



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

Veröffentlichungsnummer:

**0 042 044
A1**

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

Anmeldenummer: **81102534.5**

Int. Cl.³: **F 04 D 19/02, F 04 D 29/54**

Anmeldetag: **03.04.81**

Priorität: **13.06.80 DE 3022206**

Anmelder: **M.A.N. MASCHINENFABRIK
AUGSBURG-NÜRNBERG Aktiengesellschaft,
Bahnhofstrasse 66, D-4200 Oberhausen 11 (DE)**

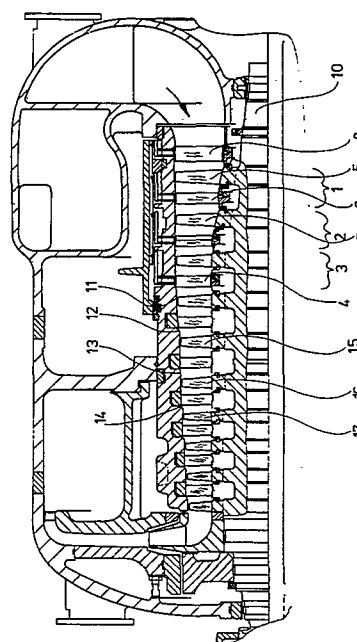
Veröffentlichungstag der Anmeldung: **23.12.81**
Patentblatt 81/51

Erfinder: **Griepentrog, Hartmut, Dr.-Ing., Veltstrasse 17,
D-1000 Berlin 27 (DE)**
Erfinder: **Weinrich, Hellmut, Schillerstrasse 1,
D-7922 Königsbrunn-Zang (DE)**

Benannte Vertragsstaaten: **CH DE FR GB IT LI NL**

54 Axialverdichter mit verschobener Pumpgrenze.

57 Ein- oder mehrstufiger Axialverdichter mit axial hintereinander angeordneten, zu Stufen (1, 2, 3) zusammengefaßten Leitschaufel- und Laufschaufelkränzen (4, 6; 5, 7), und mit einer oder mehreren aus der Innenfläche des die Schaufelkränze umgebenden Gehäuses nach innen vorstehenden, zirkumferential um die Achse verlaufenden Schwellen (12, 13, 14), die nach Art einer Treppe abgestuft sind und in Strömungsrichtung unmittelbar vor den Laufschaufeln auf der Gehäuseinnenwand (11) angeordnet sind, so daß im Bereich der Laufschaufel-Spitzen die Stromlinien verdichtet sind. Die Schwellen schnüren den freien Gesamtquerschnitt des Gehäuses auf eine Querschnittsfläche zwischen 80–99%, vorzugsweise zwischen 95–99%, der vor der Schwelle bestehenden Querschnittsfläche ein.



EP 0 042 044 A1



- 1 Die Erfindung betrifft einen ein- oder mehrstufigen
Axialverdichter mit axial hintereinander angeordneten,
zu Stufen zusammengefaßten Leitschaufel- und Laufschaufelkränzen, und mit einer oder mehreren aus der Innen-
5 fläche des die Schaufelkränze umgebenden Gehäuses nach
innen vorstehenden, zirkumferential um die Achse ver-
laufenden Schwellen, die nach Art einer Treppe abge-
stuft sind.
- 10 Eine solche Vorrichtung ist in der DE-PS 809 842 be-
schrieben. Die in Strömungsrichtung erforderlichen Ver-
änderungen des Innendurchmessers sind bei dieser Vor-
richtung durch stufenweise Einengung durchgeführt. Da-
bei sind die genannten Schwellen sowohl an der Innen-
15 seite des Gehäuses als auch an der Außenseite des
Rotors vorhanden. Die Schwellenoberflächen sind vorzugs-
weise jeweils zylindrisch oder konisch geführt. Die
Strömungsführung soll durch die Schwellen dahingehend
verbessert werden, daß die Ablösungsgefahr der Strömung
20 beim Laufrad außen und beim Leitrad innen bei Verschie-
bung der Axialgeschwindigkeit verringert wird. Zu einer
solchen Verschiebung der Axialgeschwindigkeit ist man
- nach Aussage der genannten Patentschrift - dann unter
Umständen gezwungen, um bei hohen Umfangsgeschwindig-
25 keiten Schwierigkeiten hinsichtlich der Machzahl zu ver-
meiden. Damit ist angedeutet, daß die bekannte Vorrich-
tung insbesondere bei Verschiebung zu hohen Drehzahlen
eine Verbesserung der Strömung ermöglichen sollte.
- 30 Die Zeichnung der genannten Patentschrift und die ent-
sprechende Beschreibung zeigen einen Teil des Strömungs-
kanals eines Axialverdichters. Es ist daraus ersichtlich,
daß in Strömungsrichtung sich der Strömungskanal jeweils
im Fußbereich vor den nachfolgenden Leit- und Laufschaufeln verengt. Dazu sind Schwellen in der Umfangslinie
35 sowohl des Gehäuses als auch des Rotors ausgebildet.

