

## Schrifttum

- [ 1 ] *Wenner, H.L., H. Auernhammer u. G. Wendl:* Leistungssteigerung beim Geräteeinsatz durch höhere Geschwindigkeit, größere Arbeitsbreite oder Gerätekombination? Landtechnik von morgen, Folge 19; München: Motorenfabrik Anton Schlüter, 1979.
- [ 2 ] *Stroppel, A.:* Eine Methode zur Beurteilung von Bodenbearbeitungsverfahren im Hinblick auf die Schlagkraft. Grundl. Landtechnik Bd. 27 (1977) Nr. 4, S. 108/14.
- [ 3 ] *Stroppel, A.:* Energie- und Arbeitszeitbedarf für gezogene Geräte der Bodenbearbeitung bei unterschiedlicher Schleppermotorauslastung. Grundl. Landtechnik Bd. 30 (1980) Nr. 4, S. 135/39.
- [ 4 ] *Stroppel, A. u. W. Schäfer:* Arbeitszeit- und Energiebedarf beim Pflügen in Abhängigkeit vom Getriebegang, der Arbeitsbreite des Pfluges und der Schleppermasse. Grundl. Landtechnik Bd. 31 (1981) Nr. 5, S. 165/71.
- [ 5 ] *Stroppel, A. u. W. Schäfer:* Maximierung der Schlagkraft beim Pflügen durch stufenlose Arbeitsbreitenverstellung. Grundl. Landtechnik Bd. 31 (1981) Nr. 6, S. 205/10.
- [ 6 ] *Steinkampf, H.:* Ermittlung von Reifenkennlinien und Gerätezugleistungen für Ackerschlepper. Landbauforschung Völknerode, Sonderheft 27 (1975).
- [ 7 ] *Sonnen, F.J.:* Über den Einfluß von Form und Länge der Aufstandfläche auf die Zugfähigkeit und den Rollwiderstand von AS-Reifen. Landbauforschung Völknerode, Sonderheft 3 (1970).
- [ 8 ] *Söhne, W. u. F.J. Sonnen:* Messungen von Rollwiderstand und Zugkraft von luftbereiften Ackerschleppern sowie mechanischen Bodenkenngößen und Versuch einer Zuordnung. Proceedings of the 1. International Conference on the Mechanics of Soil-Vehicle Systems, Turin 1961.
- [ 9 ] *Söhne, W. u. I. Bolling:* Der Einfluß der Lastverteilung auf die Triebkraft-Schlupf-Kurve von Ackerschleppern. Grundl. Landtechnik Bd. 31 (1981) Nr. 3, S. 81/85.

---

## Entmischung bezüglich der Nährstoffzusammensetzung beim Verteilen von Mineraldünger

Von Wilhelm Hellweg, Rietberg, und  
Hermann J. Heege, Kiel\*)

DK 631.333.5

Das Ausbringen von Mineraldünger ist bei einigen Verteilungsverfahren verbunden mit einer Entmischung bezüglich der Korngröße. Dieser Beitrag behandelt die Frage, in welchem Umfang eine solche Entmischung bezüglich der Korngröße eine Entmischung bezüglich der Nährstoffzusammensetzung zur Folge hat. Diese Frage ist von Bedeutung, wenn Mehrnährstoffdünger verwendet werden, die durch Mischen von Einnährstoffdüngern mit unterschiedlichem Korngrößenspektrum erstellt wurden. Die Entmischung bezüglich der Nährstoffzusammensetzung wird mit Hilfe eines Simulationsprogrammes aus der zuvor bestimmten Entmischung bezüglich der Korngröße ermittelt. Bei den untersuchten Streuverfahren nimmt die Entmischung bezüglich der Nährstoffzusammensetzung in der Reihenfolge Schneckenstreuer – Bandstreuer – Schleuderstreuer – Pneumatikstreuer ab.

---

Die Autoren danken der Deutschen Forschungsgemeinschaft für die finanzielle Unterstützung der Untersuchungen und Herrn Dipl.-Ing. agr. *Voßhenrich* für die Hilfe.

---

\*) *Dr. W. Hellweg* war wissenschaftlicher Mitarbeiter im Institut für Landtechnik, Bonn, und ist jetzt Abteilungsleiter bei den Rietbergwerken GmbH & Co. KG, Rietberg. *Prof. Dr. H.J. Heege*, seinerzeit Leiter der Abteilung Landwirtschaftliche Arbeitsverfahren im Institut für Landtechnik der Universität Bonn, ist nun Direktor des Instituts für Landwirtschaftliche Verfahrenstechnik der Universität Kiel.

### 1. Einleitung

Für die durch mechanisches Mischen von Einnährstoffdüngern erstellten Mehrnährstoffdünger ist von Bedeutung, in welchem Umfang im Laufe der nachfolgenden Arbeitskette eine Entmischung bezüglich der Nährstoffzusammensetzung stattfindet. Im vorhergehenden Beitrag [1] wurde aufgezeigt, in welchem Maße die heute üblichen Streuverfahren eine ungleichmäßige Verteilung der verschiedenen Korngrößen über der Arbeitsbreite verursachen. Dieser Beitrag behandelt die Frage, welche Entmischung bezüglich der Nährstoffzusammensetzung als Folge einer Entmischung bezüglich der Korngröße bei verschiedenen Streuverfahren zu erwarten ist. Aus pflanzenbaulicher Sicht ist schließlich im wesentlichen nur die Entmischung bezüglich der Nährstoffzusammensetzung von Belang.

Im einzelnen hat der Beitrag auch zum Ziel, die Auswirkungen von stoffabhängigen Einflüssen (Korngrößenverteilung der Dünger) und prozeßabhängigen Einflüssen (Streuverfahren) auf die Entmischung bezüglich der Nährstoffzusammensetzung zu klären.

### 2. Methodik

#### 2.1 Grundlagen

Ziel der Arbeit ist die Ermittlung der Entmischung bezüglich der Nährstoffzusammensetzung über der Arbeitsbreite des Düngerstreuers als Folge von Unterschieden in der Korngrößenverteilung der Ausgangskomponenten des Mischdüngers. Der Einfluß anderer physikalischer Dünereigenschaften wie Dichte und Form der Körner wird nicht berücksichtigt, damit Ursache und Wirkung eindeutig zuzuordnen sind. Nach Untersuchungen von *Hoffmeister u.a.* [2] ist der Einfluß dieser Dünereigenschaften auf die Entmischung sehr gering, verglichen mit dem Einfluß der Korngrößen.

