



(10) **DE 199 18 564 B4** 2011.06.01

(12) **Patentschrift**

(21) Aktenzeichen: **199 18 564.6**
(22) Anmeldetag: **25.04.1999**
(43) Offenlegungstag: **11.11.1999**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **01.06.2011**

(51) Int Cl.: **F16C 32/06 (2006.01)**

Innerhalb von drei Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(66) Innere Priorität:
198 19 226.6 **29.04.1998**

(73) Patentinhaber:
Eitzenberger, Hans, Dr., 82405 Wessobrunn, DE

(74) Vertreter:
**Schumacher & Willsau Patentanwaltsgesellschaft
mbH, 80335 München**

(72) Erfinder:
gleich Patentinhaber

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:

DE	39 33 698	C2
DE	37 25 854	C2
DE	44 03 340	A1
DE	36 27 771	A1

DE	30 01 061	A1
DD	2 21 514	A1
US	33 18 557	A
EP	07 08 262	A1

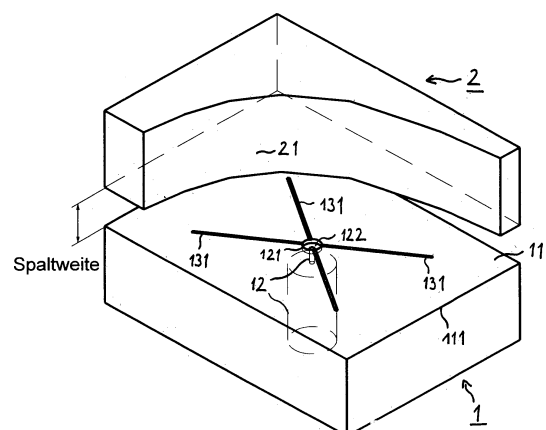
Mussnug, H.: "Mit Luft geschmierte
Schlittenführ-ung" in: *wt-Z. ind. Fertig.*, (60) 1970
Nr. 10, S. 591-597

Donat, H.: "Nährungsverfahren zur
Dimensionierung schwingungsfreier ebener
rechteckiger Luftlager" in: *Feingerätetechnik*, 31.
Jg., H. 10/1982 S. 452-457

Srebriansky, N.: "Glissières et coussinets
aérosta-tiques" in: *Machine Moderne*, Février
1970, p. 20- 28, 48

(54) Bezeichnung: **Aerostatisches Luftlager**

(57) Hauptanspruch: Aerostatisches Luftlager mit
a) einem eine Gegenfläche (21) aufweisenden Gegenkörper
(2),
b) einem Lagerkörper (1),
der eine der Gegenfläche (21) zugewandte Lagerfläche (11)
aufweist,
in dem ein an der Lagerfläche (11) mündender Düsenkanal
(12) ausgebildet ist, der an eine einen Speisedruck liefernde
Speisedruckquelle angeschlossen ist und
in dem ein von dem Düsenkanal (12) wegführendes an der
Lagerfläche (11) entlang verlaufendes zu dieser hin offenes
Mikrokanalsystem (13) ausgebildet ist, das sich mindestens
entlang einer Richtung der Lagerfläche (11) über den über-
wiegenden Teil der Lagerfläche (11) erstreckt,
c) einer durch die Gestalt des Lagerkörpers (1) und des
Gegenkörpers (2) sowie den Speisedruck bestimmten stati-
schen Kennlinie in Funktion der Spaltweite zwi-
schen Lagerfläche (11) und Gegenfläche (21), wobei
d) die Querschnitte des Mikrokanalsystems (13) derart klein
sind, daß das Gesamtvolumen von Kanälen des Mikrokanal-
systems (13) bei den Betriebszuständen der Kennlinie, bei
denen die Tragkraft bis...



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Luftlager, bei dem eine Lagerfläche und eine Gegenfläche mittels eines zwischen ihnen ausgebildeten Gaspolsters, insbesondere eines Luftpolsters, auch dann berührungslos zueinander angeordnet sind, wenn sie keine Relativbewegung zueinander ausführen (aeorostatisches Luftlager).

[0002] Bekannt sind einfache Düsenluftlager, die einen Lagerkörper mit einer Lagerfläche aufweisen, in deren Zentrum eine Düse mündet, über die Gas zugeführt wird, so daß ein unter Druck stehendes Gaspolster zwischen der Lagerfläche und einer Gegenfläche aufgebaut wird. Mit zunehmendem Abstand von der Düse fällt der Druck entlang der Lagerfläche mit einem parabolischen Verlauf ab und nimmt daher im Randbereich des Lagers nur sehr geringe Werte an. Das Integral des Druckes über der Fläche ist somit gering. Das Lager weist infolgedessen eine geringe Tragkraft auf. Eine Verringerung der Weite des Lagerspaltes, also des Spaltes zwischen Lagerfläche und Gegenfläche, infolge einer aufgebracht Last führt auf der gesamten Lagerfläche zu einer proportionalen Druckerhöhung. Wegen des geringen Ausgangsdruckes in den Randbereichen setzt diese proportionale Druckerhöhung der Last nur einen geringen Widerstand entgegen. Es kommt zu einer erheblichen Spalthöhenänderung. Die Steifigkeit des Lagers ist daher gering.

[0003] Um die Tragkraft und die Steifigkeit zu erhöhen, wurden unterschiedliche Vorschläge gemacht. Zum Beispiel wurde vorgeschlagen, in dem die Lagerfläche bildenden Lagerkörper in dem Bereich der Mündung der Düse eine Ausnehmung vorzusehen. Diese Ausnehmung wurde z. B. als zylindrische Vorkammer konzentrisch zu dem Düsenkanal ausgebildet. Aus der DD 221 514 A1 ist es bekannt, Ausnehmungen vorzusehen, die sich von der Düsenmündung ausgehend als sogenannte Mikroverteilerkanäle entlang der Lagerfläche erstrecken und sich an den Ecken der Lagerfläche zu im Grundriß kreisförmigen Kammern erweitern. In der DE 30 01 061 C2 ist ein zylindrisches Luftlager offenbart, bei dem in dem Lagerkörper an der Lagerfläche in Umfangsrichtung verlaufende Ringnuten vorgesehen sind, in die jeweils mehrere in dem Lagerkörper ausgebildete Düsen einmünden und die eine Breite von 1 mm und eine einem mehrfachen der Spaltweite entsprechende Tiefe aufweisen. Als vorgesehene Spaltweite werden 2–15 Mikrometer angegeben. Aus DE 39 33 698 C2 ist ein Lager mit einem System von Verteilerkanälen bekannt, das von einer an der Düsenmündung angeordneten taschenartige Ausnehmung ausgehend radial verlaufende Kanäle sowie einen diese verbindende, um die Tasche herum verlaufenden Ringkanal aufweist. Weitere Kanalordnungen sind aus der US 3,318,557 A und aus der DE 37 25 854 C2 bekannt.

[0004] In "Näherungsverfahren zur Dimensionierung schwingungsfreier ebener rechteckiger Luftlager" von H. Donat, Feingerätetechnik 31 (1982), Heft 10, S. 457 wird für ein System von Verteilerkanälen gefordert, daß dessen Gesamtquerschnitt mindestens doppelt so groß sein soll wie der Querschnitt der Düsendrossel der Gaszuführung. In Mussgnug, H., „Mit Luft geschmierte Schlittenführung“, wt-Z. ind Fertigung, (60) t1970 Nr. 10, S. 591–597 wird gefordert, daß der Gesamtquerschnitt von von der Drossel wegführenden Verteilerkanälen und einem Ringkanal mindestens das 1,25 bis 1,5fache des Drosselquerschnitts betragen soll.

[0005] Derartige Vorkammern und Kanalsysteme, die auch als Taschen bezeichnet werden, dienen dazu, den am Düsenausgang vorliegenden Druck an größere, möglichst auch periphere, Bereiche der Lagerfläche anzulegen. Damit entstehen großflächige Bereiche, von denen ausgehend der Maximaldruck mit parabolischem Verlauf abfällt. Der durchschnittlich über der Lagerfläche herrschende Druck wird damit erhöht, das Flächenintegral über den Druck vergrößert. Tragkraft und Steifigkeit steigen somit. Mit den Taschen wird jedoch bei gleicher Spaltweite das Luftvolumen zwischen Lagerfläche und Gegenfläche, das sogenannte Totvolumen stark erhöht. Infolgedessen wird die Dämpfung des Luftlagers verschlechtert. Ein ungünstiges dynamisches Verhalten des Luftlagers ist die Folge. Es kommt in bestimmten Lastbereichen zu einer Instabilität, d. h. zu einem Aufschwingen von Bewegungen, das schließlich in einem Aufsitzen zwischen Lagerfläche und Gegenfläche endet.

