

169002691

(11) Chemical Engineering
Data and Control Apparatus.

Bag 3042

Target 30/402

Leunt

Z 119

169002-392

30/4-02

Die Ergebnisse der bisherigen Rühreruntersuchungen

I. Teil

30/4-169

Ammoniakwerk Merseburg G. m. b. H. Haupt-Berichte-Sammlung Referate-Büro
Me Nr. 1638 / VIII

30/4.02

Versuchsgruppe Lu
Bericht Nr. 183

169002693

Ammoniakwerk Merseburg
G. m. b. H.
Haupt-Berichte-Sammlung
Referate-Büro

Me Nr. 1638 / VIII.

Dr. W. Büche.

169002694



Die Ergebnisse der bisherigen
Rühreruntersuchungen.

I. Teil.

Allgemeines über Wirkungsweise und Auswahl
der verschiedenen Rührwerke.

Die Modellgesetze für den Leistungsverbrauch.

Die experimentellen Grundlagen für
Rechentafeln.

Umlauf bei:

Verbleib bei:
Gern. Direktor
Dr. Sauer, Me.

Inhaltsverzeichnis.

	Seite
I. Einleitung.	1
II. Die Eigenschaften der einzelnen Rührerformen und ihr Verwendungsbereich.	
1.) Allgemeines	7
2.) Langsam laufende Rührer	
a) Der Blattrührer	24
b) Der Balkenrührer	40
c) Die Anker-, Finger- und Rahmenrührer	41
3.) Die raschlaufenden Rührer	
a) Allgemeines	45
b) Der kleine Blattrührer und die Propeller	49
c) Der Hoesch-Rührer	56
III. Die theoretischen Grundlagen für die Berechnung des Leistungsbedarfes von Rührwerken.	
1.) Allgemeines	73
2.) Die Verfahren zur Bestimmung der Rührerleistung	75
a) Die Ermittlung des Leistungsbedarfes für das Rühren von Flüssigkeiten, die dem Poiseuille'schen Gesetz gehorchen	79
b) Die Entwicklung der Rührerformel	91
c) Die Ermittlung der Leistung für das Rühren pastenartiger Stoffe	93
d) Die Bestimmung der Aehnlichkeitsgesetze für einfache plastische Stoffe	98
IV. Die experimentellen Arbeiten zur Erforschung der energetischen Verhältnisse und zur Bestätigung der Modellgesetze.	
1.) Allgemeines über die Versuchseinrichtungen	119
2.) Die Dynamometer	123
3.) Der experimentelle Nachweis der Gültigkeit der Modellgesetze für rein viskose Flüssigkeiten	129

	Seite
4.) Die Gesichtspunkte für die Aufstellung von Rechentafeln.	
a) Allgemeines	141
b) Die Modellversuche an Blattrührern als Beispiel für die zur Aufstellung von Rechentafeln notwendigen experimentellen Vorarbeiten	144
α) Der Einfluss der Bodenform	146
β) Einfluss der Füllhöhe	147
γ) Der Einfluss des Bodenabstandes	149
δ) Einfluss der Blatthöhe	152
ε) Einfluss der Kanten und Blattdicke	156
ζ) Einfluss der Rauigkeit	156
η) Einfluss der Gefässeinbauten	164
Die Tauchrohre	164
Die Schlangen	166
c) Die Tafeln für den normalen Blattrührer	172
d) Die Beiwerte für andere Rührerformen	178
e) Die Wahl der Betriebsdrehzahl	182
f) Die Normung der Drehzahlen und Motorstärken	187
g) Vorschläge für die Form von Rechentafeln	192
h) Die Aufstellung von Motorentabellen am Beispiel des Blattrührers	193
5.) Die Kurven für die Spiegelverformungen	203
6.) Die experimentellen Arbeiten über das Verhalten pastenförmige Stoffe	209
V. Zusammenfassung.	221
Anhang I. Verzeichnis der I.G. Berichte über Rührerfragen	224
Anhang II. Ergänzung des Berichtes	225

169002697

Verzeichnis der hauptsächlich verwendeten Buchstabenbezeichnungen.

l	Charakteristische Länge bei Ähnlichkeitsbetrachtungen	m
s	Schichtdicke	m
D	Rührgefässdurchmesser	m
H	Füllhöhe	m
d	Grösster Rührerdurchmesser	m
b	Bodenabstand des Rührers	m
h	Grösste Rührerhöhe	m
r	Halbmesser	m
h'	Grösste Randerhöhung der gerührten Flüssigkeit über dem ruhenden Spiegel	m
h"	Grösste Mittelabsenkung der gerührten Flüssigkeit	m
D"	Durchmesser jenes Kreises der Flüssigkeitsoberfläche, bei dem durch Rühren weder eine Spiegel- erhöhung noch eine Absenkung eintritt	m
e	Absolute Rauigkeitserhebungen	m
k	Korngrösse	m
$\lambda = \frac{H}{D}$	Relative Füllhöhe	
λ	Wärmeleitfähigkeit (S. 12)	kcal/m ² °C h
m	Maßstabsverhältnis	
F	Fläche	m ²
v, u	Umfangsgeschwindigkeit	m/sek.
g	Erdbeschleunigung	m/sek. ²
n	Umdrehungen je Minute	1/min.
ω	Winkelgeschwindigkeit	1/sek.
t	Temperatur	°C
Q	Wärmemenge je Zeiteinheit	kcal/sek.

169002698

γ	Spezifisches Gewicht	kg/m^3
η	Zähigkeit	kgsek/m^2
η'	Gleitmodul bei Pasten	kgsek/m^2
ν	Kinematische Viskosität	$\text{m}^2/\text{sek.}$
ν'	Kinematische Viskosität der Pasten	$\text{m}^2/\text{sek.}$
τ	Fliessfestigkeit	kg/m^2
σ	Scherspannung	kg/m^2
α	Oberflächenspannung	kg/m
β	Grenzflächenspannung	kg/m
p	Druck	kg/m^2
c	Widerstandsbeiwert	
η_u	Wirkungsgrad des Getriebes	$\%$
L	Reine Wellenleistung	KW
N	Antriebsleistung eines Rührwerkes	KW
R	Reibungsleistung	KW
K, C_1, C_2, C_3	Konstanten	

I. Einleitung

Die physikalischen und chemischen Vorgänge, die sich beim Rühren von Flüssigkeiten abspielen, werden seit über sechs Jahren durch die Versuchsgruppe der Technischen Abteilung Lu systematisch verfolgt. Herr Dipl.-Ing. S c h i n d l e r begann im Jahre 1929 mit den ersten Untersuchungen, die bald darauf von Herrn Dr. H a i l e r auf wesentlich breiterer Basis fortgesetzt wurden. Nach ihm befaßte sich Herr Dipl.-Ing. B i e d e n - k o p f mit der Fortführung der Versuche, die vor etwa 3 Jahren vom Verfasser übernommen wurden. Während der ganzen Zeit lag die Durchführung der einzelnen Messungen zum größten Teil in den Händen von Herrn B ü h l e r .

Im Laufe dieser Jahre gelang es, auf diesem Sondergebiet der chemischen Technologie, das früher kaum wissenschaftlich bearbeitet worden war, in vielen Dingen eine Klärung herbeizuführen.

Das wesentlichste Hilfsmittel für diese Forschung war die Durchführung von Modellversuchen in Glasgefäßen, wodurch neben der eigentlichen mestechnischen Verfolgung des jeweils betrachteten Vorganges immer eine Beurteilung der Strömungserscheinungen durch das Auge möglich gewesen ist. Von ausschlaggebender Bedeutung für die Übertragung der im Kleinen gewonnenen Erkenntnisse war die bei Rührvorgängen bestehende Möglichkeit zur ausgedehnten Verwendung der Ähnlichkeitsmechanik,

die oft eine exakte Umrechnung gestattet, zum mindesten aber allgemein Grenzen festlegt, innerhalb deren sich bei der Großausführung die gleichen Erscheinungen abspielen.

H a i l e r erkannte frühzeitig, daß es nicht notwendig ist, jeden einzelnen Rührer weitgehend seinem besonderen Verwendungszweck anzupassen. Sieht man von den verhältnismäßig seltenen Fällen ab, bei denen Spezial-Konstruktionen unumgänglich sind, so können nach den heutigen Erfahrungen die meisten für diese Art der Verarbeitung in Frage kommenden Prozesse mit einigen wenigen Typen befriedigend durchgeführt werden, unter denen natürlich jeweils die richtige auszuwählen ist. So hat sich z.B. der H a i l e r 'sche Blattrührer weitgehend eingeführt und an vielen Stellen Rührerformen verdrängt, die sich in der Konstruktion wie auch im Betrieb wesentlich teurer stellten.

Im Laufe der Zeit haben sich die durch Modellversuche gewonnenen Erkenntnisse ständig vermehrt; der jahrelange Vergleich zwischen dem Versuch im Kleinen und der nach seinen Ergebnissen bemessenen Großausführung verstärkte die Sicherheit der richtigen Auswahl und der Vorausberechnung des Leistungsbedarfs von Rührwerken für die verschiedensten Verwendungszwecke⁺). In gleicher Weise vermehrte sich auch die Erfahrung über die Möglichkeit zur Anwendung bestimmter Rührverfahren für solche Zwecke, bei denen sie seither nicht gebräuch-

⁺) Ein Verzeichnis der Berichte der Versuchsgruppe Lu, die das Rührgebiet betreffen, befindet sich im Anhang I.

lich waren.

Nachdem es nun in den letzten Monaten gelang, weit allgemeinere Gesetzmäßigkeiten für die bestehenden Zusammenhänge zu finden, die vieles vereinigen, was vorher als nur wenig geklärte Einzelercheinung gewertet werden konnte, erschien es an der Zeit zu sein, eine Zusammenfassung der bisherigen Erfahrungen wie auch die neuesten Anschauungen auf dem Rührergebiet einem größeren Kreise zugänglich zu machen. Entsprechend der Menge des vorliegenden Materials kann dieses nicht auf einmal, sondern nur in einer zeitlich verteilten Berichtfolge niedergelegt werden. Da es rätlich war, die zurzeit am meisten interessierenden Fragen vorweg zu behandeln, muß von vornherein auf eine an sich wünschenswerte Einheitlichkeit und Geschlossenheit der Darstellung verzichtet werden. Dieser Mangel dürfte jedoch nicht allzusehr ins Gewicht fallen, da die Wiedergabe der auf einem bestimmten Gebiet der Technologie gewonnenen Erkenntnisse immer Lücken aufweist, solange seine Erforschung nicht zu einem solchen Stand gelangt ist, der, bezogen auf die augenblicklich zur Verfügung stehenden, wissenschaftlichen Hilfsmittel, in als abschließend zu wertendes Urteil erlaubt.

Der Einzelantrieb hat sich in der chemischen Industrie, soweit eine wirtschaftliche Berechtigung für ihn vorhanden ist, in den letzten Jahren sehr stark durchgesetzt. Er findet daher auch neuerdings bei Rührwerken immer mehr Verwendung. Damit hat die richtige Bemessung der zum Antrieb dienenden Motoren erheblich an Bedeutung gewonnen, da die Möglichkeit

zu dem beim Gruppenantrieb vorhandenen, gegenseitigen Ausgleich des Leistungsbedarfes der einzelnen Apparate nicht mehr besteht. Aus diesem Grunde wird auch im Werk Ludwigshafen die Auswahl der geeigneten Rührer und die Bemessung der erforderlichen Motoren seit Jahren an Hand von Modellversuchen vorgenommen.

Durch die allmählich gesammelte Erfahrung ist es aber jetzt auch schon möglich, in vielen Fällen ohne Beobachtung im Kleinversuch anzugeben, welche Rührerform und Drehzahl zu wählen ist, um einen bestimmten Prozeß durchzuführen. Durch die neu gefundenen, wesentlich allgemeinen Ähnlichkeitsgesetze ist auch bei allen rein viskosen Flüssigkeiten die Berechnung der zur Aufrechterhaltung der Drehbewegung erforderlichen Leistung möglich, wenn für die gewählte Rührerform einmal durch Modellversuche gewisse Beizahlen bestimmt worden sind. Damit sind aber die Grundlagen für die Herausgabe einer "Anleitung zur Berechnung von Rührwerken" gegeben.

Der vorliegende Bericht umfaßt eine kurze Abhandlung über die Eigenschaften der nach den jetzigen Anschauungen hauptsächlich für die Verwendung in Frage kommenden Rührer und deren Verwendungsbereiche, die Theorie der Ähnlichkeitsgesetze für viskose und plastische Stoffe sowie die Versuche zu ihrer experimentellen Bestätigung und die allgemeinen Grundsätze für die Aufstellung der Anleitung zur Berechnung von Rührwerken.

Diese "Anleitung" soll neben den allgemeinen Grundsätzen als Anlage die zunächst ermittelten Beiwerte für das normale Rührblatt sowie alle Zahlenangaben, die sonst noch

mittelbar oder unmittelbar für die Leistungsbestimmungen notwendig sind. Sie soll für den praktischen Gebrauch bestimmt sein, und deswegen möglichst knapp gehalten werden. Bei ihrer Verwendung ist in Zweifelsfällen immer auf den ausführlichen Bericht zurückzugreifen, da Begründungen nicht aufgenommen werden können.

Die weiteren experimentellen Arbeiten auf dem Rührergebiet sind zunächst hauptsächlich der Vervollständigung der "Anleitung" gewidmet, um sie alsbald für die Herausgabe der Beiwerte fertigzustellen.

x In der nächsten Berichtfolge sollen die Ähnlichkeitsgesetze für die Wärmeübertragung, für das Lösen und chemische Umsetzen sowie für die Durchführung von Gasreaktionen behandelt werden. Es ist ausserdem geplant, über Erfahrungen mit neuen Rührerformen und ihre Eignung für verschiedene Verwendungsarten zu berichten sowie auf konstruktive Einzelheiten näher einzugehen.

Der jetzt vorliegende, erste Teil der Zusammenfassung kann keinen Anspruch auf Vollständigkeit erheben, einerseits, weil bei der Fülle des vorliegenden Versuchsmaterials trotz der ausführlichen Darstellung nicht alle Beobachtungen mitgeteilt werden, andererseits, weil eine Reihe von Erscheinungen infolge ihrer Wichtigkeit Erwähnung finden mussten, ohne dass sie bis jetzt genügend geklärt sind.

Es liegt im Sinne einer raschen Förderung der Arbeiten auf dem Rührergebiet, wenn die an anderen Stellen vor-

handenen Erfahrungen, die die nachstehend mitgeteilten Beobachtungen ergänzen oder korrigieren, möglichst bald gesammelt werden. Darüber hinausgehend dürfte es am Platze sein, die verschiedenen Konstruktionsformen der Rührwerke sowie die Vorrichtungen zu ihrem Antrieb untereinander zu vergleichen und die besten zum Zwecke einer Vereinheitlichung auszuwählen.

II. Die Eigenschaften der einzelnen Rührerformen und ihr Verwendungsbereich.

1) Allgemeines.

Wie schon in der Einleitung erwähnt wurde, ist, von verhältnismäßig seltenen Sonderfällen abgesehen, für die Durchführung von Rührprozessen trotz vielseitiger Anforderungen keine große Anzahl verschiedener Rührertypen erforderlich. Im allgemeinen genügt es, je nach dem Verwendungszweck unter den langsam laufenden Blatt-, Anker-, Finger- und Balkenrührern sowie den im Verhältnis zum Gefäßdurchmesser wesentlich kleineren, rasch laufenden Rührblättern, Propeller- und Hoeschrührern die richtige Auswahl zu treffen, um den gestellten Forderungen gerecht zu werden. Bevor auf die Anwendungsbereiche dieser einzelnen Formen näher eingegangen wird, sei erst beschrieben, unter welchen Bedingungen eine gute Rührwirkung zu erwarten ist.

Nach den bisherigen Erfahrungen kann ausgesagt werden, daß auch bei den verschiedensten Verwendungsarten der Rührer ihre Wirkung dann eine optimale ist, wenn an allen Stellen, wo ein Wärme- oder Stoffaustausch stattfinden soll, in der Flüssigkeit möglichst große Geschwindigkeitsgefälle bestehen.

169002706

Hierzu ist folgendes zu bemerken:

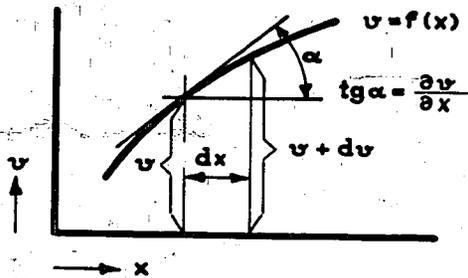


Abb. 1

Beim Strömen einer Flüssigkeit gleiten zwei unendlich nahe benachbarte Schichten nicht reibungslos aufeinander, sondern sie üben gegenseitig eine Kraft aus. Besteht beispielsweise an der Stelle x (Abb. 1) einer sich in der Waagerechten bewegenden Flüssigkeit die

Geschwindigkeit v_x und an der benachbarten Stelle $x+dx$ die Geschwindigkeit v_{x+dx} , so gilt die Beziehung

$$v_{x+dx} = v_x + \frac{\partial v_x}{\partial x} \cdot dx$$

Hierin ist $\frac{\partial v_x}{\partial x}$ die Neigung der Geschwindigkeitskurve^{+) in der einen der betrachteten drei Koordinatenebenen, d.h. dieses "Geschwindigkeitsgefälle" gibt an, um wieviel sich die Geschwindigkeit auf die Einheit der Länge ändern würde, wenn vom Punkt x an ein linearer Zuwachs erfolgte. Nach den Ansätzen der Hydrodynamik wirkt auf eine hinreichend kleine Fläche ΔF in einer zur Bildebene bei x senkrecht stehenden Ebene die Kraft ΔP}

$$\Delta P = \eta \frac{\partial v_x}{\partial x} \Delta F$$

^{+) Ein Eingehen auf die räumliche Form des Strömungsvorganges würde zu weit führen. Für die nachstehenden Beziehungen werde angenommen, daß die Abszisse senkrecht zur Tangentialebene an die Bewegungsfläche gerichtet sei.}

Hierin bedeutet η die dynamische Viskosität der Flüssigkeit. Beim Strömen muß diese Kraft ständig überwunden werden d.h. zur Aufrechterhaltung der Bewegung ist Arbeit erforderlich. Dies gilt für alle nicht ruhenden Volumenelemente, gleichwo sie sich befinden.

Von besonderer Bedeutung für die Rührervorgänge ist die Größe der auf die Flächeneinheit bezogenen Reibungskraft, der Scher- oder Schubspannung $\eta \frac{dv}{dx}$ in der Nähe der

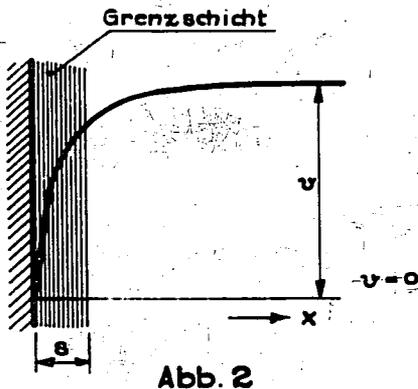


Abb. 2

Berührungsstelle mit festen oder gasförmigen Stoffen. Bekanntlich bildet sich an der Trennfläche zwischen einem festen Körper und einer bewegten Flüssigkeit eine "Grenzschicht" aus, in der eine von den sonstigen Stellen we-

Abb. 2

sentlich verschiedene Strömungsform besteht. Während außerhalb dieser Grenzschicht relativ große Geschwindigkeiten und auch starke Wirbel auftreten können, verläuft die Bewegung innerhalb dieser langsamer und im wesentlichen parallel zu der Begrenzungsfläche gerichtet. Die dem festen Körper unmittelbar benachbarten Flüssigkeitsteilchen haften an diesem ruhend und sind somit bestrebt, auch den unmittelbar benachbarten eine seiner Form angepaßte Bewegung aufzuzwingen. Andererseits aber suchen die Kräfte, die von der in einiger Entfernung bestehenden, freien Strömung ausgehen, die Teilchen wegzuspülen.

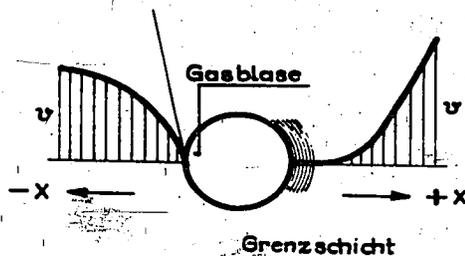


Abb. 3

Daraus folgt, daß die Dicke s der Grenzschicht weitgehend von der Größe der an ihrem äußeren Rand wirkenden Scherkräfte, d.h. den dort bestehenden Geschwindigkeitsgefällen abhängt.

Ob an der Trennfläche zwischen Flüssig-

keit und Gas ähnliche Erscheinungen auftreten, wie an der Berandung fester Körper, ist im einzelnen noch nicht geklärt. Es steht zwar fest, daß für das Aufsteigen von feinen Gasblasen in einer Flüssigkeit das S t o k e s' sche Gesetz in gleicher Weise wie für das Absinken fester, kugelförmiger Teilchen des gleichen Durchmessers gilt. Daraus kann zunächst mit ziemlicher Sicherheit geschlossen werden, daß beim Bestehen einer allgemeinen laminaren Bewegungsform in den Flüssigkeitsrandschichten keine wesentlichen Unterschiede in der Bewegungsform bestehen, gleichgültig, ob ein Gas oder ein fester Körper benachbart ist. Aus folgender Überlegung kann jedoch auch beim Vorherrschen einer turbulenten Strömung auf das Vorhandensein einer Art von Grenzschicht geschlossen werden:

Bestünde in der an die Oberfläche einer Blase angrenzenden Flüssigkeitsschicht eine Geschwindigkeitsverteilung, wie sie in Abb. 3 links dargestellt ist, so wäre an der Trennschicht eine endlich große Scherspannung $\eta_F \frac{\partial v_F}{\partial x}$ vorhanden,

die aus Gründen des Gleichgewichtes nur dann existieren kann, wenn ihr vom Innern der Blase aus die Spannung $-\eta_g \frac{\partial v_g}{\partial x}$ entgegenwirkt⁺). Da die Viskosität der Gase (η_g) immer erheblich geringer als die von Flüssigkeiten (η_f) ist, ist ein Gleichgewicht nur möglich, wenn die Gasgeschwindigkeit v_g sehr groß ist, da nur dann große Gefälle auftreten können. Aus energetischen Gründen sind jedoch derartig starke Bewegungen im Innern einer Blase nicht zu erwarten. Man muß daher eine Art der Geschwindigkeitsverteilung in der Flüssigkeit annehmen, wie sie in Abb. 3 rechts dargestellt ist: Die Tangente an die Geschwindigkeitskurve wird in der Nähe der Trennfläche waagrecht, d.h. an dieser selbst ist in der Flüssigkeit (wie auch im Gas) das Geschwindigkeitsgefälle unendlich klein. Wenn sich auch die Teilchen in der Nähe der Trennfläche (absolut genommen) mit einer endlichen Geschwindigkeit bewegen, so besteht doch zwischen ihnen kein wesentlicher Schlupf. Dies besagt aber, daß auch an Gasblasen eine der Grenzschichtbildung an festen Körpern zum mindesten ähnliche Art der Flüssigkeitsbewegung stattfinden muß⁺⁺). Man kann daher die Betrachtungen über die Einflüsse vorhandener Grenzschichten bei Rührprozessen in gleicher Weise auf feste Körper wie auch auf gasförmige anwenden.

Für den Stofftransport durch eine dünne Flüssigkeitsschicht von der Dicke s gilt nun bekanntlich die Diffu-

) Von dem Einfluß der Oberflächenspannung auf dieses Gleichgewicht kann bei relativ großem Blasenradius abgesehen werden.

++) Da auch auf der Gasseite eine derartige Grenzschicht besteht, die auf der benachbarten Flüssigkeitsschicht haftet, wälzt sich bei einer Bewegung der Blase deren Inhalt gewissermaßen über die Wandung, wie es beispielsweise beim Aufsteigen an entstehenden Schlieren beobachtet werden kann.

sionsgleichung

$$\Delta Q = \delta \frac{c_1 - c_2}{S} \Delta F$$

Hierin bedeutet Q die in der Zeiteinheit durch die Fläche ΔF der Grenzschicht in die sie umgebende Flüssigkeit tretende Menge des Stoffes, c_1 und c_2 die Konzentrationen an der Trennschicht bzw. in der Flüssigkeit außerhalb der Grenzschicht und δ den Diffusionskoeffizienten. In gleicher Weise gilt auch für den Wärmetransport durch die Grenzschicht

$$\Delta Q = \lambda \frac{t_1 - t_2}{S} \Delta F$$

worin ΔQ die in der Zeiteinheit unter der Wirkung der Temperaturdifferenz $t_1 - t_2$ durch die Grenzschicht nach außen strömende Wärmemenge und λ die Wärmeleitfähigkeit der Flüssigkeit bedeuten.

