



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
26.04.2000 Patentblatt 2000/17

(51) Int. Cl.⁷: B22C 15/00, B22C 15/23

(21) Anmeldenummer: 99120186.4

(22) Anmeldetag: 09.10.1999

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU
MC NL PT SE
Benannte Erstreckungsstaaten:
AL LT LV MK RO SI

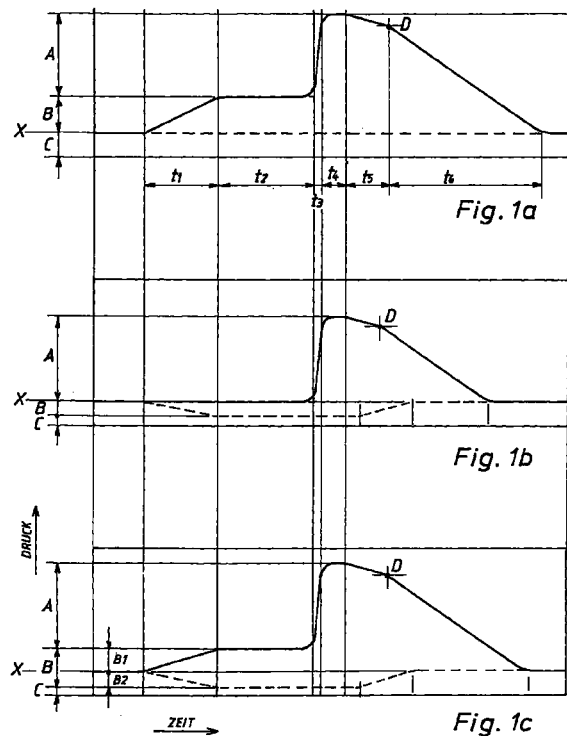
(30) Priorität: 19.10.1998 DE 19848048

(71) Anmelder: Mertes, Josef
D-57334 Bad Laasphe (DE)

(72) Erfinder: Mertes, Josef
D-57334 Bad Laasphe (DE)

(54) **Verfahren und Vorrichtung zum Verdichten von Formstoffen z.B. Giesserei-Formsand**

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Verdichten von Gießereiformstoffen innerhalb einer geschlossenen Formkammer, wobei zunächst in einer ersten zeitgedehnten Phase ein den Formstoff durchdringender und über die Modellplattendüsen abfließender Luftstrom die Schüttdichte des lose geschütteten Formstoffes homogenisiert und fluidisiert, ohne dabei eine nennenswerte Vorverdichtung des Formstoffes zu bewirken und wonach dann in einer zweiten Phase in den laufenden Homogenisierungs- und Fluidisierungsvorgang hinein ein Druckluftimpuls von bis zu 600bar/sek auf den Formstoff einwirkt und diesen dabei verdichtet. Von Bedeutung ist hierbei, daß der Luftstrom mit einem sanften Druckgradienten von 2 bis 3bar/sek eingeleitet und danach 1 bis 3 Sekunden aufrecht erhalten wird, bevor der Druckluftimpuls einsetzt. Das den Luftstrom treibende Druckgefälle "B" zwischen der Formkammer und der Unterseite der Modellplatte wird von einer Regelvorrichtung erzeugt, wobei nur soviel Druckluft in die Formkammer eingblasen wird, wie bei dem entsprechenden Druckgefälle "B" über die Modellplattendüsen ohne weiteren Druckstau abfließen kann. Das Druckgefälle "B" kann auch erzeugt werden, indem an der Unterseite der Modellplatte ein Unterdruck angelegt wird oder indem eine Kombination von Überdruck "B1" und Unterdruck "B2" angewendet wird.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Verdichten von Gießereiformstoffen innerhalb einer geschlossenen Formkammer, wobei der Formstoff durch einen Druckluftstoß fluidisiert und verdichtet wird.

5 **[0002]** Aus der DE-3740775-C2 ist ein Verfahren bekannt, bei dem der Formstoff innerhalb einer geschlossenen Formkammer mit zwei Druckstößen verdichtet wird, wobei angegeben wird, daß der erste Druckstoß mit einem relativ flachen Druckgradienten bis maximal 300 bar/sek, insbesondere maximal 40bar/sek und der zweite Druckstoß mit einem wesentlich steileren Druckgradienten durchgeführt werden soll und wobei ein Wirkdruck von maximal 20 bar erzeugt wird, der nach dem ersten Druckstoß und vor Beginn des zweiten Druckstoßes gesteuert auf einen Zwischenwert abgebaut wird und mit dem zweiten Druckstoß erneut wieder aufgebaut wird. Besonders nachteilig ist hierbei, daß nach dem ersten Druckstoß, der bereits zu einer erheblichen Vorverdichtung führt, der Fließzustand des Formstoffes unterbrochen wird und der zweite Druckstoß den Fließzustand wieder in Gang bringen muß, was auf Grund der Vorverdichtung zumindest sehr schwierig ist und je nach Modellsituation stellenweise auch unmöglich ist. Auch kann eine Fluidisierung des Formstoffes bestenfalls nur für wenige Millisekunden im Anfangsstadium des ersten Druckstoßes zustande kommen, womit sie praktisch unwirksam ist. Die Folge ist dann, daß es in bestimmten Modellpartien bei der Vorverdichtung bleibt, was zu ungleichmäßiger Verdichtung und zu unbefriedigenden Formfestigkeiten in den entsprechenden Modellpartien führt.

10 **[0003]** Aus der DE-3836876-C2 ist ein Verfahren bekannt, bei dem der Formstoff innerhalb einer geschlossenen Formkammer mit einem einzigen Druckstoß verdichtet wird, wobei der Druckstoß zunächst mit einem flachen Druckgradienten von 30 bis 100 bar/sek durchgeführt wird, der dann lückenlos in einen steileren Druckgradienten von 100 bis 600 bar/sek übergeht. Der erste Teil des Druckstoßes erreicht nach 10 bis 100 Millisekunden einen Wirkdruck von 1 bis 3 bar und der zweite Teil des Druckstoßes erreicht nach 5 bis 30 Millisekunden einen Wirkdruck von 3 bis 6 bar. Dabei soll der erste Teil des Druckstoßes den Formstoff ohne nennenswerte Vorverdichtung nur fluidisieren und der zweite Teil unter dem Einfluß der Fluidisierung den Formstoff verdichten. Nachteilig ist hierbei jedoch, daß die stetige Druckerhöhung in der Formkammer bei einem Druckgradienten von 30 bis 100 bar/sek zwangsläufig zu der angegebenen, sehr kurzen Zeit des ersten Druckstoßteils von 10 bis 100 Millisekunden führt. Innerhalb dieser extrem kurzen Zeit ist eine wirksame Fluidisierung nicht möglich. Auch bewirkt der Druckgradient von 30 bis 100 bar/sek bereits eine erhebliche Vorverdichtung. Im weiteren ist von Nachteil, daß bei dem großflächigen Impulsventil ein geringer Öffnungshub bereits zu einer erheblichen Vergrößerung des Durchgangsquerschnittes führt und dies zusammen mit der extrem kurzen Zeit für den ersten Teil des Druckstoßes eine gleichbleibende Reproduktion des Druckverlaufes nahezu unmöglich macht. Massenträgheit, Reibung, temperaturbedingte Viskositätsänderungen und sonstige Einflußgrößen des rauen Gießereibetriebes können die stetige Öffnungsbewegung des Impulsventiles bei dem relativ kurzen Hub derart beeinflussen, daß ein präziser und reproduzierbarer Ablauf innerhalb der extrem kurzen Zeit nicht eintreten kann. Verdoppelt sich beispielsweise die Zeit des ersten Druckstoßteiles von 100 Millisekunden auf eine immer noch extrem kurze Zeit von 200 Millisekunden, dann kann die gedachte Wirkung des zweiten steileren Druckgradienten garnicht mehr eintreten, weil nach 200 Millisekunden anstatt der beispielsweise 3 bar bereits der Enddruck von beispielsweise 6 bar erreicht ist ($30\text{bar}/1000\text{ms} = 6\text{bar}/200\text{ms} !$). Die Folge dieser Nachteile ist, daß die Formen nicht optimal verdichtet werden und auch keine wiederkehrend gleichmäßige Verdichtung aufweisen können.

20 **[0004]** Die Aufgabe der Erfindung ist es, unter Vermeidung der zuvor beschriebenen Nachteile ein Verfahren und eine Vorrichtung zu schaffen, womit insbesondere für kritische Modelle eine verbesserte Formverdichtung mit einem einzigen Druckluftstoß und einem einstufigen Druckgradienten erreicht werden kann.

25 **[0005]** Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß in Bezug auf das Verfahren dadurch gelöst, indem innerhalb einer geschlossenen Formkammer zunächst während einer ersten zeitgedehnten Phase ein den Formstoff durchdringender Luftstrom die Schüttdichte des lose geschütteten Formstoffes homogenisiert, wobei der Formstoff gleichzeitig auch intensiv und ohne Zeitzwang fluidisiert wird, ohne dabei eine erkennbare Vorverdichtung des Formstoffes zu bewirken und wonach dann in einer zweiten Zeitphase in den laufenden Homogenisierungs- und Fluidisierungsvorganges hinein ein Druckluftimpuls mit steilem Druckgradienten von bis zu 600 bar/sek auf den Formstoff einwirkt und diesen dabei verdichtet. Von erfindungsgemäßer Bedeutung ist dabei, daß der vor der Druckluftimpulsverdichtung eingeleitete Luftstrom mit einem sanften Druckgradienten von maximal 5 bar/sek, vorzugsweise 2 bar/sek eingeleitet wird und der Luftstrom im weiteren Verlauf von der Abströmkapazität der Schlitzdüsen in der Modellplatte bestimmt wird. Es wird dabei durch eine Regelvorrichtung ein den Luftstrom treibendes Druckgefälle erzeugt, wobei nur soviel Druckluft in die Formkammer eingeblasen wird, wie bei dem entsprechenden Druckgefälle über die Schlitzdüsen der Modellplatte ohne weiteren Druckstau abfließen kann.

30 **[0006]** Die erfindungsgemäße Homogenisierung bewirkt eine gleichmäßige Schüttdichte des lose geschütteten Formstoffes in der Weise, daß die einzelnen Sandkörner weitgehend locker aneinander zu liegen kommen und daß Hohlräume, in denen die Sandkörner keine Berührung zueinander haben, weitgehendst beseitigt werden. Wegen der unregelmäßigen Oberflächenformen der Sandkörner berühren diese sich nur punktuell, so daß zwangsläufig Luftporenräume zwischen den Sandkörnern entstehen. Die aneinanderliegenden und sich punktuell berührenden Sandkör-

ner bilden eine wichtige Voraussetzung für eine wirksame Impulsverdichtung, da hierdurch erst die impulsartige und sich fortpflanzende Energieübertragung von Sandkorn zu Sandkorn während des Impulsstoßes gewährleistet ist. Im Gegensatz hierzu würden Hohlräume und ungleichmäßige Schüttdichte die Fortpflanzung der Impulsenergie behindern oder auch verhindern, weil die Energie der beschleunigten Sandkörner in diesen Hohlräumen verpufft und nicht wirksam an andere Sandkörner übertragen werden kann. Die zwischen den unregelmäßigen Oberflächen der punktuell aneinanderliegenden Sandkörner befindlichen Luftporen ermöglichen idealerweise eine Fluidisierung durch den Luftstrom, der gleichsam einem Gleitfilm die Fließfähigkeit des Formstoffes verbessert. In diesen optimierten Schüttzustand hinein wird bei weiterhin laufender Fluidisierung ein einziger Druckluftimpuls bis zu 600 bar/sek ausgelöst und wonach dann der in der Formkammer entstandene Wirkdruck wieder kontrolliert abgebaut wird. Von Bedeutung ist hierbei, daß der optimierte Schüttzustand keine erkennbare bzw. wirksame Vorverdichtung aufweist und daß der Fließzustand des Formstoffes durch Anwendung eines einzigen Verdichtungsstoßes nicht unterbrochen wird. Mehrstufige Verdichtungs Vorgänge haben unabhängig von ihrer Verfahrensart grundsätzlich den Nachteil, daß der Fließzustand des Formstoffes unterbrochen wird und für die nächste Stufe wieder aufgebaut werden muß, was auf Grund der Vorverdichtung sehr schwierig oder auch je nach Modellsituation unmöglich ist, wobei insbesondere die mehrstufige Impulsverdichtung von diesem Nachteil betroffen ist. Das erfindungsgemäße Verdichtungsverfahren benötigt als zeitgedehntes Verfahren für einen Verdichtungs Vorgang einschließlich dem kontrollierten Abbau des Wirkdruckes etwa 5 Sekunden. Diese Zeit kann jedoch von einer entsprechend entwickelten Hochleistungsformmaschine ohne Taktzeiteinschränkung zur Verfügung gestellt werden.

