

den in diese Schicht eingemischt und nicht tief vergraben. Der zum Teil immer noch geforderte "reine Tisch" für nachfolgende Sägeräte wäre gegeben. Die Anordnung der Lockerungsschare erfolgt dabei so, daß einerseits genügend Raum für das Aufbrechen des Bodens nach vorne vorhanden ist, andererseits die Halterung das Wenden des benachbarten Bodenbalkens nicht behindert. Diese Halterung würde zugleich als Anlage der Pflugkörper dienen. Falls nicht neben der Furche gefahren werden könnte, wäre am innersten Werkzeug das Lockerungsschar zu entfernen und dafür nach außen zu setzen. Zum Anpflügen wäre dieses Schar evtl. herauszunehmen. Vorteilhaft erscheint dabei noch die flachere Schleppeperradsole, die zudem sofort wieder gelockert wird. Eine Verbindung mit Nachfolgegeräten wäre möglich. Für das Gerät ist ein geringerer Leistungsbedarf zu erwarten als für einen vergleichbaren Pflug derselben Arbeitstiefe und -breite.

6. Zusammenfassung

Ausgehend von der Geometrie des Bodenbalkenquerschnitts und einer vereinfachten Vorstellung des Wendens, werden theoretische Überlegungen zur stabilen Ablage der Bodenbalken, zum Leistungsbedarf und zur Anordnung von Pflugkörpern mit rautenförmigem Bearbeitungsquerschnitt dargelegt. Über Zugkraftvergleichsmessungen an Rauten- und Universalpflugkörpern wird berichtet, wobei auf den untersuchten Böden für die Rautenkörper bei geringer Arbeitstiefe ein höherer, bei größerer Tiefe ein kleinerer spezifischer Pflugwiderstand als bei den Universalkörpern festgestellt wurde. Kurz betrachtet werden auch Möglichkeiten für den Einsatz von Rautenkörpern bei Pflügen mit geringerem Körperlängsabstand, wobei an die Verwendung größerer Rautenwinkel und die Verbindung mit weiteren Werkzeugen zu denken ist.

Schrifttum

Bücher sind durch • gekennzeichnet

- [1] *Nowotny, M.*: Hat der Rautenpflug Zukunft? Agrartechnik international Bd. 56 (1977) Nr. 8, S. 8/9.
- [2] *Clausing, F.*: Der Rautenpflug – pro und kontra. DLG-Mitteilungen Bd. 92 (1977) Nr. 24, S. 1319/21.
- [3] *Blackstein, R.*: Der Rautenpflug. Agrartechnik international Bd. 57 (1978) Nr. 1, S. 8/9.
- [4] *Stroppel, A. u. R. Reisch*: Vergleichende Untersuchungen an Rauten- und Normalpflugkörpern. Grundl. Landtechnik Bd. 29 (1979) Nr. 3, S. 73/78.
- [5] *Stroppel, A.*: Vergleichende Untersuchungen an Streichelehpflügen mit rautenförmigen und rechteckigen Bearbeitungsquerschnitten. Vortrag Internation. Tagung Landtechnik, Braunschweig, 7.–9.11.1979.
- [6] Unterlagen der Firmen Huard, Gassner und Rabewerk.
- [7] *Anisch, S. u. R. Richter*: Zum Arbeitsprinzip eines Kurzfluges auf der Grundlage des Wendens von Bodenbalken mit parallelogrammförmigem Querschnitt. Agrartechnik 27. Jg. (1977) H. 7, S. 323/25.
- [8] • *Pietsch, H.*: Zur Berechnung von Kräften an Bodenbearbeitungswerkzeugen mit besonderer Berücksichtigung von Drängeräten. Diss. TU München 1977.
- [9] *Queitsch, K.*: Eine elektrische 6-Komponenten-Meßeinrichtung zur Ermittlung räumlich wirkender Kräfte an einem Bodenbearbeitungswerkzeug. Agrartechnik 18. Jg. (1968) H. 3, S. 109/11.
- [10] *Söhne, W.*: Einige Grundlagen für eine landtechnische Bodenmechanik. Grundl. Landtechnik Heft 7 (1956) S. 11/27.

Einfluß der geometrischen Parameter auf die Dosiergenauigkeit von Schneckendosierern für Kraftfuttermittel

Von Bernd J. Scholtysik, München*)

Aus den Arbeiten des Sonderforschungsbereiches 141 "Produktionstechniken der Rinderhaltung"

DK 636.084:621.86.08:621.867.4

Bei den in der Rinderhaltung für eine mechanisierte Kraftfutterzuteilung eingesetzten Geräten werden oft Schnecken als Dosierorgane verwendet. Im vorliegenden Beitrag werden Untersuchungen über den Einfluß der Schneckengeometrie (Durchmesser, Steigung, Gangzahl) auf die Genauigkeit der dosierten Rationen beschrieben. Die Ergebnisse lassen sich mit Hilfe der Schwankungen der geförderten Masse erklären.

1. Einleitung

Aus arbeitswirtschaftlichen und ernährungsphysiologischen Gründen wird versucht, in der Rinderhaltung die Kraftfutterzuteilung stärker zu mechanisieren. Mit einer täglich mehrmaligen, der individuellen Leistung des Tieres angepaßten Kraftfutterzuteilung sollen die Bedingungen einer "biologischen Fütterung" verwirklicht

werden [1]. Dadurch soll das "genetische Leistungspotential der Tiere optimal ausgenutzt" werden, ohne daß wegen der notwendigen hohen Kraftfuttermengen Verdauungsstörungen auftreten.

Für eine leistungsbezogene Fütterung muß man nicht nur die individuellen Tierleistungen und die Nährstoffgehalte der Futtermittel kennen, sondern man braucht auch geeignete Dosiereinrichtungen. Aus der Sicht der Tierernährung sollen mit diesen Geräten die gewünschten Rationen mit Abweichungen vom Sollwert kleiner als 5 % zuteilt werden.