Der Einfluß von Unterschieden in der Dichte und Form der Körner ist beim Experiment im wesentlichen ausgeschaltet, wenn die Ausgangskomponenten des Düngergemisches sich zwar in der Korngrößenverteilung unterscheiden, aber dem gleichen Dünger entstammen. Im Rahmen dieser Arbeit wurden aus dem Phosphatdünger Novaphos Gemische mit definierter unterschiedlicher Korngrößenverteilung (siehe Bild 1 des vorhergehenden Beitrages) hergestellt, indem als Ausgangskomponenten bestimmte Mengen zuvor durch Sieben hergestellter enger Kornfraktionen dieses Düngers miteinander vermischt werden. Die Bezeichnung Düngergemisch bezieht sich im folgenden daher immer auf ein Gemisch von stofflich identischen Düngern, die sich nur in der Körnung unterscheiden.

Ein Düngergemisch aus stofflich identischen Ausgangskomponenten mit unterschiedlicher Körnung kann beim Verteilprozeß wieder entmischt werden. Diese Entmischung der Ausgangskomponenten ist durch chemische Analyse (z.B. Nährstoffanalysen) nicht nachweisbar, da stofflich identische Ausgangskomponenten vorliegen. Meßbar sind in diesem Fall aber die Korngrößenverteilungen der Düngerproben, die an verschiedenen Orten der Streubahn quer zur Fahrtrichtung des Streuers aufgefangen werden.

Im folgenden wird gezeigt, daß bei einem Düngergemisch aus stofflich identischen Ausgangskomponenten mit unterschiedlicher Körnung eine Entmischung der Ausgangskomponenten auf rechnerischem Wege aus der Korngrößenverteilung der Düngerproben von den verschiedenen Streubahnabschnitten ermittelt werden kann. Bei Ausgangskomponenten mit unterschiedlicher Korngröße und verschiedenen Nährstoffen ist damit dann auch die Entmischung bezüglich der Nährstoffzusammensetzung definiert.

Die Korngrößenverteilungen von Düngerproben — ermittelt für verschiedene Abschnitte der Streubahn quer zur Fahrtrichtung des Streuers — wurden bereits im Rahmen des vorhergehenden Beitrages behandelt. Die Ergebnisse dieses Beitrages leiten sich aus den Versuchsdaten des vorhergehenden Beitrages ab.

## 2.2 Ermittlung der Entmischung der Ausgangskomponenten

Gesucht wurde eine Methode, die es gestattet, lediglich aus den Korngrößenverteilungen der Düngerproben festzustellen, mit welchen Anteilen die Ausgangskomponenten in den Düngerproben der einzelnen Streubahnstreifen vertreten sind.

Das Problem ist lösbar, wenn die Korngrößenzusammensetzung der Ausgangskomponenten und ihr Anteil an der gesamten Gemischmasse bekannt sind. Der Massenanteil  $w_i$  der einzelnen Korngrößenklassen an der Gemischmasse ist dann:

$$w_i = w_{ia} w_a + w_{ib} w_b \quad (1).$$

In dieser Gleichung bedeuten  $w_{ia}$  und  $w_{ib}$  den Massenanteil der Korngrößenklasse  $i$  an der Masse der Komponente  $a$  bzw.  $b$ . Die Größen  $w_a$  und  $w_b$  stellen den gesamten Massenanteil der jeweiligen Komponenten an der Gemischmasse dar. Bei mehr als 2 Komponenten ist die Gleichung entsprechend zu erweitern:

$$w_i = \sum_x w_{ix} w_x \quad (2).$$

Von Belang ist auch der Massenanteil der Komponenten an den einzelnen Korngrößenklassen des Düngergemisches. Für die Komponente  $x$  ergibt sich dieser Massenanteil  $w_{xi}$  aus der Beziehung

$$w_{xi} = \frac{w_{ix} w_x}{w_i} \quad (3).$$

Die **Tafel 1** enthält ein Berechnungsbeispiel für die genannten Beziehungen.

Wenn nun beim Verteilprozeß eine Entmischung bezüglich der Korngröße auftritt, unterscheiden sich die Korngrößenverteilungen der Düngerproben aus den einzelnen Meßabschnitten von derjenigen des ursprünglichen Gemisches. Sofern die Korngrößenpektren der Ausgangskomponenten des ursprünglichen Düngergemisches nicht gleich sind, ändert sich dann auch das Massenverhältnis der Komponenten für die verschiedenen Meßabschnitte der Streubahn.

Es wird hier unterstellt, daß die Entmischung bezüglich der Korngröße nicht das Massenverhältnis der Ausgangskomponenten in den einzelnen Korngrößenklassen verändert. Da der Einfluß der Korngrößenverteilung auf die Entmischung der Komponenten für sich separat dargestellt und der Einfluß anderer physikalischer Düngereigenschaften absichtlich ausgeschaltet werden soll, ist diese Unterstellung berechtigt.

Wenn die Anteile der Komponenten an den einzelnen Korngrößenklassen des Ausgangsgemisches auch für die Korngrößenklassen der Proben gelten, ist zur Ermittlung der Komponentenanteile in den Proben der Streubahnabschnitte nur noch die gegenüber dem Ausgangsgemisch unterschiedliche Korngrößenzusammensetzung notwendig.

Die Massenanteile  $w_{ij}$  der Korngrößenklassen in den Proben der einzelnen Meßabschnitte werden multipliziert mit dem Komponentenanteil  $w_{xi}$  in den Korngrößenklassen des Ausgangsgemisches. Man erhält somit den Massenanteil  $w_{xij}$  der Komponente  $x$  an der Gemischmasse der Korngrößenklasse  $i$  im Meßabschnitt  $j$  der Streubahn:

$$w_{xij} = w_{ij} w_{xi} \quad (4).$$

Die Summation der Anteile  $w_{xij}$  über alle  $k$  Korngrößenklassen ergibt den gewünschten Massenanteil  $w_{xj}$  der Komponente  $x$  an der gesamten Gemischmasse des Meßabschnittes  $j$ :

$$w_{xj} = \sum_{i=1}^k w_{ij} w_{xi} \quad (5).$$

Die **Tafel 2** enthält hierfür ein Berechnungsbeispiel. Es ist somit möglich, die durch die Entmischung bezüglich der Korngröße verursachte Entmischung der verschiedenen Ausgangskomponenten eines Mischdüngers zu ermitteln. Sofern die Ausgangskomponenten unterschiedliche Nährstoffe enthalten, ist damit dann auch die Entmischung bezüglich der Nährstoffzusammensetzung erfaßt.