[0006] Um gleichzeitig eine hohe Tragkraft bzw. Steifigkeit und eine ausreichende Dämpfung bzw. Stabilität zu erreichen, wurde in der DE 44 03 340 A1 von den Taschen Abstand genommen und vorgeschlagen, flächig über die Lagerfläche verteilt in dem Lagerkörper Mikrodüsen vorzusehen, die mittels Laserstrahl gebohrt sind. In der EP 0 708 262 A1 wird vorgeschlagen, derartige Mikrodüsen mit einem Durchmesser von kleiner als 100, vorzugsweise kleiner als 50 Mikrometer vorzusehen. Mit einem derartigen Mikrodüsenlager wird erreicht, daß über weiten Bereichen der Lagerfläche ein hoher Druck erzielt wird, ohne daß zusätzliches Totvolumen entsteht. Eine hohe Tragkraft und eine im Vergleich zu Taschenlagern verbesserte Stabilität werden dadurch miteinander verbunden. Nachteilig ist allerdings, daß das Laserbohren der Mikrodüsen einen hohen apparativen und zeitlichen Aufwand erfordert. Ferner zeigen Mikrodüsenlager eine starke Neigung zu verstopfen. Die

Mikrodüsen wirken auf die hindurchgeführte Luft wie ein Filter. In der zugeführten Luft vorhandene kleine Partikel bleiben in dem Mikrodüsenlager hängen und verstopfen die Düsen.

[0007] In Srebiansky, „Glissières et coussinets aérostatiques” in Machine Moderne, Février 1970, S. 20–28, 48 wird der Zusammenhang verschiedener physikalischer Größen in Luftlagern mit Mikronuten untersucht. Es werden jedoch keine Gestaltungsregeln für Luftlager genannt, die hohe Tragkraft, Steifigkeit, gute Dämpfung und geringen Fertigungsaufwand miteinander verbinden.

[0008] Mit der Erfindung wird das technische Problem gelöst, ein aerostatisches Luftlager zu schaffen, bei dem hohe Tragkraft und Steifigkeit sowie gute Dämpfung bzw. Stabilität miteinander verbunden werden und für das gleichzeitig ein geringer Fertigungsaufwand erforderlich ist.

[0009] Erfindungsgemäß wird das Problem mit einem aerostatischen Luftlager gelöst, das ein an der Lagerfläche entlang verlaufendes System von Mikrokanälen aufweist, d. h. ein Kanalsystem mit Kanälen, die deutlich kleinere Querschnitte aufweisen als Kanäle von aus dem Stand der Technik bekannten Luftlagern von jeweils vergleichbarer Bauart, Baugröße und für jeweils vergleichbaren Betriebs-Speisedruck.

[0010] Es wird ein aerostatisches Luftlager geschaffen mit einem eine Gegenfläche aufweisenden Gegenkörper; einem Lagerkörper, der eine der Gegenfläche zugewandte Lagerfläche aufweist, in dem ein an der Lagerfläche mündender und an eine einen Speisedruck liefernde Speisedruckquelle angeschlossener Düsenkanal ausgebildet ist und in dem ein von dem Düsenkanal wegführendes an der Lagerfläche entlang verlaufendes zu dieser hin offenes Mikrokanalsystem ausgebildet ist; das sich mindestens entlang einer Richtung der Lagerfläche über den überwiegenden Teil der Lagerfläche erstreckt, einer durch die Gestalt des Lagerkörpers und des Gegenkörpers sowie den Speisedruck bestimmten statischen Kennlinie der Tragkraft in Funktion der Spaltweite zwischen Lagerfläche und Gegenfläche; wobei die Querschnitte des Mikrokanalsystems derart klein sind, daß das Gesamtvolumen des Mikrokanalsystems bei den Betriebszuständen der Kennlinie, bei denen die Tragkraft bis zu 50% der maximalen Tragkraft beträgt, weniger als 10% des Volumens zwischen der Lagerfläche und der Gegenfläche beträgt.

[0011] Unter Gestalt des Lagerkörpers ist dabei die unter Berücksichtigung des Düsenkanals und des Mikrokanalsystems ausgebildete Struktur zu verstehen.

[0012] Das Vorsehen eines Kanalsystems führt dazu, daß der am Düsenausgang vorliegende Druck an größere, auch periphere, Bereiche der Lagerfläche angelegt wird, damit weite Bereiche entstehen, von denen ausgehend der Maximaldruck mit parabolischem Verlauf abfällt, so daß das Flächenintegral über den über der Lagerfläche herrschende Druck vergrößert wird und Tragkraft und Steifigkeit erhöht werden.

[0013] Dadurch daß sich das Mikrokanalsystem entlang mindestens einer Richtung der Lagerfläche über den überwiegenden Teil der Lagerfläche erstreckt, wird sichergestellt, daß die druckerhöhende und damit tragkraft erhöhende Wirkung der Kanäle auf weiten Teilen der Lagerfläche und damit in großem Ausmaß eintritt und gleichzeitig ausgewogen über die Lagerfläche verteilt wird.

[0014] Das Mikrokanalsystem, d. h. ein System mit Kanälen geringen Querschnitts, hat eine ähnliche druckverteilende Wirkung wie ein System größerer Kanäle. Zwar ist die Fläche, entlang der der Kanaldruck selbst wirkt, geringer als bei weiten Kanälen, entscheidend ist jedoch, daß die Kanallänge und damit die Länge der Linie, entlang der ein Druck von der Größenordnung des an der Düsenmündung herrschenden Druckes erzielt wird und von der ausgehend ein parabolischer Druckabfall auftritt, ähnlich groß ausgelegt wird wie bei größeren Kanälen.

[0015] Aufgrund des geringen Querschnitts und damit Volumens des Mikrokanalsystems bleibt aber das hinzugefügte stabilitätsmindernde Totvolumen gering und führt nicht wie bei Lagern mit Taschen oder weiten Kanälen zu Stabilitätsproblemen.

[0016] Dadurch daß die Strömungsquerschnitte des Mikrokanalsystems gering sind, besteht ein relativ hoher Strömungswiderstand, der zu einem gewissen Druckabfall entlang des Mikrokanalsystems führt. Eine geringe Belastung des Luftlagers und ein damit verbundener geringer Widerstand im Lagerspalt hat zur Folge, daß durch das Mikrokanalsystem kaum Luft strömt und daher auch kein Druckaufbau erfolgt. Um die erforderliche Tragkraft aufzubringen, stellt sich daher im Luftlager eine geringere Spaltweite und ein höherer Druck an der Düsenmündung ein. Diese Verringerung der Spaltweite führt zu einer Verminderung des Luftpolsters zwischen Lagerfläche und Gegenfläche und damit zu einer weiteren Verbesserung der Stabilität des Luftlagers.

[0017] Erst im Betriebsbereich höherer Lasten und damit geringer Spaltweiten entfaltet das Mikrokanalsystem eine ähnliche Wirkung wie Taschen. Bei höher werdenden Lasten verringert sich die Spaltweite, so daß der Strömungswiderstand im Lagerspalt erhöht wird. In diesem Betriebsbereich strömt daher auch ein zunehmender Anteil der Luft durch die Mikrokanäle. Dadurch wird in dem Mikrokanalsystem ein hoher Druck aufgebaut, der die Tragkraft und Steifigkeit des Luftlagers erhöht.

[0018] Durch die Dimensionierung der Kanäle als Mikrokanäle wird somit erreicht, daß deren tragkrafterhöhende Wirkung erst im Bereich hoher Belastung auftritt, wo sie benötigt wird. Im Betriebsbereich geringer Belastung führt das geringe Volumen des Mikrokanalsystems zu einer Stabilitätserhöhung. In diesem Bereich führt die geringere Größe der Kanäle zu einer etwas kleineren Fläche, entlang der ein annähernd dem Druck an der Düsenmündung entsprechender höherer Druck herrscht. Um dieselbe Tragkraft aufzubringen wie ein Lager mit weiten Kanälen, stellt sich das Mikrokanallager daher auf eine geringe Spaltweite ein, so daß das schwingungsfähige Luftvolumen vermindert wird.

[0019] Das Vorsehen von Mikrokanälen anstelle von gelaserten Mikrodüsen führt zu einer erheblichen Vereinfachung der Fertigung.

[0020] Mit welchen absoluten Werten für die Querschnitte das Mikrokanalsystem ausgebildet ist, hängt von der jeweiligen Baugröße, der jeweiligen Bauform und dem jeweils vorgesehenen Betriebs-Speisedruck des Lagers ab. Die Abmessungen der Querschnitte müssen nur derart klein sein, daß das Gesamtvolumen des Mikrokanalsystems bei den Betriebszuständen der Kennlinie, bei denen die Tragkraft bis zu 50% der maximalen Tragkraft beträgt, weniger als 10% des Volumens zwischen der Lagerfläche und der Gegenfläche beträgt. Soweit nicht auf Berechnungs- und Simulationsergebnisse zurückgegriffen werden kann, um eine geeignete Kennlinie zu erreichen, sind die konkreten Abmessungen experimentell zu ermitteln. Dies kann ggf. erfolgen, indem ein Lager gefertigt und hinsichtlich seiner Kennlinie vermessen wird. Soweit in dem Tragkraftbereich von weniger als 50% der maximalen Tragkraft ein Betriebspunkt vorhanden ist, an dem das Gesamtvolumen des Mikrokanalsystems mehr als 10% des Volumens zwischen der Lagerfläche und der Gegenfläche beträgt, sind die Querschnitte des Mikrokanalsystems zu verringern. Das Lager mit den geringeren Querschnitten kann dann erneut vermessen werden usw. Auf diese Weise kann iterativ eine geeignete Kennlinie erreicht werden.

[0021] Bevorzugt sind die Abmessungen der Querschnitte derart klein, daß das Gesamtvolumen des Mikrokanalsystems bei den Betriebszuständen der Kennlinie, bei denen die Tragkraft bis zu 50% der maximalen Tragkraft beträgt, weniger als 7,5% des Volumens zwischen der Lagerfläche und der Gegenfläche beträgt.

