

Druckverlust bei der Förderung konzentrierter fluider Medien aus Kartoffeln in Rohrleitungen

Dr.-Ing. M. Türk, KDT, Forschungszentrum für Mechanisierung der Landwirtschaft Schlieben/Bornim der AdL der DDR

Verwendete Formelzeichen

| | | |
|------------------|------------------------------------|--|
| d | m | Rohrdurchmesser |
| H _{geo} | m | geodätische Förderhöhe |
| k | N · s ⁿ /m ² | Konsistenzkoeffizient des Potenzgesetzes |
| l | m | Rohrlänge |
| l _{ges} | m | Gesamtförderlänge |
| l _ä | m | äquivalente Rohrlänge |
| l _u | m | Einbaulänge von Armaturen und Formstücken |
| m _K | kg | Massenanteil Kartoffeln |
| m _(M) | kg | Massenanteil Trockenmischfutter |
| m _w | kg | Massenanteil Wasser |
| n | — | Fließexponent des Potenzgesetzes |
| NW | mm | Nennweite |
| p | Pa | statischer Druckverlust |
| Δp/Δl | Pa/m | spezifischer Druckverlust |
| p _{ges} | Pa | Gesamtdruck an der Förderpumpe |
| Re _n | — | Modifikation der verallgemeinerten Reynoldszahl |
| St | % | Stärkegehalt |
| Tr | % | Trockensubstanzgehalt |
| t ₀ | min | Zeitpunkt des Förderbeginns |
| t ₁ | min | Zeitpunkt der Fließkurvenaufnahme |
| V̇ | m ³ /h | Volumendurchsatz |
| v | m/s | mittlere Strömungsgeschwindigkeit |
| γ _w | 1/s | Schergeschwindigkeit nicht-Newtonscher Flüssigkeiten an der Rohrwand |
| δ _z | — | Korrekturzahl des Zeitverhaltens |
| η | mPa · s | dynamische Viskosität |
| θ _z | °C | Gartemperatur |
| θ _f | °C | Temperatur des Fördermediums |
| λ | — | Rohrreibungszahl |
| ρ | kg/m ³ | Dichte |
| τ _w | Pa | Wandschubspannung |
| τ ₀ | Pa | Fließgrenze |

1. Problemstellung

Die stärkere Durchdringung der verfahrenstechnischen Prozesse mit dem Ziel der Erhöhung der Funktionssicherheit von Maschinen, Maschinenketten und Anlagen erfordert die Kenntnis der wirkenden Gesetzmäßigkeiten zum Verhalten landwirtschaftlicher Stoffe an den prozeßbestimmenden Stellen, d.h. eine hinreichende Beschreibung der wirkenden rheologischen Zustandsgrößen. Die Untersuchung und eindeutige Beschreibung des Fließverhaltens nicht-Newtonscher Substanzen gewinnt daher zunehmend an Bedeutung. Gerade die Förderung verschiedenartig aufbereiteter Kartoffeln in Rohrleitungen ist oft problematisch, da das komplizierte Verformungsverhalten mit herkömmlichen Viskosimetern nur schwer erfassbar und größtenteils nicht übertragbar ist. Zur Gewinnung gesicherter und auf die Rohrförderung anwendbarer Stoffkennwerte kommt es vor allem auf die richtige Auswahl und Anwendung der Meßverfahren an. Daher wurden mit Kartoffeln verschiedener Aufbereitungsformen Förderversuche durchgeführt, um die bereits bekannten Grundlagen zur Rohrförderung konzentrierter Kartoffel-Futtermischungen [1] in zweckmäßiger Weise zu ergänzen.

2. Versuchsmethodik

Die untersuchten fließfähigen Medien aus verschiedenartig aufbereiteten Kartoffeln, die sich vor allem bei der Lagerkonservierung ergeben, sind in Tafel I angeführt. Obwohl zumeist eine Fließgrenze τ₀ existiert, wird vereinfachend pseudoplastisches Fließverhalten angenommen [3], da bei den praktischen Belastungsverhältnissen ein hinreichend kleines Verhältnis τ₀/τ_w vorliegt.

