

**KERNFORSCHUNGSZENTRUM  
KARLSRUHE**

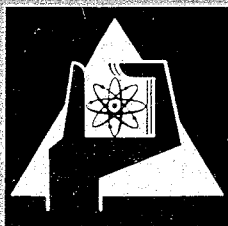
Mai 1969

KFK 862

Institut für Heiße Chemie

Zentrifugalextraktoren für die Wiederaufarbeitung von  
Kernbrennstoffen mit hohem Abbrand und Plutoniumgehalt

B. F. Roth



GESELLSCHAFT FÜR KERNFORSCHUNG M. B. H.

KARLSRUHE



KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE

April 1969

KFK-862

Institut für Heiße Chemie

Zentrifugalextraktoren für die Wiederaufarbeitung  
von Kernbrennstoffen mit hohem Abbrand und Plu-  
toniumgehalt.

B.F. Roth

Gesellschaft für Kernforschung m.b.H., Karlsruhe



## INHALTSVERZEICHNIS

	<u>Seite</u>
1. Einführung	1
2. Einsatz von Schnellextraktoren	3
3. Aufbau u. Funktionsweise des Zentrifugalextraktors	4
4. Berechnungsgrundlagen	6
4.1 Mischer-Wirksamkeit	6
4.2 Trennwirksamkeit einer Stufe	7
4.3 Lage der Phasentrennschicht	8
4.4 Luftvordruck zur Trennschichtregelung	10
5. Versuchsaufbau	11
6. Bestimmung des maximalen Durchsatzes	13
6.1 Z.E.-Prototyp ohne Phasentrennschichtregelung	13
6.2 Z.E.-Prototyp mit Phasentrennschichtregelung	14
7. Bestimmung der Stoffaustausch-Wirksamkeit	17
7.1 Uranextraktion mit 3 Stufen	17
7.2 Uranrückextraktion mit 6 Stufen bei 22°C	18
8. Betriebsverhalten des Z.E.	20
8.1 Anfahreigenschaften	20
8.2 Gleitringdichtung zur Preßluftaufgabe	20
8.3 Antrieb	21
8.4 Ausfall einer Stufe	22
8.4.1 Ausfall eines Motors	22
8.4.2 Ausfall der Trennschichtregelung	23
8.5 Abschalten u. Wiederanfahren der Stufen	24
8.6 Wäsche u. Demontage einer Stufe	25
9. Einsatzmöglichkeiten des Z.E.	25
9.1 Wiederaufarbeitung von Kernbrennstoffen	25
9.2 Solvent-Extraktion in der chemischen Industrie	28
10. Literatur	30

## 1. Einführung

Bei der Wiederaufarbeitung der Brennelemente schneller Brutreaktoren, die bis 1980 in großtechnischem Maßstab zu erwarten ist, treten u.a. bei der extraktiven Trennung des Brenn- und Brutstoffes von den Spaltprodukten nach der wässrigen Aufarbeitungsmethode zwei wesentliche Probleme auf.

1. Hohe spezifische Spaltproduktaktivität, bedingt durch den hohen Abbrand (80 000 MWd/t), die hohe spezifische Leistung (100 bis 200 kW/kg Brennstoff) und die aus ökonomischen Gründen erforderliche kurze Abklingzeit (100 d). Die spezifische Aktivität der Brennelemente eines schnellen natriumgekühlten Brütters mit einer elektrischen Leistung von 1000 MW beträgt nach einer Abklingzeit von 100 Tagen ca. 22 000 Ci/kg( $UO_2 + PuO_2$ ).

## 2. Hoher Plutonium-Gehalt

Bei einem Schnellen Natriumgekühlten Reaktor (SNR) liegt der Plutoniumgehalt im Core nach einem Abbrand von 80 000 MWd/t etwa um den Faktor 20 höher als bei einem fortgeschrittenen LWR nach 20 000 MWd/t Abbrand.

Die hohe Radioaktivität bewirkt bei der Extraktion eine radiolytische Zersetzung des organischen Extraktionsmittels (Tributylphosphat/n-Dodecan), wobei durch komplexe Bindung von Uran und vor allem Plutonium an die dabei entstehenden Zersetzungsprodukte des TBP unzulässig hohe Spaltstoffverluste auftreten.

Wie hoch diese Verluste sind, hängt neben der Höhe der Strahlendosis von der Zeitdauer ab, die das Lösungsmittel in den einzelnen Extraktionsstufen in Kontakt mit der Spaltproduktlösung steht.

Bei Verwendung der gebräuchlichen Misch-Absetz-Extraktoren mit einer Kontaktzeit des Lösungsmittels von 2 min pro Stufe beträgt die Strahlendosis bei einem Durchlauf durch den ersten Extraktionszyklus ca.  $0,5 \text{ Wh/l}^1$ ) (bei gemeinsamer Aufarbeitung von einem Na<sup>1</sup>-Core mit 1/2 Radialblanket, 25 W/kg U + Pu Spaltwärmleistung, 20 % TBP-Prozeß).

Bei  $1 \text{ Wh/l}$  tritt ein Pu-Verlust von max. 50 mg pro Liter Lösungsmittel auf bei einem U/Pu-Verhältnis von etwa 15.<sup>1)</sup>

Bei gemeinsamer Aufarbeitung von Core und Blanket eines 1000 MWe-SNR, wie oben erwähnt, ergibt sich ein mittlerer Abbrand des Brennstoffes von 22 800 MWd/t, dem ein Pu-Gehalt von 6 % des gesamten Brennstoffes entspricht.<sup>2)</sup> Das ist immer noch ein um das 10-fache höherer Pu-Gehalt, verglichen mit einem fortgeschrittenen LWR.

Durch den Einsatz von Zentrifugalextraktoren anstelle von Mixer-Settlern oder pulsierten Siebbodenkolonnen werden beide Probleme zugleich beherrscht. Die Kontaktzeit zwischen organischer und wäßriger Phase beträgt bei einer Zentrifugalextraktorstufe (4 - 10 sec) nur etwa 1/25 der einer Mixer-Settler-Stufe (2 min.) gleicher Kapazität. Die radiolytische Zersetzung kann dadurch vernachlässigt werden.

Sollen in einer Wiederaufarbeitungsanlage Brennstoffe aus thermischen und aus schnellen Reaktoren gemeinsam aufgearbeitet werden, was beabsichtigt wird, da die Pu-Isotopenzusammensetzung der mit 25 bis 30000 MWd/t abgebrannten Brennstoffe aus therm. Reaktoren (LWR, PWR) ähnlich der von SNR ist, muß man bei Einsatz konventioneller Extraktoren zumindest in den ersten beiden Extraktionszyklen eine Konzentrations- oder Massenbegrenzung für Pu vorsehen. Dies ist aber immer eine unökonomische Maßnahme, da sie zu einer Verminderung der Aufarbeitungsrate führt. Da die Zentrifugalextraktoren (Z.E.) bei kleinem Stufenvolumen einen sehr großen Durchsatz erreichen, kann man mit ihnen Pu-Brennstoffe ohne Konzentrationsbegrenzung aufarbeiten.

in geometrisch sicheren Z.E.-Stufen können täglich ca. 1400 kg ( $\text{UO}_2$ ,  $\text{PuO}_2$ , Spalt-Prod.) des Core-Blanketgemisches eines SNR aufgearbeitet werden, was etwa dem täglich anfallenden Brennstoff von 6 SNR mit je 1000 MWe entspricht.

## 2. Einsatz von Schnellextraktoren

Schnellextraktoren mit kurzen Verweilzeiten der beiden flüssigen Phasen werden schon seit etwa 20 Jahren vor allem in der chemischen Industrie eingesetzt, z.B. der Luwesta- u. der Podbielniakextraktor. Diese Extraktoren lassen sich nicht zur Kernbrennstoff-Wiederaufarbeitung einsetzen, wie eigene Untersuchungen und ein Eurochemic-Report<sup>3)</sup> zeigen, da sie entweder mechanisch relativ anfällig sind oder sich nicht weiter durch Änderung der Konstruktion auf geometrisch sichere Abmessungen verkleinern lassen.

Speziell für den Einsatz bei der Solvent-Extraktion in Wiederaufarbeitungsanlagen wurde in den letzten Jahren im Savannah-River-Laboratory (USA) ein Zentrifugalextraktor entwickelt<sup>4)-11)</sup>. Er wurde bereits im halbtechnischen Maßstab erfolgreich getestet<sup>10)</sup>. Die Versuchsextraktoren hatten einen Rotorzylinderdurchmesser von 25 cm und erreichten einen maximalen Gesamtdurchsatz von 230 l/min. bei einer Kontaktzeit von ca. 4 sec pro Stufe.

Unsere Versuche mit ähnlichen Zentrifugalextraktoren konzentrierten sich auf einen geometrisch sicheren Extraktor mit einem Rotordurchmesser von 8 cm (eversafe) zur Aufarbeitung von hochabgebrannten Plutoniumbrennstoffen. Es wurden maximale Gesamtdurchsätze von ca. 14 l/min. bei einer Kontaktzeit von 4 sec/Stufe erreicht.



### 3. Aufbau und Funktionsweise des Zentrifugalextraktors

Der prinzipielle Aufbau einer typischen kompakten Extraktorstufe ist in Abb. 1 dargestellt.

Die wesentlichen Bestandteile sind eine Mischkammer zur Vermischung und Förderung der Phasen, ein Rotorzylinder zur Fliehkrafttrennung des Gemisches, ein Ringwehrteil zur getrennten Abnahme der Phasen und ein gemeinsamer Antriebsmotor für Rotor und Mischer.

Die leichte und schwere Phase werden von einer 4-flügeligen Propellerpumpe unten über die beiden waagerechten Zulaufrohre in die Mischkammer gesaugt und intensiv vermischt, womit man einen optimalen Stoffaustausch erreicht, und über Umlenk- und Beruhigungsbleche in der Achsmittle in den Rotorzylinder gedrückt. In der engen, düsenartigen Durchtrittsöffnung wird das Gemisch unter Umwandlung von Druck in Geschwindigkeitsenergie von der ruhenden Mischkammer in die rotierende Absetzkammer (Rotor) gefördert. Von der richtigen Wahl des Querschnittes dieser Durchtrittsöffnung in Abhängigkeit von Drehzahl und Gesamtdurchsatz hängt wesentlich das richtige Funktionieren der Stufe ab.

Ein Prall- bzw. Umlenkblech im Rotor auf der Mischerwelle leitet das eintretende Phasengemisch radial nach außen um, was bewirkt, daß das Gemisch über die gesamte Rotorlänge dem Fliehkraftfeld (ca. 400 g) unterworfen ist. Im Fliehkraftfeld wandert die schwere Phase an die Rotorwand, die leichte in Richtung Rotorachse, dazwischen stellt sich die Phasengrenzschicht ein.

Die beiden sauberen Phasen werden am oberen Rotorende getrennt über besonders ausgebildete Ringwehre abgezogen und über radiale Bohrungen im Rotor in die feststehenden, ringförmigen Auffangkammern im äußeren Gehäuse geschleudert. Von hier gelangen sie über tangentiale Auslaßrohre in die folgenden Extraktorstufen.

Die Rotorwelle ist in einem Stopfen gelagert und über eine Steckkupplung mit dem Motor verbunden. Der gesamte Extraktor mit Aufhängerahmen und Antrieb ist an einer starren Abschirmplatte befestigt. Der Rotor ist an seinem unteren Ende fliegend gelagert. Im Flüssigkeitsstrom befindet sich kein mechanisch empfindliches und zu wartendes Teil. Über dem Motor auf seiner verlängerten Welle befindet sich, leicht austauschbar, eine Gleitringdichtung. Über sie wird Preßluft (0-300 mm Hg) durch die durchbohrte Motor- u. Rotorwelle auf das Ringwehr der schweren Phase geführt. Durch entsprechende Wahl des Luftdruckes kann von außen die Lage der Phasengrenzschicht so gesteuert werden, daß beide Phasen sauber abströmen<sup>9)</sup>.

Allerdings kann der Extraktor auch ohne Regelung der Phasengrenzschicht betrieben werden, wenn man die Radien der Überlaufwehre entsprechend auslegt, jedoch ist dann der maximal erreichbare Gesamtdurchsatz beider Phasen nur etwa halb so groß. Eine Trennschichtregelung bringt außerdem eine größere Flexibilität des Extraktors, d.h. es können Phasengemische mit breit streuenden Dichteverhältnissen in ein und demselben Extraktor durchgesetzt werden.

#### 4. Berechnungsgrundlagen

##### 4.1 Mischer-Wirksamkeit

Sie ist eine Funktion der Drehzahl und der Geometrie der Mischkammer und des Mischpropellers.

Bei der verglichen mit Misch-Absetzern hohen Drehzahl des Mixers im Zentrifugalextraktor wird eine sehr gute Durchmischung der Phasen beziehungsweise ein nahezu hundertprozentiger Stoffaustausch erreicht.