[0007] Erfindungsgemäß wird zwischen der Formkammer und der Unterseite der Modellplatte ein Druckgefälle aufgebaut, womit ein Luftstrom erzeugt wird, der durch den lose geschütteten Formstoff und über die Schlitzdüsen der Modelleinheit in den atmosphärischen Bereich unterhalb der Modellplatte abfließt. Dabei ist von Bedeutung, daß zur Vermeidung einer Vorverdichtung des Formstoffes das Druckgefälle mit einem sanften Druckgradienten von maximal 5bar/sek (vorzugsweise 2bar/sek) aufgebaut wird und daß der Luftstrom nach dem Aufbau des Druckgefälles von maximal 3bar (vorzugsweise 0,5 bis 1 5bar) für eine bestimmte Zeit von mindestens 0,5sek (vorzugsweise 1 bis 3sek) aufrecht erhalten wird, um eine wirksame Homogenisierung und Fluidisierung des Formstoffes zu erzielen. Der Hauptdurchflußwiderstand entsteht dabei beim Durchströmen der Modellplattendüsen, während im lose geschütteten Formstoff nur ein relativ geringer Durchflußwiderstand entsteht. Im weiteren ist daher bedeutsam, daß für den Luftstrom nur soviel Druckluft in die Formkammer eingeblasen wird, wie bei dem entsprechenden Druckgefälle über die Schlitzdüsen der Modelleinheit abfließen kann. Da die Modelle nach den individuellen Erfordernissen nach Anzahl und Aufteilung sehr unterschiedlich mit Schlitzdüsen bestückt sind, wird das Druckgefälle und der Massenstrom der Druckluft für jedes Modell individuell eingestellt. Dies erfolgt durch eine Regeleinrichtung, die bei einem Modellwechsel über die Modellkodierung automatisch auf die aus dem Modell-Datensatz entnommenen Werte eingestellt wird. Im weiteren wird der Formkammerdruck während des fließenden Luftstromes über einen Drucksensor kontrolliert, so daß bei Sollwertabweichungen eine sofortige Korrektur durchgeführt werden kann. Da der relativ geringe Durchflußwiderstand im lose geschütteten Formstoff modellunabhängig ist und bei allen Modellen annähernd gleich bleibt, ist die individuelle Einstellung des Massenstromes nur von den Modellplattendüsen des jeweiligen Modelles abhängig.

[0008] Die Erzeugung des Druckgefälles und des daraus resultierenden Luftstromes kann erfindungsgemäß auf verschiedene Art erfolgen. Zum einen kann über ein feinrasteriges Netz kleiner Düsen, die in der Formkammerdecke oberhalb eines Freiraumes über dem losen Formstoff angeordnet sind, flächendeckend und senkrecht Druckluft auf die lose Formstoffoberfläche geblasen werden, wobei der Massenstrom wie bereits beschrieben auf die Abflußkapazität der Modellplattendüsen abgestimmt ist. Zum anderen kann aber auch die Unterseite der Modellplatte mit einer Unterdruckquelle verbunden werden, die den Luftstrom über den losen Formstoff und oberhalb des losen Formstoffes über das feinrasterige Düsensystem aus der freien Atmosphäre ansaugt, so daß keine vorverdichtend wirkende Evakuierung innerhalb der Formkammer stattfinden kann. Auch kann das Druckgefälle mit einer Kombination aus Unterdruck und aus Überdruck durch Einblasen von Druckluft über das bereits erwähnte Düsensystem erzeugt werden.

[0009] Im weiteren kann in der Formkammer ein dem Druckgefälle entsprechender Druck aufgebaut werden, indem von der Unterseite der Modellplatte über die Schlitzdüsen Druckluft entgegen der Schwerkraft des Formstoffes in die Formkammer eingeblasen wird. Dabei ist das Düsensystem oberhalb des losen Formstoffes abgesperrt, damit ein Druckaufbau möglich ist. Der Druckaufbau erfolgt ebenfalls mit einem sanften Druckgradienten von maximal 5bar/sek (vorzugsweise 2bar/sek) um den Formstoff nicht anzuheben. Eine Verdichtung des Formstoffes kann dabei nicht stattfinden, weil sich zwischen der losen Formstoffoberfläche und der Formkammerdecke noch ein Freiraum befindet, so daß sich der Formstoff nach oben nicht abstützen kann. Die Formkammer und die Luftporen im Formstoff werden dabei lediglich in einen Zustand höheren atmosphärischen Druckes gebracht. Das Einblasen von unten muß dabei nicht über alle Schlitzdüsen erfolgen, vielmehr können hierfür je nach Modellsituation nur bestimmte Düsen vorgesehen werden, indem die nicht erforderlichen Düsen von der Unterseite der Modellplatte mit einem einfachen, aus einer Gummilippe bestehenden Rückschlagventil versehen werden, womit das Einblasen von unten verhindert wird, das Durchströmen von oben aber frei bleibt. Sobald der erforderliche Druck aufgebaut ist, wird die Unterseite der Modellplatte je nach Verfahrensvariante zur freien Atmosphäre oder zur Unterdruckquelle hin geschaltet. Gleichzeitig wird das bereits erwähnte

Düsensystem in der Formkammerdecke eingeschaltet, so daß der Luftstrom durch den Formstoff einsetzen kann. Der Vorteil dieser Variante besteht darin, daß der Luftstrom und somit die Homogenisierung und Fluidisierung des Formstoffes durch den bereits in der Formkammer und im Formstoff aufgebauten Druck in den unteren modellnahen Formstoffschichten beginnt und sich dann in die oberen Schichten ausdehnt.

5 **[0010]** Die Durchführung des Verfahrens kann durch zwei verschiedene Vorrichtungsvarianten realisiert werden. Beide Vorrichtungsvarianten haben zunächst zum Einblasen des Luftstromes in den Formstoff ein feinrasteriges und flächendeckendes Netz kleiner Einblasdüsen in der Kopfplatte der Formkammer, die oberhalb der losen Formstoffoberfläche und in einem kleinen Abstand dazu angeordnet sind, wobei jedoch die Düsenformen der beiden Varianten unterschiedlich ausgeführt sind. Beiden Vorrichtungsvarianten ist auch gemeinsam, daß nur soviel Druckluft in die
10 Formkammer eingeblasen wird, wie bei einem entsprechenden Druckgefälle über die Schlitzdüsen der Modellplatte ohne weiteren Druckstau abfließen kann. Im weiteren kann mit beiden Vorrichtungsvarianten auch die zuvor beschriebene Verfahrensvariante betrieben werden, bei der zunächst Druckluft von der Unterseite der Modellplatte in die Formkammer eingeblasen wird und wonach dann der Luftstrom in umgekehrter Richtung einsetzt.

[0011] Bei der ersten Vorrichtungsvariante wird der Luftstrom von einem separaten, vom Impulssystem unabhängigen Druckluftsystem gespeist, wobei die als Schlitzdüsen ausgeführten Einblasdüsen in Anzahl und Durchgangs-
15 querschnitt als konstante Größe festgelegt sind. Die von der Abflußkapazität der variablen Modellplattendüsen abhängige Durchflußmenge bzw. Massenstrom wird dabei von einem vor den Einblasdüsen anstehenden regelbaren Druck bestimmt, wobei im Bereich der Einblasdüsen ein unterkritisches bis kritisches Druckverhältnis p_a/p_i von etwa 0,9 bis 0,528 gewählt wird, um einem druckabhängigen variablen Massenstrom zu erzielen. Das Druckluftsystem zur Spei-
20 sung des Luftstromes wird dabei über ein Druckregelventil automatisch auf den Druck eingestellt, der für den modellabhängigen Massenstrom erforderlich ist. Die Druckwerte für die verschiedenen Modelle sind in Datensätzen abgespeichert, die bei einem Modellwechsel über die Modellkodierung automatisch abgerufen und dem Druckregelventil zugeführt werden. Zur Auslösung des Luftstromes wird die entsprechend geregelte Druckluft über ein Schaltventil den Einblasdüsen zugeleitet. Diese Vorrichtungsvariante eignet sich besonders dazu, bestehende Impuls-Verdichtungs-
25 maschinen durch Einbringen der Düsenkanäle und Düsen in die vorhandene Bodenplatte des Druckluftbehälters nachzurüsten. Die in den Luftstrom hineinwirkende Impulsverdichtung kann somit unter anderem wie in EP-0139119 unter Anwendung der Variante des Anspruches 19 beschrieben, durchgeführt werden. Dabei wäre lediglich der Ausgangsdruck im Druckluftbehälter um den Wert des bereits in der Formkammer vorhandenen Luftstromdruckes höher einzustellen, um die übliche Druckdifferenz von ca.3 bis 4 bar wieder zu erreichen.

30 **[0012]** Bei der zweiten Vorrichtungsvariante wird der Luftstrom direkt vom Druckluftbehälter des Impulssystems gespeist, wobei die Einblasdüsen auf Grund der daraus resultierenden Druckverhältnisse $P_a/p_i < 0,528$ weit im überkritischen Bereich arbeiten. Die von der Abflußkapazität der variablen Modellplattendüsen abhängige Durchflußmenge bzw. Massenstrom wird dabei von regelbaren Durchgangsquerschnitten der Einblasdüsen bestimmt, weil im überkritischen Bereich eine druckabhängige Veränderung des Massenstromes nicht mehr möglich ist. Die Einblasdüsen weisen einen hubabhängigen regelbaren Durchgangsquerschnitt auf und sie sind Bestandteil der Ventilstößel, die den
35 Druckstoß für die Impulsverdichtung auslösen. Die lineare Veränderung des Durchgangsquerschnittes von Null bis Maximal wird dabei über einen relativ langen Hub durchgeführt, um durch eine bessere Auflösung eine genaue Einstellung des Durchgangsquerschnittes und somit des Massenstromes zu gewährleisten. Bei der Auslösung des Luftstromes wird der Durchgangsquerschnitt über einen Positionierantrieb geöffnet und automatisch auf den Wert eingestellt, der für den modellabhängigen Massenstrom erforderlich ist. Die Querschnitts- bzw. Hubwerte für die verschiedenen Modelle sind in Datensätzen abgespeichert, die bei einem Modellwechsel über die Modellkodierung automatisch abgerufen und dem Positionierantrieb zugeführt werden. Während des Luftstromes bleibt die Druckluftzufuhr zum Druckluft-
40 behälter des Impulssystems geöffnet, um den Druckluftvorrat für die nachfolgende Impulsverdichtung aufrecht zu erhalten. Die in den Luftstrom hineinwirkende Impulsverdichtung erfolgt durch schlagartiges Öffnen der Ventilstößel, welches unter anderem wie in EP-0139119 beschrieben durchgeführt werden kann, wobei jedoch die zusätzliche Anordnung des Positionierantriebes und die andere Funktionsweise der Ventilstößel zu berücksichtigen sind. Im weiteren wäre auch der Ausgangsdruck im Druckluftbehälter um den Wert des bereits in der Formkammer vorhandenen Luftstromdruckes höher einzustellen, um die übliche Druckdifferenz von ca. 3 bis 4 bar wieder zu erreichen. Auf die Funktion der Ventilstößel und des Positionierantriebes wird in der Folge noch näher eingegangen.

50 **[0013]** Nachstehend wird ein Ausführungsbeispiel der Erfindung anhand der Zeichnungen beschrieben, wobei die Bezugszeichen mit Index 1 der Vorrichtungsvariante 1 und die Bezugszeichen mit Index 2 der Vorrichtungsvariante 2 zugeordnet sind. Die Bezugszeichen mit Index 1/2 werden im Zusammenhang mit beiden Vorrichtungsvarianten und bei der Verfahrensbeschreibung verwendet. Die Figuren zeigen:

55 **Fig.1a** den Druckverlauf des Luftstromes und des Druckstoßes über die Zeit, wobei der Luftstrom eingeblasen wird.

Fig.1b den Druckverlauf des Luftstromes und des Druckstoßes über die Zeit, wobei der Luftstrom eingesaugt wird.

- Fig.1c** den Druckverlauf des Luftstromes und des Druckstoßes über die Zeit, wobei der Luftstrom in einer Kombination eingeblasen und eingesaugt wird.
- Fig.2** einen Vertikalschnitt durch die Verdichtungsstation, Vorrichtungsvariante **1**, in Ruhestellung dargestellt.
- Fig.3** einen Horizontalschnitt durch die Bodenplatte des Druckluftbehälters zur Vorrichtungsvariante **1**, gemäß Schnittlinie A-A in Fig.2
- Fig.4** einen vergrößerten Vertikalschnitt durch die Düsen für das Impulssystem und durch die Düsen für den Luftstrom zur Vorrichtungsvariante **1**, gemäß Schnittlinie B-B in Fig.3
- Fig.5** einen Vertikalschnitt durch die Verdichtungsstation, Vorrichtungsvariante **2**, in Ruhestellung mit Impulsventil und Luftstromdüsen im geschlossenen Zustand
- Fig.5a** einen Teilschnitt mit dem Positionierantrieb für die Luftstromdüsen zur Vorrichtungsvariante **2**
- linke Schnitthälfte: Arbeitsstellung, Luftstromdüsen geöffnet
rechte Schnitthälfte: Arbeitsstellung, Impulsdüsen geöffnet
- Fig.6a** Ventilstößel im geschlossenen Zustand zur Vorrichtungsvariante **2**
- Fig.6b** Ventilstößel für Druckstoß maximal geöffnet zur Vorrichtungsvariante **2**
- Fig.6c** Ventilstößel für Luftstrom geringfügig geöffnet zur Vorrichtungsvariante **2**
- Fig.6d** Ventilstößel für Luftstrom maximal geöffnet zur Vorrichtungsvariante **2**
- Fig.6e** Ventilstößel in einer alternativen Ausführungsform zur Vorrichtungsvariante **2**

