

Einsatz von Dosierpumpen für die Förderung und Dosierung von Flüssigkeiten in landwirtschaftlichen Prozessen

Dipl.-Landw. G. Wartenberg, Forschungszentrum für Mechanisierung der Landwirtschaft Schlieben/Bornim der AdL der DDR

1. Problemstellung

In vielen Prozessen der Landwirtschaft und nahrungsgüterverarbeitenden Industrie gehören das dosierte Zusammenführen flüssiger Komponenten oder das Einspeisen von Ingredienzen in Flüssig- oder Feststoffgemische zu den arbeitsaufwendigen, aber qualitätsbestimmenden Verfahrensabschnitten. Aufgrund des Entwicklungsstandes der Dosiertechnik für Flüssigkeiten ist es möglich, diskontinuierliche Verfahren der Zugabe von Komponenten durch kontinuierliche zu ersetzen. Die Anwendung technischer Prinzipie, wie Bypaßregelung, Blenden und Düsen, Regelventile und Strahlpumpen, sind mit dem Nachteil behaftet, daß hohe arbeitswirtschaftliche Aufwendungen für die kontinuierliche manuelle Nachregelung erforderlich sind und die Dosierkennwerte nur für einen engen Betriebsbereich der Einrichtung gelten. Werden Dosierpumpen eingesetzt, können solche Prozesse teilautomatisiert werden.

2. Aufbau und Wirkungsweise

Vom VEB Pumpenfabrik Salzwedel, Betrieb des VEB Kombinat Pumpen und Verdichter, werden Plungerkolben- oder Membrankolbenpumpen in Ein-, Zwei- oder Mehrzylinderausführung angeboten. Es existieren Größenserien, die stufenlos Fördervolumen je Pumpe von 0,006 bis 4,3 bzw. 14,2 m³/h abgeben. Die Pumpe besteht aus dem Pumpenraum mit Plungerkolben und Stopfbuchspackung, aufgespannten Kugel- oder Kegelventilen in einfacher oder doppelter Anordnung mit Leitungsanschlüssen und der Kreuzkopfführung, die das Pumpengehäuse mit dem Triebwerk verbindet. Über eine hand- oder motorbetätigte Hubverstellung des Plungers mit linearer Charakteristik wird die stufenlose Einstellung des Fördervolumens erreicht. Das Verstellgetriebe ist so konstruiert, daß der vordere Totpunkt

eine positive Beeinflussung bodenphysikalischer Parameter, vor allem eine Erhöhung der Wasserdurchlässigkeit der meliorierten Bodenzone. Die Maulwurflockerung ist entweder mit offenen Gräben oder Sickerschlitzdränung zu kombinieren.

Literatur

- [1] Leue, P.; Wertz, G.: Standort- und nutzungsbedingte komplexe Verfahrenslösungen der wechselseitigen Wasserregulierung für grundwasser- und stauvernäßte Böden. Tagungsbericht der AdL Nr. 166 (1978) Teil II, S. 365–376.
- [2] Rogasik, H.; Socher, H.; Morstein, K.-H.; Richter, B.: Mengwühlen — ein mögliches bodenmelioratives Verfahren auf vertikal differenzierten hydromorphen Böden. agrartechnik 30 (1980) H. 1, S. 7–8.