- 1 Diese Anordnung ist nicht geeignet, die Pumpgrenze des Verdichters, d. h. das Abreißen der Strömung an den Schaufeln bei kleineren Fördermengen, zu verhindern. Mit kleiner werdenden Durchsätzen, insbesondere bei
- 5 Verzögerungsgittern, steigt die Tendenz zur Ablösung der Strömung auf der Saugseite der Schaufeln. Diese Abreißeigenschaft ist bei Gittern beliebiger Form festzustellen; sie ist unabhängig von der Bewegung des Gitters, wenn die Strömung relativ zum Gitter betrachtet wird.
- 10 Die Ablösungstendenz ist also bei Leit- und Laufschaufeln von Axialverdichtern vorhanden. Außerdem tritt die Ablösung nicht an allen Schaufeln einer Verdichterstufe gleichzeitig ein, sondern zunächst nur an einzelnen oder an mehreren Stellen des Laufschaufelgitters (vgl. Darstellung auf S. 478/479 des Buches
- 15 ECKERT/SCHNELL "Axial- und Radialkompressoren", Springer-Verlag 1961).
- Es besteht aber auch die Möglichkeit, daß diese Erscheinung, wenn sie einmal begonnen hat, sofort verstärkt wird und das ganze Strömungssystem im Verdichter dadurch aus dem Gleichgewicht kommt, d. h. das Arbeiten des Verdichters wird labil. Diesen Vorgang bezeichnet man allgemein mit "Pumpen", die Grenze, bei der das "Pumpen" eintritt, als "Pumpgrenze".
- 20
- 25 Es stellt sich damit die Aufgabe, einen Axialverdichter der eingangs genannten Art insbesondere in Bereichen niedriger Drehzahlen in seinem Verhalten zu verbessern, d. h. insbesondere dann das Ablösen der Strömung zu
- 30 verhindern, um damit die Pumpgrenze zu niedrigeren Fördermengen zu verschieben. Erreicht werden soll also primär nicht eine Verbesserung im Auslegungspunkt des Verdichters, sondern eine Vergrößerung des Arbeitsbereiches. Wie die Erfahrung zeigt, ist es dazu erforderlich, die Strömung in axialer Richtung an der Laufschaufelspitze zu erhöhen, wenn z. B. die Umfangsgeschwindigkeit gesenkt wird.
- 35

1 Diese Aufgabe wird gelöst bei einem Axialverdichter der
genannten Art, indem die Schwellen in Strömungsrichtung
unmittelbar vor den Laufschaufeln auf der Gehäuseinnen-
wand angeordnet sind, so daß im Bereich der Laufschaufel-
5 fel-Spitzen die Stromlinien verdichtet sind.

Zur Vermeidung des Strömungsabrisses ist auch bekannt
(DE-AS 2 351 308), einen profilierten, vor einem Lauf-
schaufelkranz angeordneten, zur Maschinenachse konzen-
10 trischen Ring anzuordnen, dessen äußere Ringfläche mit
der Gehäusewand einen ringförmigen, in Strömungsrichtung
konvergierenden Kanal bildet. Der Lösungsvorschlag gemäß
der DE-AS 2 351 308 ist zwar durchaus realisierbar, be-
deutet jedoch in der Praxis relativ hohe zusätzliche
15 Baukosten, da der Ring schwer im Gehäuse eingebaut wer-
den kann, wenn die übrigen, baulichen Voraussetzungen
berücksichtigt werden. Nicht zu unterschätzen sind fer-
ner die Wirkungsgradverluste durch die zusätzliche,
reibungserzeugende Oberfläche und die sogenannte Strö-
20 mungs-Nachlaufdehle.

Gegenüber dem zuletzt genannten Stand der Technik hat
daher die Konstruktion gemäß Erfindung die Vorteile,
daß sie wirtschaftlich und mit vertretbaren Kosten ein-
25 zubauen ist, und daß sie theoretisch nur einen geringen
Verlust des Wirkungsgrades hervorruft, der praktisch
nicht gemessen werden konnte.

Ferner ist es zur Verschiebung der Pumpgrenze zu kleine-
30 ren Mengen hin bekannt (DE-OS 24 46 512), bei einer
Strömungsmaschine, insbesondere bei einer Pumpe mit ra-
dialer Beschaufelung und beschaufeltem äußeren Leitrad
im abreißgefährdeten Strömungsquerschnitt Störstellen
anzuordnen. Zur Durchführung dieser Maßnahme ist im
35 Eintrittsbereich des Leitrades eine die Strömung beein-
flussende Störstelle in Form eines oder mehrerer Stege

1 vorgesehen. Die Einrichtung gemäß DE-OS 2 446 512 ist
jedoch bei den der Erfindung zugrunde liegenden axial-
verdichteter eingangs genannter Gattung ungeeignet, um
5 die Pumpgrenze im unteren Fördermengenbereich zu stabi-
lisieren, insbesondere deswegen, weil damit die zuerst
am Laufschaufelgitter einsetzende Ablösung nicht korri-
gierbar ist, andererseits aber auch wegen der völlig
anderen Schaufelkonfiguration eines Verdichters mit
axialer Beschaufelung das Prinzip nicht übertragbar
10 ist.

