

Strömungsbedingungen voraus (keine Montageabweichungen). Die Kalibrierung des gleichen Ventils für andere Tränkearten kann durch Aufnahme der Kennlinie ohne Veränderung des Durchlaßquerschnitts erfolgen.

5. Zusammenfassung

Das Problem der Tränkedosierung entsprechend den ATF läßt sich durch die zeitabhängige Volumendosierung mit Magnetventil lösen. Ein Dosierer besteht aus den Hauptbaugruppen Druckregelungseinrichtung (Reduzierung von Druckschwankungen in der Zulaufleitung zum Dosierer), Dosierventil (Herstellung konstanter Auslaßbedingungen) und Zeitsteuerungseinrichtung (programmge-

steuerte Herstellung konstanter, den Portionsgrößen zugeordneter Einschaltzeiten für den Ventilmagneten).

Die zugelassene 5%-Dosierfehlergrenze wird auch im Einschaltzeitbereich $t_E = 0,2 \dots 1,0$ s durch die Schaffung weitgehend konstanter Strömungsbedingungen unterschritten. Die entwickelte Dosiereinrichtung erfüllt durch die konstruktive Ausbildung und die getroffene Materialauswahl auch die anderen, eingangs dargestellten Agrotechnischen Forderungen. Aufgrund der positiven Ergebnisse wurde die vorliegende Lösung für die Tränkedosierung bereits im Jahr 1974 zur Industrieentwicklung übergeben.

Literatur

- [1] Agrotechnische Forderungen an einen Tränkedosierer. IfM Potsdam-Bornim 1972 (unveröffentlicht).
- [2] Dressler, E.: Konzipierung, Bau und Erprobung eines Dosierers für Kälbertränke mit schwerpunktmäßiger Bearbeitung eines Dosiermechanismus. Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg, Wiss. Abschlußarbeit/Diplomarbeit 1975.
- [3] Kraut, H.: Prinziplösung für die Steuerung eines Dosierers für Kälbertränke. IfM Potsdam-Bornim, Forschungsbericht 1975 (unveröffentlicht).

A 1574

Messung des Druckverlustes beim Rohrleitungstransport konzentrierter, grobdisperser Suspensionen

Dr.-Ing. M. Türk, KDT/Dipl.-Ing. H. Schmidt

Forschungszentrum für Mechanisierung der Landwirtschaft Schlieben/Bornim der AdL der DDR, Betriebsteil Potsdam-Bornim

Verwendete Formelzeichen

d	m	Rohrdurchmesser
d_L	mm	Bohrungsdurchmesser
h	mm	Höhendifferenz der Quecksilbersäule im U-Rohr-Manometer
l	m	Rohrlänge
m_{TMF}	kg	Masseanteil Trockenmischfutter
m_{ZR}	kg	Masseanteil Zuckerrübenschnitzel
Δp	Pa	statische Druckdifferenz
R_K	m	Krümmungsradius von Rohrkrümmern
Re	—	Reynoldszahl
s_R	m	absolute Rohrrauigkeit
Tr	%	Trockensubstanzgehalt
v	m/s	mittlere Strömungsgeschwindigkeit
\dot{V}	m^3/s	Durchsatz
V	dm^3	Volumen
ζ	—	Widerstandszahl
λ	—	Rohrreibungszahl
ρ	kg/m^3	Dichte
ρ_{Hg}	kg/m^3	Dichte von Quecksilber
ρ_{H_2O}	kg/m^3	Dichte von Wasser

1. Problemstellung

Der statische Druckverlust Δp bei laminarer und stationärer Rohrströmung hat zur Kennzeichnung des Fließverhaltens der Fördermedien entscheidende Bedeutung. Da konzentrierte Suspensionen aus vielen Bereichen der chemischen Verfahrenstechnik sowie der Land- und Nahrungsgüterwirtschaft zumeist ein nicht-Newtonsches Verformungsverhalten aufweisen, können mit Hilfe der integralen Meßgrößen Druckverlust Δp und Durchsatz \dot{V} Fließkurven bestimmt und verallgemeinerungsfähige Bemessungsgrundlagen für die Rohrförderung abgeleitet werden. Auch zur Untersuchung der Reibungsverluste beim Durchströmen von örtlichen Widerständen (Armaturen und Formstücke) ist die reproduzierbare Bestimmung der Druckverlustanteile die einzige experimentelle Möglichkeit.