Die Stufeneffektivität E nach Treybal<sup>12)</sup>, die angibt, wie nahe man in einer Stufe an das theoretisch mögliche Gleichgewicht der auszutauschenden Stoffe herangekommen ist, ist ein Maß für die Mischer Wirksamkeit.

$$E = \frac{Y_2 - Y_1}{Y_e - Y_1} \quad (1)$$

$Y_1$  = Eingangskonzentration des Solvents bei Eintritt in die Stufe

$Y_2$  = Ausgangskonzentration " " " Austritt aus der Stufe

$Y_e$  = Theoretische Ausgangskonzentration im Gleichgewichtszustand

Zur Vermeidung der Bildung einer sog. sekundären Dispersion<sup>13)</sup>, d.h. der Bildung von sehr kleinen Solvent-Tröpfchen, die nur schwer zu trennen sind, darf der Misch-Propeller keine scharfen Kanten und raue Oberflächen besitzen.

Neben der Mischer-Drehzahl, die den Haupteinfluß auf den Stoffaustausch hat, wirkt sich unter den geometrischen Parametern vor allem noch der Durchmesser der Mischkammer aus.<sup>14)</sup>

#### 4.2 Trennwirksamkeit einer Stufe

Die Trennwirksamkeit ist durch den Abscheidegrad  $K_S$  definiert.

$$K_S = \frac{u_S \cdot T}{\delta} \quad (2)$$

$u_S = u_o \cdot Z$  (Sedimentationsgeschwindigkeit im Zentrifugalfeld)

$$T = \frac{V}{Q} = \frac{D \cdot \bar{u} \cdot \delta \cdot L}{Q} \quad (\text{Kontaktzeit in Mixer u. Rotor-  
settler})$$

$$Z = \frac{br}{g} = \frac{\omega^2 \cdot D}{2g} \quad (\text{Zentrifugenkennzahl})$$

$$u_o = \frac{d^2(\rho_S - \rho_L) \cdot g}{18 \eta} \quad (\text{Sinkgeschwindigkeit im statischen  
Bereich nach Stokes})$$

$V$  = Mixer- u. Rotorfüllvolumen

$Q$  = Gesamtdurchsatz

$\eta$  = dynamische Zähigkeit

$d$  = mittlere Tröpfchengröße einer Phase

$br$  = Fliehkraftbeschleunigung

$g$  = Erdbeschleunigung

$\omega$  = Winkelgeschwindigkeit

$n$  = Drehzahl

$\delta$  = Flüssigkeitsschichtdicke im Rotor

$D$  = Rotordurchmesser

$\rho_S, \rho_L$  = Dichte der schweren bzw. leichten Phase

$L$  = Länge des Trennteiles

Durch Substitution von Gleichung (2) wird:

$$K_S = \frac{\pi}{36} (\rho_S - \rho_E) \frac{d^2}{n} \frac{L \cdot D^2 \cdot \omega^2}{Q} \quad (3)$$

$$K_S \sim \Delta \rho \cdot \frac{L \cdot D^2 \cdot n^2}{Q} = \Delta \rho \cdot T \cdot D \cdot n^2$$

Wenn man von einem gegebenen Stoffsystem und Extraktor ausgeht, kann die Trennwirksamkeit (Abscheidegrad) über die Betriebsgrößen Drehzahl und Durchsatz gesteuert werden.

#### 4.3 Lage der Phasentrennschicht

In Abb. 2 sind die hydrodynamischen Verhältnisse in einem Zentrifugalextraktor dargestellt. Die Phasentrennschicht soll sich durch entsprechende Wahl der beiden Überlaufwehre zwischen  $m$  und  $r_{0*}$  einstellen, damit jede Phase sauber abläuft.

Für den Druck längs einer Normalfläche gilt nach den Navier-Stokes'schen Differentialgleichungen

$$\rho \cdot b = \frac{dp}{dr} \quad (4)$$

In der Phasentrennschicht (Trenngrenze mit  $v_{r1} = 0$ ) müssen nun der Druck der organischen (leichten) und wässrigen Phase im Gleichgewicht stehen ( $dp_o = dp_w$ )

Damit gilt nach Integration von Gl. (4)

$$\varphi_0 \cdot (r_1^2 - r_0^2) = \varphi_w (r_1^2 - r_w^2) \quad (5)$$

Substituiert man in Gl. (5)  $r_0$  und  $r_w$  durch  $F_0$  bzw.  $F_w$ , wobei gilt

$F = \left( \frac{r}{r_*} \right)^2$  und eliminiert nach  $r_1$ , so gilt:

$$r_1 = \sqrt{\frac{r_w^{*2} \cdot F_w - r_0^{*2} \cdot F_0 (\varphi_0 / \varphi_w)}{(1 - \varphi_0 / \varphi_w)}} \quad (6)$$

Hieraus kann die Lage der Phasentrennschicht allein mit den Wehrradien und  $\varphi_0 / \varphi_w$  auch überschlägig berechnet werden, wenn man den Durchsatz Null setzt, wobei dann

$$r_0 = r_{0*} \text{ u. } r_w = r_{w*} \text{ bzw. } F_w = F_0 = 1 \text{ wird.}$$

Zur genauen Berechnung von  $r_1$  muß man  $F$  bzw.  $r$  berechnen, was mit folgenden weiteren Gleichungen möglich ist.

Analog zur Wehrgleichung für ein gerades Überströmwehr gilt für ein kreisförmiges Wehr:<sup>4)</sup>

$$Q = k \cdot \pi \cdot f \cdot w \cdot r_*^3 (1 - F)^{3/2} \quad (7)$$

$Q =$  Flüssigkeitsstrom in l/h

In dieser Gleichung sind  $k$  und  $F$  unbekannt, wenn man für  $Q$  einen bestimmten Wert annimmt.

Der Wert  $k$  läßt sich getrennt für jedes Wehr berechnen nach<sup>4)</sup>

$$\ln \frac{k}{k_*} = - \frac{4}{b \cdot n} (k_* \cdot f \cdot \pi)^{2/3} \left( \frac{Q}{W} \right)^{1/3} \quad (8)$$

Für ein rechteckiges, gerades Wehr mit breiter Kante, wie es normalerweise eingesetzt wird, ist  $k_* = 0,33$

$$f = 1 - \frac{n \cdot t}{2 \pi \cdot r_*} \quad (\text{Wehrparameter}) \quad (9)$$

$k$  = Wehrkonstante des Ringwehres

$t$  = Dicke der radialen Mitnehmerbleche im Rotor und Wehrteil

$n$  = Zahl u.  $b$  = Breite der radialen Mitnehmerbleche.

Für den Rotorsettler wird  $L = b$

Mit dem aus Gl. (8) erhaltenen  $k$ -Wert wird über Gl. (7)  $F$  bestimmt und damit schließlich  $r_i$  aus Gl. (6)

#### 4.4 Luftvordruck zur Trennschichtregelung

Die Vorgabe eines zusätzlichen Luftdruckes auf die wässrige Phase muß in Gleichung (5) entsprechend berücksichtigt werden. Für das Gleichgewicht in  $r_i$  gilt jetzt:

$$\rho_o \frac{w^2}{2g} (r_i^2 - r_o^2) = p_w + \rho_w \frac{w^2}{2g} (r_i^2 - r_w^2) \quad (10)$$

Für eine gewünschte Lage der Phasentrennschicht folgt hieraus der notwendige Luftvordruck  $p_w$ <sup>4)</sup>

$$p_w = \frac{\rho_w \cdot w^2}{2g} \left[ r_w^2 \cdot F_w - r_o^2 \cdot F_o \frac{\rho_o}{\rho_w} - r_i^2 \left( 1 - \frac{\rho_o}{\rho_w} \right) \right] \quad (11)$$

## 5. Versuchsaufbau

Zur Bestimmung der hydraulischen Eigenschaften, des Durchsatzes und der Stoffaustausch-Wirksamkeit wurde eine 12-stufige Z.E.-Batterie, wie in <sup>15)</sup> ausführlich beschrieben, aufgebaut.

Abb. 3 zeigt die im Rechteck angeordnete Extraktions-Batterie. Die Extraktoren hängen unter einer starren Tragplatte, auf der die einzelnen Drehstrommotoren angeordnet sind. Über den Motoren erkennt man die von Hand zu bedienende Probenahmeverrichtung, mit der mittels Vakuum 24 Proben (je Stufe 2) auf einmal gezogen werden können.

Den Querschnitt einer einzelnen Stufe zeigt Abb. 4. Die gleiche Stufe ist in Abb. 5 als Schnittmodell dargestellt. Die charakteristischen Daten der getesteten Prototyp-Z.E. wurden in Tab. 1 zusammengefaßt. Die Abmessungen wurden speziell für den Purex-Prozeß optimallisiert.



Tabelle 1 Daten des Prototyp-Zentrifugalextraktors (80 mm Ø)

Charakterist. Größen	Dimension	Z.E.	Bemerkungen
Rotor-Dmr.	mm	80	geometr.sicher bis ca. 120 mm Ø
Rotor-Höhe	"	130	
$r_o^*$	"	16	organ. Wehr
$r_w^*$	"	19	wäsr. Wehr
$r_w^*$	"	26	mit Luftregelung
Holdup Mixer	l	0,12	
" Settler	"	0,6	
" gesamt	"	0,72	hiervon 1,2 l organ. Phase
$Z = b/g$	1	400	Beschleunigungs- vielfaches
Antriebsleistg.	W/Stufe	500	ein Motor pro Stufe
Drehzahl	min <sup>-1</sup>	3000	Drehstrommotor
Werkstoff Nr.	DIN	14541	

Die Prozeßlösungen wurden aus 200 l-Fässern mittels Preßluft eingespeist und über Rotameter von Hand gesteuert. Die 12-stufige Batterie benötigte eine Stellfläche von 1,2 x 0,8m. Jeder Motor wurde getrennt ein- und ausgeschaltet. Die Drehzahl wurde über einen Frequenzgenerator geregelt.

## 6. Bestimmung des maximalen Durchsatzes

Der maximal erzielbare Gesamtdurchsatz eines Z.E. ist neben seiner Geometrie noch von folgenden Größen abhängig:

1. Mengenstromverhältnis  $q_w/q_o$  der beiden Phasen
2. Drehzahl von Mixer und Rotor-Settler
3. Dichteverhältnis  $\rho_o/\rho_w$  der Phasen
4. Zähigkeit bzw. Temperatur und Emulsionsneigung der Phasen

### 6.1 Z.E.-Prototyp ohne Phasentrennschichtregelung

Ohne Regelung der Phasentrennschicht wurde ein für das Purex-Verfahren günstiges wässriges Wehr mit einem Radius von 19 mm verwendet. Durchsatz- u. Trennversuche wurden mit 30 % TBP/Shellsol T als Solvent u. wahlweise 0,075 u. 1 M  $\text{HNO}_3$  als wässrige Phase durchgeführt.

In Abb. 6 ist der max. Gesamtdurchsatz bei verschiedenen konstanten Drehzahlen, Dichteverhältnissen u. max. Verunreinigungen der organischen Phase mit wässriger Phase als Funktion des Mengenstromverhältnisses aufgetragen.

Die wässrige Phase war in dem hier gemessenen  $q_w/q_o$ -Bereich immer vollständig sauber. Bei etwa gleichgroßen Mengenströmen der Phasen wurde der größte Durchsatz gemessen. Je höher die Drehzahl, desto größer ist der Durchsatz bei konstanter Verunreinigung. Dieser Einfluß des Dichteverhältnisses  $\rho_o/\rho_w$  u. der Emulsionsneigung gehen aus der strichpunktierter Kurve hervor. (Abb, 6)

Bei abnehmendem Dichteverhältnis (zunehmender Dichtedifferenz, Gl. 3) steigt der Gesamtdurchsatz bei konstanter Drehzahl. Je geringer die Säuremolarität, desto größer ist die Emulsionsneigung bei Salpetersäure/TBP-Gemischen.

Oberhalb der in Abb. 5 gezeichneten Kurven ist die organische Phase unter den angegebenen Bedingungen immer zu mehr als 1 % mit wässriger Phase verunreinigt. Für jedes andere Lösungssystem müssen entsprechende neue Betriebs-Durchsatzkurven aufgestellt werden. Diese Kurven sind für das hydraulische Verhalten eines Z.E. typisch.

Für den Rotordurchmesser von 80 cm und eine Drehzahl von 3000 Upm errechnet sich eine 400-fache Erdbeschleunigung. Die Kontaktzeit beider Phasen bei einem Gesamtdurchsatz von 600 l/h ( $q_w/q_o = 1$ ) beträgt 5 sec/Stufe.

## 6.2. Z.E.-Prototyp mit Phasentrennschichtregelung

Bei einer Phasentrennschichtregelung mittels Preßluft werden zur Flüssigkeitsabdichtung der Regelluft gegen den wässrigen Ausströmstutzen im Rotor ein weiteres Ringwehr sowie eine Abdichtscheibe benötigt (siehe Teil 29 in Abb. 3). Für die Trennversuche wurden am 80 cm Rotor nur das wässrige Überströmwehr auf  $r_w^* = 26$  mm vergrößert und das zusätzliche Stauwehr eingebaut.

Betrieibt man diesen Extraktor ohne Aufgabe von Preßluft, so treten immer beide Phasen zusammen über das wässrige Wehr aus, da rein theoretisch die Phasentrennschicht bei diesen Wehrabmessungen außerhalb des Rotors liegt.

