

KFK-64

KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE

JUNI 1961

KFK 64

INSTITUT FÜR HEISSE CHEMIE

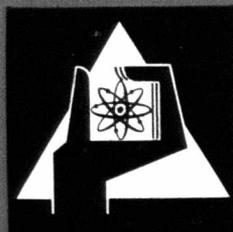
PNEUMATISCHE FÖRDERUNG UND DOSIERUNG RADIOAKTIVER LÖSUNGEN IM
LABORMASSSTAB

HEINZ SCHOLZ

KERNREAKTOR

Bau- und Betriebs-Gesellschaft m. b. H.
Verwaltung der Zentralbücherei

19. SEP. 1961



KERNREAKTOR

BAU- UND BETRIEBS-GESELLSCHAFT M. B. H.

KARLSRUHE

KERNREAKTOR
 Bau- und Betriebs-Gesellschaft m. b. H.
 Verwaltung der Zentralbücherei

Pneumatische Förderung und Dosierung radioaktiver Lösungen im Labormaßstab

Von Heinz Scholz Institut für Heiße Chemie, Kernreaktor Bau- und Betriebsgesellschaft Karlsruhe*

Zusammenfassung

Da Dosierpumpen für kleine Flüssigkeitsmengen nicht erhältlich bzw. für radioaktive Lösungen ungeeignet sind, wurde eine pneumatische Dosierpumpe für den Labormaßstab entwickelt. Es zeigte sich entgegen bisherigen Vorstellungen (vgl. Literaturangaben), daß man auch sehr kleine Flüssigkeitsmengen mit guter Reproduzierbarkeit pneumatisch fördern kann.

Der besondere Vorteil der pneumatischen Flüssigkeitsförderung besteht darin, daß im radioaktiven Bereich der Anordnung keine mechanisch bewegten Teile und Schmierprobleme vorhanden sind und damit keine Verunreinigung der zu fördernden Flüssigkeit durch Schmiermittel oder Abrieb auftreten kann. Zur Erzeugung des Transportgasdruckes empfehlen sich Membranpumpen, da bei Kolbenpumpen oder Drehschieberpumpen das Transportgas Ölnebel enthält. Man kann das Transportgas auch Stahlflaschen entnehmen (so daß eine Förderung mit Schutzgas möglich ist). Bei starker Kontamination ist der radioaktive Teil der Flüssigkeitspumpe ohne großen Material- und Kostenaufwand zu ersetzen. Die Anlagen haben sich in Dauerversuchen ausgezeichnet bewährt und bedürfen keiner Wartung.

1. Einführung

Bereits 1797 wurde die Möglichkeit einer pneumatischen Flüssigkeitsförderung zur Entwässerung von Bergwerken durch Loescher vorgeschlagen. Bei der Entwässerung von Gruben wurde das Verfahren auch erstmals technisch durchgeführt. Zur Zeit verwendet man pneumatische Flüssigkeitspumpen in der Erdölindustrie.

Neuere amerikanische Arbeiten [1, 2, 3] untersuchten die Verwendbarkeit von pneumatischen Pumpen für den Transport hochradioaktiver Flüssigkeiten. Es werden Pumpen (air lifts) im technischen bzw. halbtechnischen Maßstab beschrieben, die mit Rohrquerschnitten von 4,6 ... 50,8 mm arbeiten.

* Den Herren Rammelmann und Schuler wird für die freundliche Mitarbeit gedankt.

Dabei werden Flüssigkeitsmengen von 0,2 ... 50 l/min gefördert.

Der besondere Vorteil von pneumatischen Pumpen für radioaktive Flüssigkeiten besteht darin, daß im Bereich der radioaktiven Lösungen keine mechanisch bewegten Teile vorhanden sind und daher keine Dichtungs- und Wartungsprobleme auftreten. Eine Verunreinigung der zu transportierenden radioaktiven Flüssigkeiten durch Dichtungs- und Schmiermittel ist ausgeschlossen.

Den Mechanismus technischer pneumatischer Pumpen im Schema zeigt Abb. 1. In einem weiten Steigrohr wird durch das eintretende Transportgas eine Art Schaum geringer Dichte erzeugt. Eine Flüssigkeitsförderung kommt dann zustande, wenn der Druck der Schaumsäule auf den Steigrohrquerschnitt am Lufteintritt kleiner wird als der durch die Flüssigkeitssäule h_1 im Nachlaufgefäß ausgeübte hydrostatische Druck. Dieser Fall tritt erst ein, wenn ein Teil des Schaumes den Überlauf erreicht hat.

