

(19) BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



Patent
aufrechterhalten nach
§ 12 Abs. 3 ErstrG

(12) **PATENTSCHRIFT**
(11) **DD 245 589 B 5**

(51) Int. Cl.⁶: **B 01 F 5/02**

DEUTSCHES PATENTAMT

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Aufrechterhaltung kann Einspruch eingelegt werden

(21) Aktenzeichen:	(22) Anmeldetag:	(44) Veröff.-tag der DD-Patentschrift:	(45) Veröff.-tag der Aufrechterhaltung:
DD B 01 F / 286 242 1	16. 01. 86	13. 05. 87	21. 09. 95

(30) Unionspriorität:

—

(72) Erfinder: Richter, Klaus, Dr.-Ing., 01129 Dresden, DE
(73) Patentinhaber: Linde-KCA-Dresden-GmbH, Wilsdruffer Str. 25–29, 01067 Dresden, DE

(54) Strahlapparat zum Begasen und Umwälzen von Flüssigkeiten

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht gezogene Druckschriften:
DE-PS 3 309 834 DE-OS 2644 378 DE-OS 1 557 212

Patentanspruch:

Strahlapparat zum Begasen und Umwälzen von Flüssigkeiten unter Ausnutzung des Mischungsstoßes, bestehend aus einer Flüssigkeitsdüse, Strahlrohr und einer Mischkammer, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Querschnittsfläche der Flüssigkeitsdüse 40–50 % der Querschnittsfläche des Strahlrohres beträgt und die Mischkammer konisch, sich im Halbwinkel von 6–10° bis auf den 2–2,5fachen Strahlrohrdurchmesser erweiternd, ausgebildet ist.

Hierzu 4 Seiten Zeichnungen

Anwendungsgebiete der Erfindung

Die Erfindung findet zum feinblasigen Begasen und/oder Umwälzen von Flüssigkeiten unter der Voraussetzung Anwendung, daß das Gas gegen einen höheren Druck in die Flüssigkeit eingetragen werden soll.

Mögliche Anwendungen sind z. B.

- die aerobe biologische Reinigung von industriellen, landwirtschaftlichen und kommunalen Abwässern in tankartigen Behältern
- die Tiefenbelüftung und Tiefenumwälzung in Seen und Gewässern
- Umwälzen und Mischen von Flüssigkeiten in Stapeltanks und in Reaktoren für anaerobe biologische Prozesse

Charakteristik der bekannten technischen Lösungen

Der Eintrag von Gasen, insbesondere von Luft, in Flüssigkeiten durch eine Flüssigkeitsstrahlströmung ist schon lange bekannt. Ziel dieser Lösung ist es,

1. eine feinblasige Gasdispersion und damit eine große Phasengrenzfläche für Stoffübergangsprozesse zu erreichen,
2. große Gasmengen in die Flüssigkeit einzutragen und
3. den Flüssigkeitsstrahl und/oder das eingetragene Gas zur Mischung des Flüssigkeitsvolumens zu nutzen.

Zu diesem Zweck wurden in den letzten Jahren verstärkt Begasungsapparate entwickelt und mit Einbauten in Behältern zu Begasungssystemen kombiniert. Viele unterschiedliche Begasungsapparate sind aus der Literatur bekannt und in der Praxis im Einsatz.

Für die aerobe biologische Abwasserbehandlung hat sich in den letzten Jahren zunehmend die Belüftung des Abwassers in Hochbehältern durchgesetzt, weil hierbei u. a. höhere Gasverweilzeiten und damit bessere Sauerstoffausnutzungen erreichbar sind.

Aus der Zeitschrift „Umwelt“ 4/82, S. 231–233 sind Injektoren und „Schlitzstrahler“ bekannt, die in einer sogenannten Turmbiologie zum Einsatz kommen. Die Injektoren werden in Nähe des Behälterbodens im Behälter angeordnet.

Aus der DE-OS 2151205 ist ebenfalls die Anordnung von Strahldüsen am Behälterboden bekannt. Zur Erzielung eines ausreichenden Gaseintrages sind bei allen bekannten Strahlapparaten, die am Boden von Behältern angeordnet sind, Gebläse oder Verdichter in der Gaszuführung angeordnet. Diese Gebläse oder Verdichter erhöhen die Investkosten und die Betriebskosten.

Aus der GB-Zeitschrift J. Fluid Mech. (1969), vol 36, part 4, S. 639–655 ist bekannt, daß eine Flüssigkeitsstrahlströmung in einem Rohr, die von einer zusammenhängenden Gasphase umgeben ist, unter bestimmten Voraussetzungen plötzlich, stoßartig, unter Druckaufbau in eine Flüssigkeits-Gasblasen-Strömung umschlägt, in der das Gas die dispergierte und die Flüssigkeit die zusammenhängende Phase ist. Die stoßartige Druckänderung ist mit stoßartigen Änderungen der Strömungsgeschwindigkeiten und der Strömungsquerschnittsanteile von Flüssigkeit und Gas verbunden. Diese Erscheinung wird als „Mischungsstoß“ („mixing shock“) bezeichnet. Infolge der hohen Energiedissipation im Mischungsstoß werden kleinste Gasbläschen erzeugt. Allgemeine Voraussetzungen für das Auftreten des Mischungsstoßes sind ein Gegendruck (z. B. hydrostatischer Druck einer Flüssigkeitssäule oder Druckabfall infolge Reibung bei der Rohrströmung) und die relativ enge Begrenzung des Mischraumes durch feste Wände.

Mit einem Mischungsstoß kann Gas in eine Flüssigkeit gegen einen höheren Druck, also ohne Unterstützung durch ein Gebläse oder einen Verdichter, und feinblasig dispergiert eingetragen werden. Die in der GB-Zeitschrift angegebene Versuchsanordnung besteht aus einer Flüssigkeitsdüse in einem zylindrischen Rohr, in dem der Mischungsstoß liegen soll. Die Anordnung entspricht ungefähr dem Mischrohr mit Treibstrahldüse eines Injektors.

Der Nachteil dieser Vorrichtung besteht darin, daß sie für die technische Anwendung des Mischungsstoßes funktionsunfähig ist. Die Funktionsunfähigkeit für die technische Anwendung ist darin begründet, daß der Strömungsquerschnittsanteil des Flüssigkeitsstrahles am Rohrquerschnitt konstant ist. Unter dieser Bedingung kann sich in einem zylindrischen Rohr ein Mischungsstoß nur dann ausbilden, wenn alle anderen, den Mischungsstoß beeinflussenden Größen genau eingehalten werden. Das ist eine Forderung, die bei einer technischen Anwendung effektiv nicht erfüllt werden kann. Deshalb ist auch bisher kein Strahlapparat bekannt geworden, der einen Mischungsstoß bewußt und zielgerichtet ausnutzt.

Ziel der Erfindung

Ziel der Erfindung ist die vorausbestimmbare technische Realisierbarkeit des Mischungsstoßes in energetisch optimalen Strahlapparaten.