Wesentliches Kriterium ist für die Ausgestaltung des
Gegenstandes gemäß Erfindung, daß bei Normallast die
einzubauenden Schwellen den Querschnitt nicht so stark
15 einengen, daß der Normalbetrieb wesentlich behindert
wird. Die Erfahrung zeigt, daß die Schwellen vorzugs-
weise den freien Gesamtquerschnitt des Gehäuses nur auf
einen Betrag zwischen 80 - 99 %, vorzugsweise zwischen
95 - 99 %, der vor der Schwelle bestehenden Quer-
20 schnittsfläche einschnüren sollten.

Um die Strömung möglichst ungestört und verlustarm durch
das Gehäuse zu führen, empfiehlt es sich, die Anstiegs-
fläche der Schwelle in Form einer konvexgekrümmten Linie
25 auszuführen, die sich aus Kreis- und/oder Parabelbögen
zusammensetzt. Eine ähnlich Abrundung ist auch der
DE-PS 809 842 zu entnehmen.

Überlicherweise kann der Innenkontur des Verdichter-
30 häuses eine bestimmte mittlere Konizität zugeordnet wer-
den, die mit der zu erreichenden Verdichtung im Zusam-
menhang steht. Es wird vorgeschlagen, bei Verwendung
der erfindungsgemäßen Schwellen, die Fußpunkte der
Schwellen angenähert auf einen die mittlere Konizität
35 der Gehäuseinnenwand beschreibenden Kegelmantel zu le-

1 gen. Von dieser Lage kann auch abgewichen werden, wobei
Windkanal- und Standversuche dem Fachmann Hinweise für
eine Verbesserung bringen können.

5 Ferner wird vorgeschlagen, den Innenflächen des Gehäus-
ses zwischen den einzelnen Schwellen eine Zylinderman-
telkonfiguration zu geben. Von dieser Konfiguration
kann abgewichen werden. Es kann eine sich erweiternde
oder verengende, insbesondere Kegelmantelkonfiguration
10 mit einem Öffnungswinkel von 0,5 und 10° gewählt wer-
den.

Bei den vorstehend beschriebenen Ausführungsformen wird
zur Verschiebung der Pumpgrenze zu kleineren Fördermen-
15 gen ausgenutzt, daß durch die Verengung durch die
Schwellen die Axialgeschwindigkeit im äußeren Schaufel-
bereich beschleunigt wird. Der Effekt wird noch ver-
stärkt durch die Verkleinerung des Strömungsquerschnit-
tes. Der Drall der Strömung wird durch die Einschnürung
20 nicht geändert; die Umfangskomponente bleibt konstant.

Durch die Erhöhung der Axialgeschwindigkeit im Bereiche
der Schaufelspitzen werden dort die Schaufelprofile ge-
genüber der Auslegung ohne eine stufenweise Verengung
25 mit den erfindungsgemäßen Schwellen mehr auf der Saug-
seite angeströmt. Sie sind damit entlastet. Das Ab-
reißen der Strömung wird auf niedrigere Durchsatzge-
schwindigkeiten verlegt.

30 Dabei ist es durchaus sinnvoll, im Eingangsbereich des
Verdichters mehrere Stufen in einem rein konisch sich
verengenden Bereich anzuordnen. Dort sind also keine
Schwellen vorhanden. Vorzugsweise kann dann im weiteren
Verlauf der Strömung die Schwellenhöhe auch variiert,
35 insbesondere sukzessive ansteigend, gemacht werden.

1 Im folgenden wird ein Ausführungsbeispiel der Erfindung
anhand der Zeichnung erläutert. Die Figuren zeigen:

Figur 1 einen Querschnitt durch den oberen Teil eines
5 Verdichters gemäß Erfindung;

Figur 2 in mehr schematischer Darstellung die Anordnung
der Schwellen;

10 Figur 3 eine Gegenüberstellung der Strömungsgeschwindig-
keiten bei einem Axialverdichter mit und ohne
Schwellen;

Figur 4 das gemessene Kraftfeld bei Axialverdichtern mit
15 und ohne Schwellen.