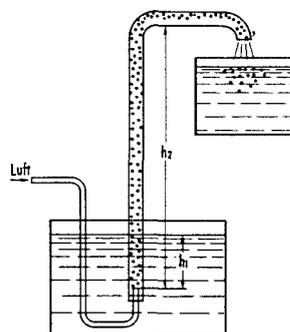


Abb. 1:
 Schema einer pneumatischen Pumpe

Im Rahmen von Laboratoriumsuntersuchungen über Extraktionen wurden Dosierpumpen für inaktive und radioaktive Lösungen benötigt, die teilweise in Kreisläufen gefördert werden sollten. Die Fördermengen sollten 1 bis 1000 cm³/h

betragen und innerhalb einer Zehnerpotenz mit einer relativen Genauigkeit von wenigen Prozenten regelbar sein. Das angewendete Verfahren beruht nun nicht auf einer Schäumförderung, sondern auf einer periodisch diskontinuierlichen Verdrängung bestimmter Flüssigkeitsvolumina durch einen definierten Luftstrom. Während bei dem technischen Prozeß Schwierigkeiten bei der Phasentrennung Flüssigkeit/Transportgas im Überlaufgefäß auftreten [1] und das Abgas durch Aerosole verunreinigt wird, sind diese Effekte bei der diskontinuierlichen Förderungsweise nicht zu beobachten, da kein Schaum vorliegt und die Transportmengen klein sind. Die im folgenden beschriebene Anordnung gestattet über lange Zeiten die Dosierung von Flüssigkeiten mit einer Reproduzierbarkeit, die besser als 5% ist.

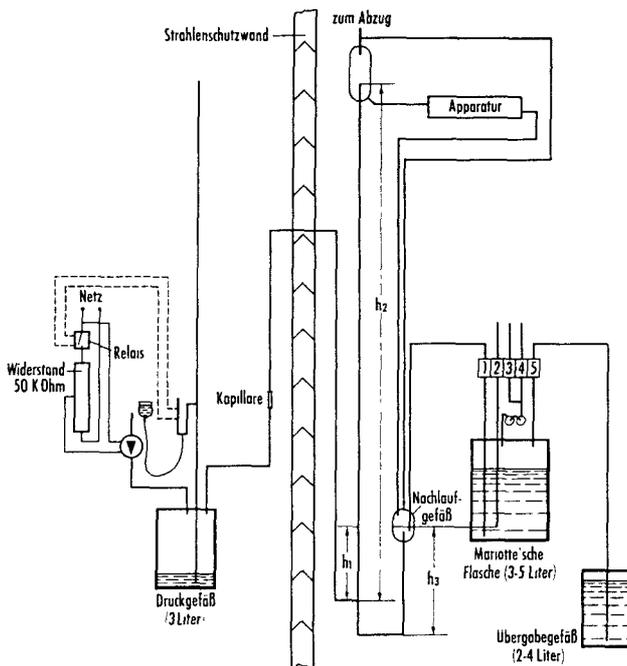


Abb. 2: Schema der verwendeten Apparatur.

2. Beschreibung der verwendeten Apparatur

Die Apparatur setzt sich aus 2 Teilen zusammen (Abb. 2), und zwar wird im »inaktiven« Teil (außerhalb der Strahlenschutzwand) ein konstanter Luftdruck von 50...200 cm WS erzeugt; im abgeschirmten »radioaktiven« Teil erfolgt die Flüssigkeitsförderung.