Es liegt also im Sinne eines möglichst rasch verlaufenden Stoff- oder Wärmetransportes, wenn die Dicke der Grenzschicht gering ist. Ein gutes Rührverfahren muß daher so wirken, daß an allen Stellen, wo ein derartiger Austausch erfolgen soll, die auftretenden Geschwindigkeitsgefälle möglichst hoch sind. Nun ist aber aus wirtschaftlichen Gründen eine Durchführung mit möglichst geringem Energieaufwand anzustreben. Nach dem oben Ausgeführten ist dies der Fall, wenn an den in Frage kommenden Trennschichten möglichst hohe, im ganzen sonstigen Flüssigkeitsraum aber möglichst geringe Geschwindigkeitsgefälle bestehen. Die vielfach vertretene Ansicht, ein Rührvorgang sei umso günstiger, je mehr Energie vom Antrieb an die Flüssigkeit übertragen wird, trifft daher nur dann zu, wenn diese Leistung hauptsächlich zur Verringerung der Stärke der Grenzschichten

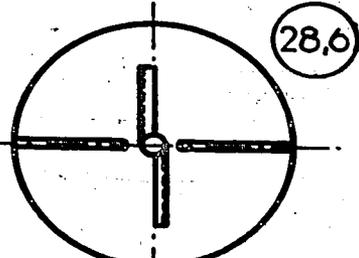
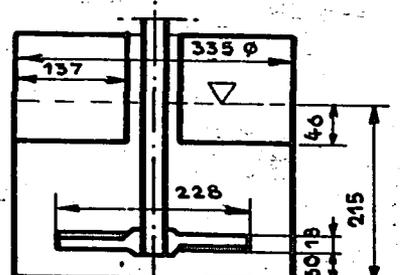
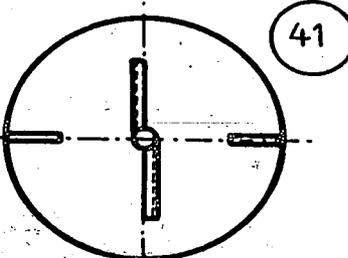
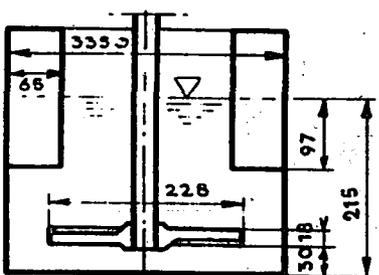
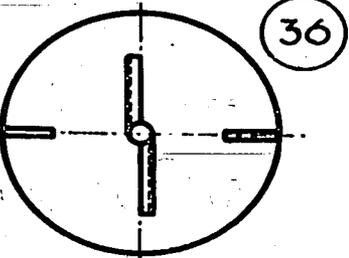
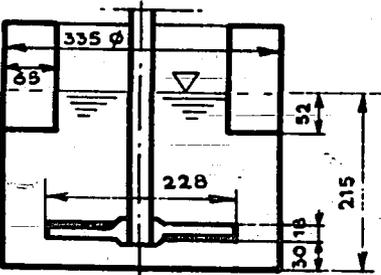
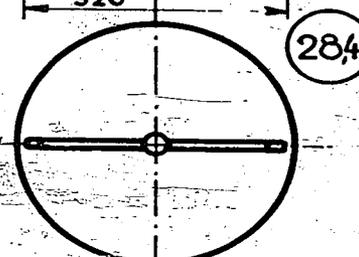
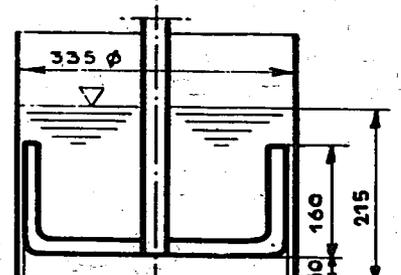
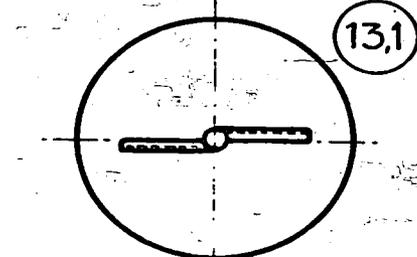
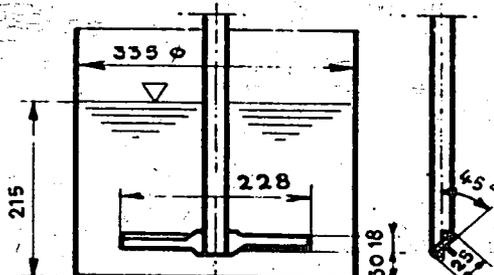
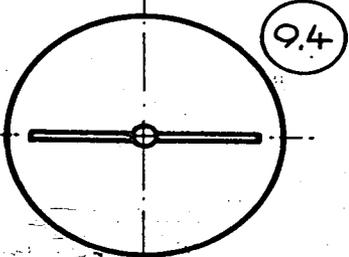
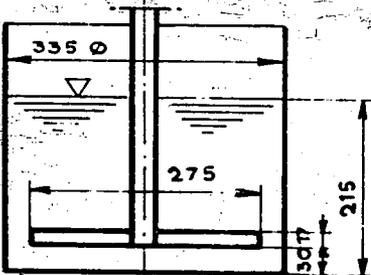
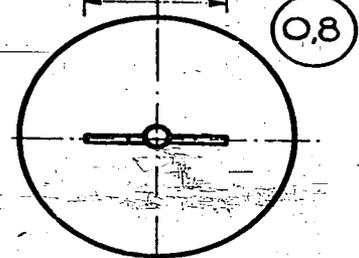
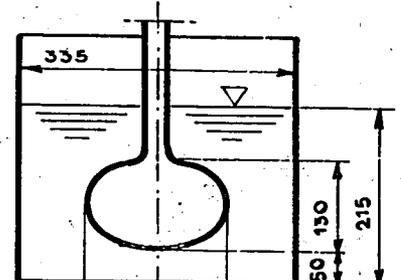
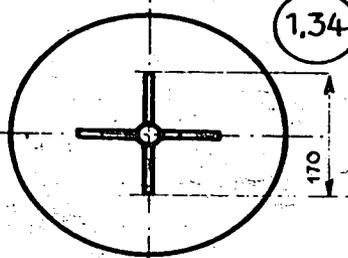
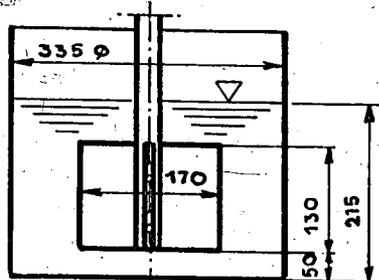
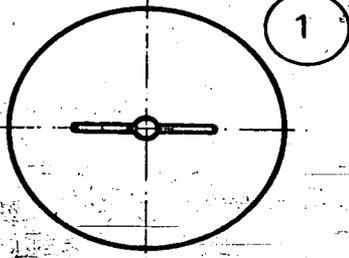
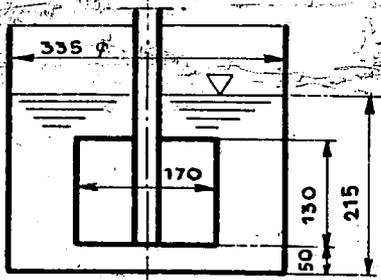
dient.

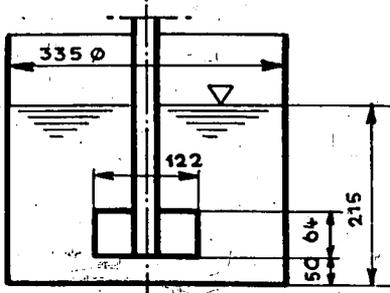
Schreibt man vor, wie es aus praktischen Erwägungen meist geboten erscheint, dass ein bestimmter Prozess innerhalb einer gewissen Zeit beendigt sein soll, so hängt es von der richtigen Wahl der Form und der Drehzahl des Rührers ab, den nicht zur Verminderung der Grenzschichtdicke dienenden Anteil des gesamten der Flüssigkeit zugeführten Arbeitsbetrages möglichst niedrig zu halten. Die Frage, welche Rührerform die geeignetste ist, wird auch bei einer ganz bestimmten Problemstellung nie genau geklärt werden können. Es ist nur möglich, durch systematische Versuche die bestehenden Anschauungen zu erweitern und in enger Zusammenarbeit mit den Betrieben Verbesserungen der jetzt als günstig erkannten Rührerformen anzustreben.

Die in der chemischen Industrie zu beobachtende Vielgestaltigkeit der Rührer ist darauf zurückzuführen, dass die Formgebung früher vielfach in das Ermessen des Einzelnen gestellt war. Wenn auch gute Erfahrungen mit bestimmten Typen mit Recht zu deren allgemeinen Verwendung führten, hielten sich aber auch an manchen Stellen bis heute völlig abwegige Bauarten, obwohl sie vielleicht überhaupt nicht oder nur in ganz wenigen Sonderfällen bestimmte Vorteile bieten.

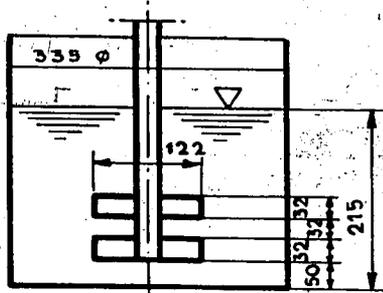
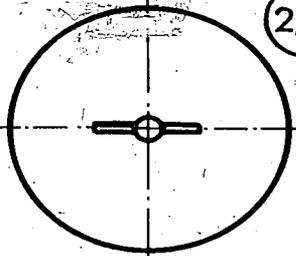
In welcher starkem Masse z.B. die Rührergestalt und zusätzliche Einbauten auf den Energiebedarf beim Lösen von Einfluss sind, zeigt Abb. 4a-e, in der nach Messungen von H a i l e r für verschiedene Formen berechnete Verhältniszahlen wiedergegeben sind:

relativer Arbeitsaufwand beim Lösen von Kochsalz.
Zeit: 3 Min. zur Erreichung von 9.5% Konzentration (Rührblatt = 1 gesetzt.)

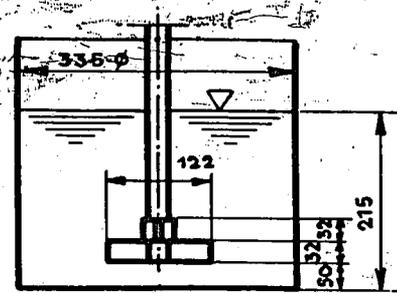
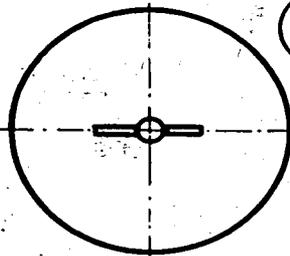




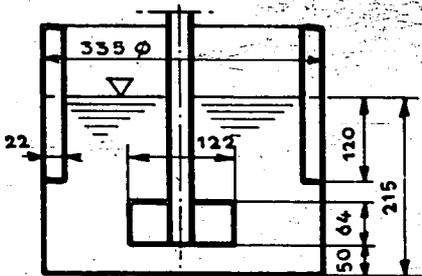
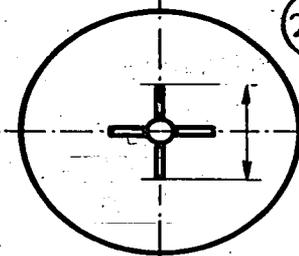
2,46



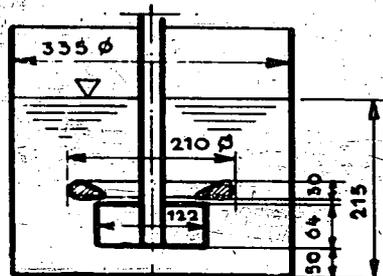
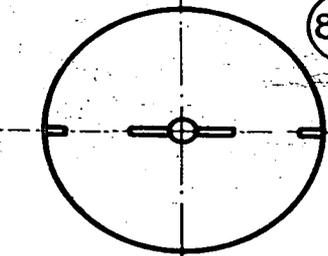
3,5



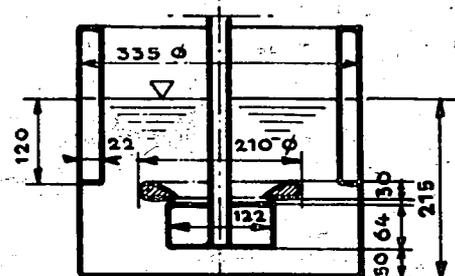
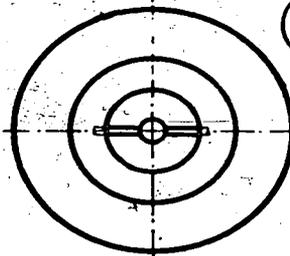
2,69



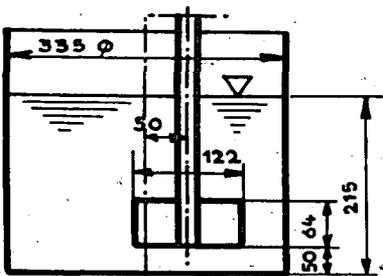
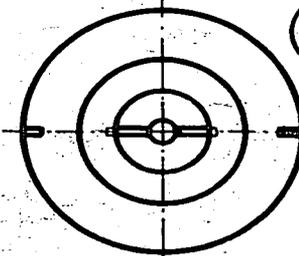
8,35



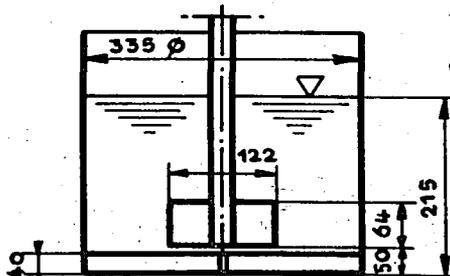
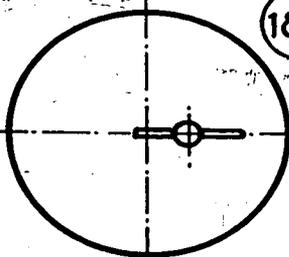
5,1



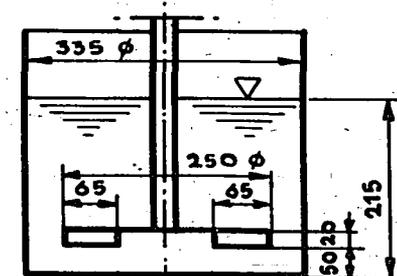
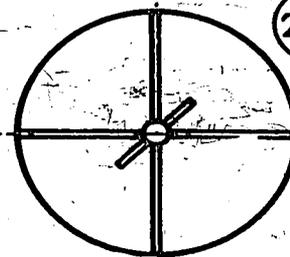
13,4



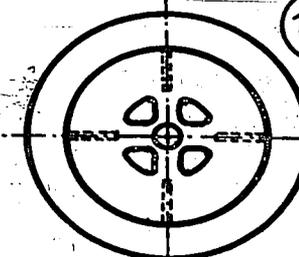
18,6

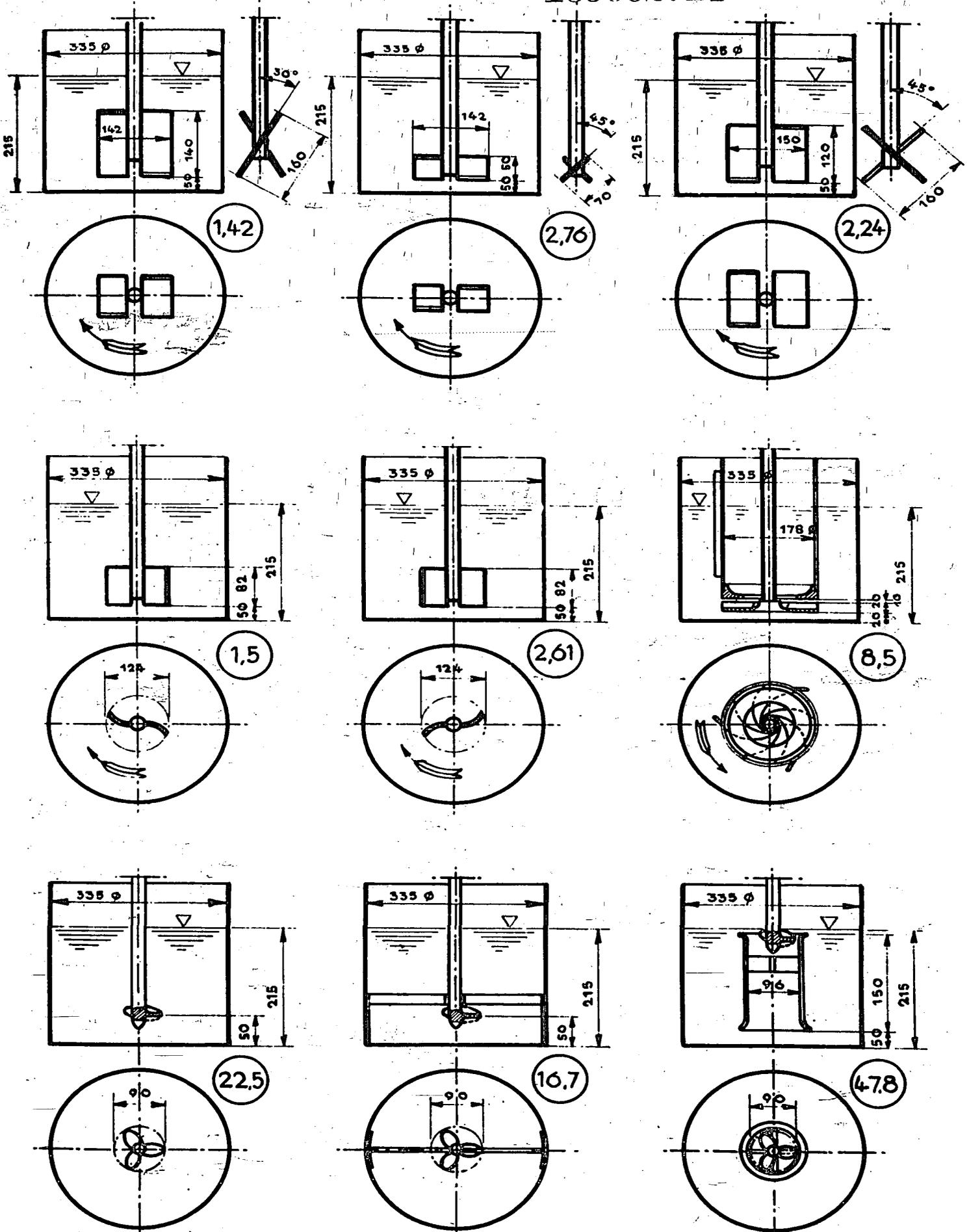


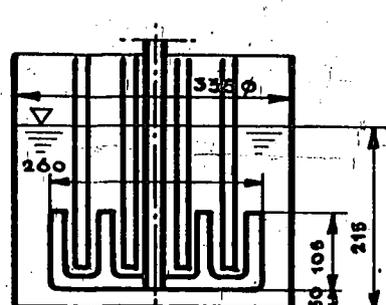
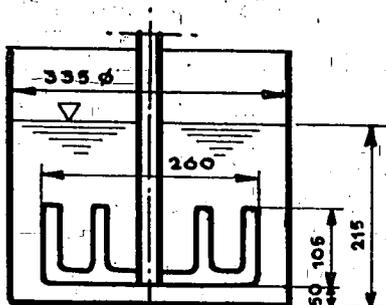
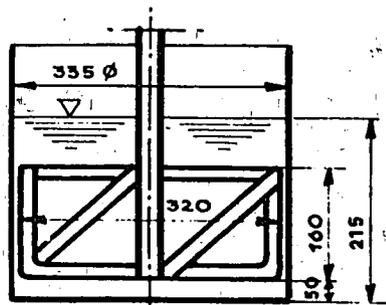
25,4



11,6



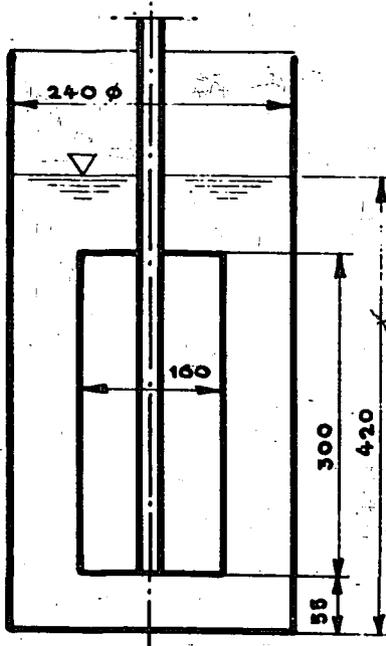
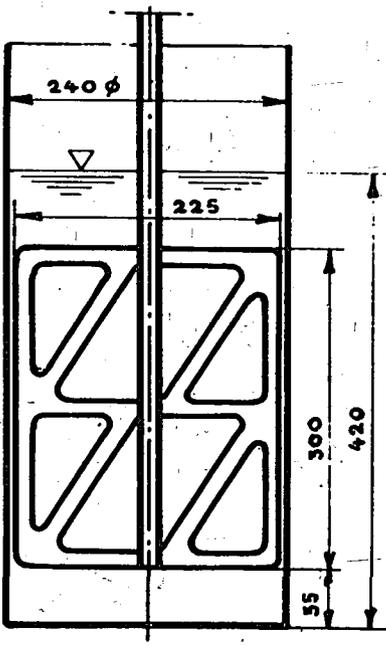
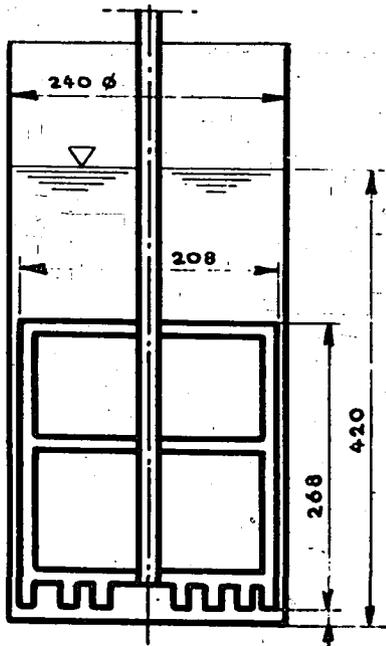
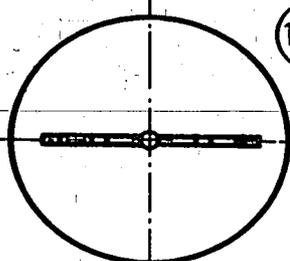
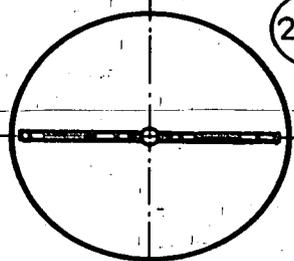




20,8

10,6

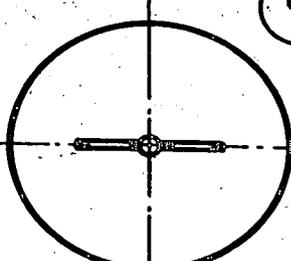
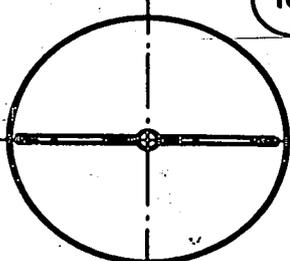
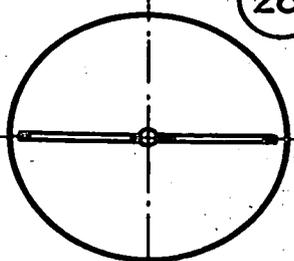
34,4

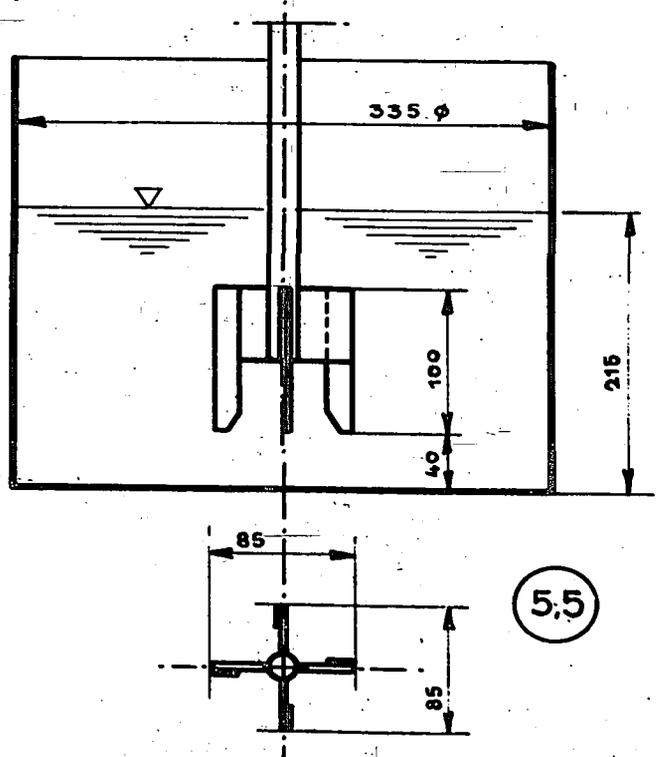
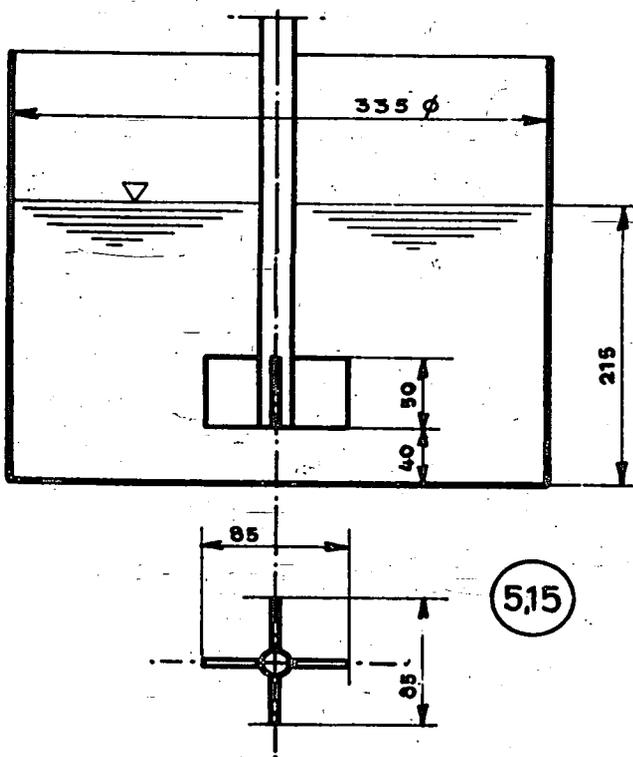
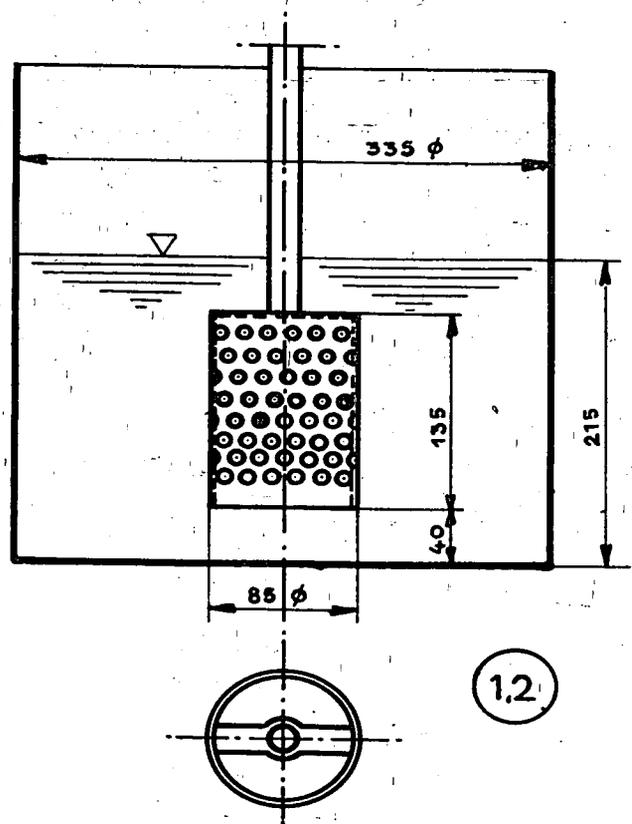
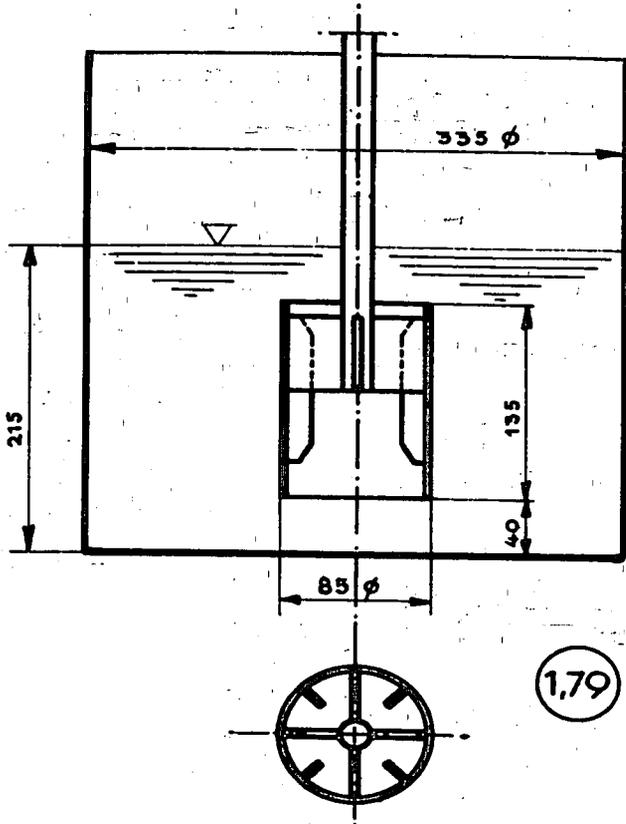


