

Schrifttum

- [1] *N.N.*: IHC develops air force planter. *Agricultural Engineering* Bd. 52 (1971) Nr. 4, S. 182.
- [2] *Bauman, J.L. u. V.A. Erickson*: The "International" 400 cyclo planter a pneumatic system. *ASAE Technical paper* ML 71-A 612.
- [3] International Harvester Export Company: 400 Planter Revolution. Werbeschrift, Chicago, Illinois, USA.
- [4] *Estler, M.*: Unveröffentlichter Zwischenbericht über den Einsatz der pneumatischen Einzelkornsämaschine "IHC-Cyclo Planter", Sept. 1974.
- [5] *Frizen, H.W., W. Stieger u. W. Brinkmann*: Pneumatische Maissägeräte in der Erprobung. *Landtechnik* Bd. 29 (1974) Nr. 3, S. 110/15.
- [6] *Fouad, H.A. u. W. Brinkmann*: Untersuchungen zur pneumatischen Einzelkornförderung in einer Schlauchleitung. *Grundl. Landtechnik* Bd. 25 (1975) Nr. 6, S. 177/86.
- [7] *Brinkmann, W.*: Einzelkornablage von aufbereitetem Rübensaatzgut. *Landtechn. Forschung* Bd. 6 (1956) Nr. 5, S. 125/32.
- [8] Landwirtschaftliche Untersuchungs- und Forschungsanstalt Bonn: Testergebnisse vom 12.9.1974.
- [9] *Stieger, W.*: Einzelkornfassung pneumatischer Mais-einzelkornsägeräte. Diss. Univ. Bonn 1974.

Konstantes Aufwandvolumen durch Blendensteuereinrichtungen

Von Boulos Alnajjar und Manfred Schmidt, Berlin*)

DK 632.9:632.982.1

Um ein konstantes Aufwandvolumen bei sich ändernden Fahrgeschwindigkeiten zu erreichen, können in Pflanzenschutzgeräten sinnvoll Steuer- und Regeleinrichtungen eingesetzt werden.

Das sehr einfache Steuerverfahren der Stromteilung mit Blende im Rücklauf zum Tank bedarf für eine einwandfreie Funktion einer sorgfältigen Auslegung.

Dieser Beitrag beschäftigt sich mit dem Einfluß der verschiedenen Geräte- und Verfahrensparameter auf die Arbeitsgüte der Steuereinrichtung und gibt Hinweise für die Ermittlung der Konstruktionsdaten.

1. Einleitung

Der Trend zu verringerten Aufwandmengen im chemischen Pflanzenschutz stellt erhöhte Anforderungen an die Ausbringgenauigkeit der Pflanzenschutzgeräte. Ein von Fahrgeschwindigkeitsschwankungen unbeeinflusst konstant bleibendes Aufwandvolumen zählt dabei zu den wichtigsten Erfordernissen. Um dieses Ziel zu erreichen, sind Steuer- und Regeleinrichtungen zur Beeinflussung der Flüssigkeitsströme ein wichtiges Geräte-Ausstattungsdetail. Das einfache Verfahren der Stromteilung mit Blenden im Rücklauf — eines der möglichen Steuerverfahren [1] — wird hier theoretisch und meßtechnisch auf seine Arbeitsgüte hin untersucht.

Das Aufwandvolumen errechnet sich bei Benutzung der im Verzeichnis der Formelzeichen angegebenen Einheiten aus folgender Zahlenwertgleichung:

$$A = 600 \dot{Q}_D / (v \cdot b) \quad [l/ha] \quad (1)$$

worin

$$\dot{Q}_D = \sum_i \dot{Q}_d \cdot z_d \quad [l/min]$$

der Gesamtvolumenstrom als Summe der Ströme aller Düsen ist. Aus Gl. (1) lassen sich leicht 2 Grenzfälle herleiten:

- Hält man während der Behandlung den Volumenstrom \dot{Q}_D konstant, so ergibt sich folgende Proportionalität:

$$A \sim 1/v \quad \text{für } \dot{Q}_D = \text{const.} \quad b = \text{const.} \quad (2)$$

d.h. das Aufwandvolumen ist umgekehrt proportional zur Fahrgeschwindigkeit. Das Aufwandvolumen A ändert sich bei Fahrgeschwindigkeitsschwankungen nach einer Hyperbelfunktion, **Bild 1**, links, bleibt also nicht, wie zuvor gefordert, konstant.

