



SCHWEIZERISCHE Eidgenossenschaft
EIDGENÖSSISCHES INSTITUT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

(11) CH

705 317 A2

(51) Int. Cl.: B01F 11/02 (2006.01)
B01F 3/08 (2006.01)

Patentanmeldung für die Schweiz und Liechtenstein

Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

(12) PATENTANMELDUNG

(21) Anmeldenummer: 00928/12

(22) Anmeldedatum: 02.07.2012

(43) Anmeldung veröffentlicht: 31.01.2013

(30) Priorität: 25.07.2011 RU 2011130933

(71) Anmelder:
Andrey Aleksandrovich Getalov, ul. Gur'yanova, korp 2, kv. 129
109458 Moskau (RU)
Evgeny Evgen'evich Dedyukhin, ul. Kaninina, d. 10, kv. 30
420042 g.Kazan (RU)
Marat Munirovich Giniyatullin, ul. Kalninina, d. 10 kv. 30
420042 g.Kazan (RU)
Aleksandar Semenovich Sirotkin, ul. Tovarishcheskaya, d.32A, kv. 614
42097 g.Kazan (RU)

(72) Erfinder:
Andrey Aleksandrovich Getalov, 109458 Moskau (RU)
Evgeny Evgen'evich Dedyukhin, 420042 g.Kazan (RU)
Marat Munirovich Giniyatullin, 420042 g.Kazan (RU)
Aleksandar Semenovich Sirotkin, 42097 g.Kazan (RU)

(74) Vertreter:
E. Blum & Co. AG Patent- und Markenanwälte VSP,
Vorderberg 11
8044 Zürich (CH)

(54) Verfahren zur Ultraschall-Kavitationsbehandlung flüssiger Medien.

(57) Die Erfindung bezieht sich auf einen Bereich der Kavitationsbehandlung flüssiger Medien sowie von Medien, bei denen der spezifische Wassergehalt des oder der Gehalt einer anderen flüssigen Phase 65–70% der Gesamtmasse übersteigt.

Das Verfahren der Ultraschall-Kavitationsbehandlung flüssiger Medien besteht darin, dass die akustische Kavitation auf zwei oder mehreren unterschiedlichen Frequenzen gebildet wird, wobei der Kanal als nacheinander angeordnete Membranen ausgeführt ist, die unterschiedliche Frequenzen der Hauptpartialschwingung haben. Die Erzeugung von Schallschwingungen mit der Stehwellenbildung erfolgt gleichphasig an gegenüberliegenden Kanalseiten, die ihrerseits im Abstand zwischen den Kanalwänden quasiflatte stehende Wellen bilden, die den Schwingungsfrequenzen der Membranen entsprechen, wobei die Kanalweite h als durch ein Viertel der Wellenlänge die im gegebenen behandelten flüssigen Medium für die benutzten Frequenzen gewählt wird:

$$h = (k/4) * (C/f_i), k = 1, 2, 3, \dots$$

wobei

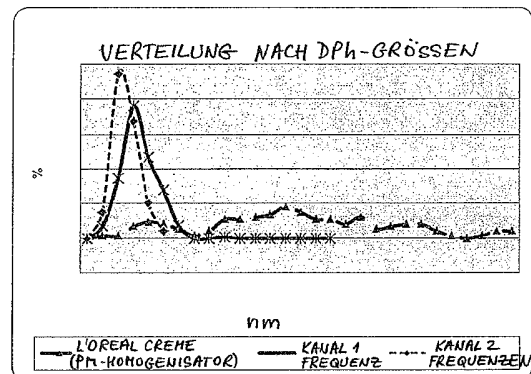
f_i Frequenzen der Stehwellen-Hauptpartialschwingungen der Membranen des Kanals, Hz;

C die Schallgeschwindigkeit im flüssigen Medium, m/s;

h der Abstand zwischen den Kanalwänden, m; sind

und wobei die Schwingungsamplitude der Kanalwand optimal für unterschiedliche Behandlungsetappen des flüssigen Mediums angepasst wird und die Schwelle der akustischen Kavitation übersteigt.