Darlegung des Wesens der Erfindung

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, einen Strahlapparat zu entwickeln, der bei Fixierung der geometrischen Verhältnisse des Strahlapparates die Variabilität des Querschnittsflächenanteiles des Flüssigkeitsstrahles in einer Mischkammer gewährleistet und einen, von Stoffeigenschaften der Medien unabhängigen, größten, das Optimum in jedem Falle einschließenden Anwendungsbereich sichert.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß die Querschnittsfläche der Flüssigkeitsdüse am Anfang eines zylindrischen Rohres, des Strahlrohres, dessen Länge das 5- bis 8fache seines Durchmessers beträgt, 40 bis 50% der Querschnittsfläche des Strahlrohres beträgt und die Mischkammer konisch, ausgehend von der Querschnittsfläche des Strahlrohres sich im Halbwinkel von 6–10° bis auf den 2- bis 2,5fachen Strahlrohrdurchmesser erweitert, ausgebildet ist. Damit wird das Auftreten eines Mischungsstoßes in der Mischkammer gesichert. In ihr ist der Querschnittsflächenanteil des Flüssigkeitsstrahles in einem Bereich von 0,5...0,4 bis etwa 0,1 variabel, wodurch nahezu der gesamte Bereich für das Auftreten eines Mischungsstoßes erfaßt wird.

Der Querschnittsflächenanteil des Flüssigkeitsstrahles von 0,5...0,4 im Strahlrohr garantiert außerdem die kleinste mögliche Strahlgeschwindigkeit und damit den geringsten Leistungsaufwand für den Beginn, das Einsetzen eines Gaseintrages. Die Variabilität des Querschnittsflächenanteiles des Flüssigkeitsstrahles in der Mischkammer, die sich allein aus der stetigen Variabilität der Mischkammer-Querschnittsfläche bei absolut unveränderlicher Strömungsquerschnittsfläche des Flüssigkeitsstrahles ergibt, gewährleistet überraschend das ständige Auftreten des Mischungsstoßes, sichert überraschend den großen Anwendungsbereich und stabilisiert überraschend die Lage des Stoßes in der Mischkammer. Unvermeidbare Ungenauigkeit bei der Auslegung und schwankende Betriebsparameter beeinflussen das Auftreten des Mischungsstoßes nicht, sie können nur relativ geringfügige axiale Verlagerungen des Stoßes in der Mischkammer zur Folge haben. Der erfindungsgemäßen Lösung liegt eine Erkenntnis über die wesentliche Bedeutung des Querschnittsflächenanteiles des Flüssigkeitsstrahles vor dem Stoß, im folgenden als „Strahlquerschnittsanteil“ bezeichnet, für den Mischungsstoß zugrunde, die bisher aus der Literatur nicht bekannt ist.

Die Zusammenhänge lassen sich am besten mit Hilfe der physikalischen Grundbeziehungen für einen Mischungsstoß, der Kontinuitätsbedingungen und dem Impulssatz erläutern, wobei für technische Anwendungen der Massenstrom des Gases relativ zum Flüssigkeitsstrom auf Grund des großen Dichteunterschiedes vernachlässigt werden kann:

$$\text{Kontinuität: } \dot{m}_l + \dot{m}_g = \dot{m}_M \\ \rho_l \cdot f_l \cdot A_M \cdot u = \rho_l \cdot f_{lM} \cdot A_M \cdot u_M$$

$$\text{Hieraus folgt: } u \cdot f_l = u_M \cdot f_{lM} \quad (1)$$

$\dot{m}$ — Massenstrom

ρ — Flüssigkeitsdichte

A_M — gesamter Strömungsquerschnitt
am Ort des Mischungsstoßes
(→ Stoßquerschnitt)

u — Strömungsgeschwindigkeit
des Flüssigkeitsstrahles
(→ Strahlgeschwindigkeit)

u_M — Strömungsgeschwindigkeit
des Flüssigkeit-Gasblasen-Gemisches
nach dem Mischungsstoß

f_l — Querschnittsflächenanteil des Flüssigkeitsstrahles vor dem Stoß
(→ Strahlquerschnittsanteil)

f_{lM} — Flüssigkeitsanteil des Flüssigkeit-Gasblasen-Gemisches nach dem Stoß

Indizes:

l — Flüssigkeit

g — Gas

M — Flüssigkeit-Gasblasen-Gemisch

$$\text{Impulssatz: } \dot{m}_l u + \dot{m}_g v + p \cdot A_M = (\dot{m}_l + \dot{m}_g) \cdot u_M + p_M \cdot A_M$$

$$(p_M - p) \cdot A_M = \dot{m}_l \cdot (u - u_M) = \rho_l f_l A_M u^2 \cdot (1 - u_M/u)$$

Mit (1) folgt hieraus:

$$\frac{p_M - p}{\rho_l u^2} = f_l \cdot (1 - f_l / f_{lM}) \quad (2)$$

p — statischer Druck vor dem Mischungsstoß

p_M — statischer Druck nach dem Mischungsstoß

$(p_M - p) / \rho_l u^2$ — spezifische Druckerhöhung

In der Beziehung (2) ist der grundlegende physikalische Zusammenhang für einen Mischungsstoß formuliert, der zwischen der Druckerhöhung ($p_M - p$) und der Strahlgeschwindigkeit u , beeinflusst vom Strahlquerschnittsanteil f_1 und vom Flüssiganteil des Gemisches f_{1M} , besteht.

Die Beziehung (2) läßt erkennen, daß eine Druckerhöhung bzw. ein Mischungsstoß immer damit verbunden ist, daß der Flüssiganteil des Gemisches größer als der Strahlquerschnittsanteil ($f_{1M} > f_1$) und damit nach (1) die Abströmgeschwindigkeit des Gemisches kleiner als die Strahlgeschwindigkeit ($u_M < u$) ist.

Im Gegensatz zu J. H. Witte in der GB-Zeitschrift J. Fluid Mech. (1969) wird der Flüssiganteil f_{1M} des Flüssigkeit-Gasblasen-Gemisches nach dem Stoß als eine empirische, aus Versuchen zu bestimmende, gewissermaßen vorgegebene, relativ bestimmte, wenn auch in der Regel nicht genau bekannte Größe angesehen. Mit anderen Worten, der Mischungsstoß wird als das „Einschlagen“ von Gas durch einen Flüssigkeitsstrahl in einen (durch feste Wände begrenzten) „Flüssigkeitskörper“ gedeutet, wobei der Gaseintrag bzw. der Flüssiganteil f_{1M} des Gemisches nach dem Stoß von Stoffeigenschaften der Flüssigkeit, von Eigenschaften des Flüssigkeitsstrahles, wie Strömungsgeschwindigkeit, Strahlstruktur und -auflösung u. a. abhängt. Damit resultiert aus (2) eine wesentliche Abhängigkeit zwischen der auf die Flüssigkeitsdichte und das Quadrat der Strahlgeschwindigkeit bezogenen Druckerhöhung im Stoß, der „spezifischen Druckerhöhung“ $(p_M - p)/\rho_1 u^2$, und dem Strahlquerschnittsanteil f_1 . Trägt man nach (2) die spezifische Druckerhöhung für $f_{1M} = \text{konst}$ über dem Strahlquerschnittsanteil f_1 grafisch auf, so erhält man Parabeln $f_{1M} = \text{konst}$, deren Scheitelpunkte Maximalwerte für die spezifische Druckerhöhung darstellen und deren Nullstellen bei $f_1 = 0$ und $f_1 = f_{1M}$ liegen.