Entsprechend bekannter Methodik [4] kann unter der Voraussetzung von Wandhaftung bei laminarer und stationärer Strömung im verwendeten Viskosimeterrohr (NW 100 mm) mit den prozeßbestimmenden integralen Meßgrößen Druckverlust Δp/Δl und Durchsatz V̇ bei Anwendung des Potenzgesetzes von Ostwald und de Waele

$$\tau_w = k \dot{\gamma}_w^n \quad (1)$$

direkt auf die Fließkennwerte k und n geschlossen werden. Die so bestimmten Stoffkennwerte wurden durch Druckverlustmessungen an Rohren verschiedener Nennweiten (50 bis 125 mm) überprüft und erwiesen sich grundsätzlich als gut anwendbar, so daß mit

$$\frac{\Delta p}{\Delta l} = \frac{4k}{d} \left(\frac{3n+1}{4n} \right)^n \left(\frac{32V}{\pi d^3} \right)^n \quad (2)$$

die Druckverlustberechnung für beliebige d und V̇ bei laminarer Rohrströmung, die generell im Praxiseinsatz vorliegt, erfolgen kann.

Sämtliche Förderversuche wurden an einem Rohrleitungsversuchsstand bei Einsatz einer Exzenterschnepfepumpe M 13/2 (Baugröße 115/140/6) durchgeführt, wobei zur Durchsatzmessung ein induktiver Durchflußmesser und zur Ermittlung der Druckverluste Membrankammern und U-Rohr-Manometer [5] mit gutem Erfolg verwendet wurden.

Thermisch behandelte Kartoffeln zeigen größtenteils keine Entmischung, jedoch ein ausgeprägtes thixotropes Fließverhalten, das während der Förderversuche bei konstanter mechanischer Beanspruchung zu einer Verminderung des Druckverlustes führte und mit Hilfe einer abmessungsunabhängigen Kor-

rekturzahl δ_z berücksichtigt wird [1]:

$$\delta_z = \frac{\tau_w(t_0)}{\tau_w(t_1)} \quad (3)$$

Teilweise wurden konstante Fließbedingungen erst nach t₁ = 50...60 min bei ständigem Umpumpen erreicht.

Gl. (3) stellt zwar eine grobe Vereinfachung des komplizierten thixotropen Verhaltens der Fördermedien dar, läßt jedoch eine hinreichend genaue Abschätzung des Ausgangszustands zu. Systematische Untersuchungen zum thixotropen Verhalten von Kartoffeln konnten nicht durchgeführt werden, und es muß — ausgehend vom konkreten Förderproblem — differenziert abgeschätzt werden, ob δ_z zur Korrektur des errechneten Druckverlustes verwendet wird. Ist die mechanische Belastung vor der Rohrförderung (Vorgeschichte) nicht konkretisierbar, stellt δ_z einen Sicherheitsfaktor dar, der bei der Berechnung nicht vernachlässigt werden sollte. In diesem Fall ist der nach Gl. (2) bestimmte Druckverlust mit δ_z zu multiplizieren.

3. Bemessungsgrundlagen

Die Stoffkennwerte der untersuchten Kartoffeln in den verschiedenartig aufbereiteten Formen und die zur Berechnung notwendigen, gesicherten Fließkennwerte sind in Tafel I zusammengestellt. Folgend werden einige spezielle Fördereigenschaften beschrieben.

3.1. Rohe Kartoffeln

Rohe, gemustete Kartoffeln sind mit Rohrleitungen zur Dämpfmaschine oder direkt in Lagerbehälter zu fördern. Die Zerkleinerung der untersuchten Kartoffeln (Substanz Nr. 1) erfolgte mit Hilfe eines Saftfütterzerkleiners SZ 14 R mit 15-mm-Siebeinsatz. Das Förderverhalten (Bild 1) läßt eine deutliche Abhängigkeit vom Trockensubstanzgehalt und von der Aufbereitungsform erkennen, indem das mit einer Reibe R 600 nachzerkleinerte Konservat (Substanz Nr. 2) aus rohen Kartoffeln ein günstigeres Förderverhalten, d.h. einen geringeren Reibungswiderstand aufweist.