Die maximale hydraulische Kapazität des Z.E. wurde bei einer konstanten Drehzahl von 3000 Upm in Abhängigkeit von Mengenstromverhältnis und Regelluftdruck für das System 15 % TBP/SST - 1 M  $\text{NaNO}_3$ /0,1 M  $\text{HNO}_3$  bestimmt. Der bei einem gegebenen Mengenstromverhältnis zur Trennung der Phasen notwendige Luftdruck  $p_w$  ist in Abb. 7 als Funktion des bei maximaler Verunreinigung einer der beiden Phasen von 1 % möglichen Gesamtdurchsatzes aufgetragen.

Allgemein gilt, daß die beiden Phasen nur dann sauber überströmen, wenn die Phasentrennschicht ( $r_i$ ) zwischen  $r_{ul}$  und  $r_o$  liegt. Die Breite der Phasentrennschicht nimmt mit steigendem Durchsatz stetig zu. Um bei gegebenem Extraktor und geg. Betriebsbedingungen ein  $r_i \leq r_{ul}$  zu erhalten, ist ein maximaler Regeldruck nötig. Ebenso kann ein maximaler Regeldruck definiert werden, bei dem  $r_i \geq r_{o*}$  ist. Dieser Druckbereich steht zur Regelung maximal zur Verfügung. Der maximale Regeldruck darf allerdings den durch die Anordnung der wässrigen Wehre bedingten maximalen hydrodynamischen Druck  $\Delta p_h$  nicht überschreiten. (siehe Abb. 8) Dieser ist definiert als

$$\Delta p_{h_{\text{theor.}}} = p_2 - p_1 = \frac{\rho_w}{2} \omega^2 (r_2^2 - r_w^2) \quad (12)$$

Da die Regelluft bei Überschreiten dieses  $\Delta p_h$  über die Wehre entweicht, kann kein weiterer Steuereffekt erzielt werden. Das effektive  $\Delta p_h$  ist durch den Einfluß von Corioliskräften ca. 5 % kleiner als das theoretische.

Der in Abb. 7 innerhalb der beiden Geraden liegende Bereich ist der eigentliche Druckregelbereich, in dem beide Phasen sauber getrennt sind. Im Bereich oberhalb der oberen Geraden ist die organische Phase (leichte Ph.), unterhalb die wässrige Phase verunreinigt.

Mit zunehmendem Durchsatz, d.h. mit breiter werdender Phasentrennschicht wird der Regelbereich stetig kleiner bis zum Schnittpunkt der jeweiligen Geraden mit gleichem Mengenstromverhältnis  $q_w/q_o$ . Diese Schnittpunkte in Abb. 7 geben die maximal erreichbare Kapazität bei einem optimalen  $p_w$  an u. ergeben die in Abb. 9 dargestellte Durchsatzkurve. Diese gilt genau nur für die angegebenen Bedingungen u. muß für jedes Stoffsystem von Fall zu Fall neu ausgemessen werden.

Aus Abb. 7 kann man ersehen, was zu unternehmen ist, wenn bei einem bestimmten  $Q$  u.  $q_w/q_o$  eine Phase unsauber wird, um wieder eine saubere Trennung zu erreichen. Beispielsweise wird bei konstantem  $p_w = 170$  mm Hg u.  $q_w/q_o = 2/1$  die wässrige Phase bei stetiger Durchsatzsteigerung bei etwa 400 l/h zu mehr als 1 % mit organischer Phase verunreinigt. Bei weiterer Durchsatzsteigerung kann nur durch eine entsprechende Erhöhung des Regelluftdruckes um einige mm Hg die wässrige Phase sauber getrennt werden, u. analog dazu die organische Phase durch Druckerniedrigung. Durch die pneumatische Phasentrennschichtregelung kann der Durchsatz stark erhöht u. die Flexibilität verbessert werden.

In ein u. demselben Extraktor können bei Anwendung der Phasentrennschichtregelung ohne Einbußen im Gesamtdurchsatz alle Phasengemische, die in den verschiedenen Zyklen des Purex-Prozesses auftreten mit Dichteverhältnissen von organischer zu wässriger Phase von ca. 0,75 bis 0,95 verarbeitet werden. Bei zunehmendem Dichteverhältnis wandert die Phasentrennschicht zur Rotorachse, d.h. in Richtung des organischen Überlaufwehres.

## 7. Bestimmung der Stoffaustausch-Wirksamkeit

Die Extraktionseffektivitäten der einzelnen Stufen wurden mit 30 Vol.% TBP/Shellsol T und einer wässrigen Uranyl-nitratspeisung (Natururan) von 0,198 M U/2,5 M HNO<sub>3</sub> gemessen. Diese Werte entsprechen den Fließschemabedingungen, wie sie im dritten Uran-Reinigungszyklus der Wiederaufarbeitungsanlage Karlsruhe (WAK) vorliegen. Dieser Zyklus wird mit 24 Zentrifugalextraktoren, die dem hier getesteten Prototyp entsprechen betrieben.

### 7.1 Uranextraktion mit 3 Stufen

Das Extraktions-Fließschema zeigt Abb. 10

Von jedem Ausgangsstrom der einzelnen Stufen wurden in bestimmten Zeitabständen auf einmal Proben gezogen und analysiert. Die so gemessene Uranverteilung ist in Abb. 11 im McCabe Thiele-Diagramm dargestellt. Bei der Uran-Massenbilanz ergab sich eine Abweichung von  $\pm 0,53$  %, bei der Säurebilanz von  $\pm 1,25$  %. Der Konzentrationsverlauf der Säure während der Extraktion ist in Abb. 12 dargestellt. Nach etwa 25-fachem Volumenwechsel pro Stufe, d.h. nach 6 Minuten stellte sich bei einem Gesamtdurchsatz von 215 l/h bereits das Gleichgewicht ein. (Bei einer pulsierten Siebbodenkolonne gleicher Leistung liegt die Zeit bis zur Einstellung des Extraktionsgleichgewichtes um mindestens den Faktor 15 höher).

Die Kontaktzeit pro Stufe betrug 14,1 sec.

In allen 3 Stufen stellte sich praktisch 100 % des theoretischen Gleichgewichtes ein. (siehe Abb. 11).

Die Gesamteffektivität, das Verhältnis von theoretischer und praktischer Stufenzahl erreichte 100 %, die Phasen waren dabei sauber getrennt.

Ein Vergleich der analytisch bestimmten Säurewerte mit den nach Abb. 12 graphisch ermittelten gibt Tab. 2

Tab. 2 Vergleich der Säurekonzentrationen

Stufen-Nr.	[HNO <sub>3</sub> ] in Mol/l im Gleichgew. mit der			
	wässr. Phase		organ. Phase	
	analyt.	graph.	analyt.	graph.
1	2,77	2,81	0,27	0,28
2	2,75	2,76	0,61	0,63
3	2,41	-	0,58	0,58

### 7.2 Uranrückextraktion mit 6 Stufen bei 22°C

Das Fließschema zeigt Abb. 13

Die Uranverteilung ist in Abb. 14 im McCabe Thiele-Diagramm dargestellt. Das Verteilungs-Gleichgewicht stellte sich nach ca. 32-fachem Volumenwechsel pro Stufe, d.h. nach 8 Min. ein bei einem Gesamtdurchsatz von 200 l/h. Die Kontaktzeit pro Stufe betrug 15,1 sec (kleiner Gesamtdurchsatz). Bei der U-Massenbilanz ergab sich eine Abweichung von  $\pm 0,75$  %. Aus dem Stufendiagramm (Abb. 14) ist zu erkennen, daß in den einzelnen Stufen das theor. Gleichgewicht nicht erreicht wurde. Die Flußverhältnisse variierten von Stufe zu Stufe.

Die Murphree-Stufeneffektivität<sup>12)</sup>  $E_{MR} = (x_1 - x_2) / (x_1 - x_2^*)$  für den Raffinatstrom und der Stoffaustausch, über die Massenbilanz bestimmt sind in Tab. 3 zusammengestellt.

Tab. 3 Murphree-Stufeneffektivität

Stufen-Nr.	Stufeneffektiv. $E_{MR}$ [%]	Flußverhältnis o/w	Stoffaustausch mg U
1	79	0,43	3,73 ± 0,07
2	79	1,0	13,4 ± 0,2
3	75,5	0,74	11,05 ± 0,25
4	81,6	0,77	12,26 ± 0,04
5	93,0	0,83	12,42 ± 0,2
6	85	0,38	3,36 ± 0,43

Nach Abb. 14 wäre bei 100 % Effektivität gemäß gestricheltem Stufenzug  $N_{\text{theor.}} = 5$

Die tatsächlich benötigte Stufenzahl ist 7. Damit errechnet sich eine Gesamteffektivität von 71,5 %.



## 8. Betriebsverhalten des Zentrifugalextraktors

### 8.1 Anfahreigenschaften

Der Anfahrvorgang bei einem Z.E. ist sehr einfach. Nach dem Einschalten der einzelnen Antriebe und ggf. der Druckluftregelung wird zuerst die schwere Phase zugegeben. Nach einigen Minuten (je nach Durchsatz), wenn die Stufen gefüllt sind und die schwere Phase aus der letzten Stufe der Gegenstrombatterie ausströmt, kann die leichte Phase eingespeist werden. Auf diese Weise vermeidet man, daß leichte Phase über den wässrigen Auslauf in der falschen Richtung fließt. Nach Einspeisung der leichten Phase wird der Gleichgewichtszustand nach wenigen Minuten erreicht.

### 8.2 Gleitringdichtung zur Preßluftaufgabe

Über jedem Motor sitzt auf dem oben herausragenden Wellenende eine Gleitringdichtung, über die die Regelluft auf die rotierende Welle ohne nennenswerte Luftverluste abgegeben wird. Sie wird axial durch ein Schulterkugellager und radial gegen Verdrehung durch einen Arretierstift am Motorgehäuse gehalten. Zur Schmierung und Wärmeübertragung zum Gehäuse ist sie mit Öl gefüllt. Die Kühlung wird durch Vorbeilenken des vom Motor angesaugten Kühlluftstromes an ihrem Gehäuse erreicht.

Für eine möglichst lange Lebensdauer der Gleitringdichtung sind neben der sorgfältigen Auswahl des Gleitringwerkstoffes, der Kühlung und Schmierung sehr harte und polierte Laufflächen für die Wellendichtringe zur Abdichtung der Öl-Füllung wichtig. Bei Versagen kann die Dichtungseinheit leicht nach oben abgezogen und durch eine neue ersetzt werden.

Je nach Dichteänderung der Phasen in einer Extraktionsbatterie, d.h. Änderung der Lage der Phasentrennschicht können entweder jede einzelne Stufe getrennt oder mehrere Stufen zusammen über ein gemeinsames Manometer gesteuert werden.

Damit man sofort eine unzulässig hohe Luftleckage erkennen kann, wird in jeder Luftzuführung zu den einzelnen Gleitringdichtungen ein Rotameter eingebaut. Bei Leckage zeigt das entsprechende Rotameter einen größeren Luftdurchsatz an.

### 8.3 Antrieb

Am einfachsten ist die Verwendung eines Drehstrommotors mit synchroner Drehzahl. Er ist robust und billig.

Soll die Drehzahl einer Batterie variiert werden, so bietet sich eine Regelung der Drehstrommotoren mittels Frequenzgenerator an.

Sollen bei vernünftigem Aufwand jedoch die Drehzahlen der einzelnen Stufen in einem nicht zu großen Bereich regelbar sein, so können hierzu Gleichstrom-Nebenschlußmotoren verwendet werden, deren Drehzahl zunächst gemeinsam über eine Ankerspannungsregelung auf einen Normalwert geregelt wird, u. anschließend bei jeder einzelnen Stufe über eine Feldschwächung auf den gewünschten Sollwert.

Der Ausfall eines Motors kann an der Schalttafel an den dafür vorzusehenden Amperemetern angezeigt werden. Die benötigte Antriebsleistung unseres Prototyp-Z.E. betrug bei 500 l/h Gesamtdurchsatz ca. 0,4 kW.

## 8.4 Ausfall einer Stufe

### 8.4.1 Ausfall eines Motors

Bei Ausfall eines Motors der Ein- oder Ausgangsstufe einer Batterie durch Kurzschluß, Stromunterbrechung, Lagerschaden oder Überlastung ist der Produkt- oder Raffinatstrom stark mit der anderen Phase verunreinigt.