Die in den Figuren 1 und 2 dargestellten Ausführungsbei-
spiele mehrstufiger Axialverdichter weisen in üblicher
und bekannter Weise hintereinander angeordnete, zu Stu-
fen 1, 2, 3 ... zusammengefaßte Leitschaufel- und Lauf-
20 schaufelkränze auf. Die Leitschaufeln 4, 6 sind dabei
den Laufschaufeln 5, 7 nachgeschaltet. Vor dem ersten
Laufschaufelkranz ist ein Vorleitkranz 8 mit schwenk-
baren Schaufeln zur Regelung der Durchsatzmenge ange-
25 ordnet. Auch die Schaufeln 4 bis 7 sind teilweise
schwenkbar angeordnet und mit entsprechenden Verstell-
einrichtungen verbunden. Während die äußere Wandung
des Rotors 10 in Strömungsrichtung eine stetige Veren-
gung aufweisen kann, sind auf der gegenüberliegenden
30 Gehäuse-Innenwand 11 Schwellen 12, 13, 14 vorgesehen,
die aus der Innenfläche des die Schaufelkränze umgeben-
den Gehäuses nach innen vorstehend und zirkumferential
um die Achse verlaufen. Die Schwellen sind nach Art
einer Treppe in Strömungsrichtung abgestuft, wobei sie
35 den freien Gesamtquerschnitt des Gehäuses jeweils von
Stufe zu Stufe um jeweils 1 - 5 % der vor der Schwelle
herrschenden Querschnittsfläche einschnüren.

1 Jede Schwelle 12 - 14 ist unmittelbar vor einer Lauf-
schaufel, im vorliegenden Falle mit den Nummern 15, 16,
17 bezeichnet, angeordnet, wobei im Betrieb im Bereich
der Laufschaufel-Spitzen die Stromlinien verdichtet
5 sind. Wie insbesondere aus der Figur 2 erkennbar ist,
ist die Außenkontur der Schwellen, d. h. die Anstiegs-
fläche 18 abgerundet konvex gekrümmt. Die Krümmungskur-
ve setzt sich aus Kreis- und/oder Parabelbögen zusam-
men. Es soll durch die Krümmung verhindert werden, daß
10 Strömungsabrisse, Verwirbelungen und ähnliche Störungen
der Strömung auftreten. Auf der anderen Seite ist die
Verengung des Gesamtquerschnittes durch die Schwellen
12, 13, 14 nicht so groß, daß im Normalbetrieb eine zu
starke Strömungsverengung auftritt, die ebenfalls uner-
15 wünscht ist.

Wesentlich ist weiterhin, daß die Schwellen in Strö-
mungsrichtung unmittelbar vor den Laufrädern angeordnet
sind. Dadurch wird erreicht, daß die Pumpgrenze zu
20 kleineren Gesamtfördermengen verschoben wird. Diese
Tatsachen sollen die Figuren 3 und 4 illustrieren.

Auf der linken Seite der Darstellung (A), sind die Strö-
mungsverhältnisse eines Axialverdichters ohne Schwellen-
25 anordnung, jedoch mit konisch verengendem Strömungskanal
abgebildet. Über die Schaufelhöhe ist die geförderte
Menge mit 100 % angenommen. Über die Schaufelhöhe erge-
ben sich im wesentlichen gleiche Geschwindigkeiten.
Wird dagegen die Menge wesentlich herabgesetzt, bei-
30 spielsweise auf 60 % der Nennfördermenge, so nimmt die
Geschwindigkeit über die Schaufelhöhe gemessen ab.
Insbesondere im oberen Schaufelbereich kann es dabei
zu Abrissen kommen. Wird dagegen der Strömungskanal
mit Schwellen ausgerüstet (B), so ergibt sich im obo-
35 ren Bereich eine Erhöhung der Strömungsgeschwindigkei-
ten, erkennbar an der "Nase", die sich bei der Einhül-

1 lenden der Geschwindigkeitsvektoren ergibt. Damit ist
plausibel, daß die Pumpgrenze zu kleineren Fördermengen
- gerechnet in bezug auf die Nennfördermenge - verschoben
werden kann.

5

Diese plausible Annahme wird auch durch Messungen bestätigt. Figur 4 zeigt verschiedene Kennlinien, die an einem Axialverdichter mit etwa 400 000 m³/h Leistung gemessen wurden. Dabei wurde einmal der Strömungskanal mit sich verjüngender, aber glatter Innenfläche verwendet; zum anderen wurde ein Strömungskanal verwendet, der die erfindungsgemäßen Schwellen aufwies. Der Ausle-

10 gepunkt bei beiden Verdichtern lag bei einem Druckverhältnis von etwa 4,4 und einer Nennfördermenge von etwa 375 000 m³/h. Die Pumpgrenze bei der ursprünglichen Form, bezeichnet mit G1, lag dabei wesentlich ungünstiger als bei Verwendung von Schwellen gemäß Erfindung. Hierbei ergab sich eine Kurve G2. Die Kennlinien a ... f sind dabei jeweils bei verschiedenen Leitschaufelstellungen gemessen worden, wobei sich die Prozentzahlen auf den Verstellbereich der Leitschaufeln beziehen, d. h. durch die Wege des Schaufelverstellwerkes definiert sind. Die Nenndrehzahl lag dabei etwa bei

15 3 000 U/min.

25

Wie aus den Figuren 1 und 2 ferner ersichtlich, ist im Eingangsbereich zunächst auf den Einbau von Schwellen verzichtet worden. Es ist jedoch durchaus möglich, das ganze Gehäuse mit derartigen Schwellen zu versehen,

30 beispielsweise wenn die verwendeten Gase eine hohe Schallgeschwindigkeit haben, wie dies beispielsweise für Helium der Fall ist.