28

16

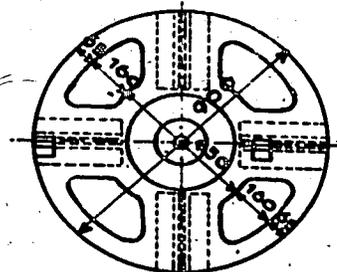
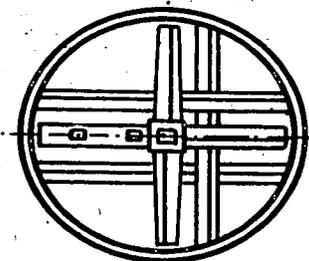
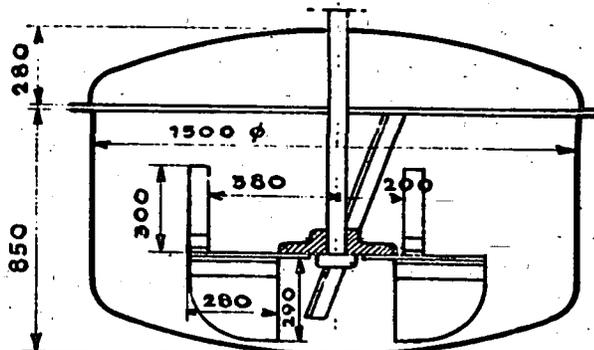
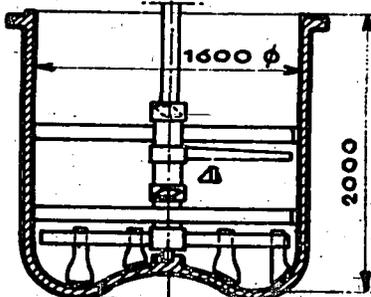
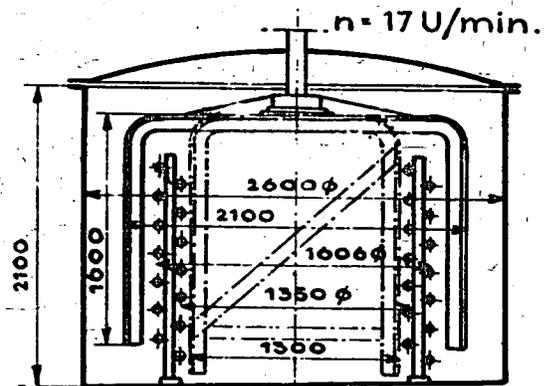
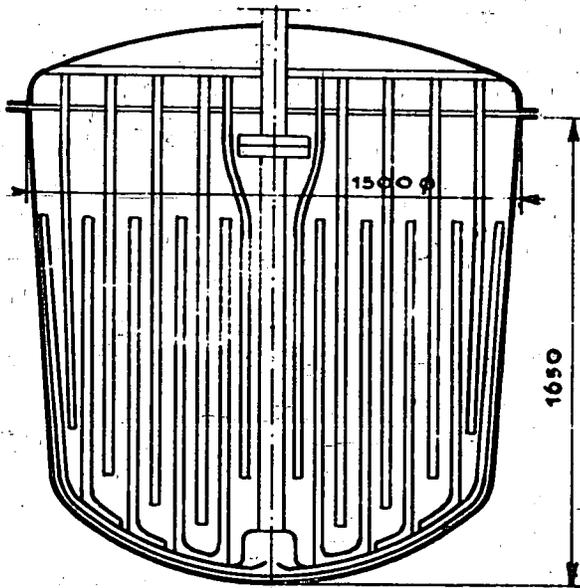
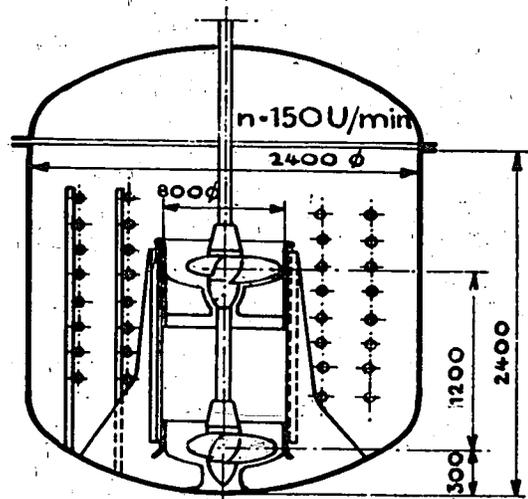
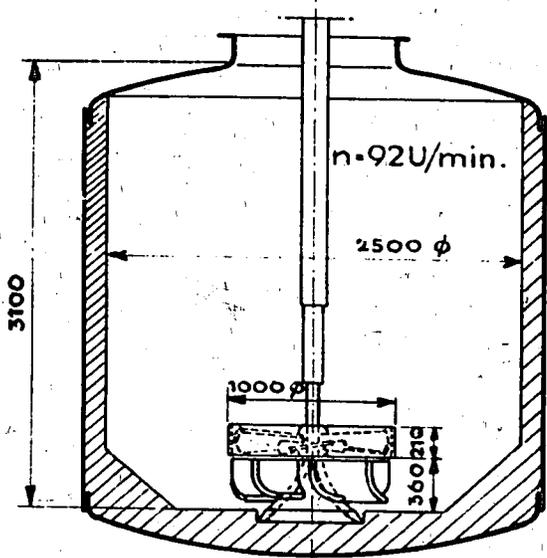
9

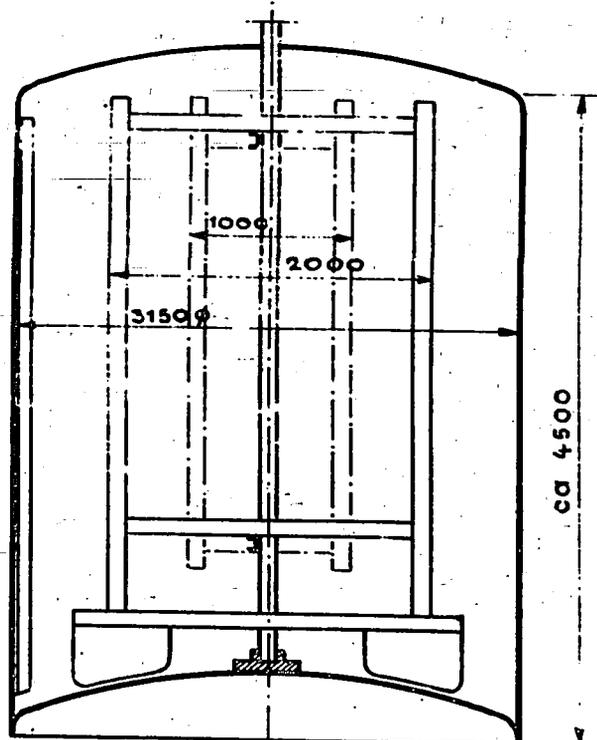
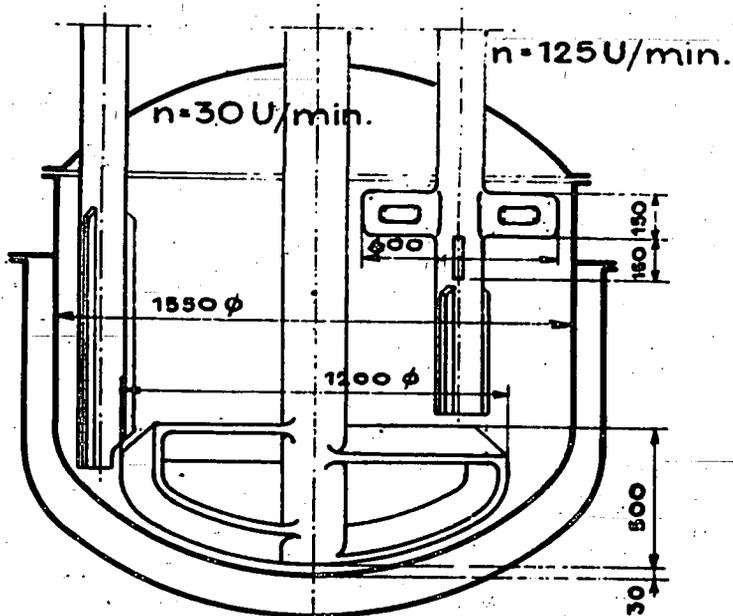
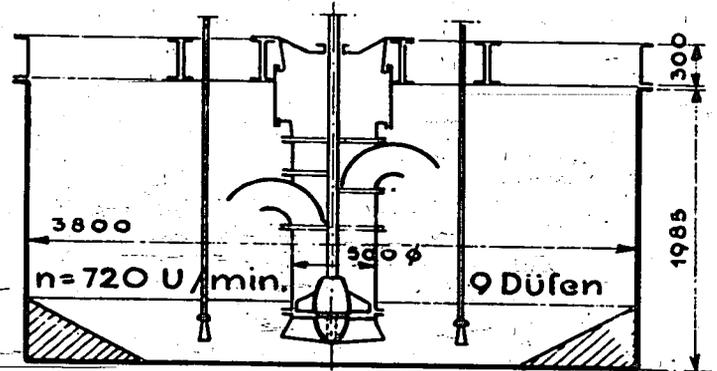
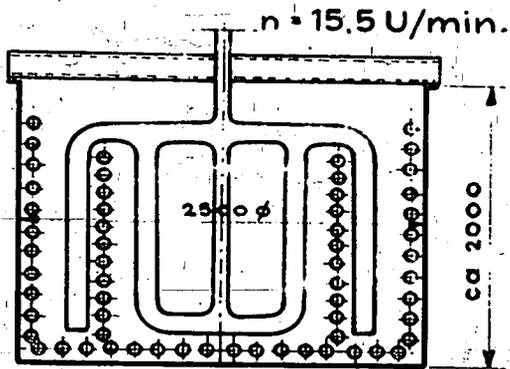
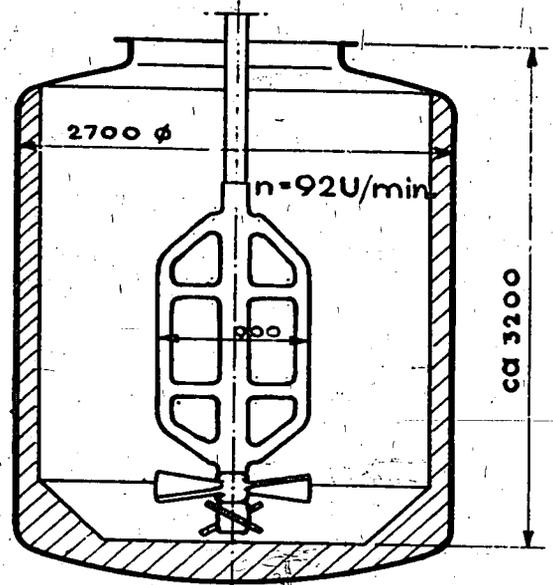
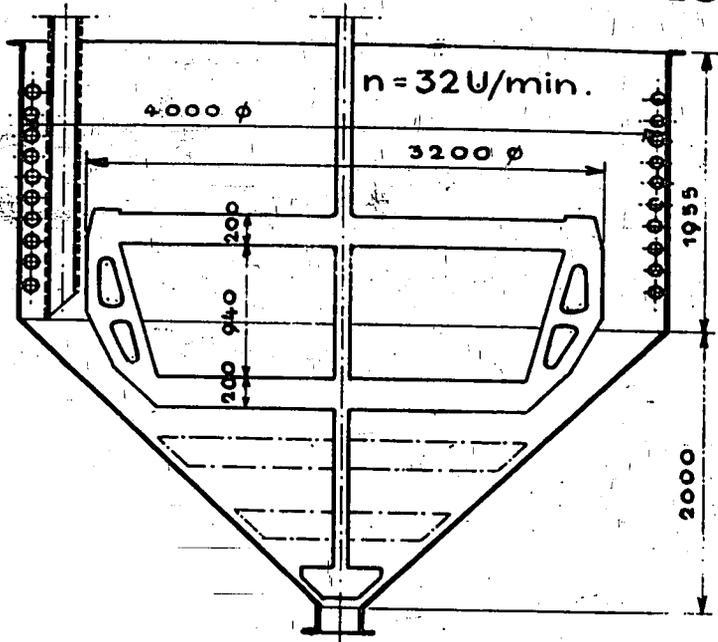




Sonderausführungen von Rührwerken.

Eine Berechtigung zu ihrer Verwendung besteht nur selten.)





132002719

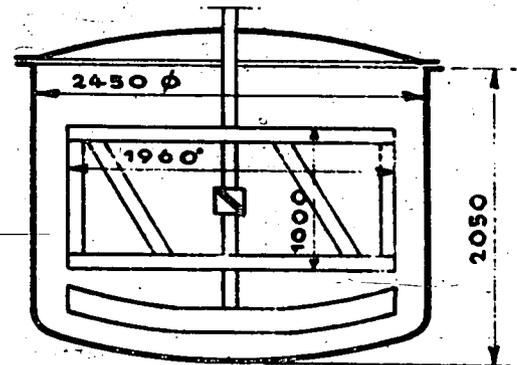
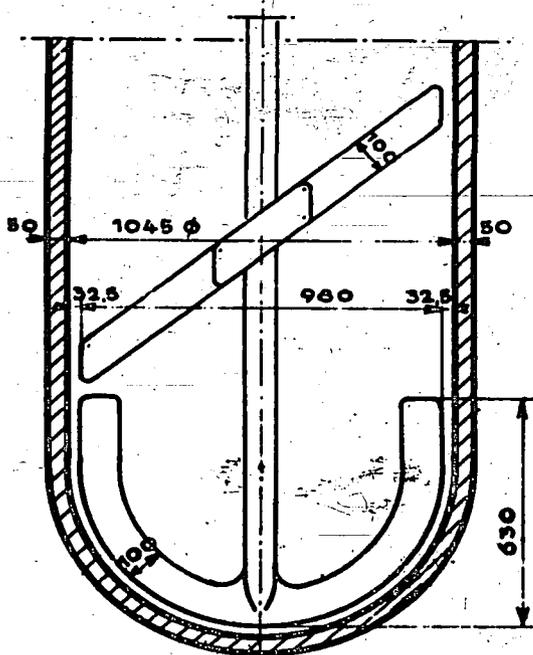
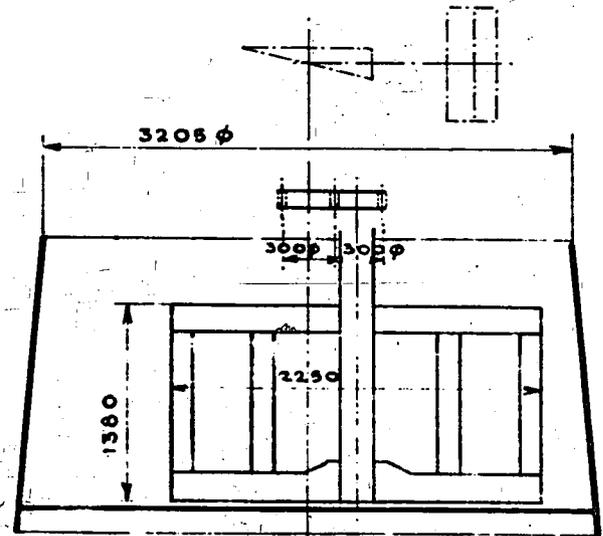
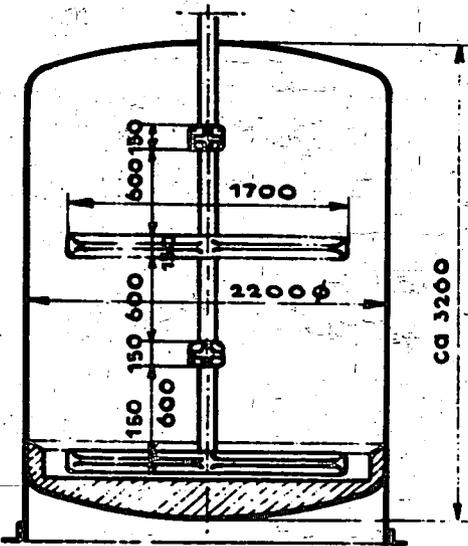
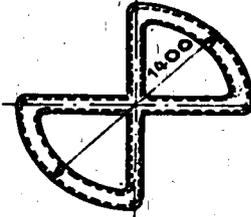
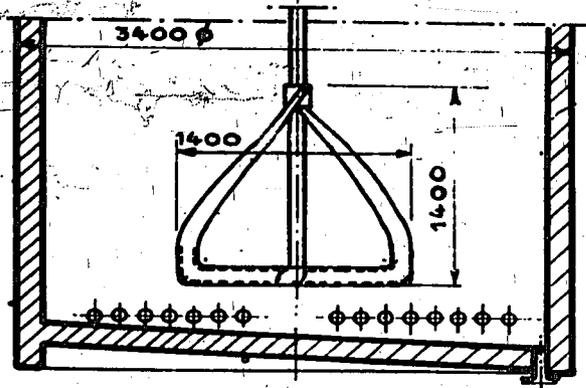
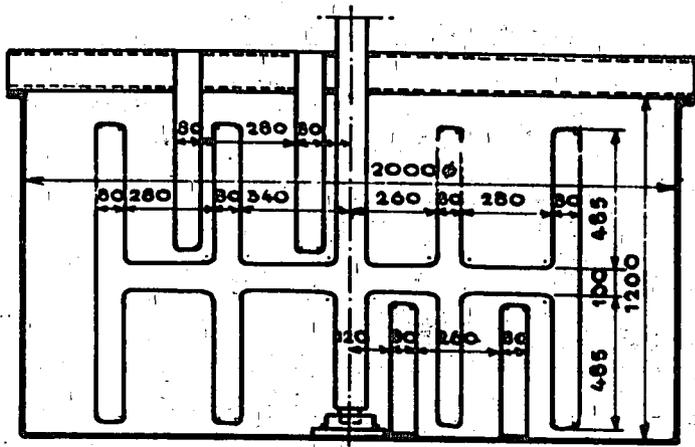
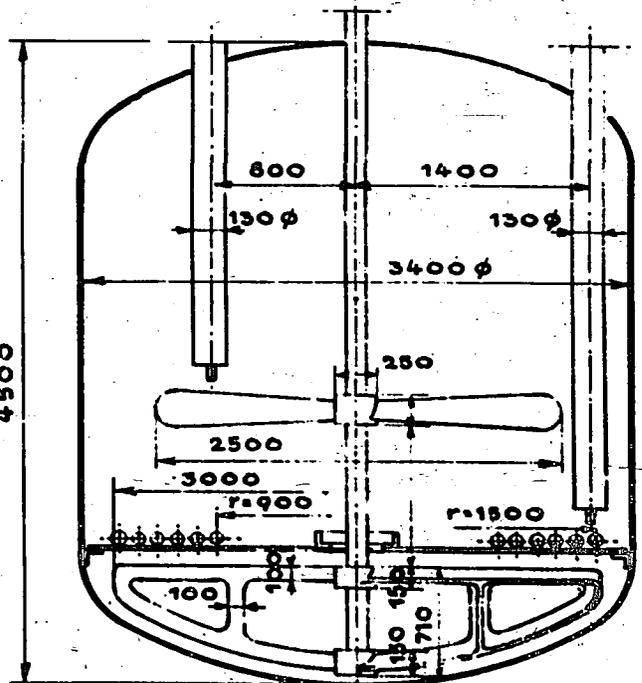
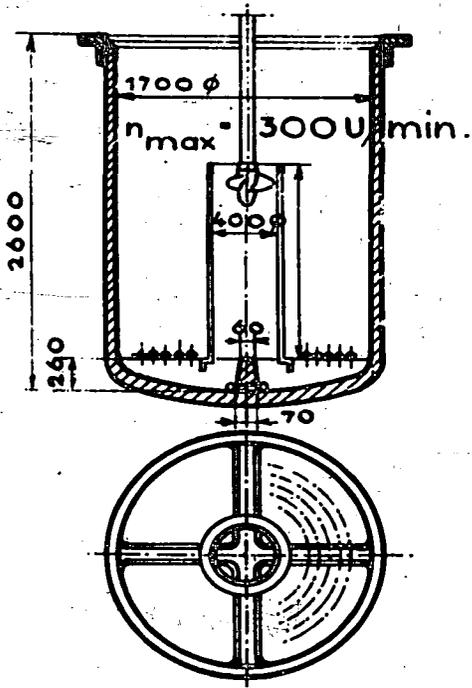
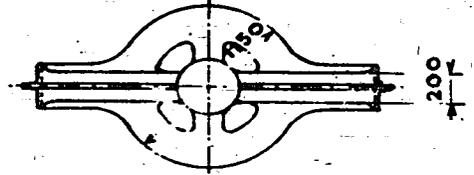
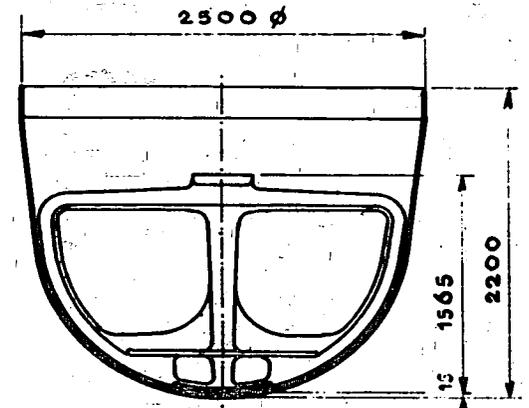
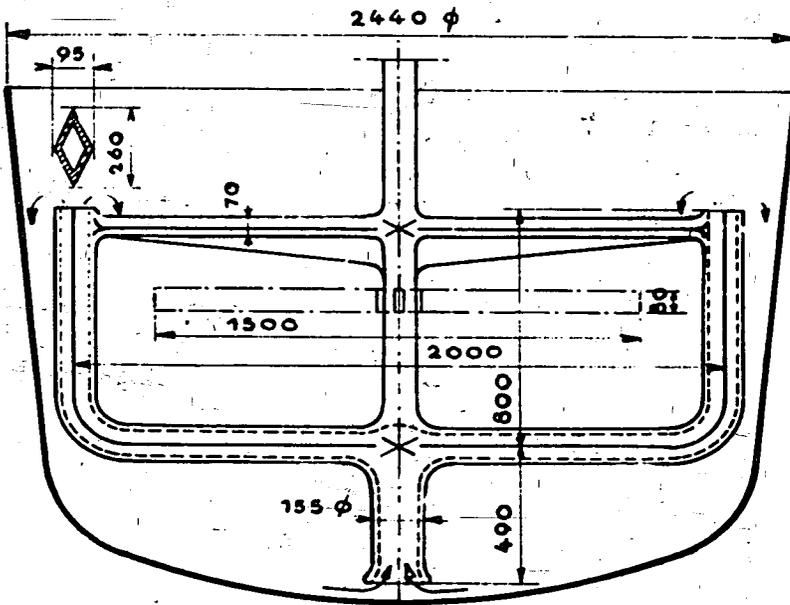
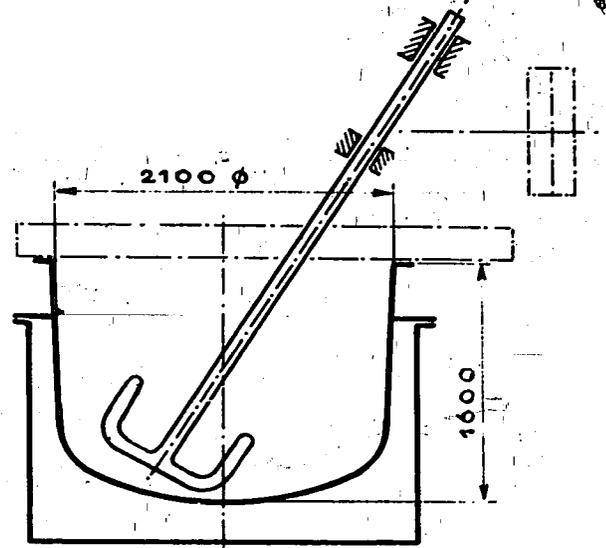
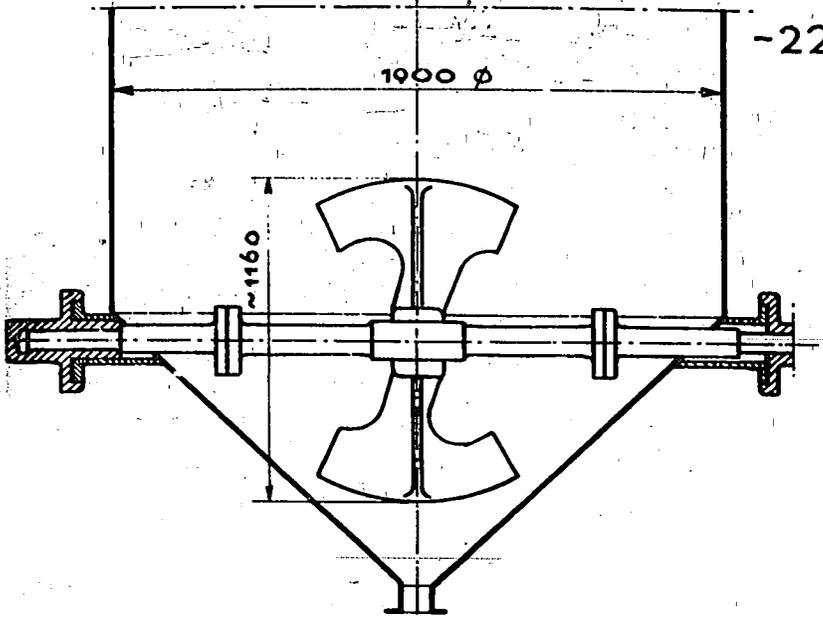