Korngrößenklassen $i$	Massenanteil $w_{ix}$ der Korngrößen an den Ausgangskomponenten (g/g)		Massenanteil $w_i$ der Korngrößen am Gemisch (g/g)	Massenanteil $w_{xi}$ der Komponenten an den Korngrößen des Gemisches (g/g)	
	Kompon. a $w_{ia}$	Kompon. b $w_{ib}$	$w_i = w_{ia} w_a + w_{ib} w_b$	Kompon. a $w_{ai} = \frac{w_{ia} w_a}{w_i}$	Kompon. b $w_{bi} = \frac{w_{ib} w_b}{w_i}$
1 ( >4,0 mm)	0,029	0,124	0,114	0,03	0,97
2 (2,5–4,0 mm)	0,433	0,338	0,348	0,12	0,88
3 (1,6–2,5 mm)	0,274	0,274	0,274	0,10	0,90
4 (1,0–1,6 mm)	0,193	0,193	0,193	0,10	0,90
5 ( <1,0 mm)	0,071	0,071	0,071	0,10	0,90
Summe	1,000	1,000	1,000		

**Tafel 1.** Zusammensetzung eines Düngergemisches aus zwei Ausgangskomponenten.  
Massenanteil der Komponente  $a$  am Düngergemisch:  $w_a = 0,1$  g/g  
Massenanteil der Komponente  $b$  am Düngergemisch:  $w_b = 0,9$  g/g.

Korngrößenklassen i	Massenanteil w <sub>ij</sub> d. Korngrößen a.d. Gemischmasse des j-ten Meßabschnittes (g/g)	Massenanteil w <sub>xj</sub> d. Komponenten a.d. Korngrößen des Ausgangsgemisches nach Tafel 1 (g/g)		Massenanteil w <sub>xij</sub> der Komponenten a.d. Gemischmasse der Korngrößen des j-ten Meßabschnittes (g/g)	
		Komp. a w <sub>ai</sub>	Komp. b w <sub>bi</sub>	Komp. a w <sub>aij</sub> = w <sub>ij</sub> w <sub>ai</sub>	Komp. b w <sub>bij</sub> = w <sub>ij</sub> w <sub>bi</sub>
1 ( >4,0 mm)	0,428	0,03	0,97	0,013	0,415
2 (2,5–4,0 mm)	0,462	0,12	0,88	0,055	0,407
3 (1,6–2,5 mm)	0,081	0,10	0,90	0,008	0,073
4 (1,0–1,6 mm)	0,020	0,10	0,90	0,002	0,018
5 ( <1,0 mm)	0,009	0,10	0,90	0,001	0,008
		Ist Anteil (Summe)	w <sub>aj</sub> = 0,079	w <sub>bj</sub> = 0,921	
		Soll Anteil (s. Tafel 1)	w <sub>a</sub> = 0,100	w <sub>b</sub> = 0,900	
		Differenz	- 0,021	+ 0,021	

Tafel 2. Ermittlung des Anteiles w<sub>xj</sub> der Ausgangskomponenten an der Gemischmasse vom j-ten Meßabschnitt.

### 2.3 Statistische Maßzahlen

Die gleichmäßige Entwicklung von Pflanzenbeständen setzt eine gleichmäßige Nährstoffverteilung über die Fläche voraus. Bei industriell gefertigten Mehrnährstoffdüngern erfordert das Ziel einer gleichmäßigen Nährstoffverteilung lediglich eine gleichmäßige Verteilung der Gesamtmasse dieses Düngers über die Fläche, denn industriell gefertigte Mehrnährstoffdünger weisen in der Regel in jedem Düngerkorn das gleiche Nährstoffverhältnis auf.

Für die durch mechanisches Mischen verschiedener Düngesalze erstellten Mischdünger gelten diese Voraussetzungen nicht. Die gleichmäßige Verteilung der Gesamtmasse des Mischdüngers über die Fläche garantiert noch nicht eine gleichmäßige Versorgung der Pflanzen mit Nährstoffen. Da die Ausgangskomponenten des Mischdüngers üblicherweise verschiedene Nährstoffe enthalten, kann durch eine Entmischung der Ausgangskomponenten beim Verteilprozeß trotz gleichmäßiger Verteilung der Gesamtmasse die Nährstoffzuteilung ungleichmäßig sein.

Als Maßzahl für die Gleichmäßigkeit der Düngerverteilung bietet sich der Variationskoeffizient an, eine Größe, die die Standardabweichung der Verteilung für die Werte der Einzelproben, bezogen auf den Mittelwert, in % angibt.

Formel	Definition	Maß für ...
$s_{r,m} = \frac{100}{\bar{m}_j} \sqrt{\frac{1}{r-1} \sum_{j=1}^r (m_j - \bar{m}_j)^2}$	Standardabweichung der Gemischmassen m <sub>j</sub> in % des Mittelwertes $\bar{m}_j$	... die Verteilgenauigkeit der Gemischmasse
$s_{r,m_x} = \frac{100}{\bar{m}_{xj}} \sqrt{\frac{1}{r-1} \sum_{j=1}^r (m_{xj} - \bar{m}_{xj})^2}$	Standardabweichung der Komponentenmassen m <sub>xj</sub> in % des Mittelwertes $\bar{m}_{xj}$	... die Verteilgenauigkeit der Komponente x
$s_{r,w_x} = \frac{100}{\bar{w}_{xj}} \sqrt{\frac{1}{r-1} \sum_{j=1}^r (w_{xj} - \bar{w}_{xj})^2}$	Standardabweichung der Komponentenanteile w <sub>xj</sub> in % des Mittelwertes $\bar{w}_{xj}$	... die Entmischung beim Verteilprozeß
$\Delta s_r = s_{r,m_x} - s_{r,m}$	Differenz zwischen den Variationskoeffizienten der Komponentenmassen und der Gemischmassen	... die Entmischung beim Verteilprozeß

Tafel 3. Variationskoeffizienten zur Kennzeichnung der Verteilgenauigkeit von Mischdüngern.