Beim Fördern von konzentrierten Suspensionen mit grobdispersen Komponenten, z. B. mit Zuckerrübenschnitzeln [1], ergeben sich erhebliche Probleme bei der Messung von Druckdifferenzen. Ist weiterhin die gleichzeitige Erfassung von Druckverlusten an mehreren Bauteilen einer Rohrleitung notwendig, so sind

bekanntes Meßverfahren (Bild 1) mit vertretbarem Aufwand nicht mehr einsetzbar. Der Nachteil dieser Meßprinzipien ist meist eine hohe Störanfälligkeit, vor allem der notwendige wiederholte Abgleich sowie die Verstopfungsgefahr bei angebohrter Meßleitung. Daher wurde im Forschungszentrum für Mechanisierung der Landwirtschaft Schlieben/Bornim, Betriebsteil Potsdam-Bornim, ein funktions-sicheres Meßkammerprinzip entwickelt und erprobt, wobei das Fördermedium durch eine großflächige Gummimembran von der druckübertragenden Flüssigkeit getrennt und der Differenzdruck mit Hilfe eines U-Rohr-Manometers angezeigt wird.

2. Aufbau und Wirkungsweise des Membrankammer-Meßverfahrens

Die Messung der statischen Druckdifferenzen Δp erfolgt mit Hilfe von Membrankammern (Bild 2), die mit Flanschen vor und hinter dem zu untersuchenden Bauteil in der Rohrleitung angeordnet und über unelastische, wassergefüllte Schläuche mit Quecksilber-U-Rohr-Manometern verbunden sind. Die U-Rohr-Manometer können für mehrere nacheinander durchströmte Bauteile in Reihe geschaltet und visuell abgelesen oder fotografiert werden. Eine Membrankammer (Bild 3) besteht im wesentlichen aus einem runden Behälter a von etwa 200 mm Durchmesser, den Rohrstücken mit Flanschen b, deren Innendurchmesser mit dem des zu untersuchenden Bauteils übereinstimmen muß, sowie aus dem oben angeordneten Flansch c zur Befestigung des Deckels d mit der Gummimembran e. Durch einen Ab-laßstutzen f, der mit einem Schnellschlußschieber abgesperrt ist, kann eine Entleerung und Reinigung der Membrankammer erfolgen.

Die Gummimembran e besteht aus dünnem Gummi (≈ 1 mm) und hat einen freien Durchmesser von 200 mm. Sie kann in der Mitte etwa 15 mm durchhängen und ist in diesem Bereich nahezu ideal biegeschlaff. Der Raum zwischen Membran e und Deckel d wird so mit Wasser gefüllt, daß die Membran eine ebene Fläche bilden kann. Eine ebenfalls mit Wasser gefüllte durchsichtige Polyäthylen-Schlauchleitung ver-

bindet den Schlauchstutzen g des Absperrhahns h mit einem Schenkel des U-Rohr-Manometers. Ist an beiden Schenkeln jeweils eine Membrankammer angeschlossen, wird der Differenzdruck richtig angezeigt, wenn sich diese in gleicher geodätischer Höhe befinden. Die Glasröhren der U-Rohr-Manometer haben einen lichten Durchmesser von etwa 1,5 mm, so daß sich der Spannungszustand der Membran e auch bei maximalem Meßbereich (rd. 1000 mm Hg, d. h. 123,23 kPa) praktisch nicht verändert. Zur Bestimmung des Zahlenwerts des Differenzdrucks ist die Wasserfüllung zu berücksichtigen, so daß sich folgende Beziehungen ergeben:

$$\Delta p = \rho h g \quad (1)$$

$$\rho = \rho_{Hg} - \rho_{H_2O} = 12565,8 \text{ kg/m}^3$$

$$\Delta p = (\rho_{Hg} - \rho_{H_2O}) h g = 123,23 \cdot h \quad (2)$$

So entsteht ein abgeschlossenes hydraulisches System zur Differenzdruckmessung, das unabhängig von der Konsistenz und von der Korngrößenzusammensetzung des Fördermediums funktionssicher eingesetzt werden kann. Folgende Besonderheiten sind weiterhin zu beachten:

- Sorgfältige Entlüftung der gesamten Meßeinrichtung
- gleiches Wasservolumen in den Deckeln der Membrankammern (etwa 150 bis 400 cm^3)
- gleiches Material und etwa gleiche Länge der Schlauchleitungen (z. B. Polyäthylen-Schlauchleitung PE-hart 10 \times 14 mm)
- gleiche geodätische Höhe der Membrankammern und der U-Rohr-Manometer. Dieses Meßprinzip wurde unter der Voraussetzung von Laminarströmung entwickelt, wobei angenommen wird, daß diese Strömungsform auch in den mit dem Fördermedium gefüllten Membrankammern erhalten bleibt. Der angezeigte Differenzdruck Δp setzt sich dann aus den Widerständen sämtlicher zwischen den Membrankammern angeordneten Bauteile zusammen, so daß entsprechende Korrekturen notwendig sind. Die durch die Flanschverbindungen entstehenden Anteile des Differenzdrucks können bei sorgfältigem Zusammenbau der Meßrohrleitungen zumeist vernachlässigt werden.

Anstelle von Quecksilber können auch andere

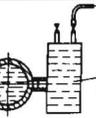
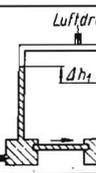
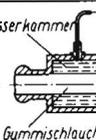
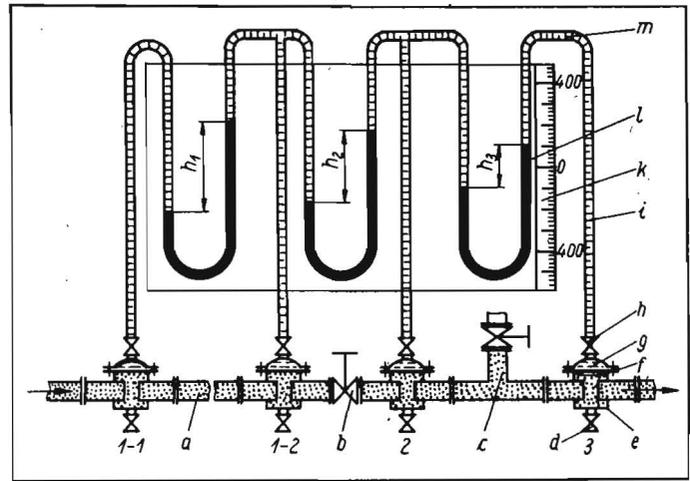
Nr.	Schema des Meßverfahrens	Meßprinzip	Meßwertübertragung, Anzeige	Lit.
1	 Wanddicke rd. 0,35 mm	Verformung der Rohrwand	Federmanometer Dehnmessstreifen	[2]
2	 Schlauch mit Wasserfüllung Glasrohr	Böhrung in der Rohrwand Reinigung der Schläuche durch Spüleinrichtung	U-Rohr-Manometer	[3] [4]
3	 Schlauch mit Wasserfüllung Sedimentation d. Suspension	Böhrung in der Rohrwand Sedimentationstopf	U-Rohr-Manometer	[5]
4	 zum Verstärker Ölfüllung Membran-Diff-druckgeber Fallenbalg	Böhrung in der Rohrwand	mech.-elektr. Meßwertumwandlung Membran-Diff-druckgeber mit Differentialtransform.	[6]
5	 Luftdruck Δh_1 Δh_2	Höhe der Flüssigkeitssäule		[7]
6	 Wasserammer Schlauch mit Wasserfüllung Gummischlauch	Druckmeßkammer Verformung des Gummischlauches	U-Rohr-Manometer	[8]