A 3168

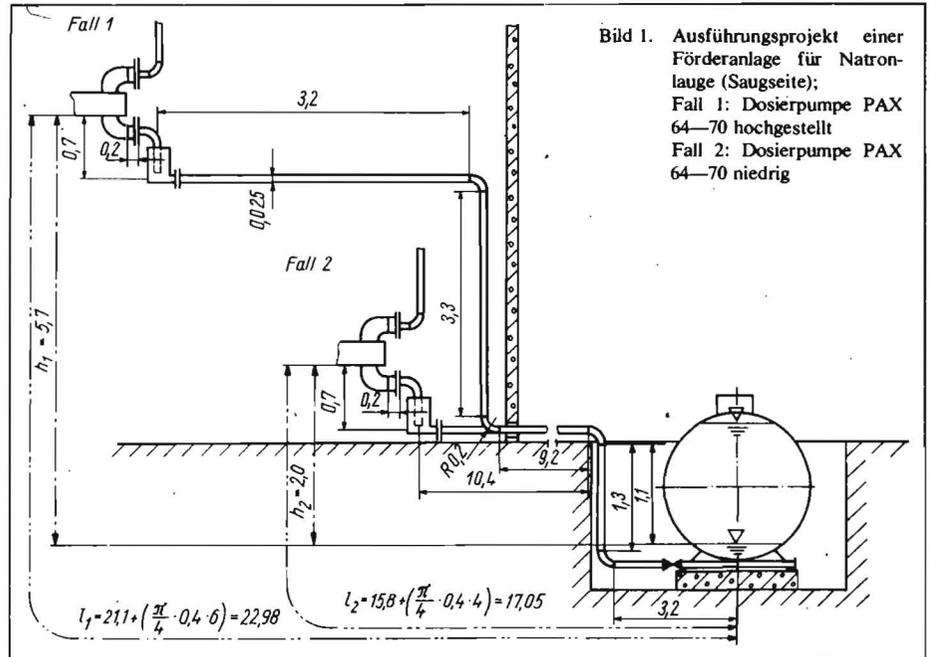


Bild 1. Ausführungsprojekt einer Förderanlage für Natronlauge (Saugseite);
Fall 1: Dosierpumpe PAX 64–70 hochgestellt
Fall 2: Dosierpumpe PAX 64–70 niedrig

und somit auch der Wirkungsgrad der Pumpe unverändert bleibt.

Die Materialauswahl für die mit dem Medium in Berührung kommenden Teile genügt allen Ansprüchen. Zusatzbaugruppen lassen einen Einbau der Pumpe bzw. Dosiermaschine in automatisierten Anlagen zu. Die Regelung des Förderstroms kann durch vorgegebene oder aus dem Prozeß gewonnene Meßwerte erfolgen. Mit Dosierpumpen lassen sich zweckmäßig Förder- und Dosierprobleme bei der Dosierung von flüssigen Konservierungsmitteln (Ameisensäure, Propionsäure), Aufschlußmitteln (konzentrierte oder verdünnte Ätzlaugen), Melasse sowie wäßrigen, leicht verschmutzten Medien (Pflanzenschutzmittel, Düngertlösungen) lösen.

3. Projektierung von Förderanlagen mit Dosierpumpen

In viele Rationalisierungsprojekte der Praxis sind Dosierpumpen eingeordnet worden, ohne daß eine Überprüfung der Förderverhältnisse vorgenommen wurde. Teilweise werden Pumpen durch falsche Auswahl über das Maß der konstruktiven Auslegung hinaus beansprucht. Die Pumpen arbeiten in Bereichen, die große Dosierfehler verursachen. Durch Überbeanspruchung und Kavitation werden Triebwerks- und Pumpenteile vorzeitig zerstört. Eine überschlägliche Berechnungsvorschrift soll den Anwender in die Lage versetzen, Bemessungsunterlagen für die Errichtung von Förderanlagen mit Dosierpumpen selbst zu erstellen. Die Berechnungen werden nach [1, 2, 3] getrennt für die saug- und druckseitige Förderanlage durchgeführt. Anhand eines Beispiels soll die Aufstellung einer Dosierpumpe PAX 64-70 zum Dosieren von konzentrierter Natronlauge in einer Kaltpelletieranlage berechnet werden.