Abb. 4 i



Bei jeder der schematisch angedeuteten Rührvorrichtung bezeichnet eine beigesezte Zahl, wie sich der mit ihr zur Erreichung einer bestimmten Konzentrationserhöhung erforderliche Arbeitsbetrag zu demjenigen eines rechteckigen Blattrührers verhält, wenn bei allen die gleiche Lösegeschwindigkeit besteht⁺). Darüber hinausgehend sind in Abb.4f- i eine Reihe von Rührformen dargestellt, mit denen keine Löseversuche durchgeführt worden sind, denen aber von vornherein mit Ausnahme seltenerer, ganz bestimmt gelagerter Fälle jegliche Berechtigung zu einer allgemeinen Verwendung abgesprochen werden muß. Man kann aus Abb.4 ersehen, wie sehr Rührer, die infolge der großen Zahl von Kanten Anlaß zur Bildung besonders vieler Wirbel geben, für diesen Verwendungszweck weniger geeignet sind, es sei denn, daß bestimmte Gründe ihren Gebrauch rätlich erscheinen lassen⁺⁺). Aus dem Vergleich von Anordnungen mit und ohne Einbau von Strombrechern kann ebenfalls die für den betrachteten Fall ungünstige Auswirkung allzu großer Turbulenz entnommen werden. Man muß sich jedoch hüten, die lediglich durch Löseversuche gewonnenen Erkenntnisse bedingungslos zu verallgemeinern. Wenn man auch im allgemeinen bezüglich der zur Verarbeitung dünner Flüssigkeiten bestimmten Rührer- und Rührkesselkonstruktionen

⁺) Hierbei war die für alle Rührer vorgeschriebene Lösezeit drei Minuten, entsprechend einer Blattdrehzahl von 120 U/min (Gefäßdurchmesser 335 mm). In jedem Einzelfall wurde also diejenige Drehzahl bestimmt, mit der in drei Minuten die gleiche Konzentration wie beim Blattrührer erhalten werden konnte und die Leistungsaufnahme gemessen.

⁺⁺) Auf den zuletzt dargestellten Blattrührer von elliptischer Form, der nach Abb.4ahinsichtlich des Leistungsverbrauches am günstigsten ist, wird weiter unten eingegangen.

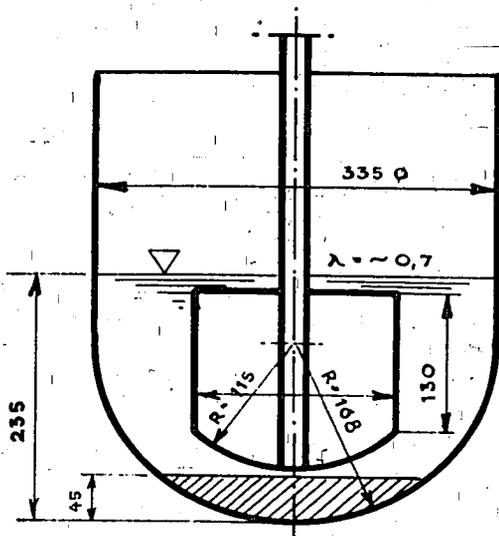
die Regel aufstellen kann, daß möglichst Formen zu wählen sind, an denen wenig Wirbelablösungen stattfinden können, so bestehen auch hierbei Ausnahmen. Im Zweifelsfall ist es meist leicht, sich durch Modellversuche Klarheit zu verschaffen, welche Bauart günstiger ist. Die rein optische Beobachtung im Glasgefäß liefert oft allein schon den gewünschten Aufschluß. Es ist jedoch zu beachten, daß gerade hierbei oft Täuschungen möglich sind. Zur Vermeidung von Fehlschlägen ist der exakte, meßtechnische Vergleich bei wesentlichen Entscheidungen immer rätlicher.

2) Langsam laufende Rührer.

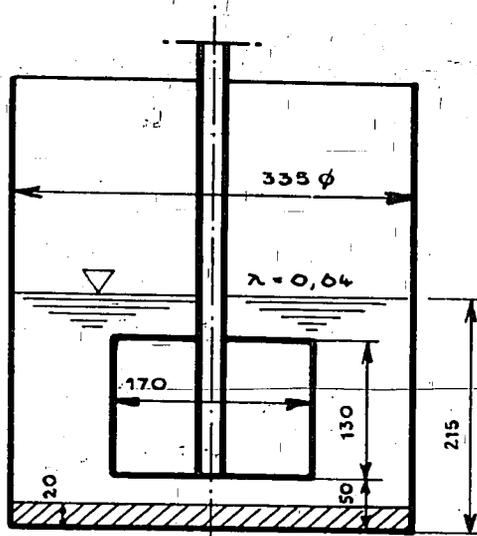
a) Der Blattrührer.

H a i l e r fand durch Löseversuche mit rechteckigen Blattrührern, die in Höhe und Breite variiert wurden, daß die Verwendung eines Blattes von halbem Durchmesser des Gefäßes zu einem Minimum des Leistungsbedarfes führt. Es zeigte sich auch, daß die Einhaltung der richtigen Breite von größerer Bedeutung ist, als die der richtigen Höhe. Es muß noch erwähnt werden, daß neben der Gestalt des Rührblattes die Form des Gefäßes recht beträchtlichen Einfluß auf den Energiebedarf zum Lösen besitzt. Dies geht aus Abb. 5 hervor, in der die der Abb. 4 entsprechenden Verhältniszahlen für eine gleichbleibende Flüssigkeitsmenge in verschieden geformten Kesseln wiedergegeben sind. Der Arbeitsbetrag für eine Bütte mit ebenem Boden ist wiederum gleich 1 gesetzt.

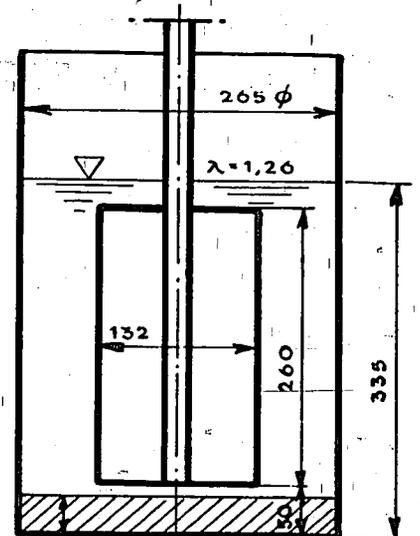
relativer Arbeitsaufwand beim Lösen von Kochsalz.
 Lösezeit: 3 Min. zur Erreichung von 9.5% Salzgehalt.
 Gefäß mit ebenem Boden = 1 gefetzt.



0,6

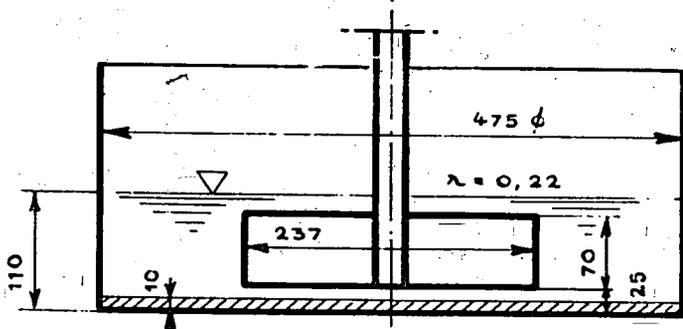


1,0

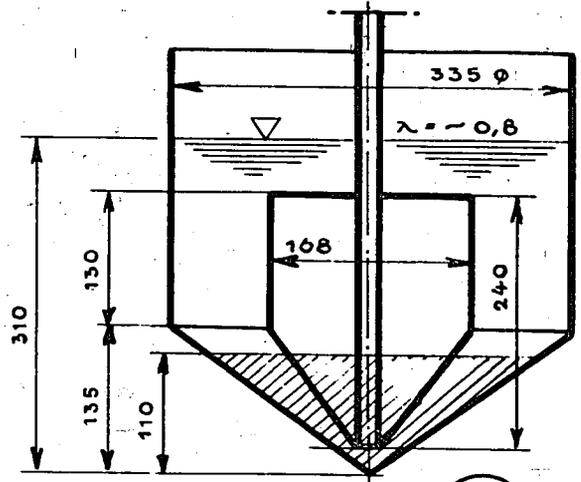


1,60

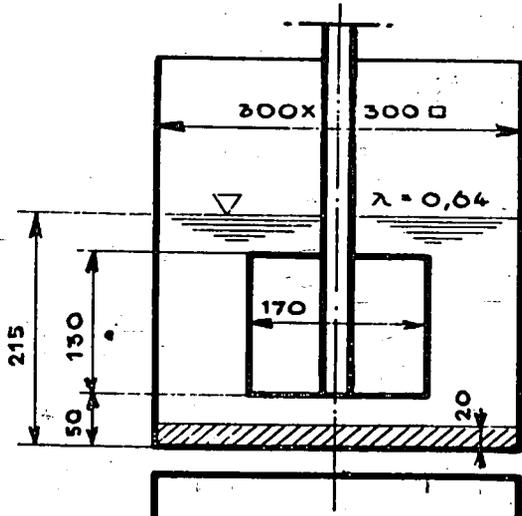
Wasserfüllung 19 Ltr.
 2.5 kg. Kochsalz ~ $\phi \div 8$ mm Korn.



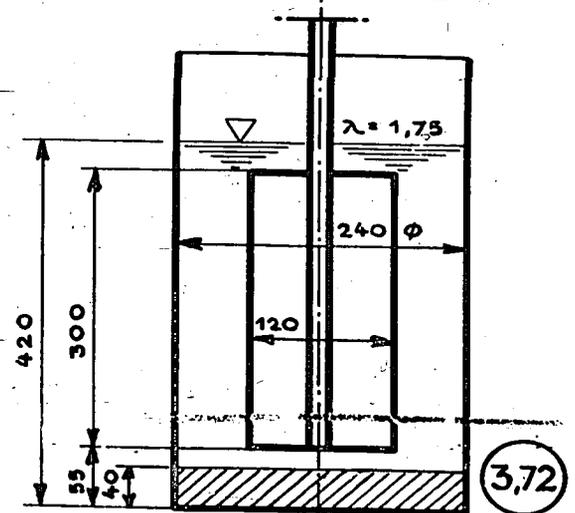
2,15



2,4



3,0



3,72

Die Antriebsleistung in den Gefässen mit Kugelboden ist nicht unwesentlich geringer als in denen mit Flachboden (S.146). Da die Lösezeiten bei beiden ungefähr dieselben sind, ist zum Lösen in Gefässen mit Kugelboden weniger Energie nötig. Ausserdem kann festgestellt werden, dass es offenbar am günstigsten wird, wenn die Füllhöhe ungefähr so gross wie der Gefässdurchmesser ist.

Man kann sich nun fragen, warum gerade das Rührblatt für das Lösen und, wie es sich gezeigt hat, auch noch für eine Reihe andersartiger Prozesse besonders geeignet ist. Der Grund hierzu ist in der Art des durch die Bewegung des Rührers hervorgerufenen Strömungsvorganges zu suchen, bei dem offenbar in vielen Fällen ein günstiges Verhältnis zwischen den zur Grenzschichtbeseitigung dienenden Arbeitsbeträgen und der in den nicht daran beteiligten Volumenelementen nutzlos in Wärme umgesetzten Energie besteht.

Die durch den Blattrührer hervorgerufene Flüssigkeitsbewegung besteht zunächst in einer Rotation des gesamten Gefässinhaltes (Abb. 6), der sich eine von der Blattmitte nach aussen gerichtete Sekundärströmung überlagert. Aus der Zu-

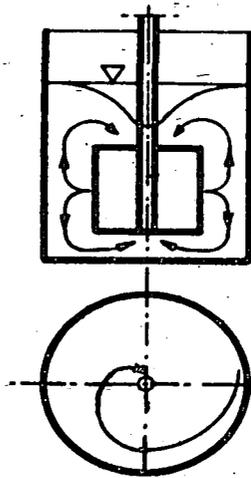


Abb. 6.

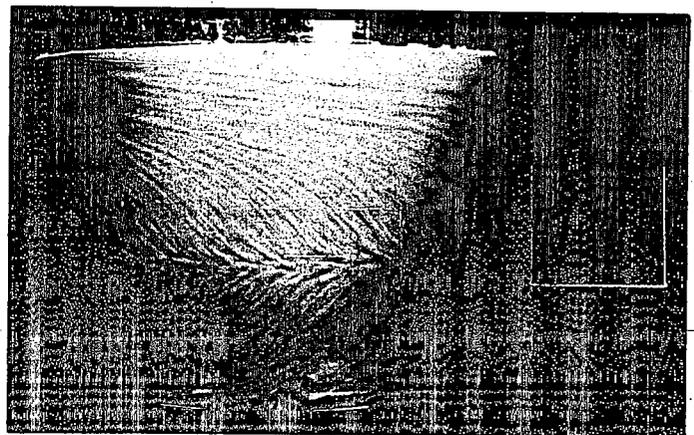


Abb. 7

sammensetzung beider entstehen am oberen Spiegel und am Boden des Gefäßes zwei Spiralwirbel, die die Flüssigkeit vom Rand wieder zur Rührmitte zurückführen. Die Abb.7 zeigt, wie sich der vom Blatt ausgehende Strom in der Mitte teilt und sowohl nach oben wie nach unten abgelenkt wird. Nach Messungen von **S t r a s s e r** ⁺) ist bei der Rotation des Blattes in dünnen Flüssigkeiten die Änderung der Winkelgeschwindigkeit der Strömung ungleich größer, wie bei jeder bis jetzt bekannten Rührerart. Damit ergibt sich eine Erklärung für die gute Eignung des Rührblattes zum Lösen körniger Stoffe: Durch den bei richtiger Wahl der Drehzahl entstehenden starken Sog werden auch grobe und schwere Festkörper vom Boden hochgezogen und mitgetragen. Da sie hierbei in kurzer Folge immer wieder durch Gebiete geführt werden, in denen große Geschwindigkeitsunterschiede herrschen, können sich nur dünne Grenzschichten ausbilden, so daß die Diffusion erleichtert wird. Dadurch bestehen aber sowohl für das Lösen, wie auch für die chemische Umsetzung der festen Körper sehr günstige Bedingungen. Dasselbe gilt auch für das Mischen von verschiedenen Flüssigkeiten, bei denen zunächst durch die hohen Scherkräfte die Grenzflächenspannungen leicht überwunden werden, wodurch eine Aufteilung eintritt. Bei den bestehenden großen Geschwindigkeitsunterschieden werden die einzelnen Teilchen der einen Flüssigkeit in kurzer Zeit mit sehr vielen der anderen in Berührung gebracht.

⁺) **Dr. Strasser, Strömungsmessungen der Energiekontrolle Lu**
sur Untersuchung der Wirkung von Rührern.

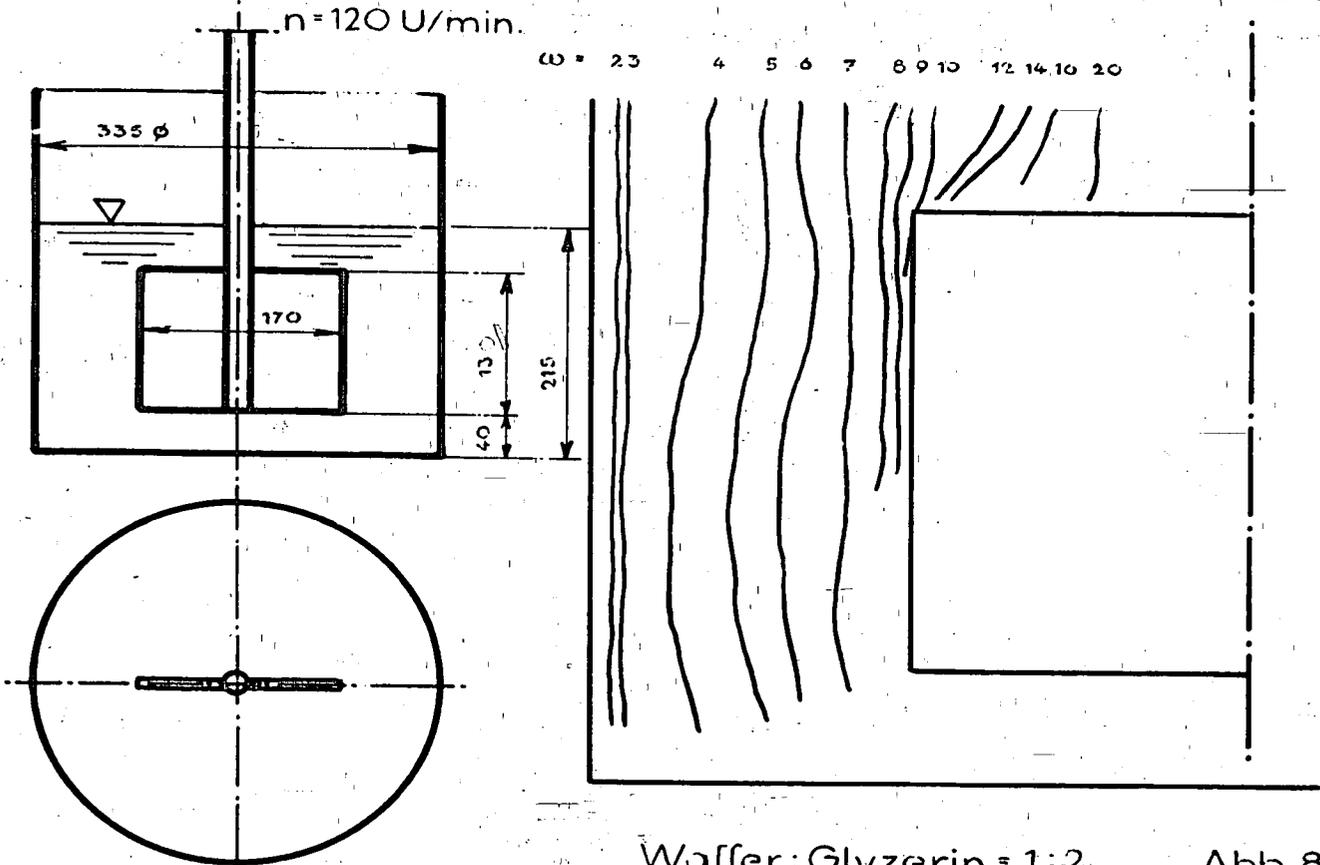
Bei der Verwendung des Blattrührers ist jedoch zu beachten, daß die Größe der auftretenden Geschwindigkeitsgefälle durch Einbauten oder durch eine höhere Flüssigkeitsviskosität verringert wird. Zur Veranschaulichung dieses Verhaltens sind in Abb. 8a - d einige Ergebnisse der Messungen von **S t r a s s e r** wiedergegeben. Jedes der vier Bilder zeigt den Strömungsverlauf im linken Teil einer durch die Rührerachse gelegten Ebene. Die Abb. 8a und 8b enthalten die Linien konstanter Winkelgeschwindigkeit bei Füllung mit Wasser und einem Wasser-Glyzeringemisch 1:2. Die Abb. 8c und 8d geben die Verhältnisse für die gleichen Flüssigkeiten wieder, wenn von oben zwei um 180° versetzte Strombrecher eintauchen. Es ist aber zu beachten, daß die Ebene, in der die Kurven für gleiche Winkelgeschwindigkeiten eingetragen sind, zu der Ebene der Strombrecher um 90° versetzt liegt.

Bei Wasser ohne Einbauten im Gefäß sind die Linien für konstante Winkelgeschwindigkeiten am dichtesten, d.h. die Änderungen um die Einheit der Winkelgeschwindigkeit erfolgt auf kürzestem Wege, so daß die Geschwindigkeitsgefälle sehr hoch sind. Sowohl bei einer höheren Flüssigkeitsviskosität, wie auch durch Einbauten wird der Abstand der Kurven vergrößert und somit das Gefälle verkleinert. Besonders beachtlich ist auch, daß durch die Einbauten die im Gefäß ohne Strombrecher augenscheinlich bestehende Regelmäßigkeit des Strömungsverlaufes, die offenbar für einen guten Rühreffekt von Bedeutung ist, erheblich gestört wird, trotzdem in den Abbildungen diejenige Querschnittsebene zur Darstellung gelangte, in der die Einflüsse der su-

Kurven gleicher Winkelgeschwindigkeit (ω)
im Gefäß mit Rührblatt.

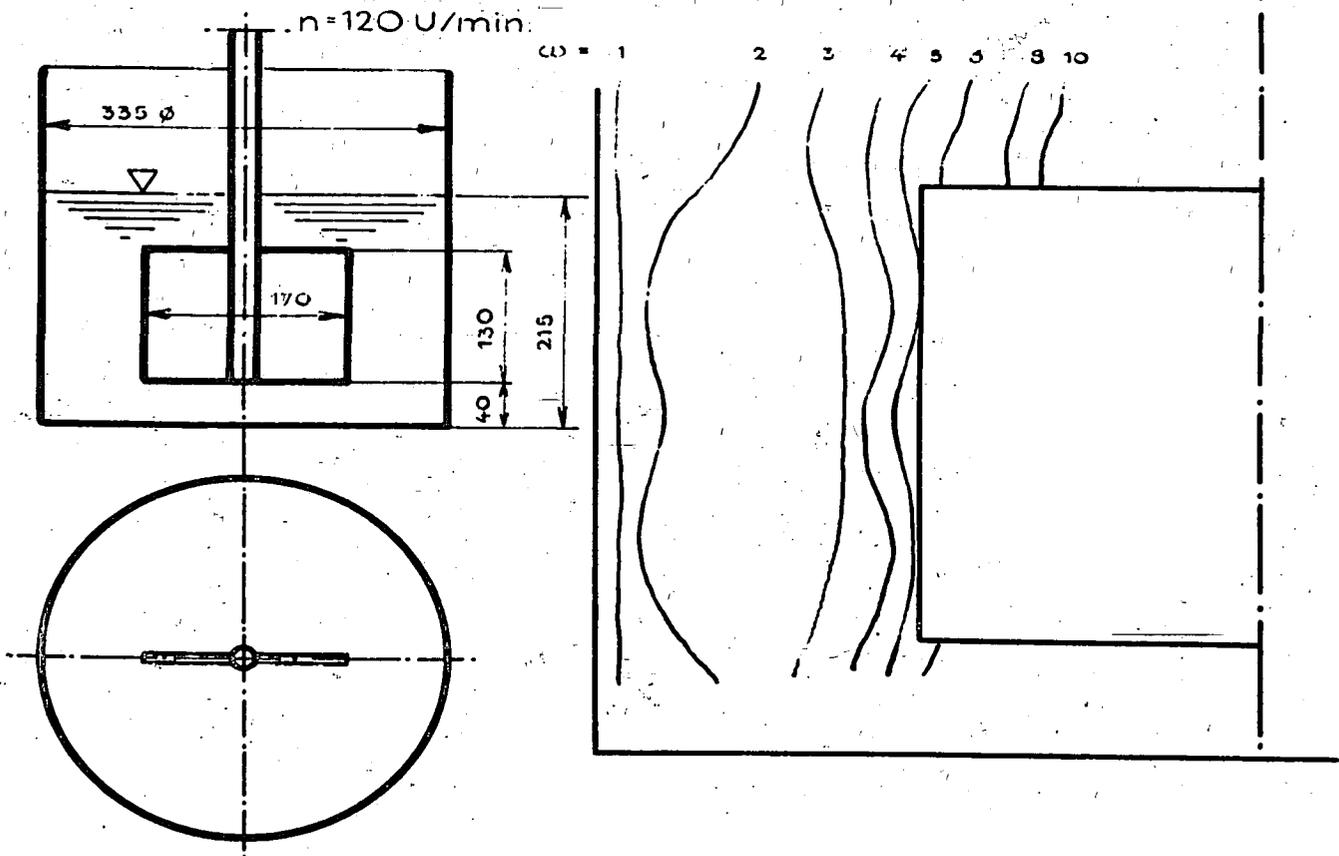
Wasser

Abb. 8a



Wasser: Glyzerin = 1:2.

