



# **KERNFORSCHUNGSANLAGE JÜLICH GmbH**

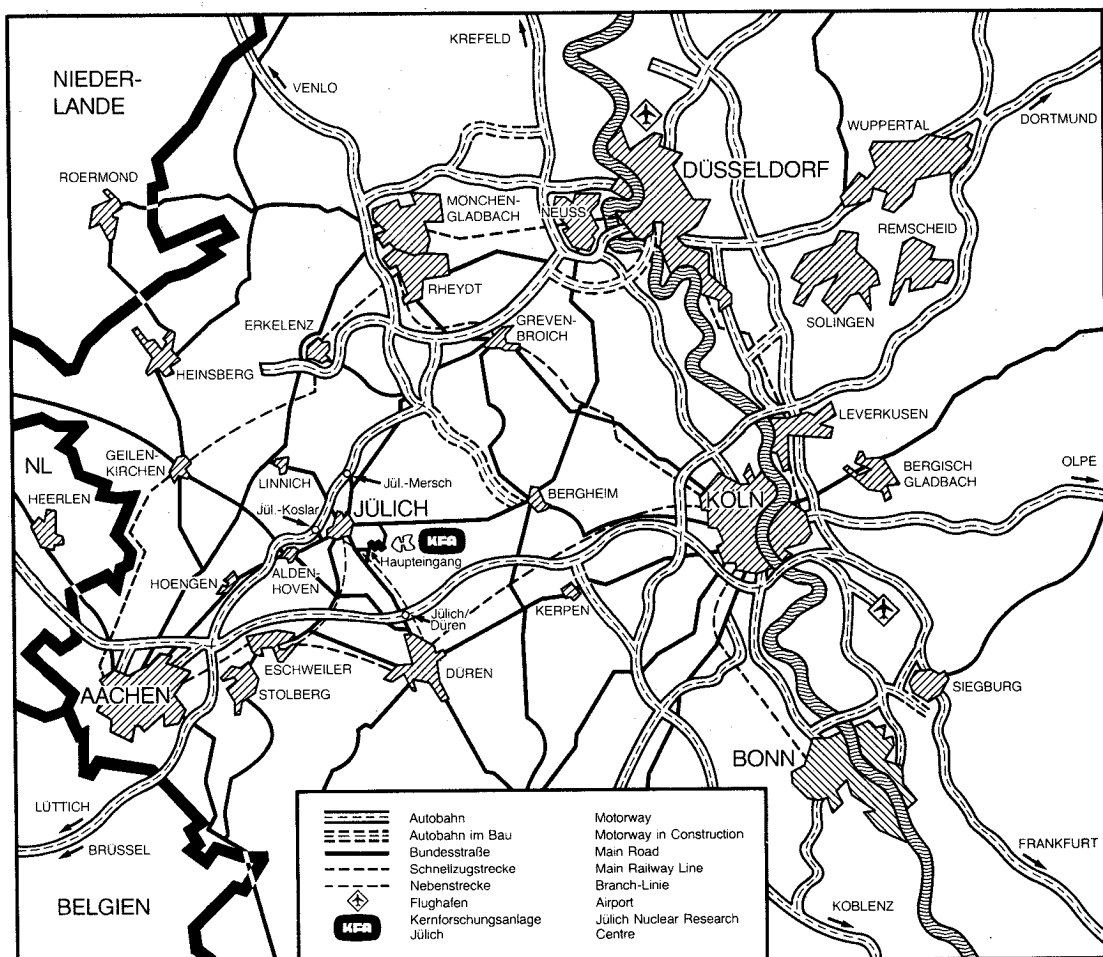
Institut für Chemische Technologie  
der Nuklearen Entsorgung  
Association EURATOM - KFA

## **Auslegungsdaten, Kondensatverteiler und Kondensator für eine Destillationskolonne zur Anreicherung von Tritium in metallischem Lithium**

von

E. Barnert

Jül - 1885  
Januar 1984  
ISSN 0366-0885



Als Manuskript gedruckt

## **Berichte der Kernforschungsanlage Jülich – Nr. 1885**

Institut für Chemische Technologie  
der Nuklearen Entsorgung

Jül – 1885

Association EURATOM - KFA

Zu beziehen durch: ZENTRALBIBLIOTHEK der Kernforschungsanlage Jülich GmbH

Postfach 1913 · D-5170 Jülich (Bundesrepublik Deutschland)

Telefon: 02461/610 · Telex: 833556-0 kf d

**Auslegungsdaten, Kondensatverteiler und  
Kondensator für eine Destillationskolonne  
zur Anreicherung von Tritium  
in metallischem Lithium**

von

E. Barnert

DESIGN DATA, LIQUID DISTRIBUTORS AND CONDENSER  
FOR A DISTILLATION COLUMN TO ENRICH  
TRITIUM IN METALLIC LITHIUM

by

Eike Barnert

ABSTRACT

Tritium, one fuel component of the fusion reactor is bred from the reactors blanket material lithium. Before extracting the tritium from, for instance, metallic lithium by permeation it has to be enriched in the lithium by high temperature distillation.

In this report design data for a column for high temperature distillation are given.

About the testing of two distributors for small liquid quantities and of a condenser is reported.

AUSLEGUNGSDATEN, KONDENSATVERTEILER UND KONDENSATOR  
FÜR EINE DESTILLATIONSKOLONNE ZUR ANREICHERUNG  
VON TRITIUM IN METALLISCHEM LITHIUM

von

Eike Barnert

KURZFASSUNG

Die Brennstoffkomponente Tritium für den Fusionsreaktor wird aus Lithium, dem Blanketmaterial des Reaktors, erbrütet. Zur Abtrennung des Tritiums aus metallischem Lithium durch einen Permeationsschritt ist eine vorherige Anreicherung des Tritiums im Lithium mittels Hochtemperaturdestillation erforderlich.

In der vorliegenden Arbeit werden Auslegungsdaten für eine Kolonne zur Hochtemperaturdestillation mitgeteilt, über Versuche mit zwei Kondensatverteilern für geringe Flüssigkeitsmengen berichtet sowie ein Kondensator vorgestellt, der gleichzeitig als Verteiler dient.



Ich danke Herrn Hans-Dieter Hausmann für die Durchführung  
der Versuche sowie für die Anfertigung der Zeichnungen.



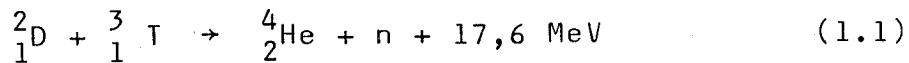
## INHALTSVERZEICHNIS

|                                                    | Seite |
|----------------------------------------------------|-------|
| 1. EINLEITUNG                                      | 1     |
| 2. DATEN FÜR DIE HOCHTEMPERATURDESTILLATION        | 2     |
| 2.1    Allgemeines                                 | 2     |
| 2.2    Auslegung der Destillationskolonne          | 2     |
| 2.2.1    Randbedingungen                           | 2     |
| 2.2.2    Anreicherungsfaktor                       | 3     |
| 2.2.3    Modifiziertes McCabe-Thiele-Diagramm      | 4     |
| 2.2.4    Flutgeschwindigkeit, Kolonnen-durchmesser | 7     |
| 3. KONDENSATVERTEILER                              | 9     |
| 3.1    Allgemeines                                 | 9     |
| 3.2    Kapillarverteiler                           | 10    |
| 3.2.1    Grundlagen                                | 10    |
| 3.2.2    Aufbau des Verteilers                     | 13    |
| 3.2.3    Versuchsdurchführung                      | 16    |
| 3.2.4    Versuchsergebnisse und deren Diskussion   | 16    |
| 3.2.5    Anpassung des Verteilers                  | 21    |
| 3.3    Schwerkraftverteiler                        | 21    |
| 3.3.1    Grundlagen                                | 21    |
| 3.3.2    Aufbau des Verteilers                     | 22    |
| 3.3.3    Versuchsdurchführung                      | 24    |
| 3.3.4    Versuchsergebnisse und deren Diskussion   | 25    |
| 3.3.5    Anpassung des Verteilers                  | 27    |
| 4. KONDENSATOR                                     | 27    |
| 4.1    Allgemeines                                 | 27    |
| 4.2    Aufbau des Kondensators                     | 28    |
| 4.3    Versuchsdurchführung und Ergebnisse         | 30    |
| 5. ZUSAMMENFASSUNG                                 | 33    |
| 6. LITERATURVERZEICHNIS                            | 34    |



## 1. EINLEITUNG

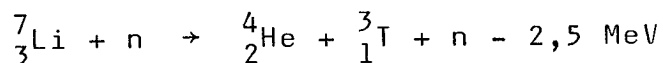
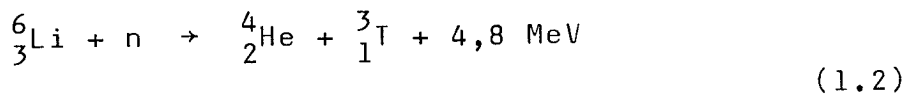
Von den vorgeschlagenen Kernfusionsreaktionen zur Energiegewinnung hat die Reaktion zwischen Deuterium und Tritium



die beste Aussicht auf Verwirklichung, da ihre Durchführung die niedrigste Plasmatemperatur erfordert /1/.

Das für diese Reaktion benötigte Deuterium ist in der Natur in genügenden Mengen vorhanden. Es wird durch destillative Isotopenanreicherungsverfahren gewonnen.

Vom außerdem benötigten radioaktiven Tritium gibt es auf der Erde keine natürlichen Vorräte, da seine Halbwertszeit lediglich 12,3 Jahre beträgt. Es wird daher aus dem Blanketmaterial Lithium durch Bestrahlung mit thermischen Neutronen gemäß der Gleichungen



erbrütet.

Für jedes der bei der Reaktion (1.1) verbrannten Tritiumatome muß aus dem Lithium, das je nach Konzept als Metall, Verbindung oder Legierung vorliegt, mindestens ein neues Tritiumatom entsprechend Gleichungen (1.2) erbrütet werden.

Das erbrütete Tritium wird aus dem Brutmaterial extrahiert und steht so als eine Brennstoffstoffkomponente für die Kernfusionsreaktion (1.1) zur Verfügung.

Für die Extraktion des Tritiums aus dem Brutstoff gibt es verschiedene Möglichkeiten /2/. Eine dieser Möglichkeiten ist die Anreicherung von Tritium in metallischem Lithium durch eine Hochtemperaturdestillation mit der anschließenden Abtrennung des Tritiums unter Anwendung eines Permeationsschrittes /2/.

Im Institut für Chemische Technologie der Nuklearen Entsorgung der Kernforschungsanlage Jülich, Jülich, wird am Bau einer Anlage gearbeitet, mit der die Möglichkeit der Anreicherung von Tritium in metallischem Lithium auf destillativem Wege demonstriert werden soll. Aus praktischen Gründen soll jedoch das Tritium vorerst durch Deuterium ersetzt werden.

## 2. DATEN FÜR DIE HOCHTEMPERATURDESTILLATION

### 2.1 Allgemeines

Untersuchungen von H.R. IHLE und C.H. WU /3/ mit dem System Lithium - Deuterium haben gezeigt, daß eine Anreicherung von Tritium in metallischem Lithium auf destillativem Wege grundsätzlich möglich ist. Allerdings sind hierzu hohe Temperaturen erforderlich.

