverlust zulässig ist, nicht durch Angabe eines bestimmten Grenzwertes beantwortet werden kann, ergibt sich bereits aus den Unterschieden im Getreidepreis zwischen einzelnen Ländern. So ist z.B. der Weizenpreis in der Schweiz rund doppelt so hoch wie in der Bundesrepublik. Ein Körnerverlust von 1 % schlägt also in der Schweiz mit dem doppelten Wert zu Buche, bei etwa gleichen Maschinenkosten. Weiterhin bestehen Unterschiede im Wert zwischen den verschiedenen Körnerfruchtarten. Schließlich bestimmen noch Qualität, Verwendungszweck und Feuchtegehalt den tatsächlichen Wert der Körnerverluste. Sehr verschieden sind beispielsweise Verluste von Saatgetreide und Futtergetreide zu bewerten.

Einsatzversuche mit einem bestimmten Mähdrescher haben ergeben, daß dessen Betriebspunkt je nach Ernteverhältnissen bei Werten für den Körnerdurchsatz zwischen 6 und 16 t/h liegt. Unter Betriebspunkt ist dabei der Betrieb mit einem Körnerverlust von 1 % zu verstehen.

*) Dr.-Ing. E. Graeber ist Leiter von Automatisierungsprojekten in Fa. Maschinenfabrik Fahr AG, Gottmadingen.

Trägt man, wie in **Bild 1** dargestellt, den Wert einer Mehrleistung sowie den Wert der Mehrverluste über dem Durchsatz Q auf, so ergibt sich, daß bei einem Durchsatz von 6 t/h für eine Mehrleistung von 10 % ein Mehrverlust von mehr als 0,75 % in Kauf genommen werden kann, bei 16 t/h jedoch nur 0,25 %, also erheblich weniger. Die Basis für diese Betrachtung bilden Maschinen- und Lohnkosten in Höhe von 200,- DM/h und ein Getreidepreis von 400,- DM/t.

Steigt der Verlust mit dem Durchsatz bzw. der Ernteleistung linear an, so beträgt der zusätzliche Körnerverlust für 10 % Mehrleistung über den Betriebspunkt hinaus nur 0,1 %. Tatsächlich aber erhöht sich in den betrachteten Bereichen der Verlust, insbesondere der Schüttlerverlust, mit steigendem Durchsatz progressiv. Nimmt man an, daß der Körnerverlust nach der Exponentialfunktion:

$$V = 2Q - Q_0$$

ansteigt, in der

- V den Körnerverlust in %
- Q den jeweiligen Durchsatz in t/h, und
- Q_0 den Durchsatz bei 1 % Körnerverlust in t/h

bedeutet, so ergibt sich für $Q_0 = 6$ t/h und $Q = 6,6$ t/h, also für eine Mehrleistung von 10 % ein Körnerverlust von 1,51 %, mithin ein Ansteigen um 0,51 %. Bei einem Durchsatz $Q_0 = 16$ t/h und einer Mehrleistung von 10 %, ergibt sich ein Körnerverlust von 3,03 %, mithin ein Anstieg um mehr als 2 %. Damit liegen die zusätzlichen Verluste bei dem hohen Durchsatz weit über dem zulässigen Maß, während sie bei geringem Durchsatz durchaus vertretbar sind.

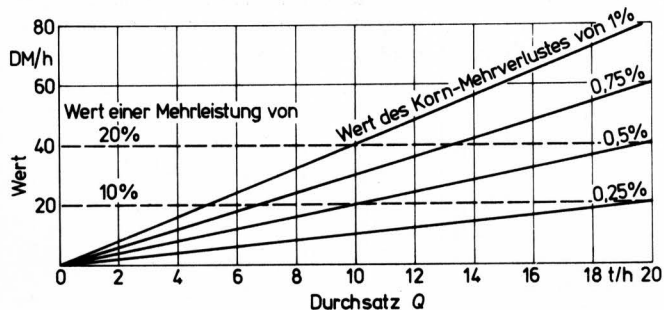


Bild 1. Wert W von Mehrleistung und Mehrverlust in Abhängigkeit vom Durchsatz Q bei Maschinen- und Lohnkosten in Höhe von 200,- DM/h und einem Getreidepreis von 400,- DM/t.