Das Verfahren ermöglicht, die Effektivität (Leistung und Amplitude akustischer Welle, Kohärenz) der Kavitationseinwirkung auf das zu behandelnde flüssige Medium und die darin befindlichen Objekte zu erhöhen und gleichzeitig die Leistung von Ultraschallstrahlern zu begrenzen.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung bezieht sich auf einen Bereich der Kavitationsbehandlung flüssiger Medien sowie von Medien, deren spezifischer Wassergehalt oder deren Gehalt einer anderen flüssigen Phase 65-70% der Gesamtmasse übersteigt.

[0002] Es ist bekannt, dass die akustische Ultraschallkavitation für diverse Gebiete effektiv anwendbar ist, wo nachfolgende technologische Prozesse realisiert werden Literaturverzeichnis 1-6/:

- Dispergierung;
- Homogenisierung und Emulgierung;
- Mischung;
- Desintegration;
- Deagglomeration.

[0003] In der Praxis umfasst dies Prozesse der Erzeugung von Mehrkomponentenmedien (Emulsionen, Suspensionen, Wasserlösungen und Wassersystemen), der Ultraschallsterilisierung (Desinfektion) von Wasser, Milch, anderen flüssigen Lebensmitteln usw.

[0004] Das im Schema des Ultraschallreaktors realisierte Behandlungsverfahren flüssiger Medien kann als Prototyp aufgefasst werden /1/. Es besteht darin, dass man eine Ultraschallwelle in einem Flüssigkeitsvolumen mit Hilfe eines Stabstrahlers erzeugt, auf dessen Ende eine Schwingungsquelle, in der Regel ein piezoelektrischer Strahler angeordnet ist.

[0005] Es gibt viele Berechnungsvarianten der Form des Stabstrahlers und Befestigungsmöglichkeiten auf der Stirnseite mehrerer Strahler, sie alle sind aber auf die Erhöhung der Schwingungsamplitude des Stabs am unteren Ende und an den Seitenwänden gerichtet /8/.

[0006] Dies ist damit verbunden, dass die Zone der entwickelten Kavitation in der Praxis in mehreren Zentimeter von der Schwingungsfläche gemessen wird. Darum gilt der Bodenteil des Stabs als effektivste Zone, denn zwischen der flachen Stirnseite des Strahlers wird eine Stehwelle in der zu behandelnden Flüssigkeit gebildet. Dabei wird es vermerkt, dass es schwer ist, den Durchmesser der Stirnseite grösser als 50-70 mm zu machen.

[0007] Die Strahlung von einer zylindrischen Staboberfläche hat eine wesentlich kleinere Schwingungsamplitude und eine zylindrische Divergenz. Unter Berücksichtigung akustischer Reflexionswellen von den Wänden des äusseren Zylinderbeckens kann man bewerten, dass es praktisch unmöglich ist, einen optimalen Betrieb einer stabilen flachen kohärenten Ultraschall-Stehwelle analog einem geringen Bereich zwischen der Strahlerstirnseite und dem Boden des Zylinderbeckens zu erhalten.

[0008] Ein kompliziertes Bild von durchgehenden und reflektierten Ultraschallwellen in dem Medium, das Fehlen der Wellenkohärenz und der Energiekonzentration auf einer Frequenz führt dazu, dass es praktisch unmöglich ist, Emulsionen mit einer Grösse der dispersen Phase kleiner als ca. 1,0 µm zu erhalten, das Homogenitätsniveau übersteigt 20% auf dem Hauptmode nicht. Dabei ist das Volumen der zu behandelnden Flüssigkeit beschränkt.

[0009] Ein anderes, alternatives Verfahren der Kavitations-Ultraschallbehandlung flüssiger Medien ist in Rotor-Pulsations-Homogenisatoren realisiert /2/.