[0022] Insbesondere bei relativ kleinen Lagern, d. h. Lagern mit einer maximalen Tragkraft von weniger als 2000 N (bzw. Abmessungen von weniger als 100 cm² Lagerfläche), sind die Abmessungen der Querschnitte vorzugsweise derart klein ausgebildet, daß das Gesamtvolumen des Mikrokanalsystems bei den Betriebszuständen der Kennlinie, bei denen die Tragkraft bis zu 50% der maximalen Tragkraft beträgt, weniger als 7, 5%, weiter vorzugsweise weniger als 6%, noch weiter vorzugsweise weniger als 5%, z. B. 2%, des Volumens zwischen der Lagerfläche und der Gegenfläche beträgt.

[0023] Bevorzugt sind die Querschnitte des Mikrokanalsystems derart klein, daß das Gesamtvolumen von Kanälen des Mikrokanalsystems bei den Betriebszuständen der Kennlinie des Lagers, bei denen die Tragkraft bis zu 20% der maximalen Tragkraft beträgt, weniger als 6%, vorzugsweise von 1 bis 5%, z. B. 3%, des Volumens zwischen der Lagerfläche und der Gegenfläche beträgt.

[0024] Erfindungsgemäß ist es möglich, daß nur ein von dem Düsenkanal wegführender an der Lagerfläche entlang verlaufender offener Mikrokanal vorhanden ist. Ebenfalls ist es möglich, daß mehrere derartige Mikrokanäle vorgesehen sind.

[0025] Erfindungsgemäß ist es möglich, daß die Lagerfläche eben, zylindrisch oder sphärisch ist oder eine andere für eine geeignete zwischen Lagerfläche und Gegenfläche vorgesehene Bewegung geeignete Gestalt aufweist.

[0026] Erfindungsgemäß ist es möglich, daß ein Mikrokanal z. B. mit halbkreisförmigem, rechteckförmigem, trapezförmigem Querschnitt ausgebildet ist. Der Querschnitt kann entlang der Kanallänge konstant bleiben oder in geringem Ausmaß variieren. Es können mehrere Mikrokanäle mit gleichen oder mit hinsichtlich Form und/oder Größe unterschiedlichen Querschnitten vorgesehen sein. Es ist möglich, daß ein Mikrokanal z. B. gelasert, gefräst, geschnitten, geschliffen, geätzt oder durch Verwendung einer Auftragstechnik für die umliegende Lagerfläche hergestellt ist

[0027] Es ist erfindungsgemäß möglich, daß der Düsenkanal an seiner Mündung an der Lagerfläche den kleinsten Querschnitt und damit den bestimmenden Düsenquerschnitt (auch Drosselquerschnitt bezeichnet) aufweist. Es ist ebenfalls möglich, daß der Düsenkanal an seiner Mündung zu einer Vorkammer erweitert ist, in die die Mikrokanäle einmünden. Eine derartige Vorkammer erfüllt die Funktion des Verteilens des von der Speisedruckquelle zugeführten Luftstroms (bzw. Gasstroms) auf die verschiedenen Mikrokanäle. Die Vorkammer führt aber auch zu einer Vereinfachung der Fertigung des Mikrokanalsystems. Beim Fertigen der Mikrokanäle sicherzustellen, daß diese in den Düsenkanal einmünden, erfordert dann eine geringere Fertigungsge nauigkeit und damit geringere Kosten, wenn der Düsenkanal zu einer Vorkammer erweitert ist.

[0028] Es ist möglich, daß das Lager für den Betrieb mit Luft, Edelgasen oder anderen Gasen vorgesehen ist. Im Hinblick auf das gewählte Schmiermedium ist die Bezeichnung aerostatisch nicht als beschränkend anzusehen.

[0029] Bevorzugt ist das Verhältnis der Summe der Querschnittsflächen von von dem Düsenkanal wegführenden Mikrokanälen des Mikrokanalsystems zu der Fläche des engsten Querschnitts des Düsenkanals kleiner als 1,85, vorzugsweise kleiner als 1,5, weiter vorzugsweise kleiner als 1,2, z. B. 0,3 oder 0,6 oder 0,9. Dadurch wird erreicht, daß die Druckverhältnisse an der Düsenmündung und der Druckabfall entlang dem Mikrokanalsystem unabhängig von der Gesamtbaugröße der Lagerfläche derart aufeinander abgestimmt sind, daß die Mikrokanäle erst in dem oberen Belastungsbereich des Luftlagers in Funktion treten. Im unteren Belastungsbereich ist bei den genannten Querschnittsverhältnissen der Strömungswiderstand in den Mikrokanälen groß im Vergleich zu dem Strömungswiderstand im Lagerspalt, so daß die Abströmung der Luft (ggf. eines anderen Schmiermediums) vorwiegend über den Lagerspalt erfolgt. Die Mikrokanäle treten somit kaum in Funktion. Bei zunehmender Last und entsprechend verminderter Weite des Lagerspalts ändert sich dies, z. B. langsam ansteigend ab 30% der maximalen Tragkraft. Im unteren Belastungsbereich kann somit eine Stabilitätsminderung durch die Mikrokanäle ausgeschlossen werden.

[0030] Bevorzugt ist die Summe der Querschnittsflächen von von dem Düsenkanal wegführenden Mikrokanälen des Mikrokanalsystems kleiner als $1 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2$ und größer als $2 \cdot 10^{-8} \text{ m}^2$, z. B. etwa $5 \cdot 10^{-8} \text{ m}^2$. Dadurch wird sichergestellt, daß auch bei sehr großen Düsenquerschnitten im unteren Lastbereich noch keine Tragkraftsteigerung über die Mikrokanäle erfolgt.

[0031] Bevorzugt nimmt die Summe der Grundfläche des Mikrokanalsystems von 0,1% bis 3,0%, vorzugsweise von 0,3% bis 1,0%, der Lagerfläche ein. Typischerweise nimmt die Summe der Grundfläche des Mikrokanalsystems bei relativ kleinen Lagern, d. h. Lagern mit einer maximalen Tragkraft von weniger als 2000 N (bzw. Abmessungen von weniger als 100 cm^2 Lagerfläche), etwa 1% der Lagerfläche ein, bei größeren Lagern etwa 0,3%. Es wird dadurch erreicht, daß einerseits eine allzu starke Schwächung des Lagerkörpers an der Lagerfläche ausgeschlossen wird, andererseits eine Fertigung der Kanäle ohne hohen apparativen und zeitlichen Aufwand möglich ist.

[0032] Bevorzugt weisen die Mikrokanäle des Mikrokanalsystems ein Verhältnis von Breite zu Tiefe von höchstens 10:1, vorzugsweise höchstens 4:1, auf. Weiter bevorzugt beträgt das Verhältnis mindestens 1:1. Dadurch wird sichergestellt, daß die Querschnitte der Kanäle auch angesichts von typischen Oberflächenunebenheiten der Lagerfläche nur geringe Ungenauigkeiten aufweisen und die Kanäle ihre Funktion als erst im oberen Lastbereich tragkrafterhöhend wirkende Struktur exakt erfüllen können. Eine zu flache Kanalstruktur würde dazu führen, daß die Kanäle lediglich als eine Erweiterung des Lagerspalts wirken und die angestrebte Lastabhängigkeit der Wirkungen der Kanäle nicht erreicht wird. Eine Kanalstruktur tiefer als breit würde dazu führen, daß stabilitätsmindernd das Totvolumen erhöht wird, ohne daß eine wesentliche Verminderung des Strömungswiderstandes in den Mikrokanälen die Folge ist.

[0033] Typischerweise wird ein Kanalprofil in Gestalt eines Kreissegments mit einem Radius von 0,1 mm und einer Tiefe von 0,06 mm ausgebildet, was einem Verhältnis von Breite zu Tiefe von 3:1 entspricht.

[0034] Bevorzugt weisen die Mikrokanäle des Mikrokanalsystems eine Querschnittsfläche von weniger als $2 \cdot 10^{-8} \text{ m}^2$, z. B. $0,2 \cdot 10^{-8} \text{ m}^2$, $0,5 \cdot 10^{-8} \text{ m}^2$, $1,1 \cdot 10^{-8} \text{ m}^2$, $1,3 \cdot 10^{-8} \text{ m}^2$, $1,5 \cdot 10^{-8} \text{ m}^2$, $1,8 \cdot 10^{-8} \text{ m}^2$, vorzugsweise etwa $1 \cdot 10^{-8} \text{ m}^2$, auf. Dadurch wird erreicht, daß die Kanäle infolge von Wandreibung einen ausreichenden Strömungswiderstand aufweisen, um den erforderlichen Druckabfall entlang der Kanäle sicherzustellen, der dazu führt, daß ein Druckaufbau erst bei geringen Spaltweiten, d. h. im höheren Lastbereich, zustandekommt.

[0035] Erfindungsgemäß ist es möglich, daß ein Kanal des Mikrokanalsystems bis zum Außenrand der Lagerfläche verläuft. Bevorzugt weist das Mikrokanalsystem jedoch nur Kanäle auf, die mit einem Abstand von dem

Außenrand der Lagerfläche verlaufen. Dadurch wird vermieden, daß ein Anteil des Luftstroms durch Kanäle aus dem Lager abgeführt wird und für die tragkraftherhöhende Druckerzeugung teilweise ungenutzt bleibt.