Das bedeutet: Mit einem auf eine Flüssigkeitsoberfläche großer Ausdehnung (keine relativ enge Begrenzung durch feste Wände) auftreffenden Flüssigkeitsstrahl ($f_1 = 0$) kann keine Druckerhöhung erzielt werden. Fehlt die bei der technischen Anwendung in der Regel vorgegebene Druckdifferenz für einen Strahlapparat ($p_M - p = 0$), so ist der Flüssiganteil des Gemisches gleich dem Strahlquerschnittsanteil ($f_{1M} = f_1$) und es tritt kein Mischungsstoß auf. Dazwischen liegt der Maximalwert der spezifischen Druckerhöhung, der bei einem Strahlquerschnittsanteil auftritt, der die Hälfte des Flüssiganteiles des Gemisches nach dem Stoß beträgt:

$$\text{Maximalwert: } f_1 = f_{1M}/2 \rightarrow \left(\frac{p_M - p}{\rho_1 u^2} \right)_{\max} = f_{1M}/4$$

Dieser Maximalwert entspricht einem energetisch optimalen Betriebszustand. Aus ihm resultiert die kleinste Strahlgeschwindigkeit, die für einen bestimmten Flüssiganteil f_{1M} des Gemisches für die (vorgegebene) Druckerhöhung ($p_M - p$) erforderlich ist.

Die grafische Darstellung des erläuterten Zusammenhanges nach (2).

Für einen bestimmten Wert der spezifischen Druckerhöhung, der kleiner als der Maximalwert ist, sind theoretisch zwei verschiedene Strahlquerschnittsanteile und damit nach (1) zwei verschiedene Strömungsgeschwindigkeiten des Gemisches nach dem Stoß möglich:

- a) $f_1 \leq f_{1M}/2 \rightarrow u_M \leq u/2$
 b) $f_{1M}/2 < f_1 < f_{1M} \rightarrow u/2 < u_M < u$

Für die technische Nutzung kommt nur die kleinere Strömungsgeschwindigkeit des Gemisches, also der Fall a) bzw. der linke Ast der Parabeln in Fig. 4 in Betracht.

Der Beginn, das Einsetzen eines Gaseintrages ist durch die Bedingung $f_{1M} = 1$ gekennzeichnet. Aus der Beziehung (2) folgt die hierfür erforderliche Mindest-Strahlgeschwindigkeit u_0 :

$$(2): \quad f_{1M} = 1 : \quad u_0 = \sqrt{\frac{(p_M - p)/\rho_1}{f_1 \cdot (1 - f_1)}} \quad (3)$$

Die Mindest-Strahlgeschwindigkeit u_0 ist von der (vorgegebenen) Druckerhöhung im Mischungsstoß ($p_M - p$) und vom Strahlquerschnittsanteil f_1 abhängig. Aus (3) und aus der grafischen Darstellung in Fig. 4 ist erkennbar, daß sich die kleinste Strahlgeschwindigkeit für den Beginn, das Einsetzen eines Gaseintrages für einen Strahlquerschnittsanteil von $f_1 = 0,5$ ergibt. Die grafische Darstellung nach (2) in Fig. 4 läßt erkennen, daß durch die Variabilität des Strahlquerschnittsanteiles in der Mischkammer von 0,5...0,4 bis etwa 0,1 nahezu der gesamte Bereich für das Auftreten eines Mischungsstoßes erfaßt wird, daß der energetisch optimale Betriebszustand für Flüssiganteile des Gemisches im Bereich von $0,2 < f_{1M} < 1,0$ eingeschlossen ist, und daß die Lage des Stoßes in der Mischkammer stabilisiert wird, so daß unvermeidbare Ungenauigkeiten bei der Auslegung und schwankende Betriebsparameter den Mischungsstoß kaum beeinflussen.

Der Gaseintrag resultiert aus dem Flüssigkeitsdurchsatz $\dot{V}_l$ und dem Flüssiganteil f_{1M} des Flüssigkeit-Gasblasen-Gemisches nach dem Mischungsstoß, wobei angenommen wird, daß die nach dem Stoß in der Flüssigkeit dispergierten Gasblasen mit der Strömungsgeschwindigkeit der Flüssigkeit abströmen:

$$\dot{V}_{gM} = (1/f_{1M} - 1) \cdot \dot{V}_l$$

Für den auf den Druck p vor dem Stoß bezogenen Gaseintrag $\dot{V}_g$, oder auf den Flüssigkeitsdurchsatz bezogen, für die Gasmitnahme $\beta = \dot{V}_g/\dot{V}_l$ gilt:

$$\beta = \dot{V}_g/\dot{V}_l = (p_M/p)^{1/n} \cdot (1/f_{1M} - 1) \quad (4)$$

Mit der Abhängigkeit der Gasmitnahme vom Druckverhältnis (p_M/p) wird lediglich die Zustandsänderung des Gases im Mischungsstoß bzw. die Volumenänderung des Gasstromes infolge der Druckerhöhung berücksichtigt. Für den Exponenten n der Zustandsänderung kann in der Regel näherungsweise $n = 1$ gesetzt werden, was einer isothermen Zustandsänderung des Gases im Mischungsstoß entspricht.

Der Strahlapparat zur Realisierung des Mischungsstoßes, im folgenden kurz als „Strahlstoßbegasung“ bezeichnet, ermöglicht den Eintrag und die feinblasige Dispergierung von Gas in eine Flüssigkeit gegen einen höheren Druck, ohne Unterstützung durch ein Gebläse oder einen Verdichter.

Die Vorrichtung zur Strahlstoßbegasung besteht aus einem Strahlrohr, der an das Strahlrohr anschließenden Mischkammer, einer Flüssigkeitsdüse am Anfang des Strahlrohres und einer Gaszuführung, die neben der Flüssigkeitsdüse in das Strahlrohr mündet. Die Flüssigkeitsdüse wird vorzugsweise durch Einschnürung einer Flüssigkeitsleitung auf den Strahlrohrdurchmesser und eine von außen in die Flüssigkeitsleitung hineinführende Gasleitung, deren Mündung coaxial im Anfang des Strahlrohres liegt, so daß zwischen Strahlrohrwand und Mündung der Gasleitung ein düsenartiger Ringspalt entsteht, gebildet. Am äußeren Umfang der Gasleitung sind an deren Mündung gleichmäßig über den Umfang verteilt in radialer Richtung kurze Rohrstücke oder entgegen der Strömungsrichtung gut abgerundete kurze Stege befestigt, die die Innenwand des Strahlrohres berühren. Dadurch wird die coaxiale Lage der Mündung der Gasleitung gesichert und die Flüssigkeits-Ringdüse in Sektionen aufgeteilt. Der in der Flüssigkeitsdüse erzeugte Flüssigkeitsstrahl wird in Teilstrahlen zerlegt, wodurch die Auflösung des Flüssigkeitsstrahles und damit der Gaseintrag und die Gasdispergierung begünstigt wird.