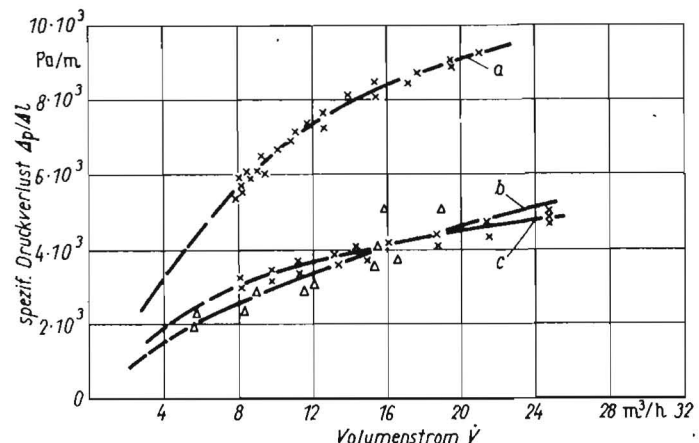


Bild 1
Förderverhalten von rohen, gemusteten Kartoffeln [2] und rohem Kartoffelkonservat im Rohr NW 100 mm;
a Substanz Nr. 2.1
b Substanz Nr. 1
c Substanz Nr. 2.2

Tafel 1 Fließkennwerte von Fördermedien aus verschiedenartig aufbereiteten Kartoffeln

| Sub- staffz Nr. | Form der Kartoffeln | Zusammensetzung | Tr % | Behandlung vor der Einlagerung | nach der Auslagerung | Lagerungs- und Zerkleinerungs- einrichtung | ρ kg/m ³ | ϑ_G °C | ϑ_F °C | δ_γ | Fließkennwerte nach voll- ständigem Thixotropieabbau k N · s ⁿ /m ² n | Literatur- quelle | |
|-----------------------|---|-------------------------------------|---------------|--|--|---|-----------------------------|---------------------|---------------------|-----------------|---|----------------------|-----|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 |
| 1 | rohe, gemuste Kartoffeln | Sorte „Ora“, St = 13,5 % | 20,3 | — | — | Zerkleinerung mit SZ 14 R (15-mm-Sieb) | 1000 | — | 15 | 1,20 | 6,0332 | 0,7078 | [2] |
| 2.1 | rohes Konservat | Konservat u. Saft | 28,1 | gebröckelt, Zugabe von Ameisensäure | gerieben (Reibe R 600) | HS 40 | 1040 | — | 6...9 | 1,25 | 27,645 | 0,5046 | — |
| 2.2 | rohes Konservat | Konservat u. Saft | 25,7 | gebröckelt, Zugabe von Ameisensäure | — | Zwangszuführung zur Pumpe | 1039 | — | 12 | 1,30 | 18,355 | 0,2223 | — |
| 4 | rohes Konservat, gegart | Konservat u. Saft | 23,0 | gebröckelt, Zugabe von Ameisensäure | gerieben (Reibe R 600) u. gegart | HS 40 | — | ≅ 80 | 65...68 | 1,32 | 65,668 | 0,4642 | — |
| 5 | gemuste, gegarte Kartoffeln | Sorte „Ora“, St = 13,5 % | 20,3 | — | — | Zerkleinerung mit SZ 14 R (15-mm-Sieb) | 1040 | ≅ 90 | 81 | 1,35 | 44,763 | 0,4314 | [2] |
| 6 | gemuste, gegarte Kartoffeln | — St = 13 % | 20,0 | — | — | Zerkleinerung mit SZ 14 R (15-mm-Sieb) | — | ≅ 90 | 55...60 | 1,38 | 51,228 | 0,5937 | — |
| 7 | gemuste, gegarte Kartoffeln | Sorte „Ora“, St = 13,5 % | 20,3 | — | — | Zerkleinerung mit SZ 14 R (15-mm-Sieb) | 1040 | ≅ 90 | 45,7 | 1,42 | 145,708 | 0,2862 | [2] |
| 8 | Konservat | — | 15,9 | gemust. gegart, Zugabe von Ameisensäure | — | Zerkleinerung mit SZ 14 R; (15-mm-Sieb) Lagerung im HS 40 | 1052 | ≅ 80 | 21,8...22,8 | 1,38 | 90,910 | 0,1396 | — |
| 9 | Konservat | — | 24,0 | gemust. gegart, Zugabe von Ameisensäure | — | Zerkleinerung mit SZ 14 R; (15-mm-Sieb) Lagerung im HS 40 | — | 60...65 | 16,8...17,8 | 1,48 | 37,770 | 0,2930 | — |
| 10 | Futtermischung aus Kartoffel- Konservat, TMF u. Wasser: $m_K/m_{TMF} = 6:1$ | $\frac{m_K + m_{TMF}}{m_W} = 1:0,3$ | 19,4 | — | Mischung | — | 1050 | ≅ 80 | 20...21 | 1,26 | 45,548 | 0,2395 | — |
| 11 | Futtermischung aus Kartoffel- Konservat, TMF u. Wasser: $m_K/m_{TMF} = 6:1$ | $\frac{m_K + m_{TMF}}{m_W} = 1:0,8$ | 15,9 | — | Mischung | — | 1050 | ≅ 80 | 21...22 | 1,00 | 11,139 | 0,3372 | — |
| 12.1 | roher Kartoffelsaft | Si = 0,34 % | 2,9... 4,2 | — | — | dekantiert | — | — | 20 | 1,00 | $\eta = 1,5 \text{ mPa} \cdot \text{s}$ | — | — |
| 12.2 | | | 5...6 | — | — | | ≅ 1000 | — | — | 1,00 | $\eta = 100 \text{ mPa} \cdot \text{s}$ | — | — |
| 12.3 | | | 6,6 | — | — | | | — | — | 1,00 | $\eta = 300 \text{ mPa} \cdot \text{s}$ | — | — |
| 12.4 | | | 13,1 | — | — | | | — | — | 1,00 | 9,025 | 0,4037 | — |