Eine exakte Verteilung von Mischdüngern ist gegeben, wenn jede Ausgangskomponente in allen Meßabschnitten mit gleicher Masse vertreten ist. Der Variationskoeffizient für die Masse der Düngerproben s<sub>r,m</sub>, Tafel 3, gibt lediglich Auskunft über die Verteilgenauigkeit der Gesamtmasse des Düngers; er sagt über die Gleichmäßigkeit in der Verteilung der Ausgangskomponenten des Mischdüngers nichts aus. Als Maßzahl für die Verteilgenauigkeit der Ausgangskomponenten bietet sich aber der Variationskoeffizient der Komponentenmassen s<sub>r,m<sub>x</sub></sub> an:

$$s_{r,m_x} = \frac{100}{\bar{m}_{xj}} \sqrt{\frac{1}{r-1} \sum_{j=1}^r (m_{xj} - \bar{m}_{xj})^2} \quad (6).$$

Die für die Berechnung dieser Maßzahl erforderlichen Komponentenmassen m<sub>xj</sub> der einzelnen Meßabschnitte j ergeben sich aus dem Produkt der Probenmasse m<sub>j</sub> der Meßabschnitte mit dem Anteil w<sub>xj</sub> der Komponente an der Masse der Probe (s. Tafel 2), also:

$$m_{xj} = m_j w_{xj} \quad (7).$$

Analog gilt:

$$\bar{m}_{xj} = \bar{m}_j w_x \quad (8).$$

w<sub>x</sub> ist hierbei der Anteil der Komponente x an der gesamten Gemischmasse.

Es stellt sich aber die Frage, ob der Variationskoeffizient der Komponentenmassen für die Darstellung der Entmischung der Komponenten bzw. bezüglich der Nährstoffzusammensetzung beim Verteilprozeß eine geeignete Maßzahl ist. Im einzelnen kann eine ungleichmäßige Verteilung der Komponentenmasse auf die Meßabschnitte tatsächlich verschiedene Ursachen haben:

1. eine ungleichmäßige Verteilung der Masse des Mischdüngers auf die Meßabschnitte führt zu Abweichungen in der Komponentenmasse je Meßabschnitt;
2. bei exakter Gemischmassenverteilung schwanken die Anteile w<sub>xj</sub> der Komponenten an den Probenmassen der einzelnen Meßabschnitte. Daraus resultiert dann die ungleichmäßige Verteilung der Komponentenmasse;
3. die Abweichungen in der Komponentenmasse entstehen durch das Zusammenwirken der beiden vorgenannten Ursachen.

Wenn nur die ungleichmäßige Verteilung der Gemischmasse die Ursache für Abweichungen bei den Komponentenmassen ist (Fall 1), so ist der Variationskoeffizient der Komponentenmassen s<sub>r,m<sub>x</sub></sub> wertgleich mit dem Variationskoeffizienten der Probenmassen s<sub>r,m</sub>. Die Wertgleichheit gilt dann für alle Komponenten im Düngergemisch.

Variieren lediglich die Anteile der Komponenten an den Proben der Meßabschnitte, obwohl die Gemischmasse exakt verteilt wurde (Fall 2), so ergeben sich Verteilfehler, die ausschließlich auf Entmischungseffekte zurückzuführen sind. In diesem Fall wird der Variationskoeffizient der Komponentenmassen s<sub>r,m<sub>x</sub></sub> wertgleich mit dem Variationskoeffizienten der Komponentenanteile s<sub>r,w<sub>x</sub></sub>, also

$$s_{r,m_x} = s_{r,w_x} = \frac{100}{\bar{w}_{xj}} \sqrt{\frac{1}{r-1} \sum_{j=1}^r (w_{xj} - \bar{w}_{xj})^2} \quad (9).$$

Diese Gleichung kann aus der Ursprungsgleichung für den Variationskoeffizienten der Komponentenmassen, Gl. (6), abgeleitet werden, indem die Gln. (7) und (8) eingesetzt werden und darüber hinaus berücksichtigt wird, daß bei exakter Gemischmassenverteilung  $m_j = \bar{m}_j$  wird.

Bei den meisten Streuverfahren schwanken in den quer zur Fahrtrichtung angeordneten Meßabschnitten sowohl die Komponentenanteile als auch die Probenmassen (Fall 3). Der Variationskoeffizient der Komponentenmassen  $s_{r,m_x}$  beinhaltet dann die Abweichungen der Komponentenanteile und die Abweichungen der Probenmassen vom Mittelwert. Die Zusammenhänge zeigt eine Umformung des Termes  $(m_{xj} - \bar{m}_{xj})$  aus der Ursprungsgleichung für den Variationskoeffizienten der Komponentenmassen  $s_{r,m_x}$ .

Aus den Gln. (7) und (8) ergibt sich:

$$\begin{aligned} m_{xj} - \bar{m}_{xj} &= m_j w_{xj} - \bar{m}_j w_x \\ &= m_j w_{xj} - m_j w_x + m_j w_x - \bar{m}_j w_x \\ &= m_j (w_{xj} - w_x) + w_x (m_j - \bar{m}_j) \end{aligned} \quad (10).$$

Für den Variationskoeffizienten der Komponentenmassen folgt somit:

$$s_{r,m_x} = \frac{100}{\bar{m}_{xj}} \sqrt{\frac{1}{r-1} \sum_{j=1}^r [m_j (w_{xj} - w_x) + w_x (m_j - \bar{m}_j)]^2} \quad (11).$$

Der Term  $(w_{xj} - w_x)$  kennzeichnet die Abweichungen der Komponentenanteile vom gewogenen Mittel, während der Term  $(m_j - \bar{m}_j)$  für die Abweichungen der Probenmassen von ihrem arithmetischen Mittel steht.

Zur Darstellung der Entmischung ist der Variationskoeffizient der Komponentenmassen  $s_{r,m_x}$  für sich allein nicht geeignet, da er auch die nicht völlig vermeidbaren Unregelmäßigkeiten in der Probenmassenverteilung mit einschließt. Es steht vielmehr die Frage an, ob die Verteilung der Komponentenmassen ungenauer ist als die Verteilung der Probenmassen. Somit bietet es sich an, die Differenz zwischen dem Variationskoeffizienten der Komponentenmassenverteilung  $s_{r,m_x}$  und dem Variationskoeffizienten der Probenmassenverteilung  $s_{r,m}$  als Entmischungsmaßstab zu benutzen. Diese Differenz der Variationskoeffizienten wird im folgenden mit  $\Delta s_r$  bezeichnet.