[0014] Die **Figuren 1a, 1b, und 1c** zeigen den verfahrensmäßigen Druckverlauf des Luftstromes und des Druckstoßes über die Zeit. Die Linie **X** kennzeichnet den atmosphärischen Druck. Mit **B** ist das den Luftstrom treibende Druckgefälle zwischen der Formkammer **10.1/2** und der Modellplattenunterseite **06.1/2** gekennzeichnet. **C** ist der absolute Druck an der Modellplattenunterseite **06.1/2**. Mit **A** ist die durch den Druckstoß entstandene Druckerhöhung gekennzeichnet. Während der Zeit **t₁** wird der Luftstrom zur Homogenisierung und Fluidisierung des lose geschütteten Formstoffes ohne wirksamen Vorverdichtungseffekt aufgebaut. Dies geschieht mit einem sehr flachen Druckgradienten von maximal 5 bar/sek, vorzugsweise 2bar/sek, bis das den Luftstrom treibende Druckgefälle **B** von maximal 3bar, vorzugsweise 0,5 bis 1,5bar erreicht ist. Dieses Druckgefälle und damit der Luftstrom wird im dargestellten Zeitbereich **t₂** mindestens 0,5sek, vorzugsweise 1 bis 3sek aufrecht erhalten, um eine wirksame Fluidisierung und Homogenisierung des losen Formstoffes zu erzielen. Danach wird in den laufenden Fluidisierungs- und Homogenisierungsvorgang hinein der Druckstoß mit einem Druckgradienten von bis zu 600 bar/sek ausgelöst, dargestellt durch den Druckanstieg **A** und der Zeit **t₃**. Der nach der Druckerhöhung **A** erreichte Wirkdruck wird für eine kurze Zeitdauer **t₄** von etwa 0,5sek aufrecht erhalten. Nach Ablauf der Zeit **t₄** hat das Impulsventil die Impulsdüsen **26.1/2** wieder geschlossen, so daß aus dem Druckluftbehälter **19.1/2** keine Druckluft mehr in die Formkammer **10.1/2** strömen kann. Danach werden über die Zeit **t₅** die Entlüftungsventile **47.1/2** langsam geöffnet, um einen schockfreien Druckabbau in der Formkammer einzuleiten. Im Punkt **D** sind die Entlüftungsventile ganz geöffnet, so daß ein weiterer kontrollierter Druckabbau über die Drosseln **48.1/2** und innerhalb der Zeit **t₆** erfolgen kann. Unter Berücksichtigung der vorzugsweise vorgesehenen Wertigkeiten dauert der gesamte Druckverlauf in etwa 5,5sek.

$$(t_1=0,8\text{sek}+t_2=2,2\text{sek}+t_3=0,005\text{sek}+t_4=0,5\text{sek}+t_5=0,5\text{sek}+t_6=1,5\text{sek} = 5,5\text{sek})$$

Gegenüber den bekannten Impulsverfahren mit einem einzelnen Druckstoß wird das erfindungsgemäße Verfahren somit um die Zeit **t₁ + t₂**, d.h. um etwa 3 sek verlängert, womit jedoch eine wesentlich verbesserte Verdichtung, insbesondere eine wesentlich verbesserte Gleichmäßigkeit der Verdichtung im gesamten Formbereich erzielt wird. Von einer entsprechend konzipierten Hochleistungsformmaschine kann jedoch der Zeitbedarf für das erfindungsgemäße, zeitgedehnte Formverfahren selbst bei einem noch größeren Zeitbedarf ohne Taktzeiteinschränkung gedeckt werden. Im Vergleich zu den bekannten zweistufigen Impulsverfahren ergibt sich für das erfindungsgemäße Formverfahren hingegen keine nennenswerte Zeitverlängerung.

[0015] Das den Luftstrom treibende Druckgefälle **B** kann auf verschiedene Art erzeugt werden. Gemäß **Fig.1a**

erfolgt dies, indem die Druckluft über ein feinrasteriges Netz kleiner Düsen **37.1** (Fig.2) bzw. **58.2** (Fig.5) / **61.2** (Fig.6d), die oberhalb eines Freiraumes **09.1/2** über den losen Formstoff **08.1/2** flächendeckend angeordnet sind, senkrecht eingeblasen wird. Der Luftstrom durchströmt den Formstoff **08.1/2** und die Modellplattendüsen **07.1/2** und fließt über die Ventile **52.1/2** und **53.1/2** zur freien Atmosphäre ab. Der Hauptdurchflußwiderstand entsteht dabei beim Durchströmen der Modellplattendüsen **07.1/2**, während im lose geschütteten Formstoff nur ein geringer Durchflußwiderstand entsteht. Entsprechend entsteht auch das Druckgefälle **B** hauptsächlich an den Modellplattendüsen **07.1/2**. Die Masse des Luftstromes (Massenstrom) wird daher auf die Abflußkapazität der Modellplattendüsen **07.1/2** eingestellt, damit die eingeblasene Druckluft bei gleichbleibendem Druckgefälle wieder über die Modellplattendüsen **07.1/2** abfließen kann. Gemäß **Fig.1b** kann das Druckgefälle **B** auch durch Ansaugen erzeugt werden, indem an der Modellplattenunterseite **06.1/2** ein Unterdruck angelegt wird, der den Luftstrom über die Modellplattendüsen **07.1/2**, über den losen Formstoff **08.1/2**, über die Düsen **37.1** und über das Ventil **50.1** (Fig.2) bzw. entsprechend einer anderen Vorrichtungsvariante direkt über die Ventile **50.2** (Fig.5) aus der freien Atmosphäre ansaugt. Gemäß **Fig.1c** können die beiden Varianten aus **Fig.1a** und **Fig.1b** auch kombiniert werden. Das Druckgefälle **B** setzt sich dabei aus dem Überdruck **B1** und dem Unterdruck **B2** zusammen.

[0016] Bei den **Figuren 1a** und **1c** kann das den Luftstrom treibende Druckgefälle **B** auch dadurch erzeugt werden, indem von der Modellplattenunterseite **06.1/2** über die Modellplattendüsen **07.1/2** zunächst Druckluft entgegen der Schwerkraft des Formstoffes und entsprechend des Druckverlaufes über die Zeit t_1 in die Formkammer **10.1/2** eingeblasen wird, bis der dem Druckgefälle **B** (Fig.1a) bzw. dem Druckgefälle **B1** (Fig.1c) entsprechende Druck erreicht ist. Dabei ist das Düsensystem **37.1** (Fig.2) bzw. **58.2** (Fig.5) / **61.2** (Fig.6d) oberhalb des losen Formstoffes abgesperrt, um den Druckaufbau zu ermöglichen. Die Formkammer **10.1/2** und die Luftporen im Formstoff werden dabei ohne Verdichtungseffekt in einen Zustand höheren atmosphärischen Druckes versetzt. Sobald der dem Druckgefälle **B** bzw. **B1** entsprechende Druck erreicht ist, wird die Modellplattenunterseite **06.1/2** je nach Verfahrensvariante zur freien Atmosphäre **53.1/2a** oder zur Unterdruckquelle **55.1/2** hin geschaltet. Gleichzeitig wird das Düsensystem **37.1** (Fig.2) bzw. **58.2** (Fig.5) / **61.2** (Fig.6d) freigegeben, womit der Luftstrom beginnt und womit das Druckgefälle aufrecht erhalten wird. Das Druckgefälle wird dabei unmittelbar an den Modellplattendüsen **07.1/2** wirksam, woraus sich der Vorteil ergibt, daß der Luftstrom und somit die Homogenisierung und Fluidisierung des Formstoffes in den unteren modellnahen Formstoffschichten beginnt und sich dann in die oberen Schichten ausdehnt.

[0017] Die **Figuren 2, 3 und 4** zeigen die **Vorrichtungsvariante 1**. Bei dieser Variante wird der Luftstrom von einem separatem, vom Impulssystem unabhängigen Druckluftsystem **44.1** gespeist. Die als Schlitzdüsen ausgeführten Einblasdüsen **37.1** sind dabei in Anzahl und Durchgangsquerschnitt als konstante Größe festgelegt. Die von der Abflußkapazität der variablen Modellplattendüsen **07.1** abhängige Masse des Luftstromes wird dabei nach den Gesetzmäßigkeiten des unterkritischen bis kritischen Auströmens von dem regelbaren Innendruck der Einblasdüsen **37.1** bestimmt, wobei diese Einblasdüsen mit einem Druckverhältnis p_a/p_i (Fig.4) von etwa 0,9 bis 0,528 betrieben werden können. p_i ist dabei der vom Druckregler **42.1** regelbare Innendruck vor den Einblasdüsen und p_a der Außendruck am Ausgang der Einblasdüsen. Beträgt beispielsweise das Druckgefälle **B** (Fig.1a) 1,5bar, so ergibt sich für p_a ein absoluter Druck von 2,5bar. Bei einem absoluten Innendruck $p_i = 2,78\text{bar}$ wird dabei ein praktisch noch anwendbares unterkritisches Druckverhältnis von $p_a/p_i = 2,5/2,78 = 0,9$ erreicht, wobei der Massenstrom am kleinsten ist. Bei einem absoluten Düseninnendruck $p_i = 4,74\text{bar}$ wird das kritische Druckverhältnis $p_a/p_i = 2,5/4,74 = 0,528$ erreicht, wobei der Massenstrom am größten ist. Eine weitere Steigerung des Düseninnendruckes p_i mit Unterschreiten des Wertes 0,528 kann den Massenstrom bekanntlich nicht weiter erhöhen. Bei dem beispielsweise angenommenen Druckgefälle **B** mit 1,5bar bzw. dem daraus resultierenden absoluten Druck $p_a = 2,5\text{bar}$ ergibt sich in dem Arbeitsbereich von 0,9 bis 0,528 eine Massenstromsteigerung von etwa 270%, womit eine Anpassung an den unterschiedlichen Luftstrombedarf der einzelnen Modelle ausreichend sichergestellt ist.

[0018] Die **Fig.2** zeigt einen Vertikalschnitt durch die Verdichtungsstation einer als beispielhaft dargestellten Formmaschine. Im rechten Halbschnitt ist die Ausgangsstellung der Formmaschine dargestellt, wobei die aus Modellträger **01.1**, Modellplatte **02.1**, Formkasten **03.1** und Füllrahmen **04.1** bestehende und mit losem Formstoff **08.1** gefüllte Formeinheit **05.1** in die Verdichtungsstation eingefahren ist. Im unteren Teil des rechten Halbschnittes hat die andere Modellplattenhälfte **01.1a/02.1a** die Verdichtungsstation auf der Rollenbahn **33.1** nach hinten hin verlassen, so daß der Hubtisch **31.1** gegen die eingefahrene Formeinheit **05.1** anheben kann. Im linken Halbschnitt hat der Hubtisch **31.1** die Formeinheit **05.1** angehoben und mit einer entsprechenden Schließkraft gegen den Rahmen **17.1** der Bodenplatte **18.1** gedrückt. Die aus dem Bereich des lose geschütteten Formstoffes **08.1** und dem darüber befindlichen Freiraum **09.1** bestehende Formkammer **10.1** ist dadurch über die Dichtungen **11.1/12.1/13.1** druckdicht verschlossen. Die Freiraumhöhe **09.1** kann sehr klein gehalten werden, weil die feinrasterige und flächendeckende Anordnung der Einblasdüsen **37.1** und der Impulsdüsen **26.1** innerhalb dieser kleinen Distanz die Bildung eines über der Formstoffoberfläche gleichmäßig verteilten und senkrecht wirkenden Luftstromes und einer ebenso gleichmäßigen und senkrecht wirkenden Impulsdruckwelle ermöglicht. Dadurch wird insbesondere der Druckluftverbrauch reduziert und der Aufbau des hohen Druckgradienten für den Impulsdruckstoß begünstigt. Im oberen Teil der **Fig.2** ist eine Impulsverdichtungseinheit **16.1** dargestellt, wie sie beispielsweise aus EP-0139119 bekannt ist. Es können aber auch andere Impulsverdichtungssy-

steme vorgesehen werden. In der Bodenplatte **18.1** der Impulsverdichtungseinheit **16.1** sind die Einblasdüsen **37.1** in einem feinrastrigen Netz zwischen den lavalartigen Düsen **26.1** des Impulssystems flächendeckend angeordnet. **Fig.3** zeigt einen horizontalen Querschnitt durch die Bodenplatte **18.1**, woraus die feinrastrige und flächendeckende Anordnung der Einblasdüsen **37.1** zwischen den ebenfalls feinrastrigen und flächendeckenden lavalartigen Impulsdüsen **26.1** ersichtlich ist. Die feinrastrige und flächendeckende Anordnung der Einblasdüsen **37.1** in Verbindung mit ihrer Ausführung als Schlitzdüsen mit 0,3mm Schlitzbreite, ermöglicht vorteilhafterweise einen fein verteilten gleichmäßigen und senkrechten Luftstrom.

[0019] Das den Luftstrom speisende Druckluftsystem **44.1** besteht aus dem Speicherkessel **41.1**, dem Druckregelventil **42.1**, dem relativ kleinvolumigen Regelkessel **43.1**, dem Schaltventil **45.1** und dem Rückschlagventil **46.1**. Am Druckventil **42.1** wird der Düseninnendruck p_i für das Druckgefälle **B bzw. B1** (Fig.1a/1c) eingestellt und geregelt. über das Schaltventil **45.1** und über das Rückschlagventil **46.1** sowie über die Verteilerrohre **34.1** und über die Kanäle **35.1/36.1** wird die Druckluft **44.1** den Einblasdüsen **37.1** zugeführt. Die Ventile **42.1**, **45.1** und **46.1** mit den Rohrleitungen sowie die Verteilerrohre **34.1** und die Kanäle **35.1/36.1** sind so großzügig dimensioniert, daß jede Einblasdüse **37.1** ausreichend und drosselfrei mit Druckluft versorgt wird, d.h. die Einblasdüsen haben im Vergleich zu den vorangehenden Ventilen, Kanälen und Rohrleitungen den engsten Durchgangsquerschnitt. **Fig.4** zeigt einen vergrößerten Ausschnitt der Einblasdüsen **37.1** und der Kanäle **35.1/36.1**, die zwischen den lavalartigen Düsen **26.1** des Impulssystems angeordnet sind. Bei den Einblasdüsen **37.1** handelt es sich um handelsübliche Schlitzdüsen mit 0,3mm Schlitzbreite, die mit einem gekerbten Sitz in die Aufnahmebohrungen eingesetzt sind. Zur Sicherung der Einblasdüsen sind die mit Bohrungen **40.1** und Dichtbändern **39.1** versehenen Flacheisen **38.1** unterhalb der Bodenplatte **18.1** angeschraubt. Eine besondere Aufgabe dieser mit Dichtbändern versehenen Flacheisen **38.1** besteht jedoch darin, daß die Größe der Bohrung **40.1** letztendlich den freien Durchgangsquerschnitt der Einblasdüse **37.1** bestimmt. Zum Beispiel ist bei der Bohrung **d1** (Fig.4) der volle Durchgangsquerschnitt der Einblasdüse **37.1** wirksam, während bei der Bohrung **d2** (Fig.4) ein Teil des Düsenquerschnittes abgedeckt und somit unwirksam ist. Auch könnten einzelne Einblasdüsen auf diese Weise ganz verschlossen werden. Durch diese Maßnahmen ist es vorteilhafterweise möglich, die Intensität des Luftstromes partiell zu variieren. Beispielsweise befinden sich die meisten Modellplattendüsen **07.1** wegen der Formstoffreibung an den Formkastenwänden und wegen der häufig engen Abstände zwischen Modell und Formkastenwand üblicherweise im Bereich der Formkastenwände. Hierauf kann der Luftstrom sinnvoll angepaßt werden, indem die am äußeren Umfang angeordneten Einblasdüsen **36.1/37.1a** (Fig.3) mit vollem Durchgangsquerschnitt betrieben werden und die inneren Einblasdüsen **36.1/37.11** (Fig.3) mit reduzierten Durchgangsquerschnitt.