Nach IHLE und WU ist der Anreicherungsfaktor R

$$R = \frac{x_{Dg}}{x_{Dl}} = (1)_T = 1240 \text{ K}, \quad (2.1)$$

wobei  $x_{Dg}$  und  $x_{Dl}$  die Konzentrationen des Deuteriums in der flüssigen bzw. in der gasförmigen Phase des Lithium-Deuterium-Systems darstellen. Für  $R \geq 1$ , d. h. zur Anreicherung von Deuterium in Lithium auf destillativem Wege ist eine Temperatur erforderlich, die mindestens über  $T = 1240 \text{ K}$  liegt. R steigt jedoch mit der Temperatur exponentiell an, so daß eine geringe Temperaturerhöhung über  $T = 1240 \text{ K}$  hinaus eine entsprechende Vergrößerung des Anreicherungsfaktors ergibt /3/.

### 2.2 Auslegung der Destillationskolonne

#### 2.2.1 Randbedingungen

Nach C.H. WU /4/ kann davon ausgegangen werden, daß im System Lithium - Deuterium bei einer Temperatur von  $T = 1273 \text{ K}$  und einer Konzentration des Deuteriums in metallischem Lithium von

100 ppm, Lithium und Lithiumdeuterid in folgender Form vorliegen.

In der flüssigen Phase:

Lithium als Li

Lithiumdeuterid als LiD

In der gasförmigen Phase:

Lithium als Li,  $\text{Li}_2$ ,  $\text{Li}_3$ , wobei der Anteil von  $\text{Li}_3$  vernachlässigbar gering ist.

Lithiumdeuterid als LiD,  $\text{Li}_2\text{D}$ , wobei mit steigender Temperatur der Anteil von  $\text{Li}_2\text{D}$  überwiegt.

Für die Auslegungsrechnung wird vereinfachend angenommen, daß die flüssige bzw. die gasförmige Phase des Li-D-Systems in der oben durch unterstreichen gekennzeichneten Form vorliegt, d. h.

flüssige Phase:            nur Li

gasförmige Phase:        nur Li und  $\text{Li}_2\text{D}$ .

Die Anreicherung von Lithiumdeuterid im metallischen Lithium soll, ausgehend von einer Konzentration von 10 ppm  $\text{Li}_2\text{D}$  im Lithium, um den Faktor 100, auf 1000 ppm erfolgen. Der Abreicherungsfaktor ist 10, d. h. von 10 ppm auf 1 ppm.

Die Kolonne soll als Füllkörperkolonne ausgelegt werden.

## 2.2.2 Anreicherungsfaktor

Der Anreicherungsfaktor (Gleichung (2.1)) ist definiert als

$$R = \frac{p_{*1}}{p_{*2}}, \quad (2.1a)$$

wobei  $p_*$  die Dampfdrücke der einzelnen Komponenten bei gegebener Temperatur sind.

Zwischen Dampfdruck  $p_*$  und Partialdruck  $p$  gilt das Raoult'sche

Gesetz.

$$\begin{aligned} p_{*1} &= \frac{p_1}{x_1} \\ p_{*2} &= \frac{p_2}{x_2} \end{aligned} \quad (2.2)$$

Dies in Gleichung (2.1a) eingesetzt, ergibt

$$\begin{aligned} R &= \frac{p_1}{x_1 p_{*2}} \\ R &= \frac{x_2 p_{*1}}{p_2} \end{aligned} \quad (2.3)$$

Abhängig von der Temperatur ergeben sich z. B. die in Tabelle (2.1) angegebenen Anreicherungsfaktoren.

| T<br>K | $x_{\text{Li}_2\text{D}}$<br>- | $p_{* \text{Li}}/5/Torr$ | $\ln p_{\text{Li}_2\text{D}}/3/atm$ | R<br>- |
|--------|--------------------------------|--------------------------|-------------------------------------|--------|
| 1273   | $10^{-5}$                      | 40                       | - 15                                | 1,043  |
| 1323   | $10^{-5}$                      | 68                       | - 13,5                              | 1,564  |
| 1373   | $10^{-5}$                      | 110                      | - 12,8                              | 1,907  |

Tabelle (2.1)

Anreicherungsfaktor der Komponente  $\text{Li}_2\text{D}$  in der Gasphase in Abhängigkeit von der Temperatur

### 2.2.3 Modifiziertes McCabe-Thiele-Diagramm

Für die kontinuierliche Destillation ergeben sich laut Abb. 2.1 folgende Massenbilanzen

$$Z = D + S \quad (2.4)$$

$$V = R + D \quad (2.5)$$

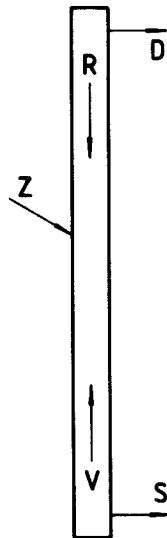


Abb. 2.1

Massenströme bei der kontinuierlichen Destillation (Rektifikation)

Hierbei bedeuten

- Z - Zulauf
- D - Destillat
- S - Sumpfprodukt
- V - Dampf
- R - Rücklauf

Die bei binären Systemen zur Bestimmung der theoretischen Trennstufen einer Kolonne praktischerweise verwendete Methode von McCabe-Thiele versagt in ihrer ursprünglichen Form für Systeme mit sehr geringer oder sehr hoher Produktkonzentration. Eine Alternative für diese Fälle geben P.J. HORVATH und R.F. SCHUBERT an, indem sie die Darstellung eines McCabe-Thiele-Diagramms mit logarithmischen Koordinaten vorschlagen /6/.

Ausgehend von den vorgeschlagenen Konzentrationen

- Konzentration von  $\text{Li}_2\text{D}$  in der Flüssigphase des Zulaufs  $x_Z = 10^{-5}$
- Konzentration von  $\text{Li}_2\text{D}$  in der Flüssigphase des Kopfprodukts  $x_D = 10^{-3}$
- Konzentration von  $\text{Li}_2\text{D}$  in der Flüssigphase des Sumpfprodukts  $x_S = 10^{-6}$

einem Rücklaufverhältnis von

$$v = 2 v_{\min},$$

sowie einem Anreicherungsfaktor von

$$R = 1,56 \text{ (siehe Tab. 2.1),}$$

erhält man mit einer vorgegebenen Zulaufmenge des Feedprodukts

$$Z = 144,09 \text{ mol/h}$$

folgende Produktströme

|                    |                             |
|--------------------|-----------------------------|
| Destillationsmenge | $D = 0,673 \text{ mol/h}$   |
| Rücklaufmenge      | $R = 250,149 \text{ mol/h}$ |
| Sumpfproduktmenge  | $S = 143,417 \text{ mol/h}$ |
| Dampfmenge         | $v = 250,822 \text{ mol/h}$ |

Das entsprechend erstellte modifizierte McCabe-Thiele-Diagramm zeigt Abb. 2.2.

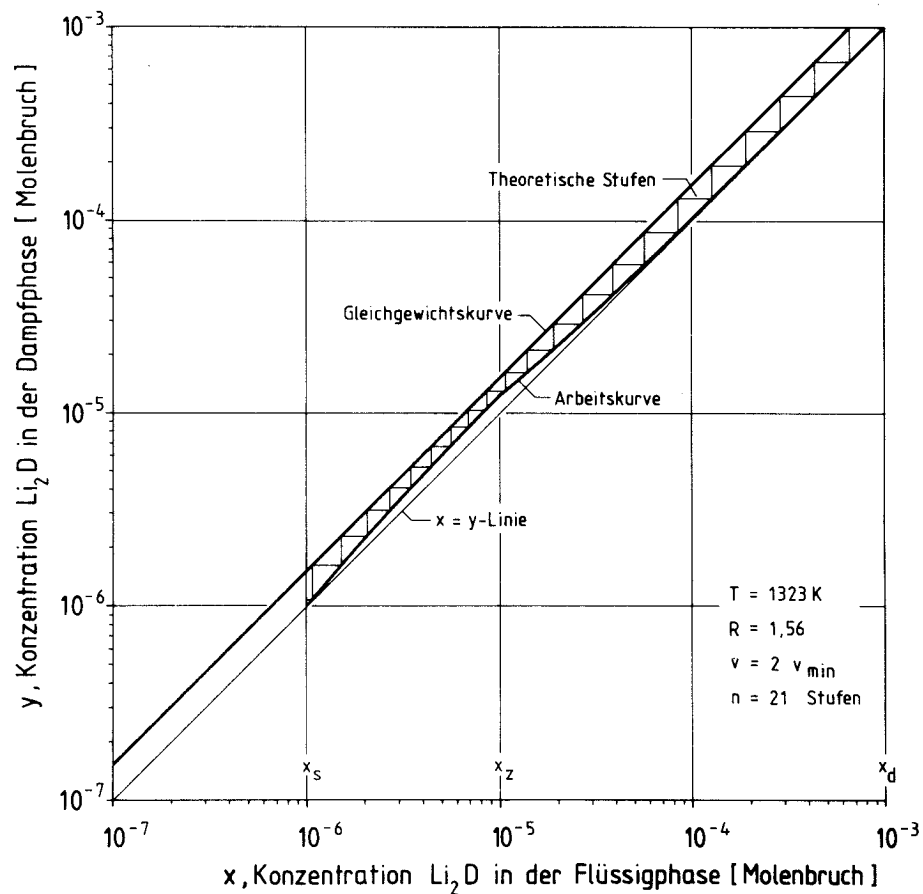


Abb. 2.2

McCabe-Thiele-Diagramm mit logarithmischen Koordinaten.

Im modifizierten McCabe-Thiele-Diagramm der Abb. 2.2 stellt sich die Gleichgewichtskurve im Gegensatz zum konventionellen McCabe-Thiele-Diagramm mit linearer Teilung nicht als Kurve, sondern als Gerade mit der Steigung 1 dar. Die Arbeitskurve, im konventionellen Diagramm eine Gerade, besteht hier aus einem konvex und einem konkav verlaufenden Kurvenast mit gemeinsamem Schnittpunkt bei  $x_Z = 10^{-5}$ .

Der konvexe Teil repräsentiert die Arbeitskurve der Abtriebs säule. Sie schneidet die  $x = y$ -Linie bei  $x_S = 10^{-6}$ . Die Arbeitskurve der Verstärkersäule nähert sich mit steigender Konzentration  $x$  asymptotisch der Linie  $x = y$ .

Die mittels Abb. 2.2 ermittelte theoretische Stufenzahl für die Kolonne beträgt  $n = 21$ . Sie teilt sich auf in 12 Stufen für den Verstärkerteil und 9 Stufen für den Abtriebsteil der Kolonne.

#### 2.2.4 Flutgeschwindigkeit, Kolonnendurchmesser

Der erforderliche Kolonnendurchmesser ergibt sich aus der in der Kolonne aufsteigenden Dampfmenge  $V$  und der Flutgeschwindigkeit  $u_t$  zu

$$d^2 = \frac{V}{u_t} \cdot \frac{4}{\pi} \cdot \frac{1}{k} \quad (2.6)$$

wobei  $k$  eine Konstante ist, die die Maximalbelastung der Kolonne angibt. Zur Bestimmung der Flutgeschwindigkeit haben SHERWOOD, SHIPLEY und HOLLOWAY /7/ zahlreiche Laborversuche ausgewertet und die folgende Beziehung graphisch dargestellt.

$$\frac{u_t^2}{g} \cdot \frac{a_p}{\epsilon^3} \cdot \frac{\rho_G}{\rho_L} \cdot \mu_L^{0,2} = F \left( \frac{L}{G} \cdot \sqrt{\frac{\rho_G}{\rho_L}} \right) \quad (2.7)$$

Hierbei sind

$u_t$  - Flutgeschwindigkeit, bezogen auf den leeren Kolonnenquerschnitt, ft./sec.