Bei einem Strohannteil von 80% sind 0,02 m³ Lauge je Tonne Pellets zu fördern. Der zu fördernde Volumenstrom der Anlage wird mit $\dot{V} = 0,2 \text{ m}^3/\text{h}$ festgelegt. Im ungünstigsten Einsatzfall der Natronlauge bei einer Temperatur von $\vartheta = 10^\circ\text{C}$ betragen nach [4] die dynamische Viskosität $\eta = 173 \text{ mPa}\cdot\text{s}$ und die Dichte $\rho = 1510 \text{ kg/m}^3$. Angaben zur Rohrdimensionierung sind aus den Projektunterlagen (Bild 1) zu entnehmen.

Zur Berechnung erforderliche Pumpenabmessungen sind durch Vermessen der entsprechenden Pumpenteile zu gewinnen. Für den geforderten Volumenstrom wird die Strömungsgeschwindigkeit v in der Saugleitung mit $d = 0,025 \text{ m}$ wie folgt ermittelt:

$$v = \frac{\dot{V}}{\frac{\pi}{4} d^2 3600} = 0,11 \text{ m/s} \quad (1)$$

Der geringe Volumenstrom des gewählten Beispiels bedingt eine Strömungsgeschwindigkeit, die den zulässigen Wert für viskose Medien gleicher Größenordnung von 1,5 bis 2 m/s wesentlich unterschreitet, so daß minimierte Druckverluste zu erwarten sind. Die Reynoldszahl ergibt sich zu

$$Re = \frac{v d \rho}{\eta} = 24,00 \quad (2)$$

Unter einem Wert von $Re = 2320$ ist die Rohrströmung laminar. Die anschließend zu berechnende Rohrreibungszahl λ ergibt sich wie folgt:

$$\lambda = \frac{64}{Re} = 2,67 \quad (3)$$

Die Einzelwiderstände ζ der im Projekt vorgesehenen Armaturen und Einbauteile sind aus Tabellenbüchern für den Rohrleitungsbau [2, 3] zu entnehmen und nach den Projektvorgaben (Bild 1) aufzulisten:

6 Krümmer 90° ($r/d = 4$) $6 \cdot 0,16 = 0,96$
 1 Kugelventil (TGL 29335) $1 \cdot 0,70 = 0,70$
 2 un stetige Rohrverengungen $2 \cdot 0,64 = 1,28$
 11 Schweißungen $11 \cdot 0,03 = 0,33$
 Daraus ergibt sich eine Summe $\Sigma \zeta = 3,27$.
 Mit der Summe der Einzelwiderstände für Armaturen ist eine äquivalente Rohrlänge zu berechnen:

$$l_a = \frac{\Sigma \zeta d}{\lambda} = \frac{3,27 \cdot 0,025}{2,67} = 0,031 \text{ m.} \quad (4)$$

Die Gesamtlänge der Saugleitung ist aus dem Projekt zu entnehmen:

$$l = 21,1 + \left(\frac{\pi}{4} \cdot 0,4 \cdot 6 \right) = 22,98 \text{ m.}$$

Mit den Längen l und l_a wird eine Gesamtzahl aller Widerstände errechnet:

$$\zeta = \frac{\lambda (l + l_a)}{d} = \frac{2,67 (22,98 + 0,031)}{0,025} = 2457,6. \quad (5)$$

Nun sind alle rechnerischen Voraussetzungen erfüllt, um den Druckabfall in der Saugleitung Δp_S zu bestimmen:

$$\Delta p_S = \Delta p_{S,R} + h_{geo,S} \rho g$$

$$= \rho \left(\zeta \frac{v^2}{2} + h_{geo,S} g \right); \quad (6)$$

$\Delta p_{S,R}$ Druckverlust durch Reibung in Pa
 $h_{geo,S}$ geodätische Saughöhe (5,7 m nach Bild 1, Fall 1).