Aus den vorstehenden Betrachtungen ergibt sich für die Automatisierung eine wichtige Konsequenz: Wird der verfahrenstechnische Prozeß im Mährescher nach den Körnerverlusten geregelt, so ist von einem veränderlichen, vorwählbaren Sollwert auszugehen.

3. Erfassen des Körnerverlustes

Die sich aus ökonomischen Erwägungen ergebende Forderung, eine vorgewählte Höhe der Verluste einzuhalten bzw. nicht zu überschreiten, ist wegen der Abhängigkeit der Verluste von den Eigenschaften des Erntegutes nur ungenügend mit einer Regelung zu erfüllen, die, wie mehrfach vorgeschlagen wurde [2, 3], auf ein Konstanthalten des Durchsatzes abzielt. Auf ein und demselben Feld können die Betriebsbedingungen stark wechseln: Lagerfrucht und stehender Bestand, feuchter und trockener Boden, unkraut-

freie und durchwachsene Zonen. Hinzu kommen noch Änderungen aus Tagesablauf und Witterung. Trotz konstanten Durchsatzes können die Verluste wegen der wechselnden Bedingungen in einem weiten Bereich streuen. Es scheint daher sinnvoller, die Körnerverluste direkt zu messen und mit einer entsprechenden Bewertung für die Regelung heranzuziehen.

3.1 Stand der Technik

Am Markt angebotene Einrichtungen zielen darauf ab, einen repräsentativen Teil der hinter dem Schüttler herabfallenden Körner mit membranartigen Gebilden, denen Mikrofone zugeordnet sind, zu erfassen und dem Fahrer einen Meßwert anzuzeigen, der zur Zahl der pro Zeiteinheit aufschlagenden Körner proportional ist. Andere Lösungen, wie ein Erfassen mittels einer Staudruckmessung in einem mit Verlustkörnern beaufschlagten Rohr [4] oder Erfassen mittels Auffangbehältern [5], sind vorgeschlagen worden, aber nicht auf den Markt gekommen.

Als Aufnehmer sind mit Paraffin gefüllte Rohre bekannt, an deren einer Stirnseite ein Mikrofon angeordnet ist. Andere Aufnehmer bestehen im wesentlichen aus einer schräggestellten Prallplatte. Das Mikrofon ist hier direkt unter der Platte angebracht.

Schmale Aufnehmer lassen sich mitschwingend an den Horden befestigen, wodurch Strohablagerungen auf der Membranfläche vermieden werden. Von Seitenwand zu Seitenwand reichende Aufnehmer haben dagegen den Vorteil, daß ein größerer Querschnitt aus dem Gutstrom erfaßt wird.

3.2 Systembetrachtung

Mit den vorstehend beschriebenen Einrichtungen ergeben sich Probleme aus der Forderung, daß nur Impulse von Körnern, nicht von Strohtteilen, Halmknotten und Fremdkörpern, in die Messung eingehen sollen. Auch ist es schwierig, unter den verschiedenen Bedingungen (große, kleine Hangneigung, großer, kleiner Durchsatz) einen hinreichend repräsentativen Teil des Gutstromes zu erfassen. Aber selbst wenn die genannten Bedingungen erfüllt sind, erhält der Landwirt mit einer Einrichtung, die nur die Verluste als Menge pro Zeiteinheit anzeigt, eine völlig ungenügende Information. Auf diesen Sachverhalt hat auch *Traulsen* [6] hingewiesen. Um die Zusammenhänge zu verdeutlichen, sind in **Bild 2** für unterschiedliche Betriebsbedingungen die Verluste in g/s als Funktion des Durchsatzes aufgetragen. Werden für einige Werte auch die prozentualen Verluste berechnet und der Abszissenachse oder einer in gleicher Weise (g/s) geteilten kreisförmigen Anzeigeskala zugeordnet, so ist gut zu erkennen, daß bei ungünstigen Betriebsbedingungen eine relativ geringe Anzeige einem hohen prozentualen Verlust entspricht. Bei günstigen Betriebsbedingungen werden die gleichen prozentualen Verluste dagegen erst bei einem großen Wert der Anzeige erreicht.