- $a_p$  - Spezifische Oberfläche der Füllkörper, sq.ft./cu.ft.  
 $\epsilon$  - Lückenvolumen der trockenen Füllkörper  
 $g$  - Erdbeschleunigung, (32,3 ft./sec<sup>2</sup>.)  
 $\rho_G$  - Dampfdichte, lb./cu.ft.  
 $\rho_L$  - Flüssigkeitsdichte, lb./cu.ft.  
 $L$  - Rücklauf, lb./(sec.)(sq.ft.)  
 $G$  - Dampfmenge, lb./(sec.)(sq.ft.)  
 $\mu_L$  - Viskosität des Rücklaufs, cp.

Legt man folgende Werte zugrunde

$$\begin{aligned}a_p &= 946 \text{ m}^2/\text{m}^3 \text{ (6 mm Blechringe /8/)} \\ \epsilon &= 0,811 \text{ (6 mm Blechringe /8/)} \\ \rho_G &= 5,72 \cdot 10^{-3} \text{ g/cm}^3 \text{ (Li /9/)} \\ \rho_L &= 0,43 \text{ g/cm}^3 \text{ (Li /9/)} \\ L_V &= 250,149 \text{ mol/h (Verstärkersäule, Kap. 2.2.3)} \\ L_A &= 394,239 \text{ mol/h (Abtriebsäule, Kap. 2.2.3)} \\ G &= 250,822 \text{ mol/h (Kap. 2.2.3)} \\ \mu_L &= 0,16 \text{ cp (Li /9/),}\end{aligned}$$

erhält man mit Gleichung (2.7)

$$\begin{aligned}u_t &= 15,49 \text{ m/s (Verstärkersäule)} \\ u_t &= 14,49 \text{ m/s (Abtriebssäule)}\end{aligned}$$

Beachtet man, daß eine Destillationskolonne i. a. mit maximal 70 % der Flutgeschwindigkeit belastet wird /8/, erhält man mit  $k = 0,7$  aus Gleichung (2.6) die Kolonnendurchmesser

$d_V = 992 \text{ mm}$  (Verstärkersäule)

$d_A = 1029 \text{ mm}$  (Abtriebssäule)

Da sich  $d_V$  und  $d_A$  nur geringfügig unterscheiden, wird der Durchmesser der gesamten Kolonne mit  $d = 100 \text{ mm}$  festgelegt.

### 3. KONDENSATVERTEILER

#### 3.1 Allgemeines

Voraussetzung für die gute Trennwirkung einer Kolonne ist eine möglichst gleichmäßige radiale Verteilung der in der Kolonne aufsteigenden Dampf- und der über die Kolonneneinbauten herabrieselnden Flüssigkeitsphase.

Bei Bodenkolonnen erfolgt diese Verteilung durch die einzelnen Böden, indem die Flüssigkeitsphase über jedem Boden von mehr oder weniger zerteilten Gasblasen durchdrungen wird, die sich über dem Flüssigkeitsspiegel jedes Bodens wieder vereinen.

Die Packungskolonne besteht aus geometrisch geordneten Einsätzen, in denen die Stoffströme in geordneten Strömungskanälen geführt werden. Hier ist zur gleichmäßigen Beaufschlagung der Strömungskanäle mit der flüssigen Phase eine gleichmäßige radiale Verteilung des Kondensats am Kopf der Kolonne erforderlich.

Im Gegensatz zu den oben genannten Kolonnentypen liegen bei der Füllkörperkolonne keine geordneten Strömungsverhältnisse vor. Die willkürliche Lage der Füllkörper führt zu ungleichmäßigem, wechselhaftem Strömungsverlauf beider fluider Phasen. Neben einer gleichmäßigen radialen Verteilung des Kondensats am Kopf der Kolonne, ist hier zur Vermeidung der Fehlverteilung (Maldistribution), die sich bei der flüssigen Phase vor allem in Bachbildung und Randgängigkeit äußert, der Einsatz spezieller Zwischenverteiler erforderlich. Anzahl und axiale Aufteilung

der Verteiler hängen von der Maldistribution, die u. a. eine Funktion der Kolonnenlänge ist, ab.

Ein wichtiger Parameter bei der Auswahl eines zu verwendenden Flüssigkeitsverteilers ist die spezifische Flüssigkeitsstromdichte der Kolonne. Während bei einer spezifischen Stromdichte  $f \geq 0,75 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$  die Flüssigkeitsverteilung problemlos mit Kasten-, Sieb-, Tüllen-, oder Rohrverteilern erfolgen kann, sind für spezifische Stromdichten  $f \leq 0,75 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$  Spezialverteiler wie der Kapillarverteiler erforderlich /10/.

Laut Auslegungsdaten der Kapitel 2.2.3 und 2.2.4 dieses Berichtes beträgt die maximale spezifische Flüssigkeitsstromdichte der Kolonne zur Anreicherung von Tritium in metallischem Lithium  $f = 0,5 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ . Für diese Belastung wurden Untersuchungen mit einem Kapillarverteiler durchgeführt. Außerdem wurde ein neuer Verteiler (Schwerkraftverteiler) für geringe Flüssigkeitsmengen entwickelt.

### 3.2 Kapillarverteiler

#### 3.2.1 Grundlagen

Das Prinzip des Kapillarverteilers als Verteiler für geringe Flüssigkeitsmengen wurde von D. MONTZ und H.-J. KLOSS 1960 in einer Patentschrift /11/ beschrieben. Eine Weiterentwicklung bzw. Anwendung des Prinzips wurde von H.-J. KLOSS 1974 veröffentlicht /12/. Das Prinzip beruht auf der Kapillarkwirkung benetzender Flüssigkeiten.

Wird z. B. ein zylindrisches Kapillarrohr vom Radius R in eine benetzende Flüssigkeit getaucht, so steigt die Flüssigkeit im Rohr erfahrungsgemäß um ein gewisses Maß in die Höhe. Die Oberfläche der Flüssigkeit im Rohrrinneren bildet dabei eine nach innen konkav gewölbte Rotationsfläche, die man näherungsweise als kugelförmig annehmen kann /3/.

Siehe hierzu Abb. 3.1.

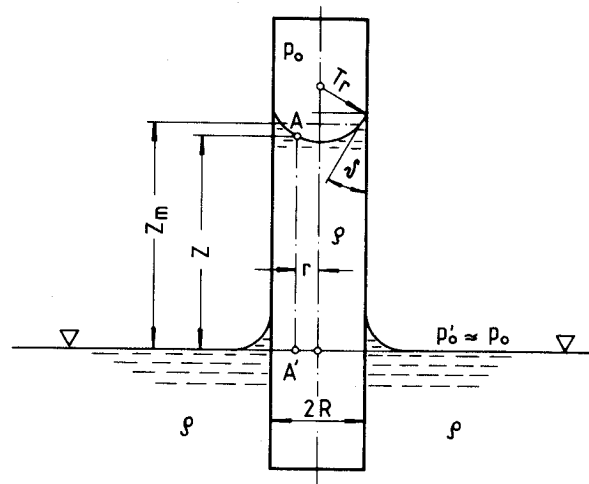


Abb. 3.1

In benetzende Flüssigkeit getauchtes Kapillarrohr

Der Druck  $p_A$ , an der Stelle A' in Abb. 3.1 ergibt sich mit dem Umgebungs-Luftdruck  $p_0$  und der Dichte  $\rho$  der Flüssigkeit zu

$$p_{A'} = p_0 + \rho \cdot g \cdot Z + p_K. \quad (3.1)$$

$p_K$  ist der Kapillardruck und beträgt

$$p_K = \frac{2 \cdot \sigma}{r_r}, \quad (3.2)$$

mit

$$r_r = \frac{-R}{\cos \theta} \quad /13/. \quad (3.3)$$

In Gleichung (3.2) ist  $\sigma$  die Grenzflächenspannung oder Kapillarkonstante.

Mit

$$p_{A'} = p_{0'} \approx p_0 \quad (3.4)$$

erhält man durch Einsetzen in Gleichung (3.1)

$$Z = \frac{2 \cdot \sigma \cdot \cos \theta}{\rho \cdot g \cdot R}. \quad (3.5)$$

Vernachlässigt man die geringen Höhenunterschiede der Punkte A gegenüber ihrem Mittelwert  $Z_m$  und nimmt näherungsweise an, daß in engen Rohren die Oberfläche des Flüssigkeitsspiegels eine Halbkugel bildet, d. h.  $\vartheta = 0$  ist, so wird

$$Z_m = \frac{2 \sigma}{\rho \cdot g \cdot R} \quad (3.6)$$

Aus Gleichung (3.6) geht hervor, daß die Steighöhe  $Z_m$  umgekehrt proportional dem Radius  $R$  des Kapillarrohres ist.

Als Beispiel ergibt sich die Steighöhe in einem Kapillarrohr von 1 mm Durchmesser, das in Wasser getaucht wird, zu  $Z_m = 30$  mm.

Beim Flüssigkeitsverteiler nach MONTZ und KLOSS finden Kapillarelemente aus Draht, die in eine bestimmte Form gebogen werden, Verwendung. Die Elemente werden auf die Wehr- bzw. Kaminwände des Verteilers aufgesteckt und bilden mit den Wänden Kapillarspalte, in denen die zu verteilende Flüssigkeit über die Kaminanten gehoben und so beim Einsatz einer Vielzahl von Kapillarelementen gleichmäßig tropfenförmig verteilt wird. Siehe hierzu Abb. 3.2.

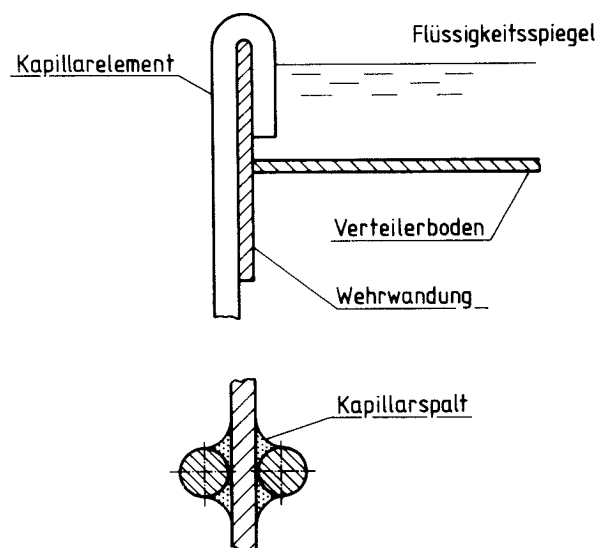


Abb. 3.2

Kapillarverteilerprinzip nach MONTZ und KLOSS.

### 3.2.2 Aufbau des Verteilers

Der Aufbau des Verteilers ist in Abb. 3.3 gezeigt.