Für Flüssigkeiten, die Feststoffe enthalten, kann die Erzeugung des Flüssigkeitsstrahles in einer Ringdüse wegen der Verstopfungsgefahr unzumutbar sein. Für diesen Fall kann die Flüssigkeitsdüse in der üblichen Weise coaxial im Anfang des Strahlrohres liegen und das Gasrohr die Flüssigkeitsdüse umgebend angeordnet sein.

Das in der Mischkammer einer Strahlstoßbegasung in einem Mischungsstoß erzeugte Flüssigkeit-Gasblasen-Gemisch kann in einer Rohrleitung, dem „Begasungsrohr“, dessen Durchmesser gleich dem größten Durchmesser der Mischkammer ist, abtransportiert und einem zu begasenden und/oder umzuwäzenden größeren Flüssigkeitsvolumen zugeführt werden.

Zum Beispiel kann die Flüssigkeit in einem tankartigen Behälter durch eine unten und außerhalb des Behälters angeordnete Strahlstoßbegasung ohne Unterstützung durch ein Gebläse oder einen Verdichter mit Luft aus der Atmosphäre feinblasig belüftet und umgewälzt werden. Eine Umwälzpumpe (einstufige Kreiselpumpe) fördert Flüssigkeit aus dem Behälter durch die Strahlstoßbegasung und über ein kurzes, die Begasungsvorrichtung mit dem Behälter verbindendes Rohrstück, das Begasungsrohr, welches in der Behälterwand mündet oder auch in den Behälter hineingeführt werden kann, wieder in diesen zurück. Das über das Begasungsrohr in den Behälter eingespeiste Flüssigkeit-Gasblasen-Gemisch erzeugt infolge lokaler Dichteunterschiede in Verbindung mit der Flüssigkeitshöhe über der Einspeisung Konvektionsströmungen im Behälter, die das Vielfache des primär über die Strahlstoßbegasung umgewälzten Flüssigkeitsstromes betragen.

Wenn das Begasungsrohr in der Behälterwand mündet, befinden sich im Behälter keine Einbauten für die Begasung und Umwälzung.

Das Gas kann auch in einem geschlossenen Kreislauf geführt werden, indem der Gasraum eines geschlossenen Behälters mit dem Gasrohr der Strahlstoßbegasung verbunden wird.

Bei Stillstand der Strahlstoßbegasung speisenden Umwälzpumpe ist die gesamte Begasungsvorrichtung mit Flüssigkeit gefüllt. Wird die Umwälzpumpe angefahren, so setzt der Gaseintrag nach kurzer Anlaufzeit selbsttätig ein.

Durch Absperrschieber im Begasungsrohr und in der Pumpen-Saugleitung ist eine Demontage/Montage der Begasungsvorrichtung möglich, ohne daß der Behälter geleert werden muß. Im Vergleich zu anderen Begasungsvorrichtungen ist ein geringer Aufwand für die Kontrolle, Wartung und Instandhaltung bzw. für den Austausch erforderlich.

Der technologische Aufwand für das gesamte Begasungssystem ist gering. Der einfache konstruktive Aufbau der Strahlstoßbegasungsvorrichtung gewährleistet eine hohe Betriebssicherheit.

Im Vergleich zur Tauchstrahlbegasung mit auf dem Behälterdach angeordneten Druckstrahlern oder Schachtüberfällen werden für die Strahlstoßbegasung Kreiselpumpen mit größerer Förderhöhe und geringerem Förderstrom eingesetzt. Die Pumpen und die Längen und Nennweiten der Rohrleitungen sind wesentlich kleiner. Durch das gesamte Begasungssystem werden keine nennenswerten Kräfte auf den Behälter ausgeübt. Es können standardisierte Tanks eingesetzt werden. Stahlbaukonstruktionen sind nicht erforderlich. Insgesamt resultiert daraus eine wesentliche Reduzierung des Materialaufwandes.

Der Energieaufwand für die Strahlstoßbegasung ist geringer als für vergleichbare Begasungsvorrichtungen. Die Reduzierung des Energieaufwandes resultiert daraus, daß die Mischbewegung der Flüssigkeit in einem Behälter primär nicht durch die Dissipation eines energiereichen Flüssigkeits-Gasblasen-Freistrahles, sondern durch Konvektionsströmungen infolge des in einer gewissen Tiefe eingespeisten feinblasigen Flüssigkeits-Gasblasen-Gemisches hervorgerufen wird, und daraus, daß kein Gebläse oder Verdichter benötigt wird.

Die Strahlstoßbegasung ist sehr variabel und in einem großen Bereich an verfahrenstechnische Bedingungen, Vorgaben und Forderungen anpassungsfähig. An einem Behälter können mehrere Begasungsvorrichtungen über den Umfang verteilt angeordnet werden. Das Begasungsrohr einer Strahlstoßbegasung kann auch durch die Behälterwand hindurch in den Behälter hineingeführt, und die Mündung kann in beliebiger Richtung abgekrümmt werden.

Auch in Verbindung mit dem Prinzip des „Mammutschlaufenreaktors“, bei dem in einem mit Flüssigkeit gefüllten Behälter ein oder mehrere Steigrohre senkrecht angeordnet sind, ist der Einsatz der Strahlstoßbegasung vorteilhaft. Das Begasungsrohr mündet im unteren Teil des Steigrohres. Durch die Strahlstoßbegasung werden sehr kleine Gasblasen in das Steigrohr eingespeist, was den Auftrieb erhöht. Der durch den Gaseintrag im Steigrohr induzierte Flüssigkeitsstrom und damit auch Umwälzstrom im Behälter beträgt das Vielfache des primär von einer Kreiselpumpe über die Strahlstoßbegasung umgewälzten Flüssigkeitsstromes.

Die Strahlstoßbegasung kann auch über einem Flüssigkeitsspiegel, vorzugsweise senkrecht, angeordnet werden, z. B. für erdeingebettete Behälter oder für die Tiefenbelüftung von Seen und Gewässern. Das Begasungsrohr wird von oben, vorzugsweise senkrecht, in die Flüssigkeit hineingeführt und mündet einige Meter unterhalb des Flüssigkeitsspiegels, am zweckmäßigsten in einem senkrecht in die Flüssigkeit eingetauchten Steigrohr größerer Nennweite. Im Steigrohr wird nach dem „Mammutschlaufenprinzip“ ein Aufstrom erzeugt, der das Vielfache des über das Begasungsrohr eingespeisten Flüssigkeitsstromes beträgt. Mit einer solchen Anordnung können z. B. mittels Lufteintrag größere Wassermengen aus tieferen Schichten von Seen oder Gewässern mit geringem technologischen und geringem Energieaufwand betriebsicher und wartungsarm an die Oberfläche gefördert und mit Sauerstoff aus der Luft versorgt werden.