Fällt bei einer 6-stufigen Batterie z.B. die dritte Stufe aus, so ergeben sich nach Abb. 15 folgende Verhältnisse: Stufe 3 füllt sich im Rotor u. Gehäusezwischenraum, die organ. Phase strömt über den organ. Auslaß zu Stufe 2, bis Stufe 3 bis zum organ. Wehr mit wässriger Phase gefüllt ist. Nun wirkt der statische Druck der wässrigen Phase der aus Stufe 4 austretenden organ. Phase entgegen, was bewirkt, daß nur noch die schwere (wässrige) Phase über die organische Zulaufleitung von Stufe 3 nach 4 zurückströmt, wodurch Stufe 3 keine organ. Phase mehr zugeführt wird. Da die aus Stufe 2 austretende wässr. Phase wegen der fehlenden Saugwirkung von Stufe 3 nicht rasch genug abgeführt wird, staut sich auch die Flüssigkeit in Stufe 2 zwischen Rotor u. Gehäuse, wodurch ein Teil der wässr. Phase über den organ. Auslaß nach Stufe 1 strömt. Stufe 1 fördert die gesamte eintretende wässrige Phase zu Stufe 2. Organische Phase tritt nicht aus Stufe 1 aus. Betrachten wir nun wieder Stufe 4: In diese Stufe wird wässrige Phase von Stufe 3 über den wässrigen Zulauf u. rückwärts über die organ. Auslaufleitung eingespeist, außerdem von Stufe 5 organische Phase. Durch das Zurückströmen füllt sich der Raum zwischen Rotor u. Gehäuse in Stufe 4. Da über die Leckageleitung diese Menge nicht abgesaugt wird, füllt sich das Gehäuse bis zum wässrigen

Überlauf, über den dann die wässrige und die gesamte organische Phase in Stufe 5 strömen.

Da nun die gesamte von Stufe 5 in Stufe 4 zulaufende organische Phase wieder über den wässrigen Auslauf nach Stufe 5 zurückströmt, bedeutet das, daß die organ. Phase in Stufe 5 und 6 mit der wässrigen Phase austreten muß.

Auf diese Weise brechen der Extraktionsprozeß und die Phasentrennung zusammen, die Batterie muß zur Behebung des Schadens abgeschaltet werden.

#### 3.4.2 Ausfall der Trennschichtregelung

Bei Leckage einer Gleitringdichtung oder Ausfall der Regelluft treten bei gemeinsamer Luftregelung einer Batterie beide Phasen über das wässrige Wehr aus. Auch in diesem Falle ist die einwandfreie Funktion der Batterie gestört. Die Stufen müssen zur Reparatur abgeschaltet werden.

Regelt man jedoch den Luftdruck jeder Stufe getrennt, so wird die Funktion der Batterie bei Ausfall der Regelung einer Stufe nicht nennenswert gestört, wie in Abb. 16 schematisch dargestellt ist, es sei denn, bei der Ein- oder Ausgangsstufe fällt die Regelung aus. In diesem speziellen Fall kommt kein Gegenstrom zustande. Wenn man jedoch, wie in Abb. 16 dargestellt die Stufen 0 und 7 zusätzlich anbaut und die Stufe 0 beim Anfahren einmalig mit wässriger Phase füllt, so kann auch bei Ausfall der Regelung in Stufe 1 oder 6 ein Abschalten der gesamten Batterie vermieden werden. Die beiden Endstufen dürfen allerdings nicht zusammen ausfallen, da sonst die Phasen nicht getrennt werden.

Durch entsprechende Überdimensionierung und Explosionsschutz der Motoren kann deren Betriebssicherheit und Lebensdauer erhöht werden. Trocken laufende Gleitringdichtungen haben

bei Dauerbelastung und 3000 Upm eine Mindest-Lebensdauer von 2000 Stunden. Mit einer einmaligen Fettpackung und Außenluft-Kühlung durch den Kühlluftstrom der Motoren erhöht sich ihre Mindest-Lebensdauer auf 8000 Betriebsstunden, ohne daß die maximal zulässige Luftleckage an den Gleitringen überschritten wird.

#### 8.5 Abschalten u. Wiederanfahren der Stufen

An der tiefsten Stelle sind die Extraktoren über ein rechenförmiges Ablaßsystem miteinander verbunden. Während des Betriebes sind diese Rohrleitungen mit wässriger (schwerer) Phase gefüllt (siehe Abb. 15), das Ablaßventil am Ende des Rechens ist geschlossen. Die senkrechten Entleerungsleitungen müssen mindestens 30 cm lang sein (Prototyp-Extraktor), d.h. solange, daß die Flüssigkeitssäule unter Berücksichtigung ihrer Dichte und der Saugleistung der Mischer-Pumpe nicht hochgesaugt werden kann. Da die Pumpen jeder Stufe die gleiche Saugleistung haben, gibt es über die Entleerungsleitungen keinen Flüssigkeitsaustausch benachbarter Stufen.

Beim Abschalten einer Batterie füllt das Flüssigkeitsgemisch in den Stufen den unteren Teil von Rotor u. Gehäuse. Alle Stufen können nun vor einer Dekontamination oder Umstellung auf ein anderes Fließschema durch Öffnen des Ventils im Ablaßsystem rasch entleert werden. Bei einer 6-stufigen Z.E.-Batterie, wie oben beschrieben, beträgt das gesamte Füllvolumen in den Extraktoren und zugehörigen Rohrleitungen 4,5 Liter, hiervon 1,2 l organische Phase. Beim Wiederanfahren der nicht entleerten Stufen wird die im unteren Teil des Extraktors zwischen Rotor und Gehäuse stehende Flüssigkeit

in kurzer Zeit über die Leckageleitung von der Mischerpumpe abgesaugt.

## 8.6 Wäsche und Demontage einer Stufe

Vor der Demontage oder dem Umbau einer Stufe muß sie entleert und dekontaminiert werden. Bei Stufen ohne Regelung der Phasentrennschicht muß wie oben beschrieben über das Abblaßsystem entleert werden.

Bei Regelung der Phasentrennschicht entleeren sich die Stufen etwa zur Hälfte selbst, wenn man die Regelluft abschaltet. Die Batterie wird im Betrieb durch Einspeisung von wässriger Waschlösung wirksam und rasch gespült, wobei die Waschlösung über die wässrigen Ringwehre austritt. Bei Regelung der Stufen kann die Waschlösung durch entsprechende Druckerhöhung der Regelluft auch über die organischen Wehre geleitet werden.

Bei einem Ausfall einer Stufe können von der Zellendecke aus Motor, Lagerstopfen, Rotor und Mischer zusammen von einem Kran nach oben abgezogen und durch einen neuen Einsatz ersetzt werden. Motor und Gleitringdichtung können auch getrennt demontiert werden. Die Extraktorgehäuse können nach Lösen weniger Schrauben nach unten auf den Zellenboden abgelassen werden.

## 9. Einsatzmöglichkeiten des Z.E.

### 9.1 Wiederaufarbeitung von Kernbrennstoffen

Verglichen mit den bei der wässrigen Wiederaufarbeitung von Kernbrennstoffen bisher eingesetzten Misch-Absetzern und pulsierten Siebbodenkolonnen bietet der Zentrifugal-extraktor folgende Vorteile:

a) Großer Durchsatz bei kompakter Bauweise.

Ein geometrisch sicher ausgelegter Z.E. erreicht den 8 bis 10-fachen Durchsatz eines "sicheren" Misch-Absetzers, d.h. bei gleich großem Durchsatz muß man etwa 10 Misch-Absetzbatterien anstelle von nur einer Z.E.-Batterie parallel betreiben.

Bei der Aufarbeitung von Kernbrennstoffen mit hohem Plutonium-Gehalt (6-25 % beim SNR) kommen praktisch nur Extraktoren in Frage, die durch ihre Geometrie sicher sind, da man Unfälle durch menschliches Versagen unbedingt ausschalten muß. Ein gebräuchliches Maß zum Vergleich von Kompaktheit, Kontaktzeit und Gesamtdurchsatz verschiedener Extraktoren ist die Extraktorwirksamkeit  $E_f$  nach B.V. Coplan.<sup>16)</sup>

$$E_f = k \cdot \frac{N \cdot Q}{V} = k \cdot \frac{N}{T}$$

k = Konstante, berücksichtigt das Fließschema

N = theoretische Stufenzahl

Q = Gesamtdurchsatz [1/h]

V = Extraktorfüllvolumen [l]

T = Kontaktzeit

Für eine theoretische Stufe und für das System Essigsäure-Methylisobutylketon-Wasser ergeben sich für drei verschiedene Extraktortypen etwa folgende Werte:

Extraktor-Typ	$E_f$ [ $h^{-1}$ ]
Pump-mix Mixer-Settler	43 <sup>17)</sup>
Pulsierte Siebbodenkolonne	65 <sup>17)</sup>
Zentrifugalextraktor	600

Der hohe  $E_f$ -Wert beim Z.E. ergibt sich vor allem aus dem bei hohen Durchsätzen geringen Füllvolumen der Stufen. Das Speichervolumen (Flüssigkeits-Inventar) einer Z.E.-Batterie ist ca. um den Faktor 50 kleiner als beim Misch-Absetzer gleicher Leistung. Die verglichen mit der Kapazität geringe Baugröße der Z.E. wirkt sich in der Kerntechnik auch auf die sehr hohen Gebäude- u. Abschirmkosten günstig aus. Die 12-stufige Prototyp-Batterie hat eine Stellfläche von 120 x 80 cm und eine Gesamthöhe von 130 cm. Bei dieser Höhe ist der Abstand über u. unter der Batterie berücksichtigt, der zur Montage benötigt wird. Nicht eingeschlossen in das Höhenmaß wurde die Abschirmdicke und der für den Kran benötigte Raum.

#### b) Kurze Kontaktzeit

Die Kontaktzeit, def. als das Verhältnis von Holdup-Volumen zu Durchsatz ist beim Z.E. etwa um den Faktor 20 kleiner als beim Misch-Absetzer. Dadurch wird es möglich, hohe spezifische Aktivitäten ohne zu große Pu-Verluste und Einbußen im Dekontaminationsfaktor zu verarbeiten.



Als Nachteil ist zu werten, daß bei Stillstand einer Stufe durch Motorausfall die ganze Extraktor-Batterie zur Behebung des Schadens abgeschaltet werden muß. Der Motor ist allerdings leicht zugänglich und rasch austauschbar, da er sich außerhalb der Strahlenabschirmung befindet.

## 9.2 Solvent-Extraktion in der chemischen Industrie

---

Die bisher industriell eingesetzten Schnellextraktoren sind:

- Podbielniak-Extraktor (Fa. Baker Perkins, Inc., Saginaw, Mich.)
- Quadronics-Extraktor (Fa. Liquid Dynamics, Chicago)

Diese beiden Extraktoren haben eine horizontal angeordnete Welle.

Vertikale Wellen haben der

- Luwesta-Extraktor (Lurgi, Westfalia)
- De Lavals-Extraktor (Schweden)

Der Z.E. kann ebenso wie diese 4 Typen in der Petrochemie, zur Gewinnung von Antibiotika, der Seewasserentsalzung, Hydrometallurgie u.a. verwendet werden.

Die Vorteile des Z.E., verglichen mit diesen Schnellextraktoren sind:

1. Niedrige Anlagekosten

Bei gleichem Durchsatz und gleicher Stufenzahl etwa halb so teuer wie der Luwesta-Extraktor.

2. Große Unempfindlichkeit gegen Verschmutzung.

Bei Trennversuchen mit einer Speiselösung, wie sie zur Extraktion Seltener Erden benutzt wird, konnten 65 g Feststoff pro Liter Lösung in Form von Schlamm ohne Beeinflussung der Funktion des Z.E. durchgesetzt werden. Der Schlamm wurde mit der schweren Phase sofort wieder ausgetragen.

### 3. Große Flexibilität

Durch Regelung der Phasentrennschicht mittels Preßluft von außen kann eine große Prozeßflexibilität erreicht werden. Jede Stufe kann ohne Betriebsunterbrechung und ohne Umbau auf eine optimale Lage der Phasengrenzfläche eingeregelt werden.

10. LITERATUR

1. L. Stieglitz, W. Ochsenfeld, H. Schmieder; der Einfluß der Radiolyse von TBP auf die Pu-Ausbeute im Purex-Prozeß bei hohem Pu-Gehalt, KFK-691 (1968)
2. W. Häfele, D. Smidt, K. Wirtz, The Karlsruhe Reference Design of a 1000 MW<sub>e</sub> Sodium Cooled Fast Breeder Reactor, Argonne-Konf., (Okt. 1965)
3. J. Centeno, R. De Witte, Eurochemic-Report ETR 191 (1967)
4. D.S. Webster, DP-371 (1961)
5. D.S. Webster, DP-370 (1962)
6. A.S. Jennings, DP-680 (1962)
7. A.T. Clark, Jr., DP-752 (1962)
8. C.S. Schlea et al., DP-809 (1963)
9. A.A. Kishbangh, DP-841 (1963)
10. D.S. Webster et al., DP-MS-67-71 (Nov-67)
11. D.S. Webster, W.E. Winsche, US-Patent 3,332,614 (July 1967)
12. R.E. Treybal, Liquid Extraction, 2. Ed., S. 399 (1963)
13. F. Roberts u. B.T. Bell, Trans.Inst.Chem.Eng., 35, 1, 6 (1967)
14. A.M. Berestovoi u. P.G. Romankov, Journ.Appl.Chem., USSR, 38, 318 (1965)
15. F. Baumgärtner, L. Finsterwalder, B. Roth, KFK-Bericht Nr. 652 (Aug. 1967).
  