Auch wenn, wie im Abschnitt 2 dargestellt, bei geringem Durchsatz ein höherer prozentualer Verlust eher in Kauf zu nehmen ist, kann es nicht richtig sein, bei sich ändernden Bedingungen den Mährescher so zu fahren, daß ein und derselbe Wert auf der Anzeigeskala eingehalten wird. Trotz der unterschiedlichen ökonomischen Bewertung der Verluste ist es sinnvoller, auf einen gleichen prozentualen Verlust hinzuwirken, wofür eine entsprechende Kennzeichnung der Anzeige notwendig ist.

Wie aus den Darstellungen in **Bild 2** zu entnehmen ist, gibt es keine allgemeingültige Skala für eine Anzeige der prozentualen Verluste, wenn der Meßwertgeber für die Verluste ein Signal liefert, das der Verlustmenge pro Zeiteinheit proportional ist. Auch praktische Untersuchungen, eine solche allgemeingültige Zuordnung durchzuführen [7], hatten das gleiche negative Ergebnis. Die Eigenschaften der einzelnen Erntegüter und die Erntebedingungen sind zu unterschiedlich.

Ein Abstimmen der Verlustanzeige auf die jeweils wirklich auftretenden Verluste setzt ein schnell durchzuführendes Verfahren zur Ermittlung der Verluste voraus. In der Literatur werden zwar Verfahren zur Bestimmung der Verluste angegeben [8, 9], doch sind sie für den Landwirt nicht praktikabel.

Es verbleibt die Möglichkeit, aus dem Signal für die Verluste mit Hilfe weiterer Meßwerte eine für die Steuerung des Mähreschers geeignete Meßgröße zu gewinnen. So kann z.B. die Fahrgeschwindigkeit bestimmt und dem Verlustsignal zugeordnet werden: Aus Körner pro Zeit und Weg pro Zeit erhält man Körner pro Weg. Mit dem annähernd konstanten Faktor Schnittbreite ergeben sich Körner pro Flächeneinheit. Auch diese Größe bringt keine ausreichenden Informationen, da die Beziehung zur Bestandsdichte fehlt.

Sinnvoller ist es daher, den Körnerdurchsatz zu messen und aufzuschalten. Dabei ist der Gesamtkornstrom oder ein repräsentativer Teilstrom, evtl. nur der vom Engpass Schüttler kommende Strom, zugrunde zu legen.

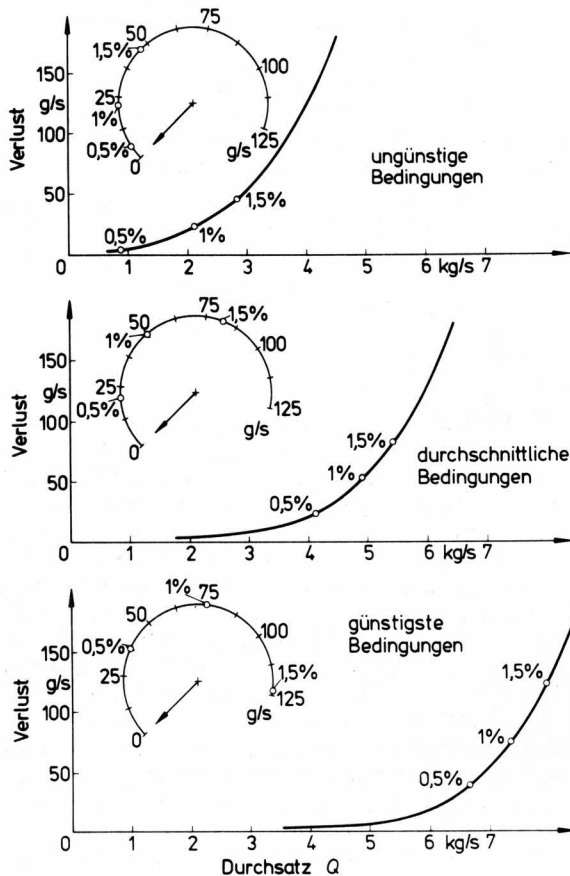


Bild 2. Verlustanzeige in Menge pro Zeiteinheit und in Prozent bei unterschiedlichen Erntebedingungen.