[0036] Es ist z. B. möglich, daß das Mikrokanalsystem ausschließlich unmittelbar von dem Düsenkanal wegführende Mikrokanäle aufweist. Das Mikrokanalsystem kann auch Kanäle aufweisen, die von unmittelbar von dem Düsenkanal wegführenden Mikrokanälen abzweigen. Dies hat den Vorteil, daß gleichzeitig eine optimale Gesamtlänge des Kanalsystems und eine optimale Verteilung von Kanälen über die Lagerfläche erreicht werden können. Bevorzugt wird ein Kanalsystem ausgebildet, bei dem von der Düsenmündung sechs Kanäle wegführen, die jeweils um 60° versetzt angeordnet sind (sternförmige Anordnung) oder ein Kanalsystem, bei dem von der Düsenmündung vier Kanäle wegführen, von denen jeweils zwei eine Gerade bilden, wobei die beiden Geraden einander in einem spitzen Winkel schneiden (andreas-kreuzförmige Anordnung). Ein Kanalsystem in Gestalt eines Andreaskreuzes ist auf der Lagerfläche derart angeordnet, daß sich dessen längere Ausdehnung quer zu der Richtung einer vorgesehenen Relativbewegung zwischen Lagerfläche und Gegenfläche erstreckt. Sowohl die andreas-kreuzförmige Anordnung als auch die sternförmige Anordnung kann z. B. mit Verzweigungen versehen sein, die in Richtung zu den Rändern der Lagerfläche erstrecken (Tannenbaumstruktur) oder die sich parallel zu den Rändern der Lagerfläche erstrecken (Umlaufkanal). Dies hat den Vorteil, daß druckerhöhende und damit tragkraftherhöhende Mikrokanäle nahe der Ränder und damit dort vorgesehen sind, wo infolge von Momentenbelastung besonders hohe Belastungen auftreten.

[0037] Erfindungsgemäß wird bevorzugt eine Kanalanordnung gewählt, bei der vermieden wird, daß über einen Mikrokanal zwischen zwei Bereichen der Lagerfläche ein Kurzschluß auftritt, von denen gleichzeitig in dem einen Bereich höchste Belastung herrscht, während in dem anderen Bereich geringe Belastung herrscht. Indem ein derartiger Kurzschluß ausgeschlossen wird, wird ein Tragkraftabfall infolge von Ausgleichsströmungen in dem Mikrokanalsystem verhindert.

[0038] So ist das aerostatische Luftlager bevorzugt ein Lager mit zylinderförmiger Lagerfläche und weist ein oder mehrere Teil-Mikrokanalsysteme auf, die jeweils von einem separaten Düsenkanal gespeist werden und sich jeweils nur in axialer Richtung erstrecken.

[0039] Erfindungsgemäß ist es möglich, daß das Luftlager neben dem Düsenkanal einen weiteren Düsenkanal oder mehrere weitere Düsenkanäle aufweist. Dabei ist es möglich, daß nicht für jeden Düsenkanal ein Mikrokanalsystem vorgesehen ist. Bevorzugt mündet in jeden Düsenkanal jeweils ein separates Mikrokanalsystem ein.

[0040] Wenn das Luftlager als Ein-Düsen-Luftlager ausgebildet ist, hat dies einen geringen Luftverbrauch zur Folge. Die Einzeldüse ist außerdem verhältnismäßig groß und somit unempfindlich gegen Verschmutzung. Bei einem Mikrokanalsystem mit Kanälen gleicher Gesamtkanallänge führt das Vorsehen nur einer Düse ferner zu einem größeren durchschnittlichen Abstand der Kanalabschnitte von der Düse. Infolgedessen sind die Abströmwege der Luft lang. Die Signallaufzeit, d. h. die Zeit, bis sich auf eine Lastveränderung und die folgende Veränderung der Lagerspaltweite hin die Strömungsverhältnisse entlang des gesamten Abströmweges auf die neue Spaltweite eingestellt haben, ist groß. Im Spalt erfolgt daher zunächst relativ lange eine polytrope Zustandsänderung, die unter Verlust von Energie wieder ausgeglichen wird. Eine gute Dämpfung ist die Folge.

[0041] Wenn das Luftlager als Mehr-Düsen-Luftlager ausgebildet ist, kann eine Konfiguration des Kanalsystems verwirklicht werden, die optimal auf die auf das Lager einwirkenden Belastungen abgestimmt ist. Die Position der Kanäle, insbesondere nahe den Rändern des Lagers, um etwa einwirkende Momentenlasten zu tragen, und die Länge der Kanäle können beide frei und unabhängig voneinander gestaltet werden.

[0042] Darüber hinaus ist ein Mehr-Düsen-Luftlager besonders geeignet, als Lager mit geringen Schwingungen ausgebildet zu werden. In dem Düsenkanal werden Geschwindigkeiten um Schallgeschwindigkeit erreicht. Infolgedessen können im Düsenkanal Unstetigkeiten bzw. Verdichtungsstöße auftreten, die Vibrationen erzeugen. Ist eine einzige, große Düse vorhanden, ist der Luftdurchsatz durch diese Düse relativ hoch, so daß die Amplituden der beim Auftreten von Unstetigkeiten erzeugten Schwingungen vergleichsweise groß sind. In einer Mehr-Düsen-Anordnung, ist der Luftdurchsatz durch jede einzelne Düse geringer, so daß auch die Amplituden der beim Auftreten von Unstetigkeiten erzeugten Schwingungen kleiner sind, weil die Unstetigkeiten in den unterschiedlichen Düsen idR nicht exakt zum selben Zeitpunkt auftreten.

[0043] Erfindungsgemäß ist es möglich, daß das aerostatische Luftlager eine Speisedruckquelle mit einem beliebigen geeigneten Speisedruck aufweist. Bevorzugt weist das aerostatische Luftlager jedoch eine Speisedruckquelle mit einem Speisedruck von mehr als 4 bar auf. Weiter bevorzugt ist eine Speisedruckquelle

vorgesehen, von der ein Speisedruck größer als 7 bar, vorzugsweise größer als 10 bar, an den Düsenkanal anlegbar ist. Durch diesen extrem hohen Speisedruck werden höchste Tragkräfte erzielt. Die üblicherweise im Zusammenhang mit derartig hohen Drücken, insbesondere bei Drücken von mehr als 7 bar, auftretenden Instabilitäten werden durch das Mikrokanalsystem ausgeschaltet.

[0044] Aufgrund des Eigengewichts der Bauteile des Lagers muß in einem aerostatischen Lager an den Düsenkanal zunächst ein Grenzdruck angelegt werden, damit Lagerfläche und Gegenfläche durch ein Luftpolster voneinander getrennt werden. Dieser erforderliche Grenzdruck kann z. B. durch Vorsehen von zusätzlichen Massen oder eine angestellte Lagerung vergrößert werden, was als Vorspannen des Lagers bezeichnet wird. Bei herkömmlichen Luftlagern wird ein starkes Vorspannen des Lagers vorgenommen, um bei hohen Speisedrücken auftretende Instabilitäten auszuschalten. Dies hat den Nachteil, daß die mit dem hohen Speisedruck erzielte hohe Tragkraft teilweise für das Aufheben der Vorspannung verbraucht wird und somit nur noch eine verminderte Tragkraft für die eigentlich mit dem Lager zu tragende Belastung zur Verfügung steht.

[0045] Besonders bevorzugt weist das erfindungsgemäße aerostatische Luftlager eine Speisedruckquelle auf, von der ein Speisedruck von mindestens 7 bar, insbesondere mindestens 10 bar, lieferbar ist, und ist mit einer Vorspannkraft vorgespannt, die weniger als 50%, vorzugsweise weniger als 33%, weiter vorzugsweise weniger als 20% der maximalen Tragkraft entspricht. Ein solches Lager stellt einen Belastungsbereich von bisher nicht erreichter Größenordnung bereit, weil einerseits ein sehr hoher Speisedruck lieferbar und damit eine hohe Gesamttragkraft erreichbar ist, andererseits lediglich ein sehr geringer Anteil der Gesamttragkraft für das Überwinden der Eigenlasten des Lagers bzw. der Vorspannung aufgebracht werden muß. Das Problem von Instabilitäten wird durch das Vorsehen der Mikrokanäle und das damit verbundene verbesserte Stabilitätsverhalten ausgeschaltet. Es ist daher nicht erforderlich, Instabilitäten durch eine starke Vorspannung des Lagers auszuschalten.