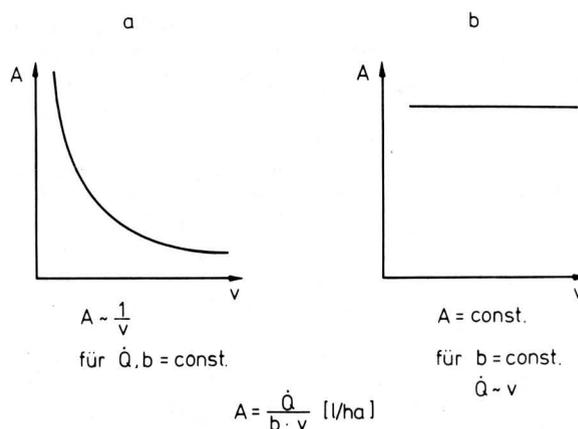


Bild 1. Einfluß der Fahrzeugfahrgeschwindigkeit auf das Aufwandvolumen: links bei unverändertem Volumenstrom, rechts bei geschwindigkeitsproportionalem Volumenstrom.

*) *Dipl.-Ing. B. Alnajjar* war Diplomand, *Dipl.-Ing. M. Schmidt* ist wiss. Assistent am Institut für Maschinenkonstruktion, Landtechnik und Baumaschinen (Geschäftsführender Direktor: Prof. Dr.-Ing. H. Göhlich) der TU Berlin.

2. Ändert man jedoch den Düsenausstoß \dot{Q}_D stets proportional zur Fahrgeschwindigkeit v , so bleibt das Verhältnis \dot{Q}_D/v und damit das Aufwandvolumen A konstant, rechter Teil von Bild 1:

$$A \sim \dot{Q}_D/v = \text{const.} \quad \text{für } b = \text{const.}, \dot{Q}_D \sim v \quad (3).$$

Die Bedingung für ein von der Fahrgeschwindigkeit unabhängiges Aufwandvolumen ist demnach ein der Fahrgeschwindigkeit proportionaler Düsenausstoß: $\dot{Q}_D \sim v$.

Wird eine volumetrisch abmessende Pumpe verwendet — die häufig eingesetzten Kolbenpumpen gehören dazu — so errechnet sich deren Förderstrom zu

$$\dot{Q}_P = z n \lambda_a \frac{\pi}{4} d^2 s \quad (4).$$

Setzt man voraus, daß der Liefergrad λ_a im gesamten Arbeitsbereich der Pumpe konstant ist ($\lambda_a = \text{const.}$), so ist der Förderstrom der Pumpendrehzahl proportional. Bei den heute als Antrieb üblichen Motorzapfwellen ist für eine bestimmte Gangstufe die Drehzahl wiederum der Fahrgeschwindigkeit proportional

$$\dot{Q}_P \sim n \sim v \quad (5).$$

Mit Gl. (5) ist somit die für die Erfüllung von Gl. (3) erforderliche Bedingung für den Volumenstrom der Pumpe gegeben. Das gilt aber nur unter der bereits gemachten Voraussetzung: $\lambda_a = \text{const.}$ für alle Betriebsbedingungen, d.h. die Kennlinie der Pumpe $\dot{Q}_P = f(n, p)$ muß linear sein.

Um den Förderstrom der Pumpe dem in Abhängigkeit von dem vorgeschriebenen Aufwandvolumen, der gewählten Fahrgeschwindigkeit und der gegebenen Arbeitsbreite wechselnden erforderlichen Düsenausstoß \dot{Q}_D anzupassen, wird in der Pflanzenschutztechnik üblicherweise die sogenannte "Umlaufregelung" verwendet. Dabei wird der Förderstrom der Pumpe \dot{Q}_P in einen zum Gestänge fließenden Volumenstrom \dot{Q}_D und in einen zum Tank zurückfließenden Rückstrom \dot{Q}_R aufgeteilt.

Eine Prinzipdarstellung einer Steuereinrichtung mit verschiedenen denkbaren Stromteilern gibt Bild 2 wieder. Durch Verändern der Blendenöffnung des Stromteilers kann das Verhältnis der Teilvolumenströme \dot{Q}_D und \dot{Q}_R zueinander in Stufen nach Wunsch eingestellt werden.