In der Praxis haben sich für die mechanisierte Kraftfutterzuteilung sogenannte Melkstandautomaten und transpondergesteuerte Abrufautomaten eingeführt. Bei diesen Geräten wird das Kraftfutter nach dem Volumen dosiert, wobei wegen schwankender Stoffeigenschaften (z.B. der Struktur, Dichte und des Feuchtegrads) prinzipiell eine Kalibrierung der Geräte notwendig ist. Eine Laboruntersuchung von in der Praxis üblichen Kraftfutterdosierern zeigte z.T. erhebliche Unterschiede in der Dosiergenauigkeit bei verschiedenen Gerätebauformen [2]. Bei den in der Praxis eingesetzten Kraftfutterdosierern werden oft Schnecken als Dosierorgane verwendet. Um festzustellen, wie die geometrischen Parameter der Schnecke die Dosiergenauigkeit beeinflussen, wurden Untersuchungen durchgeführt, deren Ergebnisse im folgenden beschrieben werden.

*) Dipl.-Ing. B.J. Scholtysik ist wiss. Assistent am Institut für Landmaschinen (Direktor: Prof. Dr.-Ing. W. Söhne) der Technischen Universität München.

2. Aufbau und Funktion des Versuchsgerätes

Das für die Untersuchungen verwendete Schneckendosierer-Versuchsgerät ist in **Bild 1** schematisch dargestellt. Das Kraftfutter wird von der Schnecke a aus dem Behälter b (Volumen etwa 40 l) durch das Mantelrohr c zur Auswurföffnung d gefördert. Dabei ist der Raum zwischen der Schnecke und dem Mantelrohr am behälterseitigen Ende nahezu vollständig vom Kraftfutter ausgefüllt. Im Behälter befindet sich über der Schnecke ein dachförmiger Einbau e. Dieser Einbau bewirkt, daß das Kraftfutter über der Schnecke einen prismatischen Schüttkörper bildet, der unabhängig von der Füllhöhe im Behälter ist. Dadurch wird ein Einfluß der Behälterfüllhöhe auf die dosierten Massen vermieden. Der Antrieb der Schnecke erfolgt durch einen Elektromotor f mit stufenlos regelbarem Getriebe g. Die Dosierzeit t_D der Schnecke, und damit die dosierte Masse, wird mit einer den Antriebsmotor steuernden Zeituhr h vorgegeben.

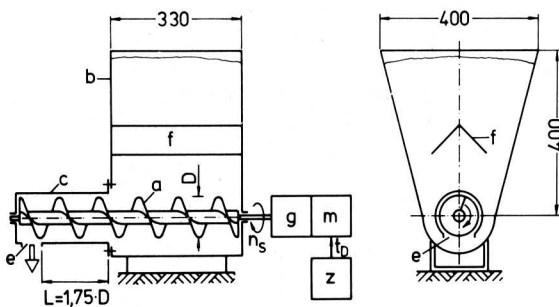


Bild 1. Schematische Darstellung des verwendeten Schneckendosierers.

- | | |
|------------------|---------------------------------|
| a Schnecke | e dachförmiger Einbau |
| b Behälter | f Elektromotor |
| c Mantelrohr | g stufenlos regelbares Getriebe |
| d Auswurföffnung | h Zeituhr |

3. Untersuchte Schnecken geometrien

In den Untersuchungen wurden Schnecken¹⁾ mit einem Durchmesser $D = 60; 80; 100; 120; 140$ mm verwendet, bei denen nur geringe Abweichungen vom Sollwert vorlagen. Der Innendurchmesser der zugehörigen Mantelrohre betrug etwa $1,16 D$. Der so dimensionierte Spalt zwischen Schneckenblech und Mantelrohr ermöglichte eine störungsfreie Förderung pelletierter Kraftfuttermittel. Die Länge der Mantelrohre bis zur Auswurföffnung betrug $1,75 D$. Die Schneckenbleche waren auf Innenrohren mit einem Durchmesser von etwa $0,3 D$ befestigt. Bei allen Durchmessern wurden je 4 verschiedene Schneckensteigungen untersucht, wofür das Verhältnis Steigung/Durchmesser mit $S/D = 0,5; 1; 1,25; 1,5$ festgelegt wurde, **Bild 2**. Im Bereich $D = 80-140$ mm wurden außerdem zwei- und dreigängige Schnecken mit einem Verhältnis $S/D = 1$ untersucht, **Bild 3**.

Bei den bisher genannten Schnecken reichten die Schneckenbleche in Förderrichtung deutlich über die Auswurföffnung hinaus: "lange Schnecken", vgl. **Bild 1**. Als weitere Variante der Schnecken geometrie wurden die in **Bild 4** schematisch dargestellten "kurzen Schnecken" verwendet. Dabei endet das Schneckenblech in Förderrichtung um die Länge $l = 1,3 D$ vor der Auswurföffnung. Um eine gleichbleibende Länge des Schneckenblechs im Mantelrohr zu erreichen, wurde das Mantelrohr im Inneren des Behälters entsprechend der Schneckenverkürzung verlängert.

¹⁾ Die Schneckenbleche wurden freundlicherweise von der Firma Präzi-Flachstahl GmbH, Raestrup-Everswinkel, zur Verfügung gestellt, wofür auch an dieser Stelle gedankt sei.

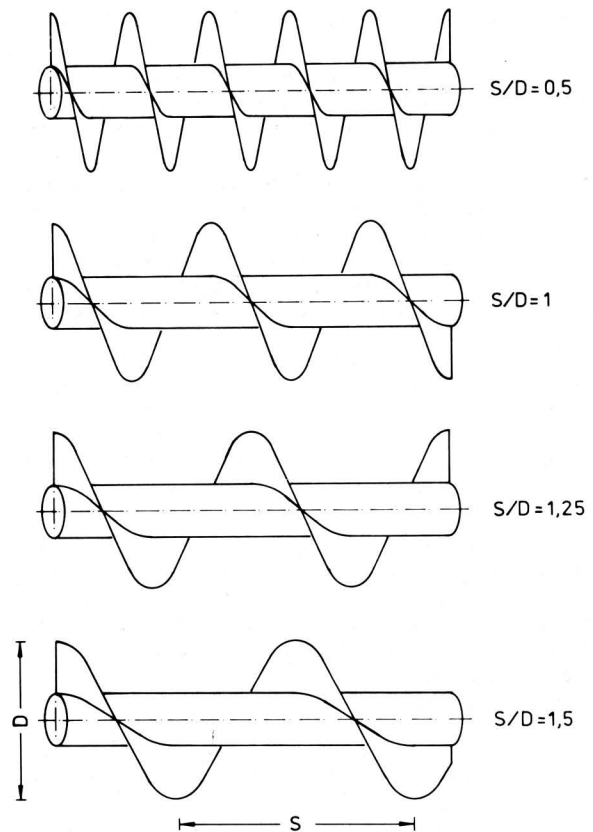


Bild 2. Schnecken mit unterschiedlichen Verhältnissen von Steigung zu Durchmesser.