35

Wie durch die Linie K angedeutet ist, liegen die Fußpunkte der Schwellen 12 - 14 jeweils auf einem die

- 1 mittlere Konizität der Gehäuseinnenwand beschreibenden
Kegelmantel. Diese Form läßt sich relativ leicht her-
stellen und bringt eine definierte Verdichtungsleistung.
- 5 Um eine genaue Einpassung der Laufschaufeln innerhalb
des Gehäuses zu ermöglichen, sind die Laufschaufeln an
ihren Spitzen zylindrisch oder konisch überdreht. Hier-
durch erhalten sie exakt den gleichen Abstand von der
Gehäuseinnenwand, wobei die Abstufung durch die Schwel-
10 le eine definierte Strömungsverstärkung ermöglicht, die
für alle einzelnen Schaufeln gleich ist.

15

20

25

30

35

1 P a t e n t a n s p r ü c h e:

- 5 1. Ein- oder mehrstufiger Axialverdichter mit axial hintereinander angeordneten, zu Stufen zusammengefaßten Leitschaufel- und Laufschaufelkränzen, und mit einer oder mehreren aus der Innenfläche des die Schaufelkränze umgebenden Gehäuses nach innen vorstehenden, zirkumferential um die Achse verlaufenden Schwellen, 10 die nach Art einer Treppe abgestuft sind, dadurch gekennzeichnet, daß die Schwellen (12, 13, 14) in Strömungsrichtung unmittelbar vor den Laufschaufeln auf der Gehäuseinnenwand (11) angeordnet sind, so daß im Bereich der Laufschaufel-Spitzen die Stromlinien 15 verdichtet sind.
- 20 2. Axialverdichter nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Schwelle(n) den freien Gesamtquerschnitt des Gehäuses auf eine Querschnittsfläche zwischen 80 - 99 %, vorzugsweise zwischen 95 - 99 %, der vor der Schwelle bestehenden Querschnittsfläche einschnüren.
- 25 3. Axialverdichter nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Außenkontur der Anstiegsfläche (18) der Schwellen in Form einer konvex gekrümmten Linie gebogen ist, die sich aus Kreis- und/oder Parabelbögen zusammensetzt.
- 30 4. Mehrstufiger Axialverdichter nach Anspruch 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die jeweils stromaufwärts gelegenen Fußpunkte (K) der Schwellen angenähert auf einem, die mittlere Konizität der Gehäuseinnenwand beschreibenden Kegelmantel liegen. 35

- 1 5. Mehrstufiger Axialverdichter nach Anspruch 1 bis 3,
dadurch gekennzeichnet, daß festgelegte Hochpunkte
der Schwellen, z. B. die mittlere Schwellenhöhe, an-
5 genähert auf einem, die mittlere Konizität der Ge-
häuseinnenwand beschreibenden Kegelmantel liegen.
6. Axialverdichter nach Anspruch 1, dadurch gekenn-
zeichnet, daß die Laufschaufeln an ihren Spitzen zy-
lindrisch und/oder konisch überdreht sind.
- 10 7. Axialverdichter nach Anspruch 1, dadurch gekenn-
zeichnet, daß die Höhe der Schwellen schrittweise
in Strömungsrichtung ansteigt.
- 15 8. Axialverdichter nach Anspruch 1 oder 7, dadurch ge-
kennzeichnet, daß im Eingangsbereich des Verdichters
mehrere Stufen in einem sich rein konisch verengen-
dem Bereich - d. h. ohne Schwellen - angeordnet sind.