[0046] Ausführungsformen der Erfindung werden unter Bezugnahme auf die Zeichnung beschrieben. In der Zeichnung zeigt:

[0047] [Fig. 1](#) eine ausgebrochene perspektivische Darstellung von Lagerkörper und Gegenkörper einer Ausführungsform des erfindungsgemäßen aerostatischen Luftlagers;

[0048] [Fig. 2a](#) bis f Grundrisse des Mikrokanalsystems in den Lagerkörpern von Luftlagern gemäß unterschiedlichen Ausführungsformen des erfindungsgemäßen aerostatischen Luftlagers;

[0049] [Fig. 2g](#) bis i Querschnitte von Mikrokanälen in den Lagerkörpern von Luftlagern gemäß unterschiedlichen Ausführungsformen des erfindungsgemäßen aerostatischen Luftlagers;

[0050] [Fig. 3](#) eine ausgebrochene perspektivische Darstellung eines Lagerkörpers mit zylindrischer Lagerfläche, Düsenkanälen und Mikrokanalsystem gemäß einer Ausführungsform des erfindungsgemäßen Luftlagers;

[0051] [Fig. 4](#) eine Prinzipdarstellung eines erfindungsgemäßen Luftlagers zusammen mit Verteilungen des Druckes über der Lagerfläche bei großer und kleiner Spaltweite, aus denen die Wirkungsweise der Erfindung ersichtlich ist;

[0052] [Fig. 5a–c](#) Prinzipdarstellungen von herkömmlichen Luftlagern mit einer einfachen Düse ([Fig. 5a](#)), mit einer Tasche ([Fig. 5b](#)) bzw. mit Mikrodüsen ([Fig. 5c](#)) zusammen mit Verteilungen des Druckes über der Lagerfläche bei großer und kleiner Spaltweite; und

[0053] [Fig. 6](#) eine Prinzipdarstellung, aus der ein Vergleich der Kennlinien der Tragkraft über der Spaltweite des Lagerspalts für ein herkömmliches Düsenlager und ein erfindungsgemäßes Mikrokanallager ersichtlich ist.

[0054] Aus [Fig. 1](#) ist eine ausgebrochene perspektivische Darstellung einer Ausführungsform eines erfindungsgemäßen aerostatischen Luftlagers ersichtlich. Ein Gegenkörper **2** weist an seiner in der Figur unteren Seite eine eben ausgebildete Gegenfläche **21** auf. Der Gegenfläche **21** gegenüberliegend ist eine ebene Lagerfläche **11** eines Lagerkörpers **1** angeordnet. In dem Lagerkörper **1** ist diesen durchtretend ein Düsenkanal **12** ausgebildet, der im Zentrum der Lagerfläche **11** mündet. Der Düsenkanal **12** ist an eine Speisedruckquelle angeschlossen (nicht gezeigt). Der Düsenkanal **12** ist als zylindrischer Kanal ausgebildet und weist an seiner Mündung eine zylindrische Erweiterung als Vorkammer **122** auf. In dem Abschnitt der Vorkammer **122** münden an dem seitlichen Rand **121** des Düsenkanals **12** in diesen vier Mikrokanäle **131** eines Mikrokanalsystems **13**. Jeder der Mikrokanäle **131** ist zu der Lagerfläche **11** hin offen und erstreckt sich von dem Düsenkanal **12**

entlang der Lagerfläche **11** gerade zu dem Außenrand **111** der Lagerfläche **11** hin und endet in einem Abstand von dem Außenrand **111**. Jeweils zwei der Mikrokanäle **131** verlaufen entlang einer Geraden und münden an einander gegenüberliegenden Punkten des Randes **121** des Düsenkanals **12** in diesen. Die beiden Geraden schneiden sich in spitzem Winkel, so daß ein Mikrokanalsystem **131** in Gestalt eines Andreaskreuzes gebildet ist. Jeder der Mikrokanäle **131** hat einen Querschnitt von $6,0 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2$. Der Düsenkanal **12** hat in dem der Vorkammer **122** vorgeschalteten Abschnitt einen Querschnitt von $3,0 \cdot 10^{-8} \text{ m}^2$. Damit entspricht die Summe der Querschnitte aller vier in den Düsenkanal **12** mündenden Mikrokanäle **131**, der Mikrokanalgesamtquerschnitt, dem 0,8fachen des engsten Querschnitts des Düsenkanals **12**.

[0055] Ein bevorzugtes Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Luftlagers weist die folgenden Daten auf:

Gestalt der Lagerfläche	rechteckig (entsprechend Figur 1)
Flächeninhalt der Lagerfläche	$1,2 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$
Querschnitt des Düsenkanals	$3,0 \cdot 10^{-8} \text{ m}^2$
Gestalt des Mikrokanalsystems	Andreaskreuz
Anzahl von Mikrokanälen	4
Querschnitt pro Kanal	$6,0 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2$
Speisedruck	6 bar ($6,0 \cdot 10^5 \text{ Pa}$)
Maximale Tragkraft	500 N
Maximale Steifigkeit	80 N/Mikrometer

[0056] Aus den [Fig. 2a](#) bis [Fig. 2f](#) sind unterschiedliche Grundrisse von Mikrokanalsystemen **13** ersichtlich. Aus [Fig. 2a](#) ist der Grundriß des Mikrokanalsystems **13** gemäß [Fig. 1](#) ersichtlich.

[0057] Aus [Fig. 2b](#) ist eine im Grundriß sternförmige Anordnung von Mikrokanälen **131** ersichtlich. Die Anordnung schließt Mikrokanäle **131** gemäß der aus [Fig. 2a](#) ersichtlichen Anordnung ein, weist jedoch weitere vier gerade verlaufende Mikrokanäle **131** auf, die sich jeweils zwischen zwei benachbarten der der [Fig. 2a](#) entsprechenden Mikrokanäle **131** von dem Düsenkanal **12** ausgehend erstrecken.

[0058] Aus [Fig. 2c](#) und [Fig. 2d](#) ist jeweils ein Mikrokanalsystem **13** mit vier Mikrokanälen **131** ersichtlich, die sich ausgehend von dem Düsenkanal **12** wie bei dem Mikrokanalsystem **13** gemäß [Fig. 2a](#) in Gestalt eines Andreaskreuzes erstrecken. Das aus [Fig. 2c](#) ersichtliche Mikrokanalsystem **13** weist eine Tannenbaumstruktur auf. Von jedem der Mikrokanäle **131** zweigen je zwei Zweigkanäle **132** ab, die sich in Richtung zu den Rändern der Lagerfläche erstrecken.

[0059] Das aus [Fig. 2d](#) ersichtliche Mikrokanalsystem **13** weist eine Umlaufkanalstruktur auf. Von jedem der Mikrokanäle **131** zweigen je zwei Zweigkanäle **132** ab, die sich parallel zu den Rändern der Lagerfläche **11** erstrecken.

[0060] Die Mikrokanalsysteme **13** gemäß den [Fig. 2a](#) bis [Fig. 2d](#) entsprechen einem Ein-Düsen-Lager. Aus den [Fig. 2e](#) und [Fig. 2f](#) ist jeweils ein Mikrokanalsystem **13** eines Mehr-Düsen-Lagers ersichtlich. Bei dem aus [Fig. 2e](#) ersichtlichen Mikrokanalsystem **13** münden an der rechteckigen Lagerfläche **11** vier Düsenkanäle **12**, wobei jeder der Düsenkanäle **12** in einem Eckbereich der Lagerfläche **11** mündet. Von jedem der Düsenkanäle **12** gehen drei Mikrokanäle **131** aus, wovon sich einer in Richtung zu der dem jeweiligen Eckbereich zugeordneten Ecke der rechteckigen Lagerfläche **11** erstreckt, einer in Richtung zu der Mitte der einen den jeweiligen Eckbereich der Lagerfläche **11** bildenden Seite der Rechtecksfläche erstreckt, und einer in Richtung zu der Mitte der anderen den jeweiligen Eckbereich der Lagerfläche **11** bildenden Seite der Rechtecksfläche erstreckt. Dabei enden aber alle Mikrokanäle **131** mit einem deutlichen Abstand vor dem Rand der Lagerfläche **11**.

[0061] Das aus [Fig. 2f](#) ersichtliche Mikrokanalsystem **13** weist eine dem Mikrokanalsystem **13** gemäß [Fig. 2e](#) etwa entsprechende Kanalstruktur auf mit dem Unterschied, daß zwei zusätzliche Düsenkanäle **12** an der Lagerfläche **11** vorgesehen sind, die jeweils mit einem Abstand von dem Rand der rechteckigen Lagerfläche **11** in der Mitte je einer der längeren Seiten des Rechtecks münden. Von jeder dieser Düsenmündungen **12**

gehen jeweils zwei Mikrokanäle **131** aus, die sich jeweils in Richtung zu einer der Ecken der rechteckigen Lagerfläche **11** erstrecken, an denen die zugeordnete Seite des Rechtecks endet.

[0062] Aus den [Fig. 2g](#) bis [i](#) sind Querschnitte von Mikrokanälen in den Lagerkörpern von Luftlagern gemäß unterschiedlichen Ausführungsformen des erfindungsgemäßen aerostatischen Luftlagers ersichtlich. Aus [Fig. 2g](#) ist ein Querschnitt in Gestalt eines Kreissegments, aus [Fig. 2h](#) ein Querschnitt in Gestalt eines Dreiecks und aus [Fig. 1i](#) ein Querschnitt in Gestalt eines Rechtecks ersichtlich.

[0063] Aus [Fig. 3](#) ist ein Lagerkörper **1** mit zylindrischer Lagerfläche **11** ersichtlich. In dem Lagerkörper **1** sind entlang dem Umfang in regelmäßigen Abständen Düsenkanäle **12** vorgesehen, von denen ausgehend sich jeweils ein Mikrokanalsystem **13** mit je zwei in Axialrichtung des Lagers verlaufenden Mikrokanälen **131** erstreckt.