Darüber hinaus wird im Rahmen dieser Arbeit auch der Variationskoeffizient der Komponentenanteile  $s_{r,w_x}$  zur Darstellung der Entmischung herangezogen. Sofern es um einen Vergleich der Verteilgenauigkeit zwischen aus Einnährstoffdüngern gemischten Düngern und industriell hergestellten Mehrnährstoffdüngern geht, erscheint der Variationskoeffizient der Komponentenanteile des Mischdüngers als geeignete Maßzahl. Bei den industriell gefertigten Mehrnährstoffdüngern ergibt sich nämlich für diese Maßzahl als Folge der völlig entfallenden Entmischung der Wert Null.

Erfolgt dagegen ein Vergleich der Verteilgenauigkeit zwischen aus Einnährstoffdüngern gemischten Mehrnährstoffdüngern einerseits und den in mehreren Streuarbeitsgängen ausgebrachten Einnährstoffdüngern andererseits, so ist der Variationskoeffizient der Komponentenanteile des Mischdüngers als Maßzahl der Entmischung vermutlich nicht geeignet. Man kann nämlich bei der Verteilung mehrerer Einnährstoffdünger in getrennten Streuarbeitsgängen nicht davon ausgehen, daß die Pflanzen die Düngermasse mit konstantem Nährstoffverhältnis erhalten. Der Variationskoeffizient der Komponentenanteile hat für diesen Vergleichsfall nicht den Ausgangswert Null, da beim Verteilen der Einzeldünger verständlicherweise auch Unregelmäßigkeiten auftreten, die in der Querverteilung nicht deckungsgleich sind. Für diesen Vergleichsfall bietet sich daher die Benutzung der Differenz  $\Delta s_r$  zwischen

dem Variationskoeffizienten der Komponentenmassenverteilung und dem Variationskoeffizienten der Probenmassenverteilung an.

Diese Überlegungen veranlassen dazu, als Entmischungsmaßstab sowohl den Variationskoeffizienten der Komponentenanteile  $s_{r,w_x}$  als auch die Differenz der Variationskoeffizienten  $\Delta s_r$  zu verwenden.

### 3. Entmischung der Nährstoffe bei unterschiedlich gekörnten Mischungskomponenten

#### 3.1 Voraussetzungen

Bei gegebener Korngrößenverteilung quer zur Fahrtrichtung des Düngerstreuers ist die Entmischung der Nährstoffe von den Unterschieden in der Körnung des Düngergemisches und der Ausgangskomponenten abhängig. Das Simulationsmodell (Kap. 2.1 und 2.2) ermöglicht es, innerhalb des Körnungsbereiches eines Gemisches die Körnung für die Ausgangskomponenten relativ frei zu wählen. Dabei muß natürlich die Mischung der Ausgangskomponenten jeweils die Körnung des Mischdüngers liefern.

Tafel 4 enthält Daten über die Körnung des Gemisches und der jeweiligen Ausgangskomponenten. Die Gemischkörnung entspricht annähernd derjenigen von Korngemisch I im vorhergehenden Beitrag. Der Unterschied in der Körnung der Ausgangskomponenten nimmt von  $A_1/B_1$  über  $A_2/B_2$  bis  $A_3/B_3$  zu.

Die Ausgangskomponenten stellen jeweils einen Anteil von 50 % der Gemischmasse. Eine Änderung dieses Anteiles an der Gemischmasse hat auf die Höhe der Variationskoeffizienten  $s_{r,m_x}$  und  $s_{r,w_x}$  keinen Einfluß. Bei einer Steigerung dieses Anteiles erhöhen sich nämlich für die Variationskoeffizienten die Streuung und der zugehörige Mittelwert im gleichen Maße: die Variationskoeffizienten bleiben daher unverändert. Bei zwei Ausgangskomponenten eines Gemisches ergeben sich für diese ansonsten auch immer identische Variationskoeffizienten. Wenn jede Ausgangskomponente einen Nährstoff enthält, können der Variationskoeffizient  $s_{r,w_x}$  und  $\Delta s_r$  (siehe Tafel 3) auch als Maßstab für die Entmischung der Nährstoffe angesehen werden.

Siebmaschenweite <sup>1)</sup> in mm	Massenanteil des Siebrückstands in %						
	Gemisch	Ausgangskomponenten		Ausgangskomponenten		Ausgangskomponenten	
		A <sub>1</sub>	B <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	B <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	B <sub>3</sub>
5,00	3,79	1,29	6,29	1,29	6,29	1,29	6,29
4,00	9,40	3,40	15,40	1,40	17,40	1,40	17,40
3,15	9,40	13,40	5,40	9,40	9,40	2,40	16,40
2,50	23,47	27,97	18,97	23,47	23,47	13,47	33,47
2,00	17,30	17,30	17,30	17,30	17,30	27,30	7,30
1,60	13,15	13,15	13,15	15,15	11,15	22,15	4,15
1,25	13,85	13,85	13,85	17,85	9,85	17,85	9,85
1,00	4,53	4,53	4,53	7,53	1,53	7,53	1,53
0,80	1,98	1,98	1,98	2,98	0,98	2,98	0,98
Pfanne	3,13	3,13	3,13	3,63	2,63	3,63	2,63
Summe	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
φ Korngröße in mm	2,55	2,41	2,69	2,19	2,91	2,01	3,09

<sup>1)</sup> nach DIN 4188

Tafel 4. Körnung des Gemisches und zugehörige Körnung der Ausgangskomponenten.

### 3.2 Ergebnisse

Die Ergebnisse der Simulationsrechnungen enthält **Tafel 5**. Erwartungsgemäß nimmt die Entmischung bei allen entmischenden Verteilvorgängen in Abhängigkeit von den Unterschieden im Körnungsspektrum zwischen Gemisch und Komponenten zu.

In allen Fällen ergeben sich für die Variationskoeffizienten der Komponentenanteile  $s_{r,w_x}$  höhere Werte als für die Differenzen  $\Delta s_r$  der Variationskoeffizienten von Komponenten- und Gemischmassen. Der erstere Entmischungsmaßstab erfaßt alle Abweichungen im Nährstoffverhältnis an den einzelnen Meßabschnitten. Hingegen berücksichtigt der letztere Entmischungsmaßstab definitionsgemäß nur diejenigen Abweichungen im Nährstoffverhältnis, die sich ergeben, weil die Komponentenmasse ungenauer verteilt wird als die Gemischmasse.