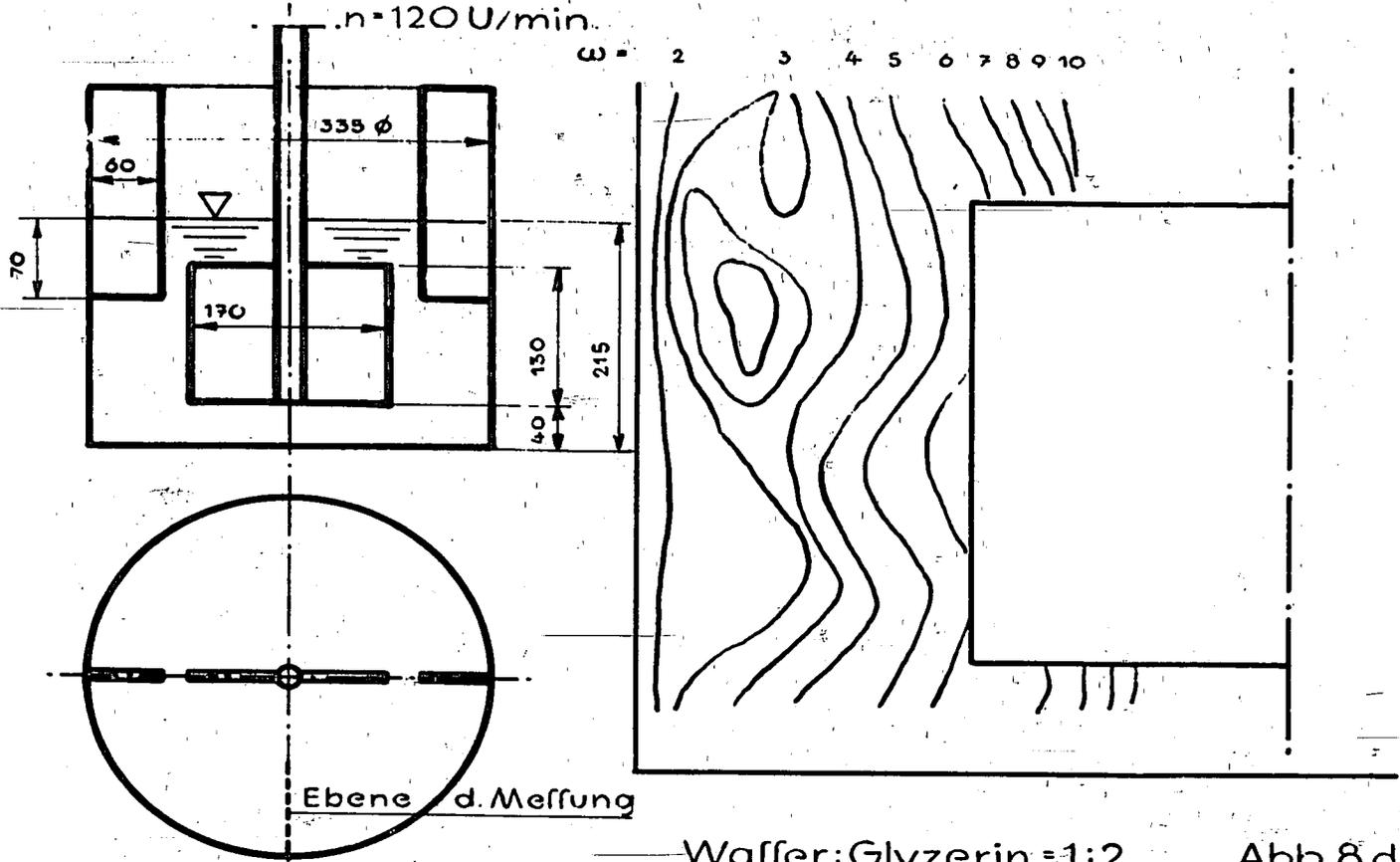
Abb. 8b



Kurven gleicher Winkelgeschwindigkeit (ω)
im Gefäß mit Rührblatt und Strombrechern.

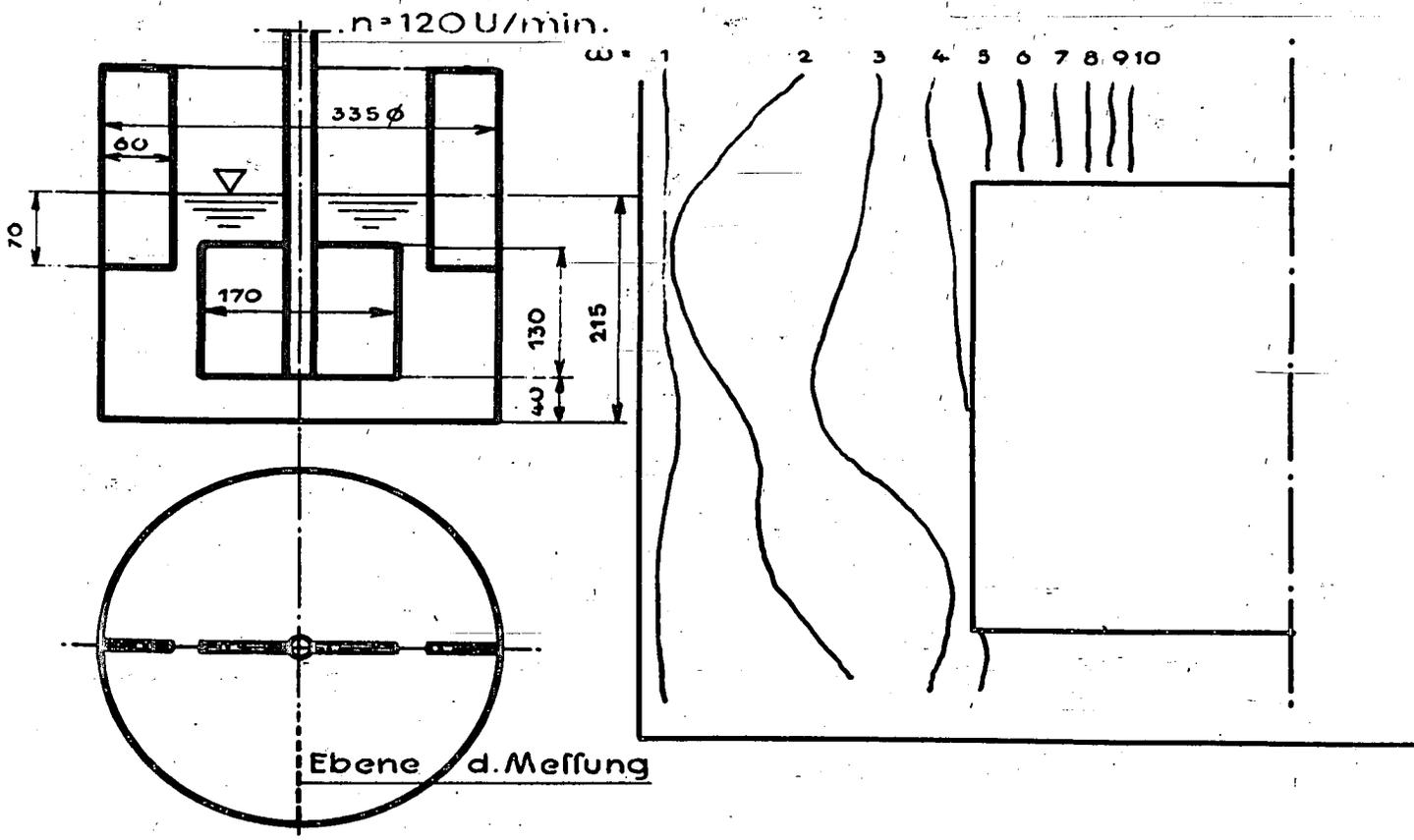
Wasser

Abb.8c



Wasser:Glyzerin = 1:2.

Abb.8d



sätzlichen Widerstände am geringsten in Erscheinung treten. Wenn auch vor und hinter den Strombrechern einzelne kleine Zonen bestehen⁺), in denen sich sehr erhebliche Gefälle entwickeln, so sind diese, über das ganze Gefäß genommen, doch geringer. Da aber bei derartigen Löse-, Umsetzungs- und Mischvorgängen eine gute Wirkung über den ganzen Raum anzustreben ist, geben feststehende Einbauten wie auch Rührerformen, die in eng begrenzten Gebieten starke Wirbel und damit große Gefälle hervorrufen, nach den bisherigen Erfahrungen meistens nur eine Verschlechterung in den Umsetzungszeiten und dem Leistungsbedarf⁺⁺).

Aus den Messungen von **S t r a s s e r** geht in gleicher Weise wie aus sonstigen Beobachtungen hervor, daß die Verwendung des Blattrührers zum Lösen und Mischen nur dann an Platze ist, wenn die ihn kennzeichnende Strömungsform während des ganzen Rührprozesses besteht. Die günstige Wirkung bleibt meistens auch noch erhalten, wenn wenigstens eine der durch die Sekundärströmung hervorgerufenen Kreisbewegungen dauernd erhalten bleibt. Damit ergeben sich zunächst schon einige

⁺) Die dort vorhandenen Wirbel verschren aber doch so viel Energie, daß der Leistungsverbrauch durch den Einbau von Strombrechern stark erhöht wird (vergl. Abb. 4a - e).

⁺⁺) Bei richtiger Drehzahl des Blattrührers bewegen sich die zu lösenden oder umzusetzenden Festkörper in der ganzen Flüssigkeit. Es ist daher wichtig, daß im ganzen Raum die Verminderung der Grenzschichtdicke erfolgt. Trotzdem dies jedoch nur der Fall sein kann, wenn auch überall hinreichend große Gefälle auftreten, wodurch an sich zunächst eine erhebliche Leerarbeit zu erwarten wäre, wirkt sich dies auf den spez. Leistungsbedarf nur günstig aus. Wie später noch genauer zu behandeln sein wird, kann eine Verdichtung der zur Wirbelerzeugung dienenden Energie in einzelnen Zonen u.U. aber von Vorteil sein.

Grenzen für den Verwendungsbereich des Blattrührers. Wie schon erwähnt wurde, nehmen die auftretenden Geschwindigkeitsgefälle mit steigender Viskosität ab. Von einer bestimmten Dickflüssigkeit an tritt die Sekundärströmung praktisch überhaupt nicht mehr auf. Die bestehenden Unterschiede gehen, wie die Abb. 9 und 10 zeigen, schon aus der Spiegelform hervor. Die erste zeigt die



Abb. 9.

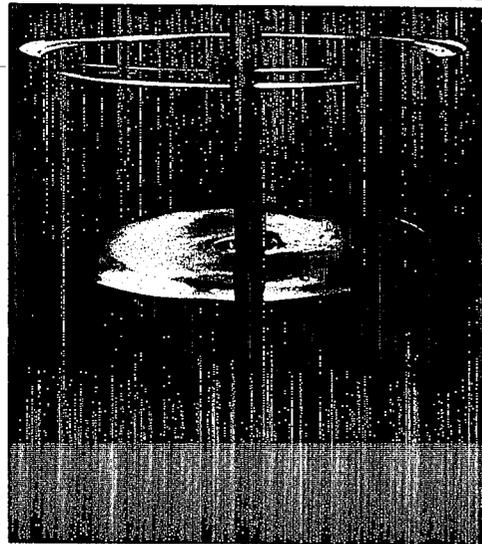


Abb. 10.

durch die Pumpwirkung hervorgerufene Spiegelabsenkung in der Mitte, während aus der zweiten die Spiegelerhöhung beim Rühren eines hochviskosen Zylinderöles zu ersehen ist.

Dies wird durch den in der Mitte vorhandenen höheren dynamischen Druck bewirkt, da die Förderwirkung sehr klein geworden ist. Dasselbe gilt in noch stärkerem Maße für die Verarbeitung von Stoffen mit plastischen Eigenschaften⁺⁾ , bei denen es zur Bildung stagnierender Massen kommen kann, die an der äußeren Gefäßwand haften, während sich das Blatt nur noch mit einem kleinen Anteil der Paste im Kreise dreht. Für solche Pro-

⁺⁾ Näheres über das Verhalten plastischer Körper sowie Schrifttum siehe Kapitel III.

dukte ist die Verwendung von Anker- oder Fingerrührer, gegebenenfalls in Verbindung mit Strombrechern geeigneter Bauweise besser am Platze, wenn nicht die hohe Konsistenz eine Verarbeitung in Knetern rätlicher erscheinen läßt. Bei nicht zu dickflüssiger Beschaffenheit, insbesondere bei dünnen, pastenartigen Stoffen, sind auch kleine, raschlaufende Rührblätter, Propeller- oder Hoeschrührer geeignet, wobei der Modellversuch für die Auswahl zu entscheiden hat. Hierauf wird bei der Besprechung dieser Typen noch näher eingegangen.

Das Rührblatt ist auch dann wenig geeignet, wenn der durchzuführende Prozeß mit einer sehr kleinen Vorlage begonnen wird oder der Inhalt nach dessen Beendigung allmählich bis zum letzten Rest abgelassen werden muß. Da dieser Rührer zur Erzeugung einer guten Wirkung um etwa 10 bis 15 % des Gefäßdurchmessers mit der Unterkante vom Boden abstehen soll, findet zu Beginn oder am Ende keine Durchmischung mehr statt, so daß sich vorhandene Feststoffe absetzen. Es besteht zwar die Möglichkeit, in solchen Fällen das Blatt tiefer zu setzen. Wenn auch in diesem Fall die Rührwirkung stark nachläßt, sowie sich der Spiegel unter der Blattmitte befindet, so genügt sie doch gewöhnlich noch, um ein Absetzen der Feststoffe zu vermeiden, sofern diese nicht, was besonders bei größeren spezifischen Gewichten oder höheren Drehzahlen manchmal zu beobachten war, infolge der fehlenden Zirkulationsströmung zum Teil auszentrifugiert werden. Bei tiefgesetztem Blatt besteht jedoch in hölzernen Bütten sowie in ausgemauerten, verbleiten oder gummierten Gefäßen die Gefahr einer Bodenkorrosion, so daß man zweckmäßigerweise unter der von ihm bestrichenen Fläche einen leicht

169002731

auswechselbaren Schutz (rundes Holzbrett, V2A-Blech o.A.) auf der gefährdeten Stelle anordnet. Bei ausgemauerten Kesseln mit ebenem Boden kann sogar der Steinbelag durch den beim tiefgesetzten Rührer besonders starken Sog in seinem Gefüge gelockert werden.

Will man einerseits auf die gute Rührwirkung des Blattes nicht verzichten, andererseits aber den Bodenabstand auch nicht verkleinern, so ist die (an sich unschöne) Anordnung nach Abb.11 u.U. zweckmäßig: Man versieht das Blatt

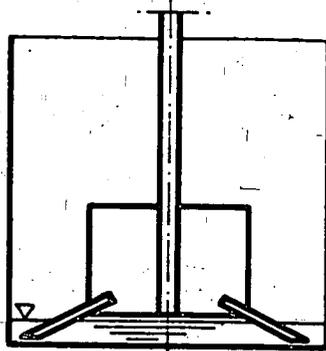


Abb.11.

mit schräg nach unten gestellten, schmalen Flügeln, die bei normaler Füllung den Bodenrückstrom nicht allzu sehr stören, deren Wirkung aber ausreicht, um bei geringer Spiegelhöhe eine genügende Durchmischung zu gewährleisten.

Trotz des an sich großen Bereiches der Verwendbarkeit ist der Einbau eines Blattrührers manchmal auch dann nicht angebracht, selbst wenn sich seine günstige Strömungsform ausbilden könnte. Aus den Gründen, die für die Benützung anderer Rührerformen sprechen, seien einige der meist vorkommenden als Beispiele herausgegriffen.

Durch Betriebsstörungen kann es immer vorkommen, daß das Rührwerk ausfällt. Ebenso kann durch die Art des durch-

zuführenden Prozesses die Notwendigkeit zum gelegentlichen Stillsetzen bestehen. Sind in der Flüssigkeit feste Stoffe enthalten, so setzen sie sich dann ab und müssen nach dem Wiedereinfahren zunächst aufgerührt werden. Ist deren Menge nicht allzu groß, dann bewältigt dies der Blattrührer meist ohne Schwierigkeit, auch wenn das spezifische Gewicht des Niederschlages groß ist. Lediglich durch das Einsetzen einer gewissen Verfestigung (z.B. durch Verfilzen von Kristallnadeln) kann der Erfolg gelegentlich in Frage gestellt sein. Bei größerer Höhe des Niederschlages steckt jedoch der untere Teil des Blattes fest und das größtmögliche Anzugsmoment reicht dann besonders bei Einzelantrieb nicht mehr aus, um die Bewegung einzuleiten. Sieht man von der Benützung hochziehbarer Rührwerke ab⁺⁾ , die auch in diesem Sonderfall noch die Verwendung des Blattrührers gestatten, so ist unter diesen Umständen der Einbau eines Hoeschrührers rätlich.

Die Verwendung eines Rührblattes ist nicht am Platze, wenn eine stark zu durchmischende Flüssigkeit Neigung zum Schäumen zeigt. Infolge der hierbei notwendigen, hohen Drehzahl tritt in der Mitte des Gefäßes eine starke Spiegelabsenkung ein, wodurch von oben Luft oder ein sonstiges über der Flüssigkeit vorhandenes Gas angesaugt und zu Blasen verteilt wird. Es kommt zu einer Schaumbildung, die verstärkt wird, wenn sich durch die Reaktion selbst noch Gase entwickeln. Auch hierbei sind meistens raschlaufende Rührer, bei denen der

⁺⁾ Die T a i f u n -Apparatebau Ges. hat einen Rührer entwickelt, der sich beim Feststecken unter der Wirkung der Wellendrehung zunächst senkrecht anhebt, dann über dem Niederschlag rotiert und erst nach dessen Aufwirbelung wieder in die alte Lage zurückkehrt. Die Konstruktion ist ~~jedoch~~ teuer und vielleicht auch nicht genügend betriebssicher.

Schaum senkrecht zentrifugiert und damit leichter in beide Phasen geschieden wird, besser geeignet.

Beim Eintragen von pulverförmigen Stoffen in Flüssigkeiten wird oft eine rasche und innige Vermischung beider gefordert. Im allgemeinen weist der Blattrührer auch hierfür gegenüber anderen bestimmte Vorteile auf. Sowie jedoch die Benetzbarkeit des festen Produktes schlecht ist und eine Knollenbildung mit Sicherheit vermieden werden soll, verwendet man für diesen Zweck besser raschlaufende Rührer.

Im Gegensatz zu den jetzt behandelten Gebieten sind über den Zusammenhang zwischen Wärmeübertragung und der Art des Rührvorganges noch nicht sehr viele Erfahrungen vorhanden, weil die experimentelle Verfolgung derartiger Vorgänge gewöhnlich einen wesentlich größeren Aufwand erfordert als die Untersuchung der physikalischen und chemischen Umsetzungen. Eine eingehendere Behandlung wird daher erst in der nächsten Berichtfolge möglich sein, nachdem das bereits vorliegende Material ergänzt ist⁺). Einige Angaben sind jedoch möglich.

Der Blattrührer eignet sich sehr gut dazu, in Kesseln ohne Einbauten, wie auch in solchen, die mit Schlangen versehen sind, eine der Wärmeübertragung günstige Strömungsform zu erzeugen. Hierfür ist aber wiederum Voraussetzung, daß die Viskosität der verarbeiteten Flüssigkeit nicht zu hoch ist. Nach dem zuvor Erwähnten ist die gute Wirkung auch verständlich: Da im ganzen Raum große Geschwindigkeitsgefälle bestehen, tre-

⁺) Im Werk Leverkusen und Werk Höchst wurden bereits Versuche über die Wärmeübertragung beim Rühren und die dafür geltenden Ähnlichkeitsgesetze mit Apparaten größerer Abmessungen durchgeführt.

ten an allen benetzten Flächen nur dünne Grenzschichten auf, vorausgesetzt, daß durch die Einbauten keine allzu starke Störung der Sekundärströmung erfolgt. Bei dem Entwurf von Schlangenanordnungen ist daher darauf zu achten, daß die Abstände zwischen den Rohren nicht zu gering werden. Wäre die erforderliche Heiz- oder Kühlfläche nur dann auf einer einzelnen Schlange unterzubringen, wenn diese sehr dicht gewickelt wird, so ist es richtiger, eine Doppelschlange mit weiterem Abstand der einzelnen Windungen zu wählen. Die Wärmedurchgangszahl wird dann sogar bei der äußeren Schlange etwas größer, da sie zum größten Teil in der von der inneren erzeugten Wirbelzone liegt. Dienen sowohl die Gefäßwand, wie auch eine Schlange zur Wärmeübertragung, dann legt man die Windungen zweckmäßigerweise in Wandnähe, um dort die Übergangszahl durch die Rohrwirbel zu erhöhen, wenn nicht sonstige Gründe gegen eine derartige Anordnung sprechen.

Für den Wicklungsabstand von Bodenschlangen gilt sinngemäß das gleiche wie für die senkrechte Bauweise. Bei spiralförmigen Windungen ist darauf zu achten, daß die Rohre im Sinne der Rührerdrehrichtung von außen nach innen verlaufen.

Die richtige Anordnung und Befestigung der Schlangen für die Höhe des zum Rühren erforderlichen Leistungsbedarfes ist von größter Bedeutung. Hierauf wird im experimentellen Teil dieses Berichtes noch näher eingegangen. An dieser Stelle sei nur erwähnt, daß beispielsweise durch eine ungeeignete Form der Schlangenversteifungen die Wellenleistung auf ein Mehrfaches der bei richtiger konstruktiver Ausbildung erforder-

169002735

lichen erhöht werden kann.

Nach den bisherigen Erfahrungen scheint es ziemlich sicher zu sein, daß an Stelle des Blattrührers hinsichtlich der Wärmeübertragung in dünnen Flüssigkeiten keine erheblich besser geeignete Form gefunden werden kann. Trotzdem besteht jedoch die Notwendigkeit, durch ausgedehnte Versuche die günstigsten Durchmesser, Rohrweiten und Abstände zu finden, um eine gute Wärmeübertragung bei möglichst niedrigem Energieverbrauch erzielen zu können. Besonders wenn große Wärmemengen auszutauschen sind, spielt die richtige Anordnung der Schlangen eine wesentliche Rolle. Aus einer noch nicht völlig abgeschlossenen Untersuchung scheint hervorzugehen, daß eine Ausführung nach

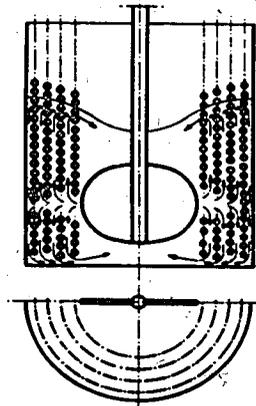


Abb.12.

Abb.12 die Unterbringung erheblicher Flächen gestattet, ohne daß die Durchgangszahlen zu niedrig werden.

Die gute Eignung des Blattrührers zur Verbesserung des Wärmeüberganges besteht jedoch nur, wenn die Viskosität der

Füllung nicht zu hoch ist. Von einer bestimmten Zähflüssigkeit an ist es besser, auf Einbauten zu verzichten und nur die glatte Kesselwand zum Wärmeaustausch heranzuziehen (Doppelmantel-, Frederking-, Samesreuther-Bauweise). In solchen Fällen ist wieder die Verwendung von Anker- oder Fingerrührern, gegebenen-

falls in Verbindung mit Strombrechern am Platze, wobei auf ein gutes Abstreifen in der Wandnähe besonderer Wert zu legen ist. Dies gilt vor allem für Kühlvorgänge, bei denen die Randschichten infolge ihrer höheren Viskosität eine besondere Haftfähigkeit besitzen und die Wärmeübertragung erheblich behindern. Bei sehr hoher Viskosität ist die Wirkung der genannten Rührer besonders dann nicht mehr ausreichend, wenn die Kesselfüllung eine einigermaßen gleichmäßige Temperatur aufweisen soll.

Hierfür hat sich eine Anordnung nach Abb.13 bewährt, bei der die Eignung der Schnecke zum Fördern dickflüssiger Stoffe ausgenutzt wird. Für die Verwendung ist jedoch zu beachten, daß die Flüssigkeit etwa die Beschaffenheit von Honig aufweisen muß und nicht allzu sehr plastische Eigenschaften

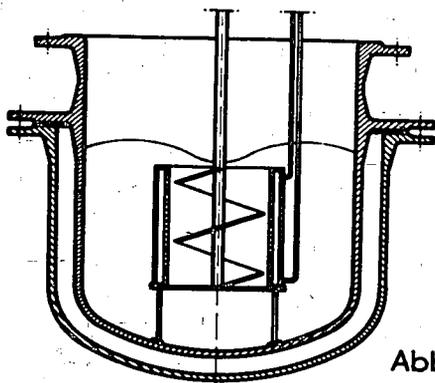


Abb.13.

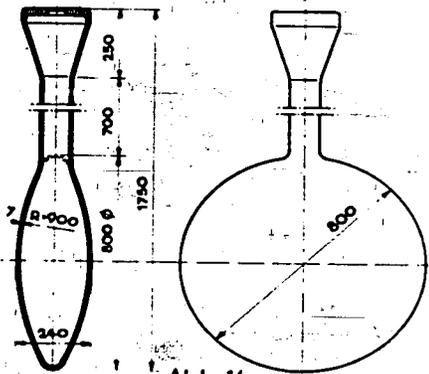
besitzen darf.