Ausführungsbeispiel

Die Erfindung wird an einem Ausführungsbeispiel näher erläutert.
In der Zeichnung zeigen:

- Fig. 1: den Strahlapparat in schematischer Darstellung
Fig. 2: den Strahlapparat in Verbindung mit einem Tank in schematischer Darstellung
Fig. 3: den Strahlapparat in Verbindung mit einem Tank und einem Steigrohr in schematischer Darstellung.
Fig. 4: eine grafische Darstellung der spezifischen Druckerhöhung im Mischungsstoß in Abhängigkeit vom Strahlquerschnittsanteil und vom Flüssigkeitsanteil des Gemisches nach dem Mischungsstoß.

Der Strahlapparat 1 besteht aus der Flüssigkeitsdüse 2, dem Strahlrohr 3, der Mischkammer 4 und dem Begasungsrohr 5. Die Flüssigkeitsleitung 6 und die Gasleitung 7 enden am Anfang des Strahlrohres 3. Die Durchmesser dieser Bauteile sind aufeinander zweckdienlich abgestimmt.

Im Beispiel beträgt der Durchmesser des Strahlrohres 3 125 mm. Der Querschnittsflächenanteil des Flüssigkeitsstrahles im Strahlrohr 3, der durch den Strömungsquerschnitt der Flüssigkeitsdüse 2 am Strahlrohranfang bestimmt wird, beträgt 0,45. In der Mischkammer 4 vergrößert sich der Rohrdurchmesser stetig vom Strahlrohrdurchmesser auf den Durchmesser des Begasungsrohres 5, der 250 mm beträgt. Das Begasungsrohr 5 ist 1 m lang und mündet in der Wand eines 1000 m³-Tanks 1 m über dessen Boden.

Die im Strahlrohranfang liegende Mündung der Gasleitung 7 hat die Nennweite 80 mm. Die am Tank bis über den Füllstand hochführende Gasleitung wird zweckmäßig mit der Nennweite 100 mm ausgeführt, um den Druckabfall in der Gasleitung 7 gering zu halten.

Die Flüssigkeitsleitung 6 zum Strahlapparat 1 hat die Nennweite 250 mm.

Mit diesem Strahlapparat soll in einem 1000 m³-Tank, einem Stahlbehälter von 11,3 m Durchmesser und 10,5 m Mantelhöhe mit festem Dach, der bis zu einem Füllstand von 9,0 m mit Abwasser (Temperatur 25°C) gefüllt ist, das Abwasser mittels Strahlstoßbegasung belüftet und umgewälzt werden.

Strahlapparat 1 und Umwälzpumpe 10 sind unten am Tank 9 angeordnet. Die Umwälzpumpe 10 fördert Abwasser aus dem Tank 9 über den Strahlapparat 1 wieder in den Tank 9 zurück. Das Begasungsrohr 5 mündet 1 m über dem Boden bzw. 8 m unterhalb des Füllstandes in der Tankwand. Die Gasleitung 7 wird am Tank 9 bis über den Füllstand hochgeführt, so daß durch diese bei stillgesetzter Belüftung kein Abwasser austreten kann. Absperrschieber in der Pumpen-Saugleitung 8 und im Begasungsrohr 5 ermöglichen die Abtrennung von Umwälzpumpe 10 und Strahlapparat 1 vom Tank 9, ohne daß dieser geleert werden muß.

In der Mündung des Begasungsrohres 5 in der Tankwand herrscht ein Druck von 180,5 kPa, der aus dem hydrostatischen Druck der Wassersäule über der Mündung und dem Druck im Gasraum des Tanks resultiert, der 102 kPa beträgt, was einem geringen Druckverlust im Strahlrohr 3 des Strahlapparates 1 herrscht der barometrische Luftdruck, abzüglich des Druckverlustes in der Gasleitung 7.

Die Auslegung der Strahlstoßbegasung beinhaltet unter Beachtung der geometrischen Verhältnisse des Strahlapparates 1 die Bestimmung der Strömungsgeschwindigkeit des Flüssigkeitsstrahles, so daß der vorgegebene Druck in der Mündung des Begasungsrohres mit geringem Leistungsaufwand realisiert wird. Für die Strahlgeschwindigkeit wurden 25,2 m/s ermittelt, wobei der Flüssigkeitsanteil des Flüssigkeit-Gasblasen-Gemisches nach dem Mischungsstoß 0,55 beträgt. Das entspricht einem Durchsatz der Umwälzpumpe 10 von 500 m³/h Abwasser. Die Strömungsgeschwindigkeit des Abwassers in der Flüssigkeitsleitung 6 beträgt 2,8 m/s. Mit dem Umwälzstrom von 500 m³/h werden etwa 685 m³/h Luft unter Standardbedingungen (15°C; 101,3 kPa) eingetragen.

In der Mischkammer 4 schlägt die Flüssigkeitsstrahlströmung im Mischungsstoß in eine Flüssigkeits-Gasblasen-Strömung um, und die Luft wird im Abwasser zu kleinsten Blasen dispergiert. Im Mischungsstoß erhöht sich der statische Druck in der Strömung von 97 kPa im Strahlrohr auf 175,7 kPa nach dem Stoß, also um 78,7 kPa. Der (theoretische) Durchmesser des Stoßquerschnittes, der die (theoretische) Lage des Stoßes in der Mischkammer 4 kennzeichnet, beträgt 192 mm. Die Abströmgeschwindigkeit des Flüssigkeits-Gasblasen-Gemisches nach dem Stoß beträgt 8,7 m/s. Durch die Erweiterung des Strömungsquerschnittes vom Stoßquerschnitt auf den Querschnitt des Begasungsrohres 5 wird die Strömungsgeschwindigkeit des Gemisches auf etwa 5 m/s im Begasungsrohr 5 reduziert. Die Verfolgung des Druckverlaufes der Strömung vom Stoß bis zur Mündung des Begasungsrohres 5, wobei die Erweiterung vom Stoßquerschnitt auf den des Begasungsrohres 5 als „unstetig“ angesehen wird, ergibt den vorgegebenen Druck von 180,5 kPa in der Mündung des Begasungsrohres 5. Aus der Mündung des Begasungsrohres 5 strömt das Abwasser-Luftblasen-Gemisch mit einem Flüssigkeitsanteil von etwa 0,56 und mit einer Strömungsgeschwindigkeit von 5,1 m/s in den Tank 9.

Die Energiedissipation im Begasungsrohr 5 ist zwar wesentlich geringer als im Mischungsstoß, beträgt aber bei einer Strömungsgeschwindigkeit von 5 m/s immer noch etwa 10 W/kg, so daß in Wasser immer noch Gasblasen mit einem Durchmesser von ≈ 1 mm zu erwarten sind.