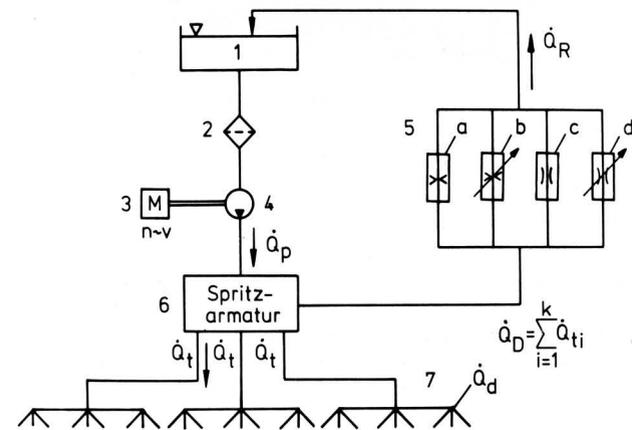


Bild 2. Zusammenfassende Darstellung verschiedener Prinzipien von Stromteilern.

- | | |
|------------------------------|------------------------|
| 1 Tank | 5 Stromteiler |
| 2 Filter | a feste Blende |
| 3 Antrieb | b verstellbare Blende |
| 4 Förderpumpe | c feste Drossel |
| 6 Spritzarmatur | d verstellbare Drossel |
| 7 Gestänge mit 3 Teilbreiten | |

Ändert sich bei Fahrgeschwindigkeitsschwankungen des Fahrzeugs der Gesamtförderstrom der Pumpe proportional zur Fahrgeschwindigkeit, so bleibt das Aufwandvolumen nur dann konstant, wenn auch das Verhältnis der Teilströme \dot{Q}_D/\dot{Q}_R konstant bleibt.

2. Theoretische Betrachtung

Um zu überprüfen, ob diese Bedingung von einem Stromteiler mit Blende im Rücklauf erfüllt wird, wird zunächst ein theoretischer Ansatz [2] unter Berücksichtigung aller vorkommenden Strömungswiderstände erstellt.

Der Gesamtdruckverlust einer Rohrleitung ergibt sich zu

$$\Delta p_{\text{ges}} = \sum_{i=1}^n \Delta p_i = (\Delta p_1 + \Delta p_2 + \Delta p_3 + \dots + \Delta p_n), \quad (6)$$

wobei die Δp_i für die Einzeldruckverluste, bedingt durch innere Reibung, Querschnittsänderungen, Stromumlenkungen sowie Stromteilungen und -vereinigungen, stehen.

Mit den bekannten Ansätzen [3 u.a.] für die Einzeldruckverluste

$$\Delta p = \lambda \frac{1}{d} \frac{\rho}{2} v^2 \quad (7),$$

$$\Delta p = \xi \frac{\rho}{2} v^2 \quad (8)$$

ergeben sich unter Verwendung der Kontinuitätsgleichung und nach längerer Umrechnung die Durchflußgleichungen für die Leitungen zu den Düsen und die Rückleitung:

$$\dot{Q}_D = \frac{\sqrt{2 \Delta p_{D \text{ ges}} / \rho}}{\sqrt{4,504 (a_1 + a_2 + a_3 + a_4 + a_5 + a_6) / i^2}} \quad (\text{l/min}) \quad (9),$$

$$\dot{Q}_R = \frac{\sqrt{2 \Delta p_{R \text{ ges}} / \rho}}{\sqrt{[4,504 (b_1 + b_2 + b_3 + b_4 + b_5) / i^2] + C}} \quad (\text{l/min}) \quad (10).$$

Dabei bedeuten:

$$a_1 = 10^3 \lambda / d_1^5 \quad \text{Einflußgröße der inneren Reibung} \quad (11a),$$

$$a_2 = \xi_2 z_2 / d_2^4 \quad \text{Einflußgröße der Querschnittserweiterungen} \quad (11b),$$

$$a_3 = \xi_3 z_3 / d_3^4 \quad \text{Einflußgröße der Querschnittsverengungen} \quad (11c),$$

$$a_4 = \xi_4 z_4 / d_4^4 \quad \text{Einflußgröße der Stromtrennungen und -vereinigungen} \quad (11d),$$

$$a_5 = \xi_5 z_5 / d_5^4 \quad \text{Einflußgröße der Rohrkrümmungen} \quad (11e),$$

$$a_6 = 1 / (a_d^2 d_d^4 z_d^2) \quad \text{Einflußgröße der Düsendrosselungen} \quad (11f).$$

Die Terme b_1 bis b_5 für die Rücklaufleitung werden mit den Gln. (11a) bis (11e) in gleicher Weise berechnet.