[0020] Die Vorrichtungsvariante **1** ermöglicht die Anwendung der bereits beschriebenen Verfahrensvarianten gemäß **Fig. 1a, 1b, und 1c** sowie auch der Verfahrensvariante, wobei der Aufbau des Luftstromdruckes in der Formkammer **10.1** von unten durch die Modellplatte **02.1** erfolgt. Ausgehend von der Darstellung im linken Halbschnitt der **Fig.2** laufen die einzelnen Funktionen dabei wie folgt ab:

[0021] Beim Einschalten des Luftstromes gemäß **Fig.1a** sind die Ventile **52.1** und **53.1** ausgeschaltet, so daß die Modellplattenunterseite **06.1** am Ventilausgang **53.1a** mit der freien Atmosphäre verbunden ist. Hinter dem Druckregelventil **42.1**, im Regelkessel **43.1** und im Rohrleitungssystem **44.1** steht der dem jeweiligen Modell entsprechende Druck für die Luftstromerzeugung an. Im Druckbehälter **19.1**, im Rohrleitungssystem **21.1** und im Kessel **20.1** steht der Druck für den Impulsdruckstoß an. Dieser Druck liegt etwa 3 bis 4bar über dem Druck **B** (Fig.1a), damit ein entsprechendes Druckgefälle für den Impulsdruckstoß gegeben ist. Die Ventile **29.1** und **30.1** sind ausgeschaltet, wodurch der Hubkolben **23.1** allseitig vom Druck **21.1** der Impulseinheit beaufschlagt wird, sodaß er ohne Krafterwirkung ist. Die Ventilstößel **25.1** werden durch den Druck **21.1** der Impulseinheit auf ihren Sitz gedrückt und dadurch geschlossen gehalten. Durch Einschalten des Ventils **45.1** wird die Druckluft **44.1** den Einblasdüsen **37.1** zugeführt, womit der Luftstrom in den Freiraum **09.1** der Formkammer **10.1** eingeblasen wird und durch den Formstoff **08.1** und durch die Modellplattendüsen **07.1** zur Unterseite **06.1** der Modellplatte **02.1** fließt und von dort über die Leitungen **54.1** und über die Ventile **52.1/53.1** in die freie Atmosphäre **53.1a** abgeleitet wird. Das Öffnen des Ventils **45.1** erfolgt über eine Zeitrampe, um das zu Beginn noch kleinere Druckverhältnis p_a/p_i mit seinen Auswirkungen auf den Druckgradienten **B/t₁** (Fig.1a) zu kompensieren. Der den Luftstrom treibende Druck wird innerhalb der Formkammer **10.1** von einem Drucksensor **49.1** überwacht, so daß bei Abweichungen von der Sollwerttoleranz eine Korrektur am Druckregelventil **42.1** erfolgen kann. In den laufenden Luftstrom hinein wird der Impulsdruckstoß ausgelöst, indem das großflächige Schnellschaltventil **29.1** eingeschaltet wird. Dadurch wird der Kolbenraum **22.1** schlagartig entlastet und der Hubkolben **23.1** mit dem Hubrahmen **24.1** und den Ventilstößel **25.1** ebenso schlagartig angehoben, wodurch der Impulsdruckstoß ausgelöst wird. Dabei verhindert das Rückschlagventil **46.1** ein zurückschlagen des Impulsdruckstoßes in das Drucksystem **44.1**. Unterstützend dazu wird das Ventil **45.1** ohne Zeitrampe ausgeschaltet. Nach dem Zeitablauf **t₄** (Fig.1a) wird durch Ausschalten des Ventils **29.1** und durch kurzzeitiges Einschalten des Ventils **30.1** der Kolbenraum **22.1** mit dem höheren Netzdruck **93.1** beaufschlagt, wodurch die Ventilstößel **25.1** die Impulsdüsen **26.1** wieder verschließen. Nach dem Wiederausschalten des Ventils **30.1** wird der Kolben **23.1** wieder allseitig vom Impuls-Systemdruck **21.1** beaufschlagt, so daß seine Kraftwirkung auf den Hubrahmen **24.1** wieder aufgehoben wird. Unmittelbar nach dem Verschließen der Impulsdüsen **26.1** wird das Ventil **47.1** über eine Zeitrampe geöffnet, womit ein schockfreier Druckabbau in der Form-

kammer **10.1** eingeleitet wird. Nachdem das Ventil **47.1** ganz geöffnet ist, erfolgt der weitere gesteuerte Druckabbau über die Drossel **48.1**. Nach dem Druckabbau beginnt das Ausensen des Modells aus der Form und gleichzeitig wird das Ventil **47.1** wieder geschlossen, womit der Verdichtungsvorgang beendet ist.

[0022] Beim Luftstrom gemäß **Fig.1c** ist der Funktionablauf wie zuvor für **Fig.1a** beschrieben. Zusammen mit dem Ventil **45.1** wird dabei jedoch zusätzlich noch das Ventil **53.1** mit geschaltet, womit die Modellplattenunterseite **06.1** über die Bohrungen **32.1** und über die Leitungen **54.1** mit der Unterdruckquelle **55.1** verbunden wird. Die Drucksysteme **21.1** und **44.1** werden dabei auf den Druck **B1** (**Fig.1c**) abgestimmt.

[0023] Beim Luftstrom gemäß **Fig.1b** werden zur Erzeugung des Luftstromes nur die Ventile **50.1** und **53.1** eingeschaltet. Dadurch wird der Luftstrom von Unterdruckquelle **55.1** über das eingeschaltete Ventil **53.1**, über das ausgeschaltete Ventil **52.1**, über die Leitungen **54.1**, über die Bohrungen **32.1**, über die Modellplattendüsen **07.1**, durch die Formkammer **10.1** über das Düsensystem **37.1** und schließlich über das eingeschaltete Ventil **50.1** aus der freien Atmosphäre **50.1a** angesaugt. Die Intensität des Luftstromes wird dabei von den Durchgangsquerschnitten der Modellplattendüsen **07.1** und vom Unterdruck **C** (**Fig.1b**) bestimmt, während der Luftstrom über die Ventile **50.1** frei einfließen kann, so daß also keine vorverdichtend wirkende Evakuierung der Formkammer **10.1** eintreten kann. Die Dichtungen **14.1** und **15.1** verhindern dabei das Ansaugen von Falschluff. In den laufenden Luftstrom hinein erfolgt der Impulsdruckstoß wie zuvor beim Luftstrom zu **Fig.1a** beschrieben. Zu Beginn des Impulsdruckstoßes wird dabei jedoch das Ventil **50.1** ausgeschaltet, damit der Druckstoß gegen die freie Atmosphäre abgesperrt ist. Das Drucksystem **21.1** wird dabei auf den Druck **X** (**Fig.1c**) abgestimmt.

[0024] Bei der Variante, bei der der Aufbau des Luftstromdruckes in der Formkammer **10.1** von unten durch die Modellplatte **02.1** erfolgt, wird der erforderliche Druck am Druckregler **51.1** eingestellt und geregelt. Dieser Druck entspricht dem bereits beschriebenen Ausgangsdruck p_a bzw. **C+B** (**Fig.1a/1c**) am Ausgang der Einblasdüse **37.1** (**Fig.4**). Er ist damit immer kleiner als p_i (**Fig.4**), so daß die Primärseite des Druckreglers **51.1** vom Drucksystem **44.1** gespeist werden kann, welches dem Druck p_i entspricht. Ausgehend von der Darstellung im linken Halbschnitt der **Fig.2** läuft der Arbeitsvorgang wie folgt ab: Durch Einschalten des Ventils **52.1** wird die vom Druckregler **51.1** kommende Druckluft über die Leitungen **54.1** und über die Modellplattendüsen **07.1** von unten in die Formkammer **10.1** eingeblasen. Die Einblasintensität wird dabei in Abhängigkeit von den variablen Modellplattendüsen **07.1** an dem regelbaren Drosselventil **56.1** eingestellt. Die Ventile **45.1**, **47.1**, und **50.1** sind dabei ausgeschaltet bzw. geschlossen, damit ein Druckaufbau ermöglicht wird. Der Druckaufbau erfolgt auch hierbei mit dem sehr flachen Druckgradienten von 5bar/sek, vorzugsweise 2bar/sek über die Zeit t_1 (**Fig.1a/1c**), wodurch ein Anheben des Formstoffes in den Freiraum **09.1** und somit eine Verdichtung des Formstoffes verhindert wird. Die Formkammer **10.1** bzw. der Freiraum **09.1** und die Luftporen im Formstoff werden dabei lediglich in den Zustand eines höheren atmosphärischen Druckes entsprechend p_a bzw. **C+B** (**Fig.1a/1c**) versetzt. Sobald der am Druckregler **51.1** eingestellte Druck in der Formkammer **10.1** erreicht ist und vom Drucksensor **49.1** gemeldet wird, wird das Ventil **45.1** eingeschaltet und das Ventil **52.1** ausgeschaltet, so daß der Luftstrom von oben nach unten eingeleitet wird. Je nach Schaltstellung des Ventils **53.1** fließt der Luftstrom dabei gemäß **Fig.1a** zur freien Atmosphäre **53.1a** oder gemäß **Fig.1c** zur Unterdruckquelle **55.1** ab. In den laufenden Luftstrom hinein wird dann wie bereits zuvor zur Variante gemäß **Fig.1a** beschrieben der Druckstoß ausgelöst.

[0025] Die **Figuren 5 und 6a bis 6e** zeigen die **Vorrichtungsvariante 2**. Bei dieser Variante wird der Luftstrom direkt aus dem Druckluftbehälter **19.2** bzw. aus dem Impuls-Drucksystem **21.2** gespeist. Die von der Abflußkapazität der variablen Modellplattendüsen **07.2** abhängige Masse des Luftstromes wird dabei auf Grund des Druckverhältnisses $p_a/p_i < 0,528$ nach den Gesetzmäßigkeiten des überkritischen Ausströmens von den regelbaren Durchgangsquerschnitten der Ventilstöße **58.2** (**Fig.5**) bestimmt. p_i ist dabei der im Druckluftbehälter **19.2** anstehende Druck **21.2** des Impulssystems und p_a der Außendruck im Freiraum **09.2** bzw. in der Formkammer **10.2** unterhalb der Ventilstöße **58.2**. Beträgt beispielsweise das Druckgefälle **B** (**Fig.1a**) 1,5bar, so ergibt sich für p_a ein absoluter Druck von 2,5bar. Bei einem für den Impulsdruckstoß erforderlichen Druckgefälle zwischen dem Druckluftbehälter **19.2** und dem Formkammerbereich **09.2**, welches üblicherweise zwischen 3 und 4 bar liegt, ergibt sich dann für p_i im Druckluftbehälter **19.2** beispielsweise ein absoluter Druck von $2,5+4,0 = 6,5$ bar. Das Druckverhältnis liegt dabei mit $P_a/P_i = 2,5/(2,5+4,0) = 0,38 < 0,528$ weit im überkritischen Bereich. Das Drucksystem **20.2/21.2** wird während des Luftstromes über das Ventil **28.2** aus dem Druckluftnetz nachgespeist, um den Druckluftvorrat bzw. den Ausgangsdruck für den Impulsdruckstoß aufrecht zu erhalten. Das Druckverhältnis p_a/p_i bleibt daher während des Luftstromes unverändert im überkritischen Bereich. Der unterkritische Bereich würde erst erreicht, wenn das Druckgefälle **B** (**Fig.1a**) auf einen praktisch nicht mehr anwendbaren Wert von 2,24bar abgesenkt würde ($p_a/p_i = 2,5/(2,5+2,24) = 0,528$). Auf Grund der Druckverhältnisse ist der überkritische Bereich sichergestellt, so daß die Masse des Luftstromes im praktischen Betrieb ausschließlich von den variablen Durchgangsquerschnitten der Ventilstöße **58.2** bestimmt wird. Im Falle des unterkritischen Betriebes, d.h. $p_a/p_i > 0,528$ würde die Masse des Luftstromes neben dem variablen Durchgangsquerschnitt auch noch vom Druck p_i mit beeinflusst, was grundsätzlich auch durchführbar wäre.

[0026] Die Ventilstöße **58.2** (**Fig.5**) haben eine Doppelfunktion, wobei sie in der ersten Funktionsphase einen variablen Durchgangsquerschnitt für den Luftstrom freigeben und in der zweiten Funktionsphase durch schlagartiges

Anheben die Impulsdüsen **26.2** für den Impulsdruckstoß öffnen. Die Ventilstößel **58.2** mit den Impulsdüsen **26.2** sind gemäß der Darstellung in **Fig.5** und **Fig.3** in einem feingliederigen und flächendeckenden Raster oberhalb der Formkammer **10.2** angeordnet, wodurch ein gleichmäßig verteilter und senkrechter Luftstrom sowie auch eine gleichmäßige und senkrecht wirkende Impulsdruckwelle ermöglicht wird. Auf Grund der feinstrasterigen und flächendeckenden Anordnung der Impulsdüsen **26.2** kann die Freiraumhöhe **09.2** sehr klein gehalten werden, wodurch der Druckluftverbrauch reduziert und der Aufbau des hohen Druckgradienten für den Impulsdruckstoß begünstigt wird.