[0064] [Fig. 4](#) ist eine Prinzipdarstellung eines erfindungsgemäßen Luftlagers zusammen mit Verteilungen des Druckes über der Lagerfläche einmal bei einer relativ großen und einmal bei einer relativ kleinen Spaltweite ersichtlich. Aus den Druckverteilungen bei den unterschiedlichen Betriebszuständen ist die Wirkungsweise der Erfindung ersichtlich. Aus der in der Figur linken Darstellung mit großer Spaltweite ist ein Betriebszustand ersichtlich, der in dem Bereich der Kennlinie des aerostatischen Luftlagers liegt, in dem die Tragkraft weniger als ein Drittel der maximalen Tragkraft beträgt. Die Druckverteilung unterscheidet sich nicht wesentlich von der eines herkömmlichen Düsenluftlagers. Der Druck fällt ausgehend von der Düsenmündung **12** bzw. der zugehörigen Vorkammer **122** parabolisch ab. Die Mikrokanäle sorgen nicht für eine Druckerhöhung in peripheren Bereichen der Lagerfläche. Die Belastung des erfindungsgemäßen aerostatischen Luftlagers beträgt etwa 20% der maximalen Tragkraft, also wesentlich weniger als 50%. Das Gesamtvolumen von Kanälen des Mikrokanalsystems **13** beträgt bei diesem Betriebszustand weit weniger als ein Zehntel, z. B. ein Dreißigstel des Volumens zwischen der Lagerfläche **11** und der Gegenfläche **12**, also des Produktes aus Spaltweite und Flächeninhalt der kleineren Fläche von Lagerfläche **11** und Gegenfläche **12**. Dementsprechend fällt das Gesamtvolumen und somit die Luftleitfähigkeit des Mikrokanalsystems **13** in diesem Betriebsbereich nicht ins Gewicht und beeinflusst insbesondere nicht das Stabilitätsverhalten des Luftlagers nachteilig.

[0065] Aus der in der Figur rechten Darstellung mit geringer Spaltweite ist ein Betriebszustand ersichtlich, der in dem Bereich der Kennlinie des aerostatischen Luftlagers liegt, in dem die Tragkraft mehr als ein Drittel der maximalen Tragkraft, z. B. 60%, beträgt. Die Druckverteilung unterscheidet sich erheblich von der herkömmlicher Düsenluftlager. In den Bereichen der Mikrokanäle **131** steigt der Druck gegenüber den Bereichen an der Düsenmündung **12** und den Bereichen fernab der Mikrokanäle **131**, wie anhand eines Vergleichs mit der linken Druckverteilung ersichtlich ist, stark überproportional an. Dadurch wird in dem Kennlinienbereich erhöhter Belastung eine enorme Verbesserung der Tragkraft und der Steifigkeit des Luftlagers erzielt. In diesem Betriebszustand ist das Verhältnis des Gesamtvolumens zu dem Volumen zwischen der Lagerfläche **11** und der Gegenfläche **12** deutlich höher und damit spielt die Luftleitfähigkeit von Kanälen des Mikrokanalsystems **13** im Verhältnis eine erhöhte Rolle.

[0066] Aus [Fig. 5a–c](#) sind Prinzipdarstellungen von herkömmlichen Luftlagern mit einer einfachen Düse ([Fig. 5a](#)), mit einer Tasche ([Fig. 5b](#)) bzw. mit Mikrodüsen ([Fig. 5c](#)) zusammen mit Verteilungen des Druckes über der Lagerfläche einmal bei einer großen und einmal bei einer kleinen Spaltweite ersichtlich. Aus einem Vergleich dieser Darstellungen mit denen gemäß [Fig. 4](#) ist ersichtlich, welche Unterschiede sich bei dem erfindungsgemäßen Luftlager im Vergleich zu den unterschiedlichen Typen von herkömmlichen Luftlagern ergeben.

[0067] Aus dem Vergleich der linken Druckverteilungen aus [Fig. 4](#) und [Fig. 5a](#) ist ersichtlich, daß sich bei Betriebszuständen mit großer Spaltweite die Druckverteilung nicht wesentlich von der eines herkömmlichen Düsenluftlagers unterscheidet. D. h. die Vorteile des günstigen Stabilitätsverhaltens von Düsenluftlagern ohne Taschen bleiben bei den erfindungsgemäßen Luftlagern erhalten. Aus dem Vergleich der rechten Druckverteilungen aus [Fig. 4](#) und [Fig. 5a](#) ist ersichtlich, daß sich bei Betriebszuständen mit kleiner Spaltweite bei erfindungsgemäßen Luftlagern infolge der überproportionalen Drucksteigerung in den Bereichen der Mikrokanäle **131** eine viel größere Fläche unter der Druckkurve ergibt und dadurch Tragkraft und Steifigkeit größer sind.

[0068] Aus dem Vergleich der rechten Druckverteilungen aus [Fig. 4](#) und [Fig. 5b](#) ist ersichtlich, daß diese überproportionale Erhöhung des Druckes im Bereich der Mikrokanäle und die damit verbundene stärkere Vergrößerung der Fläche unter der Druckkurve bei Betriebszuständen mit kleiner Spaltweite bei den erfindungsgemäßen Luftlagern dazu führt, daß eine ähnlich oder genauso große Tragkraft und Steifigkeit erzielt wird, wie bei Luftlagern mit Taschen gemäß [Fig. 5b](#). Im Vergleich zu den aus [Fig. 5b](#) ersichtlichen Luftlagern mit

Taschen ist jedoch im Betriebsbereich großer Spaltweiten das Stabilitätsverhalten bei den erfindungsgemäßen Luftlagern erheblich besser.

[0069] Aus dem Vergleich der rechten Druckverteilungen aus [Fig. 4](#) und [Fig. 5c](#) ist ersichtlich, daß die überproportionale Erhöhung des Druckes im Bereich der Mikrokanäle und die damit verbundene stärkere Vergrößerung der Fläche unter der Druckkurve bei Betriebszuständen mit kleiner Spaltweite bei den erfindungsgemäßen Luftlagern dazu führt, daß sie sogar eine ähnliche oder genauso große Tragkraft und Steifigkeit aufweisen wie Luftlager mit Mikrodüsen. Wegen des verhältnismäßig geringen Volumens des Mikrokanalsystems **13** ist gleichzeitig im Betriebsbereich großer Spaltweiten das Stabilitätsverhalten bei den erfindungsgemäßen Luftlagern mindestens ebenso gut wie bei den aus [Fig. 5c](#) ersichtlichen Luftlagern mit Mikrodüsen.

[0070] Wie aus dem Vergleich der linken Druckverteilungen aus [Fig. 4](#) und [Fig. 5c](#) ersichtlich ist, ist bei den erfindungsgemäßen Luftlagern bei gleicher Spaltweite im Betriebsbereich großer Spaltweiten die Fläche unter der Druckkurve kleiner als bei den Luftlagern mit Mikrodüsen. Dies führt dazu, daß sich bei den erfindungsgemäßen Luftlagern bereits bei geringerer Last geringere Spaltweiten einstellen. Dies führt bereits bei geringeren Lasten zu einer Verringerung des schwingungsfähigen Luftpolsters, so daß bereits bei geringeren Lasten eine hohe Stabilität gewährleistet ist. Das Stabilitätsverhalten erfindungsgemäßer Luftlager ist daher im Bereich geringerer Lasten sogar besser als das von Luftlagern mit Mikrodüsen.

[0071] Aus [Fig. 6](#) ist ein Vergleich der Kennlinien der Tragkraft über der Spaltweite des Lagerspalts für ein herkömmliches Düsenlager und ein erfindungsgemäßes Mikrokanallager ersichtlich. Es handelt sich jeweils um Ein-Düsen-Lager. Das Mikrokanalsystem **13** wirkt erst bei Traglasten, die etwa einem Drittel der maximalen Gesamttragkraft des Mikrokanallagers (Maximaltragkraft) entsprechen. Daher weist das herkömmliche Düsenlager ohne Mikrokanäle bei geringer Last unter einem Viertel der Maximaltragkraft des Mikrokanallagers die gleiche Kennlinie auf wie das Mikrokanallager. Bei einem Viertel der Maximaltragkraft des Mikrokanallagers (entsprechend etwa einer Spalthöhe von 10 bis 25 Mikrometer) stellt sich in der Kennlinie des herkömmlichen Düsenlagers ein Wendepunkt ein. Bei geringer werdenden Spalthöhen wird die Kennlinie weniger steil und verläuft über einen relativ großen Bereich von Spaltweiten annähernd horizontal bis zur Spaltweite $h = 0$. Die Kennlinie des herkömmlichen Düsenlagers erreicht hier ihre maximale Tragkraft, die etwa einem Drittel der Maximaltragkraft des Mikrokanallagers entspricht. Die Kennlinie des Mikrokanallagers verläuft, wie aus [Fig. 6](#) ersichtlich ist, auch bei geringeren Spaltweiten, als dem Wendepunkt der Kennlinie des herkömmlichen Lagers entspricht, steil. In diesem Bereich kommt die Wirkung der Mikrokanäle zum tragen. Bei geringeren Spaltweiten erhöht sich die Tragkraft weiter deutlich. Der Wendepunkt der Kennlinie des Mikrokanallagers stellt sich je nach Baugröße und Bauart erst bei einer Spaltweite von 4 bis 8 Mikrometern ein. Die Tragkraft erreicht etwa den dreifachen Wert des herkömmlichen Düsenlagers.