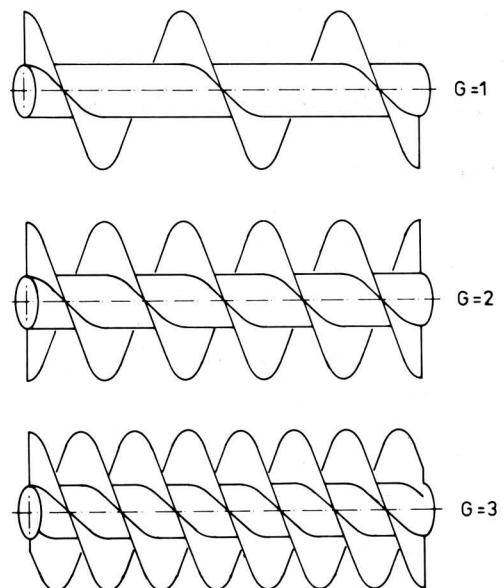


Bild 3. Schnecken mit unterschiedlicher Gangzahl.

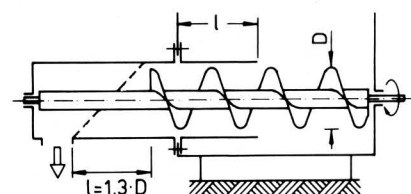


Bild 4. Schematische Darstellung des Schneckendosierers mit "kurzer Schnecke".

4. Schwankung der geförderten Masse

Der von der Schnecke aus dem Behälter geförderte Massenstrom ist nicht konstant, sondern er ändert sich periodisch mit dem Drehwinkel der Schnecke. Um diese Schwankung zu untersuchen, wurden die bei einer Drehung der Schnecke um jeweils 20 Grad geförderten Massen aufgefangen und gewogen. Da sich ein deutlicher Einfluß der Struktur des geförderten Materials zeigte, wurden für die Messungen zwei typische handelsübliche Kraftfuttermittel verwendet, nämlich ein mehliges "Milchleistungsfutter" (MLF) und ein pelletiertes "Kuhkorn" (KK), Pellets mit einem Durchmesser von etwa 6,5 mm und Längen von 5–30 mm.

Bild 5 zeigt ein Beispiel für den unterschiedlichen Verlauf des Massenstroms in Abhängigkeit vom Drehwinkel bei Förderung der verschiedenen Futterarten. Aufgetragen ist das Verhältnis von pro Grad geförderten Masse Δm_β und der mittleren pro Grad geförderten Masse $\overline{\Delta m_\beta}$. Der Drehwinkel β kennzeichnet, wie im Bild dargestellt, die Winkelstellung der Schnecke im Auslaufquerschnitt. Beim pelletierten Futter KK wird die Masse sehr ungleichmäßig gefördert, wobei der größte Teil der Masse in einem Winkelbereich zwischen 180° und 270° anfällt. Die Schwankungen der geförderten Masse entstehen dadurch, daß die zum Auswurfquerschnitt zeigende Begrenzung des Kraftfutters im Mantelrohr zum Teil vom Schneckenblech, zum Teil von einer freien Schüttfläche des Kraftfutters gebildet wird, wobei sich die Verhältnisse mit der Drehung der Schnecke periodisch verändern. Im Winkelbereich mit dem großen Massenstrom ist der Spalt zwischen dem Schneckenblech und der Auswurföffnung so groß, daß viel Material ausströmen kann, das vorher vom Schneckenblech zurückgehalten wurde. Beim mehligem Futter MLF erfolgt wegen der feineren Materialstruktur der Massenausstrag wesentlich gleichmäßiger.

Neben der Materialstruktur beeinflusst vor allem die Schnecken-geometrie die Schwankungen der geförderten Masse. Zur Kennzeichnung der Schwankung soll die mittlere bezogene Abweichung μ verwendet werden, die folgendermaßen definiert wird:

$$\mu = \frac{\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} |\Delta m_\beta - \overline{\Delta m_\beta}| d\beta}{\overline{\Delta m_\beta}} \quad (1)$$

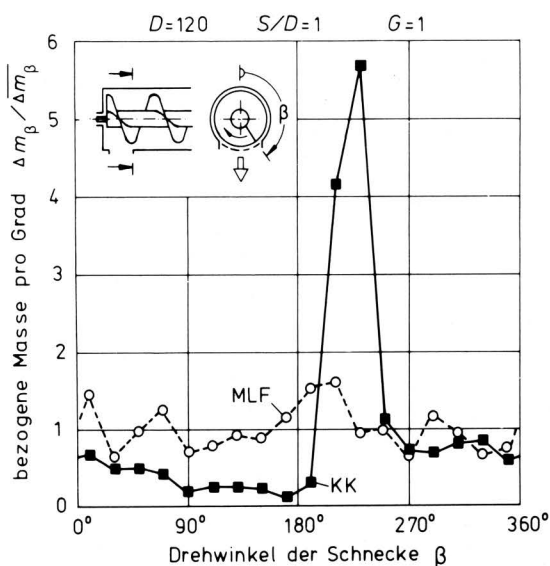


Bild 5. Geförderte Masse in Abhängigkeit vom Drehwinkel der Schnecke für zwei verschiedene Futterarten; aufgetragen ist die pro Grad geförderte Masse Δm_β bezogen auf den Mittelwert der pro Grad geförderten Masse $\overline{\Delta m_\beta}$.

MLF mehliges Futter KK pelletiertes Futter

Bild 6 zeigt die in Versuchen ermittelten Werte der mittleren bezogenen Abweichung für eingängige Schnecken in Abhängigkeit vom Verhältnis S/D . Die mittlere bezogene Abweichung ist beim Futter KK deutlich höher als beim Futter MLF und nimmt mit wachsendem Verhältnis S/D ab. Diese Tendenz ist für KK stärker ausgeprägt als für MLF.