Der Verteiler besteht aus einem zylindrischen, oben offenem Behälter, durch dessen Boden eine bestimmte Anzahl sogenannter Kamine geführt ist. Diese Kamine geben den offenen Querschnitt für das Aufsteigen des Dampfes in der Kolonne, über den Verteiler hinweg, frei. Ihr Querschnitt ist hier rechteckig, kann aber jede beliebige Form, z. B. auch Kreisform haben.

Die Kaminwände sind durch den Behälterboden hindurchgeführt und enden mit einer bestimmten Länge unterhalb des Bodens. Ihre Oberkanten sind mit Dreiecksausfräsungen versehen, in die die Kapillarheber eingesetzt werden. An den Unterkanten der Kaminwände befinden sich aneinandergereihte kreisbogenförmige Ausfräsungen. Die zwischen den Ausfräsungen stehengebliebenen Stege oder Spitzen liegen genau unterhalb des tiefsten Punktes der oberen Dreiecksausfräsungen.

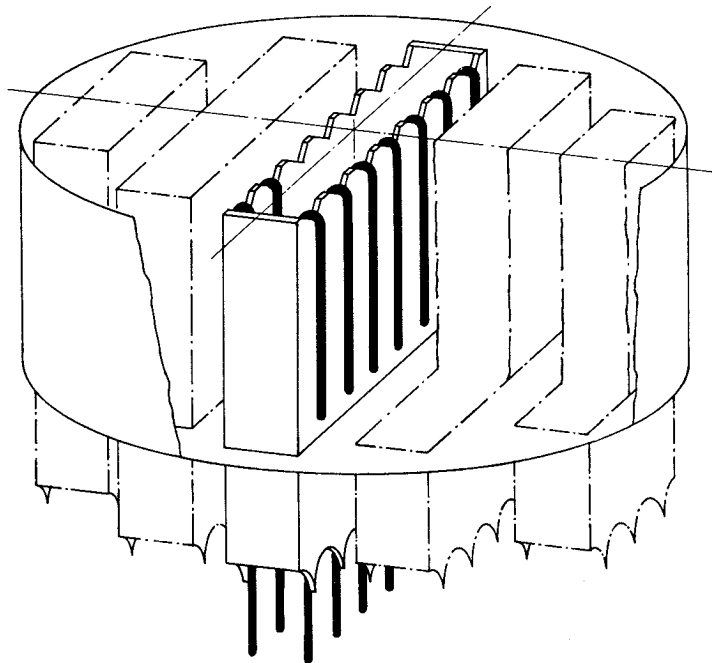


Abb. 3.3

Aufbau des Kapillarverteilers

Die Kapillarheber bestehen aus Stahldraht mit einem Durchmesser von 1 mm. Sie liegen, aufgesteckt auf die Kaminwände, mit ihrer Oberfläche linienförmig an der Oberfläche der Kaminwände an, so daß der in Abb. 3.2 dargestellte Kapillarspalt entsteht. Ihre langen, an der Innenseite der Kaminwände anliegenden Schenkel verlaufen mittig auf den durch die unteren kreisförmigen Ausfräsungen stehengebliebenen Stege.

Die in Abb. 3.4 dargestellten Ausfräsungen in den Oberkanten der Kaminwände haben zwei Aufgaben. Die eine ist die Justierung der Kapillarheber auf der Kaminwand. Die andere und weitaus wichtigere Aufgabe ist das Verhindern des Abreißen des Kapillarflüssigkeitsfadens an der Oberkante der Kaminwand.

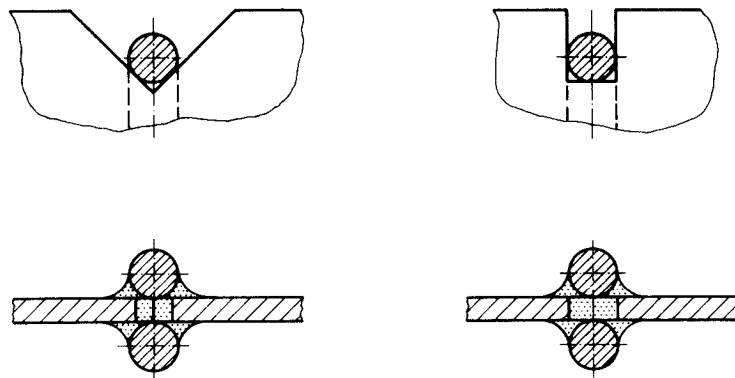


Abb. 3.4

Darstellung einer Dreieck- bzw. einer Rechteckausfräsung in der Oberkante einer Kaminwand des Verteilers. (Die jeweilige Draufsicht wurde der Deutlichkeit halber nicht normgerecht gezeichnet).

Der Grund für den Abriß des Kapillarfadens ist bei scharfer Oberkante der Kaminwand in der sich ergebenden starken Umlenkung (zweimalige scharfe 90°-Umlenkung) des Fadens über die Oberkante hinweg zu sehen. Bei abgerundeter Oberkante ergeben sich Schwierigkeiten bei der Anpassung der Heber an den Ab rundungsradius.

Die Ausfräsungen ergeben in Verbindung mit den Hebern unterhalb

der Heber die in Abb. 3.4 gezeigten Kapillaröffnungen, die einmal benetzt, immer mit Flüssigkeit gefüllt sind und somit auch bei fallendem Flüssigkeitsstand eine sichere Verbindung zwischen den Kapillarflüssigkeitsfäden auf beiden Seiten der Kaminwände ergeben.

Durch die Stege der unteren kreisbogenförmigen Ausfräsungen wird ein definiertes Abtropfen der über die Kaminwände gehobenen Flüssigkeit an den Heberenden erreicht.

Abb. 3.5 zeigt ein Photo des Verteilers mit abtropfender Flüssigkeit.

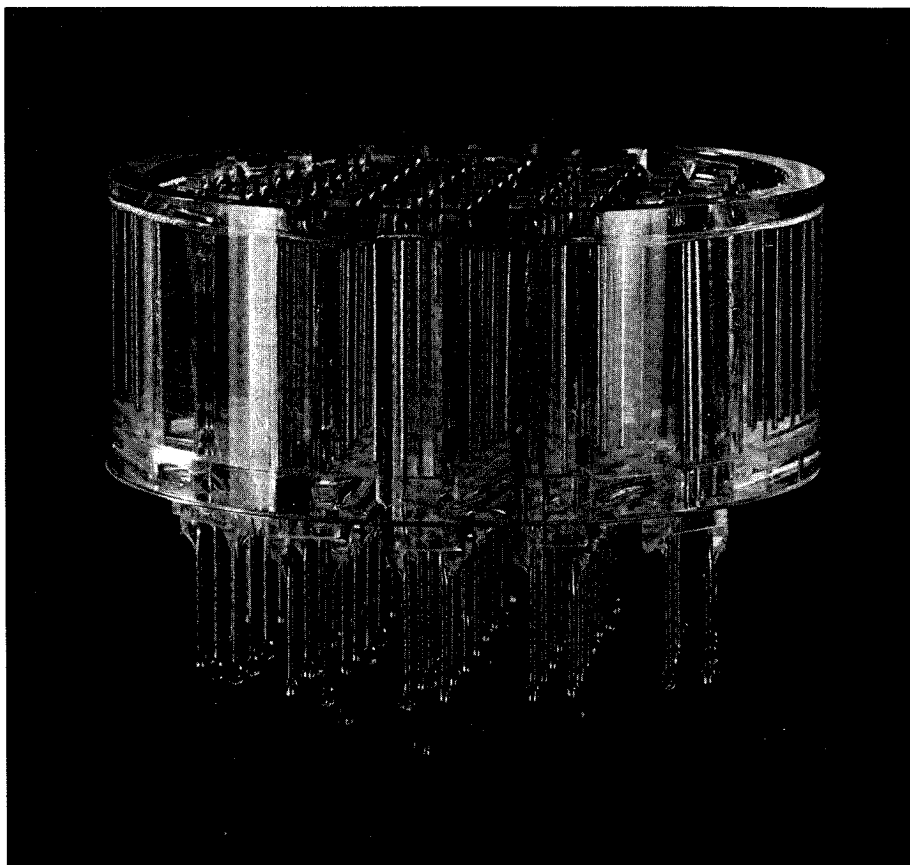


Abb. 3.5

Der Kapillarverteiler mit 50 Hebern.

### 3.2.3 Versuchsdurchführung

Nach Säuberung aller mit der Meßflüssigkeit in Kontakt kommenden Oberflächen wurde der Verteiler aus Plexiglas mit 50 Stahl-drahthebern (1.4571) bestückt. Wichtig dabei ist, daß alle Heber, möglichst mit einer geringen Vorspannung, auf ihrer gesamten Länge an den Kaminwänden anliegen. Für eine bestimmte Füllstandshöhe wurde die pro Zeiteinheit über die Kaminwände gehobene und an den Heberenden abtropfende Menge der Meßflüssigkeit mittels eines Meßzylinders gemessen. Während der Meßzeit wurde die Höhe des Flüssigkeitsspiegels im Verteiler durch kontinuierliche Zufuhr einer entsprechenden Flüssigkeitsmenge aus einem Reservoir konstant gehalten.

Die Versuche wurden mit von Messung zu Messung steigendem und von Messung zu Messung fallendem Flüssigkeitsstand durchgeführt.

### 3.2.4 Versuchsergebnisse und deren Diskussion

Die Abb. 3.6 bis 3.9 zeigen die von einem Verteiler mit 50 Kapillarhebern - das entspricht 50 Tropfstellen - stündlich verteilten Flüssigkeitsmengen  $\dot{Q}$  bestimmter Flüssigkeiten in Abhängigkeit der Hebehöhe  $h$ . Dabei ist  $h$  definiert als die Höhe zwischen dem Stand des Flüssigkeitsspiegels und dem untersten Punkt der Dreiecksausfräsung in der Oberkante der Kaminwand.  $h$  ist also die Länge des Kapillarfadens auf der Flüssigkeitsseite der Kaminwand.

Die Abb. 36 bis 39 zeigen übereinstimmend einen meßbaren Förderbeginn bei einer Hebehöhe  $h$  von 15 mm bis 20 mm. Zwar haben Versuche gezeigt, daß eine Förderung schon bei Hebehöhen von  $h = 30$  mm und mehr erfolgte, doch war die Förderung bei diesen Höhen so gering, daß sie im Bereich der während der Messungen verdampfenden Flüssigkeitsmengen lagen, so daß eine Mengenzuordnung sehr ungenau wurde.