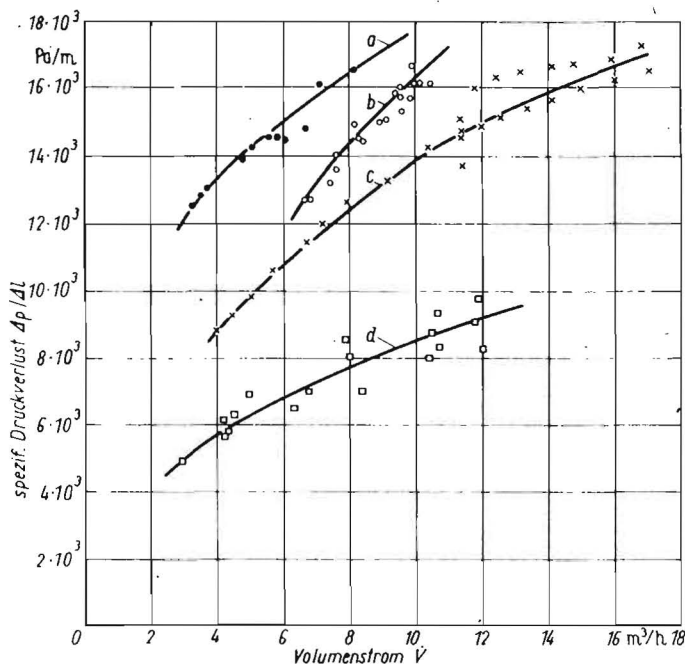


Bild 2. Förderverhalten von frisch gegarteten Kartoffeln im Rohr NW 100 mm in Abhängigkeit von der Temperatur ϑ_F :
 a Substanz Nr. 7
 b Substanz Nr. 6
 c Substanz Nr. 4
 d Substanz Nr. 5