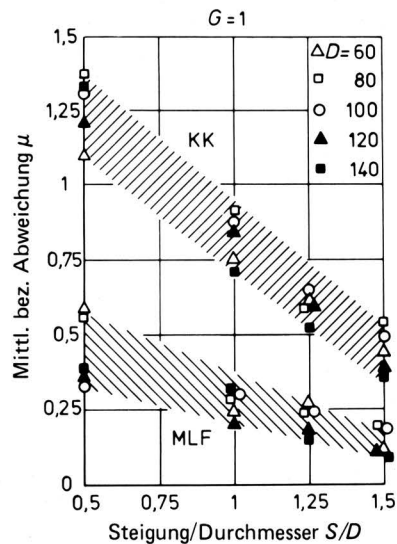


Bild 6. Mittlere bezogene Abweichung in Abhängigkeit vom Verhältnis Steigung/Durchmesser für die zwei Futterarten MLF und KK; lange Schnecken.

Bild 7 zeigt, daß für beide Materialien kein deutlicher Einfluß der Gangzahl auf die mittlere bezogene Abweichung vorhanden ist. Während bei MLF mit den kurzen Schneckenblechen die mittlere bezogene Abweichung gegenüber den langen Schnecken nur geringfügig verkleinert wird, zeigt sich bei KK eine erhebliche Verbesserung. Bei den kurzen Schnecken ist die mittlere bezogene Abweichung beim pelletierten Futter KK fast so niedrig wie beim mehligem Futter MLF.

Eine multiple Regression der in Bild 6 und 7 dargestellten Ergebnisse bestätigt, daß bei den langen Schnecken kein wesentlicher Einfluß des Durchmessers oder der Gangzahl auf die mittlere bezogene Abweichung vorhanden ist. Wenn über die Schnecken-durchmesser gemittelt wird, erhält man mit einem linearen Regressionsansatz das Ergebnis:

$$\begin{aligned} \text{für MLF: } \mu_{\text{lang}} &= 0,601 - 0,307 S/D \\ \text{für KK: } \mu_{\text{lang}} &= 1,701 - 0,844 S/D \end{aligned} \quad (2)$$

Das Bestimmtheitsmaß beträgt bei MLF $B = 0,936$ und bei KK $B = 0,945$.

Für die kurzen Schnecken (mit $S/D = 1$) erhält man im Mittel:

$$\begin{aligned} \text{für MLF: } \mu_{\text{kurz}} &= 0,217 \\ \text{für KK: } \mu_{\text{kurz}} &= 0,282 \end{aligned} \quad (3)$$

Bei der Dosierung verursachen die beschriebenen Schwankungen der geförderten Masse Dosierfehler, weil bei vorgegebener Dosierzeit die dosierte Masse als Integral über dem schwankenden Massenstrom entsteht. Die Dosierfehler sind um so geringer, je kleiner die Schwankung der geförderten Masse ist. Außerdem nehmen die Dosierfehler mit wachsender Anzahl der während der Dosierzeit vorhandenen Schwankungsperioden ab, weil dann ein besserer Ausgleich der Schwankungen erreicht wird.

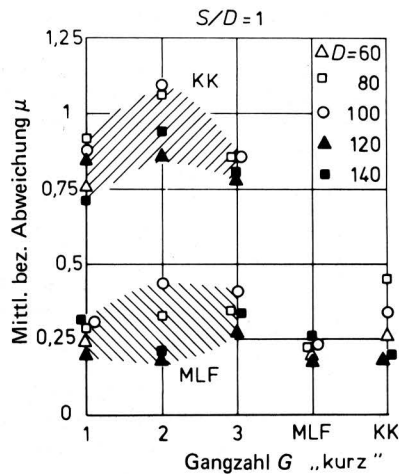


Bild 7. Mittlere bezogene Abweichung in Abhängigkeit von der Gangzahl der langen Schnecken (links) und für kurze Schnecken (rechts).

MLF mehliges Futter KK pelletiertes Futter

5. Durchführung der Messungen zur Dosiergenauigkeit

Für die Beurteilung von Kraftfutterdosierern ist die Dosiergenauigkeit ein wesentliches Kriterium. Sie beschreibt, wie groß bei einer konstanten Einstellung (hier Dosierzeit) des Dosierers die Schwankungen der einzelnen dosierten Massen um ihren Mittelwert sind. Zur Kennzeichnung der Dosiergenauigkeit kann der Variationskoeffizient s_r herangezogen werden. Er wird aus der Standardabweichung s und dem Mittelwert \bar{m}_D von n unter gleichen Bedingungen dosierten Massen gebildet.

$$s_r = s / \bar{m}_D$$

mit:

$$\bar{m}_D = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n m_i$$

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (m_i - \bar{m}_D)^2} \quad (4)$$

Sofern näherungsweise eine Gaußsche Normalverteilung der dosierten Massen vorliegt, treten etwa zwei Drittel der dosierten Massen im Bereich $\bar{m}_D \pm s$ auf.

Bei den Untersuchungen wurde die Dosierzeit t_D der Schnecke so gewählt, daß die Mittelwerte \bar{m}_D der dosierten Massen im Bereich von etwa 0,5 bis 5 kg lagen. Bei jeder konstanten Einstellung wurde 10mal dosiert, wobei die dosierten Massen nach dem Wiegen sofort in den Behälter zurückgeschüttet wurden. In Bild 8 ist ein typisches Beispiel für die so ermittelte Abhängigkeit des Variationskoeffizienten (Kreise) vom Mittelwert der dosierten Massen dargestellt. Man erkennt, daß der Variationskoeffizient mit wachsendem Mittelwert abnimmt. Um die Variationskoeffizienten bei verschiedenen Schnecken-geometrien und Betriebsbedingungen vergleichen zu können, müssen jeweils die Variationskoeffizienten bei gleichen Mittelwerten herangezogen werden. Um Streuungen der Meßwerte auszugleichen, wurden die Meßwerte durch geeignete Regressionskurven angenähert (z.B. Potenzfunktion $s_r = a_0 \bar{m}_D^{a_1}$) und dann die einander entsprechenden Punkte der Regressionskurven verglichen. Die im folgenden dargestellten Ergebnisse beziehen sich auf $\bar{m}_D = 1$ kg.