In bezug auf den Sauerstoffeintrag in Abwasser bei der aeroben biologischen Abwasserbehandlung können mit so kleinen Luftblasen in Verbindung mit der relativ großen Wasserhöhe hohe Sauerstoffeinträge bzw. hohe Sauerstoffausnutzungen erreicht werden. Theoretisch sind Sauerstoffausnutzungen in der Größenordnung von 0,7 möglich. Das entspricht für Luftblasen von 1 mm Durchmesser einer mittleren Aufenthaltszeit im Tank von etwa 15 bis 20 s.

Die für die Strahlgeschwindigkeit von 25,2 m/s erforderliche Förderhöhe der Umwälzpumpe 10 beträgt 24,5 m, wobei für den auf die Strömungsgeschwindigkeit in der Flüssigkeitsleitung 6 bezogenen Verlustbeiwert der Umwälzung der Wert 1,5 ermittelt wurde. Wenn für den Wirkungsgrad der Umwälzpumpe 10 0,75 gesetzt wird, beträgt die an der Kupplung der Umwälzpumpe übertragene Leistung 44,5 kW.

Durch den Strahlapparat 1 des Beispiels werden 135 kg/h Sauerstoff eingetragen, wenn die Sauerstoffausnutzung 0,7 beträgt. Die Kupplungsleistung der Umwälzpumpe 10, bezogen auf den Sauerstoffeintrag, ergibt den „spezifischen Energiebedarf“ von 0,33 kWh/kg.

Die Strahlgeschwindigkeit, der Flüssiganteil des Flüssigkeit-Gasblasen-Gemisches nach dem Mischungsstoß, der statische Druck im Strahlrohr und in der Mündung des Begasungsrohres können von den Werten des Beispiels abweichen, ohne daß die Funktionsfähigkeit des Strahlapparates 1 beeinträchtigt wird. Der Mischungsstoß verändert lediglich seine Lage in der Mischkammer 4. Unterhalb einer Mindest-Strahlgeschwindigkeit, im Beispiel etwa 18 m/s, ist ein Gaseintrag mittels Mischungsstoß jedoch nicht möglich.

Im folgenden wird das Ausführungsbeispiel dahingehend erweitert, daß das Begasungsrohr 5 des Strahlapparates 1 waagrecht durch die Behälterwand hindurch in den Tank 9 hineingeführt und in der Wand eines zentral im Tank 9 angeordneten Steigrohres 11 vom Durchmesser 1,6 m mündet. Die Steigrohrmündung liegt 7,2 m über der Einmündung des Begasungsrohres 5 bzw. 0,8 m unterhalb des Füllstandes im Tank 9 (Fig. 3).

Damit wird im Tank 9 nach dem „Mammutprinzip“ eine vertikale Umwälzströmung induziert. Im Steigrohr 11 strömt ein Wasser-Luftblasen-Gemisch aufwärts, das an der Wasseroberfläche entgast. Außerhalb des Steigrohres 11 strömt das Wasser im Tank 9 mit geringer Strömungsgeschwindigkeit gasfrei abwärts. In Höhe der Einmündung des Begasungsrohres 5 in das Steigrohr 11 ist der statische Druck im Steigrohr geringer als außerhalb desselben im Tank 9.

Das Begasungsrohr 5 ist 5,9 m lang. Der statische Druck in der Einmündung des Begasungsrohres 5 in das Steigrohr 11 beträgt 178,2 kPa. Trotz dieser gegenüber dem ersten Beispiel veränderten Daten kann die Strahlstoßbegasung vom ersten Beispiel mit dem Wasserdurchsatz 500 m³/h und der Strömungsgeschwindigkeit des Strahles im Strahlrohr von 25,2 m/s unverändert übernommen werden. Die Lage des Mischungsstoßes in der Mischkammer 4 verändert sich im Vergleich zum ersten Beispiel geringfügig. Der (theoretische) Durchmesser des Stoßquerschnittes beträgt 186,6 mm. Der statische Druck nach dem Stoß ist 177,8 kPa. Das Wasser-Luftblasen-Gemisch strömt nach dem Stoß mit einer Geschwindigkeit von 9,2 m/s ab und wird mit einer Strömungsgeschwindigkeit von 5,0 m/s und einem Flüssiganteil von 0,55 in das Steigrohr 11 eingespeist.

An der Einspeisestelle im Steigrohr 11 vermischt sich das im Strahlapparat 1 erzeugte Wasser-Luftblasen-Gemisch mit dem von unten in das Steigrohr 11 einströmenden gasfreien Wasserstrom, der im Tank 9 umgewälzt wird. Die Einströmgeschwindigkeit beträgt 1,8 m/s. Der Gasanteil im Steigrohr 11 nach der Vermischung ist 0,029. Dieser geringe Gasanteil, in Verbindung mit der Steigrohrhöhe, erzeugt im Tank 9 einen Umwälzstrom, der das 26fache des primär von der Umwälzpumpe 10 durch den Strahlapparat 1 umgewälzten Wasserstromes von 500 m³/h, also 13000 m³/h beträgt. Aus der 0,8 m unter dem Füllstand liegenden Mündung des Steigrohres 11 tritt das Wasser mit einer Strömungsgeschwindigkeit von 2,0 m/s und mit einem Gasanteil von 0,047 aus. Die Abströmgeschwindigkeit im Tank 9 außerhalb des Steigrohres beträgt 0,038 m/s.

Mit einem Leistungsaufwand von 44,5 kW an der Kupplung der Umwälzpumpe 10, oder, auf den Wasserinhalt des Tanks 9 bezogen, mit einem Leistungseintrag von 0,05 kW/m³ wird im Tank 9 ein Umwälzstrom von 13000 m³/h induziert, der das 26fache des von der Umwälzpumpe 10 primär über den Strahlapparat 1 umgewälzten Wasserstromes beträgt. Der Wasserinhalt des Tanks 9 wird damit 14mal in der Stunde annähernd vollständig umgewälzt.