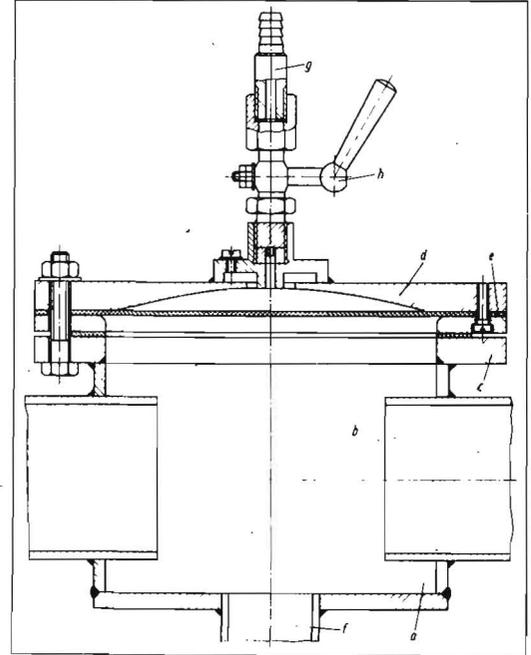
Bild 1. Meßverfahren zur Bestimmung von Druckverlusten bei der Förderung von Suspensionen

Bild 2. Schematische Darstellung der Differenzdruck-Meßeinrichtung mit Membrankammern; a gerades Rohr, b Keilvalschieber, c T-Stück, d Ablaufschieber, e Membrankammer, f Gummimembran ($\varnothing 200$ mm, 1 mm dick), g Deckel mit Wasserfüllung, h Manometerabsperrhahn, i PE-Schlauch (10 x 14 mm) mit Wasserfüllung, k Ablesechale, l Quecksilberfüllung, m U-Rohr-Manometer

Bild 3. Aufbau einer Membrankammer; Erläuterung im Text



2



3

Sperrflüssigkeiten mit geringer Dichte (z. B. Toluol, Benzol, Tetrachlorkohlenstoff usw.) verwendet werden, wodurch eine Veränderung des Meßbereichs möglich ist. Bei Messungen an einzelnen Bauteilen sind anstelle der U-Rohr-Manometer auch empfindlichere elektrische Differenzdruck-Meßdosen mit Erfolg einsetzbar, die allerdings des öfteren abgeglichen werden müssen.

3. Einsatzprüfung

Das beschriebene Membrankammer-Meßverfahren hat sich beim Einsatz verschiedener Fördermedien [1] zur Untersuchung des Druckverlustes einer Vielzahl von Bauteilen unterschiedlicher Nennweite gut bewährt. Zur Überprüfung wurde das für feindisperse Suspensionen vielfach angewendete Meßprinzip mit Sedimentationstopf (Bild 1) [2] [3] her-

angezogen. Von der angebohrten Meßleitung NW 100 ($d_L = 12$ mm) führt ein kurzer Schlauch zu einem wassergefüllten Sedimentationstopf ($V = 2$ dm³), in dem eine Verdünnung der Suspension erfolgt, so daß eine Verstopfung der mit dem U-Rohr-Manometer verbundenen Schlauchleitung vermieden wird. Bild 4 zeigt die gute Übereinstimmung der Meßwerte beim Einsatz einer grobdispersen Zuckerrüben-

Bild 4. Abhängigkeit des Druckverlustes Δp vom Volumenstrom \dot{V} im Vergleich von Druckmeßeinrichtungen; a 1 m gerades Rohr NW 100 mm, b Keilvalschieber NW 100 mm (voll geöffnet) und 2 m Rohr NW 100 mm