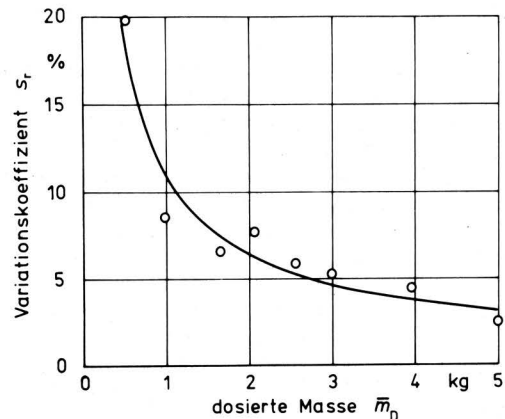


Bild 8. Typisches Beispiel für die Abhängigkeit des Variationskoeffizienten vom Mittelwert der dosierten Massen; pelletiertes Kraftfutter, Schnecke mit $D = 100$ mm, $S/D = 1$, $G = 1$.

In Voruntersuchungen wurde festgestellt, daß in einem Drehzahlbereich von $10-120 \text{ min}^{-1}$ kein wesentlicher Einfluß der Schneckendrehzahl auf den Variationskoeffizienten vorhanden ist, Bild 9. Außerdem zeigte sich, daß für die beiden verwendeten Kraftfutttermittel in einem Feuchtebereich von $8-25 \%$ kein Einfluß des Feuchtegrades auftritt, Bild 10. Die im folgenden beschriebenen Untersuchungen wurden bei einer Schneckendrehzahl von 30 min^{-1} und einem Feuchtegrad des Kraftfutters von etwa $X = 10 \%$ durchgeführt.

Durch Veränderungen der Stoffeigenschaften (z.B. Struktur, Schüttdichte, Feuchtegrad) und der Betriebsbedingungen (z.B. Drehzahl) wird auch der Mittelwert der dosierten Massen beeinflusst. Darauf soll hier jedoch nicht eingegangen werden, da diese Einflüsse durch die ohnehin bei allen Volumendosierern notwendige Kalibrierung ausgeglichen werden können.

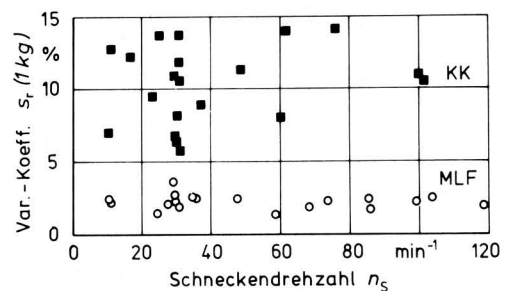


Bild 9. Variationskoeffizient in Abhängigkeit von der Schneckendrehzahl für die zwei Futterarten MLF und KK; dosierte Masse $m_D = 1$ kg, Schnecke mit $D = 100$ mm, $S/D = 1$, $G = 1$.

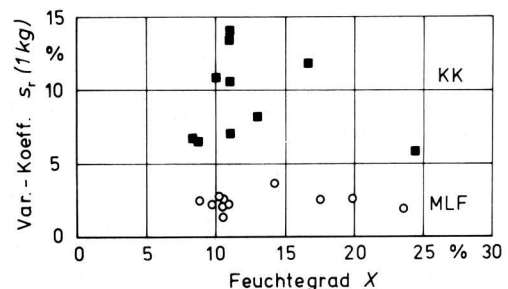


Bild 10. Variationskoeffizient in Abhängigkeit vom Feuchtegrad für die zwei Futterarten MLF und KK; dosierte Masse $m_D = 1$ kg, Schnecke mit $D = 100$ mm, $S/D = 1$, $G = 1$.

6. Einfluß der Schneckenengeometrie auf die Dosiergenauigkeit

6.1 Einfluß von Durchmesser und Steigung

Zunächst wurde für die in Bild 2 dargestellten eingängigen Schnecken den Einfluß des Schneckendurchmessers D und des Verhältnisses Steigung/Durchmesser auf den Variationskoeffizienten der dosierten Massen untersucht. Bild 11 und 12 zeigen die Ergebnisse für die beiden verwendeten Kraftfuttermittel. Man erkennt – zu beachten ist die unterschiedliche Ordinatenenteilung für MLF und KK – daß mit gleichen Schnecken jeweils das mehligere Futter MLF wesentlich genauer dosiert wird als das pelletierte Futter KK. Dies läßt sich mit den bei KK größeren Schwankungen der geförderten Masse erklären. Bei konstantem Verhältnis S/D steigt der Variationskoeffizient stark mit dem Schneckendurchmesser an. Als Grund ist anzuführen, daß bei konstanter dosierter Masse mit wachsendem Schneckendurchmesser die Anzahl der Umdrehungen bei der Dosierung verringert wird. Dadurch wird die Möglichkeit zum Ausgleich der Schwankungen herabgesetzt und der Variationskoeffizient erhöht sich. Wenn bei konstantem Durchmesser das Verhältnis S/D steigt, Bild 12, verkleinert sich die Anzahl der Umdrehungen und damit auch der Ausgleich der Schwankungen. Andererseits werden mit wachsendem S/D die Schwankungen der geförderten Masse geringer (vgl. Bild 6). Diese beiden entgegengesetzten Wirkungen gleichen sich z.T. aus. Nur bei größeren Durchmessern wird durch ein wachsendes Verhältnis S/D die Dosiergenauigkeit, besonders bei KK, deutlich verbessert.

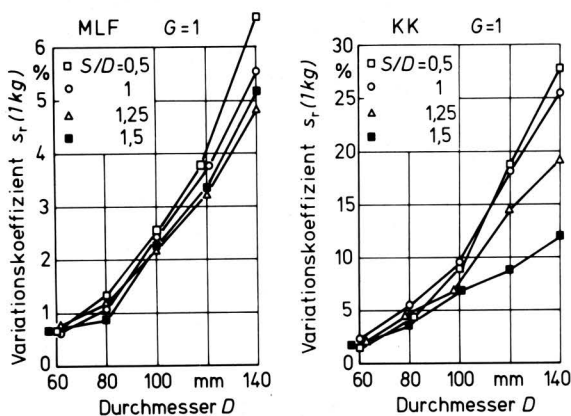


Bild 11. Variationskoeffizient in Abhängigkeit vom Schneckendurchmesser bei verschiedenem Verhältnis Steigung/Durchmesser.

6.2 Einfluß von Durchmesser und Gangzahl

Die Meßergebnisse der mehrgängigen Schnecken (Bild 3) sind in Bild 13 und 14 dargestellt.