Ansonsten zeigen die Ergebnisse, daß bei gleichen Unterschieden in der Körnung der Schneckenstreuer immer die höchste Entmischung der Nährstoffe liefert. Der Pneumatikstreuer verursacht keine Entmischung. Die Schleuderstreuer und der Bandstreuer führen zu einer geringfügigen Entmischung der Nährstoffe. Von wenigen Ausnahmen abgesehen, liefern die Schleuderstreuer dabei ein besseres Ergebnis als der Bandstreuer.

Ausgangskomponenten		Var. Koeffizient d. Komp. Anteile $s_{r,w_x}$	Differenz d. Var. Koeff. $\Delta s_r = s_{r,m_x} - s_{r,m}$
Zeichen	Körnungs-Diff.		
<b>Bandstreuer</b>			
A <sub>1</sub> , B <sub>1</sub>	klein	3,14	+ 0,71
A <sub>2</sub> , B <sub>2</sub>	mittel	6,77	+ 2,49
A <sub>3</sub> , B <sub>3</sub>	groß	10,43	+ 4,35
<b>Schneckenstreuer</b>			
A <sub>1</sub> , B <sub>1</sub>	klein	13,41	+ 3,41
A <sub>2</sub> , B <sub>2</sub>	mittel	27,18	+ 12,00
A <sub>3</sub> , B <sub>3</sub>	groß	42,36	+ 27,60
<b>Pneumatikstreuer</b>			
A <sub>1</sub> , B <sub>1</sub>	klein	0,59	+ 0,01
A <sub>2</sub> , B <sub>2</sub>	mittel	0,99	- 0,04
A <sub>3</sub> , B <sub>3</sub>	groß	1,56	+ 0,01
<b>Zweischeiben-Schleuderstreuer (11 m AB)</b>			
A <sub>1</sub> , B <sub>1</sub>	klein	1,72	+ 0,87
A <sub>2</sub> , B <sub>2</sub>	mittel	4,47	+ 4,03
A <sub>3</sub> , B <sub>3</sub>	groß	6,85	+ 6,18
<b>Pendel-Schleuderstreuer (9 m AB)</b>			
A <sub>1</sub> , B <sub>1</sub>	klein	1,28	+ 0,05
A <sub>2</sub> , B <sub>2</sub>	mittel	4,37	+ 1,57
A <sub>3</sub> , B <sub>3</sub>	groß	6,29	+ 2,18

**Tafel 5.** Entmischung bezüglich der Nährstoffzusammensetzung bei verschiedenen Streuverfahren und Ausgangskomponenten.

## 4. Entmischung bezüglich der Nährstoffzusammensetzung in Abhängigkeit von Differenzen in der mittleren Korngröße

### 4.1 Voraussetzungen

Die bisher angewandte Methode, Körnungsunterschiede zwischen dem Gemisch und den einzelnen Komponenten durch die Anteile

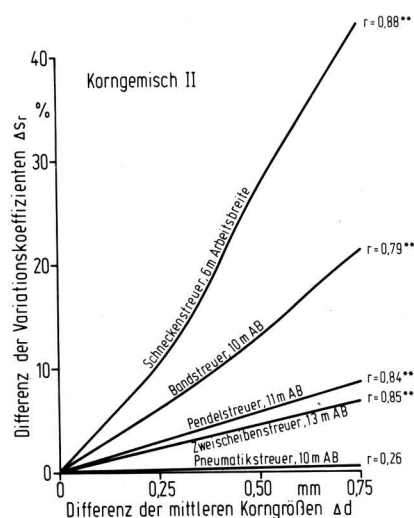
der Siebrückstände zu kennzeichnen (Tafel 4), ist zwar vergleichsweise genau, aber für eine überschlägige Bewertung der Entmischung zu kompliziert und zu aufwendig. Im folgenden wird deshalb ein Maßstab benutzt, der die Körnungsunterschiede zwischen Gemisch und Komponenten durch eine einzige Zahl darstellt. Dieser Maßstab ist die Differenz  $\Delta d$  der mittleren Korngrößen von Gemisch und Komponente.

Die Beziehung zwischen der Differenz in der mittleren Korngröße und den Maßzahlen für die Entmischung bezüglich der Nährstoffzusammensetzung wurde durch ein Simulationsprogramm ermittelt. Das Programm simulierte eine Vielzahl von Komponentenkörnungen innerhalb des Rahmens der Gemischkörnung und errechnete dann die Differenzen in der mittleren Korngröße sowie die zugehörigen Maßzahlen für die Entmischung bezüglich der Nährstoffzusammensetzung. Es war sichergestellt, daß die simulierten Komponenten keine Korngrößen enthielten, die nicht dem Gemisch (Korngemisch II im vorhergehenden Beitrag) entsprechen.

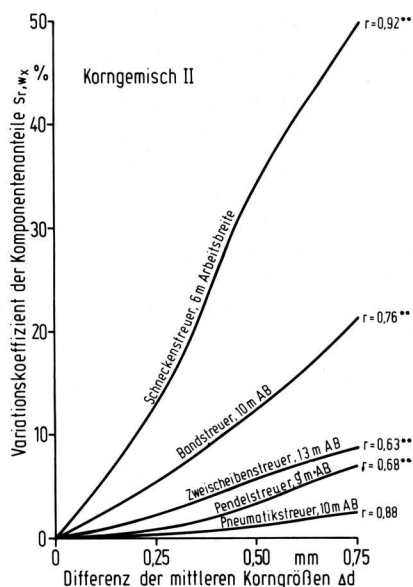
### 4.2 Ergebnisse

In **Bild 1 bis 4** sind die Ergebnisse dargestellt. Jeder Kurve liegen 420 Wertepaare zugrunde.