Zum Schlusse sei erwähnt, daß die Angaben über den rechteckigen Blattrührer in gleicher Weise auch für den von elliptischer Form gelten. Die Untersuchungen mit dieser Sonderausführung des ebenen Blattes, die sich zunächst auf die Ermittlung des günstigsten Verhältnisses der beiden Hauptachsen und der richtigen Größe erstrecken, sind noch nicht abgeschlossen. Soviel steht jedoch fest, daß auch ein starkes Ab-

runden der Ecken eines normalen Blattes ein Verminderung des Leistungsbedarfes um etwa 15 - 20 % bewirkt, trotzdem unter sonst gleichen Bedingungen hierdurch keine Verschlechterung der Wirkungsweise eintritt. Es bestehen daher keine Bedenken, jetzt schon Rührblätter mit stark abgerundeten Ecken zu verwenden. Dies ist zunächst für Rührer von Bedeutung, die zum Schutz gegen Angriff emailliert werden müssen. Mit Rücksicht auf die Haltbarkeit des Überzuges sollen an der Oberfläche keine Stellen vorhanden sein, die einen geringen Krümmungsradius (z.B. scharfe Kanten) aufweisen. Emaillierte Blätter von Kreisform mit linsenförmigem Querschnitt ("Löffelrührer"

Abb.14) wurden bereits mehrfach ausgeführt und haben sich bewährt.

Die oben erwähnten Grenzen des Anwendungsbereiches für rechteckige Blattrührer gelten naturgemäß in gleicher Weise auch für solche von elliptischer Form.



b) Der Balkenrührer.

Der seit Jahrzehnten gebräuchliche Balkenrührer hat seine Bedeutung nicht verloren, wenn auch sein Verwendungsbereich durch den in den meisten Fällen besseren Blattrührer

eine wesentliche Einschränkung erfuhr.

Dieser Rührer, dessen Gestalt in den Abb.15 und 16 für Gefäße mit ebenem und kugelförmigem Boden schematisch dargestellt ist, kann dann zur Verwendung empfohlen werden, wenn bei gelegentlich geringen Füllhöhen ein Absetzen von Feststoffen vermieden werden soll, im übrigen aber keine allzu starke Rührwirkung gefordert wird. Diese kann durch Ausführung des Balkenrührers mit schräggestellten, nach oben arbeitenden Flächen unterstützt werden. Derartige geschränkte Balkenrührer sind besonders für den Einbau in flache Gefäße (Pfannen) geeignet, für die eigentlich keine andere Bauform in Frage kommt, wenn man von den mehrarmigen Kratzern für die Verarbeitung zäher Schmelzen absieht. Auch für viskose Flüssigkeiten ist der (abgekürzte) Balkenrührer gelegentlich angebracht, wenn er nur zur Aufrechterhaltung einer sehr geringen Bewegung dienen soll. Die Mehrfach-Balkenrührer nach Abb.17 - 18 sind heute noch vielfach in Gebrauch. Ihre Anwendung besitzt auch für die Verarbeitung hoher, viskoser Stoffe eine gewisse Berechtigung. Bei dünnflüssigen Produkten ist ihnen jedoch der Blattrührer in jeder Beziehung überlegen.

c) Die Anker-, Finger- und Rahmenrührer.

Wie schon erwähnt wurde, werden die langsam laufenden Anker- und Fingerrührer mit Vorteil für die Verarbeitung hochviskoser und konsistenter Stoffe verwendet, soweit deren besondere Beschaffenheit nicht den Gebrauch anderer Formen rätlich erscheinen läßt. Durch die nahe an der Wand vorbeil-

Abb.15

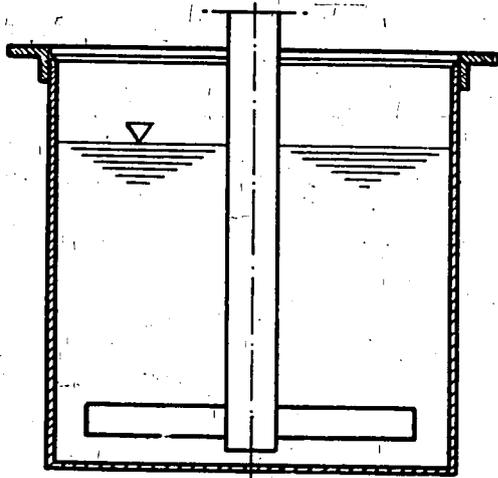


Abb.16

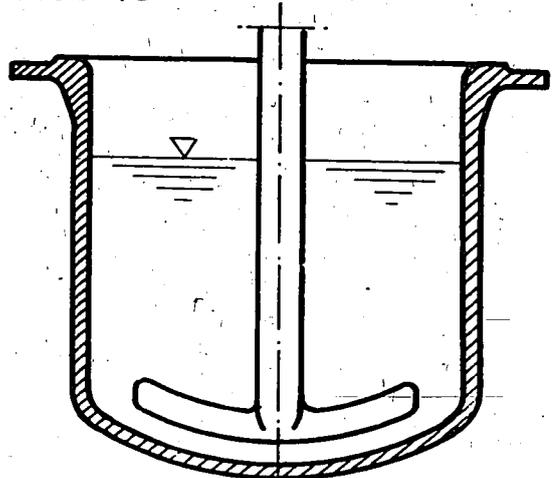


Abb.17

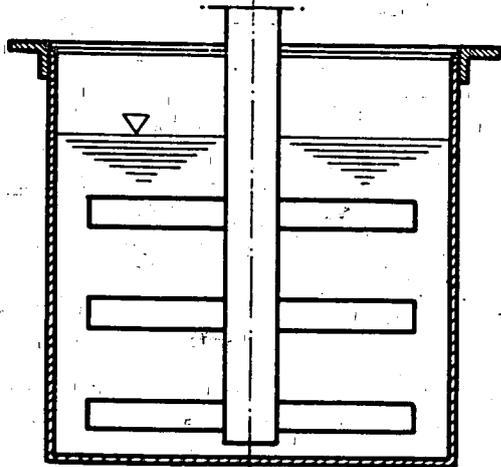


Abb.18

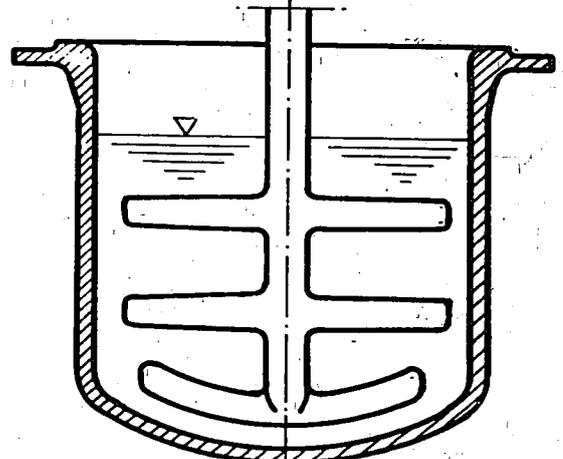


Abb.17a

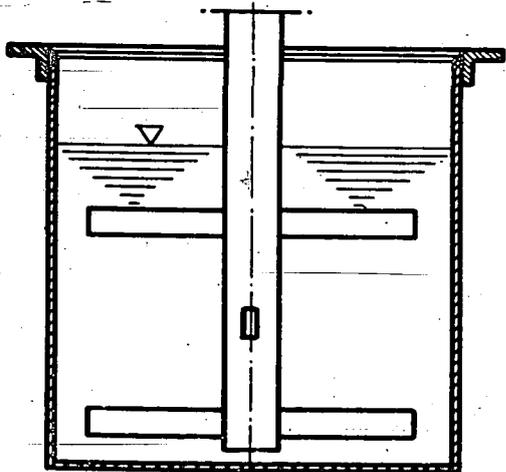
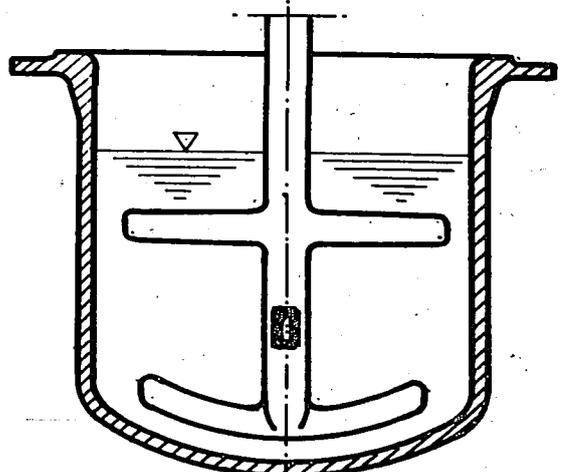


Abb.18a



streifenden Rührer ist es in stärkerem Maße als bei anderen Rührern gewährleistet, daß die ganze Füllung im Laufe der Zeit einheitlich durchmischt wird. Diese Wirkung erfährt durch das Anbringen von feststehenden Strombrechern (vergl. Abb. 19 und 20) bei einer in hochviskosen und konsistenten Stoffen meist vorherrschenden laminaren, d. h. wirbellosen Strömung noch eine Verbesserung.

Die Wahl zwischen dem Ankerrührer und dem Fingerrührer wird durch das Maß der erhofften Durcharbeitung der Produkte bestimmt. Man wird bei dickeren Stoffen dem Fingerrührer in Verbindung mit mehreren, im Kreise versetzten Strombrechern wegen der besseren Wirkung den Vorzug geben.

Die Verwendung des Ankerrührers ist jedoch unter bestimmten Bedingungen auch bei dünneren Flüssigkeiten angebracht. So hat er z. B. bei sehr kleinen Füllhöhen die gleiche Wirkung wie ein Balkenrührer; im Gegensatz zu diesem ist aber die Durchmischung bei größeren Füllhöhen besser.

Es muß betont werden, daß es aber auch Fälle gibt, bei denen der Ankerrührer bessere Erfolge bringt, trotzdem zunächst alles für den Einbau eines Rührblattes spricht. Vielfach kann man dann sogar nicht einmal durch den Modellversuch entscheiden, welche Form geeigneter ist; es gibt dann nur das Verhalten in der Betriebsapparatur den Ausschlag⁺) Richtungsmaßige Hinweise auf das Verhalten bei großen Abmessungen

⁺) So liefert z. B. ein Rahmenrührer beim Ausfällen eines Zwischenproduktes dieses in der Form erbsengroßer Kügelchen. Der Blattrührer gibt unter den gleichen Bedingungen hühnerigroße Knollen. Im Modellversuch lieferte der Rahmenrührer die gröbere Körnung.

Abb. 19

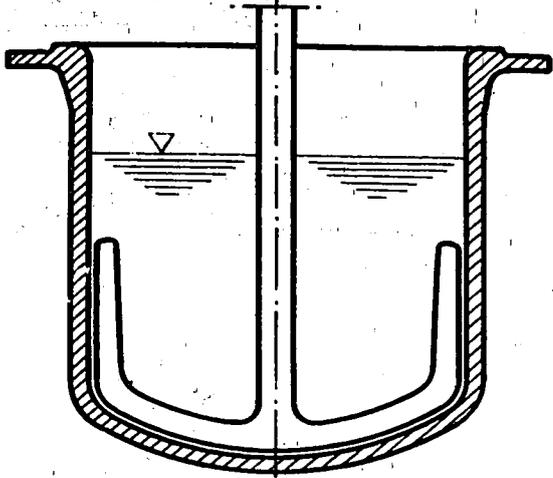


Abb. 20

169002741

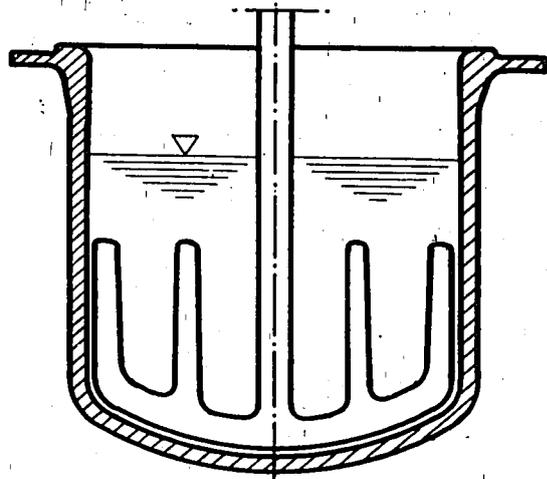


Abb. 19a

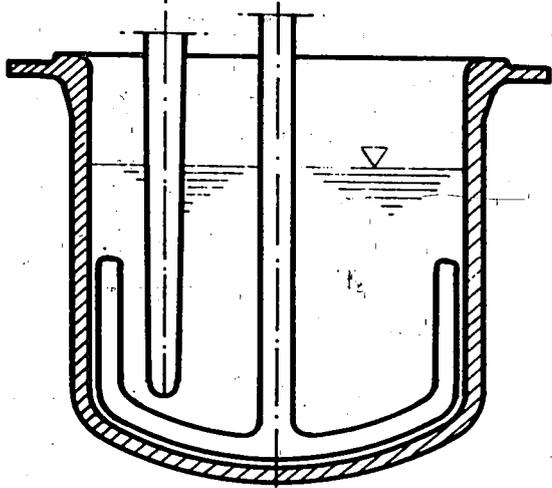


Abb. 20a

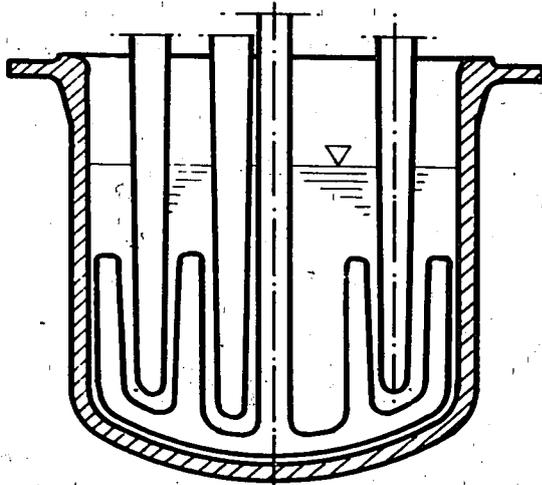


Abb. 21

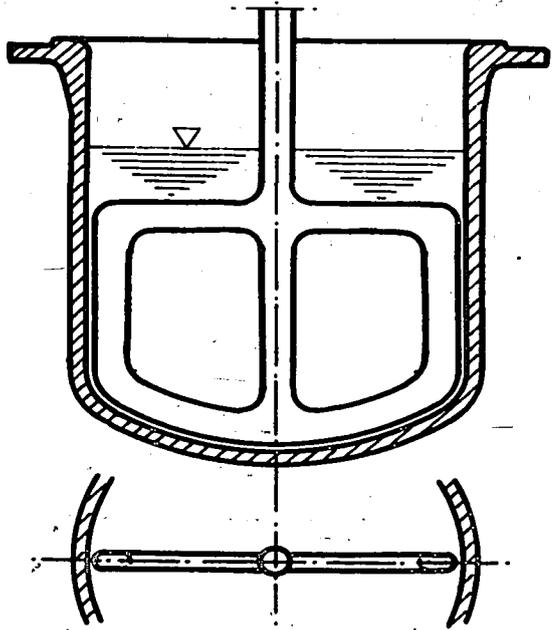
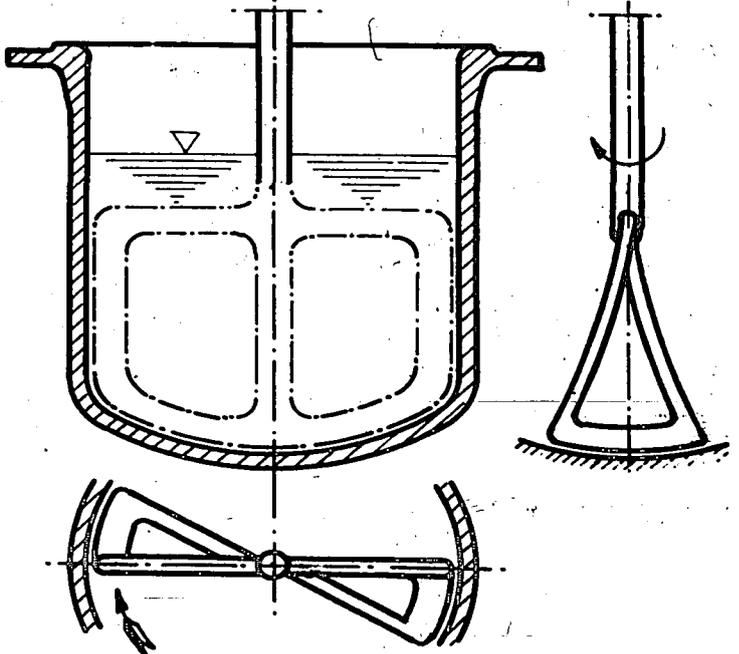


Abb. 21a



169002742

findet man allerdings, indem man Modellversuche mit verschiedenen großen Apparaten ausführt.

Der Rahmenrührer Abb.21, der als ein Anker-rührer mit oberer Versteifung der Arme aufzufassen ist, besitzt eine ähnliche Wirkung. Höchst hat neuerdings für die Verarbeitung von Pasten Rahmenrührer (Abb.21a) in Gebrauch, deren untere Ecken in der Drehrichtung pflugscharartig vorgewölbt sind. Dadurch erhält der Inhalt am Rand eine Bewegungskomponente nach oben.

3) Die raschlaufenden Rührer.

a) Allgemeines.

Bevor die zu dieser Klasse gehörenden Rührer im einzelnen behandelt werden, sind einige Eigenschaften zu erwähnen, die allen gemeinsam sind.

Ihr wesentlichstes Kennzeichen ist der im Verhältnis zu dem Gefäß kleine Durchmesser⁺⁾ sowie die Notwendigkeit, daß sie zur Erreichung der gewünschten Wirkung mit großen Drehzahlen betrieben werden müssen. Infolge der hohen Umfangsgeschwindigkeit treten in der Gefäßmitte solche Spiegelabsenkungen ein, daß u.U. die ganze Welle und ein Teil des Rührers frei liegen. Um den Rührer selbst bilden sich je nach der Form Zonen aus, in denen erhebliche Ge-

^{+) Bei den langsam laufenden Rührern ist der Durchmesser des Rührers nie geringer als der Halbmesser des Gefäßes.}

geschwindigkeitsgefälle bestehen. Trotzdem ist aber die Strömungsform im wesentlichen die gleiche, wie sie auch beim langsam laufenden Blattrührer auftritt, vorausgesetzt, daß der Bodenabstand hinreichend groß ist. Der spezifische Leistungsbedarf zum Lösen ist aber meistens höher als bei diesem. Die Verwendung raschlaufender Rührer ist daher nur am Platze, wenn durch sie besondere Wirkungen erreicht werden sollen. So sind sie z.B. geeignet, die Geschwindigkeit der Reaktion zwischen Gasen und Flüssigkeiten zu erhöhen oder eine gute Durchmischung von Pasten mit nicht allzu großer Konsistenz zu erzielen.

Infolge der starken Spiegelabsenkung wird das über der Flüssigkeit vorhandene Gas angesaugt, das sich in der Zone der hohen Geschwindigkeitsgefälle zu mehr oder minder feinen Blasen auflöst. Der zeitliche Verlauf der Reaktion hängt sowohl von der Blasengröße, d.h. von deren Gesamtoberfläche, wie auch von deren Verweilzeit und der Größe der örtlich bestehenden Geschwindigkeitsgefälle ab, durch die die Dicke der sie umgebenden Grenzschichten gegeben ist. Im Gegensatz zu anderen Prozessen kann das Anbringen geeigneter Strombrecher die Geschwindigkeit der Gasreaktionen nicht unwesentlich verbessern. Im gleichen Sinn wirkt auch meistens eine vergrößerte Rauigkeit der Kesselwände. Die raschlaufenden Rührer bieten somit die Möglichkeit, auf einfache Weise Gase mit Flüssigkeiten in innige Berührung zu bringen, ohne daß diese unter Druck eingeleitet zu werden brauchen. Ihre Wirkung ist zudem ein Vielfaches derer, die beim Durchperlen allein zu erreichen ist.

Rein energetisch betrachtet wird der Wirkungs-

grad aller Rührer, wenn sie zum Einpumpen von Gasen Verwendung finden, ein sehr schlechter sein. d.h. der beim Einblasen durch eine im Kreislauf arbeitende Pumpe oder ein Gebläse erforderliche Energieaufwand ist immer geringer. Der Rührer benötigt jedoch die geringere Wartung und läßt bei aggressiven Gasen oder Flüssigkeiten auch eine billige Ausführung in Sondermetallen zu. Vor allem aber gibt er eine wesentlich feinere Gasverteilung als beim Einleiten durch gelochte Blasrohre⁺).

Es besteht vielleicht die Möglichkeit, durch schwingende Erregung der Flüssigkeit eingeleitete Gase unter günstigen energetischen Bedingungen zur Reaktion zu bringen. Untersuchungen hierüber sind in Leuna, Höchst und Ludwigshafen im Gange.

Die Eignung der raschlaufenden Rührer für die Vermischung von Pasten ist ebenfalls auf die in der Nähe der bewegten Teile vorhandenen großen Geschwindigkeitsgefälle zurückzuführen. Die durch diese bewirkte Strukturzerstörung macht sich in einer Erhöhung der Düninflüssigkeit bemerkbar, die sich allmählich dem ganzen Inhalt des Gefäßes mitteilen kann. Dies gilt besonders dann, wenn die Paste in auch nur geringem Maße thixotrope Eigenschaften besitzt, d.h. daß sie nach dem Passieren eines Scherkräftefeldes mehr oder minder lang eine größere Beweglichkeit behält. Auch bei diesem Verwendungszweck der Rührer kann man leicht nach einem Versuch im Kleinen entscheiden, welche Form am besten geeignet ist. Besondere Beachtung verdient bei der Verarbeitung derartiger Produkte die richtige Form des Gefäßes und der Einbauten. Infolge des von den hydro-

⁺) Poröse Steine verstopfen sich oft sehr leicht.

169002745

dynamischen Eigenschaften der Flüssigkeit abweichenden Verhaltens der Pasten besteht die Gefahr, daß sich an einzelnen Stellen des Gefäßes Zonen ausbilden, in denen überhaupt keine Bewegung mehr vorhanden ist. So zeigt z.B. Abb.22 eine Er-

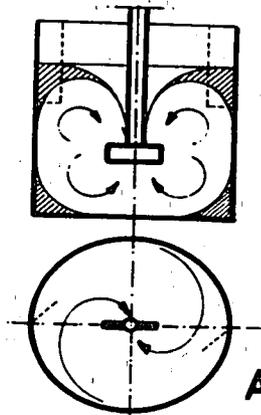


Abb.22.

scheinung, wie sie beim Rühren in Gefäßen mit ebenem Boden unter bestimmten Bedingungen beobachtet werden kann. Die schraffierten Teile der Paste verbleiben in Ruhe und nehmen daher auch an dem Mischvorgang nicht mehr teil. In Gefäßen mit

Kugelboden tritt der untere stagnierende Ring nicht mehr auf. Der obere kann durch Anordnung von ein oder zwei wenig eintauchende, in der Drehrichtung nach vorn geneigte Abstreifer (in Abb.22 punktiert eingezeichnet), über die die Massen nach der Welle zu geschoben werden und so wieder in den Kreislauf gelangen, vermieden werden. Die Verwendung von mehr als zwei derartiger Leitflächen unterstützt eher die Bildung ruhender Zonen und ist daher gewöhnlich schädlich.

In gleicher Weise können auch Zuleitungs- und Thermometerrohre von Nachteil sein, wenn sie zu nahe an der Wand angebracht sind, da sie die Ursache für ein Anhaften geben. Für die Verarbeitung von Pasten mit raschlaufenden Rührern ist es daher im Gegensatz zu den Anordnungen für niederviskose Flüssigkeiten richtiger, die Rohre in einiger Entfernung von der

169002746

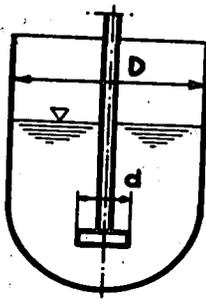
Wand eintauchen zu lassen.

Soweit es bis jetzt beurteilt werden kann, dürfte es bei Verarbeitung von Pasten mit raschlaufenden Rührern am zweckmäßigsten sein, diese in der Mitte zwischen dem Flüssigkeitsspiegel und dem tiefsten Punkt des Bodens anzuordnen. Nur wenn beim Stillsetzen eine Ausscheidung von Feststoffen zu erwarten ist, empfiehlt sich eine tiefere Lage.

Ganz allgemein kann gesagt werden, daß bei Begasung durch raschlaufende Rührer, wie auch bei ihrer Verwendung zur Verarbeitung von Pasten die richtige Gestaltung der Einbauten in die Gefäße noch größere Beachtung verdient, als bei den langsam laufenden, wenn Fehlkonstruktionen vermieden werden sollen. Ebenso muß berücksichtigt werden, daß ein un rundes Laufen der Rührer die Begasung wesentlich verschlechtert. Eine gute Führung der Wellen ist daher von größter Bedeutung.

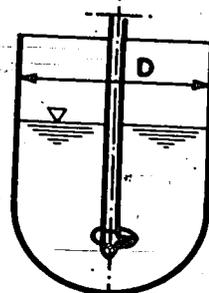
b) Der kleine Blattrührer und die Propeller.

Die in ihrem Verhalten unter sich ähnlichen



$d:D = 1:3,7$.

Abb. 23.



$d:D = 1:4$.



Abb. 24.

kleinen raschlaufenden Blätter und Propeller sind in den Abb 23 und 24 dargestellt. Für das Blatt wählt man nach einem Vorschlag von H a i l e r eine Breite, die gleich dem 3,7ten Teil des Gefäßdurchmessers ist; die Höhe soll den dritten Teil der Breite betragen. Soweit es durch das Auge beurteilt werden kann, besteht bei diesen Abmessungen gegenüber Rührern von anderen Breiten- und Höhenverhältnissen ein Optimum der Gasansaugung. Dies bedarf jedoch noch der genauen experimentellen Bestätigung.

Der Durchmesser von Propellern, soweit sie bis jetzt Verwendung finden, liegt meistens zwischen dem 3. und 5. Teil des Gefäßdurchmessers. Gegenüber dem kleinen Blatt sind sie offenbar für die Verarbeitung konsistenterer Pasten besser geeignet. Hinsichtlich der Verteilung von Gasen läßt sich bis jetzt kein abschließendes Urteil darüber fällen, welcher der beiden Rührerformen der Vorzug zu geben ist, da hierüber die genaueren Untersuchungen erst im Gange sind. Es lassen sich jedoch bereits jetzt einige Angaben über die Wirkungsweise machen.