Mit wachsender Gangzahl steigt die Anzahl der Schwankungen der geförderten Masse pro Schneckenumdrehung. Dies führt beim pelletierten Futter KK auch bei gleichbleibender Größe der Schwankungen zu einer deutlichen Verbesserung des Variationskoeffizienten. Bei MLF sind die Schwankungen der geförderten Masse weniger deutlich ausgeprägt (vgl. Bild 5), wodurch eine Vergrößerung der Gangzahl nicht einen so starken Einfluß auf den Variationskoeffizienten besitzt wie bei KK. Bei MLF kann daher die ohnehin gute Dosiergenauigkeit durch eine höhere Gangzahl nur schwach verbessert werden.

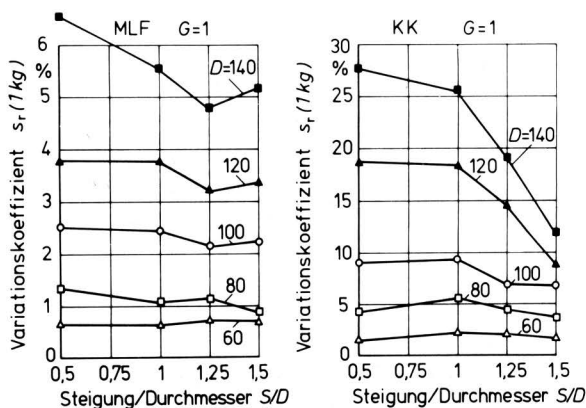


Bild 12. Variationskoeffizient in Abhängigkeit vom Verhältnis Steigung/Durchmesser bei verschiedenem Schneckendurchmesser.

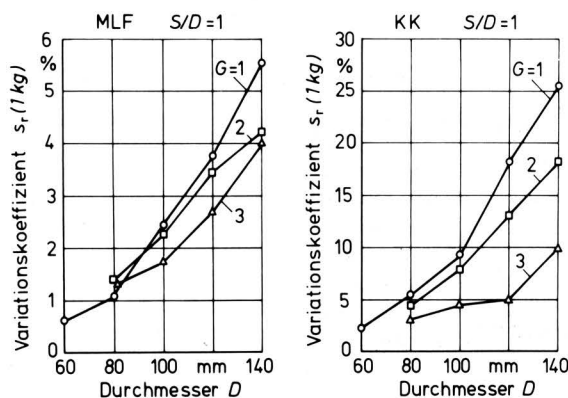


Bild 13. Variationskoeffizient in Abhängigkeit vom Schneckendurchmesser bei verschiedener Gangzahl.

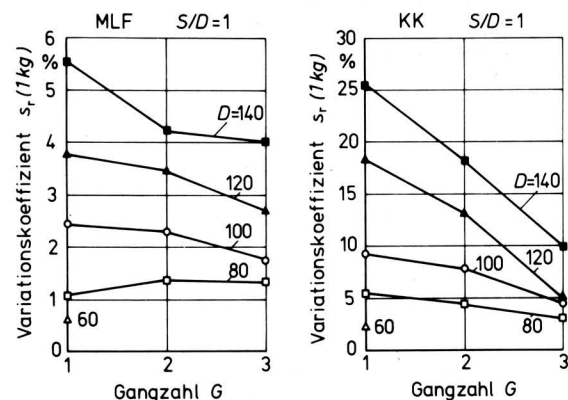


Bild 14. Variationskoeffizient in Abhängigkeit von der Gangzahl bei verschiedenem Schneckendurchmesser.

6.3 Einfluß "kurzer Schnecken"

Bild 15 zeigt in Abhängigkeit vom Schneckendurchmesser die ermittelten Variationskoeffizienten für "lange" und "kurze" Schnecken (vgl. Bild 4). Mit den kurzen Schnecken wird bei MLF keine große Verbesserung erreicht, bei KK dagegen ist die Dosiergenauigkeit noch besser als bei den dreigängigen Schnecken. Bei KK werden mit der kurzen Schnecke Dosiergenauigkeiten erreicht, die sonst nur dadurch möglich sind, daß der Schneckendurchmesser stark verkleinert wird. Die kurzen Schnecken sind die einzige untersuchte Variante, bei der die Dosiergenauigkeit beim pelletierten Futter KK annähernd so gut ist wie beim mehligem Futter MLF. Dies ist auf die für beide Materialien fast gleichen, sehr geringen Schwankungen der geförderten Masse zurückzuführen.

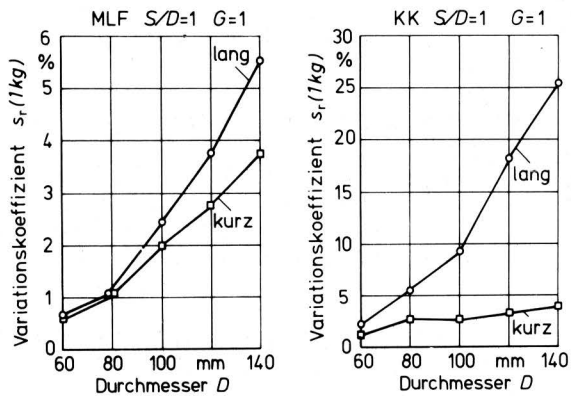


Bild 15. Variationskoeffizient in Abhängigkeit vom Schnecken-durchmesser bei langer und kurzer Schnecke.

6.4 Minimale Portionsgröße bei vorgegebenem Variationskoeffizient

Mit steigender dosierter Masse wird die Dosiergenauigkeit von Schneckendosierern besser (vgl. Bild 8). Außerdem wird mit steigender dosierter Masse der Einfluß der Schnecken-geometrie weniger ausgeprägt. Bild 16 zeigt als Beispiel, daß die Verbesserung der Dosiergenauigkeit mit wachsender Gangzahl um so geringer ist, je größer die dosierte Masse ist.

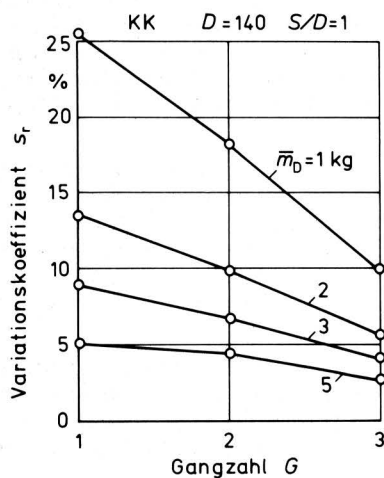


Bild 16. Einfluß der Gangzahl auf den Variationskoeffizienten mit der dosierten Masse als Parameter.