16. B.V. Coplan et al., Chem.Eng.Progr. 50, Nr. 8 (1954)
17. Reactor Handbook, Vol. II, Fuel Reprocessing, Chap. 17, S. 564

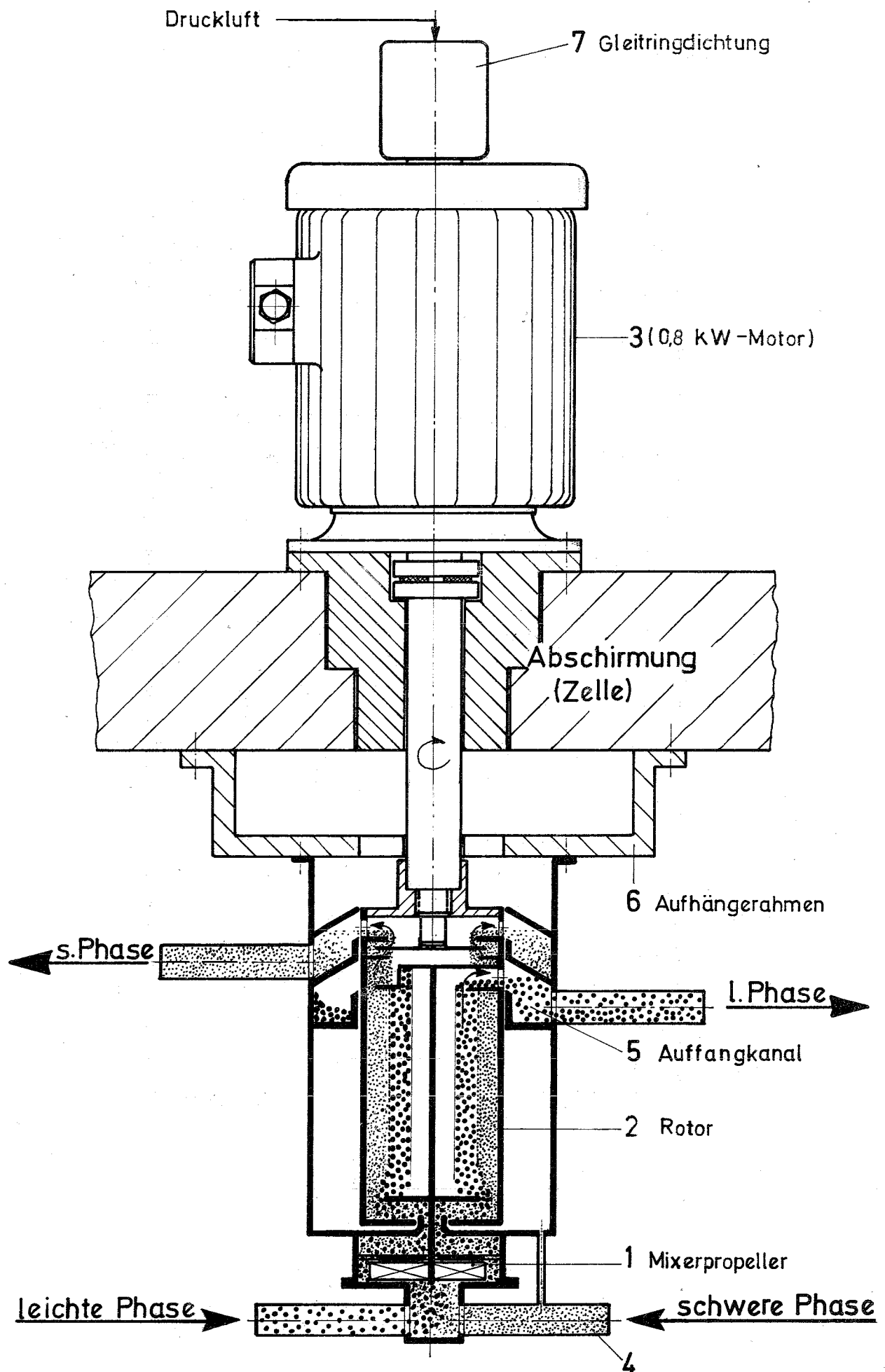


Abb.1 Prinzipieller Aufbau einer Z.E.-Stufe

# Hydrodynamik im Zentrifugal-Settler.

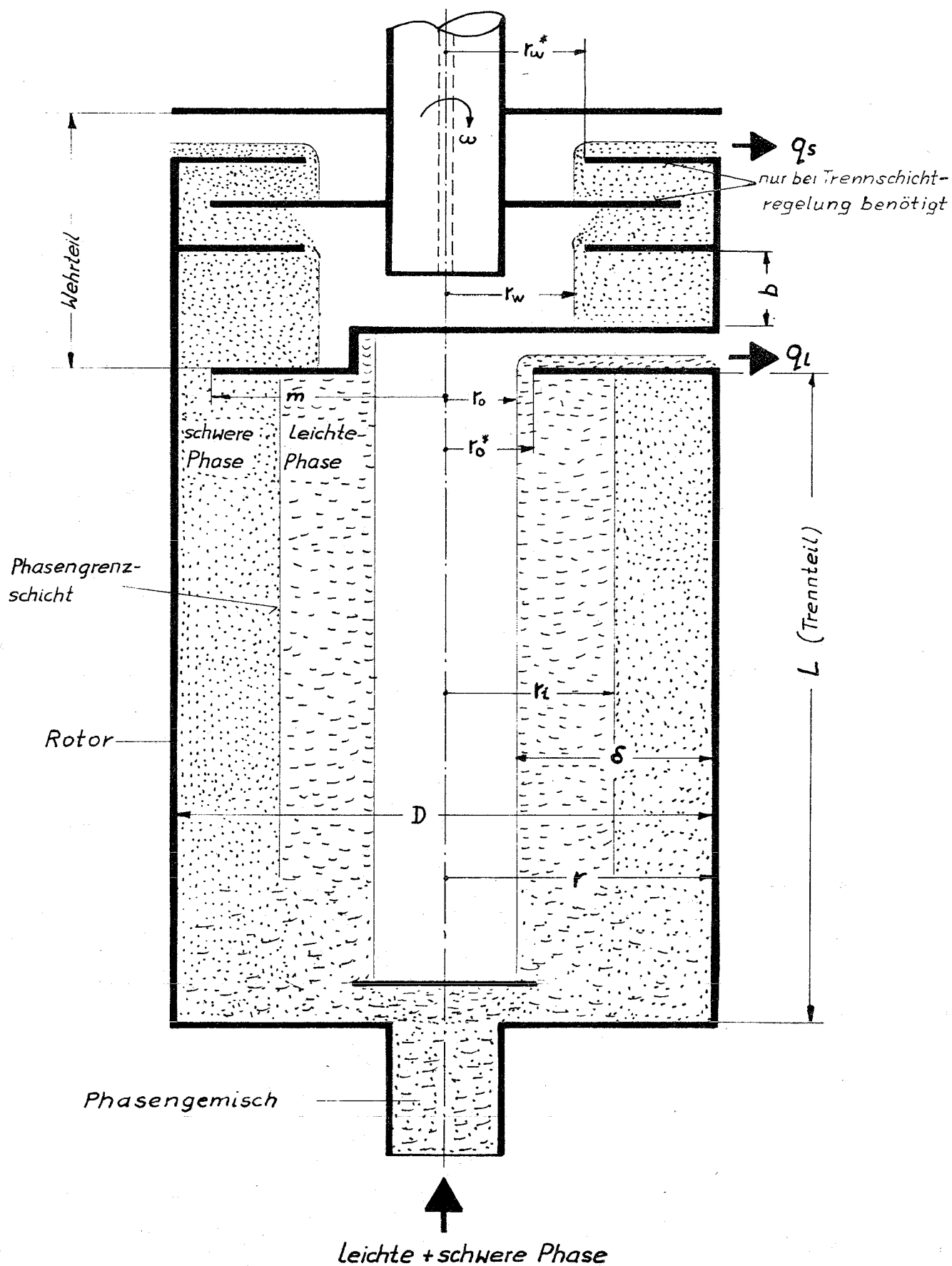
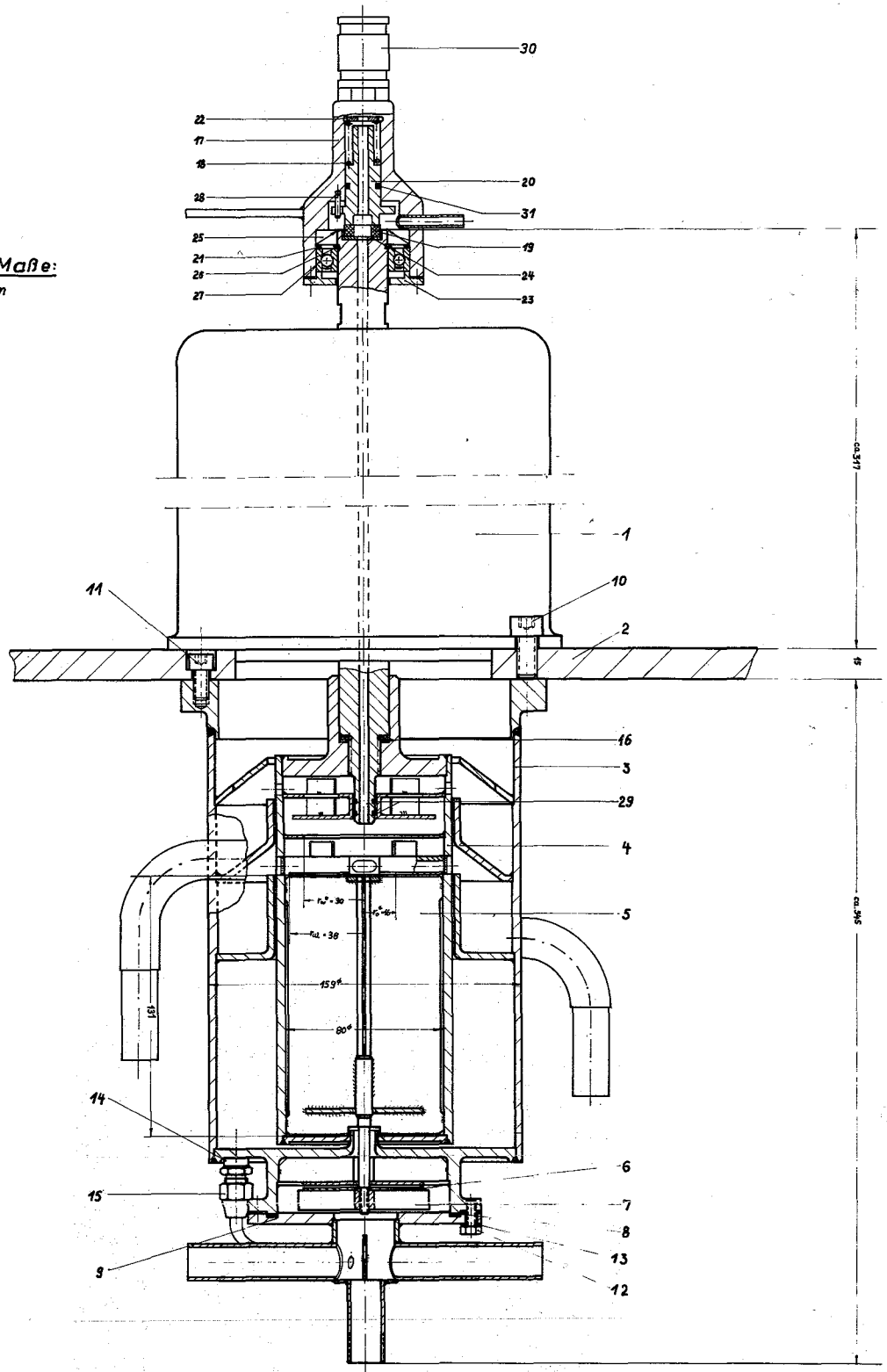


Abb. 2

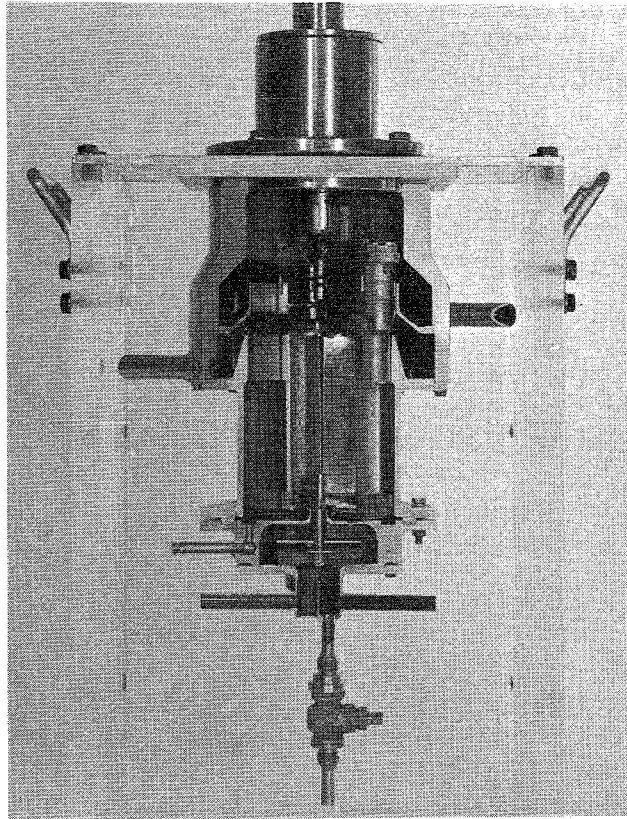
Alle Maße sind in mm angegeben. Die Ausführung ist nach den Anforderungen der Auftraggeberin. Die Zeichnung ist für die Fertigung zu verwenden. Die Zeichnung ist für die Fertigung zu verwenden. Die Zeichnung ist für die Fertigung zu verwenden.