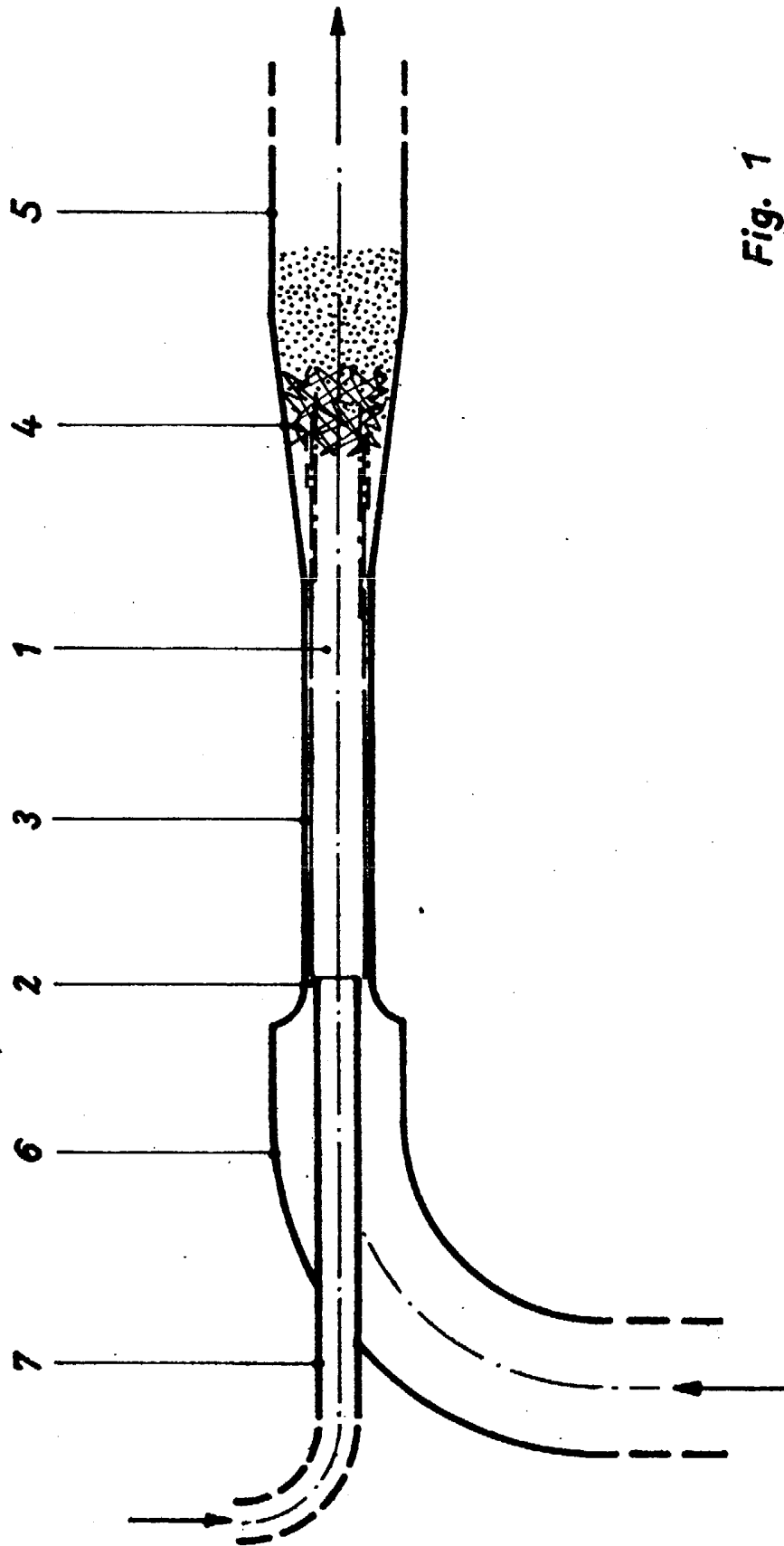
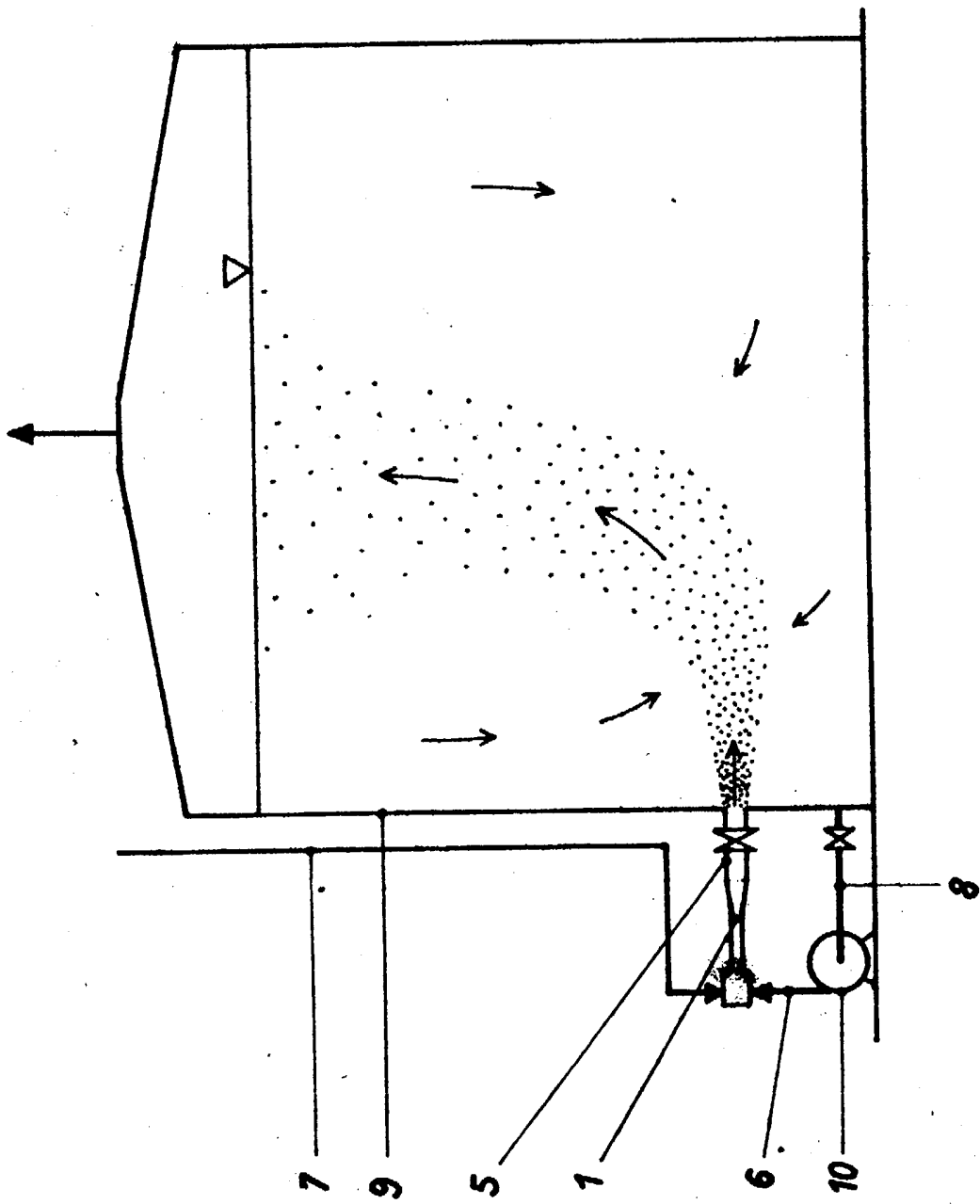