In allen vier Fällen steigt die gehobene Flüssigkeitsmenge  $\dot{Q}$  mit kleiner werdender Hebehöhe  $h$  exponentiell an, um bei

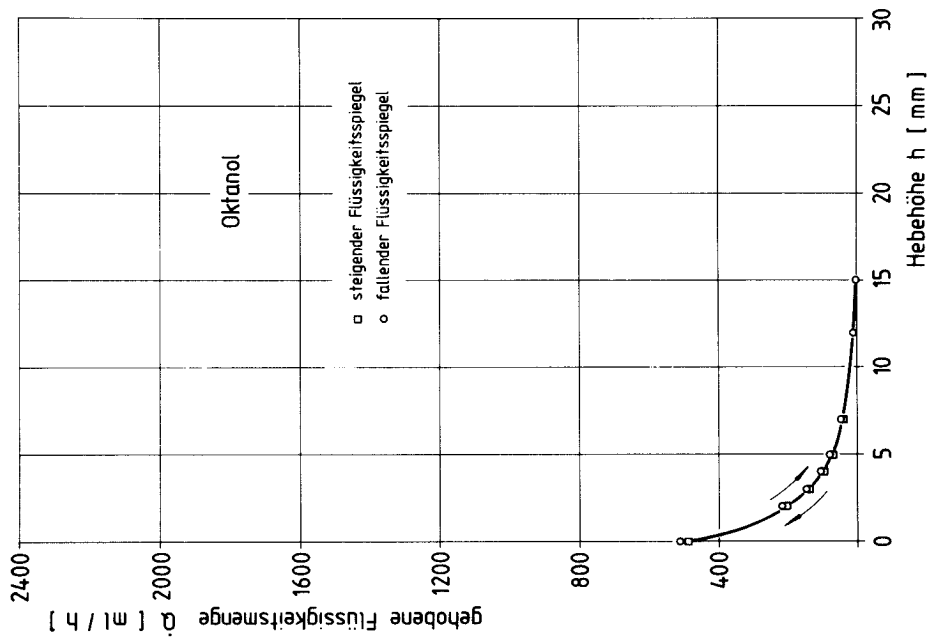


Abb. 3.6

Stündlich gehobene Flüssigkeitsmenge  $\dot{Q}$  (Octanol) als Funktion der Hebehöhe  $h$  (50 Heber)

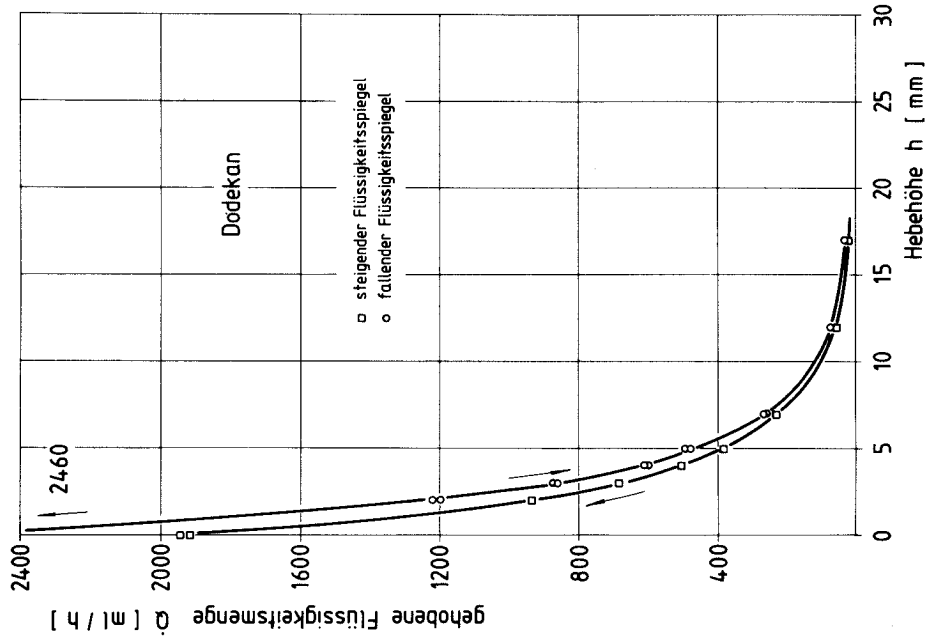


Abb. 3.7

Stündlich gehobene Flüssigkeitsmenge  $\dot{Q}$  (Dodecan) als Funktion der Hebehöhe  $h$  (50 Heber)

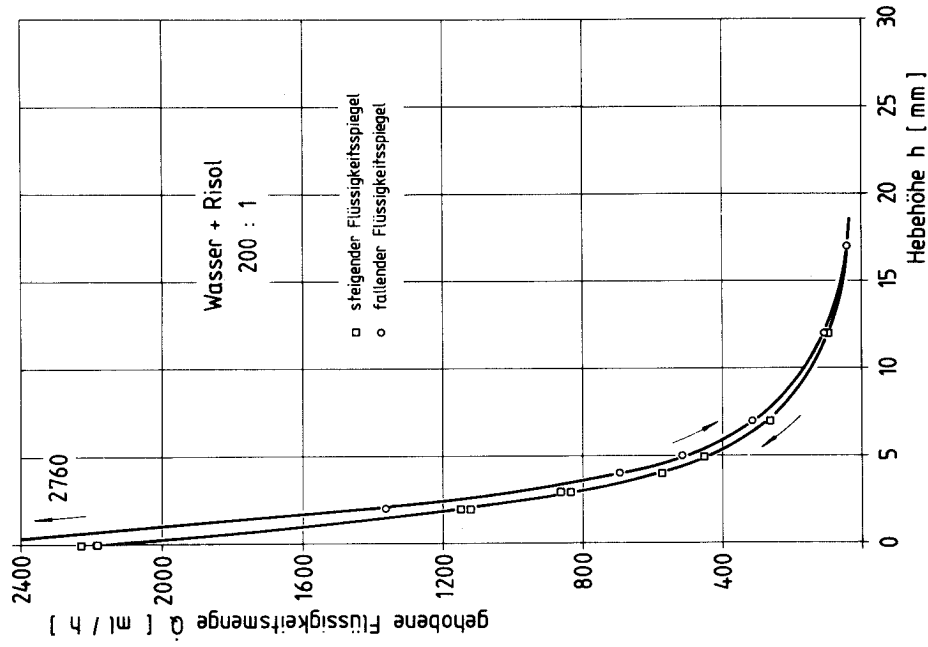


Abb. 3.9

Stündlich gehobene Flüssigkeitsmenge  $Q$  ( $H_2O$  + Risol) als Funktion der Hebehöhe  $h$  (50 Heber)

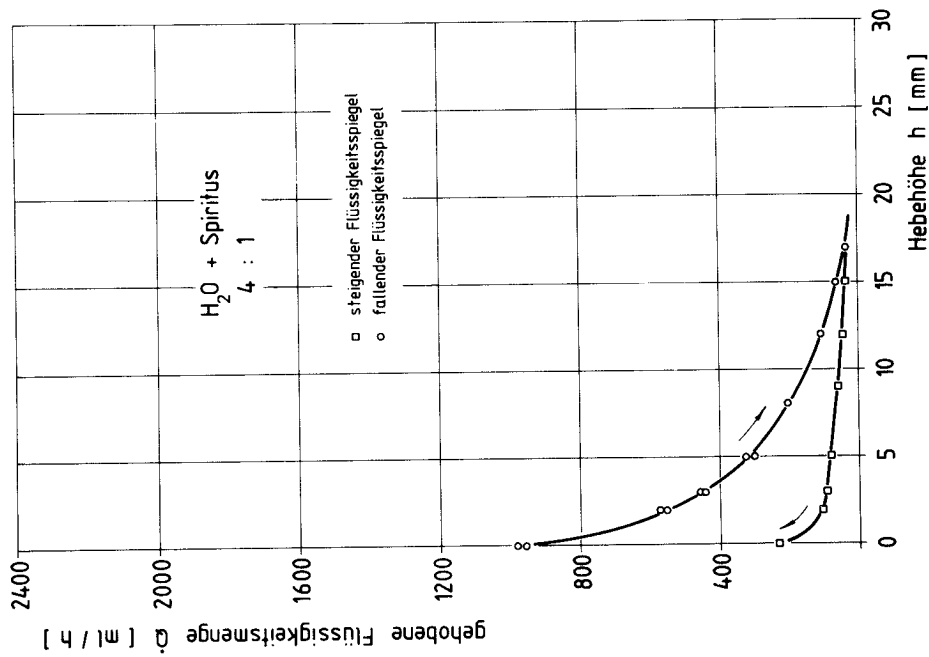


Abb. 3.8

Stündlich gehobene Flüssigkeitsmenge  $Q$  ( $H_2O$  + Spiritus) als Funktion der Hebehöhe  $h$  (50 Heber)

$h = 0$  mm einen Maximalwert zu erreichen. Bei Dodekan,  $H_2O$  + Spiritus und  $H_2O$  + Risol als Meßflüssigkeiten ergibt sich, abhängig davon, ob der Flüssigkeitsspiegel von Messung zu Messung steigt oder fällt, je ein Kurvenzug (Hysterese).

Die bei einer bestimmten Hebehöhe  $h$  geförderte Flüssigkeitsmenge  $\dot{Q}$  ist, wie die Diagramme zeigen, für die vier Meßflüssigkeiten verschieden. Erinnerung man sich der Gleichung 3.6 aus Kapitel 3.2.1, so liegt der Schluß nahe, bei einem vorgegebenem  $h$  sei die geförderte Flüssigkeitsmenge umso größer, je größer die Oberflächenspannung der Meßflüssigkeit ist, da laut Gleichung 3.6 die Steighöhe  $z_m$  im Kapillarrohr proportional mit der Oberflächenspannung der Meßflüssigkeit ansteigt. Vergleicht man jedoch die Oberflächenspannungen der vier Meßflüssigkeiten, so ergibt sich eher eine umgekehrte Tendenz. Bei einer Oberflächenspannung von  $\sigma = 26,2$  dyn/cm\* für Dodekan z. B. erhält man  $\dot{Q}(h = 0) = 2460$  ml/h (fallender Flüssigkeitsspiegel), während für  $H_2O$  + Spiritus ( $\sigma = 48,8$  dyn/cm\*)  $\dot{Q}(h = 0) \approx 1000$  ml/h beträgt.

Dieser Unterschied zu Gleichung 3.6 läßt sich dadurch erklären, daß mit Gleichung 3.6 ein statisches Problem behandelt wird, während in den Versuchen ein dynamisches Problem vorliegt. In Gleichung 3.6 ist z. B. der Durchmesser des Kapillarfadens durch Vorgabe des Innendurchmessers des Kapillarrohres bestimmt. Beim Kapillarheber aus Draht bildet sich der Kapillarfaden dagegen im Kapillarspalt zwischen Heber und Kaminwand aus. Mit steigender Oberflächenspannung der Meßflüssigkeit ergibt das Bestreben der Flüssigkeit eine möglichst kleine freie Oberfläche zu bilden, eine Verringerung der Querschnittsfläche des Kapillarfadens. Setzt man nun für verschiedene Flüssigkeiten gleiche Strömungsgeschwindigkeiten einzelner gedachter Stromfäden voraus, so muß bei kleinerem Kapillarfadenquerschnitt (Flüssigkeit größerer Oberflächenspannung) die geförderte Flüssigkeitsmenge geringer sein als bei größerem.