[0010] In einem Beschallungsraum entsteht durch periodisch eintretende alternierende Flüssigkeitsbewegungen aus einem rotierenden Stator-Rotor-System eine Ultraschallwelle mit Kavitationseffekten. Das ist eine Zwischenvariante zwischen der akustischen und hydrodynamischen Kavitation. Solche Homogenisatoren sind heutzutage am meisten verbreitet. Sie sind hinreichend einfach, ermöglichen die Behandlung von grossen Flüssigkeitsmengen und sind wesentlich billiger als Ultraschallanaloga. Gute Hochgeschwindigkeitshomogenisatoren ermöglichen es, Emulsionen mit einer Grösse der dispersen Phase von ca. 1,5 µm auf dem Hauptmode zu erzeugen, das Homogenitätsniveau übersteigt 12-15% nicht. Nichtsdestoweniger hat auch dieses Verfahren eine Reihe prinzipieller Einschränkungen.

[0011] Das ist mit einem niedrigen Wirkungsgrad elektromechanischer Systeme (bis zu 10%) verbunden, was die Leistung der Ultraschallwelle auf 1,5-2 W/cm² begrenzt, die Arbeit mit viskosen Medien und die Behandlung statischer Flüssigkeitsvolumina (im Stator-Rotor-Raum) unmöglich macht und eine ganze Reihe anderer prinzipieller Beschränkungen aufweist.

[0012] Das Nächstliegende nach seinem Wesen ist das Erzeugungsverfahren eines Emulsionskosmetikums nach der Anmeldung Nr. 2010 137 176 vom 08.09.2010, positives ROSPATENT-Gutachten vom 22.03.2011 Nr. 2010 137 176/15(052 870).

[0013] Die Vergrösserung der Schwingungsamplitude der akustischen Welle im behandelten flüssigen Medium erfolgt durch Gleichtakt-Resonanzschwingungen jeder der grossen Seiten des Systems, des Kanals mit Rechteckquerschnitt, und zusätzliche Wellensuperposition im Kanalinneren, dabei ist der Innenabstand der kleinen Kanalseite gleich und durch ein Viertel der akustischen Wellenlänge im behandelten Medium teilbar. Dies ermöglicht, das Energiemaximum auf der Resonanzschwingungsfrequenz zu konzentrieren und eine akustische Stehwelle einer hohen Intensität im Kanalinneren zu erhalten.

[0014] Die in der Gesellschaft «DERMANIKA» durchgeführten Forschungen haben gezeigt, dass der Hauptdispersitätsmode bei solchem Behandlungsbetrieb ca. 500 nm und weniger betragen kann, die Emulsion praktisch keine disperse Phase grösser als 1000 nm (1 µm) und eine Hälfte bis ein Drittel gewöhnlicher Emulgatormenge enthält. Dabei ermögli-

chen die Rotor-Pulsations-Homogenisatoren Emulsionen zu erhalten, bei denen die Grösse der dispersen Phase mit 1000 nm (1 µm) nur bei einer grösseren Emulgatormenge beginnt 12/.

[0015] Ein Teil von Forschungsergebnissen wurde in der XIV. Internationalen wissenschaftspraktischen Konferenz «Kosmetika und Rohstoffe: Sicherheit und Effizienz» im Oktober 2009 berichtet, wo sie mit dem zweiten Platz und einem Diplom ausgezeichnet wurden, es gibt auch Publikationen in Fachzeitschriften 16/.

[0016] Dabei wird die Produktqualität erhöht und es werden entsprechend den Kavitationskriterien (der Kavitationsschwelle) [3,4] und dem Resonanzbetrieb mit maximaler Wirksamkeit bessere Intensivierungskennwerte der Einwirkung von verbundenen chemisch-physikalischen, hydromechanischen, Wärme- und Massentauschprozessen auf das behandelte Medium und auf die am Ausgang erhaltene minimale Grösse und Homogenität der Fett- (Öl-) -Phase gewährleistet.