Der Druckabfall Δp_S erreicht mit $10,69 \cdot 10^4$ Pa einen größeren Wert als der der möglichen theoretischen Saughöhe entsprechende atmosphärische Druck von $9,81 \cdot 10^4$ Pa. Die Pumpe kann also selbst bei gefüllter Leitung die Natronlauge im ungünstigsten Betriebsfall nicht ansaugen. Mit der Verringerung der geodätischen Saughöhe (Bild 1, Fall 2) ist die Pumpenaufstellung im Projekt zu korrigieren. Die Nachrechnungen ergeben bei einer neuen Saughöhe $h_{geo,S} = 2,0$ m einen Druckabfall $\Delta p_S = 4,63 \cdot 10^4$ Pa. Ist von der Pumpe aus technischer Sicht eine große geodätische Saughöhe zu bewältigen, so muß die höchstzulässige geodätische Saughöhe bei Flüssigkeitsförderung $h_{geo,S,zul}$ errechnet werden. Eine entsprechende geodätische Saughöhe läßt sich nur mit einer Pumpe erreichen, die mit einem Saugwindkessel ausgestattet ist. Es gilt folgende Beziehung:

$$h_{geo,S,zul} = \frac{p_{at} - p_D - \Delta p_S - p_{v,0}}{\rho g}; \quad (7)$$

p_{at} atmosphärischer Druck ($9,81 \cdot 10^4$ Pa)
 p_D Dampfdruck von Wasser bei 10°C ($0,123 \cdot 10^4$ Pa)
 $p_{v,0}$ Widerstandsdruck gegen das Öffnen des Saugventils in äußerer Totlage in Pa.

Dazu ist $p_{v,0}$ wie folgt zu berechnen:

$$p_{v,0} = \frac{1}{A_{Si}} \left(F_{G,V} + F_{F,0} + \frac{2\pi^2 m_v \dot{V} n}{A_{Si}} \right); \quad (8)$$

A_{Si} Ventilsitzfläche ($0,00212 \text{ m}^2$)
 $F_{G,V}$ Gewichtskraft des Ventils in N
 $F_{F,0}$ Federkraft des geschlossenen Ventils ($31,40 \text{ N}$)

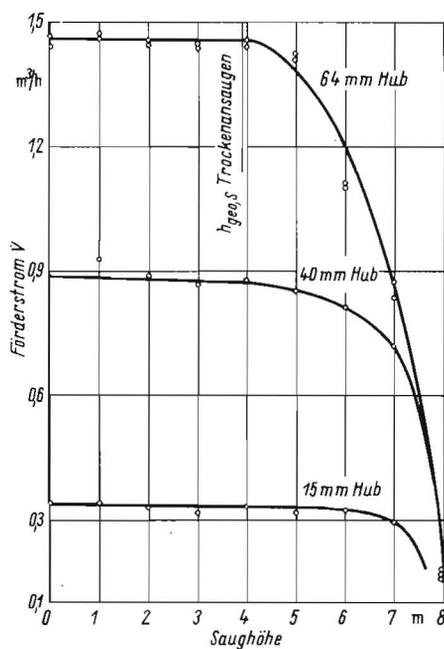


Bild 2. Saugverhalten der Dosierpumpe PAX 64-70; Fördermedium Wasser ($\vartheta = 15^\circ\text{C}$)

m_v Masse des Ventils ($0,285 \text{ kg}$)
 n Hubzahl der Pumpe ($1,71 \text{ 1/s}$).
 Die Gewichtskraft $F_{G,V} = m_v g$ ergibt sich mit der Masse des Ventils zu $F_{G,V} = 2,80 \text{ N}$. Der Widerstandsdruck wird schließlich zu $p_{v,0} = 1,625 \cdot 10^4 \text{ Pa}$ berechnet.
 Die zulässige geodätische Förderhöhe für die Pumpe ergibt sich nach Gl. (7) mit $h_{geo,S,zul} = 2,32 \text{ m}$ und liegt damit deutlich über dem projektierten Wert von $h_{geo,S} = 2,0 \text{ m}$. Für die Berechnung des Saugwindkesselvolumens wird ausgehend von einem Pleuelstangenverhältnis (Kurbelradius/Pleuelstangenlänge) $\lambda_{pl} = 0,02$ ein Ungleichförmigkeitsgrad $\delta_{p,St} = 0,02$ angenommen [1, 3]. Das mittlere Saugwindkesselvolumen $V_{S,m}$ errechnet sich aus:

$$V_{S,m} = \frac{v_{St} A_K s}{\delta_{p,St}}; \quad (9)$$

v_{St} dimensionsloser empirischer Koeffizient für das fluktuierende Flüssigkeitsvolumen einer einfachwirkenden Kolbenpumpe (lt. Tabelle in [1] $v_{St} = 0,552$)
 A_K Kolbenfläche ($0,0032 \text{ m}^2$)
 s Kolbenhub ($0,064 \text{ m}$)
 und beträgt $V_{S,m} = 0,00565 \text{ m}^3$.

Die Geschwindigkeiten in der Leitung sind nicht völlig konstant. Es ist zu prüfen, ob Resonanzfreiheit besteht. Die Bedingung dafür lautet:

$$V_{S,m} \geq 2 V_{S,m,r};$$

$V_{S,m,r}$ mittleres Resonanzvolumen in m^3 :

$$V_{S,m,r} = \frac{g A_S h_{S,m}}{K^2 \omega^2 l_S}; \quad (10)$$

A_S Fläche der Saugleitung ($0,00049 \text{ m}^2$)
 $h_{S,m}$ mittlere Druckhöhe im Saugwindkessel in m
 ω Winkelgeschwindigkeit ($10,68 \text{ 1/s}$)
 l_S Länge der Saugleitung ($17,05 \text{ m}$)
 K dimensionsloser empirischer Koeffizient (für einfachwirkende Pumpe nach [1] $K = 1$).

Die mittlere Druckhöhe im Saugwindkessel wird wie folgt berechnet:

$$h_{S,m} = h_{at} - (h_s - h_{S,w}) - h_{v,S} - \frac{v^2}{2g}; \quad (11)$$

h_{at} atmosphärische Druckhöhe (10 m)
 h_s Höhe zwischen Mitte Pumpe und Flüssigkeitsspiegel im Saugbehälter ($2,0 \text{ m}$)
 $h_{S,w}$ Höhe zwischen Mitte Pumpe und mittlerem Flüssigkeitsspiegel im Saugwindkessel ($0,4 \text{ m}$)
 $h_{v,S}$ die dem Reibungsverlust $\Delta p_{S,R}$ entsprechende Verlusthöhe ($1,12 \text{ m}$)
 und beträgt $h_{S,m} = 7,28 \text{ m}$.

Daraus ergibt sich das mittlere Resonanzvolumen $V_{S,m,r} = 0,000018 \text{ m}^3$, und die Bedingung $V_{S,m} > 2 V_{S,m,r}$ ist erfüllt.

Für die Druckseite werden entsprechende Berechnungen unter Verwendung der zutreffenden konstruktiven Parameter (z. B. $d, l, h_{geo,D}$) sowie Stoffkennwerte und der angegebenen Gl. (1) bis (6) und (9) bis (11) durchgeführt.

4. Meßergebnisse

4.1. Saugverhalten

Alle im Verlauf von mehreren Jahren untersuchten Ausführungen von Dosierpumpen erreichten trocken saugend bei maximalem Pumpenhub geodätische Förderhöhen von 2,3 bis 3,8 m. Voraussetzung für das Erreichen großer Trockensaughöhen sind dichte Ventile und intakte Kolbenabdichtungen. Unter den Bedingungen des Naßansaugens sind noch größere geodätische Förderhöhen zu erreichen (Bild 2).