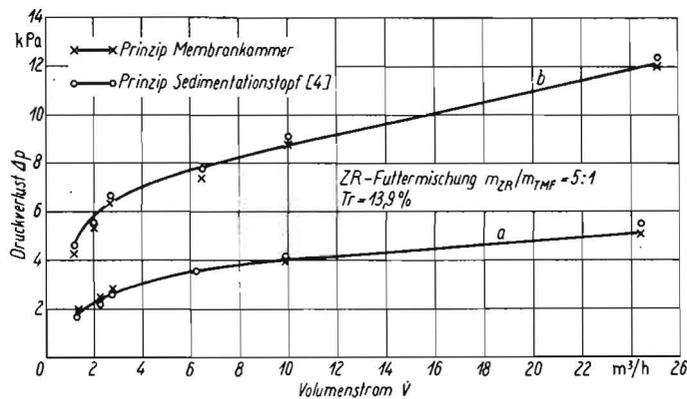
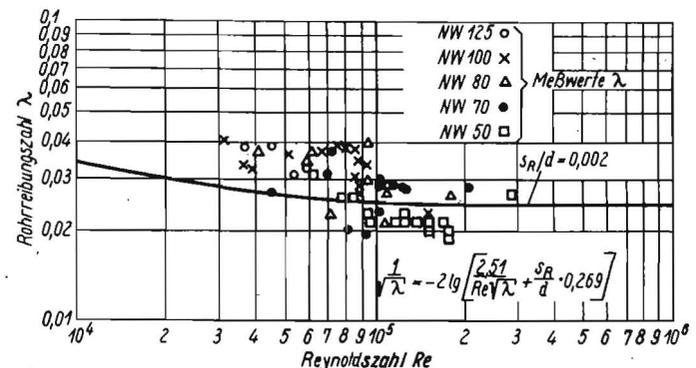


Bild 5. Abhängigkeit der Rohrreibungszahl λ von der Reynoldszahl Re im Vergleich von gemessenen und berechneten λ -Werten beim Fördern von Wasser in Stahlrohren



Futtermischung der Zusammensetzung $m_{ZR}/m_{TMF} = 5:1$ mit $Tr = 13,9\%$. Im Gegensatz zur Membrankammer wurden wiederholte Verstopfungen der Schläuche am Sedimentationstopf beobachtet.

Weitere Versuche wurden mit Wasser als Fördermedium an geraden Röhren (Bild 5) und örtlichen Widerständen (Bild 6) durchgeführt.

Dabei stellte sich heraus, daß verwertbare Meßergebnisse zu erreichen sind. Daraus folgt, daß auch bei turbulenten Strömungsverhältnissen das beschriebene Meßverfahren einsetzbar ist, da in beiden Membrankammern ähnliche Tubulenzerscheinungen angenommen werden können. Die Trägheit der Flüssigkeitssäule in den Schläuchen dämpft weitgehend eine u. U. zeitlich differenziert auftretende Turbulenz in den Membrankammern. Eine Fehlerabschätzung bei stationärer Laminarströmung ergab einen mittleren relativen Meßfehler der Rohrreibungszahl λ von $\pm 3,2\%$ [1], so daß das Membrankammer-Meßverfahren zur Bestimmung von Druckdifferenzen unterschiedlicher konzentrierter Suspensionen grundsätzlich als gut anwendbar angesehen werden kann.

4. Zusammenfassung

Bekanntes Meßverfahren zur Differenzdruckbestimmung beim Rohrleitungstransport konzentrierter, grobdisperser Suspensionen sind nur begrenzt und z. T. mit hohem technischen Aufwand bei erheblicher Störanfälligkeit ein-