20

25

30

35

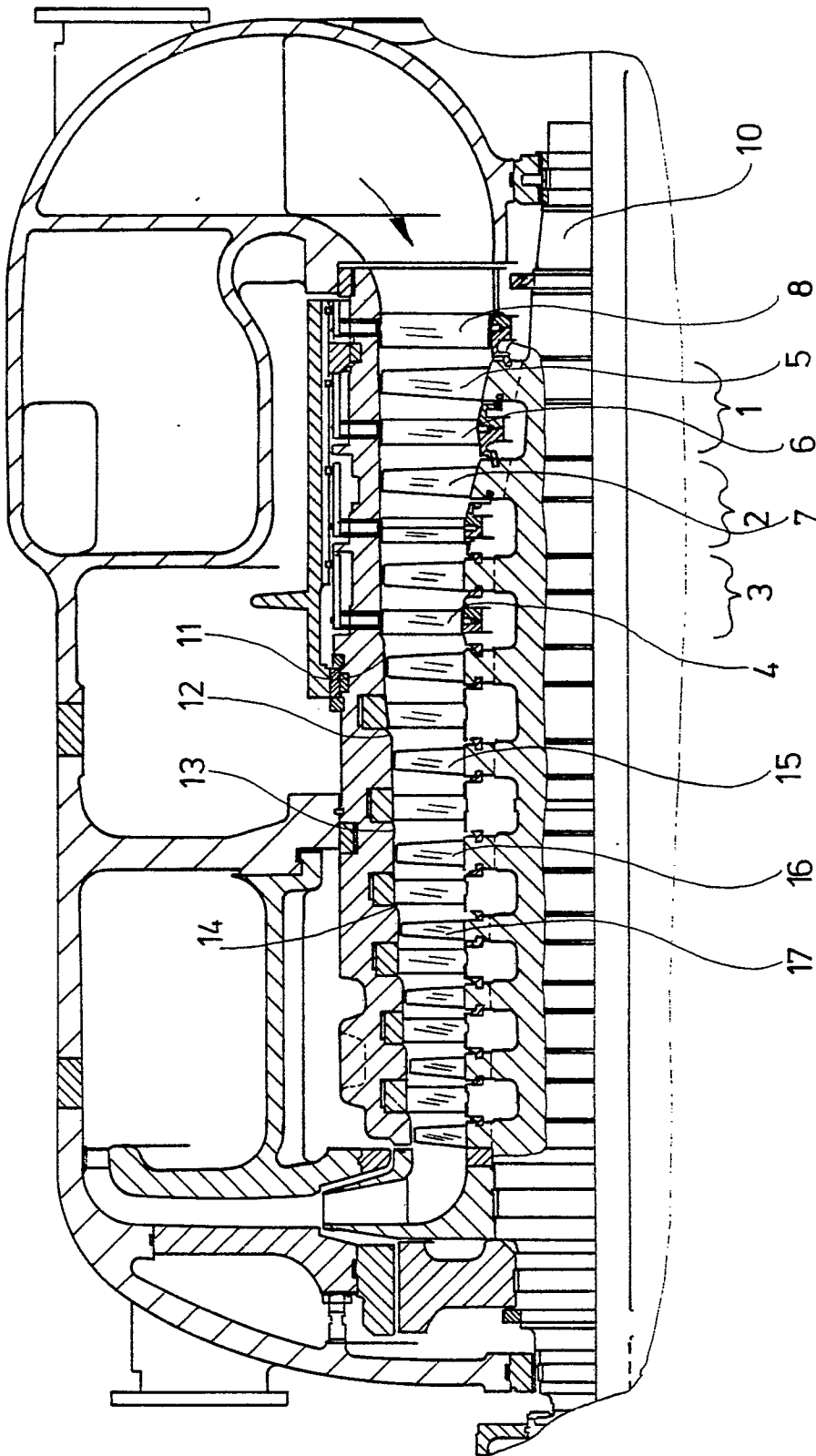


Fig. 1

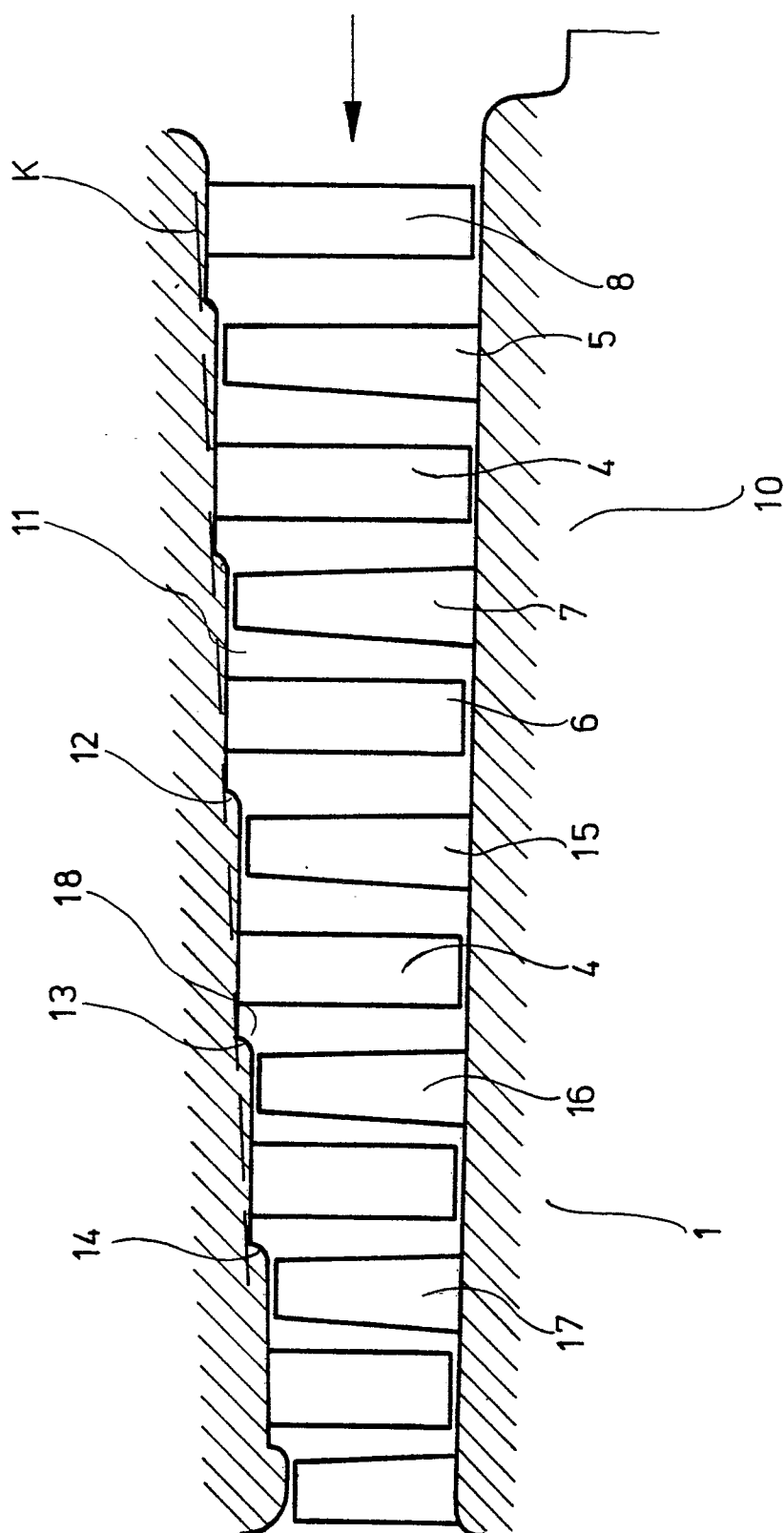


Fig. 2

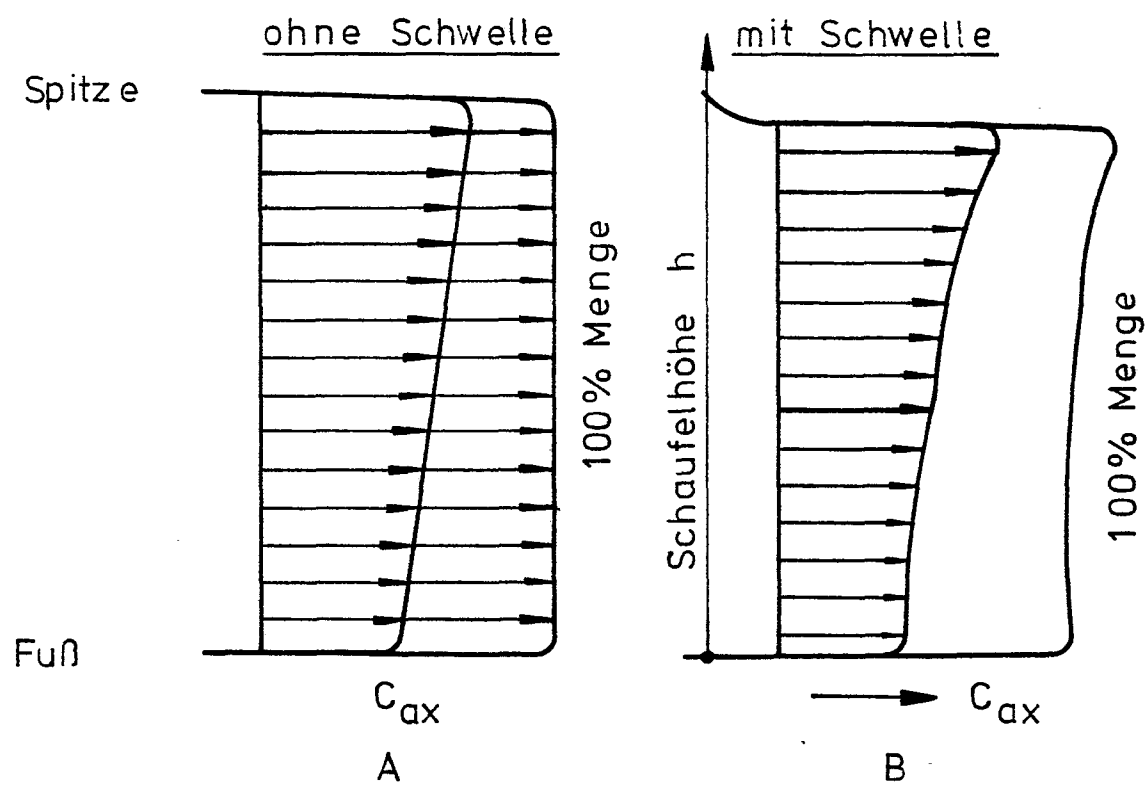
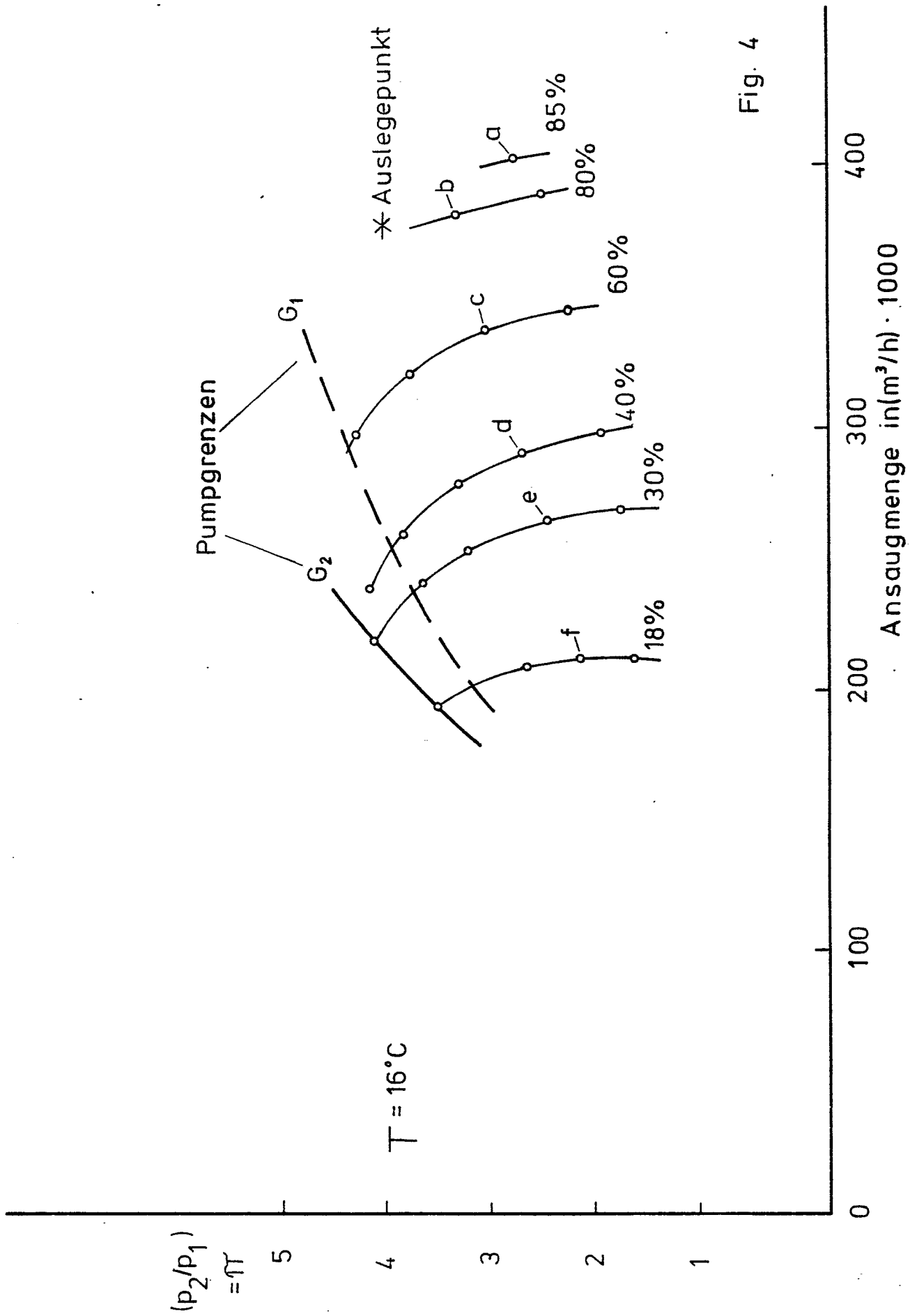
$\frac{3}{4}$ 

Fig. 3

Fig. 4





Europäisches
Patentamt

EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

0042044

EP 81 10 2534

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int. Cl.)
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	betrifft Anspruch	