[0017] Diese Technologie ist in einem Industriemasstab im laufenden Kosmetikunternehmen, die geschlossene Aktiengesellschaft «Laboratorium EMANCI», realisiert. Das erste nach dieser Technologie hergestellte Produkt, die Handcreme Anti Smell Smoke (für Raucher, gegen die Nikotin- und Raucheinwirkung auf die Händehaut), hat den ganzen Zyklus der Zertifizierungsprüfungen (sanitätsepidemiologisches Gutachten Nr. 77.01.12.915.II.006156.02.10 vom 03.02.2010 und Angemessenheitsdeklaration) durchgemacht, die durch unabhängige Prüfungen im Laboratorium «Spektrum» (Akkreditierungsattest Nr. POCC RU. 0001. 2 IIII50) mit entsprechendem Protokoll Nr. 19 vom 22.12.2009 bestätigt wurden.

[0018] Diese Technologie hat jedoch eine Reihe von Benutzungsbegrenzungen: z.B. wenn man sie zur Behandlung von Objekten benutzt, die in ein flüssiges Medium getaucht werden, in dem akustische Wellen angeregt werden. In der Praxis soll der Abstand zwischen den Kanalwänden, falls eine hohe Intensität nötig ist, die Hälfte der Wellenlänge nicht überschreiten. Ist das Medium das Wasser, so entspricht dies dem Abstand von ca. 3,4 cm für die Frequenz 22 kHz. Darüber hinaus wurde es mehrmals bemerkt, dass die Kavitationseffekte wesentlich verstärkt werden, wenn man die Flüssigkeit mit zwei verschiedenen Frequenzen behandelt.

[0019] In der Arbeit 7/, S. 60/ wird angegeben, dass «bei gleichzeitiger Einwirkung von Ultraschallwellen zweier unterschiedlicher Frequenzen (22-44 kHz) wird eine wesentliche Erhöhung der Kavitationseffektivität beobachtet, die viel grösser als bei linearer Summierung der Wirkungen jedes der Felder verschiedener Frequenzen ist».

[0020] In Versuchen hat der Autor auch praktische Ergebnisse erhalten und eine zentrale Abhängigkeit des Einflusses zweier Frequenzen auf die Gewinnung diverser Emulsionen (kosmetische Emulsionen, Mayonnaise, Ketschups usw.) festgestellt.

[0021] Das Ziel der Erfindung ist die Erhöhung der Effizienz (Leistung und Amplitude akustischer Welle, Kohärenz) der Kavitationseinwirkung auf das behandelte flüssige Medium bei gleichzeitiger Leistungsbegrenzung von Ultraschallstrahlern.

[0022] Dieses Ziel wird dadurch erreicht, dass der Betrieb der akustischen Kavitation gleichzeitig auf zwei oder mehreren akustischen Frequenzen gebildet wird, dabei ist ein mechanisches System, der Kanal mit Rechteckquerschnitt, als nacheinander angeordneten Membranen ausgeführt, die unterschiedliche Frequenzen der Hauptpartialschwingung haben, und die Erzeugung von Schallschwingungen mit der Stehwellenbildung gleichphasig an gegenüberliegenden Kanalseiten erfolgt, die ihrerseits im Abstand zwischen den Kanalwänden quasiflatte stehende Wellen bilden, die den Schwingungsfrequenzen der Membranen entsprechen, dabei wird die Kanalweite h als durch ein Viertel der Wellenlänge der im gegebenen behandelten flüssigen Medium für die benutzten Frequenzen angeregten Wellenlänge gewählt:

$$h = (k/4) \cdot (C/f_i), \quad k = 1, 2, 3, \dots$$

wobei

f_i die Frequenzen der Stehwellen-Hauptpartialschwingungen der Membranen des Kanals, Hz;

C die Schallgeschwindigkeit im flüssigen Medium, m/s;

h der Abstand zwischen den Kanalwänden, m sind,

und wobei die Schwingungsamplitude der Kanalwand optimal für unterschiedliche Behandlungsetappen des flüssigen Mediums angepasst wird und die Schwelle der akustischen Kavitation übersteigt.