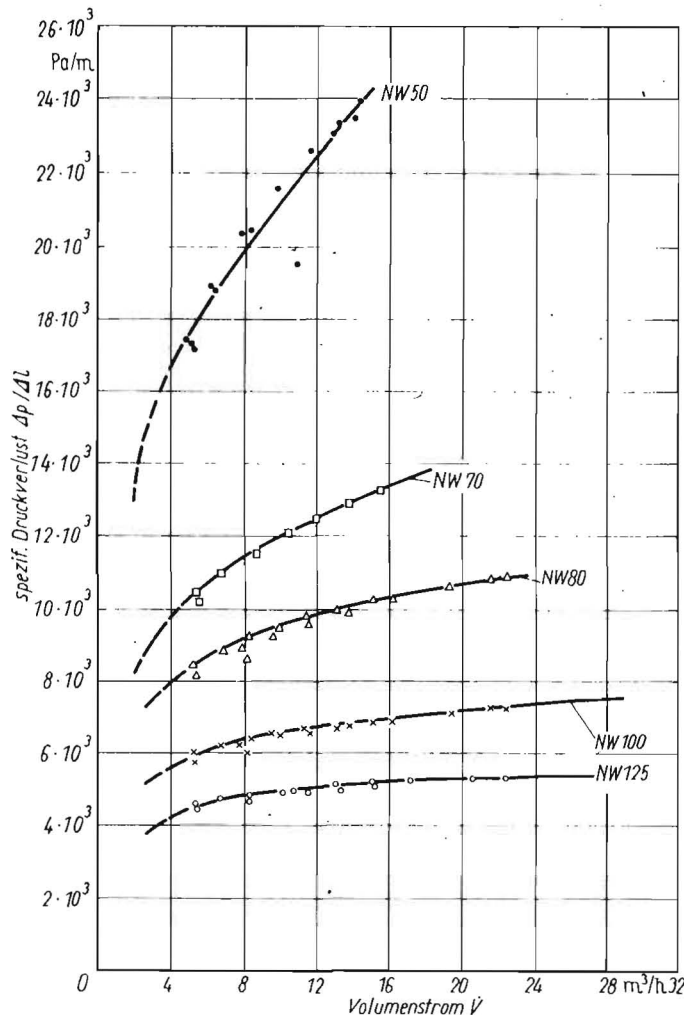


Bild 3. Fördern von gemustert und gegartem Kartoffelkonservat (Substanz Nr. 8)

Rohe, gebröckelte und mit Ameisensäure in dichten Hochsilobehältern konservierte Kartoffeln [6] sind nach der Auslagerung durch weiche Kartoffelteilchen gekennzeichnet, so daß bei kontinuierlicher Saftzuführung eine Nachzerkleinerung nicht notwendig wird. Beim Einsatz einer Zuführschnecke als Zwangszuführung zur Exzentrerschneckenpumpe M 13/2 werden die Konservatbröckel von der Pumpenspindel erfaßt und zerdrückt, so daß sich eine gut förderbare Suspension ergibt.

3.2. Gegarte Kartoffeln

Das Fließverhalten thermisch behandelter Kartoffeln ($\vartheta_G \geq 90^\circ\text{C}$) ist vor allem von der Temperatur des Mediums ϑ_F abhängig (Bild 2). Es zeigen sich hierbei erhebliche Druckverluste, so daß geringste Rohrlängen bei maximaler Temperatur ϑ_F zu wählen sind. Bei der Förderung von der Dämpfmaschine in ein Hochsilo sind zum Beispiel beim Einsatz einer Exzentrerschneckenpumpe M 13/2 und Annahme der Betriebsgrößen $p_{\text{ges}} = 618 \text{ kPa}$, $\dot{V} = 10 \text{ m}^3/\text{h}$, $H_{\text{geo}} = 20 \text{ m}$ und $d = 100 \text{ mm}$ die folgenden maximalen Gesamtförderlängen in Abhängigkeit von der Temperatur realisierbar:

| | |
|---|-----------------------------------|
| $\vartheta_F = 81^\circ\text{C}$; | $l_{\text{ges}} = 48,1 \text{ m}$ |
| $\vartheta_F = 65 \dots 68^\circ\text{C}$; | $l_{\text{ges}} = 29,5 \text{ m}$ |
| $\vartheta_F = 55 \dots 60^\circ\text{C}$; | $l_{\text{ges}} = 25,1 \text{ m}$ |
| $\vartheta_F = 47,5^\circ\text{C}$; | $l_{\text{ges}} = 23,6 \text{ m}$ |