Patentansprüche

1. Aerostatisches Luftlager mit

- a) einem eine Gegenfläche (**21**) aufweisenden Gegenkörper (**2**),
- b) einem Lagerkörper (**1**),
der eine der Gegenfläche (**21**) zugewandte Lagerfläche (**11**) aufweist,
in dem ein an der Lagerfläche (**11**) mündender Düsenkanal (**12**) ausgebildet ist, der an eine einen Speisedruck liefernde Speisedruckquelle angeschlossen ist und
in dem ein von dem Düsenkanal (**12**) wegführendes an der Lagerfläche (**11**) entlang verlaufendes zu dieser hin offenes Mikrokanalsystem (**13**) ausgebildet ist, das sich mindestens entlang einer Richtung der Lagerfläche (**11**) über den überwiegenden Teil der Lagerfläche (**11**) erstreckt,
- c) einer durch die Gestalt des Lagerkörpers (**1**) und des Gegenkörpers (**2**) sowie den Speisedruck bestimmten statischen Kennlinie der Tragkraft in Funktion der Spaltweite zwischen Lagerfläche (**11**) und Gegenfläche (**21**), wobei
- d) die Querschnitte des Mikrokanalsystems (**13**) derart klein sind, daß das Gesamtvolumen von Kanälen des Mikrokanalsystems (**13**) bei den Betriebszuständen der Kennlinie, bei denen die Tragkraft bis zu 50% der maximalen Tragkraft beträgt, weniger als 10% des Volumens zwischen der Lagerfläche (**11**) und der Gegenfläche (**12**) beträgt.

2. Aerostatisches Luftlager gemäß Anspruch 1, wobei das Verhältnis der Summe der Querschnittsflächen von von dem Düsenkanal (**12**) wegführenden Mikrokanälen (**131**) des Mikrokanalsystems (**13**) zu der Fläche des engsten Querschnitts des Düsenkanals (**12**) kleiner als 1,85 ist.

3. Aerostatisches Luftlager gemäß Anspruch 1 oder 2, wobei die Summe der Querschnittsflächen der von dem Düsenkanal (12) wegführenden Mikrokanäle (131) kleiner als $1 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2$ und größer als $2 \cdot 10^{-8} \text{ m}^2$ ist.
4. Aerostatisches Luftlager gemäß einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei die Summe der Grundfläche des Mikrokanalsystems (13) von 0,1% bis 3,0% der Lagerfläche (11) einnimmt.
5. Aerostatisches Luftlager gemäß einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei die Mikrokanäle (131) des Mikrokanalsystems (13) ein Verhältnis von Breite zu Tiefe von höchstens 10:1 aufweisen.
6. Aerostatisches Luftlager gemäß einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei die Mikrokanäle (131) des Mikrokanalsystems (13) eine Querschnittsfläche von weniger als $2 \cdot 10^{-8} \text{ m}^2$ aufweisen.
7. Aerostatisches Luftlager gemäß einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei die Kanäle des Mikrokanalsystems (13) mit einem Abstand von dem Außenrand (111) der Lagerfläche (11) verlaufen.
8. Aerostatisches Luftlager gemäß einem der Ansprüche 1 bis 7, das eine Speisedruckquelle aufweist, von der an den Düsenkanal (12) ein Speisedruck von größer als 4 bar lieferbar ist.
9. Aerostatisches Luftlager gemäß einem der Ansprüche 1 bis 8, das eine Vorspannung mit einer Vorspannkraft aufweist, die weniger als 50% der maximalen Tragkraft entspricht.
10. Aerostatisches Luftlager gemäß einem der Ansprüche 1 bis 9, wobei das Mikrokanalsystem (13) eine Tannenbaumstruktur mit mindestens vier von dem Düsenkanal (12) wegführenden Mikrokanälen (131) und mindestens acht von den Mikrokanälen (131) abzweigenden Zweigkanälen (132), die sich in Richtung zu den Rändern der Lagerfläche erstrecken, aufweist.
11. Aerostatisches Luftlager gemäß Anspruch 10, wobei die Mikrokanäle (131) und die Zweigkanäle (132) Sackkanäle sind.