**Wehr-Maße:**  
 $r_o^* = 16mm$   
 $r_w^* = 30mm$   
 $r_{ul} = 38mm$



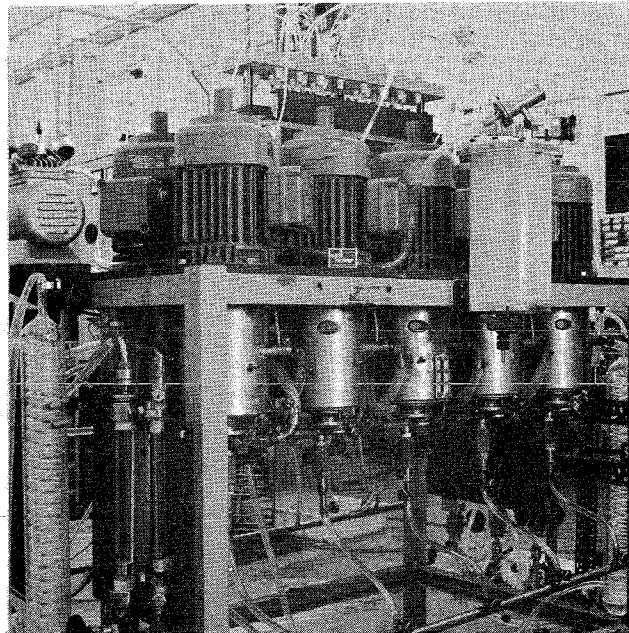
1:1		Zentrifugal-Extraktor IV		HCH-1-193	
Gezeichnet	Techn. Zeichner	Geprüft	Zeichner	Zeichnung	
1985	1985	1985	1985	1985	
Gezeichnet: <i>[Signature]</i>		Geprüft: <i>[Signature]</i>		1985	
Techn. Zeichner: <i>[Signature]</i>		Zeichner: <i>[Signature]</i>		1985	
1985		1985		1985	

**Abb. 3 Querschnitt der Prototyp-Zentrifugalextraktor-Stufe**



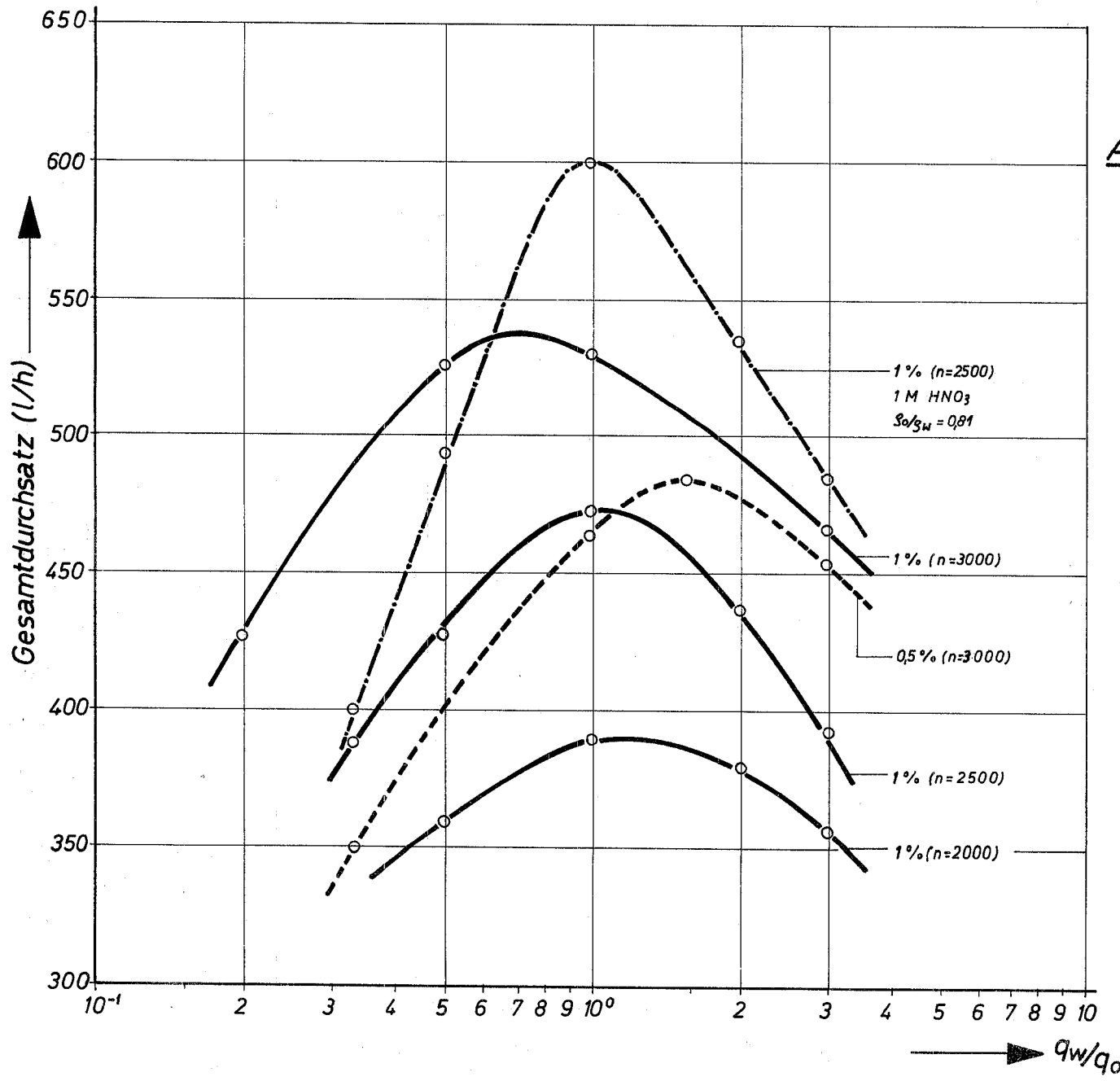
1928-3111

Abb. 4 Querschnitt durch ein Z.E.-Modell



2009 - 2308

Abb. 5 Gegenstrom-Extraktionsbatterie (6 Stufen)



**Abb.6** Max. hydraulische Kapazität für 0,5% u.1% Verunreinigung der org. Phase bei  $n=2000/2500/3000$  U/min.

30% TBP/SST  
 0,075 M HNO<sub>3</sub>  
 $S_o/S_M = 0,85$   
 Rotordurchm. = 80 mm  
 $r_o^* = 16$  mm  
 $r_M^* = 19$  mm  
 $t = 25^\circ\text{C}$



**Abb.7** Charakteristischer Druckregelbereich für 80mm Rotor  
bei zwei konst.Mengenstromverhältnissen.

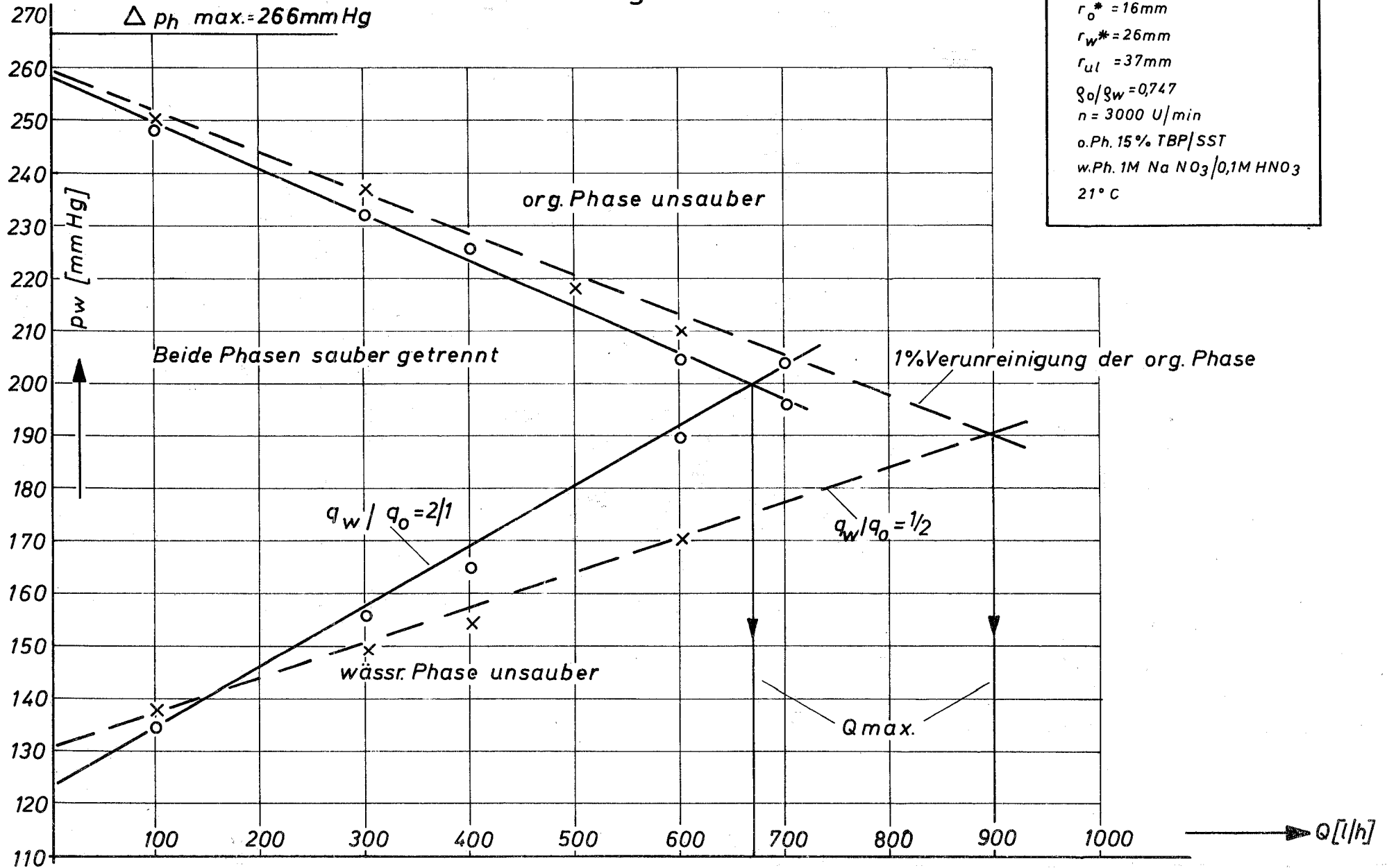
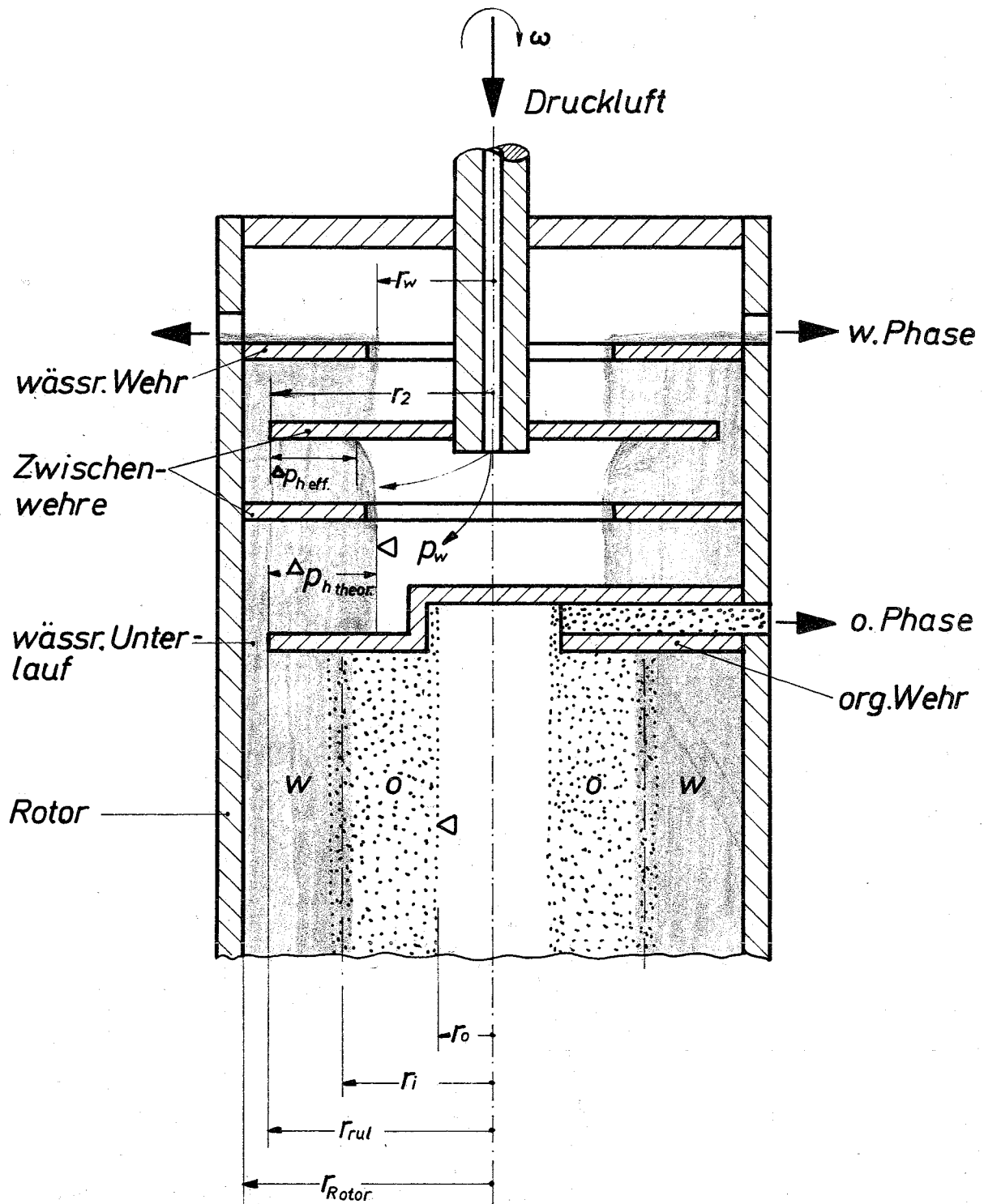
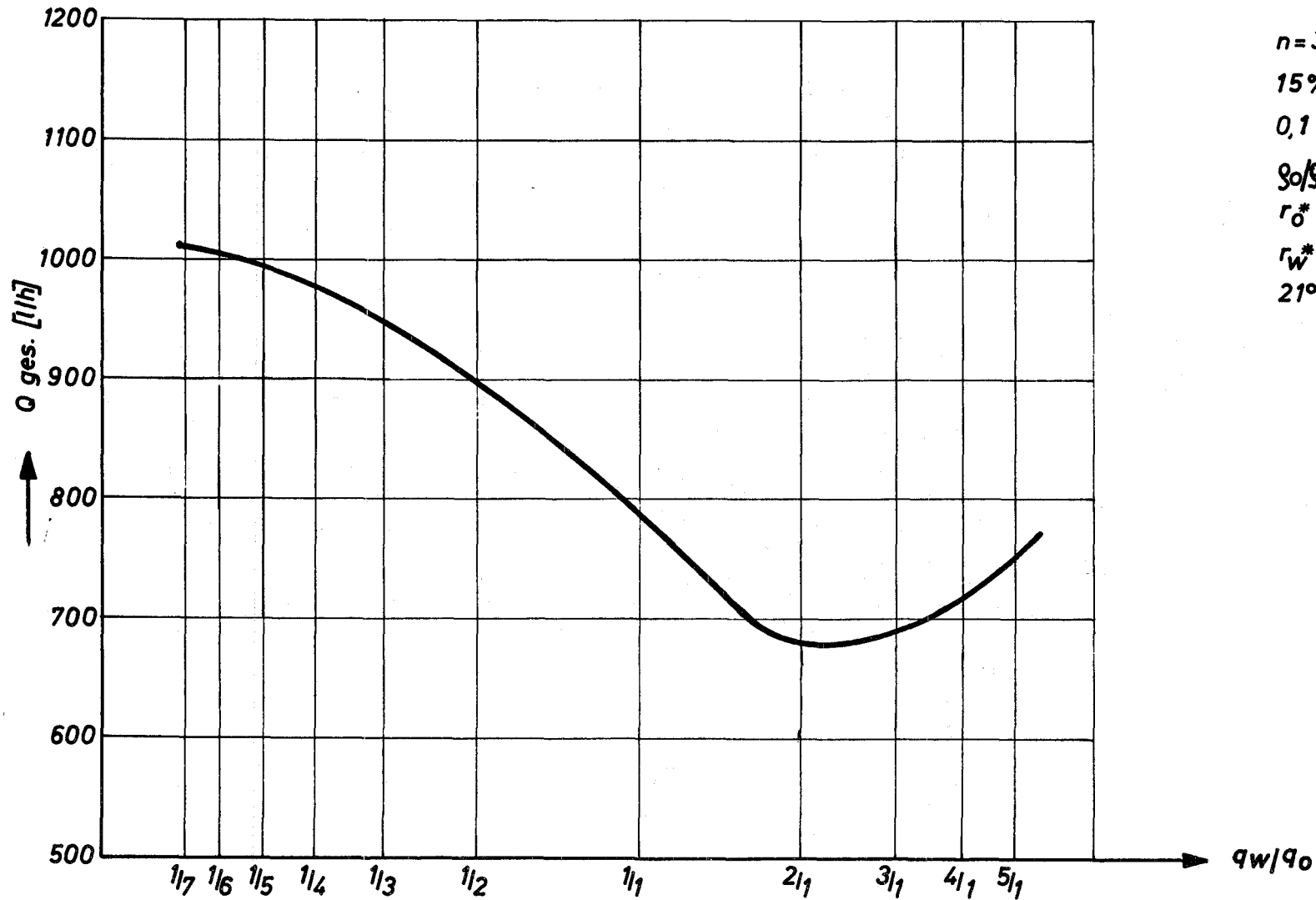