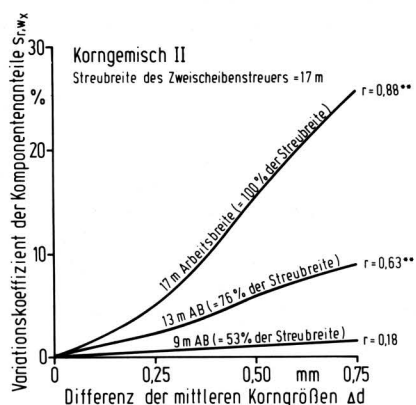
Bei gleichem Entmischungsmaßstab ( $s_{r,w_x}$  bzw.  $\Delta s_r$ ) und gleichem Gerät geht die maximale Höhe der Entmischung in **Bild 1** und **2** in der Regel über den in **Tafel 5** dargestellten Bereich hinaus. Dieses Ergebnis mag zunächst überraschen, da die Ausgangskomponenten zu **Tafel 5** einem Gemisch mit breiterem Korngrößenspektrum (Korngemisch I, 1. Beitrag) entstammen als diejenigen in **Bild 1** und **2** (Korngemisch II). Ein breites Korngrößenspektrum des Gemisches allein verursacht aber noch nicht eine stärkere Entmischung; entscheidend sind vielmehr die Unterschiede in der Korngrößenverteilung der einzelnen Komponenten bzw. von Gemisch und Komponenten. Tatsächlich überschreiten die Differenzen in den mittleren Korngrößen von Gemisch und Komponenten in den Bildern deutlich diejenigen, die für **Tafel 5** gelten (siehe **Tafel 4**, unterste Zeile). Wenn die Ausgangskomponenten jeweils einen Anteil von 50 % der Gemischmasse ausmachen, ist die Differenz ihrer mittleren Korngrößen doppelt so groß wie diejenige zwischen Gemisch und Komponenten. Die Abszissenwerte der Bilder sind daher zu verdoppeln, wenn von den Unterschieden in der mittleren Korngröße der Komponenten ausgegangen wird.



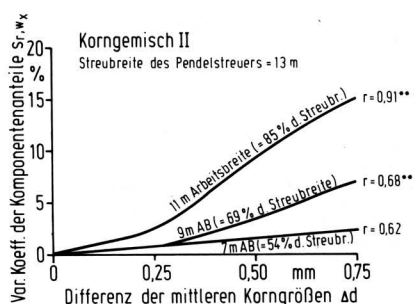
**Bild 1.** Differenz der Variationskoeffizienten in Abhängigkeit von der Differenz der mittleren Korngrößen zwischen Gemisch und Komponenten für verschiedene Streuverfahren.



**Bild 2.** Variationskoeffizient der Komponentenanteile in Abhängigkeit von der Differenz der mittleren Korngrößen zwischen Gemisch und Komponenten für verschiedene Streuverfahren.



**Bild 3.** Variationskoeffizient der Komponentenanteile in Abhängigkeit von der Differenz der mittleren Korngrößen zwischen Gemisch und Komponenten für den Zweischiebenstreuer.



**Bild 4.** Variationskoeffizient der Komponentenanteile in Abhängigkeit von der Differenz der mittleren Korngrößen zwischen Gemisch und Komponenten für den Pendelstreuer.

Ansonsten zeigen auch die Bilder 1 und 2, daß die Entmischung bezüglich der Nährstoffzusammensetzung in der Reihenfolge Schneckenstreuer, Bandstreuer, Schleuderstreuer, Pneumatikstreuer abnimmt. Von wenigen Ausnahmen abgesehen, erweist sich auch hier der Variationskoeffizient der Komponentenanteile  $s_{r,w,x}$  als der strengere Entmischungsmaßstab.

Für die Schleuderstreuer, Bild 3 und 4, ist die Entmischung bezüglich der Nährstoffzusammensetzung im einzelnen sehr von der Überlappung der Streustreifen und somit von der Arbeitsbreite abhängig. Bei fehlender Überlappung ist die Entmischung sehr deutlich. Wenn hingegen die Arbeitsbreite weniger als 60 % der Streubreite beträgt, ist bei keinem der Schleuderstreuer und mit keinem der benutzten Entmischungsmaßstäbe eine signifikante Wirkung nachzuweisen. Bei der in der Praxis üblichen Arbeitsbreite von 60 bis 70 % der Streubreite ist die Entmischung bezüglich der Nährstoffzusammensetzung sehr gering.

## 5. Zusammenfassung

Der Beitrag behandelt die Entmischung bezüglich der Nährstoffzusammensetzung beim Streuen von Mischdüngern, die durch Mischen von verschiedenen Einnährstoffdüngern erstellt werden. Die Entmischung bezüglich der Nährstoffzusammensetzung wird in Abhängigkeit von Unterschieden in der Körnung von Mischdüngern und Ausgangskomponenten sowie in Abhängigkeit vom Streuverfahren dargestellt.

Die Entmischung bezüglich der Nährstoffzusammensetzung steigt mit größer werdendem Unterschied in der Körnung von Mischdüngern und Ausgangskomponenten sowie im allgemeinen in der Reihenfolge Pneumatikstreuer – Schleuderstreuer – Bandstreuer – Schneckenstreuer. Auch bei deutlichen Unterschieden in der Körnung ist die Entmischung bezüglich der Nährstoffzusammensetzung beim Pneumatikstreuer entweder statistisch nicht nachzuweisen oder der Höhe nach bedeutungslos. Für die Schleuderstreuer gilt das gleiche, sofern die Überlappung der benachbarten Streustreifen so groß ist, daß die Arbeitsbreite weniger als 60 % der Streubreite beträgt. Bei der in der Praxis oft üblichen Arbeitsbreite von 60 bis 70 % der Streubreite ist die Entmischung bezüglich der Nährstoffzusammensetzung noch sehr gering; wird die Arbeitsbreite über diesen Wert hinaus auf Kosten der Überlappung vergrößert, so steigt die Entmischung bezüglich der Nährstoffzusammensetzung deutlich an. Für den Schneckenstreuer ist die Entmischung so stark, daß dieses Gerät für das Verteilen von Mischdüngern aus unterschiedlich gekörnten Ausgangskomponenten ungeeignet ist.