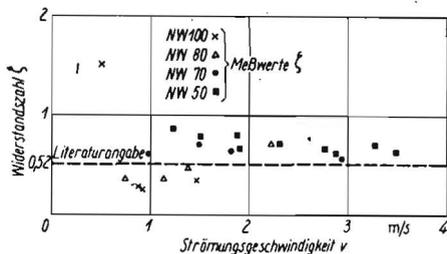


Bild 6. Vergleich von gemessenen Widerstandswerten $\zeta = f(v)$ beim Fördern von Wasser durch 90°-Krümmer ($R_K = 1,5 d$) mit Literaturangaben [9]

setzbar. Im Forschungszentrum für Mechanisierung Schlieben/Bornim, Betriebsteil Potsdam-Bornim, wurde ein neues Meßprinzip mit Membrankammern und U-Rohr-Manometern entwickelt und mit verschiedenen landwirtschaftlichen Suspensionen erprobt. Auch bei Reihenschaltung mehrerer Differenzdruckmeßstellen zeigte sich eine hohe Funktionssicherheit, so daß dieses Meßverfahren grundsätzlich zur Bestimmung von Druckverlusten konzentrierter Suspensionen geeignet ist.

Literatur

[1] Türk, M.: Berechnung des Druckverlustes bei der Förderung konzentrierter Futtermischungen mit chemisch konservierten Zuckerrüben in Rohrleitungen. agrartechnik (in Vorbereitung).

[2] Kogan, S. F.: Messung des Druckes in Rohrleitungen mit strukturierten Flüssigkeiten. Izmeritel'naja tehnika (1971) H. 10, S. 85.
 [3] Tschierschke, M.: Das Verhalten fließfähiger Futtermischungen beim Durchfluß durch horizontale Rohrleitungen. Archiv für Landtechnik 4 (1963/64) H. 3, S. 177—218.
 [4] Hörnig, G.: Beitrag zur Bemessung von Beregnungsrohrleitungen beim Klärschlamm- und Gülletransport. TU Dresden, Dissertation 1969.
 [5] Jogwich, A.: Das Fließverhalten von Suspensionen im turbulenten Bereich. Forschung auf dem Gebiet des Ingenieurwesens 23 (1957) H. 3, S. 81—90.
 [6] Tschierschke, M.: Untersuchung physikalisch-mechanischer Eigenschaften von Suspensionen, insbesondere von fließfähigen Futtermischungen. IfM Potsdam-Bornim, Forschungsbericht 1968 (unveröffentlicht).
 [7] Eirich, F. R.: Rheology, Theory and Applications, Vol. 1, 2. New York: Academic Press Inc. 1956.
 [8] Mylius, E.; Haroske, D.; Reher, E.-O.: Experimentelle Untersuchungen zum Druckverlust beim Transport konzentrierter Suspensionen (Schlammkreide-Wasser) durch zylindrische Rohre. Chemische Technik 19 (1967) H. 12, S. 738—743.
 [9] Krüger, H.: Berechnung strömungstechnischer Kennwerte von Durchströmteilen für Flüssigkeiten und Gase. Herausgegeben vom Institut für Leichtbau und ökon. Verwendung von Werkstoffen Dresden, 1970. A 1521

Umschlag, Lagerung, Dosierung und Applikation der Natronlauge und Vorschlag für die optimale Technologie¹⁾

Dr.-Ing. G. Hörnig, KDT/Dipl.-Landw. G. Wartenberg

Forschungszentrum für Mechanisierung der Landwirtschaft Schlieben/Bornim der AdL der DDR, Betriebsteil Potsdam-Bornim

Auf dem IX. Parteitag sowie auf der 2. und 4. Tagung des ZK der SED wurde die Erhöhung der Futterproduktion als eine vordringlich zu lösende Aufgabe herausgestellt.

Bei zunehmender Strohverwertung ist vor allem der energetische Futterwert des Strohs durch den Aufschluß mit Natronlauge bei der Herstellung von Pellets zu erhöhen.

Infolge der Vielfalt der technischen Ausführungen der Trockenwerke und Pelletieranlagen im allgemeinen und der bisher realisierten Lösungen zum Einsatz von Natronlauge im besonderen — zurückzuführen auf die zahlreichen Initiativen in den Bezirken und Kreisen — ist aus technologischer und technischer Sicht nicht nur ein einziger Lösungsvorschlag möglich. An dieser Stelle soll deshalb auf grundlegende Gesichtspunkte verwiesen werden, die den möglichen Lösungen gemeinsam sind.