Für die Erzielung einer guten Begasung ist es wichtig, die geeignete Drehzahl zu kennen, bei der eine hinreichend starke Ansaugung besteht. Wie aus den Abb. 25 bis 27 ersehen werden kann, senkt sich der Flüssigkeitsspiegel erst bei verhältnismäßig hohen Umdrehungszahlen soweit ab, daß das Zerreißen in einzelne Blasen erfolgt.

Wenn auch die Beurteilung durch das Auge bereits wertvolle Hinweise liefert, so ist es doch für die Auswahl der richtigen Drehzahl sehr wesentlich, eine genauere Kenntnis über

169002748

Abb.25.

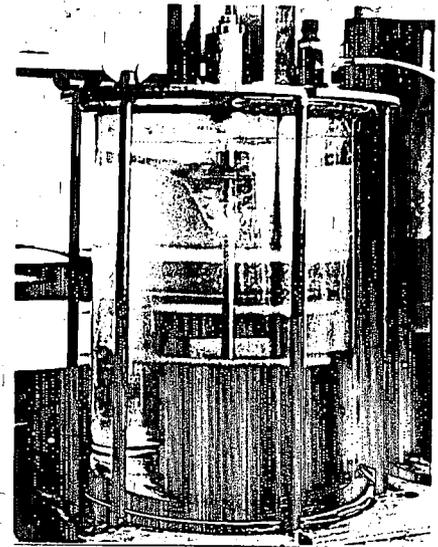
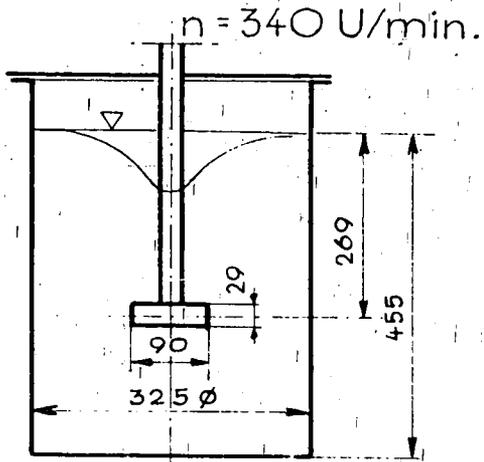


Abb.26

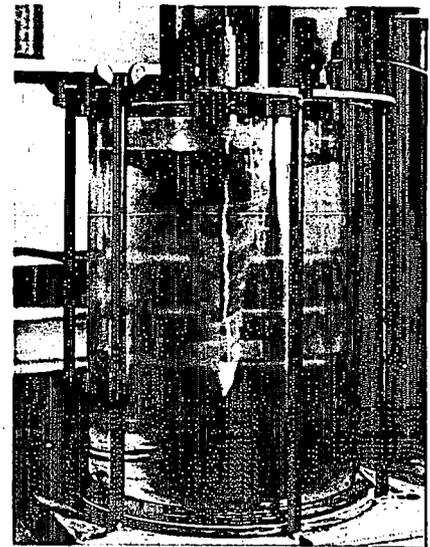
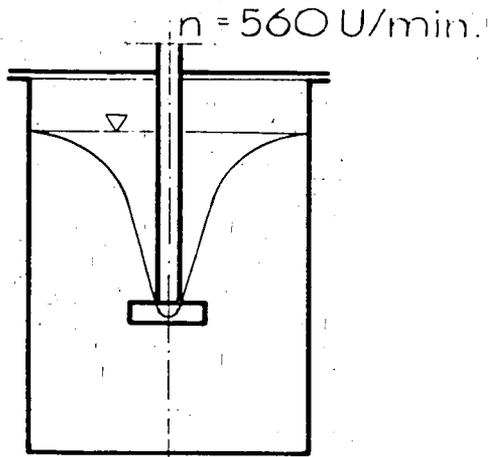
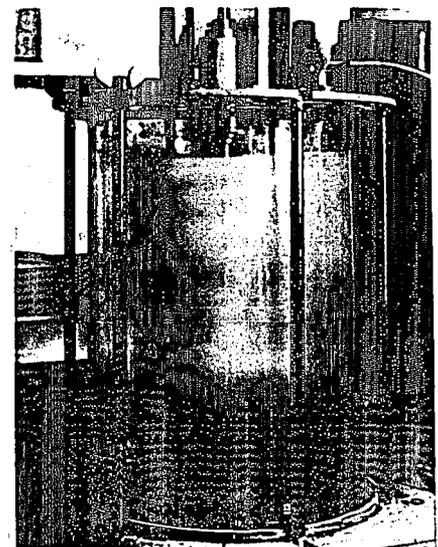
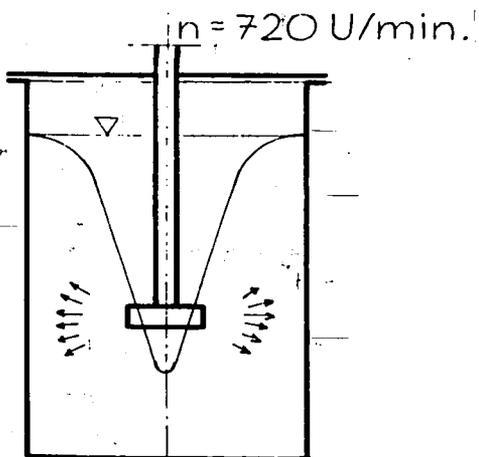


Abb.27.



die Zusammenhänge zu besitzen. Zur Veranschaulichung der bestehenden Verhältnisse werden deshalb einige der Ergebnisse der Untersuchungen, die Gegenstand des weiteren Berichtes sein sollen, vorweg genommen.

Um einen Vergleich über die Leistungsfähigkeit verschiedener Rührerarten, die Einflüsse von Gefäßeinbauten und Drehzahlen durchführen zu können, wird augenblicklich der zeitliche Verlauf einer typischen Gasreaktion (Oxydation von Natriumsulfit zu Natriumsulfat durch Sauerstoff) verfolgt. (Versuchsapparatur siehe Abb.28). Ein Beispiel für den Ver-

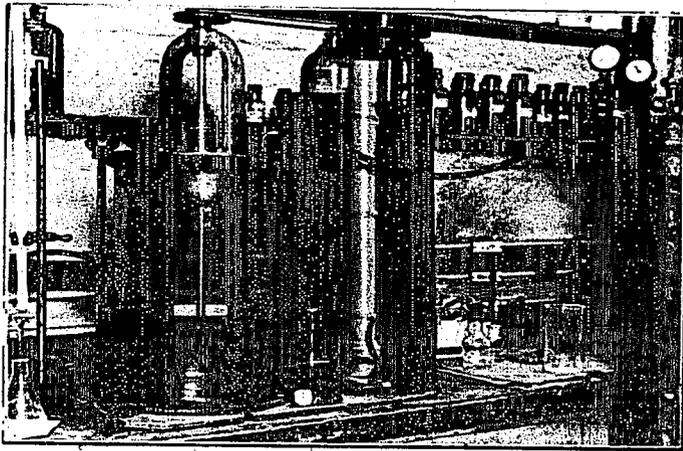


Abb.28.

lauf der Sauerstoffaufnahme ist das Ergebnis eines Einzelversuches in Abb.29 dargestellt. Die Ordinate zeigt die Menge des je Volumeneinheit der Flüssigkeit absorbierten Sauerstoffes in Abhängigkeit von der Rührdauer. Die Kurve steigt zunächst nahezu linear mit der Zeit an, biegt dann um und wird achsenparallel, wenn die Oxydation beendet ist. Ein Maß für die Oxydationsgeschwindigkeit und damit für die zur Gasumsetzung durch Rührer erzeugte Berührungsfläche der beiden Medien ist offenbar durch das Steigungsmaß $c_g = \tan \alpha$ der im Kurvenbeginn angelegten Tangente gegeben. Die Größe c_g , die Absorptiongeschwindigkeit (gemessen in ccm Gas je ccm Flüssigkeit und Stunde) stellt somit ein brauchbares Maß für die bei

lauf der Sauerstoffaufnahme ist das Ergebnis eines Einzelversuches in Abb.29 dargestellt. Die Ordinate zeigt die Menge des je Volumeneinheit der Flüssigkeit absorbierten Sauerstoffes in Abhängigkeit von der Rührdauer. Die Kurve

Aborption von Sauerstoff in Natriumsulfit Lösung.
Konzentration: 1853 gr. Na₂ SO₃ pro Ltr. Lösung.

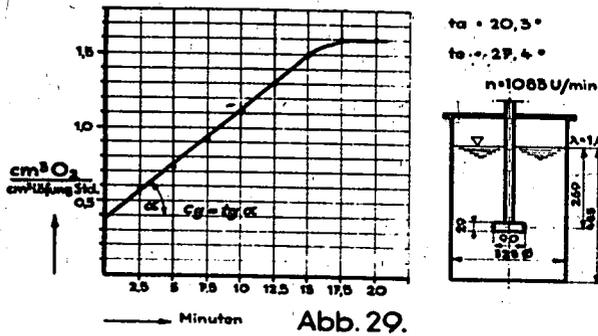


Abb. 29.

verschiedenen Vorgängen
erzielten Effekte hinsicht-
lich der Gasverteilung dar,
vorausgesetzt, daß die An-
fangsbedingungen (Tempera-
tur, Konzentration usw.)
dieselben waren.

Die Abb. 30 zeigt
den Verlauf der Absorp-
tionsgeschwindigkeit in
Abhängigkeit von der Drehzahl bei verschiedenen Versuchsbe-
dingungen.

Begasung mit raschlaufenden Rührern

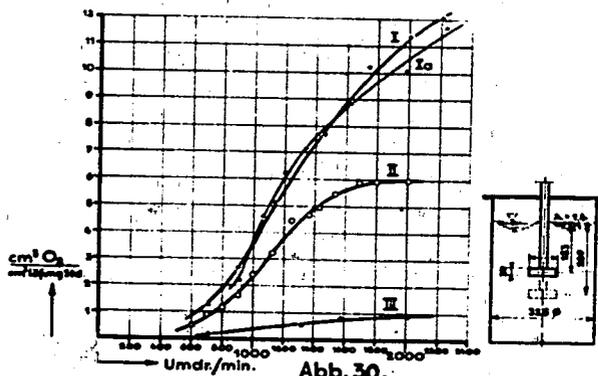


Abb. 30.

Die Kurve I
gibt diese Größe für einen
Abstand von 269 mm Rührer-
mitte vom Spiegel, die
Kurve II für 183 mm Ab-
stand vom Spiegel und die
Kurve III bei Absorption
von Sauerstoff aus Luft.

Man kann aus dem Vergleich
der Kurven I und II un-
mittelbar die günstigere Wirkung des tiefgestellten Rührblat-
tes erkennen⁺). Der Hauptgrund hierfür dürfte neben der in-

⁺) Die gestrichelt gezeichnete Kurve Ia wurde mit einem Blatt gleicher Abmessung und Lage erhalten, bei dem die Ecken und Kanten im Gegensatz zu den sonst verwendeten stark abgerundet waren. Aus der geringen Abweichung von der Kurve I in dem für die praktische Verwendung in Frage kommenden Drehzahlbereich kann ersehen werden, daß die Güte der Gasverteilung von der Form der Kanten nicht sehr stark beeinflusst wird. Erst bei größeren Geschwindigkeiten macht sich die Abänderung stärker bemerkbar.

169002751

folge der spitzeren Form der Einsenkung besseren Zerteilung in dem größeren Steigweg und damit der verlängerten Absorptionszeit zu sehen sein.

Die Kurven II und III wurden bei derselben Tiefenlage des Rührers ermittelt. In beiden Fällen war also bei jeweils gleichen Drehzahlen die in der Zeiteinheit angesaugte Gasmenge die gleiche. Mit Rücksicht auf die Zusammensetzung der Luft konnte daher von vornherein bei jeweils gleichen Drehzahlen die Absorptionsgeschwindigkeit gegenüber der bei Begasung mit reinem Sauerstoff nur rund $\frac{1}{5}$ sein. Bedenkt man, wie sehr im allgemeinen die Anwesenheit von Inertgasen die Diffusionsgeschwindigkeit zu verringern pflegt, so ist der mit Luft tatsächlich erreichte Absorptionsverlauf als außerordentlich günstig zu bezeichnen. Aus diesem Grund soll auch gerade dieser Erscheinung bei der weiteren experimentellen Verfolgung der Gasrührung eine besondere Beachtung geschenkt werden, da das Auswaschen bestimmter Komponenten aus Gasgemischen technologisch von Bedeutung ist. Zur Kennzeichnung der Gasverteilung durch das raschlaufende Blatt sei noch erwähnt, daß der eingesaugte Sauerstoff nicht völlig absorbiert

wird, sondern zum Teil wieder entweicht. Dies geht aus Abb.31 hervor, in der die Absorptionsgeschwindigkeit bei konstanter Drehzahl ($n = 1340$ U/min) als Funktion der Sulfitkonzentration darge-

Abforptionsgeschwindigkeit in Abhängigkeit von Konzentration.
 $n = 1340$ U/min
• const.

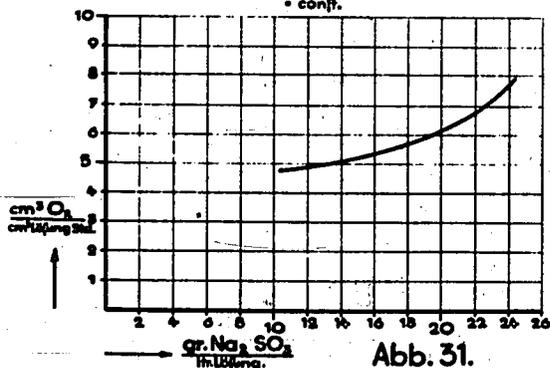


Abb.31.

stellt ist. Würde alles absorbiert, so könnte kein Anstieg der Kurve mit der Konzentration festgestellt werden. Aus Abb. 30 kann weiterhin ersehen werden, daß die Erhöhung der Drehzahl nach Beginn der Blasenbildung zunächst einen raschen Anstieg der Absorptionsgeschwindigkeit zur Folge hat. Von einer gewissen Rührergeschwindigkeit ab werden die Kurven jedoch immer flacher. In dem betrachteten Fall bringt eine Erhöhung über 1500 U/min keine wesentliche Verbesserung mehr.

Auf Grund von Gesetzmäßigkeiten, die später eingehend behandelt werden, kann hinsichtlich der für raschlaufende Rührblätter zu wählenden Drehzahlen folgende angenäherte Regel aufgestellt werden:

Bezeichnet man mit D den Durchmesser des Gefäßes, so gilt für die Drehzahl n_{\min} , bei der die Blasenbildung gerade einsetzt, die Beziehung

$$n_{\min.} = \frac{290}{\sqrt{D}}$$

Ein Überschreiten der Grenzdrehzahl $n_{\max.} = \frac{1000}{\sqrt{D}}$ ist fast zwecklos, da hierdurch keine wesentliche Verbesserung der Gasaufnahme mehr zu erwarten ist.

Die Leistungsaufnahme derartiger raschlaufender Rührer steigt etwa mit der 3. Potenz der Drehzahl an. Es folgt daraus, daß es eine optimale Drehzahl n_{opt} geben muß, bei der die Absorptionsgeschwindigkeit, bezogen auf die Einheit der Rührerenergie, ein Maximum besitzen muß. Hierfür gilt nach den bisherigen Messungen

$$n_{\text{opt.}} = \frac{600}{\sqrt{D}}$$

Ob diese Drehzahl jedoch für den Betrieb zu wählen ist, rich-

tet sich nach den bestehenden Verhältnissen. Man wird unter Umständen mit Rücksicht auf einen raschen Reaktionsverlauf sogar noch höher gehen, wenn die Energiekosten nicht zu sehr ins Gewicht fallen.

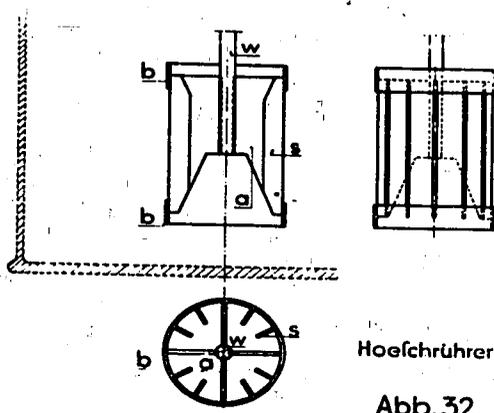
Diese Angaben sollen jedoch lediglich einen Anhaltspunkt geben, da der Einfluß von Flüssigkeitsviskosität und Oberflächenspannung noch genauer untersucht werden muß. Die Drehzahl von Propellern ähnlichen Durchmessers wird man mangels besserer Unterlagen vorläufig in der gleichen Weise bestimmen.

Hinsichtlich der Wahl zwischen Blatt und Propeller zur Verarbeitung konsistenter Pasten muß die Entscheidung von Fall zu Fall durch einen Modellversuch getroffen werden. Die zu verwendenden Drehzahlen sind hieraus zu ermitteln; für die Großausführung ergibt sich die Drehzahl, indem man die Modelldrehzahl durch die Wurzel aus dem Maßstabsverhältnis teilt. Gelegentlich kann es wirtschaftlich sein, sogar bei verhältnismäßig großen Kesseln Propeller mit Drehzahlen von etwa 1000 U/min zu verwenden, obwohl der Leistungsbedarf dann sehr erheblich wird.

e) Der Hoesch-Rührer.

Zu den raschlaufenden Rührern gehört auch der von der Firma Eberhard Hoesch, Düren-Rheinland, hergestellte Rührkreisel, der nach den bisherigen Erfahrungen einen sehr vielseitigen Verwendungsbereich besitzt. Nachdem er zunächst an Hand von Modellversuchen eingehend auf seine Eignung für

verschiedene Zwecke geprüft worden ist, findet er jetzt auch schon vielfach im Betrieb Verwendung.



Der Hoesch-Rührer Abb. 32 besteht aus einem an den Wellen befestigten Schau- felkreuz a-a, das am oberen und unteren Ende außen durch die schmalen Ringe b-b gefaßt ist. In den vom Kreuz freigelassenen Zwischenräumen sind schmale, senkrechte Schaufeln

angeordnet, die vom oberen zum unteren Ring verlaufen, in radialer Richtung aber nicht bis zur Welle durchgeführt sind. Die äußere Form des Rührerkörpers ist also die eines von Längsschlitzten durchbrochenen Zylindermantels⁺⁾. Die Abb. 33

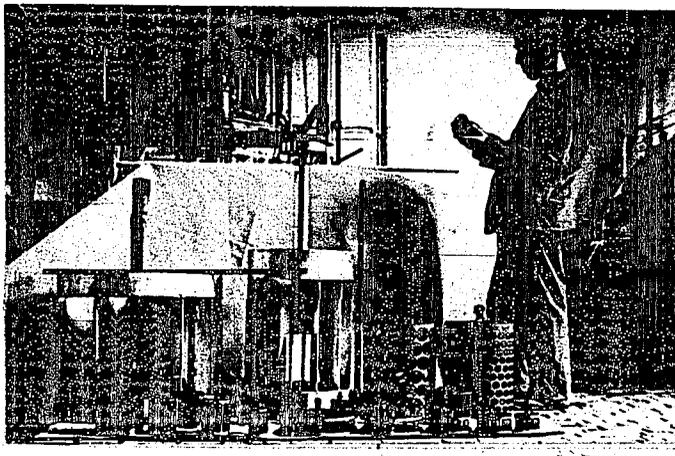


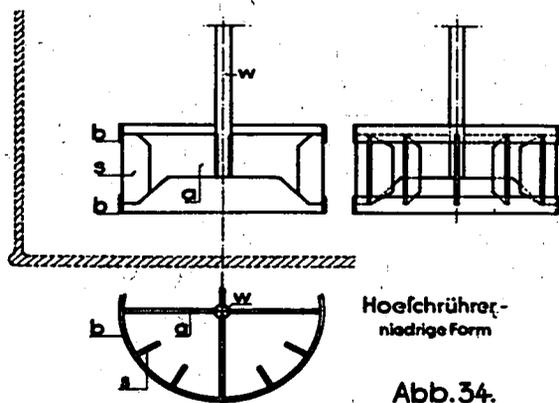
Abb. 33.

zeigt verschiedene Ausführungsformen, wie sie für Modellversuche benutzt werden. Der Hoesch- rührer ähnelt im Prinzip etwa den schon lange in Laboratorien gebräuchli- chen Kuglrührern aus Glas, nur daß bei diesen die im

^{+) Der Hoesch-Rührer nach Abb. 4e ist im Gegensatz hierzu mit einem Mantel aus grobge- lochtem Blech umgeben. Seine Wirksamkeit ist jedoch von der eines mit Längsschlitzten versehenen nicht verschieden. Rührer nach Abb. 32 sind leichter herzu- stellen.}

Innern angeordneten Schaufeln fehlen. Wie aus Abb.4e hervorgeht, ist der spezifische Arbeitsaufwand eines gelochten Zylinders ohne Schaufeln beim Lösen sogar noch geringer als der eines Rührblattes. Für das Begasen und die Verarbeitung von Pasten ist aber der Hoesch-Rührer günstiger.

Bisher wurden nahezu ausschließlich Rührer von der in Abb.32 angegebenen Form verwendet, bei der das Verhältnis von Höhe zu Durchmesser etwa 3:2 beträgt. Je nach dem Ergebnis der Modellversuche liegt der Rührerdurchmesser zwischen $\frac{1}{4}$ und $\frac{1}{6}$ des Gefäßdurchmessers. Die Herstellerfirma empfiehlt neuerdings auch Rührer, die bei einem größeren Durchmesser wesentlich niedriger sind. (Abb.34).



augenblicklichen Stand der Untersuchungen läßt sich jedoch noch nicht entscheiden, ob sie gegenüber der älteren Ausführungsform Vorteile aufweisen.

Der Hoesch-Rührer erzeugt die gleiche Strömungsform, wie sie auch durch den langsam laufenden

Blattrührer hervorgebracht wird; infolge der höheren Drehzahl ist jedoch die Spiegelabsenkung in der Mitte wesentlich stärker⁺). Er steht diesem hinsichtlich des spezifischen

⁺) Bei Bütten mit schrägem Boden verlagert sich der Saugkolk exzentrisch.

Leistungsbedarfes für das Lösen nicht erheblich nach und ist ihm sogar hinsichtlich des ruhigen Laufes überlegen, da infolge seiner Zylindergestalt und der hohen Drehzahl in der Bütte keine Wellen hervorgerufen werden, wie sie bei Verwendung von Blattrührern gelegentlich beobachtet werden können und die zu pendelndem Gang Veranlassung geben. Sein Preis ist jedoch höher, besonders dann, wenn er verbleit oder gummiert werden soll.

Der Hoesch-Rührer brachte bis jetzt in folgenden Fällen Vorteile bei seiner Verwendung:

Wie schon erwähnt wurde, eignet er sich vorzüglich zum Durchmischen solcher Suspensionen oder Anschlämungen, bei denen infolge gelegentlichen Stillsetzens ein Feststecken in dem entstehenden Niederschlag zu erwarten ist. Im Gegensatz zu den anderen Formen läuft er wegen seiner zylindrischen Gestalt auch dann ohne allzu großes Anzugsmoment wieder an, selbst wenn er zunächst über die Hälfte in die Feststoffe eintaucht. Nachdem er sich in kürzester Zeit mit der im ersten Augenblick zwar noch kleinen angesaugten Flüssigkeitsmenge von den zunächst liegenden Teilchen freigespült hat, tritt mit der raschen Erhöhung der Drehzahl sofort die starke Pumpwirkung ein, so daß der Niederschlag bald wieder völlig aufgerührt wird. Diese Wirkung ist in Gefäßen mit Kugelböden besonders gut.

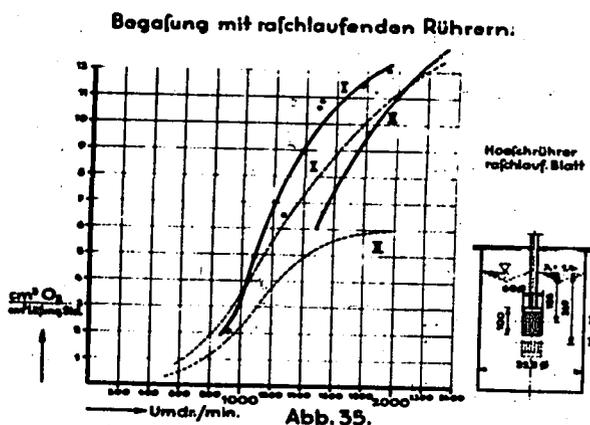
Dem genannten Verwendungszweck muß der Bodenabstand im Gegensatz zu der im allgemeinen zu wählenden Anordnung möglichst gering gehalten werden. Er darf aber die Größe

des Rührerhalbmessers nicht unterschreiten, da sonst der für das Aufrühren günstige Bodenrückstrom zu sehr gedrosselt wird. Hinsichtlich der Vermeidung einer Korrosion gelten die früheren Angaben. Besteht die Gefahr des Ausfallens größerer Mengen von Feststoffen, so dürfen in dem Kessel keine Bodenschlangen angeordnet werden, da diese das Aufrühren erschweren, wenn nicht unmöglich machen. Besser sind zylindrische Schlangen von hinreichendem Wicklungsabstand, die genügend weit vom Boden endigen.

Eines der wichtigsten Anwendungsgebiete des Hoesch-Rührers dürfte in Zukunft die Benützung zur Durchführung von Gasreaktionen (Auswaschen von Gasen, Luftoxydationen, Umsetzung von Gasen mit Flüssigkeiten oder darin verteilten Feststoffen usw.) sein, falls sich nicht noch andere Formen finden lassen, die für diese Zwecke besser geeignet sind. Wenn auch mit den Untersuchungen über die Begasungswirkung dieses Rührers erst begonnen wurde, so lassen sich doch jetzt schon

einige Hinweise über die Verwendungsarten geben.