Als Luftpumpe dient ein handelsüblicher Aquariumsbelüfter (Membranluftpumpe), der die Luft in einen Druckbehälter fördert (3-Liter-Polyäthylenflasche, etwa 30 mm hoch mit Wasser gefüllt). Das Wasser wird in einem bis auf den Boden reichenden Rohr hochgedrückt und löst beim Erreichen einer vorher eingestellten Höhe über einen Quecksilberschalter eine Amplitudenverkleinerung der Pumpenmembranschwingung und damit eine Drosselung des nachgelieferten Luftstromes aus (vgl. Schema). Mit dieser Anordnung ist eine Druckkonstanz von 1% erreichbar, während bei direkter Ein-Aus-Regelung der Pumpe der Druck periodisch um etwa 10% schwankt. Durch geeignete Wahl des Potentiometerabgriffes läßt sich der Druck nach oben begrenzen. Die Höhe der Wassersäule ist durch Veränderung der Quecksilbermenge im Regelmanometer von etwa 50 bis 200 cm willkürlich einstellbar. Vom Druckgefäß strömt die Luft unter dem vorgegebenen Druck durch eine geeignet

gewählte Glaskapillare zur Flüssigkeitspumpe. Das engere Ende der Kapillare soll zur Druckflasche hin gerichtet sein, damit keine Verstopfung durch Staubteilchen usw. auftreten kann. Die Durchführung der Luftleitung durch die Strahlenschutzwand muß höher liegen als alle Flüssigkeitsniveaus auf der Einspeisungsseite der Förderpumpe, um einen Übergang von radioaktivem Material in den nicht strahlengeschützten Bereich in jedem Fall zu vermeiden.

Die der Kapillare entströmende Luft trennt an ihrer Eintrittsstelle in das Steigrohr der Flüssigkeitspumpe einen Flüssigkeitsfaden der Länge h_1 ab und drückt ihn in die Höhe. Wenn die geförderte Flüssigkeitsmenge oben überläuft, fließt unten durch das U-Rohr ein entsprechendes Volumen nach, das wiederum abgerissen und hochgefördert wird. Im Überlaufgefäß trennt sich die Flüssigkeit von der Transportluft, die zum Abzug geleitet wird. Die Flüssigkeit gelangt zur »Apparatur« und läuft bei Kreislaufanordnungen vom Ausgang der Apparatur zurück zum Nachlaufgefäß der Flüssigkeitspumpe.

Die Druckausgleichsleitung dieses Gefäßes wird ebenfalls dem Abzug zugeführt. Die Konstanz des Flüssigkeitsniveaus im Nachlaufgefäß und damit im U-Rohr wird durch eine Mariottesche Flasche gewährleistet. (Das Niveau ist festgelegt durch die Grenze Luft—Flüssigkeit am unteren Ende des Niveauröhres.) Bei Kreisläufen werden aus der Mariotteschen Flasche nur die Verdampfungsverluste kompensiert. Die Differenz zwischen h_3 und h_1 soll mindestens 10 cm betragen, damit die aus der Kapillare strömende Luft nicht durch das Zulaufrohr entweicht. Der Durchbruch von Förderluft zur Einspeisungsseite begrenzt die erreichbare Förderleistung einer gegebenen Anordnung. In Abb. 3 sind die maximal förderbaren Flüssigkeitsmengen (wäßrige Lösungen) für den Fall einer Differenz $h_3 - h_1 = 10$ cm ($h_3 = 2 h_1$) bei 1 m Förderhöhe für verschiedene Rohrquerschnitte dargestellt. Man erkennt, daß für eine maximale Förderung verdünnter wäßriger Lösungen durch periodisch diskontinuierliche Verdrängung der günstigste Rohrdurchmesser bei 4 mm liegt. Für organische Lösungsmittel ergaben sich wegen des komplexen Einflusses von Viskosität und Kapillarität andere optimale Rohrquerschnitte. Zur Erzielung gleicher Fördermengen sind dann im allgemeinen auch andere Werte für h_1 und h_3 zu wählen.

3. Abhängigkeit der Förderleistung von den experimentellen Gegebenheiten

Betrachtet man eine gegebene Anordnung, so ist bei Förderung durch periodisch diskontinuierliche Volumenverdrängung die geförderte Flüssigkeitsmenge in erster Näherung proportional der Druckdifferenz vor und hinter der Kapillare. Bei einer gegebenen Submergenz h_1/h_2 (vgl. Abb. 2) ist das geförderte Flüssigkeitsvolumen für wäßrige Lösungen unabhängig von der Förderhöhe h_2 . Will man bei kleinen Förderleistungen (Größenordnung ml/h) die Förderintervalle klein halten, so kann man auf geringere Steigrohrquerschnitte übergehen. Bei einer gegebenen Kapillare ändert sich die Fördermenge dann kaum, da diese im wesentlichen vom Verhältnis $h_1 : h_2$ bestimmt wird. Nur die Anzahl der Förderungen nimmt etwa umgekehrt proportional zum Steigrohrquerschnitt zu. Es ist z. B. möglich, 1 ml/h in Teilmengen von 0,05 ml zu fördern.