[0027] Die **Figuren 6a, 6b, 6c und 6d** zeigen den Ventilstößel **58.2** (Fig.5) in verschiedenen Betriebsstellungen. In **Fig.6a** ist der Ventilstößel in Schließstellung und in **Fig.6b** in maximaler Öffnungsstellung für den Impulsdruckstoß dargestellt. In **Fig.6c** ist der Ventilstößel in einer geringfügigen Öffnungsstellung und in **Fig.6d** in einer maximalen Öffnungsstellung jeweils für den Luftstrom dargestellt. Die Ventilstößelumströmung für den Impulsdruckstoß ist in **Fig.6b** durch die Pfeillinien **59.2** dargestellt. In **Fig.6d** kennzeichnen die Pfeillinien **60.2** die Ventilstößeldurchströmung für den Luftstrom. Der dabei durchströmte Ringspalt **61.2** bewirkt eine feine und großflächige Verteilung der ausströmenden Druckluft. Der Ringspalt **61.2** hat einen größeren Querschnitt als der maximale Durchgangsquerschnitt an der Steuerkante **62.2**, so daß im Ringspalt **61.2** keine Drosselwirkung entstehen kann. Die feinstrasterige und flächendeckende Anordnung der Impulsdüsen **26.2** im Zusammenhang mit dem feinverteilten Ausblasen aus den Ringspalten bewirkt einen fein verteilten, gleichmäßigen und senkrechten Luftstrom.

[0028] Im weiteren werden die Ventilstößel **58.2** (Fig.5) anhand der **Figuren 6a, 6b, 6c und 6d** beschrieben. Der einzelne Ventilstößel besteht aus einem metallischen und kreisrundem (**D1/D2**) Grundkörper **63.2**, auf dem im oberen Teil die Dichtung **64.2** und im unteren Teil die Dichtung **65.2** aufvulkanisiert ist. Im Ruhezustand drückt der Hubrahmen **24.2** (Fig.5 und 6a) die Ventilstößel auf die Ventilsitze **57.2** in der Bodenplatte **18.2**, wobei die Dichtung **64.2** den Luftstrom **60.2** sperrt und die Dichtung **65.2** den Impulsstrom **59.2** sperrt. Die Schließkraft **S1** auf die Dichtung **64.2** ist das Produkt aus dem Druck p_i (Fig.6a) im Druckbehälter **19.2** und der Kreisfläche aus **D1** (Fig.6a) und sie wirkt über die Oberseite **24.2a** des Hubrahmens **24.2** mit dem Flächenwert **D1**. Da der Hubkolben **23.2** allseitig vom Drucksystem **21.2** beaufschlagt wird, ist er ohne Krafteinwirkung auf den Hubrahmen **24.2**. Der Hubrahmen **24.2** wird daher nur durch die Summe der einzelnen Schließkräfte **S1** nach unten auf die Ventilstößel gedrückt. Die Schließkraft **S2** auf die Dichtung **65.2** ist das Produkt aus dem Druck p_i im Druckbehälter **19.2** und der Kreisfläche **D2**, wobei sich die Wirkungsfolge wie folgt zusammensetzt:

$$p_i \cdot D_1^2 \cdot 3,14/4 + p_i \cdot (D_2^2 - D_1^2) \cdot 3,14/4 = p_i \cdot D_2^2 \cdot 3,14/4$$

Der Ventilstößel **63.2/64.2/65.2** ist auf dem am Hubrahmen **24.2** befestigten Bolzen **66.2** geführt. Der Bolzen **66.2** ist an der unteren Seite mit einem Bund **67.2** und einem Schlüsselsechskant versehen. Auf dem Bund **67.2** liegt eine aus Gummi bestehende Dämpfscheibe **68.2** und darauf wiederum eine aus schlagfestem Kunststoff bestehende Prallscheibe **69.2** auf. Der Bolzen ist mit Ausfräsungen **70.2** versehen, womit an der Steuerkante **62.2** ein regelbarer Durchgangsquerschnitt für den Luftstrom **60.2** gebildet wird. Über den Weg **71.2** und der Kurve **72.2** wird der Durchgangsquerschnitt für den Luftstrom **60.2** von Null bis Maximal linear verstellt. Die Schnitte **U, V** und **W** zur Figur 6b zeigen die Durchgangsquerschnitte **73.2, 74.2** und **75.2** zu verschiedenen Stellungen des Bolzens **66.2** zur Steuerkante **62.2** des Ventilstößelgrundkörpers **63.2**. In **Fig.6c** ist ein Durchgangsquerschnitt an der Steuerkante **62.2** durch das Bezugszeichen **76.2** gekennzeichnet. Der Stellweg **71.2** ist relativ lang ausgelegt, um so eine bessere Auflösung des Stellweges und damit eine genaue Einstellung bzw. Regelung des Durchgangsquerschnittes an der Steuerkante **62.2** zu erzielen. Zur Einleitung des Luftstromes wird der Hubrahmen **24.2** mit den Bolzen **66.2** vom dem als Positionierantrieb ausgeführten Hydraulikzylinder **82.2** (Fig.5) soweit angehoben, bis der Durchgangsquerschnitt an der Steuerkante **62.2** den vorgegebenen, von den variablen Modellplattendüsen **07.2** abhängigen Wert erreicht hat. Dabei hebt der Hubrahmen **24.2** von den Dichtungen **64.2** ab, während der Ventilstößel **63.2/64.2/65.2** vom Druck p_i bzw. **21.2** über die Fläche von **D2** weiterhin auf den Ventilsitz **57.2** gehalten wird. Durch das Abheben des Hubrahmens **24.2** von der Dichtung **64.2** gelangt die Druckluft **21.2** zur Steuerkante **62.2** und durchströmt den Ventilstößel entsprechend der Pfeillinien **60.2**. Je nach Öffnungsstellung **77.2** bzw. **78.2** stellt sich zwischen der Ventilstößelfläche **63.2a** und der Prallscheibe **69.2** die Distanz **80.2** bzw. **81.2** ein. Dieses Maß dient als Beschleunigungsweg des Hubrahmens **24.2** beim Auslösen des Impulsdruckstoßes. Hierzu wird der Kolbenraum **22.2** schlagartig entlastet, wodurch der Hubrahmen **24.2** ebenso schlagartig angehoben wird. Nach Durchfahren der Distanz **80.2** bzw. **81.2** schlägt die Prallscheibe **69.2** mit einer bereits erreichten definitiven Geschwindigkeit gegen den Ventilstößel und hebt diesen mit der Dichtung **65.2** im "fliegenden Start" vom Ventilsitz **57.2** ab, wobei die maximale Öffnungsstellung **h** (Fig.6b) in wenigen Millisekunden erreicht wird und wodurch der Impulsdruckstoß mit einem Druckgradienten von bis zu 600bar/sek ausgelöst wird. Die Öffnungsstellung $h = D_3/4$ entspricht dabei einem drosselfreien Einströmquerschnitt für **D3** ($D_3^2 \cdot 3,14 \cdot h = D_3^2 \cdot 3,14/4$). Die Prallscheibe **69.2** besteht aus einem schlagfesten Kunststoff, um ein metallisches Anschlagen zu vermeiden und durch die unter der Prallscheibe **69.2** liegenden Gummischeibe **68.2** wird außerdem noch der Anschlag der Prallscheibe **69.2** an den Ventilstößel **63.2** gedämpft. Durch unterschiedliche Staffelung der Prallscheibenhöhe **79.2** wird verhindert, daß alle Ventilstößel gleichzeitig vom Ventilsitz abheben, wodurch die Hubkraft bzw. die Öffnungskraft

wesentlich reduziert wird und was sich außerdem günstig auf das schnelle Abheben der Ventilstößel auswirkt. Mit Vorteil kann die Öffnungsfolge so ausgeführt werden, daß als erstes die äußeren und dann zunehmend die inneren Ventilstößel vom Ventilsitz abheben, was in Bezug auf die Formstoffreibung an der Formkastenwand vorteilhafterweise zu einer glockenförmigen Impulsdruckwelle führt. Im weiteren kann auch der Luftstrom im Außenbereich intensiviert werden, indem die Durchgangsquerschnitte im Außenbereich größer ausgeführt werden als im Innenbereich.

[0029] Die Fig.6e zeigt eine alternative Ausführungsform des Ventilstößels, wobei der Grundkörper bei sonst gleicher Funktion aus einer metallischen Hülse 95.2 und einer darauf aufvulkanisierten Gummiummantelung 96.2 besteht.

[0030] Die Fig.5 zeigt einen Vertikalschnitt durch die Verdichtungsstation einer als beispielhaft dargestellten Formmaschine. Im rechten Halbschnitt ist die Ausgangsstellung der Formmaschine dargestellt, wobei die aus Modellträger 01.2, Modellplatte 02.2, Formkasten 03.2 und Füllrahmen 04.2 bestehende und mit losen Formstoff 08.2 gefüllte Formeinheit 05.2 in die Verdichtungsstation eingefahren ist. Im linken Halbschnitt hat der Hubtisch 31.2 die Formeinheit 05.2 angehoben und mit einer entsprechenden Schließkraft gegen den Rahmen 17.2 der Bodenplatte 18.2 gedrückt. Die aus dem Bereich des lose geschütteten Formstoffes 08.2 und dem darüber befindlichen Freiraum 09.2 bestehende Formkammer 10.2 ist über die Dichtungen 11.2/12.2/13.2 druckdicht verschlossen. Die Freiraumhöhe 09.2 kann sehr klein gehalten werden, weil die feinrasterige und flächendeckende Anordnung der Düsen 26.2 innerhalb dieser kleinen Distanz die Bildung eines über die Formstoffoberfläche gleichmäßig verteilten und senkrecht wirkenden Luftstromes und einer ebenso gleichmäßig verteilten und senkrecht wirkenden Impulsdruckwelle ermöglicht. Dadurch wird insbesondere der Druckluftverbrauch reduziert und der Aufbau des hohen Druckgradienten begünstigt. Im oberen Teil der Fig.5 ist eine Verdichtungseinheit 16.2 dargestellt, wie sie beispielweise (mit Ausnahme der zuvor beschriebenen Ventilstößel 58.2 und des Stellzylinders 82.2) aus EP-0139119 bekannt ist. Dabei weist der Kolbenraum 22.2 eine Vertiefung 83.2 auf, die im unteren Bereich durch den eingeschweißten Boden 84.2 druckdicht zum Raum 19.2 begrenzt ist. Im oberen Bereich wird die Vertiefung 83.2 durch die mit Schrauben befestigte Scheibe 85.2 begrenzt. Durch die Bohrung der Scheibe 85.2 wird die Kolbenstange 86.2 des Stellzylinders 82.2 berührungslos in die Vertiefung 83.2 eingeführt. Am unteren Ende der Kolbenstange 86.2 ist die Mitnehmerscheibe 87.2 befestigt, die beim Anheben unter die Scheibe 85.2 greift und dabei den Kolben 23.2 mit dem Hubrahmen 24.2 anhebt und damit die Durchgangsquerschnitte für den Luftstrom öffnet. Im Ruhezustand bzw. in der untersten Stellung des Stellzylinders 82.2 hat die Mitnehmerscheibe 87.2 den Abstand 88.2 zur Scheibe 85.2, so daß die Kolbenstange 86.2 und die Mitnehmerscheibe 87.2 keine Berührung zur Scheibe 85.2 haben und die Ventilstößel 58.2 (Fig.5) so ungehindert auf ihre Ventilsitze gedrückt werden können. Der hydraulisch betriebene Stellzylinder 82.2 ist in der, den Kolbenraum 22.2 nach oben begrenzenden Kopfplatte 89.2 befestigt. Im Stellzylinder 82.2 ist eine Wegmeßeinrichtung integriert, die im Zusammenwirken mit einer elektronischen Regeleinrichtung 90.2 und einem hydraulischen Proportional- oder Servoventil 91.2 ein genaues Positionieren der Kolbenstange 86.2 und der Mitnehmerscheibe 87.2 ermöglicht. Damit können dann auch über den Hubrahmen 24.2 die Ventilstößelbolzen 66.2 in eine genaue Position gebracht werden, die dem vorgegebenen Durchgangsquerschnitt an der Steuerkante 62.2 entspricht.