[0023] Im vorgeschlagenen Verfahren wird das Prinzip der gleichzeitigen Behandlung der Flüssigkeit mit unterschiedlichen Frequenzen benutzt.

[0024] Voraussichtlich 3, 7 u.a./ schafft die Kavitation auf grossen Frequenzen Keimlinge in der Flüssigkeit, die dann durch akustische Niederfrequenzeinwirkung auf der Ebene eines Einzelkavitationsbläschens verstärkt werden. Dadurch werden maximale Werte der Bläschenzahl und der Energie jedes der Bläschen erzielt.

[0025] Es ist bekannt, dass die Membranen, im Gegensatz zu Plättchen, keine Biege Härte aufweisen und höhere Eigenschwingungsfrequenzen haben. Die Schwingungsfrequenz der Membran, im Gegensatz zu den Plättchen, hängt nicht von ihrer Stärke ab. Konkreter ist die Betriebsart der Membran/des Plättchens von einer ganzen Reihe von Faktoren wie Befestigungsbedingungen an den Rändern (Spannung), Durchbiegungsgrösse, Einwirkungsfrequenz usw. abhängig 11/.

[0026] Für eine rechteckige Membran mit befestigten Rändern sieht die Lösung der Wellengleichung für einen Eigenfrequenzsatz im kartesischen Koordinatensystem folgendermassen aus 9, 10/:

$$\omega = c\sqrt{k_x^2 + k_y^2} = c\sqrt{\left(j_x \frac{\pi}{L_x}\right)^2 + \left(j_y \frac{\pi}{L_y}\right)^2},$$

wobei c die Wellenverbreitungsgeschwindigkeit über das Plättchen;

k_x, k_y Wellenzahlen, deren Werten durch konkrete Grenzbedingungen bestimmt werden;

L_x die Länge der Plättchenseite, gerichtet längs der Ox -Achse;

L_y die Länge der Plättchenseite, gerichtet längs der Oy -Achse;

j_x, j_y eine ganze Zahl, gleich der Schwingungsbauzahl der Welle längs der entsprechenden Plättchenseiten.

[0027] Zur Erzielung eines maximalen Nutzeffekts einer Membran ist es notwendig, den Schwingungsbetrieb auf dem ersten Mode zu realisieren, bei dem die Schwingungsbauzahl der Welle längs beider Achsen 1 ist. In diesem Fall schwingen alle Punkte der Membran auf einer Frequenz und in gleicher Phase mit der maximalen Durchbiegung im Zentrum der Membran.

[0028] In der Abbildung Fig. 1 ist eine Typenresonanzcharakteristik des Schwingungssystems, des Kanals mit Rechteckquerschnitt dargestellt, ausgeführt als ein Satz von nacheinander angeordneten Membranen.

[0029] Es ist ersichtlich, dass die Güte des Schwingungssystems auf der Resonanzfrequenz von ca. 23,2 kHz ungefähr 7 beträgt. Dies ermöglicht, die Amplitude der akustischen Welle in der Flüssigkeit zu vergrössern, die mit dieser Oberfläche kontaktiert, wobei die dem Piezostrahler zugeführte Leistung nicht mehr als ca. 50 W beträgt.

[0030] Die zweite Membran ist auf der Frequenz von ca. 40 kHz bei der Güte von etwa 6 abgestimmt. Die dem Piezostrahler zugeführte Leistung übersteigt 50 W auch nicht, was ungefähr 40-50 % des Leistungsbedarfs bei der Flüssigkeitsbehandlung auf einer Frequenz beträgt.

[0031] In Fig. 2 ist ein Verhältnis von Grössen der dispersen Phase für kosmetische Emulsion dargestellt, das bei der Benutzung des Kanals mit zwei Membranen, abgestimmt auf die Frequenzen von ca. 23 kHz bzw. ca. 40 kHz, erhalten wurde. Eine hohe Intensität akustischer Einwirkung hat es ermöglicht, die Grösse des Hauptmode der dispersen Phase von 600-700 nm, die für den auf einer Frequenz eingestellten Kanal typisch ist, auf 500 nm zu vermindern, dabei ist das Homogenitätsniveau auf 30-35 % bei dem Diskretisierungsschritt 100 nm gewachsen.