Bei konstantem Δp und relativ großer Förderleistung schlägt oberhalb einer bestimmten Submergenz die diskontinuierliche Förderung in den Fördermechanismus von technischen air lifts um. Damit verschwindet die Tendenz der Transportluft, durch das Zulaufrohr nach der Einspeisungsseite zu entweichen.

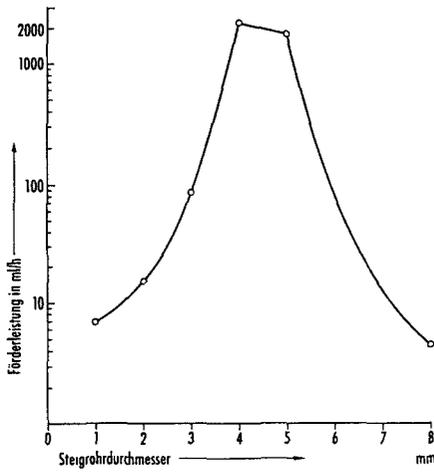


Abb. 3: Geförderte Wassermenge in Abhängigkeit vom Rohrdurchmesser bei sonst konstant gehaltenen Bedingungen. $h_1 = 10$ cm, $h_3 = 20$ cm, $h_2 = 100$ cm.

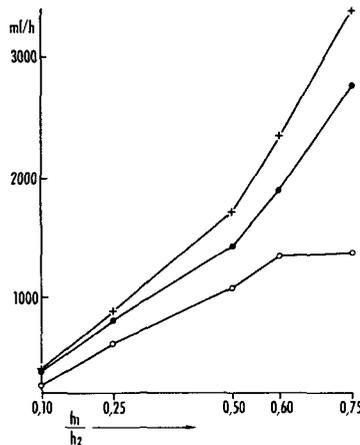


Abb. 5:
 + H_2O $\rho = 1,001$
 ● NaCl-Lösung $\rho = 1,196$
 ○ $Ca(NO_3)_2$ -Lösung $\rho = 1,495$

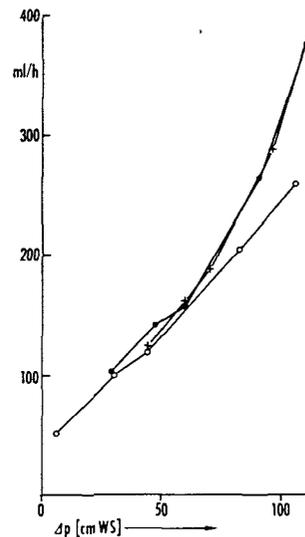


Abb. 6:
 $\Delta p = P - \rho \cdot h_1$
 $P = 119$ cm WS
 Δp in cm WS
 + H_2O $\rho = 1,001$
 ● NaCl-Lösung $\rho = 1,196$
 ○ $Ca(NO_3)_2$ -Lösung $\rho = 1,495$

Im Idealfall kann man mit einem Volumen Luft $\frac{h_1}{h_2 - h_1}$ Volumina Flüssigkeit fördern. Für eine Submergenz von 0,1 beträgt die geförderte Flüssigkeitsmenge also z. B. 0,111 des Luftvolumens. Der Vergleich der bei verschiedenen Submergenzen geförderten Flüssigkeitsmengen kann durch Umrechnung auf eine bestimmte Submergenz erfolgen. Der Umrechnungsfaktor auf die Submergenz 0,1 ist in Abb. 4 dargestellt.

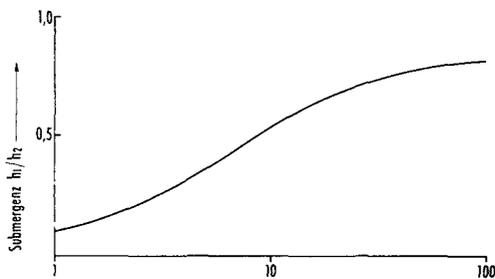


Abb. 4: Reduktionsfaktoren zur Umrechnung auf $h_1/h_2 = 0,1$.