3.3 Messen und Zuordnen des Durchsatzes

Prinzipiell können Aufnehmer zum Messen des Durchsatzes an jeder Stelle angeordnet werden, die das abgeschiedene Korn passiert. Diese Stellen liegen zwischen Dreschkorb bzw. Schüttler und Korn-tank. Praktische Bedeutung kann die Durchsatzmessung an zwei Stellen haben: am Auslauf des Körnelevators und unter dem Sieb. Bei einer Anordnung unter dem Sieb sind folgende Vorteile gegeben:

- Aufgelöster und verteilter Gutstrom,
- geringer Kurzstrohanteil,
- unbedeutende Zeitdifferenz zwischen Verlust- und Durchsatzsignal.

Nachteilig aber ist die Störung des Luftstromes und die schlechte Zugänglichkeit.

Unter dem Sieb kommt praktisch nur die Anordnung von Mikrofonen in Frage, wobei strömungsgünstige linienförmige Aufnehmer zu bevorzugen sind. Am Elevatorauslauf können auch Zellenräder, Klappen und ähnliche Einrichtungen zur Durchsatzmessung dienen [10]. Mechanische bewegte Elemente sind jedoch meist störanfällig.

Das Verwenden gleicher Aufnehmer für Verlust und Durchsatz hat Vorteile im Hinblick auf die Kompensation bestimmter Störgrößen. Für die angestrebte Eichfähigkeit des Systems könnte dies entscheidend sein.

Die Signale von Durchsatz und Verlust können einander im Sinne einer Differenz- oder Quotientenbildung zugeordnet werden [11].

4. Zusammenfassung

Beim Mähreschereinsatz wird oft eine Minimierung des Körnerverlustes angestrebt. Dabei wird häufig als oberste zulässige Grenze ein Körnerverlust von 1 % an Schüttler und Sieb angesehen.

Bei näherer Betrachtung der wirtschaftlichen Zusammenhänge stellt man fest, daß für bestimmte Einsatzfälle insbesondere bei geringem Erntegutdurchsatz ein erheblich höherer Körnerverlust zugelassen werden kann. Der zulässige Körnerverlust ergibt sich primär für die gegebenen Ernteverhältnisse aus dem Wert des Verlustes und dem Aufwand für Lohn und Maschine. Der Wert des Verlustes ist von der Art der Körnerfrucht, deren Verwendungszweck, dem Feuchtegehalt sowie von dem Preisniveau des Erzeugerlandes abhängig.

Das bisher angewandte System der Erfassung der Körnerverluste mit Monitoren gibt dem Landwirt eine völlig ungenügende Information über die auftretenden Körnerverluste. Ein entscheidender Schritt vorwärts dürfte daher eine auf den Durchsatz bezogene Anzeige der Verluste sein. Eine Realisierung mit im wesentlichen gleichen Aufnehmern für Durchsatz und Verlust bietet Vorteile im Hinblick auf die Eichbarkeit des Systems.

Schrifttum

- [1] Feiffer, P. u.a.: Elektronische Verlustkontrolle am Mährescher. Dt. Agrartechnik Bd. 17 (1967) H. 7, S. 296/98.
- [2] Nakonetschny, I.I. u. W.D. Schepowalow: Automatisches Regeln des Durchsatzes bei Erntemaschinen. Dt. Agrartechnik Bd. 17 (1967) H. 11, S. 522/24.
- [3] Eimer, M.: Stand der Regelungstechnik beim Mährescher. Grundl. Landtechnik Bd. 16 (1966) H. 2, S. 41/50.
- [4] Deutsche Auslegeschrift Nr. 1632870.
- [5] Deutsche Offenlegungsschrift Nr. 1942773.
- [6] Traulsen, H.: Combine Monitor, RKL 1971.
- [7] -: ADAS study finds confusion over combine monitors. Power Farming vol. 50 (1973) H. 6, S. 31.
- [8] Rutherford, I.: Grain counts. Power Farming vol. 51 (1973) H. 1, S. 83 u. 85.
- [9] Feiffer, P.: Ein Mährescher-Einstell- und Verlustbestimmungsstab für den Mährescherfahrer. Dt. Agrartechnik Bd. 19 (1969) H. 6, S. 271.
- [10] Deutsche Offenlegungsschrift Nr. 2233711.
- [11] Deutsche Offenlegungsschrift Nr. 2106970.