Für die praktische Anwendung von Schneckendosierern zur Kraft-futterzuteilung ist die Frage zu klären, welche minimale Portions-größe m_{\min} bei einem vorgegebenen Wert des Variationskoeffizien-ten dosiert werden kann. Als minimale Portionsgröße sind für Kraftfutterdosierer im Melkstand etwa 500 g ausreichend. Bei Kraftfutterabrufoautomaten sind die minimalen dosierten Massen oft im Bereich von nur 100 g.

Um die minimalen Portionsgrößen abzuschätzen, wurde aus den Ergebnissen der Dosierversuche mit Hilfe der multiplen Regres-sionsrechnung [3] ein formelmäßiger Zusammenhang zwischen dem Variationskoeffizienten, der dosierten Masse und den geome-trischen Parametern der Schnecke ermittelt. Bild 17 und 18 zeigen in einer dreidimensionalen Darstellung die für einen Varia-tionskoeffizienten $s_r = 5\%$ berechnete minimale Portionsgröße für MLF bzw. KK in Abhängigkeit von der Schnecken-geometrie.

Bild 17

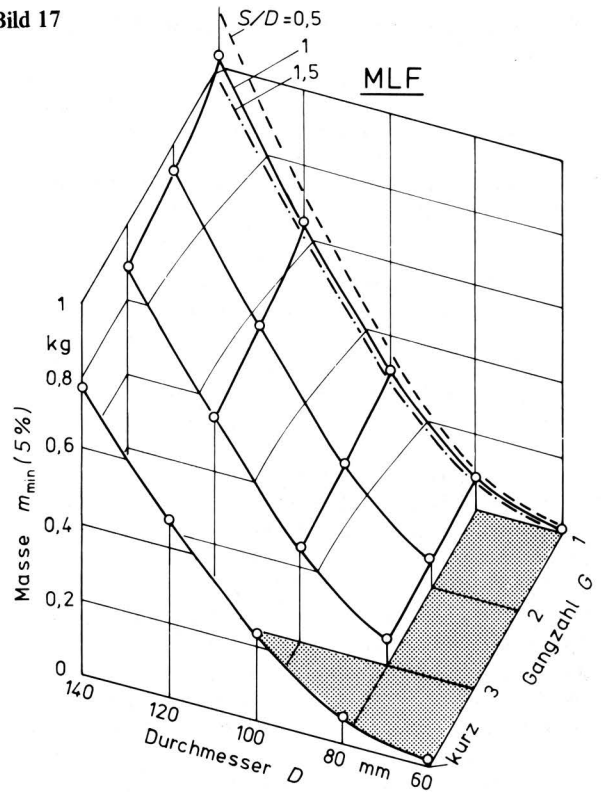


Bild 18

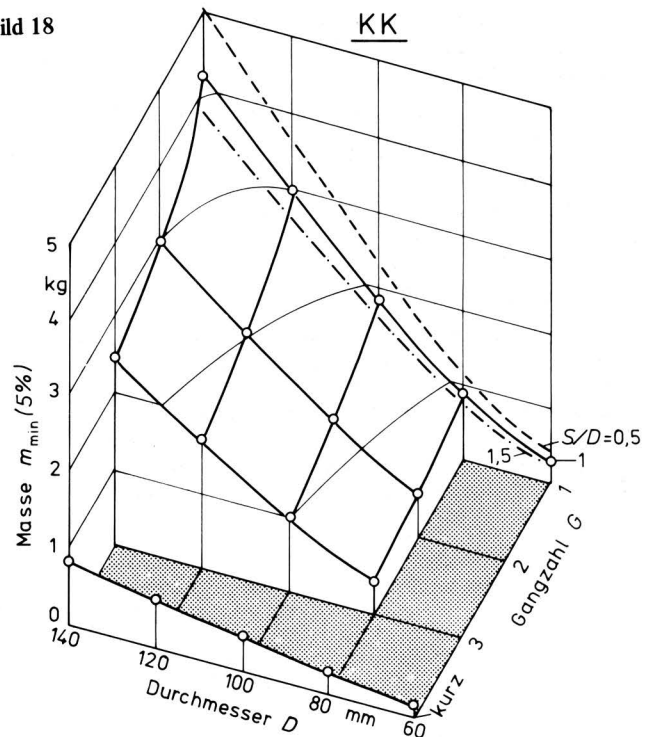


Bild 17 und 18. Berechnete Werte für die minimale dosierte Masse (Portionsgröße) bei Einhaltung eines Variationskoeffizienten von 5% in Abhängigkeit von der Schnecken-geometrie für die Futter-arten MLF bzw. KK.

Die geometrischen Schneckenparameter beeinflussen die minima-le Portionsgröße entsprechend den bei den Dosierversuchen fest-gestellten Tendenzen. Aus den Bildern kann entnommen werden, welche Schnecken-geometrien bei einer gewünschten Mindestpor-tionsgröße bei der zulässigen Abweichung von 5% verwendbar sind.

7. Näherungsweise Berechnung der Dosiergenauigkeit

Im Abschnitt 4. wurde bereits begründet, daß die Dosiergenauigkeit von der Schwankung der geförderten Masse und der Anzahl der Schwankungsperioden während der Dosierung beeinflusst wird. Die Anzahl der Schwankungen Z ergibt sich aus der dosierten Masse \bar{m}_D , der bei einer Umdrehung von der Schnecke geförderten Masse m_1 und der Gangzahl G :

$$Z = G \bar{m}_D / m_1 \quad (5)$$

Die Masse pro Umdrehung soll folgendermaßen abgeschätzt werden:

$$m_1 = \frac{\pi}{4} (D_R^2 - d^2) (S - a G) \rho_s \epsilon \quad (6)$$

mit:

- a Dicke des Schneckenbleches
- d Durchmesser der Schneckenwelle
- D_R Innendurchmesser des Mantelrohres
- G Gangzahl
- S Steigung
- ϵ Füllungsgrad
- ρ_s Schüttdichte.

Der Füllungsgrad beschreibt, um wieviel die tatsächlich bei einer Umdrehung geförderte Masse gegenüber der theoretisch geförderten Masse verringert ist. Bei der theoretisch geförderten Masse wird hier angenommen, daß das Kraftfutter im vollen Ringquerschnitt zwischen d und D_R bei einer Umdrehung um die Schneckensteigung verschoben wird.