[0032] In Fig. 3 ist ein Grössenverteilungsvergleich der dispersen Phase einer kosmetischen Emulsion dargestellt, die mit unterschiedlichen Homogenisierungsarten erzeugt wurde - klassisch (mit Hilfe von Rotor-Homogenisatoren), Ultraschallkavitation auf einer Frequenz (Prototyp), Ultraschallkavitation auf 2 Frequenzen (das verwendete Verfahren).

[0033] Die Anwendung dieses Verfahrens im Betrieb der Gesellschaft DERMANIKA hat ermöglicht, die Effizienz der Kavitationseinwirkung wesentlich zu erhöhen, eine hochwertige kosmetische Emulsion zu erhalten und die bearbeitete Flüssigkeitsmengen um ca. das 2 bis 2,5-fache zu vergrössern, dabei wurde die Leistung der Ultraschallgeneratoren von 6 kW auf ca. 3 kW vermindert.

LITERATURVERZEICHNIS

[0034] 1. Bronin F.A. Untersuchung der Kavitationszerstörung und -Dispergierung von Festkörpern im Ultraschallfeld hoher Intensität. Dissertationsautorreferat zur Erlangung der Würde des Kandidaten technischer Wissenschaften, MISIS (Moskauer Institut für Stahl und Legierungen), 1967.

[0035] 2. Cherviakov V.M., Odnodolko V.G. Verwendung von hydrodynamischen und Kavitationserscheinungen in Rotorapparaten. - M.: Verlag Maschinenbau (Maschinostrojenije), 2008.

[0036] 3. Sirotiuk M.G. Experimentelle Untersuchungen der Ultraschallkavitation. Im Buch «Leistungsstarke Ultraschallfelder, herausgegeben von Rosenberg L.D., 1968.

[0037] 4. Krasilnikov V.A. Schall- und Ultraschallwellen in Luft, Wasser und Festkörpern - M.: Physmathgis (Staatlicher Verlag für Physik und Mathematik), 1960.

[0038] 5. Bergmann L. Ultraschall und dessen Verwendung in der Wissenschaft und Technik. - M.: Ausländische Literatur (Inostrannaja literatura), 1956.

[0039] 6. V.I. Demenko, A.A. Getalov, T.V. Puchkova, Ye.A. Khoteyenkova. Effektives Verfahren zur Verminderung der Emulgatorgehalts bei der Produktion von kosmetischen Emulsionen, Zeitschrift «Rohstoffe und Verpackung» («Syrjo i uparowka») Nr. 10 (101), S. 12.

[0040] 7. Margulis M.A. Grundlagen der Schallchemie. Chemische Reaktionen in akustischen Feldern. - M.: Verlag Hochschule (Wysshchaja shkola), 1984.

[0041] 8. Khmeliov V.N., Popova O.V. Mehrfunktions-Ultraschallapparate und deren Verwendung in Kleinbetrieben, Landwirtschaft und Haushalt: wissenschaftliche Monographie, Altaische Staatliche Technische I.I. Pilsunow-Universität. - Barnaul: Verlag der Altaiischen Staatlichen Technischen Universität.

[0042] 9. Koshliakov N.S., Gliner E.B., Smirnov M.M. Partielle Differential-Gleichungen der mathematischen Physik. - M.: Verlag Hochschule (Wysshajashkola), 1970.

[0043] 10. Aramanovich I.G., Levin V.I. Gleichungen der mathematischen Physik. Zweite Ausgabe, - M., Verlag Wissenschaft (Nauka), 1969.