In Abb. 5 sind die Versuchsergebnisse mit einer gegebenen Anordnung für verschiedene Submergenzen und Flüssigkeiten verschiedener Dichte aufgetragen. Rechnet man diese Werte nach Abb. 4 auf die Submergenz 0,1 um und setzt sie in Beziehung zu dem an der Kapillare wirksamen Differenzdruck Δp , so erhält man Abb. 6. Δp ergibt sich (vgl. Abb. 2) als Differenz zwischen dem in der Druckflasche herrschenden Druck P und dem hydrostatischen Druck ρh_1 der zu transportierenden Flüssigkeitssäule.

Aus Abb. 6 ist zu erkennen, daß im mittleren Bereich der Kurven die Abhängigkeit der geförderten Flüssigkeitsmenge von der Dichte gering ist. Die bei großen Fördermengen von $Ca(NO_3)_2$ -Lösung auftretende Abweichung (vgl. auch Abb. 5) ist im wesentlichen der hohen Viskosität dieser Lösung zuzuschreiben. Da die Zusammenhänge zwischen Viskosität, Grenzflächenspannung usw. nicht übersehbar sind, muß man die Anordnung insbesondere für den Fall organischer und konzentrierter wäßriger Lösungen bei verschiedenen P eichen. Für eine gegebene Kapillare läßt sich durch den in der Druckflasche einstellbaren Druck die geförderte Flüssigkeitsmenge um einen Faktor von etwa 2 bis 4 verändern. Mit einem Satz verschiedener Kapillaren, die sich untereinander

nach Art von Widerständen kombinieren lassen, kann man die Fördermenge innerhalb weiter Grenzen variieren.

Tab. 1: Ventilprogramm

Ventilnummer	1	2	3	4	5	
1.	×	×	×	×	×	1. Ausgangsposition: Alle Ventile sind geschlossen.
2.	×	×	×	×	—	2. Ventil 5 öffnen.
3.	×	×	×	—	—	3. Ventil 4 unter Beobachtung des Blasenzählers langsam öffnen.
4.	×	×	×	×	—	4. Ventil 4 schließen, wenn die Lösung aus dem Übergabegefäß in die Mariottesche Flasche überführt ist
5.	×	×	×	×	×	5. Ventil 5 schließen.
6.	—	×	×	×	×	6. Ventil 1 öffnen.
7.	—	×	—	×	×	7. Ventil 3 langsam öffnen, Blasenähler beobachten.
8.	—	×	×	×	×	8. Nachdem über Ventil 1 die Flüssigkeit in das Nachlaufgefäß zu fließen beginnt, Ventil 3 schließen.
9.	×	×	×	×	×	9. Ventil 1 schließen.
10.	×	×	×	—	×	10. Ventil 4 langsam öffnen.
11.	×	—	×	—	×	11. Ventil 2 öffnen.
12.	×	—	×	×	×	12. Ventil 4 schließen, wenn aus dem Niveauröhr Luftblasen durch die Flüssigkeit perlen.
13.	—	—	×	×	×	13. Ventil 1 öffnen. Es stellt sich nun automatisch das durch das Niveauröhr fixierte Niveau im Nachlaufgefäß ein.

4. Inbetriebnahme der Anlage mit radioaktiver Lösung

Da es wegen der Kontaminationsgefahr beim Füllen der Mariotteschen Flasche auf eine genaue Einhaltung des Ventilprogramms (Tab. 1) ankommt, wird das Schema der Ventilbedienung in allen Einzelschritten beschrieben. Es ist besonders darauf zu achten, daß die Ventile für Druck und Vakuum (Ventil 3 und 4 in Abb. 2) nur sehr vorsichtig und langsam betätigt werden dürfen. Das Übergabegefäß ist aus Sicherheitsgründen kleiner zu wählen als die Mariottesche Flasche. In dem oben angegebenen Ventilprogramm bedeutet — Ventil geöffnet, × Ventil geschlossen.

(Eingegangen am 23. 9. 1960)

Literatur

- [1] Kearsley, G. W. T.: Use of an air lift as a metering pump for radioactive solutions. ORNL 2175
- [2] Chamberlain, H. V.: Factory affecting capacity of air lifts. AEC-Research and Development Report, IDO 14 398, 1957
- [3] Fowler, A. H., and G. R. Jasny: Air-lift pumps in multicolumn plants. Chemical Engineering Progress 55, 1, 65 (1959).