[0031] Auch die Vorrichtungsvariante 2 ermöglicht die Anwendung der bereits beschriebenen Verfahrensvarianten gemäß Fig. 1a, 1b und 1c sowie der Verfahrensvariante, wobei der Aufbau des Luftstromdruckes in der Formkammer 10.2 von unten durch die Modellplatte 02.2 erfolgt. Ausgehend von der Darstellung im linken Halbschnitt der Fig.5 laufen die einzelnen Funktionen dabei wie folgt ab:

[0032] Für den Luftstrom gemäß Fig.1a sind die Ventile 52.2 und 53.2 ausgeschaltet, so daß die Modellplattenunterseite 06.2 am Ventilausgang 53.2a mit der freien Atmosphäre verbunden ist. Im weiteren sind auch die Ventile 47.2 und 50.2 ausgeschaltet. Im Druckluftbehälter 19.2 steht der Druck 21.2 an und das Ventil 28.2 ist geöffnet, damit während des Luftstromes Druckluft aus dem aus dem Netz nachfließen kann, womit der Wert des Systemdruckes 21.2 für den nachfolgenden Impulsdruckstoß aufrecht erhalten wird. Der Hubkolben 23.2 steht allseitig unter dem Systemdruck 21.2, so daß er ohne Krafteinwirkung auf den Hubrahmen 24.2 ist. Die Ventilstößel 58.2/63.2 werden vom Systemdruck 21.2 auf ihren Ventilsitz gedrückt und dadurch geschlossen gehalten. Durch Einschalten des Ventilmagneten 91.2a wird der Kolben des Stellzylinders 82.2 nach oben bewegt. Nach Durchfahren der Distanz 88.2 erfaßt die Mitnehmerscheibe 87.2 die Scheibe 85.2, wodurch der Hubrahmen 24.2 mit den Bolzen 66.2 soweit nach oben gezogen wird, bis an der Steuerkante 62.2 der von den variablen Modellplattendüsen 07.2 abhängige Durchgangsquerschnitt erreicht ist. Das Öffnen bis zu diesem Durchgangsquerschnitt erfolgt über eine Zeitrampe, um das zu Beginn noch kleinere Druckverhältnis p_a/p_i mit seinen Auswirkungen auf den Druckgradienten B/t_1 (Fig.1a) zu kompensieren. Die lineare Erweiterung des Durchgangsquerschnittes von Null bis Maximal erfolgt über den relativ langen Weg 71.2, um durch eine bessere Auflösung eine genaue Einstellung des Durchgangsquerschnittes und somit des Massenstromes zu erzielen. Mit dem Öffnen des Durchgangsquerschnittes an der Steuerkante 62.2 beginnt der Luftstrom entsprechend der Pfeillinien 60.2 über alle Düsen 26.2 zu fließen und er erreicht nach der Zeit t_1 (Fig.1a) seine, auf die Abflußkapazität der Modellplattendüsen 07.2 abgestimmte Stärke. Der Luftstrom fließt durch den Formsand 08.2, über die Modellplattendüsen 07.2, und über die Ventile 52.2 und 53.2 zur freien Atmosphäre 53.2a ab. Dabei wird der den Luftstrom treibende Druck innerhalb der Formkammer 10.2 von einem Sensor 49.2 überwacht, so daß bei Abweichungen von der Sollwerttoleranz eine Korrektur der Hubstellung des Stellzylinders 82.2 und damit des Durchgangsquer-

schnittes an den Steuerkanten **62.2** erfolgen kann. In den laufenden Luftstrom hinein wird der Impulsdruckstoß ausgelöst, indem das großflächige Schnellschaltventil **29.2** eingeschaltet wird. Dadurch wird der Kolbenraum **22.2** schlagartig entlastet und der Hubkolben **23.2** mit dem Hubrahmen **24.2** ebenso schlagartig angehoben. Die Scheibe **85.2** entfernt sich dabei von der ruhenden Mitnehmerscheibe **87.2** und nach Durchfahren der Strecke **80.2** bzw. **81.2** werden die Ventilstößel **58.2** (Fig.5) bzw. **63.2/65.2** (Fig.6c/6d) mit einer bereits erreichten definitiven Geschwindigkeit des Hubrahmens **24.2** im "fliegenden Start" von ihren Ventilsitzen **57.2** abgehoben, wodurch der Impulsdruckstoß ausgelöst wird. Die Fig.5a zeigt im linken Halbschnitt den Hubkolben **23.2** und den Stellzylinder **82.2** mit der an Scheibe **85.2** anliegenden Mitnehmerscheibe **87.2** in der Luftstromstellung. Der rechte Halbschnitt zeigt den Hubkolben **23.2** in der Stellung für den Impulsdruckstoß, wobei er sich von der Mitnehmerscheibe **87.2** entfernt hat. Mit Auslösung des Impulsdruckstoßes wird die Mitnehmerscheibe **87.2** des Stellzylinders **82.2** durch Einschalten des Magneten **91.2b** wieder in die unterste Position gemäß Fig.5 gefahren. Nach dem Zeitablauf t_4 (Fig.1a) wird durch Ausschalten des Ventils **29.2** und durch kurzzeitiges Einschalten des Ventils **30.2** der Kolbenraum **22.2** mit dem höheren Netzdruck **93.2** beaufschlagt, wodurch die Ventilstößel **58.2** die Impulsdüsen **26.2** wieder verschließen. Nach dem Wiederausschalten des Ventils **30.2** wird der Kolben **23.2** wieder allseitig vom Impulsdrucksystem **21.2** beaufschlagt, so daß die Krafterwirkung auf den Hubrahmen **24.2** wieder aufgehoben wird. Unmittelbar nach dem Verschließen der Impulsdüsen **26.2** wird das Ventil **47.2** über eine Zeitrampe geöffnet, womit ein schockfreier Druckabbau in der Formkammer **10.2** eingeleitet wird. Nach dem das Ventil **47.2** ganz geöffnet ist, erfolgt der weitere gesteuerte Druckabbau über die Drossel **48.2**. Nach dem Druckabbau beginnt das Ausssenken des Modells aus der Form und gleichzeitig wird das Ventil **47.2** wieder geschlossen, womit der Verdichtungsvorgang beendet ist.

[0033] Beim Luftstrom gemäß Fig.1c ist der Funktionsablauf wie zuvor für Fig.1a beschrieben. Zusammen mit dem Öffnen der Durchgangsverschnitte an der Steuerkante **62.2** (Fig.6d) wird dabei jedoch zusätzlich das Ventil **53.2** eingeschaltet, womit die Modellplattenunterseite **06.2** über die Leitungen **54.2** mit der Unterdruckquelle **55.2** verbunden wird. Das Drucksystem **21.2** wird dabei auf den Druck **B1** (Fig.1c) abgestimmt.

[0034] Beim Luftstrom gemäß Fig.1b werden zur Erzeugung des Luftstromes nur die Ventile **50.2** und **53.2** eingeschaltet. Dadurch wird der Luftstrom von der Unterdruckquelle **55.2** über das eingeschaltete Ventil **53.2**, über das ausgeschaltete Ventil **52.2** über die Leitungen **54.2**, über die Modellplattendüsen **07.2**, durch die Formkammer **10.2** und schließlich über die eingeschalteten Ventile **50.2** aus der freien Atmosphäre **50.2a** angesaugt. Die Intensität des Luftstromes wird dabei von den Durchgangsverschnitten der Modellplattendüsen **07.2** und vom Unterdruck **C** (Fig.1b) bestimmt, während der Luftstrom über die Ventile **50.2** frei einfließen kann, so daß also keine vorverdichtend wirkende Evakuierung der Formkammer **10.2** eintreten kann. Die Dichtungen **14.2** und **15.2** verhindern ein Ansaugen von Falschluff. In den laufenden Luftstrom hinein erfolgt der Impulsdruckstoß wie zuvor zu Fig.1a beschrieben. Dabei werden die Ventilstößel jedoch in einem Hub gemäß Darstellung von Fig.6a zu Fig.6b für den Impulsdruckstoß geöffnet. Zu Beginn des Impulsdruckstoßes wird das Ventil **50.2** ausgeschaltet, damit der Druckstoß zur freien Atmosphäre abgesperrt ist. Das Drucksystem **21.2** wird dabei auf den Druck **X** (Fig.1c) abgestimmt.

[0035] Bei der Variante, bei der der Aufbau des Luftstromdruckes in der Formkammer **10.2** von unten durch die Modellplatte **02.2** erfolgt, wird der erforderliche Druck am Druckregler **51.2** eingestellt und geregelt. Dieser Druck entspricht dem bereits beschriebenen Ausgangsdruck p_a bzw. **C+B** (Fig.1a/1c) am Ringspalt **61.2** (Fig.6d). Ausgehend vom linken Halbschnitt der Fig.5 läuft der Arbeitsvorgang wie folgt ab: Durch Einschalten des Ventils **52.2** wird die vom Druckregler **51.2** kommende Druckluft über die Leitungen **54.2** und über die Modellplattendüsen **07.2** von unten in die Formkammer **10.2** eingeblasen. Die Einblasintensität wird dabei in Abhängigkeit von den variablen Modellplattendüsen an dem regelbaren Drosselventil **56.2** eingestellt. Die Ventile **47.2** und **50.2** sind dabei ausgeschaltet bzw. geschlossen, damit ein Druckaufbau möglich wird. Der Druckaufbau erfolgt auch hierbei mit dem sehr flachen Druckgradienten von 5bar/sek (vorzugsweise 2bar/sek) über die Zeit t_1 (Fig.1a/1c), wodurch ein Anheben des Formstoffes in den Freiraum **09.2** und somit eine Verdichtung des Formstoffes verhindert wird. Die Formkammer **10.2** bzw. der Freiraum **09.2** und die Luftporen im Formstoff werden dabei lediglich in den Zustand eines höheren atmosphärischen Druckes entsprechend p_a bzw. **C+B** (Fig.1a/1c) versetzt. Sobald der am Druckregler **51.2** eingestellte Druck in der Formkammer **10.2** erreicht ist und vom Drucksensor **49.2** gemeldet wird, wird der Magnet **91.2a** eingeschaltet, womit der Kolben des Stellzylinders **82.2** den Hubrahmen **24.2** mit den Bolzen **66.2** soweit nach oben zieht, bis an der Steuerkante **62.2** der von den variablen Modellplattendüsen **07.2** abhängige Durchgangsverschnitt erreicht ist. Da der Druck p_a in der Formkammer **10.2** bereits ansteht, kann dieser Öffnungsvorgang im Gegensatz zu dem von oben aufgebauten Druck p_a schnell und ohne Zeitrampe erfolgen. Gleichzeitig mit dem Einschalten des Magneten **91.2a** wird das Ventil **52.2** ausgeschaltet, so daß der Luftstrom von oben nach unten eingeleitet wird. Je nach Schaltstellung des Ventils **53.2** fließt der Luftstrom dabei gemäß Fig.1a zur freien Atmosphäre **53.2a** oder gemäß Fig.1c zur Unterdruckquelle **55.2** ab. Der den Luftstrom treibende Druck innerhalb der Formkammer **10.2** wird von dem Sensor **49.2** überwacht, so daß bei Abweichungen von der Sollwerttoleranz eine Korrektur der Hubstellung des Stellzylinders **82.2** und somit des Durchgangsverschnittes an der Steuerkante **62.2** erfolgen kann. In den laufenden Luftstrom hinein wird dann wie bereits zuvor zur Vorrichtungsvariante **2** und Fig.1a beschrieben der Druckstoß ausgelöst.

[0036] Wie bereits beschrieben, ist die Masse des Luftstromes von der Abflußkapazität der Modellplattendüsen

07.1/2 abhängig, da diese den Hauptdurchflußwiderstand für den Luftstrom bilden.

[0037] Es wird dabei nur soviel Druckluft in die Formkammer 10.1/2 eingeblasen, wie bei dem entsprechenden Druckgefälle **B** (Fig. 1a/1c) und ohne weiteren Druckstau über die Modellplattendüsen 07.1/2 abfließen kann. Da die Modelle nach den individuellen Erfordernissen nach Anzahl, Größe und Aufteilung sehr unterschiedlich mit den als Schlitzdüsen ausgeführten Modellplattendüsen 07.1/2 bestückt sind, muß die Masse des Luftstromes auch individuell für jedes Modell eingestellt werden. Dies erfolgt wie bereits beschrieben bei der Vorrichtungsvariante 1 im unterkritischen Bereich über den Druck p_i (Fig.4) vor den Einblasdüsen 37.1 und bei der Vorrichtungsvariante 2 im überkritischen Bereich über die Durchgangsverschnitte in den Ventilstößeln 58.2, die schließlich von der Hubstellung des Stellzylinders 82.2 bestimmt werden. Um bei einem Wechsel eines Modellplattenpaares oder auch beim ständigen Wechsel von Ober- und Unterkastenmodell die entsprechenden Werte schnell und automatisch einstellen zu können, wird für jedes Modellpaar ein Datensatz angelegt, in dem alle modellrelevanten Daten, nach Oberkasten- und Unterkastenmodell differenziert, abgelegt werden. Neben den gießtechnischen Daten wie beispielsweise Gießtrichterposition, Eingußgewicht, Impfmittel, Kühlzeit usw. werden auch die formtechnischen Daten für Formstoff, Verdichtung und Luftstrom in dem Datensatz abgelegt. Der Datensatz wird der Modellnummer fest zugeordnet. Beim Wechsel eines Modellplattenpaares wird die Modellnummer über eine an der Modellplatte 02.1/2 angebrachte Kodierleiste automatisch gelesen und der zugeordnete Datensatz automatisch aktiviert. Die formtechnischen Daten können dann im Wechsel für Ober- und Unterkastenmodell abgerufen werden, wobei die Identifizierung von Ober- und Unterkastenmodell durch den fest gefügten Rhythmus der Formanlagensteuerung erfolgt. Für die gießtechnischen Daten wird die Modellnummer mit der zugehörigen Form über ein Schieberegister an die entsprechende Anlagenstation weiter gegeben. Anstatt des automatischen Auslesens der Modellnummer mittels Kodierleiste, kann die Modellnummer beim Wechsel eines Modellpaares auch manuell über eine Tastatur oder über einen Kodierschalter eingegeben werden. Nach Freigabe und mit dem Vollzug des Modellwechsels wird dann die Modellnummer übernommen und der zugeordnete Datensatz aktiviert. Die Daten für den erfindungsgemäßen Luftstrom werden entsprechend der ausgeführten Vorrichtungsvariante und der ausgewählten Betriebsvariante automatisch an die Stellgeräte ausgegeben. Die Ausgabe an die Stellgeräte erfolgt dabei immer sofort nach Abschluß eines Verdichtungs Vorganges, damit bis zum nächsten Verdichtungs Vorgang für eventuelle Druckveränderungen genügend Zeit zur Verfügung steht. Die im Datensatz abgelegten Parameter für die Vorrichtungsvariante 1 bestehen dabei aus:

| | |
|---|----------------------------|
| Druckwert für das Druckregelventil | 42.1 |
| Druckwert für das Druckregelventil | 51.1 |
| Drosselwert für das Drosselventil | 56.1 |
| Unterdruckwert für die Unterdruckquelle | 55.1 |
| Korrespondenzwert für Drucksensor | 49.1 |
| Zeiten t1 und t2 gemäß Fig.1a/1b/1c | |
| Druckwert für das Druckregelventil | 27.1 (Impulssystem) |

[0038] Die im Datensatz abgelegten Parameter für die Vorrichtungsvariante 2 bestehen dabei aus:

| | |
|---|----------------------|
| Hubwert zum Durchgangsverschnitt an der Steuerkante gemäß | 62.2 |
| bzw. | 77.2 (Fig.6c) |
| | 78.2 (Fig.6d) |
| Druckwert für das Druckregelventil | 51.2 |
| Drosselwert für das Drosselventil | 56.2 |
| Unterdruckwert für die Unterdruckquelle | 55.2 |
| Korrespondenzwert für Drucksensor | 49.2 |
| Zeiten t1 und t2 gemäß Fig.1a/1b/1c | |

(fortgesetzt)

| | |
|------------------------------------|---------------------|
| Druckwert für das Druckregelventil | 27.2 (Impulssystem) |
|------------------------------------|---------------------|

5 **[0039]** Die Parameter für den Luftstrom werden beim erstmaligen Einsatz eines Modellpaares durch Versuche ermittelt und nach Festlegung einer Modellnummer in den ihr zugeordneten Datensatz eingetragen. Zur Optimierung kann der Datensatz während des Betriebes verändert werden.