### Verwendete Formelzeichen

$\bar{d}$	Mittlere Korngröße des Gemisches (mm)
$\bar{d}_x$	Mittlere Korngröße der Komponente x (mm)
$\Delta d$	Korngrößendifferenz: $\Delta d = \bar{d} - \bar{d}_x$ (mm)
$\bar{d}_i$	Mittlere Korngröße der i-ten Korngrößenklasse (mm)
m	Masse des Düngergemisches (g)
$m_i$	Masse der i-ten Korngrößenfraktion in der Gemischmasse m (g)
$m_j$	Masse der Düngerprobe vom j-ten Meßabschnitt (g)
$m_{ij}$	Masse der i-ten Korngrößenfraktion in der Probenmasse $m_j$ vom j-ten Meßabschnitt (g)
$m_x$	Masse der Komponente x in der Gemischmasse m (g)
$m_{xj}$	Masse der Komponente x in der Probenmasse vom j-ten Meßabschnitt $m_j$ (g)
$\bar{m}_j$	Arithmetisches Mittel der Probenmassen $m_j$ (g)
$\bar{m}_{xj}$	Arithmetisches Mittel der Komponentenmassen $m_{xj}$ aller j Meßabschnitte (g)
$s_{r,m}$	Variationskoeffizient der Probenmassen $m_j$ (%)

$s_{r,m_x}$	Variationskoeffizient der Komponentenmassen $m_{xj}$ (%)
$s_{r,w_x}$	Variationskoeffizient der Komponentenanteile $w_{xj}$ (%)
$\Delta s_r$	Differenz der Variationskoeffizienten: $\Delta s_r = s_{r,m_x} - s_{r,m}$ (%)
$w_i$	Anteil der i-ten Korngrößenklasse an der Gemischmasse $m$ (g/g)
$w_{ij}$	Anteil der i-ten Korngrößenklasse an der Probenmasse $m_j$ (g/g)
$w_{ix}$	Anteil der i-ten Korngrößenklasse an der Komponentenmasse $m_x$ (g/g)
$w_x$	Anteil der Komponente $x$ an der Masse $m$ (g/g)
$w_{xi}$	Anteil der Komponente $x$ an der Masse $m_i$ (g/g)
$w_{xj}$	Anteil der Komponente $x$ an der Masse $m_j$ (g/g)
$\bar{w}_{xj}$	Arithmetisches Mittel der Komponentenanteile der Komponente $x$ an den Probenmassen $m_j$ (g/g)
$w_{xij}$	Anteil der Komponente $x$ an der Masse $m_{ij}$ (g/g)
Indizes	
Korngrößenfraktion	$i = 1 \dots k$
Meßabschnitte	$j = 1 \dots r$
Komponenten	$x = a, b$

## Schrifttum

Bücher sind durch ● gekennzeichnet

- [ 1 ] Heege, H.J. u. W. Hellweg: Entmischung bezüglich der Korngröße beim Verteilen von Mineraldünger. Grndl. Landtechnik Bd. 32 (1982) Nr. 1, S. 13/19.
- [ 2 ] Hoffmeister, G., Watkins, S. u. J. Silverberg: Bulk blending of fertilizer material: effect of size, shape and density on segregation. Agricultural and Food Chemistry (Washington, D.C.) Bd. 12 (1964) S. 64/69.
- [ 3 ] ● Frizen, H.W.: Verfahrensketten für Mehrnährstoffdünger in den USA. KTBL-Schrift 197 (1975).
- [ 4 ] Haverkamp, L., J. Balg, H.J. Heege u. G. Mülle: Anlagerung von Spurennährstoffdüngern an körnige Hauptnährstoffdünger. Landtechnik Bd. 35 (1980) Nr. 8/9, S. 389/91.
- [ 5 ] Heege, H.J.: Perspektiven für die Lose-Dünger-Kette mit Mischstationen auf der Landhandelsstufe. Berichte über Landwirtschaft Bd. 55 (1977) S. 286 ff.
- [ 6 ] Smith, G.E.: Bulk blended fertilizers. Proceedings of the 11th Annual Meeting. Fertilizer Industry Round Table. Washington, D.C., (1961), S. 90 ff.

## Signalverarbeitung in Pflugregelsystemen

Von Horst Hesse, Stuttgart\*)

DK 631.372:62-52

Einrichtungen zur Regelung von Schlepperanbau- und -anhängegeräten können aus mechanischen, hydraulischen oder elektrischen Bauelementen aufgebaut sein. Dieser Beitrag gibt einen Überblick über die prinzipiellen Eigenschaften der üblichen mechanischen, hydraulischen und elektrischen Bauelemente zur Istwertfassung, zur Signalübertragung und -verarbeitung und liefert eine qualitative Bewertung der verschiedenen Systeme bezüglich der wichtigsten praktischen Kriterien in Form einer Tafel.

### 1. Einleitung

Heute sind fast alle Ackerschlepper in der westlichen Welt mit geregelten hydraulischen Krafthebern ausgerüstet, Bild 1. Das Regelprinzip, bei dem Kräfte der oberen oder der unteren Lenker zur Regelung der Tiefe von Geräten benutzt werden, hat sich gegen alle anderen Lösungsansätze durchgesetzt. Der Hauptnachteil der Kraftregelungssysteme, ein starkes Schwanken der Tiefe bei wechselnden Böden, wird mit Hilfe sogenannter Mischregelungen, bei denen dem Kraftsignal ein Lagesignal zugemischt wird, gelöst.

Vorgetragen auf der VDI-Tagung Landtechnik in Braunschweig am 6. November 1981.

\*) Dr.-Ing. H. Hesse ist Leiter der "Entwicklung Steuerungstechnik für Mobilhydraulik" im Geschäftsbereich "Hydraulik und Pneumatik" der Robert Bosch GmbH.

Die technische Weiterentwicklung der Ackerschlepper hat neuerdings ein Überdenken der Konzepte und der technischen Lösungen in Gang gesetzt. Die wesentlichen Gründe dafür sind:

- geschlossene und gefederte Kabinen (flexible Signalübertragung)
- steigende Anforderungen an Bedienkomfort
- größere Schlepperleistungen (Probleme bei Aufsattelpflügen)
- bessere Regelgüte (kleine Regelabweichung, weiches Übergangsverhalten, volle Ausnutzung der Motorleistung)
- Optimierung des Prozesses Bodenbearbeitung nach Zeit oder Energieverbrauch (Einbeziehung von Schlupf etc.).

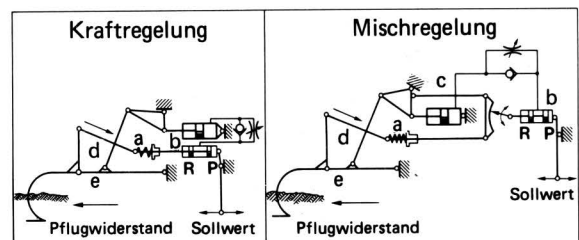


Bild 1. Herkömmliche Pflugregelungssysteme mit Oberlenkerregelung.

- |              |               |
|--------------|---------------|
| a Meßfeder   | d Oberlenker  |
| b Ventil     | e Unterlenker |
| c Lagefühler |               |