Es folgen 7 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

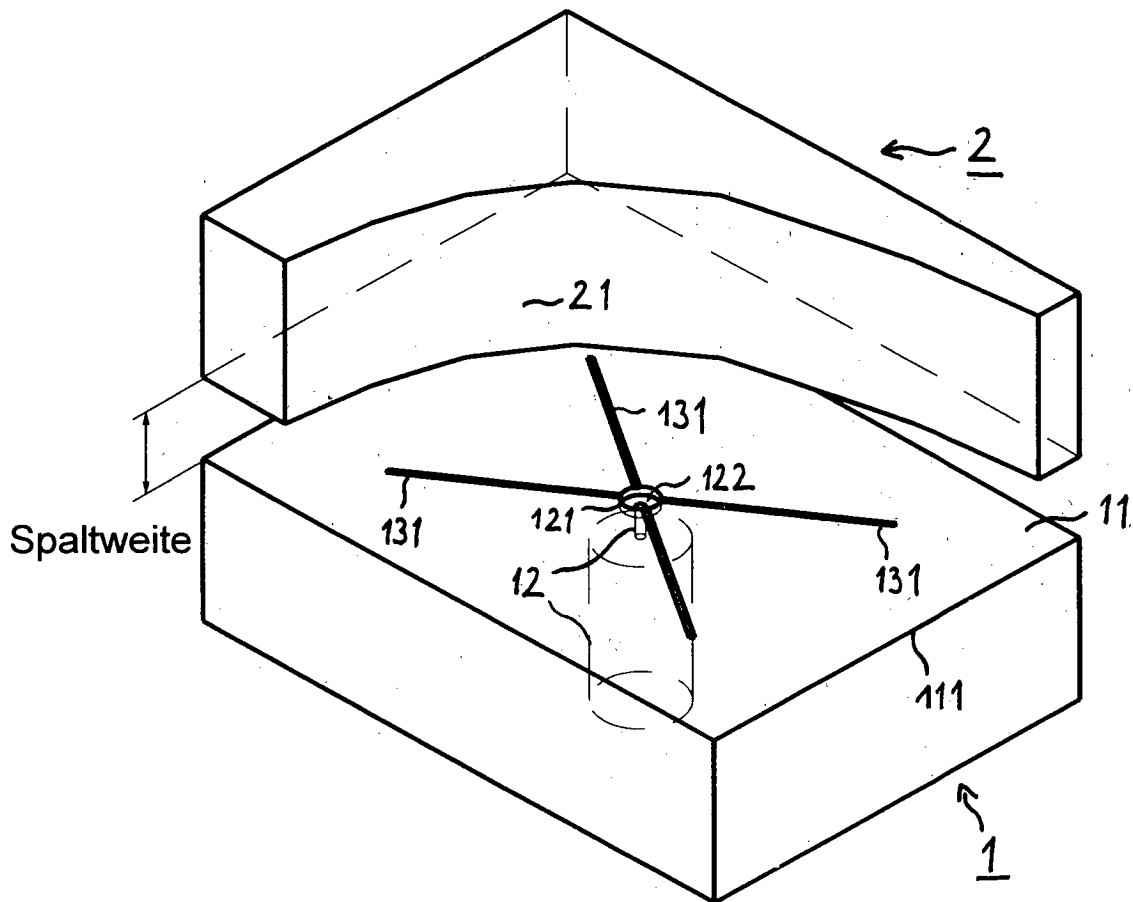


Fig. 1

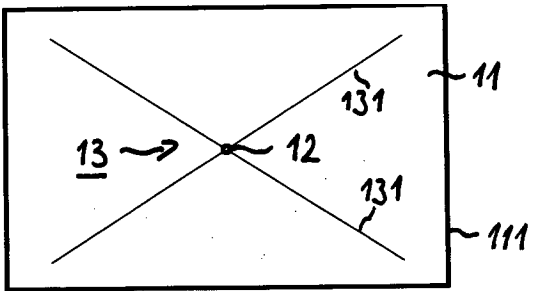


Fig. 2a

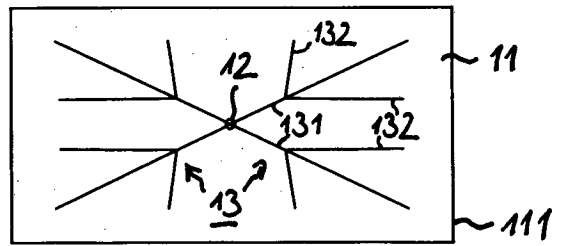


Fig. 2c

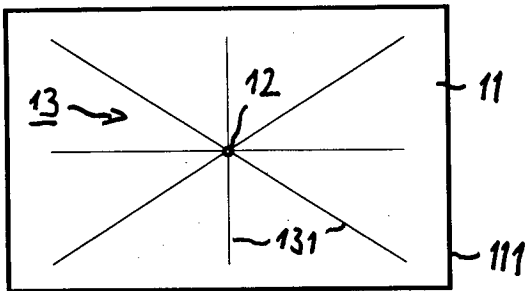


Fig. 2b

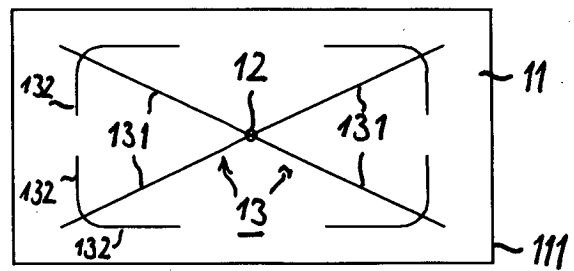


Fig. 2d

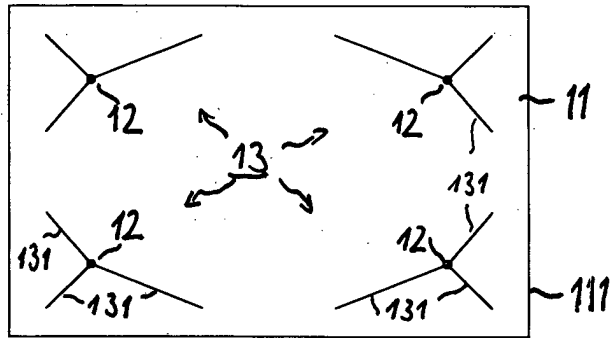


Fig. 2e

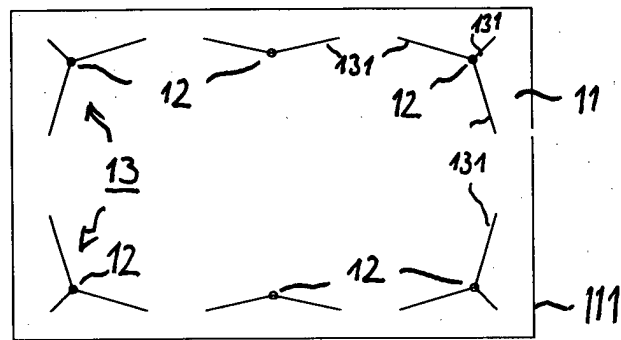


Fig. 2f

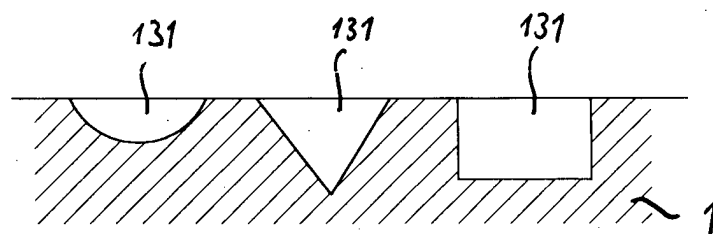


Fig. 2g

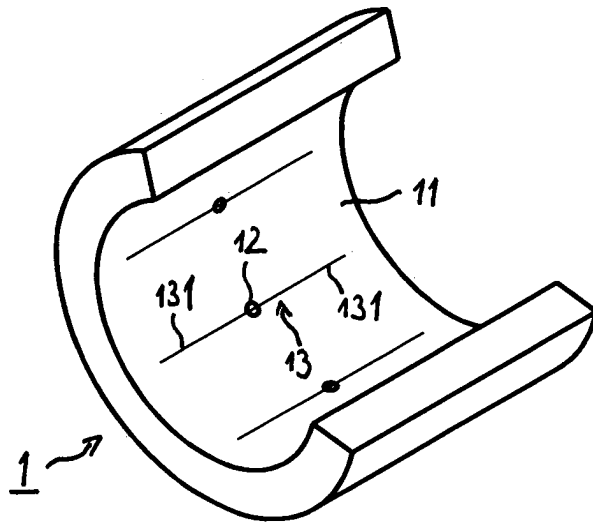


Fig. 3

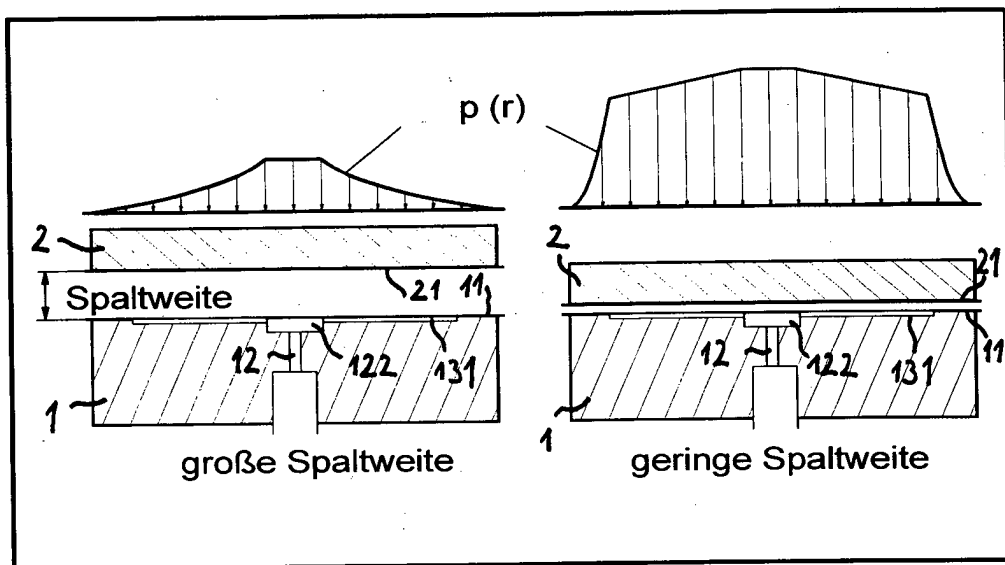


Fig. 4

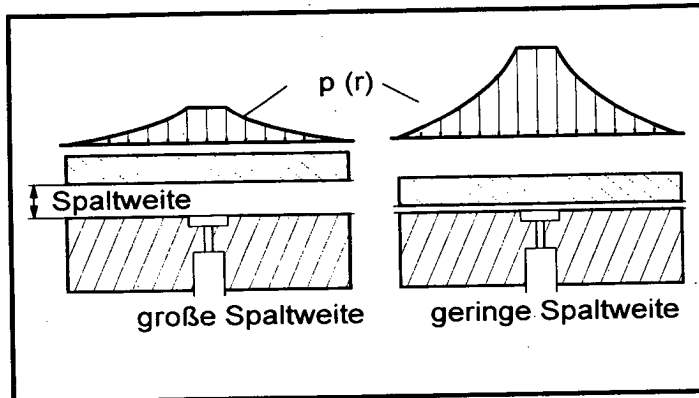


Fig. 5a (Stand der Technik)

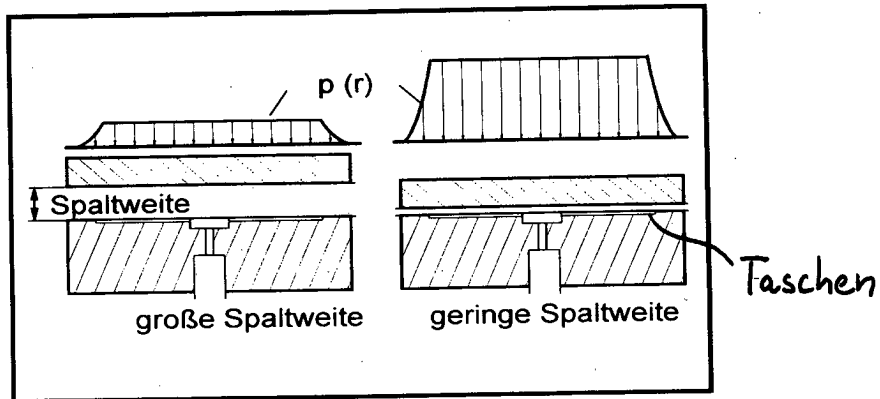


Fig. 5b (Stand der Technik)

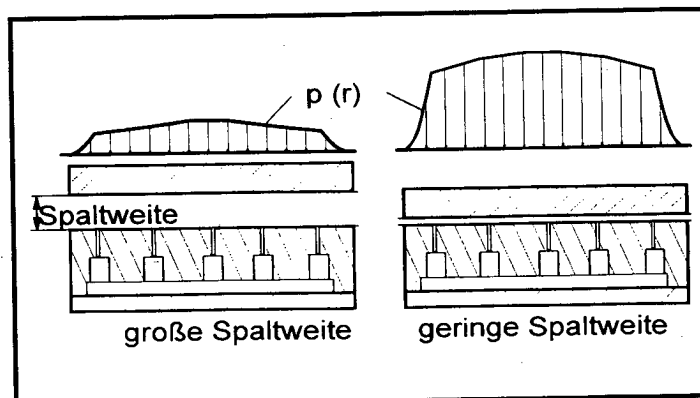


Fig. 5c (Stand der Technik)

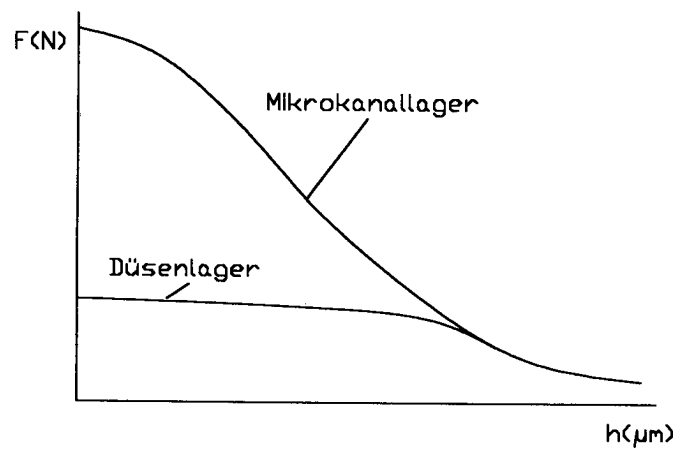


Fig. 6