10 **[0040]** In seiner Gesamtfunktion stellt das Luftstromsystem zwischen dem Druckluftsystem **44.1** bzw. **21.2** und der Außenatmosphäre **53.1/2a** oder der Unterdruckquelle **55.1/2** einen zweistufigen Durchströmungsvorgang dar. Die erste Stufe ist das Druckgefälle zwischen dem Drucksytem **44.1/2** bzw. **21.1/2** und dem Freiraum **09.1/2** (Fig.2 und 5) über der losen Formstoffoberfläche, welches an den Luftstromdüsen entsteht und welches für die Vorrichtungsvariante **1** unterkritisch und für die Vorrichtungsvariante **2** überkritisch ist. Die zweite Stufe ist das den Luftstrom treibende Druckgefälle **B** (Fig.1a/1c) zwischen der Formkammer **10.1/2** und der Außenatmosphäre **53.1/2a** oder der Unterdruckquelle **55.1/2**, welches zum geringeren Teil im lose geschütteten Formstoff **08.1/2**, hauptsächlich aber an den Modellplattendüsen **07.1/2** entsteht und welches in Abhängigkeit von seinem Druckverhältnis und unabhängig von den Vorrichtungsvarianten über- oder unterkritisch sein kann.

20

25

30

35

40

45

50

55

Bezugszeichenliste

Bezugszeichenindex 1 bezieht sich auf Vorrichtungsvariante 1

Bezugszeichenindex 2 bezieht sich auf Vorrichtungsvariante 2

| | | | |
|----|-------|-------|---|
| 5 | | | |
| | 01.1 | 01.2 | OK-Modellplattenträger |
| | 02.1 | 02.2 | OK-Modellplatte |
| | 01.1a | -- | UK-Modellplattenträger |
| 10 | 02.1a | -- | UK-Modellplatte |
| | 03.1 | 03.2 | Formkasten |
| | 04.1 | 04.2 | Füllrahmen |
| | 05.1 | 05.2 | Formeinheit |
| | 06.1 | 06.2 | Unterseite Modellplatte |
| | 07.1 | 07.2 | Modellplattendüsen |
| 15 | 08.1 | 08.2 | loser Formstoff |
| | 09.1 | 09.2 | Freiraum über dem losen Formstoff |
| | 10.1 | 10.2 | Formkammer |
| | 11.1 | 11.2 | Dichtung im Rahmen 17.1 / 17.2 |
| | 12.1 | 12.2 | Dichtung im Füllrahmen |
| | 13.1 | 13.2 | Dichtung in Modellplatte |
| 20 | 14.1 | 14.2 | Dichtung Modellplatte / Modellträger |
| | 15.1 | 15.2 | Dichtung Modellplatte / Hubtisch |
| | 16.1 | 16.2 | Impulseinheit |
| | 17.1 | 17.2 | Rahmen an Bodenplatte 18.1 / 18.2 |
| | 18.1 | 18.2 | Bodenplatte Impulseinheit/Kopfplatte Formkammer |
| | 19.1 | 19.2 | Druckluftkammer Impulseinheit |
| 25 | 20.1 | 20.2 | Druckluftkessel Impulseinheit |
| | 21.1 | 21.2 | Drucksystem für die Impulseinheit |
| | 22.1 | 22.2 | Kolbenraum über Kolben 23.1 / 23.2 |
| | 23.1 | 23.2 | Hubkolben für Impulssystem |
| | 24.1 | 24.2 | Hubrahmen für Ventilstößel |
| | 25.1 | -- | Ventilstößel Vorrichtungsvariante 1 |
| 30 | 26.1 | 26.2 | Impulsdüsen |
| | 27.1 | 27.2 | Druckregelventil Impulssystem |
| | 28.1 | 28.2 | Absperrventil |
| | 29.1 | 29.2 | Schnellschaltventil |
| | 30.1 | 30.2 | Zusatzventil Ventilstößel schließen |
| | 31.1 | 31.2 | Hubtisch |
| 35 | 32.1 | 32.2 | Durchgangsbohrung Hubtisch/Modellplatte |
| | 33.1 | -- | Modellplattenrollenbahn |
| | 34.1 | -- | Verteilerrohre |
| | 35.1 | -- | horizontale Kanäle in Bodenplatte 18.1 |
| | 36.1 | -- | vertikale Kanäle in Bodenplatte 18.1 |
| | 37.1 | -- | Einblasdüsen |
| 40 | 38.1 | -- | gelochtes Flacheisen |
| | 39.1 | -- | Dichtband zum Flacheisen 38.1 |
| | 40.1 | -- | Bohrungen im Flacheisen 38.1 |
| | 41.1 | -- | Speicheressel für Luftstrom |
| | 42.1 | -- | Druckregelventil für Luftstrom |
| | 43.1 | -- | Regelkessel für Luftstrom |
| 45 | 44.1 | -- | Drucksystem für Luftstrom |
| | 45.1 | -- | Schaltventil für Luftstrom |
| | 46.1 | -- | Rückschlagventil für Luftstrom |
| | 47.1 | 47.2 | Schaltventil für Druckabbau |
| | 48.1 | 48.2 | Drosselventil für Druckabbau |
| | 49.1 | 49.2 | Drucksensor für Luftstrom |
| 50 | 50.1 | 50.2 | Schaltventil zum Einsaugen des Luftstromes |
| | 50.1a | 50.2a | Außenatmosphäre am Ventil 50.1 / 50.2 |
| | 51.1 | 51.2 | Druckregelventil zum Lufteinblasen von unten |

| | | | |
|----|-------|-------|--|
| | 52.1 | 52.2 | Schaltventil zum Lufteinblasen von unten |
| | 53.1 | 53.2 | Schaltventil Unterdruckquelle / Atmosphäre |
| 5 | 53.1a | 53.2a | Außenatmosphäre am Ventil 53.1 / 53.2 |
| | 54.1 | 54.2 | Verbindungsleitungen zum Hubtisch 31.1 / 31.2 |
| | 55.1 | 55.2 | Unterdruckquelle |
| | 56.1 | 56.2 | Drosselventil für Drucklufteinblasen von unten |
| 10 | 57.1 | 57.2 | Ventilsitz für Ventilstößel |
| | -- | 58.2 | kompletter Ventilstößel Vorrichtungsvariante 2 |
| | -- | 59.2 | Pfeillinie für Ventilstößelumströmung |
| | -- | 60.2 | Pfeillinie für Ventilstößeldurchströmung |
| | -- | 61.2 | Ringspalt im Ventilstößel |
| 15 | -- | 62.2 | Steuerkante am Ventilstößelgrundkörper |
| | -- | 63.2 | Ventilstößelgrundkörper |
| | -- | 63.2a | Anschlagfläche im Ventilstößel |
| | -- | 64.2 | obere Ventilstößeldichtung |
| | -- | 65.2 | untere Ventilstößeldichtung |
| 20 | -- | 66.2 | Ventilstößelbolzen |
| | -- | 67.2 | Bolzenbund |
| | -- | 68.2 | Gummi-Dämpfscheibe |
| | -- | 69.2 | Kunststoff-Prallscheibe |
| | -- | 70.2 | Ausfräsungen am Bolzen 66.2 als Luftstromkanäle |
| 25 | -- | 71.2 | Stellweg für Querschnittserweiterung |
| | -- | 72.2 | Kurve für lineare Querschnittserweiterung |
| | -- | 73.2 | Durchgangsquerschnitt im Schnitt "U" |
| | -- | 74.2 | Durchgangsquerschnitt im Schnitt "V" |
| | -- | 75.2 | Durchgangsquerschnitt im Schnitt "W" |
| 30 | -- | 76.2 | Darstellung eines Durchgangsquerschnittes |
| | -- | 77.2 | kleine Öffnungsstellung für Luftstrom |
| | -- | 78.2 | große Öffnungsstellung für Luftstrom |
| | -- | 79.2 | Prallscheibenhöhe |
| | -- | 80.2 | Beschleunigungsweg bei kleiner Ventilstößelöffnung |
| 35 | -- | 81.2 | Beschleunigungsweg bei großer Ventilstößelöffnung |
| | -- | 82.2 | hydraulischer Stellzylinder |
| | -- | 83.2 | Vertiefung Kolbenraum 22.2 |
| | -- | 84.2 | Boden der Kolbenraumvertiefung |
| | -- | 85.2 | Scheibe über der Kolbenraumvertiefung |
| 40 | -- | 86.2 | Kolbenstange zum Stellzylinder 82.2 |
| | -- | 87.2 | Mitnehmerscheibe |
| | -- | 88.2 | Abstand Scheibe 85.2 zu Scheibe 87.2 |
| | -- | 89.2 | Kopfplatte zum Kolbenraum 22.2 |
| | -- | 90.2 | elektronische Regeleinrichtung |
| 45 | -- | 91.2 | Hydraulikventil für Stellzylinder 82.2 |
| | -- | 91.2a | Magnet A zum Hydraulikventil 91.2 |
| | -- | 91.2b | Magnet B zum Hydraulikventil 91.2 |
| | 92.1 | 92.2 | Dämpfungsgummi für Kolben 23.1 / 23.2 |
| | 93.1 | 93.2 | Druckluftnetz |
| 50 | -- | 94.2 | Freilaufweg am Ventilstößel 63.2 |
| | -- | 95.2 | Metallhülse zum Ventilstößel |
| | -- | 96.2 | Gummimantel zum Ventilstößel |

Patentansprüche

1. Verfahren zum Verdichten von Gießereiformstoffen innerhalb einer geschlossenen Formkammer, die aus einer mit Entlüftungsdüsen versehenen Modellplatte, einem Formkasten, einem Füllrahmen und einer mit Impulsventilöffnungen versehenen Kopfplatte besteht, wobei der Formstoff durch einen Druckluftstoß fluidisiert und verdichtet wird, **dadurch gekennzeichnet**, daß während einer zeitgedehnten Phase vor Auslösung des Druckluftstoßes ein gleichmäßiger, den Formstoff durchdringender und durch die Modellplattendüsen **07.1/2** abfließender Luftstrom die Schüttdichte des lose geschütteten Formstoffes homogenisiert und fluidisiert, ohne dabei eine nennenswerte Vorverdichtung zu bewirken und daß in den laufenden Homogenisierungs- und Fluidisierungsvorgang hinein ein Druckluftstoß bis zu 600 bar/sek ausgelöst wird, der den Formstoff verdichtet.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß das den Luftstrom treibende Druckgefälle "**B**" über die Zeit t_1 mit einem flachen Druckgradienten von maximal 5 bar/sek (insbesondere 1,5 bis 2,5 bar/sek) bis zu einem Wert von maximal 3 bar (insbesondere 0,5 bis 1,5 bar) aufgebaut wird und daß danach der Luftstrom mit dem Druckgefälle "**B**" über die Zeit t_2 mindestens 0,5 sek (insbesondere 1 bis 3 sek) wirksam bleibt und daß unmittelbar danach der Druckluftstoß ausgelöst wird.
3. Verfahren nach den Ansprüchen 1 bis 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß für den Luftstrom nur soviel Druckluft als Massenstrom in die Formkammer eingeblasen wird, wie bei dem gleichbleibenden Druckgefälle "**B**", d.h. ohne weiteren Druckstau in der Formkammer **10.1/2** über die Modellplattendüsen **07.1/2** abfließen kann.
4. Verfahren nach den Ansprüchen 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Luftstrom auch durch eine Unterdruckquelle **55.1/2** von der Modellplattenunterseite **06.1/2** angesaugt werden kann, wobei der Freiraum **09.1/2** im oberen Teil der Formkammer **10.1/2** mit der freien Atmosphäre verbunden ist, so daß keine evakuierende Wirkung in der Formkammer **10.1/2** entsteht.
5. Verfahren nach den Ansprüchen 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Luftstrom auch durch eine Kombination aus Ansaugen und Einblasen erzeugt werden kann, wobei das Druckgefälle "**B**" sich dabei aus dem Überdruck "**B1**" und dem Unterdruck "**B2**" zusammensetzt.
6. Verfahren nach den Ansprüchen 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, daß das den Luftstrom treibende Druckgefälle "**B**" von der Modellplattenunterseite **06.1/2** her aufgebaut wird, indem die Druckluft entgegen der Schwerkraft des Formstoffes über die Modellplattendüsen **07.1/2** in die Formkammer **10.1/2** eingeblasen wird, wodurch die Formkammer und die Luftporen im Formstoff in einen, dem Druckgefälle "**B**" entsprechenden Zustand höheren atmosphärischen Druckes "**C+B**" versetzt werden und wonach der Luftstrom durch Umschalten des Einblasventils **52.1/2** und durch Zuschalten der Druckluftquelle von oben nach unten durch den Formstoff einsetzt.
7. Verfahren nach den Ansprüchen 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, daß die einzelnen Einblasdüsen für den Luftstrom unterschiedliche Durchgangsquerschnitte haben können, um partiell eine unterschiedliche Intensität des Luftstromes zu bewirken, womit insbesondere im Bereich der Formkastenwände mit einer Häufung der Modellplattendüsen **07.1/2** der Luftstrom verstärkt werden kann.
8. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Druckluftstoß durch ein von außen nach innen verlaufendes zeitversetztes Öffnen der Impulsdüsen **26.1/2** als glockenförmige Impulsdruckwelle auf den Formstoff einwirkt und es dadurch zu einer intensiveren Wirkung des Druckstoßes im Bereich der Formkastenwände kommt.
9. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß der beim Druckluftstoß aufgebaute Wirkdruck "**A**" nach einer Haltezeit t_4 von maximal 0,5 sek zunächst über eine Ventilrampenzeit t_5 von maximal 1 sek (insbesondere 0,5 sek) und dann über eine Drossel **48.1/2** innerhalb der Zeit t_6 von maximal 3 sek (insbesondere 1,5 sek) schockfrei und kontrolliert abgebaut wird.
10. Vorrichtung (Variante 1) zur Durchführung des Verfahrens nach den Ansprüchen 1 bis 7, bestehend aus einer Formeinheit **05.1**, einer Impulsverdichtungseinheit **16.1** mit einer Bodenplatte **18.1**, in der die Düsen **26.1** für den Druckluftstoß feinstrahlig und flächendeckend angeordnet sind und mit einer Hubvorrichtung **23.1/24.1** und daran befestigter Ventilstößel **25.1**, womit die Düsen **26.1** verschlossen bzw. geöffnet werden, einer von der Bodenplatte **18.1** nach oben und von der Modellplatte **02.1** nach unten begrenzten Formkammer **10.1**, wobei die Modellplatte **02.1** mit den Entlüftungsdüsen **07.1** versehen ist sowie einem Hubtisch **31.1**, womit die Formeinheit **05.1** mit einer entsprechenden Schließkraft gegen den Rahmen **17.1** der Bodenplatte **18.1** gedrückt wird und wodurch die Form-