Vergleicht man Abb. 3.6 und Abb. 3.7 so erkennt man, daß die

\*gemessen mit Fisher Surface Tensiometer, Modell 20

gehobene Flüssigkeitsmenge Oktanol bei  $h = 0$  um den Faktor 5 kleiner ist als die des Dodekan, obwohl die Oberflächenspannungen mit  $\sigma = 28,0 \text{ dyn/cm}$  für Oktanol und  $\sigma = 26,2 \text{ dyn/cm}$  für Dodekan nur geringfügig differieren. Dieser Effekt läßt sich mit der um den Faktor 6 höheren Viskosität des Oktanols gegenüber der des Dodekan /14/ erklären. Infolge der höheren Viskosität setzt das Oktanol dem Fließen einen höheren Widerstand entgegen als z. B. das Dodekan mit einer viel geringeren Viskosität. Das resultiert bei etwa gleichen Kapillarfadenquerschnitten in einer sehr viel geringeren Strömungsgeschwindigkeit und damit in einer sehr viel geringeren gehobenen Flüssigkeitsmenge an Oktanol gegenüber der von Dodekan. Das gleiche gilt für den Vergleich  $\text{H}_2\text{O} + \text{Risol}$  und Dodekan. Während die Oberflächenspannung von Dodekan mit  $\sigma = 26,2 \text{ dyn/cm}$  gegenüber der von  $\text{H}_2\text{O} + \text{Risol}$  mit  $\sigma = 31,2 \text{ dyn/cm}$  um etwa 20 % kleiner ist, ist die Viskosität des Dodekan mit  $\eta = 149,9 \cdot 10^{-5} \text{ Ns/m}^2$  /14/ gegenüber der des  $\text{H}_2\text{O} + \text{Risol}$  mit  $\eta = 100,2 \cdot 10^{-5} \text{ Ns/m}^2$  /14/ um etwa 50 % größer.

Als weiterer Parameter, der die gehobene Flüssigkeitsmenge beeinflusst, sei hier noch die Dichte der Flüssigkeit genannt. Bei gleicher Oberflächenspannung und gleicher Viskosität zweier Flüssigkeiten wird die zeitlich gehobene Menge der Flüssigkeit hoher Dichte geringer sein als die der Flüssigkeit geringerer Dichte.

Die Größe der oben bereits erwähnten Hysteresen ist abhängig von der Oberflächenspannung und der Viskosität der Meßflüssigkeit.

Während mit wachsender Oberflächenspannung die Hysterese infolge des Bestrebens der Flüssigkeit eine möglichst kleine freie Oberfläche des Kapillarfadens zu bilden, vergrößert wird, wirkt die Viskosität in genau entgegengesetzter Richtung. So sind z. B. die Hysteresen bei den Messungen mit Dodekan und  $\text{H}_2\text{O} + \text{Risol}$  etwa gleich, da der Einfluß der höheren Oberflächenspannung des Gemisches  $\text{H}_2\text{O} + \text{Risol}$  gegenüber dem der höheren Viskosität des Dodekan in etwa ausgeglichen wird. Vergleicht man die Messung  $\text{H}_2\text{O} + \text{Spiritus}$  mit der von  $\text{H}_2\text{O} + \text{Risol}$ , so macht sich bei etwa gleicher Viskosität beider Meßflüssigkeiten die um etwa 56 %

\*gemessen mit Fisher Surface Tensiometer, Modell 20

höhere Oberflächenspannung des Gemisches  $H_2O$  + Spiritus gegenüber dem von  $H_2O$  + Risol in der stärker ausgeprägten Hysterese bei der Messung  $H_2O$  + Spiritus bemerkbar.

### 3.2.5 Anpassung des Verteilers

Die Anpassung des Verteilers an einen vorgegebenen Kondensatstrom erfolgt grundsätzlich über die Anzahl der verwendeten Kapillarheber.

Schwankungen der Kondensatstrommenge bis zu einer bestimmten Bandbreite fängt der Verteiler entsprechend der für eine bestimmte Flüssigkeit vorgegebenen Fördercharakteristik (siehe Abb. 3.6 bis 3.9) durch Variation der Höhe des Flüssigkeitsspiegels im Verteiler und damit durch entsprechende Änderung der geförderten Kondensatmengen von selbst auf.

Bei größeren Schwankungen kann eine Anpassung des Verteilers durch den Einsatz von Hebern mit unterschiedlicher Schenkellänge auf der Flüssigkeitsseite der Kaminwände erfolgen, die dann je nach Flüssigkeitsstand fördern oder nicht.

## 3.3 Schwerkraftverteiler

### 3.3.1 Grundlagen

Das Prinzip des Schwerkraftverteilers beruht auf der Aufteilung eines gegebenen Flüssigkeitsstromes in eine große Anzahl sehr kleiner Ströme. Das Prinzip läßt sich bei der Verteilung großer anfallender Flüssigkeitsmengen ohne Probleme verwirklichen. Als Beispiele seien hier der Lochboden einer Destillationskolonne oder einfach die Brause genannt.

Die Aufteilung sehr geringer zeitlicher Flüssigkeitsmengen in eine große Anzahl kleiner Ströme läßt sich dagegen nur dann verwirklichen, wenn dabei zwei Bedingungen erfüllt werden.

- Die Summe der den Verteilerbehälter verlassenden Volumenströme  $\overset{o}{q}$  muß geringer gehalten werden können als die Summe der infolge Schwerkraft aus dem gleichen Behälter fließenden Volumenströme  $\overset{o}{q}_s$ , oder

$$\overset{o}{q} < \overset{o}{q}_s$$

- Der negative Einfluß der Oberflächenspannung der Flüssigkeit auf den Ausfließvorgang muß verhindert werden.

### 3.3.2 Aufbau des Verteilers

Abb. 3.10 zeigt eine zeichnerische Darstellung des Schwerkraftverteilers.

Der Schwerkraftverteiler besteht aus einem zylindrischen, oben geschlossenen Gefäß, das in axialer Richtung von mehreren Kaminrohren, die als Durchlässe für die in der Kolonne aufsteigende dampfförmige Phase dienen, durchdrungen wird.

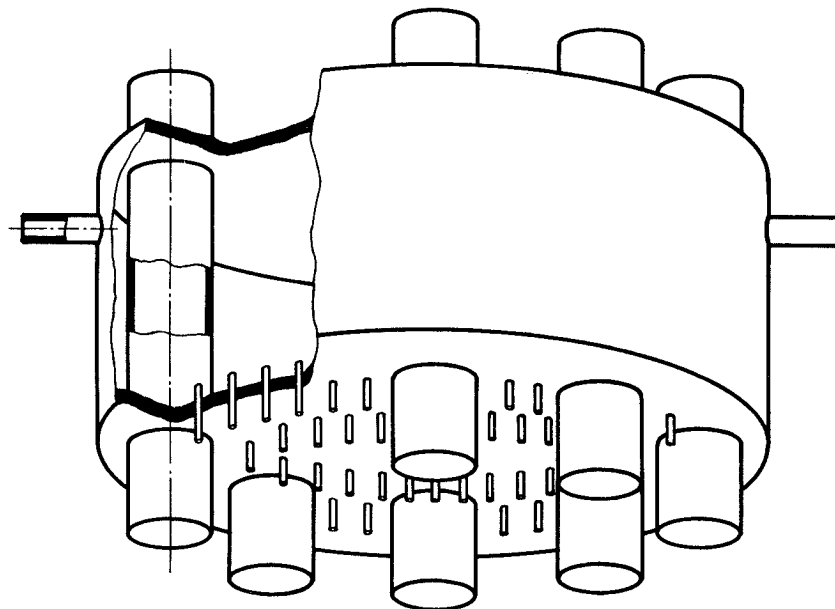


Abb. 3.10

Aufbau des Schwerkraftverteilers

In den Boden des Gefäßes sind, möglichst gleichmäßig über den Querschnitt verteilt, 25 Verteilerröhrchen mit einem Innendurchmesser von  $d = 0,6 \text{ mm}$  eingesetzt. Die oberen Enden der Röhrchen ragen etwa 5 mm in das Verteilergefäß hinein, um negative Einflüsse, die vom Gefäßboden herrühren, auf das Einströmen der Flüssigkeit in die Verteilerröhrchen auszuschalten. Die unteren Enden der Röhrchen enden etwa 10 mm unterhalb des Gefäßbodens, um an ihnen ein definiertes Abtropfen der Flüssigkeit zu garantieren.

In den oberen Teil des Verteilergefäßes münden zwei Leitungen mit Ventilen, eine Zuführungsleitung für das Kondensat und eine Entlüftungs- bzw. Saugleitung.

Abb. 3.11 zeigt ein Photo des Schwerkraftverteilers mit abtropfender Flüssigkeit.



Abb. 3.11

Schwerkraftverteiler mit 25 Verteilerröhrchen.

### 3.3.3 Versuchsdurchführung

Das Verteilergefäß wurde über die Zuführungsleitung mit der zu verteilenden Flüssigkeit, die einem Vorratsbehälter entnommen wurde, gefüllt. Dabei wurde bei geöffneter Entlüftungsleitung entweder durch die Zuführungsleitung mehr Flüssigkeit zugeführt, als durch die Verteilerröhrchen nach unten abfließen konnte, oder an die Entlüftungsleitung wurde ein solcher Unterdruck angelegt, daß trotz Flüssigkeitszufuhr in das Gefäß, keine Flüssigkeit abfloß.

Der Füllvorgang ist beendet, wenn der Flüssigkeitsspiegel definiert über den oberen Enden der Verteilerröhrchen liegt. Die oberen Röhrchenenden sind dann gänzlich in die Flüssigkeit eingetaucht und der in Kapitel 3.3.1 erwähnte negative Einfluß auf das Fließverhalten ist beim Einströmen der Flüssigkeit in die Röhrchen ausgeschaltet.

Nach Schließen der Ventile in Zuführungs- und Entlüftungsleitung stellt sich im Raum oberhalb des Flüssigkeitsspiegels ein Unterdruck ein, so daß die Summe aller auf die Flüssigkeitssäule wirkenden Kräfte gleich Null ist. Es fließt keine Flüssigkeit über die Verteilerröhrchen ab.

Wird das Ventil in der Zuführungsleitung wieder geöffnet, tropft genau die durch das Ventil zufließende Flüssigkeitsmenge, gleichmäßig auf alle Röhrchen verteilt, aus dem Behälter ab (Bedingung 2, Kapitel 3.3.1). Je weiter das Ventil geöffnet wird, umso größer ist die Tropffrequenz und umgekehrt. Die Höhe des Flüssigkeitsspiegels im Behälter bleibt dabei konstant.

Die abtropfende Flüssigkeit wurde über einen Trichter in einen Meßzylinder geleitet und die Menge pro Zeiteinheit bestimmt.

Abb. 3.11 zeigt die Versuchsanordnung.

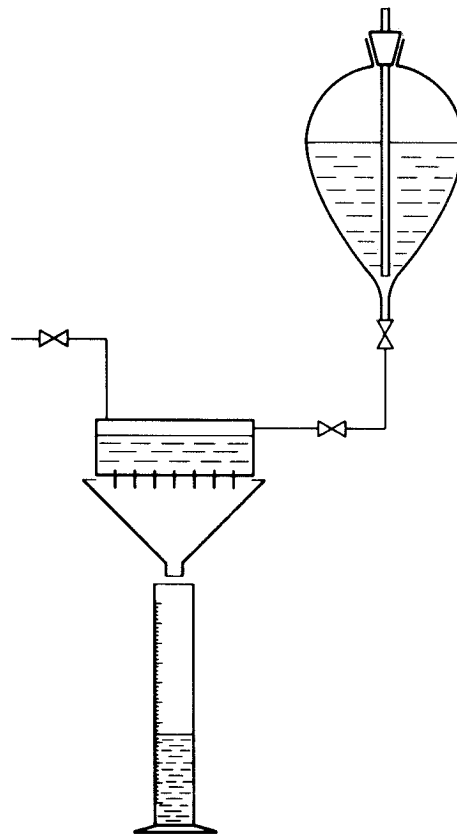


Abb. 3.11

Versuchsanordnung zur Bestimmung des minimalen Durchflusses des Schwerkraftverteilers.