Der in Abhängigkeit von der zu überwindenden geodätischen Saughöhe gemessene Förderstrom zeigt die Wirkung der Druckabnahme im Pumpenraum auf den Füllungsgrad. In Abhängigkeit vom eingestellten Pumpenhub und der damit verbundenen Beschleunigungshöhe der saugseitigen Flüssigkeitssäule treten entsprechend dem ersten Abschnitt der Kennlinien (Saughöhe 1 bis 3,5 m) Entgasungserscheinungen der Flüssigkeit auf. Darüber hinaus wird der Dampfdruck der Flüssigkeit unterschritten, und mit weiter zunehmender Saughöhe tritt Dampfblasenbildung auf, die im weiteren Verlauf der Steigerung der geodätischen Saughöhe oder des Reibungsverlustes in der Saugleitung zur Kavitation an Pumpenteilen führt. Die Untersuchungen mit der Pumpe ergaben maximale Saughöhen von 5 bis 7 m.

4.2. Förderverhalten

Die Förderhöhe aller Pumpenausführungen (PAX 16, 32 und 64 mm Hub) wurde konstruktiv auf eine maximale statische Kolbenkraft von 400 N begrenzt. Im Bereich von $\pm 20\%$ der Förderhöhe sind keine praktisch bedeutenden Abweichungen des Fördervolumens vom Sollwert nachzuweisen. Die Förderkennlinie verläuft innerhalb des gesamten Verstellbereichs des Kolbenhubes linear (Bild 3). Die verschiedenen Einsatzbedingungen für Dosierpumpen in der Praxis sind mit saug- wie druckseitig wechselnden Gesamtdruckverlusten verbunden, die das Erarbeiten örtlicher Korrekturkennlinien $V = f(\text{Hub})$ bedingen. Besondere Beachtung ist dem Fördern hochviskoser Flüssigkeiten beizumessen. In der Landwirtschaft sind als hochviskose Produkte konzentrierte Natronlauge und Rübenmelasse dosiert zu fördern. In der Praxis werden diese Flüssigkeiten durch Beheizung oder Verdünnen mit Wasser in einem leicht verarbeitbaren, niedrigviskosen Zustand gehalten. Die Lagertemperaturen liegen um 30 bis 35°C . Wesentliche Energieeinsparungen