Abb:8 Funktionsschema der pneumatischen Phasentrennschicht - Regelung.

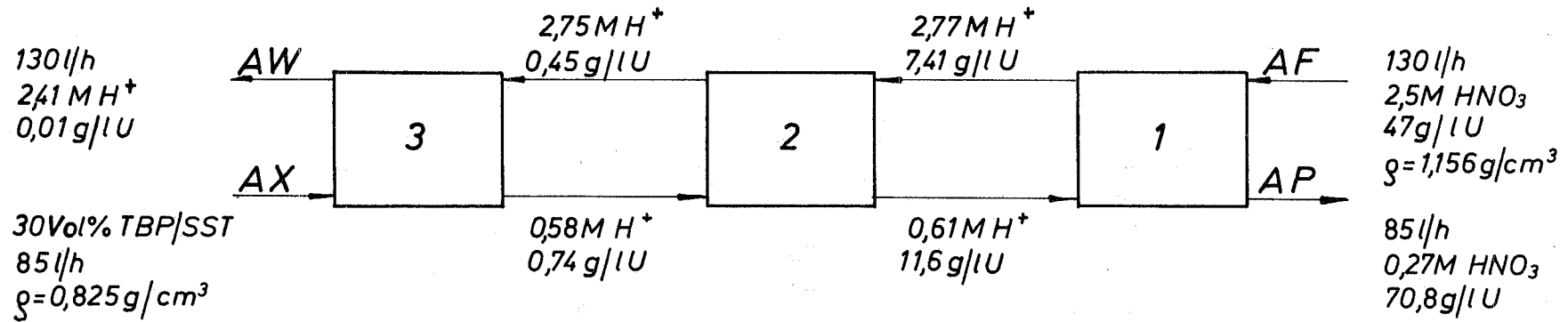


**Abb. 9** Max. hydraulische Kapazität einer pneumatisch geregelten Z.E.-Stufe bei 1% Verunreinigung der wässrigen u. organ. Phase bei optimalem  $p_w$



$n = 3000 \text{ U/min}$   
 $15\% \text{ TBP/SST}$   
 $0,1 \text{ M HNO}_3 / 1 \text{ M NaNO}_3$   
 $\rho_o/\rho_w = 0,744$   
 $r_o^* = 16 \text{ mm}$   
 $r_w^* = 26 \text{ mm}$   
 $21^\circ \text{C}$

Abb.10 Extraktions-Fließschema



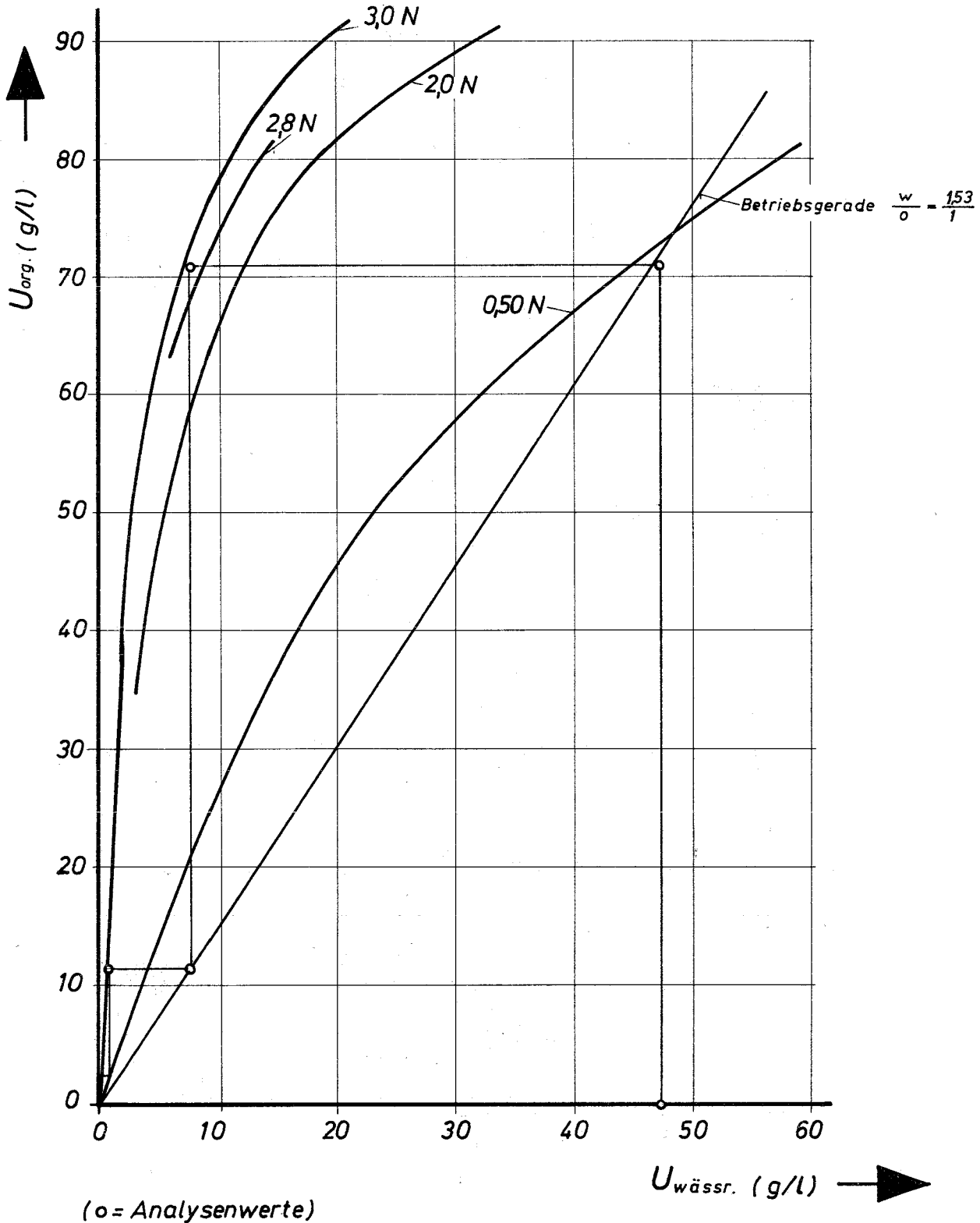
# Abb:11 Mc Cabe-Thiele Diagramm

für Uran Extraktion bei 20°C

Gleichgewichtskurven nach Coddington und Haas

30% TBP/SST

2,5 M HNO<sub>3</sub>/0,198 M U



**Abb.12** Gleichgewichtskurven von  $\text{HNO}_3$  in Wasser und 30% TBP/SST

Parameter: Urankonzentration in der wässr. Phase (Mol/l).  
nach Codding und Haas.