Der Term C berücksichtigt die Blende in der Rücklaufleitung und ergibt sich zu

$$C = 4,504 / (a_{BI}^2 d_{BI}^4) \quad (12).$$

Werte der Rohrreibungszahl λ sowie der Blenden- und Düsenbeiwerte a_{BI} und a_d für verschiedene konstruktive Daten und Strömungszustände finden sich in [2].

Bildet man das Verhältnis der Teilströme \dot{Q}_D/\dot{Q}_R , dann erhält man eine allgemeingültige Gleichung (14), mit der jede Blenden-Steuereinrichtung mathematisch beschrieben werden kann:

$$\frac{\dot{Q}_D}{\dot{Q}_R} = \sqrt{\frac{[4,504 (b_1 + b_2 + b_3 + b_4 + b_5) / i^2] + C}{4,504 (a_1 + a_2 + a_3 + a_4 + a_5 + a_6) / i^2}} \quad (13),$$

$$\frac{\dot{Q}_D}{\dot{Q}_R} = \sqrt{\frac{[4,504 B / i^2] + C}{4,504 A / i^2}} \quad (14),$$

$$\text{mit } A = \sum_{n=1}^6 a_n \quad (15)$$

$$\text{und } B = \sum_{m=1}^5 b_m \quad (16)$$

Der Konstrukteur hat es in der Hand, im Rahmen der ihm vorgegebenen Grenzen die stark von der Auslegung abhängigen Terme a_n und b_m in gewünschter Weise zu beeinflussen.

Wie Gl. (14) zeigt, ist für eine gegebene Anlage und einen bestimmten Strömungszustand das Verhältnis der Teilströme wesentlich von C , also von der Auslegung der Rücklaufblende abhängig. Bei einer Veränderung dieses Strömungszustandes kann das Teilungsverhältnis nur konstant bleiben, wenn die Größen $(B + C)$ und A sich nicht oder im gleichen Verhältnis ändern. Ob dies für größere Volumenstrombereiche zutrifft, kann zwar weitgehend vorausgerechnet, mit letzter Sicherheit jedoch nur durch das Experiment nachgewiesen werden.

Da normalerweise nur eine Rücklaufleitung verwendet wird, vereinfacht sich Gl. (14) mit $i = 1$ zu:

$$\frac{\dot{Q}_D}{\dot{Q}_R} = \sqrt{\frac{4,504 B + C}{4,504 A/i^2}} \quad (17)$$

Betrachtet man die Strömung als ideal und verlustfrei und berücksichtigt nur den Druckverlust an Düsen und Blende, so vereinfacht sich Gl. (14) weiter zu:

$$\frac{\dot{Q}_D}{\dot{Q}_R} = \frac{i z_d a_d A_d}{a_{Bl} A_{Bl}} \quad (18)$$

Auch aus diesem Ansatz ist deutlich zu ersehen, daß das Verhältnis \dot{Q}_D/\dot{Q}_R bei sich ändernden Volumenströmen nur konstant sein kann, wenn Blenden- und Düsenbeiwerte konstant bleiben oder sich im gleichen Verhältnis ändern.

3. Experimentelle Untersuchung

Für die experimentelle Untersuchung wurde ein Laborsystem in 3/4"-Ausführung mit zwei Teilbreiten erstellt. Als Pumpe wurde eine Holder K 60 mit drehzahlveränderlichem Elektroantrieb, als Düsenträger ein 7,60 m Feldspritzgestänge und im Tankrücklauf ein Steckblendensystem verwendet.

Es wurde eine Vielzahl von Versuchsreihen mit unterschiedlichen Düsen-Blenden-Kombinationen durchgeführt.

In Bild 3 sind die Versuchsergebnisse für ein Experiment mit 12 Teejet-Düsen 11006 sowie einer Rücklaufblende mit einem Durchmesser von 4,0 mm stellvertretend für alle anderen Versuchsanstellungen dargestellt.

Aufgetragen sind über der Pumpendrehzahl: der Gesamtförderstrom der Pumpe \dot{Q}_p , der über die Düsen ausgebrachte Volumenstrom \dot{Q}_D , der über die Blende rückfließende Flüssigkeitsstrom \dot{Q}_R sowie das Verhältnis \dot{Q}_D/\dot{Q}_R . Als zusätzliche Information sind die Drücke an den Düsen p_d sowie an der Blende p_{Bl} wiedergegeben.