[0044] 11. Vibrationen in der Technik. Handbuch in 6 Bänden, herausgegeben von Chelomei V.N., - M.: Verlag Maschinenbau (Maschinostrojenije), 1979.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Ultraschall-Kavitationsbehandlung flüssiger Medien, das eine etappenweise Einwirkung in Form von akustischer Kavitation umfasst, die aufgrund eines Doppelresonanzeffektes und der Bildung von stehenden Wellen innerhalb des mechanischen Durchflusssystems, eines Kanals mit Rechteckquerschnitt entsteht, dadurch gekennzeichnet, dass die akustische Kavitation gleichzeitig auf zwei oder mehreren unterschiedlichen Frequenzen gebildet wird, wobei der Kanal als nacheinander angeordnete Membranen ausgeführt ist, die unterschiedliche Frequenzen der Hauptpartialschwingung haben, und die Erzeugung von Schallschwingungen mit der Stehwellenbildung gleichphasig an gegenüberliegenden Kanalseiten erfolgt, die ihrerseits im Abstand zwischen den Kanalwänden quasi-flache stehende Wellen bilden, die den Schwingungsfrequenzen der Membranen entsprechen, wobei die Kanalweite h als durch ein Viertel der Wellenlänge der im gegebenen behandelten flüssigen Medium für die benutzten Frequenzen angeregten Wellenlänge gewählt wird:
$$h = (k/4) \cdot (C/f_i), \quad k = 1, 2, 3, \dots$$
wobei
 f_i Frequenzen der Stehwellen-Hauptpartialschwingungen der Membranen des Kanals, Hz;
 C die Schallgeschwindigkeit im flüssigen Medium, m/s;
 h der Abstand zwischen den Kanalwänden, m sind und wobei die Schwingungsamplitude der Kanalwand optimal für unterschiedliche Behandlungsetappen des flüssigen Mediums angepasst wird und die Schwelle der akustischen Kavitation übersteigt.