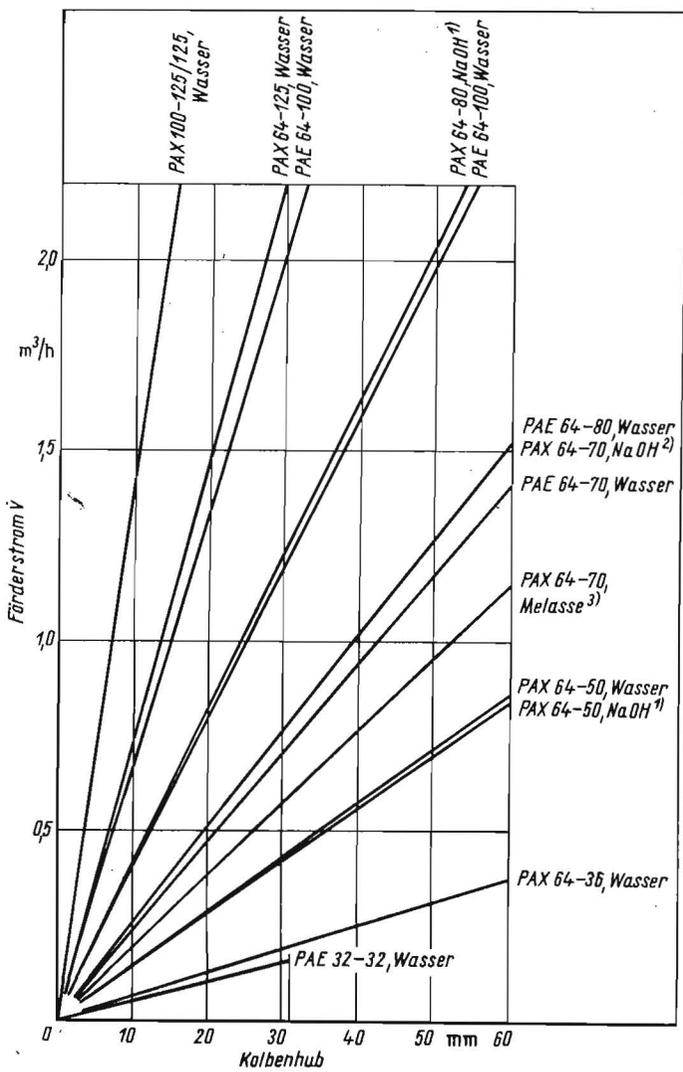


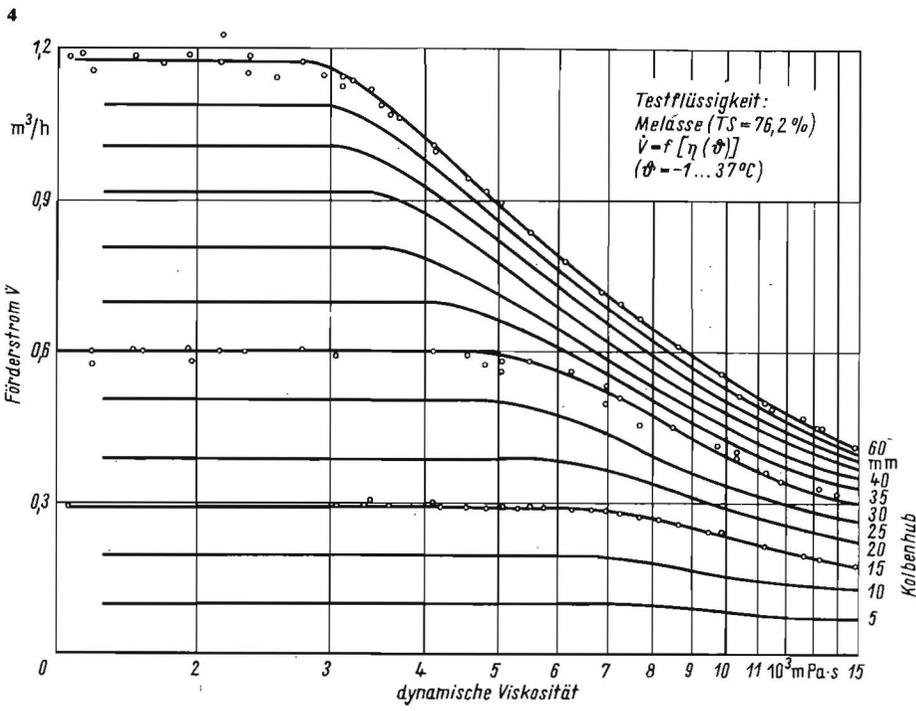
Bild 3
Förderstrom von Dosierpumpen bei ausgewählten Fördermedien
1) $\eta = 70 \text{ mPa} \cdot \text{s}$,
2) $\eta = 40 \dots 172 \text{ mPa} \cdot \text{s}$,
3) $\eta = 1200 \dots 1800 \text{ mPa} \cdot \text{s}$

sigkeit im Pumpenraum an, und das Fördervolumen $\dot{V} = f[\eta(\vartheta)]$ nimmt linear ab. Während der Untersuchungen blieb bei diesen Betriebszuständen das Auftreten kavitationsanzeigender Merkmale (klopfende Pumpengeräusche, Flüssigkeitsschlag) aus. Wahrscheinlich wird die freiwerdende Energie der zerplatzenden Dampfblasen am Ende des Saughubs über Reibung in der hochviskosen Flüssigkeit abgebaut. Für den Dauereinsatz von Pumpen ist die Begrenzung des Viskositätsbereichs der Flüssigkeit durch Beheizung oder durch Zusatz von Wasser in Einsatzfällen, bei denen der Konzentration untergeordnete Bedeutung zukommt, vorzusehen. Für den praktischen Gebrauch ist z. B. für Melasse der Trockensubstanzgehalt der Lieferung (wird in der Zuckerfabrik gemessen) festzustellen und entsprechend der gemessenen Lagertemperatur nach [5] die Viskosität zu ermitteln. Danach kann eine Rübenmelasse mit $TS = 76,2\%$ bei 30 mm Pumpenhub bis zu einer Lagertemperatur von 12°C unbeheizt gefördert werden. Bei der Verarbeitung von Natronlauge [4, 6] oder anderer viskoser Agrochemikalien ist neben der Berücksichtigung begrenzender chemisch-physikalischer Eigenschaften (Kristallisation, Gefrieren, Ausfällung) durch die Anwendung der dargestellten Ergebnisse (Optimieren der Förderanlage und Minimieren der Beheizung) eine Verringerung der Energiekosten um rd. 60% zu erreichen.