### 3.3.4 Versuchsergebnisse und deren Diskussion

Eine charakteristische Größe für die Abgrenzung des Einsatzprofiles eines Kondensatverteilers ist der mit ihm erreichbare minimale Kondensatdurchsatz.

Entsprechend dem Funktionsprinzip ist der minimale Durchsatz des Schwerkraftverteilers abhängig von der Herstellungsgenauigkeit der verwendeten Verteilerröhrchen. Er erreicht gleich Null, wenn für jeden Strömungszustand der Druckverlust über jedes einzelne Verteilerröhrchen exakt der gleiche ist, d. h. wenn jedes Röhrchen den gleichen Innendurchmesser und eine gleiche Oberflächenqualität der Innenwand aufweist und wenn an allen Röhrchen gleiche Ein- und Auslaufbedingungen für die Flüssig-

keit herrschen.

In der Praxis sind die oben genannten Bedingungen kaum zu realisieren. Es wird daher der Druckverlust über ein bzw. mehrere Verteilerröhrchen immer größer sein als der über die restlichen Röhrchen. Der minimale Durchsatz ist daher für den Schwerkraftverteiler in der Praxis nie gleich Null und muß definiert werden.

Bei den durchgeführten Versuchen wurde der Durchsatz als minimal erreichbarer angesetzt, bei dem eines der 25 Röhrchen des Verteilers gerade aufhörte zu tropfen. Es ist selbstverständlich, daß mit dieser Definition der minimale Durchsatz eine Funktion der verwendeten Röhrchenqualität ist, und nur für den getesteten Verteiler Gültigkeit hat.

In Tabelle 3.1 ist der gemessene minimale Durchsatz des Verteilers für verschiedene Flüssigkeiten angegeben.

| Messung | min. Durchsatz $\dot{Q}_{\min}$<br>(ml/h) |                                   |         |         |
|---------|-------------------------------------------|-----------------------------------|---------|---------|
|         | H <sub>2</sub> O+Spiritus<br>4 : 1        | H <sub>2</sub> O+Risol<br>200 : 1 | Dodekan | Oktanöl |
| 1       | 468                                       | 138                               | 162     | 36      |
| 2       | 480                                       | 132                               | 174     | 36      |
| 3       | 462                                       | 144                               | 168     | 36      |

Tab. 3.1

Für verschiedene Flüssigkeiten ermittelter minimaler Durchsatz des Schwerkraftverteilers mit 25 Verteilerröhrchen. Innendurchmesser der Verteilerröhrchen  $d = 0,6$  mm.

Der bei den Messungen ermittelte minimale Durchsatz für den Schwerkraftverteiler liegt für H<sub>2</sub>O + Spiritus mit  $\dot{Q}_{\min} = 480$  ml/h

(Messung 2) am höchsten und für Oktanol mit  $\dot{Q}_{\min}^0 = 36 \text{ ml/h}$  am niedrigsten.

Vergleicht man die Durchsätze der einzelnen Flüssigkeiten mit ihren spezifischen Eigenschaften, so kann gesagt werden, daß  $\dot{Q}_{\min}^0$  mit größer werdender Oberflächenspannung  $\sigma$  der Flüssigkeit (siehe Kapitel 3.2.4) ansteigt. Umgekehrt fällt er mit steigender Viskosität  $\eta$  (siehe Kapitel 3.2.4).

Die Abweichungen zwischen den für eine Meßflüssigkeit ermittelten drei Werte betragen bei  $\text{H}_2\text{O} + \text{Risol}$  maximal 8,3 % und sind bei allen anderen Messungen niedriger, so daß sich eine gute Reproduzierbarkeit ergibt.

### 3.3.5 Anpassung des Verteilers

Die Anpassung des Verteilers an einen vorgegebenen Kondensatstrom erfolgt über den Durchmesser und die Anzahl der Verteiler-  
röhrchen. Dabei wird von der minimalen, gleichmäßig zu verteilenden Flüssigkeitsmenge ausgegangen, so daß Schwankungen zu kleiner werdenden Kondensatströmen sicher aufgefangen werden können.

Eine Regelung des Kondensatstromes erfolgt über das Feinventil in der Zuführungsleitung.

## 4. KONDENSATOR

### 4.1 Allgemeines

Betrachtet man den Fluidstrom im Kopfe einer Destillationskolonne, so fällt auf, daß das Fluid, das als Gasphase i. a. relativ gleichmäßig über den Querschnitt der Kolonne verteilt ist, durch die Kondensation am Kondensator auf einen bestimmten Raum konzentriert wird, um dann mittels des Verteilers wieder gleichmäßig verteilt zu werden. Diese zwei hintereinander geschalteten Verfahrensschritte können praktisch zu einem Schritt

zusammengefaßt werden, wenn z. B. der Kondensator gleichzeitig als Verteiler arbeitet, bzw. wenn der Kondensator so gestaltet wird, daß sich das Kondensat auf seiner Oberfläche möglichst gleichmäßig, bezogen auf den Kolonnenquerschnitt, niederschlägt. Es muß dann nur noch genau so gleichmäßig vom Kondensator abtropfen.

Die sich hierbei ergebenden Vorteile sind u. a.

- Einsparung einer Komponente, nämlich des Verteilers.
- Verringerung des Druckverlustes über die Kolonne und
- garantierte Funktionstüchtigkeit auch bei kleinsten Flüssigkeitsmengen.

Im folgenden Kapitel wird ein solcher Kondensator vorgestellt.

#### 4.2      Aufbau des Kondensators

Abb. 4.1 zeigt eine schematische Darstellung des Kondensators.

Sieben gleichmäßig auf den Kolonnenquerschnitt verteilte Kondensatorrohre werden vom Kühlmedium, das über eine Verteilerkammer in die Kondensatorrohre gelangt, axial durchströmt. Am unteren Ende der Kondensatorrohre wird das Kühlmedium radial nach innen umgelenkt und über koaxial in den Kondensatorrohren angeordnete Führungsrohre, die in einer Sammelkammer münden, wieder abgeführt.

Am unteren Ende eines jeden Kondensatorrohres befinden sich sieben Abtropfspitzen, von denen das gleichmäßig auf der Oberfläche der Rohre verteilte Kondensat abtropft. Die Länge der Abtropfspitzen beträgt etwa 15 mm, so daß der Abtropfvorgang an einer Spitze nicht durch einen Rückstau von Kondensat an einer benachbarten Spitze beeinflusst werden kann.

Die Abnahme des Destillates erfolgt mit Hilfe eines Saugrohres aus einem kleinen Auffangbehälter, der durch Drehen um die

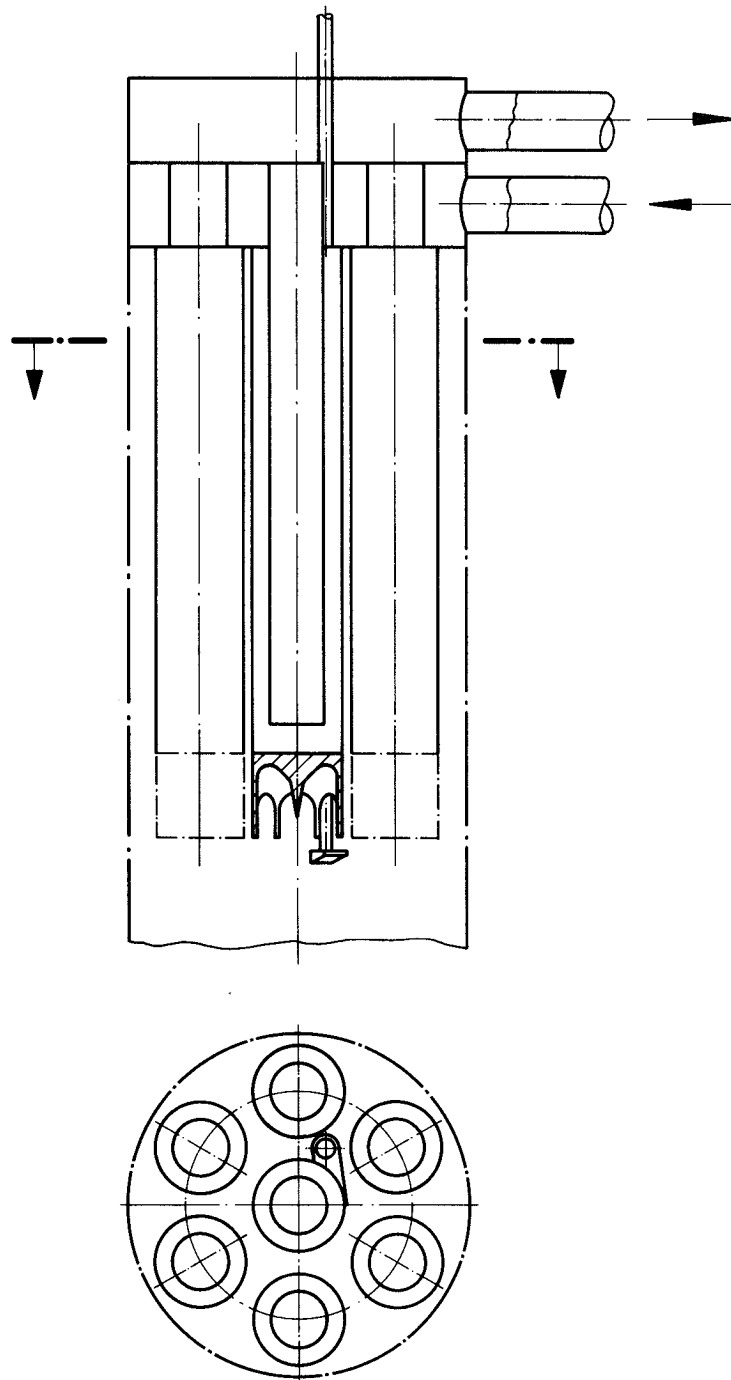


Abb. 4.1

Schematische Darstellung des Kondensators

Saugrohrachse zum Auffangen des Kondensats unter das Ende eines Kondensatorrohres gebracht werden kann.

#### 4.3 Versuchsdurchführung und Ergebnisse

Die Oberflächen der Kondensatorrohre mit Kreisquerschnitt aus Stahl wurden durch Beizen in Salzsäure gereinigt und der Kondensator auf eine Glaskolonne aufgesetzt. Die Glaskolonne besaß einen Vakuummantel, so daß sich während der Versuche kein Kondensat auf der Innenwand der Kolonne niederschlug und so der Kondensator jederzeit beobachtet werden konnte.