Alle Volumenstrommeßwerte lassen sich sehr gut durch lineare Funktionen annähern. Sehr deutlich stellt sich dar, daß das Verhältnis \dot{Q}_D/\dot{Q}_R im unteren Drehzahlbereich einer starken Änderung unterworfen ist und erst ab ca. 300 min^{-1} annähernd konstant bleibt. Das bedeutet, daß bei kleinen Pumpenförderströmen der Anteil des zu den Düsen fließenden Volumenstromes überproportional groß ist. Erst bei steigendem Gesamtvolumenstrom geht dieser Einfluß merklich zurück. Ursache dafür ist offensichtlich die starke Abhängigkeit sowohl der Rohrreibungszahl λ als auch der Düsen- und Blendenbeiwerte a_d und a_{Bl} von der Reynoldszahl Re bei kleinen Volumenströmen (d.h. in diesem Fall auch kleinen Reynoldszahlen). Erst im Bereich größerer Reynoldszahlen (große Volumenströme) geht diese Abhängigkeit deutlich zurück [3] und Bild 4.

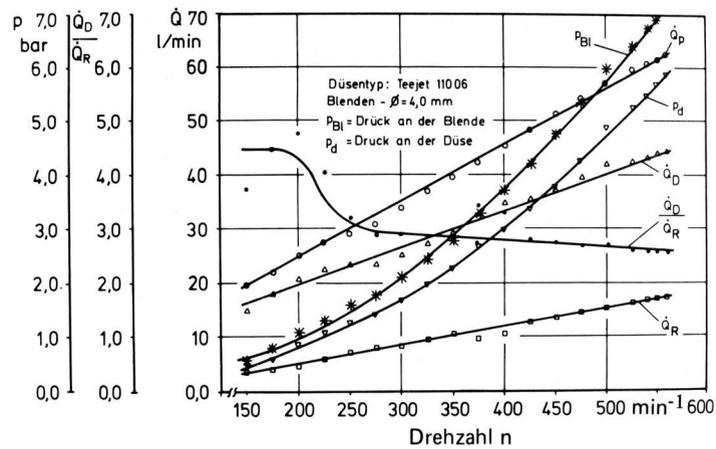


Bild 3. Betriebsverhalten einer Blendensteuereinrichtung (NW 3/4", 12 Teejetdüsen 11006, Rücklaufblende 4,0 mm ϕ , Pumpe Holder K 60).

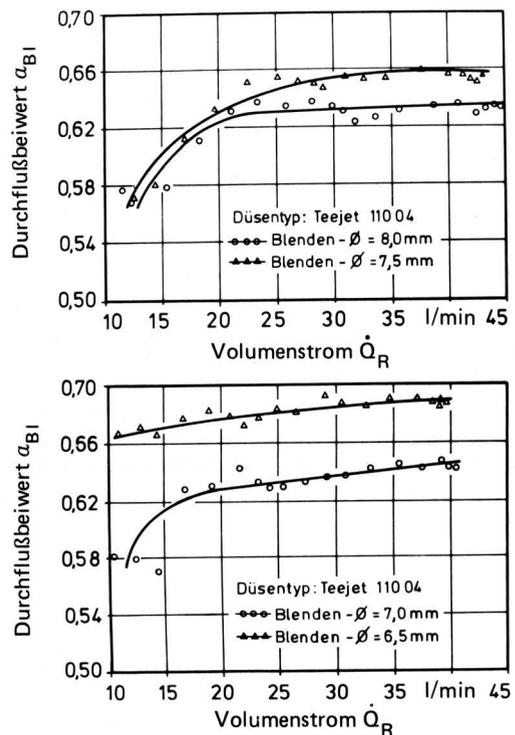


Bild 4. Abhängigkeit der Durchflußbeiwerte vom Volumenstrom (Re-Zahl).

Diese Effekte zeigen, wie wichtig ein optimales Aufeinanderabstimmen von Düsen, Blenden und Durchflußdaten ist. Wird nur ein Leitungsstrang im Bereich der großen Abhängigkeit von der Reynoldszahl betrieben, kann es zu starken Abweichungen von der erwünschten Arbeitsweise des Stromteilers kommen, was durch zahlreiche Meßergebnisse belegt wird [2].