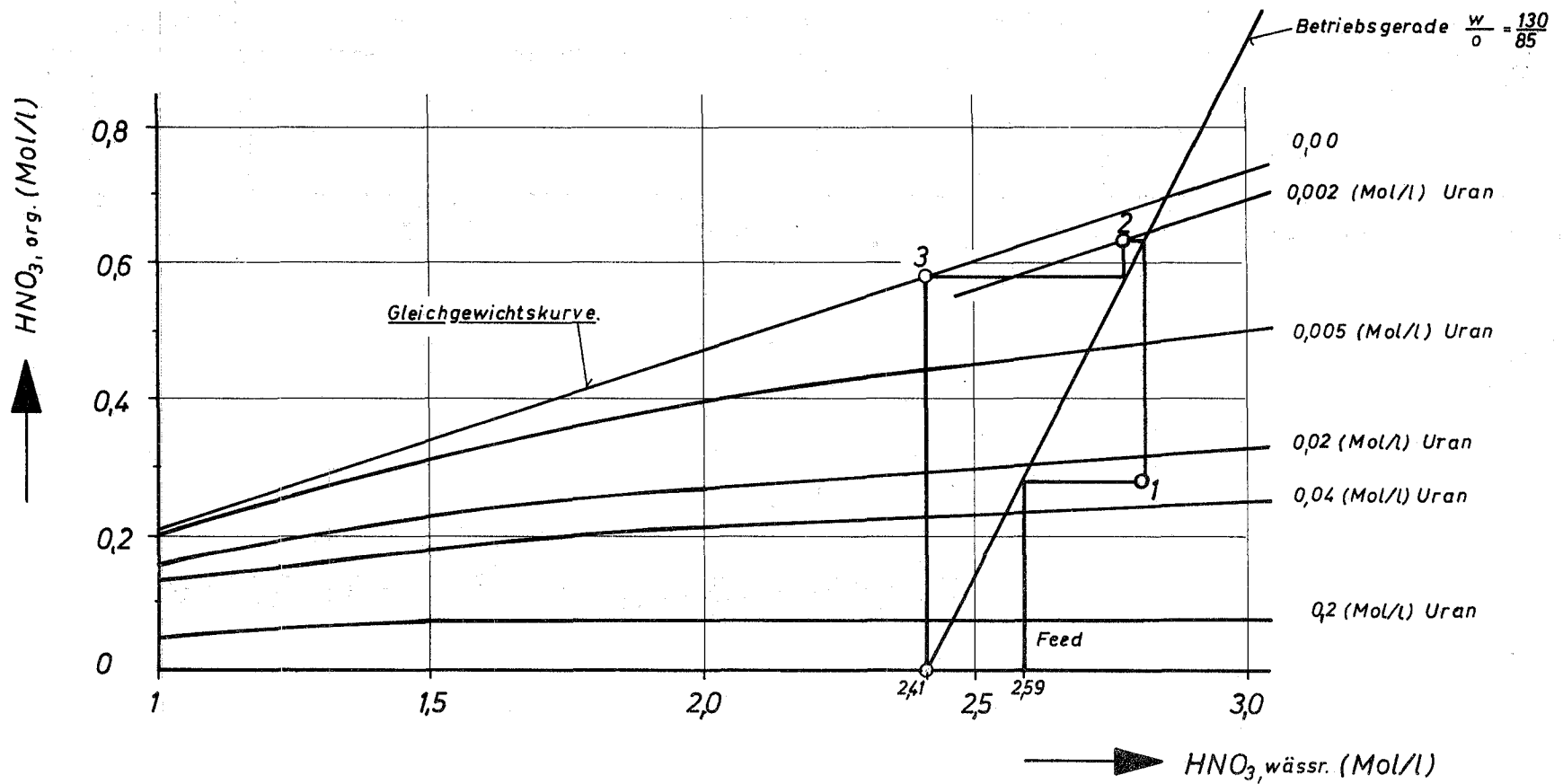
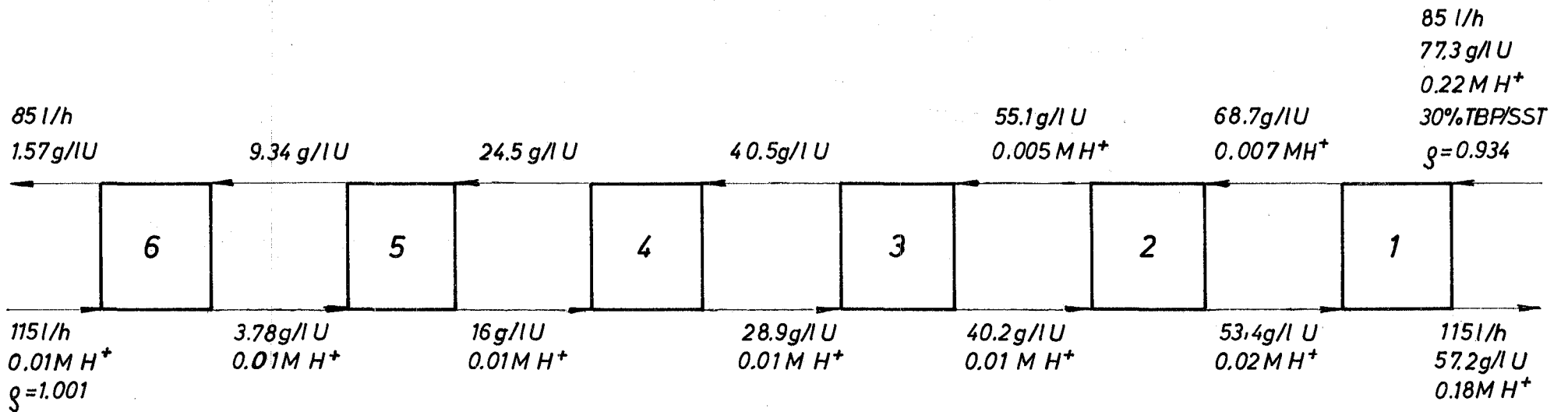


Abb.13 Rückextraktions-Fließschema (22°C)

Strip : 0.01 M HNO<sub>3</sub>



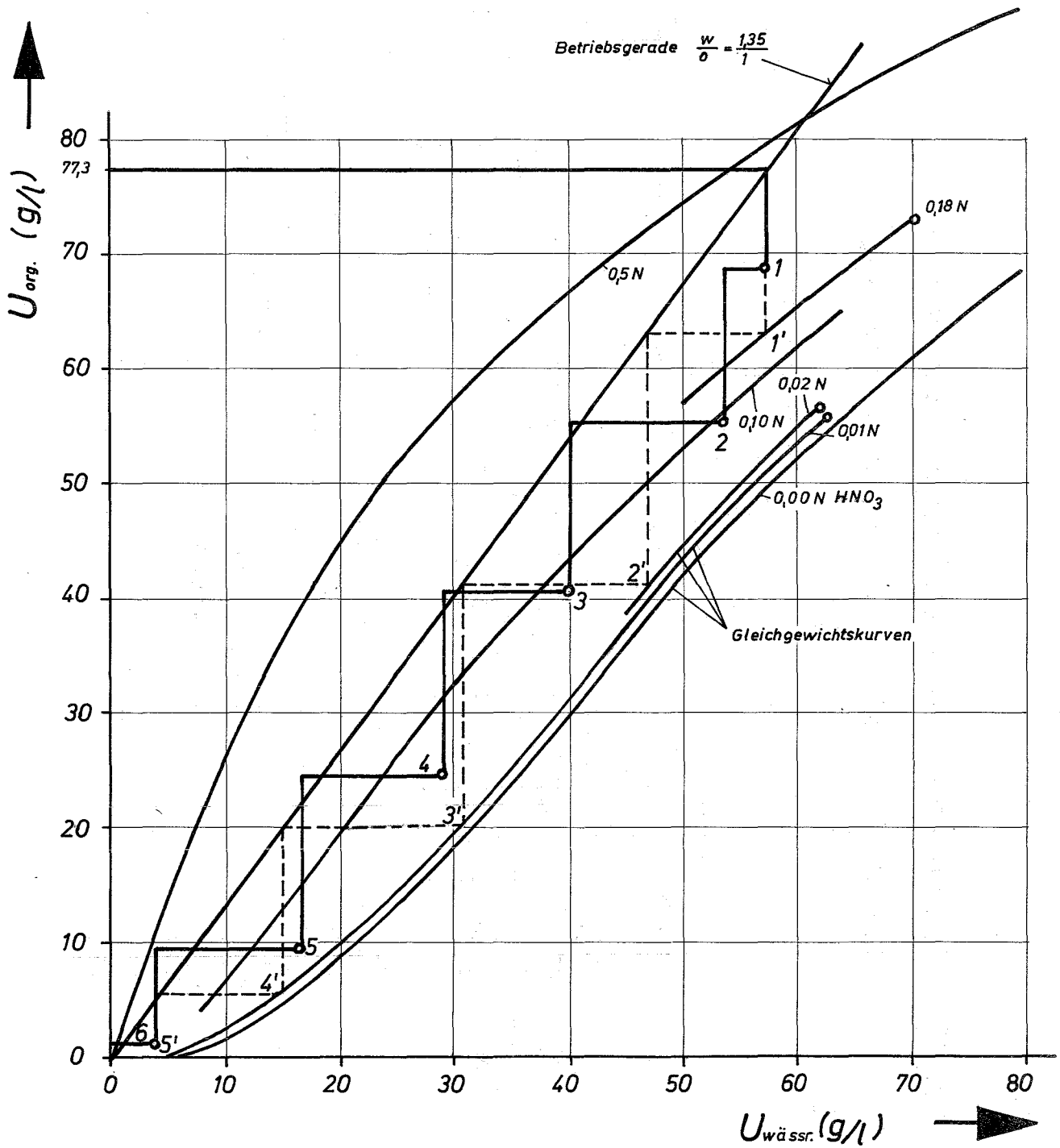
# Abb. 14 Mc Cabe-Thiele Diagramm

für Uran-Rückextraktion bei 22°C

Gleichgewichtskurven nach Coddington und Haas

30% TBP/SST - 0.325 M U

0,22 M HNO<sub>3</sub>



(o = Analysenwerte)



Abb.15 Gegenstrom einer 6-stufigen Z.E.-Batterie bei Ausfall einer Stufe (ohne Luftregelung)

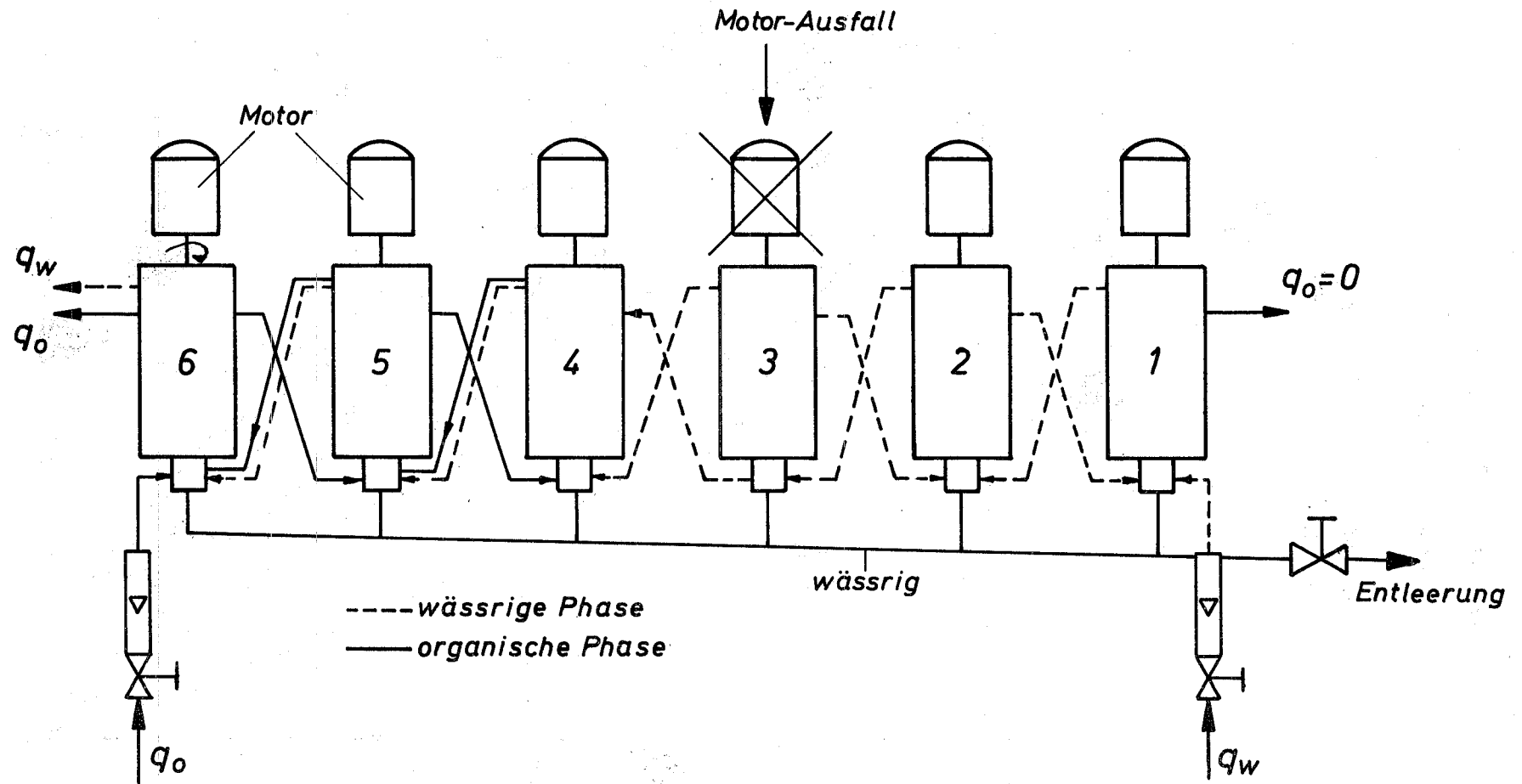


Abb.16 Gegenstrom einer 6-stufigen Z.E.-Batterie bei Ausfall der Luftzufuhr einer Stufe