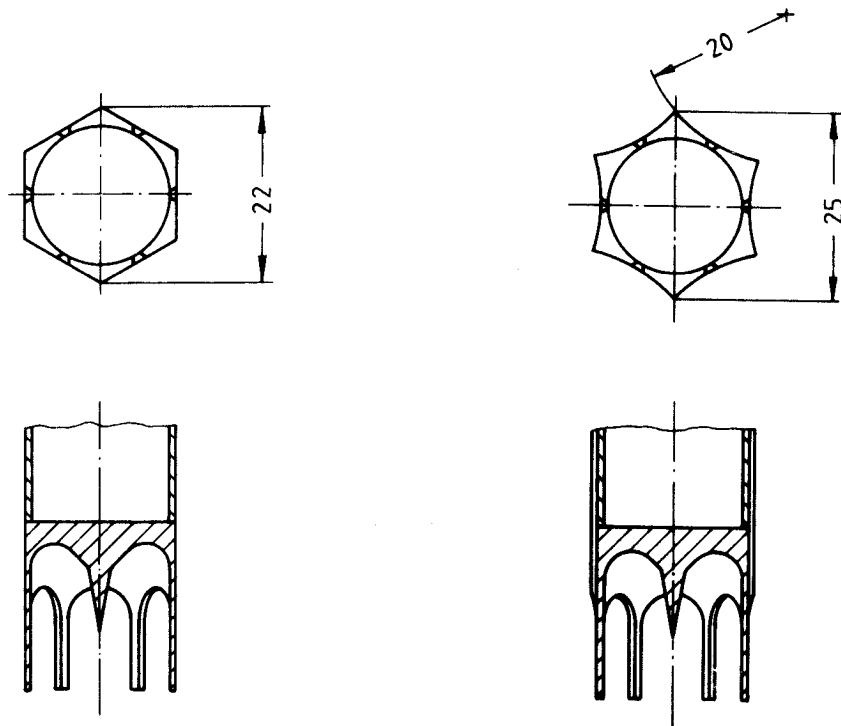
Das Kühlmedium für den Kondensator war Wasser. Als Heizung wurde eine Labor-Heizhaube mit einer Leistung von 450 W verwendet. Das Arbeitsmedium war ebenfalls Wasser.

In Versuchen konnte eine gleichmäßige Kondensation von Wasserdampf auf den Kondensatorrohren festgestellt werden. Das kondensierte Wasser lief auf den Kondensatorrohren axial nach unten und tropfte gleichmäßig an den Abtropfspitzen ab.

Voraussetzung hierfür war eine genaue, lotrechte Lage der runden Kondensatorrohre. Bei einer Abweichung von der Lotrechten schon um  $2^\circ$  bis  $3^\circ$  konnte ein ungleichmäßiges Abtropfen des Wassers beobachtet werden. In diesem Falle beschreibt ein gedachtes abfließendes Wasserpartikel einen Weg, der sich aus einer axialen und einer abwärtsgerichteten Komponente in Umfangsrichtung des Kondensatorrohres zusammensetzt. Hierdurch kommt es zu einer Häufung von abfließendem Kondensat an der "Unterseite" des Rohres und den entsprechenden Abtropfspitzen.

Neben den Kondensatorrohren mit Kreisquerschnitt wurden Rohre mit sechseckigem Querschnitt, einmal mit planen und einmal mit konkav ausgearbeiteten Mantelflächen untersucht. Siehe hierzu Abb. 4.2.

Es zeigte sich, daß bei Verwendung dieser Querschnitte eine Abweichung der Lage der Rohre von der Lotrechten bis zu einer bestimmten Grenze keinen Einfluß auf das gleichmäßige Abtropfen des Kondensats hat. Die Kanten der Rohre bilden eine Barriere für die in Umfangsrichtung fließende Flüssigkeit. So konnte die



a) plane Mantelflächen

b) konkave Mantelflächen

Abb. 4.2

Kondensatorrohre mit Sechseckquerschnitt.

Abweichung der Rohrachse von der Lotrechten bei planem Sechseckquerschnitt bis zu  $10^\circ$  und beim Querschnitt mit sechs konkaven Flächen bis zu  $20^\circ$  betragen, ohne daß das gleichmäßige Abtropfen des Kondensats nachteilig beeinflusst wurde.

Abb. 4.3 zeigt ein Photo des Versuchsaufbaus.

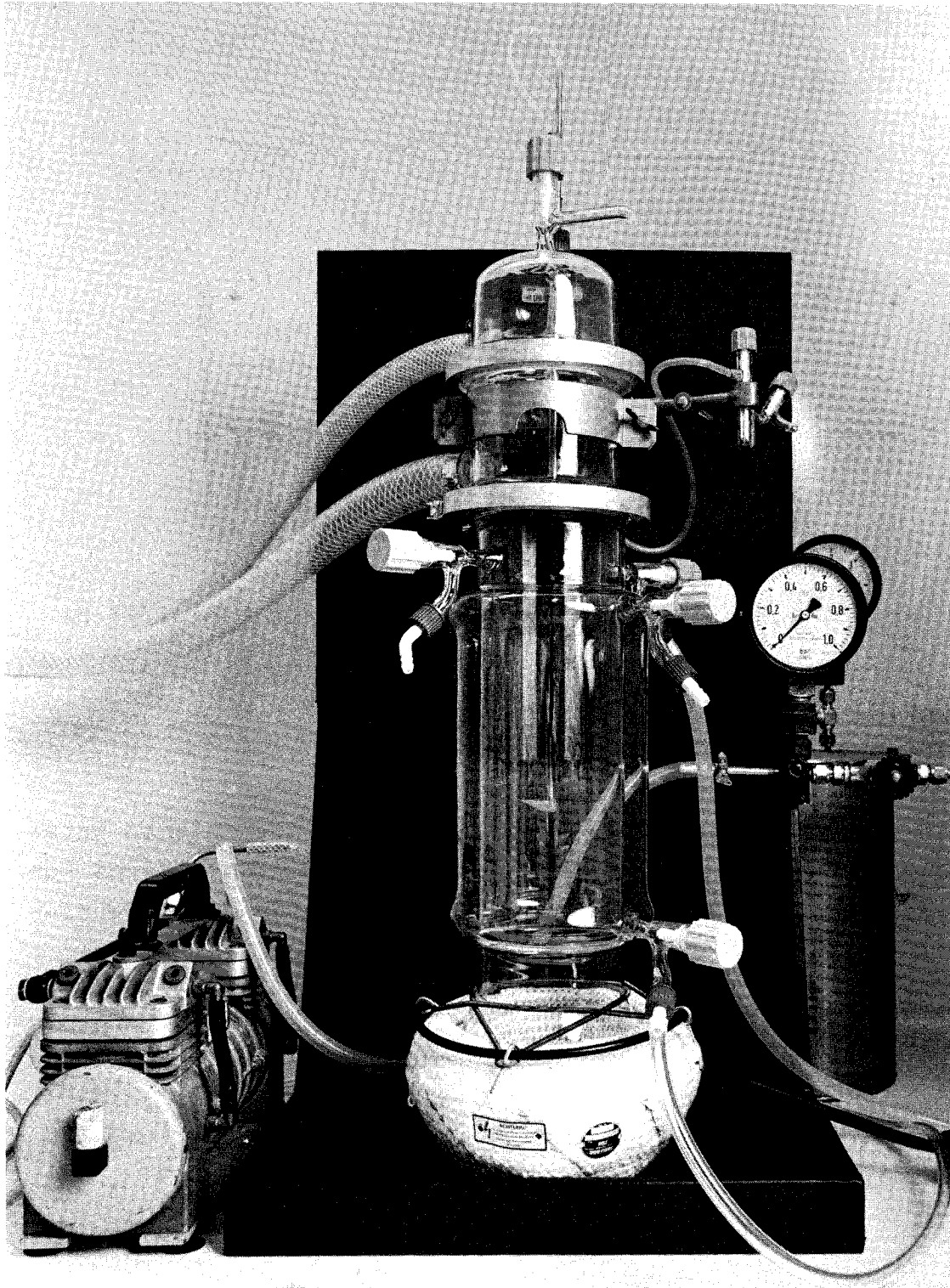


Abb. 4.3

Versuchsaufbau zum Testen des Kondensators.

## 5. ZUSAMMENFASSUNG

Eine Möglichkeit der Extraktion der aus dem Blanketmaterial eines Fusionsreaktors, z. B. metallischem Lithium, erbrüteten Brennstoffkomponente Tritium, ist die Anreicherung des Tritiums im metallischen Lithium durch eine Hochtemperaturdestillation mit einer anschließenden Abtrennung des Tritiums unter Anwendung eines Permeationsschrittes.

In der vorliegenden Arbeit werden Auslegungsdaten für eine Kolonne zur Hochtemperaturdestillation gegeben. Charakteristisch für die Hochtemperaturdestillation ist das große Dampf- zu Kondensatverhältnis.

Ein Kondensatverteiler für geringe Flüssigkeitsmengen, der auf der Flüssigkeitsförderung durch die Kapillarwirkung benetzender Flüssigkeiten beruht, wird untersucht.

Weiterhin wird über die Entwicklung eines Kondensatverteilers für geringe Flüssigkeitsmengen berichtet, der nach dem Prinzip der Aufteilung eines bestimmten Flüssigkeitsstromes in eine Vielzahl kleiner Ströme infolge Schwerkraft arbeitet.

Abschließend wird ein Kondensator vorgestellt, von dessen Rohrenden das Kondensat kontrolliert abtropft und somit gleichmäßig auf den Kolonnenquerschnitt verteilt wird.

6. LITERATURVERZEICHNIS

- /1/ R. J. Bauer  
Ullmanns Encyklopadie der technischen Chemie.  
Band 16  
Verlag Chemie GmbH, Weinheim, 1980
  
- /2/ G. M. Mc Cracken et al.  
Extraktion of Tritium from Liquid Lithium.  
Nucl. Fussion Spec. Suppl. 1974  
Page 439 - 448
  
- /3/ H. R. Ihle, C. H. Wu  
The Solubility of Deuterium in, and its Separation from,  
Liquid Lithium by Distillation. Second International  
Congress on Hydrogen in Metals.  
Paris, France, 1977
  
- /4/ C. H. Wu, KFA Jülich  
persönliche Mitteilungen
  
- /5/ Gmelins Handbuch der Anorganischen Chemie,  
Band Lithium, 8. Auflage
  
- /6/ P. J. Horvath, R. F. Schubert  
Find Distillation Stages Graphically.  
Chemical Engineering  
Volume 65, 1958
  
- /7/ R. H. Perry, Cecil H. Chilton  
Chemical Engineer's Handbook  
Mc Graw-Hill, Fifth Edition
  
- /8/ E. Krell  
Handbuch der Laboratoriumsdestillation.  
Dr. Alfred Hüthig Verlag, 1976

- /9/ J. O. Cowles, A. D. Pasternak  
Lithium Properties Related to Use as a Nuclear Reactor  
Coolant  
UCRL-50647  
Lawrence Radiation Laboratory  
University of California, Livermore
- /10/ R. Billet  
Industrielle Destillation  
Verlag Chemie, 1973
- /11/ D. Montz, H.-J. Kloß  
Vorrichtung zum gleichmäßigen Abführen der Flüssigkeit  
von Kolonnenböden.  
Deutsche Patentschrift 1084 699, 1960
- /12/ H.-J. Kloß  
Zur Verteilung kleiner Flüssigkeitsmengen in Stoffaustausch-  
kolonnen.  
CZ-Chemie-Technik, 3. Jahrgang  
Nr. 3, 1974
- /13/ E. Truckenbrodt  
Strömungsmechanik  
Grundlagen und technische Anwendungen  
Springer-Verlag, 1968
- /14/ VDI-Wärmeatlas