Fig. 1

Fig. 2



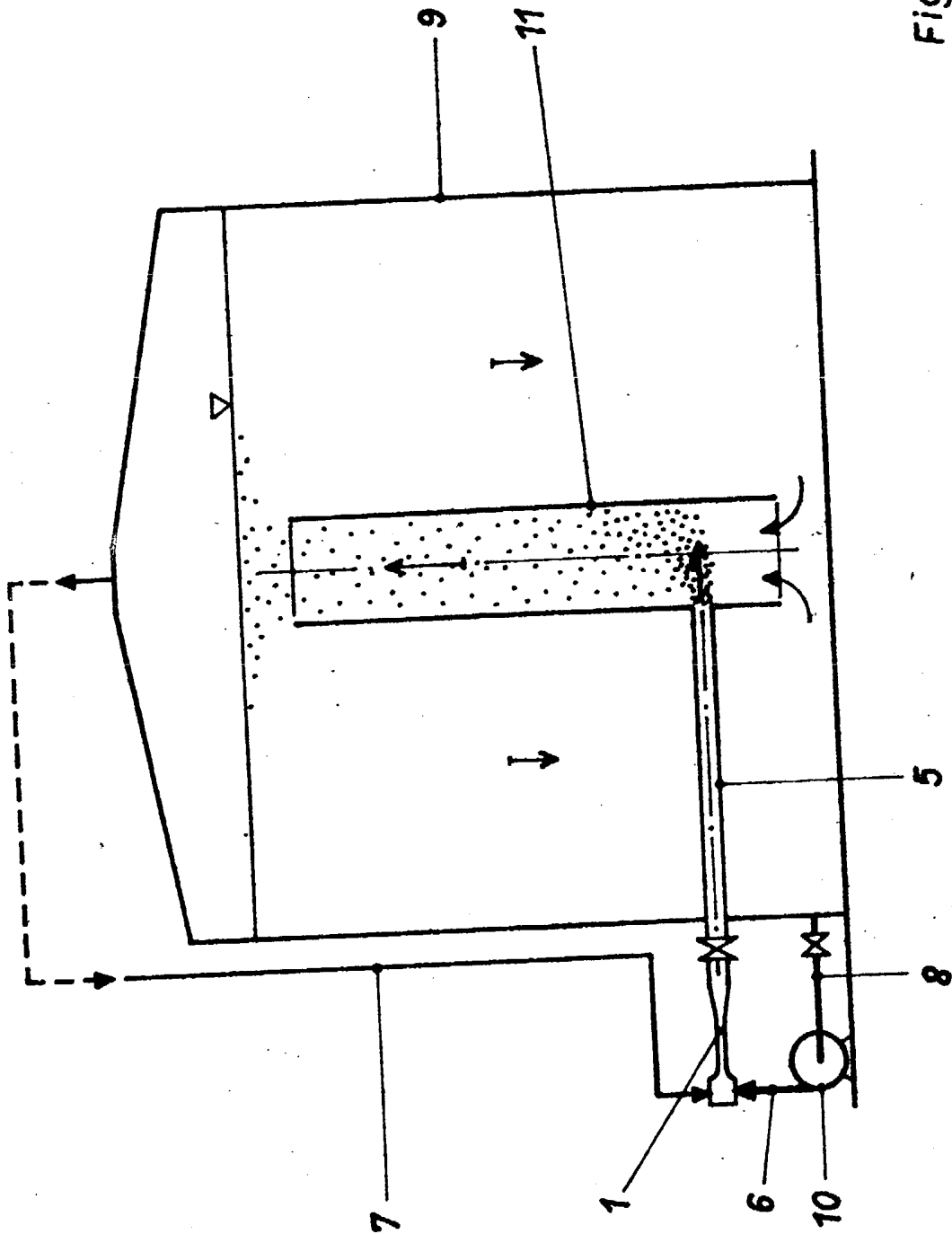


Fig. 3

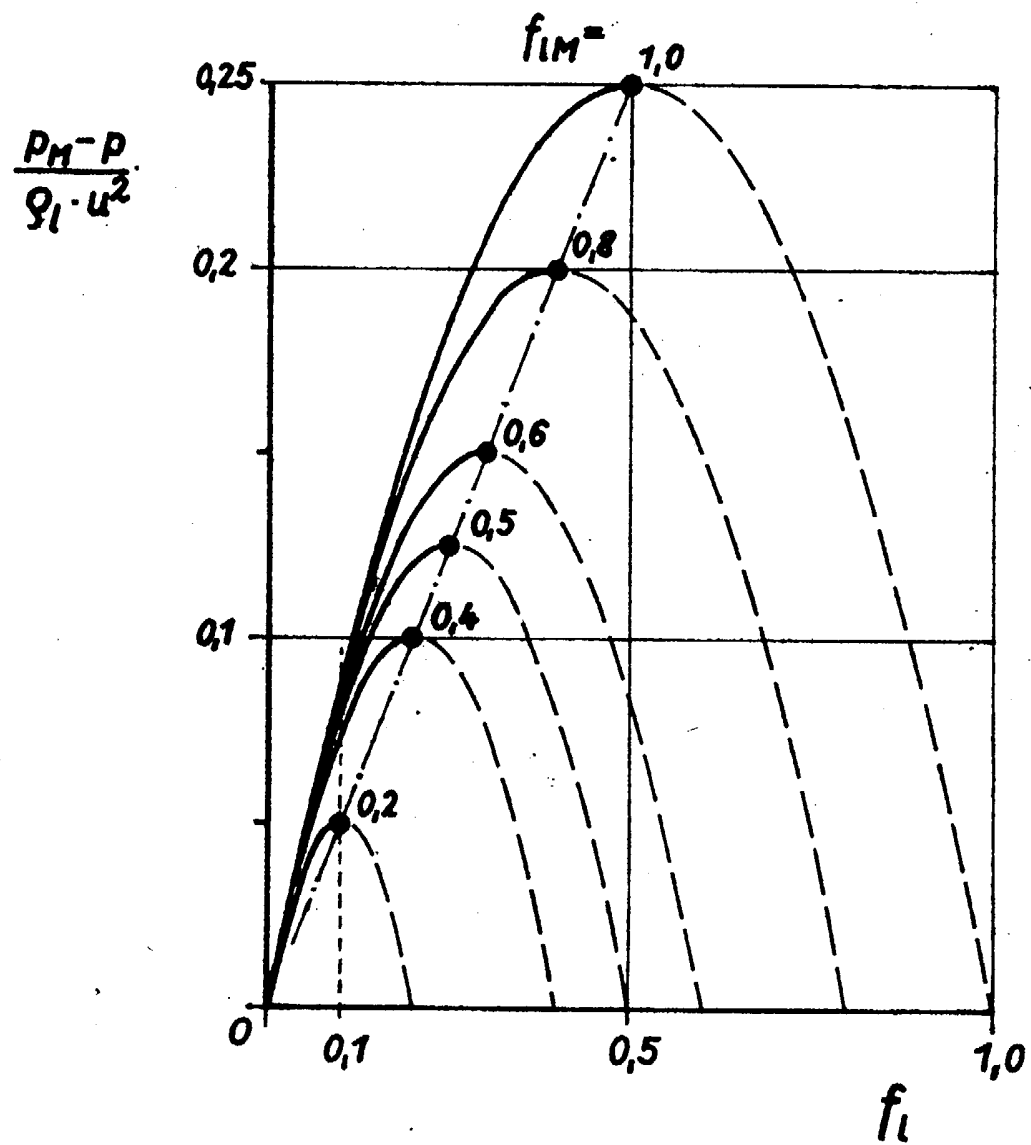


Fig. 4