D	<u>US - A - 3 775 023</u> (DAVIS et al.) * ganzes Dokument *	1,2,4,5,6	F 04 D 19/02 F 04 D 29/54
	DE - A - 1 428 077 (DONEZKIJ GOSUDARSTWENNIJ PROJEKTO-KONSTRUKTORSKIJ I EXPERIMENTALNIJ INSTITUT KOMPLEXNOI MECHANISAZII SCHACHT DONGIPROUGLEMASCH) * ganzes Dokument *	1,2	
	GB - A - 866 793 (SOMMARIVA) * Figur 1 *	1	F 04 D
	DE - C - 809 842 (OESTRICH) * ganzes Dokument *	1	
	CH - A - 216 489 (SULZER) * ganzes Dokument *	1,3,4,5	
	US - A - 2 846 137 (SMITH) * Spalte 2, Zeilen 21-27. *	8	
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt.			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int. Cl.)
			KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X: von besonderer Bedeutung A: technologischer Hintergrund O: nichtschriftliche Offenbarung P: Zwischenliteratur T: der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E: kollidierende Anmeldung D: in der Anmeldung angeführtes Dokument L: aus andern Gründen angeführtes Dokument &: Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument
Recherchenort	Abschlußdatum der Recherche	Prüfer	
Den Haag	02.09.1981	WENZEL	