Bild 4
Förderverhalten der Dosierpumpe PAX 64-70 bei der Verarbeitung viskoser Flüssigkeiten

können durch folgende Faktoren erreicht werden:
— Schaffung optimaler Zulaufbedingungen
— Ausnutzung der maximal möglichen Saughöhe
— standortangepaßte Projektierung der Förderanlage

— Minimierung der Lagertemperatur (Bild 4). In Abhängigkeit von der Hublänge verläuft im Viskositätsbereich bis $3000 \text{ mPa} \cdot \text{s}$ bei Hub_{max} bzw. bis $8000 \text{ mPa} \cdot \text{s}$ bei Hub_{min} die Förderkennlinie linear. Oberhalb dieses Bereichs steigen die saugseitigen Widerstände über den Grenzwert des Dampfbildungsdrucks der Flüssigkeit



5. Zusammenfassung

Für den Praktiker, der sich mit Rationalisierungsaufgaben zur Förderung und Dosierung von Flüssigkeiten in landwirtschaftlichen Prozessen des Strohaufschlusses, Pelletierens oder des Einsatzes anderer Agrochemikalien beschäftigt, werden Hinweise zum fachgerechten Einsatz von Kolbendosierpumpen gegeben. Ergebnisse aus Praxisuntersuchungen an Kolbendosierpumpen der Baureihe PAE bzw. PAX des VEB Pumpenfabrik Salzwedel unterstreichen die Notwendigkeit, die saug- und druckseitigen Förderanlagen statt empirisch auszulegen im Interesse einer langen Haltbarkeit der Pumpen zu berechnen. Für die Anordnung einer Pumpe PAX 64-70 werden die Berechnungsvorschriften dargestellt und ein Beispiel zur saugseitigen Auslegung durchgerechnet. Neben Ergebnissen zum Saug- und Förderverhalten der Dosierpumpen für Wasser, Melasse und Natronlauge werden Vorschläge zum Fördern und Dosieren hochviskoser Flüssigkeiten bei minimiertem Energieaufwand für die Beheizung genannt.

Für Melasse wird dem Anwender eine Methode zur Einstellung genauer Dosierwerte bei niedriger Lagertemperatur beschrieben.

Literatur

- [1] Autorenkollektiv: Technisches Handbuch Pumpen, 4. Auflage. Berlin: VEB Verlag Technik 1972.
- [2] Autorenkollektiv: Handbuch für den Rohrleitungsbau. Berlin: VEB Verlag Technik 1962.
- [3] Pohlenz, W.: Kolben- und Kreiselpumpen, Kolbenverdichter. TU Dresden, Lehrbriefe für das Fernstudium.
- [4] Hörnig, G.: Umschlag, Lagerung, Dosierung und Applikation der Natronlauge und Vorschlag für die optimale Technologie. agrartechnik 27 (1977) H. 8, S. 369-373.
- [5] Türk, M.: Zum Fließverhalten technischer Zuckerklösungen. agrartechnik 29 (1979) H. 4, S. 176-178.
- [6] Wartenberg, G.: Hinweise zum Umgang mit Ätzlauge in der Trockenfutterproduktion. agrartechnik 27 (1977) H. 3, S. 131-133.