Es ist vor allem eine kontinuierliche Förderung unerlässlich, da bei aussetzendem Betrieb eine Abkühlung der Kartoffeln im Rohr erfolgt, was eine erhebliche Vergrößerung des Förderwiderstands und eine Überlastung der Förderpumpe zur Folge hat. Daher ist nach Beendigung der

Förderung eine gründliche Entleerung und Reinigung der Rohrleitung möglichst mit Warmwasser erforderlich. Oftmals lagert sich trotzdem erkalteter Kartoffelbrei an der Rohrwand an, und man muß beim Anfahrvorgang mit einem um rd. 20 bis 30 % höheren Gesamtdruck p_{ges} rechnen. Es ist zweckmäßig, den Pumpenantrieb mit einem Schaltgetriebe auszurüsten, um den Durchsatz langsam erhöhen zu können und damit eine Überlastung des Pumpenaggregats beim Förderbeginn zu vermeiden. Der Druckverlust von im rohen Zustand mit Ameisensäure chemisch konservierten Kartoffeln, die nach der Auslagerung gegart wurden (Substanz Nr. 4), ist etwa mit dem Förderwiderstand frisch gegarter Kartoffeln vergleichbar.

3.3. Gegarte und konservierte Kartoffeln

Mit $\vartheta_G = 80^\circ\text{C}$ gegarte und anschließend konserviert gelagerte Kartoffeln (Substanz Nr. 8) sind als feucht-krümelig anzusehen und stellen weiterhin auch die Grenze der Pumpfähigkeit dar, wenn der Thixotropieeinfluß ($\delta_z = 1,38$) berücksichtigt wird (Bild 3). Dabei zeigt sich ein etwa gleicher Förderwiderstand wie bei frisch gegarteten Kartoffeln mit $\vartheta_F = 81^\circ\text{C}$ (Substanz Nr. 5). Wird das Konservat vor der Zuführung zur Pumpe mit Wasser im Verhältnis von $m_K/m_W = 3:1$ bis $2:1$ vermischt, indem ein Mischbehälter oder eine Mischschnecke eingesetzt werden, kann mit ausreichenden Förderleistungen gerechnet werden, so daß eine Förderlänge von $l_{\text{ges}} = 150 \text{ m}$ bei o.g. technischen Voraussetzungen angenommen werden kann.

Mit geringerer Gartemperatur ($\vartheta_G = 60 \dots 65^\circ\text{C}$) thermisch behandelte und anschließend mit

Ameisensäure konserviert gelagerte Kartoffeln zeigen ein anderes Fließverhalten. Beim Garprozess quellen die Stärkekörner, indem das vorhandene Wasser langsam aufgenommen wird. Wenn dieser Quellvorgang unterbrochen wird, nachdem die Stärkekörner geplatzt sind, die Stärke jedoch noch nicht vollkommen verkleistert und in Lösung gegangen ist ($\vartheta_F = 59 \dots 62,5^\circ\text{C}$), muß mit einem bestimmten Anteil von nichtgebundenem Wasser (rd. 30%) gerechnet werden, so daß die Fließigenschaften zwar verbessert werden, bei der Lagerung jedoch Entmischungsvorgänge ablaufen, die zu erheblichen technischen Problemen bei der Entnahme aus dem Silobehälter führen können.

3.4. Futtermischungen mit konservierten Kartoffeln

Futtermischungen aus Kartoffelkonservat, Trockenmischfutter (TMF) und Wasser (Substanzen Nr. 10 und 11) können als homogene Suspensionen angesehen werden und sind für die Förderung und Verteilung unproblematisch. Aufgrund der durchgeführten Förderversuche kann für den Einsatz in Großanlagen folgende Futterzusammensetzung empfohlen werden:

Die in Bild 4 dargestellte Abhängigkeit für laminare Rohrströmung [3] [4]

$$\lambda_i = \frac{64}{Re_{\alpha}} \quad (4)$$

mit der verallgemeinerten Reynoldszahl

$$Re_n = \frac{d^n v^{2-n} 8 \rho}{k \left(\frac{6n+2}{n} \right)^n} \quad (5)$$

und der Rohrreibungszahl

$$\lambda = \frac{\Delta p}{\Delta l} \cdot \frac{2d}{v^2 \rho} \quad (6)$$

zeigt die gute Anwendbarkeit des Potenzgesetzes (1) und Gl. (2) zur Berechnung der Druckverluste gerader Rohre für alle untersuchten Aufbereitungsformen der Kartoffeln. Mit den in Tafel 1 angegebenen Fließkennwerten liegen damit gesicherte und übertragbare Bemessungsgrundlagen für die Projektierung von Rohrförderanlagen vor.

Das Widerstandsverhalten von Armaturen und Formstücken wird zweckmäßig in Form der äquivalenten Rohrlänge l^* angegeben [1] [7], und man kann für 90°-Krümmer, T-Stücke (gerade durchströmt und umgelenkte Strömung), Reduzierstücke und voll geöffnete Keilschieber etwa

$$l^* = 2 l_0 \quad (7)$$

mit l_0 als Einbaulänge annehmen.

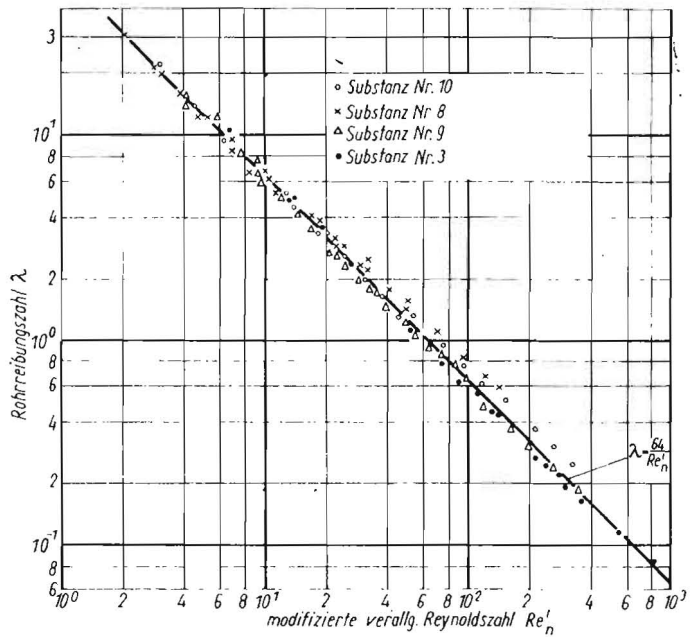
Aus den Teillängen der örtlichen Widerstände l^* und den Teillängen der geraden Rohre l einer NW ergibt sich die Gesamtförderlänge l_{ges} , so daß sich der Gesamtdruckverlust wie folgt errechnet:

$$p_{ges} = \sum (\Delta p / \Delta l) \cdot l_{ges} + H_{geo} \cdot \delta \cdot g. \quad (8)$$

4. Zusammenfassung

Es wurden Förderversuche mit Kartoffeln unterschiedlicher Aufbereitungsformen durchgeführt und gezeigt, daß das Fließverhalten mit dem Potenzgesetz von Ostwald und de Waele Gl. (1) hinreichend genau beschrieben werden kann. Werden die Fließkennwerte mit einem Rohrviskosimeter reproduzierbar bestimmt, ist die Anwendbarkeit auf praktische

Bild 4
Widerstandsverhalten von Kartoffeln unterschiedlicher Aufbereitungsformen beim Fördern in Stahlrohren



Probleme der Rohrförderung mit Hilfe von Gl. (2) gegeben. Die angegebenen Bemessungsgrundlagen (Tafel 1) ermöglichen eine höhere Sicherheit bei der Projektierung von Rohrleitungen für den Transport konzentrierter Dickstoffe im landtechnischen Anlagenbau.

Literatur

[1] Türk, M.: Druckverlust bei der Förderung konzentrierter Futtermischungen mit getrockneten Kartoffeln in Rohrleitungen. *agrartechnik* 27 (1977) H. 3. S. 115—117.