4. Analytische Überprüfung

Zur Überprüfung der Gültigkeit der theoretisch ermittelten Gln. (14) und (18) wurde das zu erwartende Verhältnis der Teilströme \dot{Q}_D/\dot{Q}_R für verschiedene Versuchsanstellungen rechnerisch ermittelt. Dabei wurden der Rechnung die konkreten Daten des experimentell untersuchten Systems zugrunde gelegt.

Der Vergleich zwischen rechnerisch und experimentell ermittelten Daten zeigt eine erstaunlich gute Übereinstimmung der Ergebnisse, **Bild 5**. Das gilt sowohl, wenn die Strömung als reibungsbehaftet, als auch, wenn die Strömung als reibungsfrei betrachtet wird.

Die Gln. (14) und (18) sind also für den Konstrukteur gut geeignet, die Arbeitsweise einer Blendensteuereinrichtung während der Auslegung vorherzuberechnen.

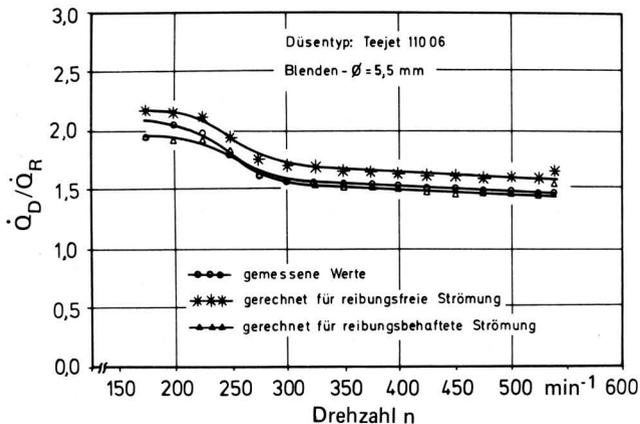


Bild 5. Vergleich der errechneten und gemessenen Werte für das Verhältnis der Teilströme Q_D/Q_R .

5. Zusammenfassung

Steuereinrichtungen mit Blenden sind in Pflanzenschutzgeräten ein einfaches Hilfsmittel zum Konstanthalten des Aufwandvolumens bei Fahrgeschwindigkeitsschwankungen.

Notwendig ist allerdings ein korrektes Aufeinanderabstimmen aller Bauteile, um ein einwandfreies Arbeiten der Anlage zu gewährleisten. Die entwickelten Gleichungen sind dabei für den Konstrukteur ein einfaches Hilfsmittel, um das Anlagenverhalten vorherbestimmen zu können.

Verwendete Formelzeichen

A	l/ha	Aufwandvolumen (nicht in Abschn. 2)
A_{Bl}	mm ²	Blendenöffnung
A_d	mm ²	Düsenöffnung
b	m	Arbeitsbreite
d	mm	Leitungsdurchmesser
	mm	Zylinderdurchmesser
d_{Bl}	mm	Blendendurchmesser
d_d	mm	Düsenmunddurchmesser
i	—	Anzahl der Teilbreiten, Anzahl der Leitungen zu den Düsen
l	m	Leitungslänge
n	min ⁻¹	Drehzahl
p	bar	Druck
Δp	bar	Druckverlust
\dot{Q}_D	l/min	Volumenstrom durch alle Düsen
\dot{Q}_d	l/min	Volumenstrom durch eine Düse
\dot{Q}_R	l/min	Rückstrom durch die Blende
s	mm	Kolbenhub
v	km/h	Fahrgeschwindigkeit
	m/s	Strömungsgeschwindigkeit
z	—	Zylinderzahl, Anzahl der Krümmer, Verengungen, Erweiterungen usw.
z_d	—	Düsenzahl pro Teilbreite
a_d	—	Durchflußzahl der Düsen
a_{Bl}	—	Durchflußzahl der Blende
ρ	kg/l	Dichte
ζ	—	Widerstandszahl
λ	—	Rohrreibungszahl
λ_a	—	Liefergrad

Schrifttum

Bücher sind durch ● gekennzeichnet

- [1] Göhlich, H. u. M. Schmidt: Steuerungs- und Regelungstechnik im Pflanzenschutz. Lohnunternehmen Bd. 34 (1979) H. 2, S. 66/72.
- [2] Allnajjar, B.: Untersuchungen zu Steuer- und Regelinrichtungen an Pflanzenschutzgeräten. Diplomarbeit am Institut für Landtechnik und Baumaschinen, Technische Universität Berlin, 1979.
- [3] ●Dubbel, Taschenbuch für den Maschinenbau. 13. Aufl. Berlin: Springer-Verlag, 1970.