Die Abb.35 zeigt zunächst die Absorptionsgeschwindigkeit eines Hoesch-Rührers von 60 mm ϕ und 100 mm Höhe für zwei verschiedene Tiefenlagen. Die Bedingungen für die Messung waren im übrigen



die gleichen, wie sie zuvor für das raschlaufende Rührblatt gewählt worden waren. Zum Vergleich sind die Kurvel I und II aus Abb. 30 gestrichelt miteingetragen, die derselben Tiefenlage entsprechen. Man kann daraus die stärkere Begasungswirkung des Hoesch-Rührers erkennen, die auch dann noch bestehen bleibt, wenn man den Vergleich nicht auf die Wirkung bei derselben Drehzahl, sondern bei demselben Leistungsverbrauch beider Rührer bezieht.

Soweit es mit dem Auge beurteilt werden kann, läßt sich die Menge des angesaugten Gases durch den Einbau von festen Leitflächen oder Widerständen beeinflussen. Die raschlaufenden Rührer verhalten sich jedoch in dieser Beziehung nicht ganz einheitlich. So z.B. verringert beim Hoesch-Rührer der Einbau einer zylindrischen Schlange die Begasungswirkung erheblich, während dieselbe Maßnahme beim raschlaufenden Blatt eine Verbesserung zur Folge hat. Die Abbildungen 36 bis 39 geben ein Beispiel für die Wirkung günstig geformter Einbauten. Die Bilder 36 und 37 zeigen die Strömungsform bei gleicher Drehzahl ($n = 330$ U/min) mit und ohne Beeinflussung durch ein als Widerstand angebrachtes Bodenkreuz. Man kann daraus ersehen, daß bei dieser Geschwindigkeit im Gefäß mit Einbau bereits die Blasenbildung besteht, während sie im anderen fehlt. Ein Vergleich der Strömungen bei einer höheren Drehzahl ($n = 780$ U/min), Abb. 38 und 39, läßt erkennen, in welchem starkem Maße ein geeignet geformter Widerstand bei richtig gewählter Drehzahl die Begasung verbessern kann. Die gute Wirkung des Bodenkreuzes besteht jedoch nur so lange,

Abb. 36

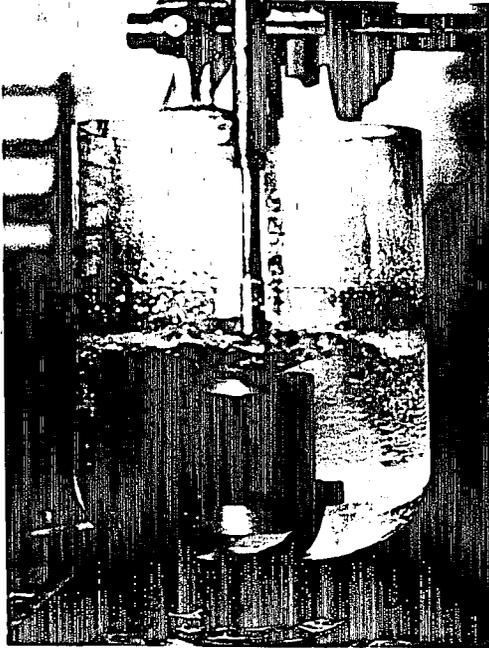
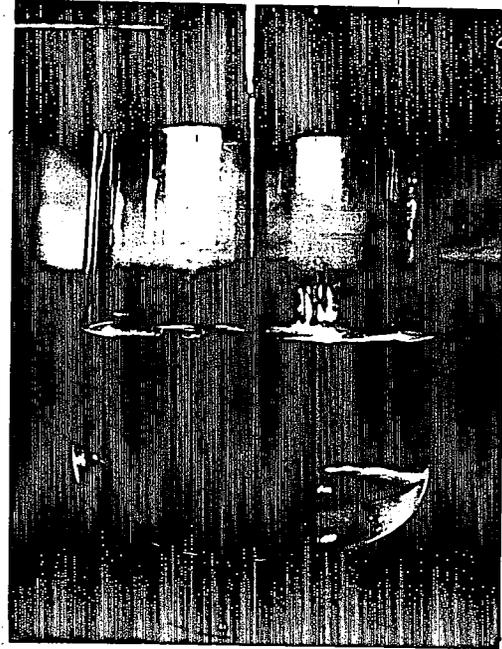


Abb. 37



$n = 330 \text{ U/min.}$

Abb. 38

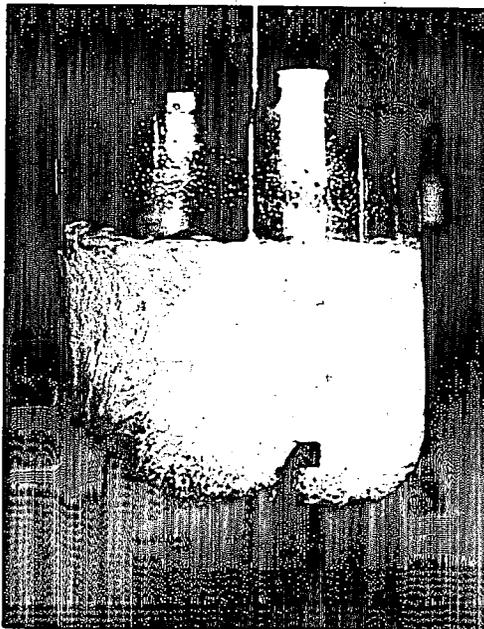
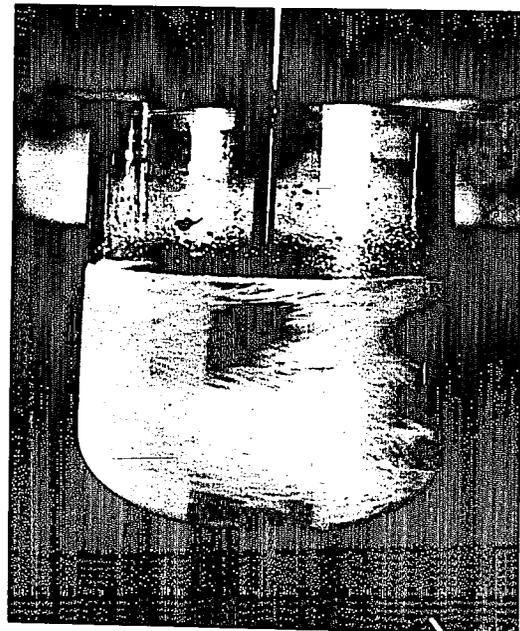


Abb. 39



$n = 780 \text{ U/min.}$

als der Spiegel im Ruhezustand die obere Rührerkante nicht übersteigt. Wie aus Abb.40 hervorgeht, setzt eine vergrößerte Füllung ($n = 780$ U/min) die Blasenbildung stark herab.

In welch starkem Maße die Oberflächenspannung auf die Begasung von Einfluß ist, zeigt Abb.41. Sie entspricht hinsichtlich den Bedingungen völlig dem Zustand von Abb.38, jedoch ist die Oberflächenspannung des Wassers durch Zusatz von Nekal BX auf etwa die Hälfte verringert. Die Blasen sind wesentlich kleiner; trotzdem ist aber der Gasinhalt stark vergrößert.

Im gleichen Sinn, wenn auch nicht so ausgeprägt, wirkt das Anbringen von Strombrechern von der in Abb. 22 dargestellten Form und Lage. Eine Erhöhung der Rauigkeit der Gefäßwand hat ebenfalls eine Steigerung der Gasaufnahme zur Folge. Versieht man beispielsweise die innere Fläche eines Glasgefäßes durch Aufkleben feiner Sandkörner mit künstlichen Unebenheiten, dann ist eine deutliche Steigerung der Blasenbildung wahrzunehmen. Man kann daher annehmen, daß sich der Unterschied in der Wandbeschaffenheit der gläsernen Modellgefäße und der im Betrieb verwendeten Kessel hinsichtlich der Begasung nur in günstigem Sinne auswirken wird⁺). Allgemeine Angaben über die zweckmäßigste Form von Einbauten sind erst nach der Fertigstellung der entsprechenden Versuchsarbeiten möglich. Einzelfragen werden durch spezielle Modellversuche geklärt.

⁺) Auf die Zusammenhänge der Vergrößerung des Leistungsbedarfes durch die Wandrauigkeit soll später eingegangen werden.

169002760

Abb.40

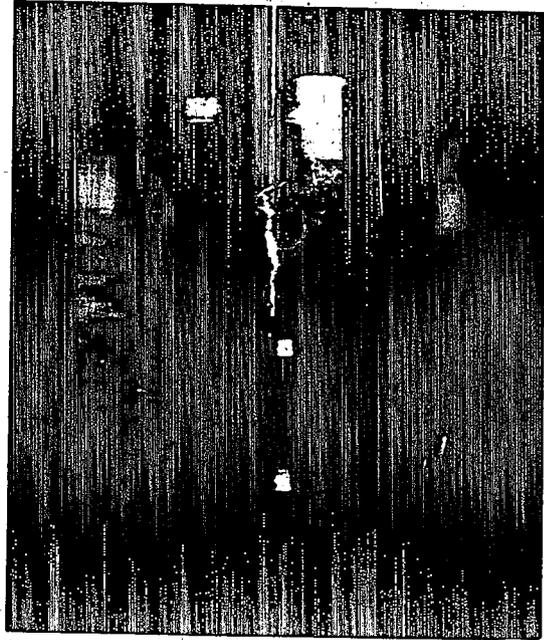
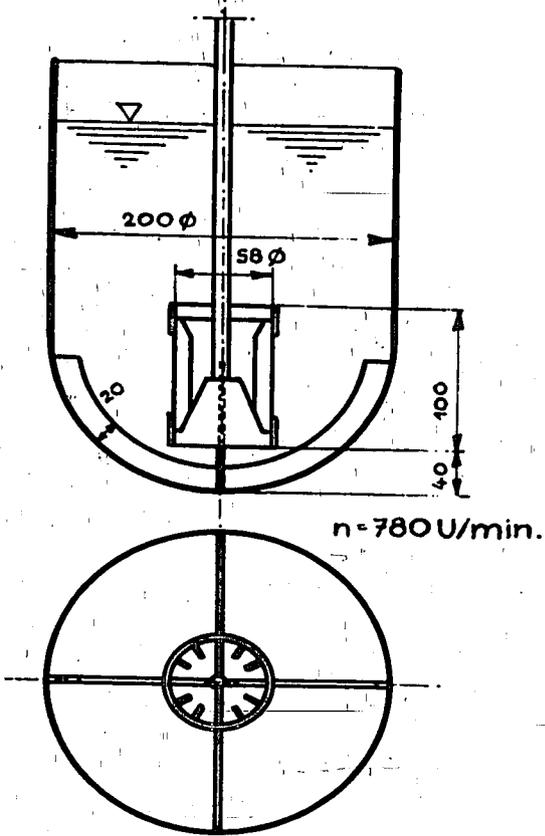
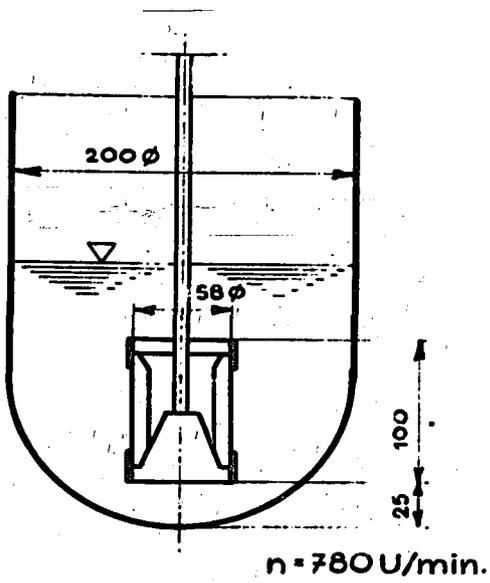


Abb.41



Ein an der tiefsten Stelle angeordneter Hoesch-Rührer ist weiterhin sehr geeignet, in schmalen, hohen Rührgefäßen eine ausgezeichnete Durchmischung, gegebenenfalls in Verbindung mit einer lebhaften Begasung zu bewirken. Dies trifft auch noch zu, selbst wenn die Füllhöhe mehr als das Zehnfache des Durchmessers beträgt und die Viskosität des Inhaltes nicht unbeträchtlich höher als die von Wasser ist. Körnige Feststoffe werden, selbst wenn sie ein hohes, spezifisches Gewicht besitzen, so stark emporgewirbelt, daß sie sich dauernd in der Nähe des oberen Flüssigkeitsspiegels bewegen. Diese Rühreranordnung verspricht daher besonders für die Durchführung von Reaktionen in langen, stehenden Hochdrucköfen Vorteile, soweit ihre Verwendung für diese Zwecke nicht grundsätzlich ausgeschlossen ist. Sie brachte bereits bei der Durchführung einer Umsetzung zwischen Gas und Flüssigkeit so erhebliche Steigerungen der Raumzeitausbeute gegenüber dem vorher verwendeten Einblasen, daß jetzt eine Großanlage (700 mm Ofendurchmesser, 100 - 200 at) mit einem unten laufenden Hoesch-Rührer versehen wird.

In den nachfolgenden Abbildungen soll gezeigt werden, welche Vorgänge sich in derartig langen, zylindrischen Gefäßen mit unten angeordneten Rührern beim allmählichen Steigern der Drehzahl abspielen.

Die Abb.42 zeigt die verwendete Modellapparatur mit dem von unten angetriebenen, dicht über dem Boden laufen-

den Hoesch-Rührer⁺) (200 mm Gefäßdurchmesser, 1200 mm Füll-

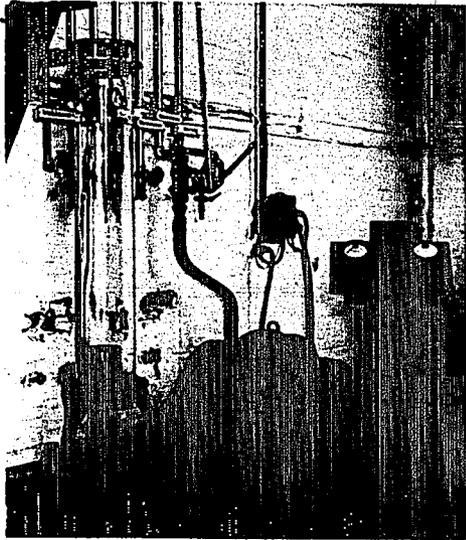


Abb. 42.

höhe, 85 mm Rührerdurchmesser). Der der Wasserfüllung beigegebene Quarzsand von 3 bis 4 mm Körnung liegt zunächst unsichtbar an der tiefsten Stelle. Bei einer Rührerdrehzahl von 200 U/min (Abb. 43) tritt in der Flüssigkeit (Wasser) bereits eine lebhaft

Rotation ein, die am oberen Teil zu einer gewissen Spiegelabsenkung führt. Der Sand bewegt sich vorerst noch in Bodennähe. Eine Steigerung der Geschwindigkeit auf 300 U/min hat eine weitere Absenkung der Wirbelmitte zur Folge (Abb. 44). Ausgehend vom Rührer zeigt sich jetzt eine Kavitationsseele, d.h. ein fadenförmiger Hohlraum, der dort entsteht, wo der absolute Druck in der Flüssigkeit infolge der Rotation die Dampfspannung des Wassers unterschreitet. Die Erhöhung der Drehzahl auf 700 U/min hat eine Verlängerung des Kavitationsschlauches bis in die Nähe des Spiegels zur Folge. Dieser und die weiter nach unten ausgedehnte Trombe rotieren in immer enger werdenden Spiralen umeinander (Abb. 45). Der gezeigte Strömungszu-

⁺) Die unten angeordnete Stopfbüchse bereitet auch bei hohen Drücken keine Schwierigkeiten, wenn sie nicht zu lang ausgeführt ist und Wasserkühlung besitzt. Durch das Anbringen einer mit der Welle umlaufenden Glocke, die über einen Kransen an der Einführungsstelle greift, wird das Eindringen von Feststoffen in die Büchse vermieden.

169002753

Abb. 43



n = 200 U/min.

Abb. 44



n = 300 U/min.

Abb. 45



n = 700 U/min.

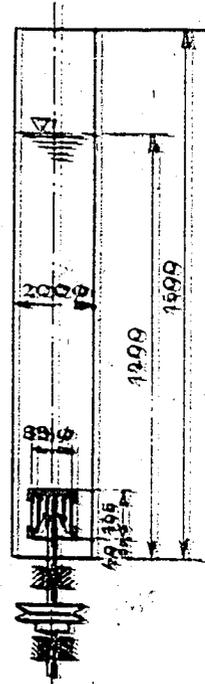
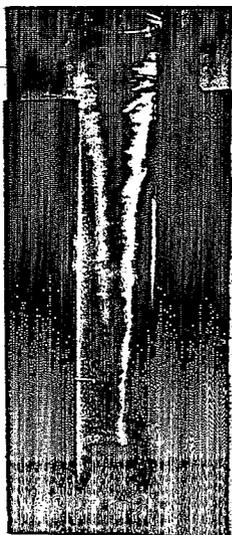
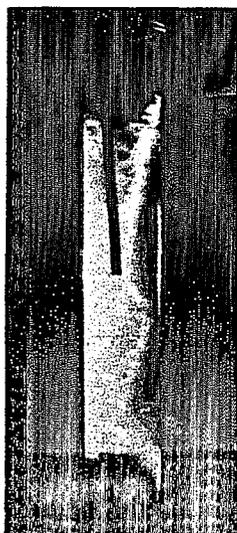


Abb. 46



n = 700 U/min.

Abb. 47

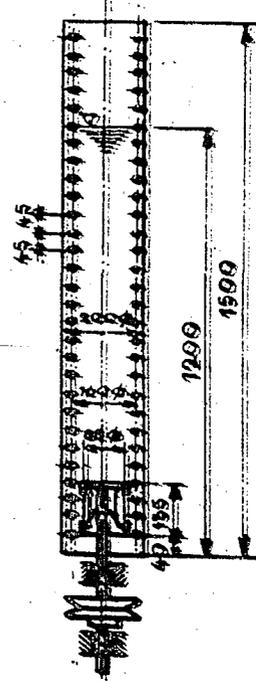


n = 700 U/min.

Abb. 48



n = 800 U/min.



stand ist jedoch nicht stabil; nach einiger Zeit vereinigen sich die beiden Hohlräume mit einem lauten Knall und der Gasraum reicht nunmehr von oben bis zum Rührer. Solange zunächst noch nicht alle Flüssigkeitsteilchen eine gleichmäßige Beschleunigung erfahren haben, tritt eine sehr starke Begasung ein, die jedoch etwas nachläßt, wenn der bleibende (stationäre) Bewegungszustand erreicht ist. Bei diesem (Abb.46) besteht neben der Rotation des gesamten Inhaltes eine sehr starke Sekundärströmung, die an der Gefäßwand nach oben steigt und entlang der Trichterwand wieder zurückkehrt. Der eingeführte Sand dreht sich mit den obersten Flüssigkeitsschichten und liegt infolge der Zentrifugalkraft dauernd an der Wand, so daß er von der Sekundärströmung nicht wieder nach unten gezogen wird. Er ist also einer außerordentlich starken Bepflügelung ausgesetzt. Die Mischwirkung ist infolge der großen Geschwindigkeiten ausgezeichnet. Innerhalb 1 - 2 Sekunden wird ein Zusatz⁺) gleichmäßig im ganzen Inhalt verteilt. Trotz der kurzen Zeit läßt sich aber erkennen, daß diese Durchsetzung nicht überall gleich schnell erfolgt. Etwa in der Mitte der Säule tritt sie zuletzt ein.

Die Begasung in einem derartig schlanken Gefäß kann nicht unwesentlich verbessert werden, wenn man im ersten Drittel von oben her einen dicht an der Wand liegenden Strombrecher anordnet (Abb.47), durch den ein Teil des Inhaltes in der Drehung verlangsamt wird. Hierdurch tritt in der Zone

⁺) z.B. Phenolphthaleinlösung zu alkalisch gemachtem Wasser.

um den Rührer eine Vergrößerung der Scherkräfte auf. Wie aus dem Bild zu ersehen ist, hat diese Maßnahme eine Verringerung des freien Querschnittes der Trombe zur Folge; trotzdem ist aber die Ausdehnung der Gaswolke vergrößert. Der Sand hat sich bis an die Stelle des Gefäßes gesenkt, wo wieder größere Umfangsgeschwindigkeiten bestehen. Es ist zu vermuten, daß die im Verhältnis zu Glas höhere Rauigkeit eines eisernen Gefäßes allein schon genügt, um dieselbe Wirkung hervorzurufen, so daß bei Betriebsausführung der Strombrecher überflüssig sein kann.

Die Auswirkung von Einbauten auf die Güte der Begasung ist gerade bei den hohen, schmalen Rührgefäßen besonders groß. So unterbindet z.B. eine zylindrische Schlange wie Abb.48 zeigt, die starke Spiegelabsenkung und macht infolgedessen auch die Bildung von Blasen unmöglich. Hierin bringt auch eine weitere Steigerung der Drehzahl keine Verbesserung. Damit ist dieses einfache Mittel zur Beherrschung von Reaktionstemperaturen für solche Fälle, bei denen eine Begasung gefordert wird, von der Verwendung ausgeschlossen. Eine zusätzliche Heizung oder Kühlung muß demnach, wenn die Fläche des Gefäßes selbst hierzu nicht ausreicht, in einem außerhalb gelegten Wärmeaustauscher unter Benützung einer Kreislaufpumpe erfolgen. Sowie aber von dem Rührer nur eine gute Durchmischung des Inhaltes gefordert wird, ist gegen den Einbau einer Schlange nichts einzuwenden. Es muß nur darauf geachtet werden, daß sie in Wandnähe liegt und ihre Wicklungen in der Drehrichtung nach oben ansteigen.

Ein entsprechend Abb.36 angebrachtes Bodenkreuz unterbindet wegen der großen Füllhöhe ebenfalls jegliche Blasenbildung.

Aus diesen wenigen Feststellungen kann schon gefolgert werden, daß es zur Vermeidung von Fehlschlägen gerade bei Anordnungen, wie sie eben besprochen wurden, in erhöhtem Maße notwendig ist, Modellversuche durchzuführen. Dies gilt besonders dann, wenn neuartige Formen der Einbauten Verwendung finden sollen.

Es muß im übrigen darauf hingewiesen werden, daß auch ein kleines, raschlaufendes Rührblatt geeignet ist, in langen, senkrechten Gefäßen dieselbe Wirkung wie der Hoesch-Rührer hervorzubringen (Abb.49, $n = 1500$ U/min). Genauere Mes-



Abb.49.

sungen, ob die erreichten Gasverteilungen bei beiden Formen gleich gut sind, liegen bis jetzt jedoch noch nicht vor. Da sich jedoch der Hoesch-Rührer bereits praktisch für die Begasung in Hochdrucköfen bewährt hat, erscheint zunächst seine

Verwendung für den genannten Zweck rätlicher zu sein.

Der Gebrauch des Hoesch-Rührers ist auch dann zu empfehlen, wenn trockene Pulver in Flüssigkeiten eingerührt werden sollen, vorausgesetzt, daß die entstehende Paste zum Schluß keine allzu große Konsistenz aufweist. Er ist gera-

de dann zum Eintragen anderen Rührern, besonders aber den langsam laufenden, überlegen, wenn die festen Produkte schlecht benetzt werden und daher zur Bildung von Knollen neigen. Soweit es bis jetzt festgestellt werden konnte, wird dies durch das dauernde Durchströmen der mit großer Geschwindigkeit umlaufenden Rührerspalten vermieden. Aus derselben Ursache ist er auch vielfach mit Vorteil für das Ausfällen zu verwenden, wenn eine möglichst gleichmäßige Form der gebildeten Teilchen gefordert wird (z.B. bei der Koagulation von kolloidal gelösten Kunststoffen usw.).

Der Hoesch-Rührer fand schon zum Anteigen von Filterkuchen Verwendung. Für diesen Zweck wird er ziemlich tief gestellt; vor dem Eintragen muß eine kleine Flüssigkeitsvorlage gegeben werden. Von den Kuchen kann auf einmal eine größere Menge beigegeben werden. Die Eignung für diesen Zweck ist ebenfalls durch Modellversuche vorher festzustellen.

Der Hoesch-Rührer brachte auch in einigen Fällen Erfolge, bei denen es sich darum handelte, eine starke Schaumentwicklung zu unterbinden. Besonders dann, wenn durch eine Reaktion in der Flüssigkeit selbst Gase entstehen und die zuzulassende Reaktionsgeschwindigkeit durch die Menge des entstehenden Schaumes gegeben ist, kann u.U. durch die Schaumbeseitigung eine wesentliche Verkürzung der Umsetzungszeit erreicht werden. Es erscheint zunächst widersinnig, daß ein Rührer, der gut geeignet ist, Gase in Flüssigkeiten einzupressen, auch gleichzeitig ein Mittel für die Entfernung von Gasen darstellen soll. Dies erklärt sich jedoch folgender-

maßen:

Infolge der großen Rotationsgeschwindigkeit tritt ein Auszentrifugieren der leichten Stoffe - der Gase - am Rande des Saugtrichters ein. Nur in der Zone um den Rührer selbst wird Gas in Form von Blasen in entgegengesetzter Richtung verteilt, die jedoch bald wieder ausgeschieden werden. Wegen der großen Relativgeschwindigkeiten zwischen Blase und Umgebung ist die gegebenenfalls mögliche Umsetzung zwischen beiden sehr intensiv, trotzdem die Berührungszeiten und der absolute Gasgehalt in der Flüssigkeit wegen des dauernden Auszentrifugierens klein sind. Die Eignung dieses Rührers zur Vermeidung einer unzulässig starken Schaumentwicklung hängt jedoch stark von den Eigenschaften der Flüssigkeit ab. Eine hohe Viskosität verringert die Ausscheidungsgeschwindigkeit der Blasen, d.h. erhöht den absoluten Gasgehalt der Flüssigkeit. Eine geringe Oberflächenspannung wirkt im selben Sinne, da durch sie ein kleiner Blasendurchmesser bedingt ist (vergl. Abb. 41). Außerdem sprechen noch alle Erscheinungen mit, die eine mehr oder minder große Stabilität des gebildeten Schaumes zur Folge haben. Der Vergleich verschiedener Rührerformen im Modell gibt hierbei am einfachsten zum mindesten richtungsgemäße Hinweise für die Wahl der geeigneten Bedingungen.