- [2] Freitag, H.: Untersuchungsergebnisse zum Fördern von gemusterten rohen sowie gemusterten gedämpften Kartoffeln. IfM Potsdam-Bornim, Teilbericht 1972 (unveröffentl.).
- [3] Türk, M.: Berücksichtigung der Fließgrenze τ_0 bei der Berechnung der laminaren Rohrströmung landwirtschaftlicher Suspensionen. *agrartechnik* 28 (1978) H. 2. S. 71—74.
- [4] Türk, M.: Berechnung des Druckverlustes bei der Förderung konzentrierter landwirtschaftlicher Suspensionen in Rohrleitungen. *agrartechnik* 26 (1976) H. 10. S. 486—490.
- [5] Türk, M.; Schmidt, H.: Messung des Druckverlustes beim Rohrleitungstransport konzentrierter, grobdisperser Suspensionen. *agrartechnik* 27 (1977) H. 8. S. 367—369.
- [6] Kramer, S.; Oberbarnscheidt, B.; Freitag, H.: Technische Ausrüstung für Hackfruchtstillos. *agrartechnik* 23 (1973) H. 8. S. 376—378.

A 2054

Ergebnisse der Simulation transportverbundener Prozesse bei der Kartoffelernte

Dr. Liselotte Dumack, Forschungszentrum für Mechanisierung der Landwirtschaft Schlieben/Bornim der AdL der DDR

Eine der Aufgaben, die der IX. Parteitag der SED der Land-, Forst- und Nahrungsgüterwirtschaft gestellt hat, lautet: „Auch in den kommenden Jahren führen wir den wissenschaftlich-technischen Fortschritt in großer Breite in die Landwirtschaft ein“. Teile davon bilden die komplexe Mechanisierung und die weitere Ausgestaltung der materiell-technischen Basis. Sie sind „unter dem Gesichtspunkt der höchsten Effektivität durchzuführen“. [1]

1. Einleitung

Die Einführung neuer Maschinensysteme in der Kartoffelproduktion erfordert die Abstimmung der Leistung der beteiligten Maschinen beim Komplexeinsatz und die Ermittlung der günstigsten Varianten.

Der Prozeßabschnitt Ernte—Transport—Annahme wurde mit einem stochastischen Simulationsmodell nachgebildet [2]. Im Modell wird der zeitliche Ablauf einer zyklischen Aufeinanderfolge von Arbeitsgängen mit Zufallscharakter simuliert. Bis 15 Arbeitsgänge können in das Modell aufgenommen werden. An einer beliebigen Anzahl „Schalter“ können bis 45 „Kunden“ bedient werden. Jeder Arbeitsgang kann ein „Warteschlangen-Arbeitsgang“ sein, für einen kann ein „Puffer“ vorgesehen werden.

Im untersuchten Fall gliedert sich ein Zyklus in die Arbeitsgänge Beladen, Lastfahrt, Wiegen, Vorbereiten, Entladen, Nachbereiten und Leerfahrt. Beim Be- und Entladen wurden auch Störungen simuliert. Die Grundlagen zur Errechnung der Häufigkeitsverteilungen für die

Dauer dieser Arbeitsgänge lieferten Messungen in der KAP Burgwerben und in der ALV-Anlage Zörbig [3].

Berechnet wurden mit dem Modell die Anzahl der benötigten Transporteinheiten (TE), die Transportleistung und die Wartezeiten bei 3, 6, 9 und 12 km Transportentfernung (E) für Erntekomplexe mit 3 bzw. 4 Erntemaschinen (EM) vom Typ E 684 und mit 2 Annahmestellen bzw. bei Behältertransport mit nur einem 6-t-Gabelstapler zum Entladen.

Ziel der Berechnungen war vorrangig der Vergleich unterschiedlicher Annahmevarianten und die optimale Abstimmung zwischen Ernte, Transport und Annahme. Die leistungsfähigsten dieser Varianten 1 bis 6 (Tafel 1) wurden in einem zweiten Schritt als Vorzugsvarianten