Die Ausführungen zu den Stoffkennwerten von Natronlauge (Dichte und Kristallisationstemperatur der Lauge in Abhängigkeit von der Konzentration), die bereits in dieser Zeitschrift erschienen [1], sollen durch Angaben zum Viskositätsverhalten der Lauge ergänzt werden (Bild 1).

Die Viskosität oder Zähigkeit der Lauge fällt mit abnehmender Konzentration, steigt aber bei niedrigen Temperaturen stark an. Die im interessierenden Konzentrationsbereich auftretenden Werte sind wie folgt einzuschätzen:

- 80 cP sehr zähflüssig
- 60 bis 80 cP zäh fließend

- 40 bis 60 cP noch ziemlich zäh fließend
- 40 cP frei fließend.

Gut fließfähige Lauge liegt also z. B. bei 24%iger Konzentration noch bis -13°C vor, während im höheren Konzentrationsbereich eine Zähigkeit von 40 cP bei $+6^\circ\text{C}$ (33%ige Lauge) oder $+28^\circ\text{C}$ (48%ige Lauge) erreicht wird. Diese Viskositätsschwankungen beeinflussen das Förderverhalten von Kreiselpumpen in erheblicher Weise, worauf aber später noch eingegangen wird.

Das besondere Kristallisationsverhalten der Natronlauge erfordert eine Verdünnung der konzentrierten Lauge auf 24%; mit dieser Konzentration wird bei der Pelletierung vorwiegend gearbeitet.

Obwohl der VEB Chemiekombinat Bitterfeld als Herstellerbetrieb ab Anfang 1977 im begrenzten Umfang in der Lage ist, Lauge zu verdünnen und an die Verbraucher auszuliefern, wird die Verdünnung weitestgehend im Bereich der Landwirtschaft, vorwiegend in den agrochemischen Zentren (ACZ), zu realisieren sein.

Die beim Hersteller verdünnte Lauge wird folglich an solche Pelletieranlagen ausgeliefert, in deren Nähe keine Verdünnungsmöglichkeiten in ACZ bestehen.

Der Umschlag der Lauge im Bereich der Landwirtschaft erfordert bei Temperaturen unter 8°C das Aufwärmen der Eisenbahntankwagen. Am effektivsten ist dafür Dampf einzusetzen, der aber nicht überall zur Ver-

fügung steht. Deshalb sind örtliche Reserven zu erschließen, d. h. Betriebe mit Heißdampfanschlüssen zu nutzen, wie Zuckerfabriken, Straßenbaukombinate u. a. Der aufgeheizte Tankwagen wird an den Lagerbereich gefahren. Hier bestehen im wesentlichen zwei Varianten der weiteren Behandlung der Lauge:

- Einlagerung von 48%iger Lauge in einem oder in mehreren Lagerbehältern mit einem Fassungsvermögen von 10 bis 50 m³ (vorzugsweise in ACZ);
- Abgabe von 48%iger — oder nach Verdünnung — von 24%iger Natronlauge
- Verdünnen bzw. Lagern von 24%iger Lauge in möglichst großen Behältern bis 50 m³ Fassungsvermögen (vorzugsweise in Trockenwerken und Pelletieranlagen).

Bei der ersten Variante werden die Lagerbehälter und alle Aggregate und Leitungen, die 48%ige Lauge sowie Wasser führen, in einer Gebäudehülle untergebracht. Die Raumtemperatur muß 12 bis 15°C betragen. Die Lauge gelangt über einen flexiblen Schlauch vom Tankwagen zur Pumpe. Der Durchsatz von 10 bis 30 m³/h garantiert das rasche Entleeren des Tankwagens. Das Verdünnen erfolgt in einem stationären Behälter ($V \approx 20 \dots 30 \text{ m}^3$) oder in mobilen Transportbehältern unter Beachtung der Dichteunterschiede von Wasser und Natronlauge (Tafel 1).

Zur intensiven Durchmischung sind in beiden Fällen Umwälzpumpen zu benutzen, wobei der Mischeffekt durch Spindeln (Dichte von