Der Füllungsgrad wurde für die Kraftfuttermittel MLF und KK in Abhängigkeit von der Schneckenengeometrie experimentell ermittelt. Es zeigt sich, daß der Durchmesser keinen Einfluß besitzt. Eine multiple Regression der Meßergebnisse liefert für die langen Schnecken für ϵ in %:

$$\begin{aligned} \text{bei MLF: } \epsilon &= 99,17 - 18,63 S/D - 3,48 G \\ \text{bei KK: } \epsilon &= 104,31 - 19,12 S/D - 6,49 G \end{aligned} \quad (7)$$

und für die kurzen Schnecken

$$\begin{aligned} \text{bei MLF: } \epsilon &= 76,07 \% \\ \text{bei KK: } \epsilon &= 70,60 \% \end{aligned} \quad (8)$$

Um den Zusammenhang zwischen dem Variationskoeffizienten s_r der dosierten Massen, der mittleren bezogenen Abweichung μ und der Zahl der Schwankungen Z zu ermitteln, wurde die Darstellung in **Bild 19** verwendet. Dabei wurden die Ergebnisse der Messungen bei allen untersuchten Schneckenengeometrien für MLF und KK herangezogen. Eine Regressionsrechnung mit einem Potenzansatz liefert als Ergebnis (in %) den im Bild eingezeichneten Verlauf:

$$s_r = 20,06 \mu Z^{-0,75} \quad (9)$$

Das Bestimmtheitsmaß beträgt $B = 0,87$. Mit Gl. (9) in Verbindung mit den Gln. (2) bzw. (3) sowie (5) und (6) kann also der Variationskoeffizient in guter Näherung aus der Schneckenengeometrie, der dosierten Masse, dem Füllungsgrad und der mittleren bezogenen Abweichung berechnet werden.

Bild 19 bestätigt, daß sich eine Veränderung der Schneckenengeometrie bei großen Schnecken stärker auf den Variationskoeffizienten auswirkt als bei kleinen Schnecken, weil bei großen Schnecken die Zahl der Schwankungen kleiner ist und dort der Kurvenverlauf steiler ist. Auch bei wachsender dosierter Masse gelangt man in den flacheren Teil des Kurvenverlaufs, wodurch eine Änderung der Schneckenengeometrie einen geringeren Einfluß auf den Variationskoeffizienten besitzt, vgl. **Bild 16**. Der Verlauf in **Bild 16** für den Durchmesser $D = 140$ mm bei einer dosierten Masse von 5 kg stimmt sehr gut mit dem Verlauf in **Bild 14** für $D = 80$ mm bei $\bar{m}_D = 1$ kg überein (jeweils KK). Nach **Bild 19** erklärt sich dies damit, daß bei den verschiedenen großen, geometrisch ähnlichen Schnecken durch die unterschiedlichen dosierten Massen jeweils etwa gleiche Anzahlen von Massenschwankungen auftreten.

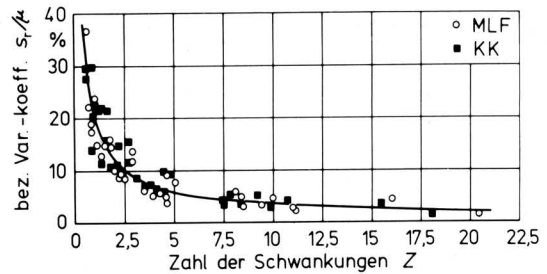


Bild 19. Variationskoeffizient, bezogen auf die mittlere bezogene Abweichung, in Abhängigkeit von der Zahl der Schwankungen während der Dosierung.

8. Zusammenfassung

An einem Schneckendosierer-Versuchsgerät wurde für ein mehliges und ein pelletiertes Kraftfutter der Einfluß der Schneckenengeometrie auf die Schwankungen der geförderten Masse und die Dosiergenauigkeit untersucht. Es zeigt sich, daß bei beiden verwendeten Kraftfuttermitteln durch eine Verkleinerung des Schneckendurchmessers die Dosiergenauigkeit erheblich verbessert werden kann. Wenn der Schneckendurchmesser verkleinert wird, steigen die Dosierzeiten jedoch deutlich an. Außerdem werden pelletierte Kraftfuttermittel bei kleineren Schneckendurchmessern stärker beschädigt.

Beim pelletierten Futter ergibt sich bei großen Schneckendurchmessern sowohl durch eine größere Steigerung als auch durch eine höhere Gangzahl eine deutliche Verbesserung der Dosiergenauigkeit. Beim mehligem Futter kann durch diese Veränderungen der Schneckenengeometrie die Genauigkeit nur in geringerem Maß gesteigert werden.

Als besonders günstig für beide Futtermittel erwiesen sich kurze Schnecken, die nicht über die am Auslauf des Geräts vom Kraftfutter gebildete Schüttfläche hinausragen. Damit werden sehr gute, für beide Futtermittel fast gleiche Dosiergenauigkeiten erreicht. Diese sehr einfache Schneckenengeometrie erscheint daher für die Dosierung von Kraftfuttermitteln mit unterschiedlicher Struktur sehr geeignet.

Aus den Meßergebnissen wurde die minimale Rationsgröße bei einem vorgegebenen Variationskoeffizienten von 5 % in Abhängigkeit von der Schneckenengeometrie ermittelt. Ferner wurde ein einfaches Berechnungsverfahren für die Dosiergenauigkeit angegeben.

Schrifttum

Bücher sind durch ● gekennzeichnet

- [1] Kaufmann, W. u. H. Hagenmeister: Fütterungstechnik und Verdauungsablauf bei Milchkühen. Übersichten zur Tierernährung Bd. 1 (1973) S. 193/221.
- [2] Pirkelmann, H. u. F. Wendling: Untersuchungen zur Zuteilgenauigkeit von Volumendosierern bei Kraftfutter in der Milchviehhaltung. Schriftenreihe der Landtechnik Weihenstephan Heft 4, 1978.
- [3] ● Soom, E.: Varianzanalyse, Regressionsanalyse und Korrelationsrechnung. Statistische und mathematische Methoden in der Fertigung. Blaue TR-Reihe Heft 102, Bern und Stuttgart: Verlag Technische Rundschau im Hallwag Verlag.