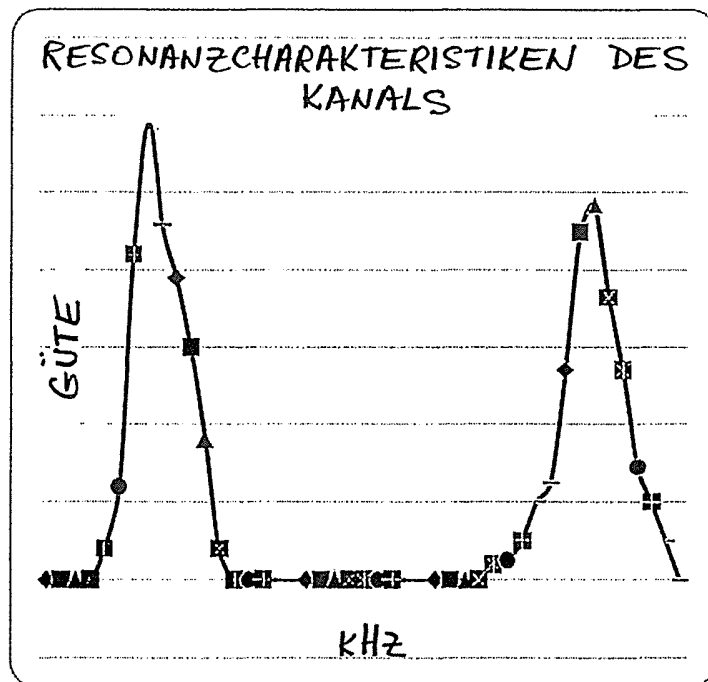


Fig. 1
Typenresonanzkurve des Kanals

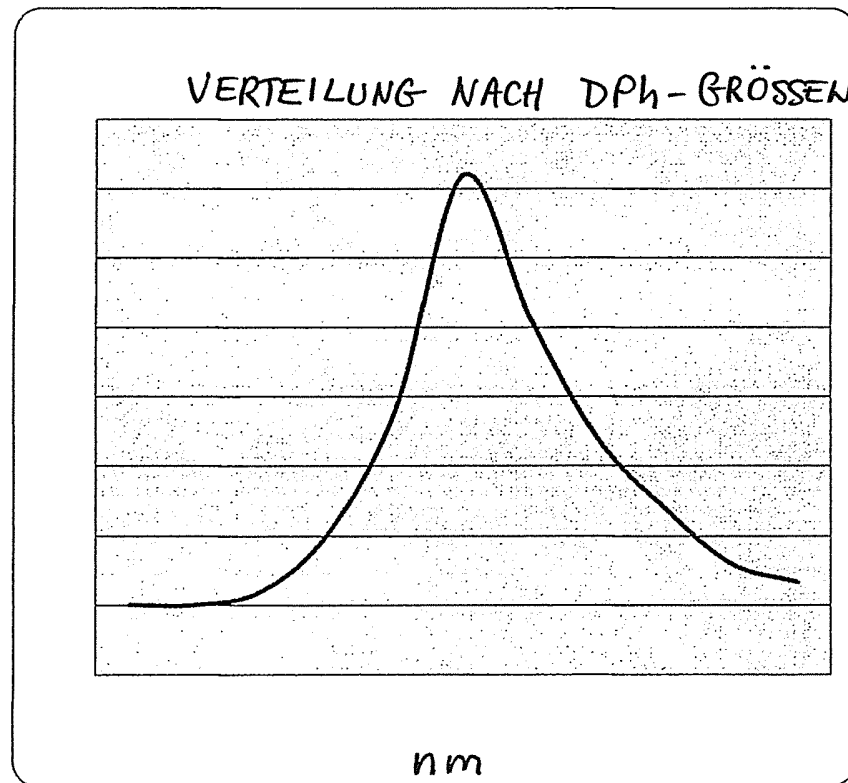


Fig. 2
Größenverhältnis der dispersen Phase

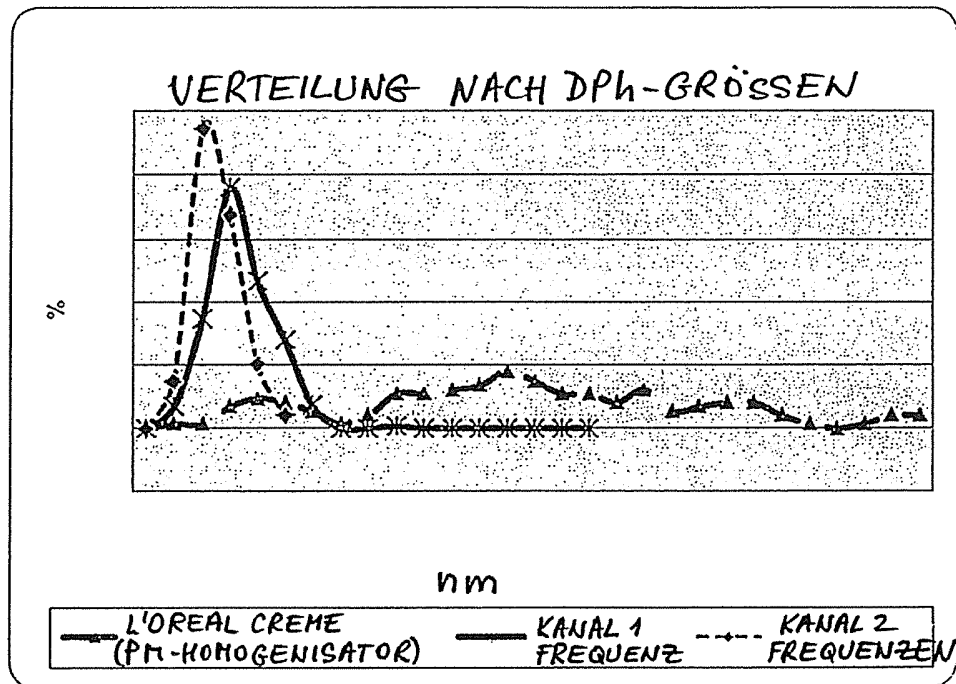


Fig. 3

Vergleich von Größen der dispersen Phase bei unterschiedlichen Homogenisierungsverfahren