kammer über die Dichtungen **11.1/12.1/13.1** druckdicht verschlossen wird, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Bodenplatte **18.1** ein feingliedrig und flächendeckend angeordnetes Düsensystem **37.1** aufweist, womit ein gleichmäßig verteilter und senkrecht wirkender Luftstrom in die Formkammer **10.1** eingeblasen wird, der den Formstoff durchströmt und über die Modellplattendüsen **07.1** wieder aus der Formkammer **10.1** austritt, wobei das
 5 Düsensystem **37.1** einen konstanten Durchgangsquerschnitt aufweist und mit einem unterkritischen bis kritischen Druckverhältnis p_i/p_a von 0,9 bis 0,528 betrieben wird und wobei der Massendurchsatz des Luftstromes von dem regelbaren Innendruck p_i vor den Düsen **37.1** bestimmt wird, womit der Massendurchsatz des Luftstromes so eingestellt bzw. geregelt wird, daß er mit dem Druckgefälle "**B**", d.h. ohne weiteren Druckstau in der Formkammer **10.1** über die Modellplattendüsen **07.1** abfließen kann.

10 **11.** Vorrichtung nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Luftstrom von einem separaten Druckluftsystem **43.1/44.1** gespeist wird, welches zur Einstellung des Druckes p_i vor den Einblasdüsen **37.1** das Druckregelventil **42.1** aufweist, womit letztendlich der Massendurchsatz des Luftstromes eingestellt bzw. geregelt wird.

15 **12.** Vorrichtung nach den Ansprüchen 10 und 11, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Luftstromdruck "**B**" in der Formkammer **10.1** oberhalb der Formstoffoberfläche von einem Drucksensor **49.1** überwacht wird, der bei Abweichungen von der Sollwerttoleranz am Druckregelventil **42.1** automatisch eine entsprechende Korrektur bewirkt.

20 **13.** Vorrichtung nach den Ansprüchen 10 bis 11, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Bodenplatte **18.1** die feinrasterig eingeteilten Kanäle **35.1/36.1** aufweist, worüber die von den Verteilerrohren **34.1** und den Ventilen **45.1/46.1** kommende Druckluft den Einblasdüsen **37.1** zugeführt wird und daß die Querschnitte der Kanäle **35.1/36.1**, der Verteilerrohre **34.1** und der Ventile **45.1/46.1** größer dimensioniert sind als die anteiligen Querschnitte der Düsen **37.1**, so daß die Druckluft ungedrosselt zu den Einblasdüsen **37.1** strömen kann und die Einblasdüsen **37.1** den engsten Querschnitt in dem Zuführsystem **34.1/35.1/36.1** und **45.1/46.1** haben.

25 **14.** Vorrichtung nach den Ansprüchen 10 bis 13, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Einblasdüsen **37.1** als Vielschlitzdüsen mit maximal 0,6mm (insbesondere 0,3 mm) Schlitzbreite ausgeführt sind und daß die wirksamen Durchgangsquerschnitte der einzelnen Düsen durch die Bohrungen **40.1-d₁** bzw. **40.1-d₂** im Flacheisen **38.1** und im Dichtband **39.1** festgelegt werden, womit eine partiell unterschiedliche Luftstromintensität, insbesondere eine verstärkte Luftstromintensität im Bereich der Formkastenwände ermöglicht wird und wobei das unter der Bodenplatte **18.1** befestigte Flacheisen **38.1** die Einblasdüsen **37.1** in ihren Aufnahmebohrungen fixiert.

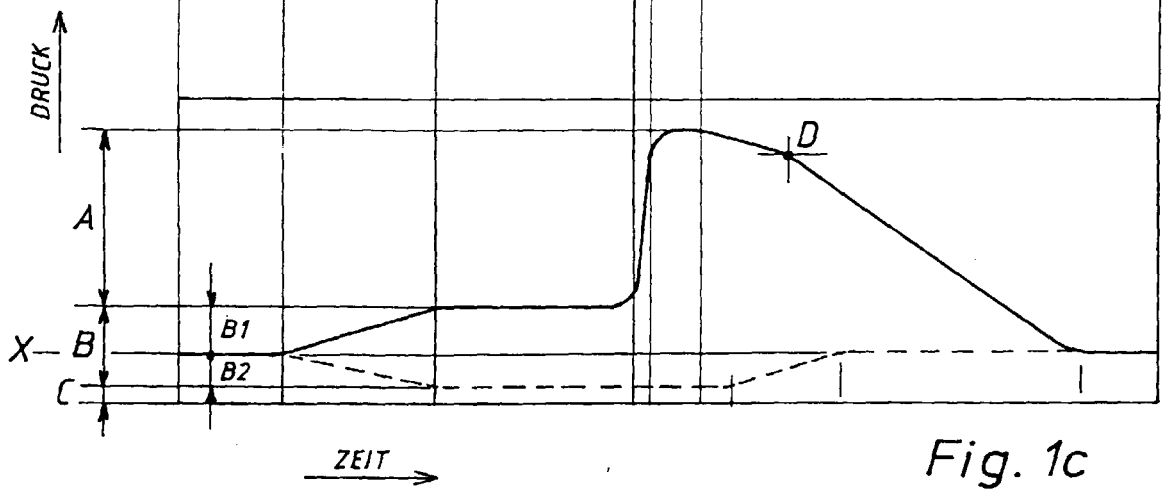
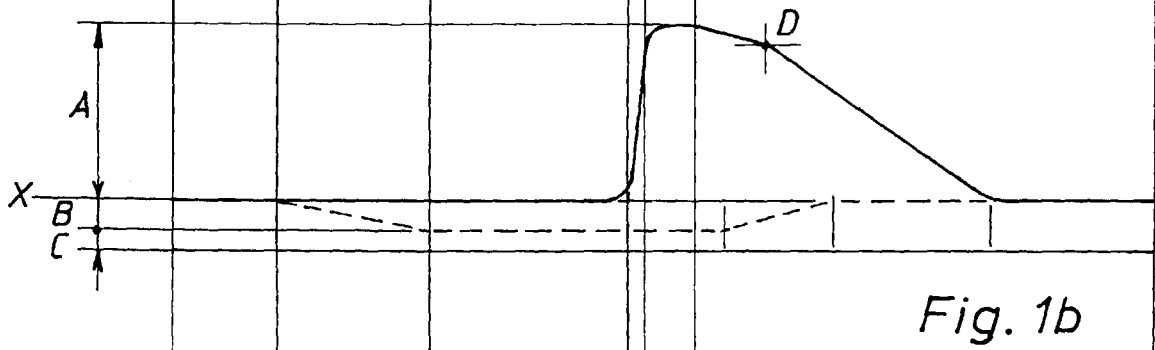
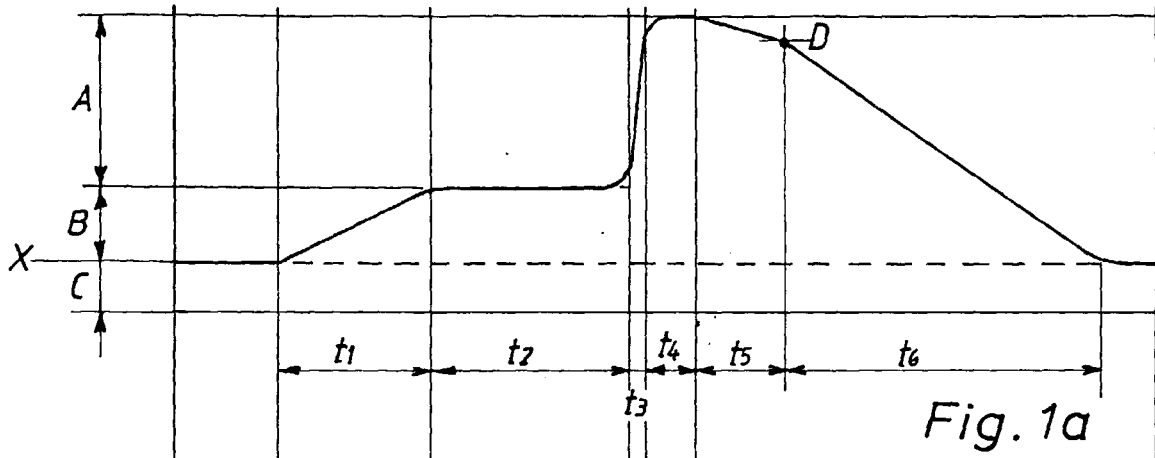
30 **15.** Vorrichtung (Variante 2) zur Durchführung des Verfahrens nach den Ansprüchen 1 bis 8, bestehend aus einer Formeinheit **05.2**, einer Impulsverdichtungseinheit **16.2** mit einer Bodenplatte **18.2**, in der die Düsen **26.2** für den Druckluftstoß feinrasterig und flächendeckend angeordnet sind und mit einer Hubvorrichtung **23.2/24.2** und daran befestigter Ventilstößel, womit die Düsen **26.2** verschlossen bzw. geöffnet werden, einer von der Bodenplatte **18.2** nach oben und von der Modellplatte **02.2** nach unten begrenzten Formkammer **10.2**, wobei die Modellplatte **02.2** mit den Entlüftungsdüsen **07.2** versehen ist sowie einem Hubtisch **31.2**, womit die Formeinheit **05.2** mit einer entsprechenden Schließkraft gegen den Rahmen **17.2** der Bodenplatte **18.2** gedrückt wird und wodurch die Formkammer über die Dichtungen **11.2/12.2/13.2** druckdicht verschlossen wird, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Ventilstößel **58.2** eine Doppelfunktion aufweisen, womit in einer ersten Funktionsphase ein relativ kleiner variabler Durchgangsquerschnitt für den Luftstrom geöffnet wird und in einer zweiten Funktionsphase ein großer Durchgangsquerschnitt für den Druckluftstoß innerhalb weniger Millisekunden schlagartig freigegeben wird, wobei über
 35 das feingliedrig und flächendeckend angeordnete Düsensystem **26.2** während der ersten Funktionsphase ein gleichmäßig verteilter und senkrecht wirkender Luftstrom in die Formkammer **10.2** eingeblasen wird, der den Formstoff durchströmt und über die Modellplattendüsen **07.2** wieder aus der Formkammer **10.2** austritt, wobei der variable Durchgangsquerschnitt mit einem überkritischen Druckverhältnis $p_a/p_i < 0,528$ betrieben wird und wobei der Massendurchsatz des Luftstromes von den regelbaren variablen Durchgangsquerschnitten der Ventilstößel **58.2** bestimmt wird, womit der Massendurchsatz des Luftstromes so eingestellt bzw. geregelt wird, daß er mit dem Druckgefälle "**B**", d.h. ohne weiteren Druckstau in der Formkammer **10.2** über die Modellplattendüsen **07.2** abfließen kann.

40 **16.** Vorrichtung nach Anspruch 15, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Ventilstößel **58.2** aus einem Grundkörper **63.2** besteht, der im oberen Teil die Dichtung **64.2** zum Sperren des Luftstromes und im unteren Teil die Dichtung **65.2** zum Sperren des Druckluftstoßes aufweist, wobei der Grundkörper **63.2** auf einem am Hubrahmen **24.2** befestigten Bolzen **66.2** geführt wird, der die Ausfräsungen **70.2** mit den Auslaufkurven **71.2/72.2** aufweist, womit an der Steuerkante **62.2** und über den Stellweg **71.2** der Durchgangsquerschnitt für den Luftstrom **60.2** linear von Null bis maximal verstellbar bzw. regelbar ist, wobei der Ringspaltquerschnitt **61.2** größer ist als der maximale Durchgangs-

querschnitt an der Steuerkante **62.2** und daß der Bolzen **66.2** die auf dem Bolzenbund **67.2** aufliegende Dämpfscheibe **68.2** und die Prallscheibe **69.2** aufweist, wobei die Dämpfscheibe aus Gummi und die Prallscheibe aus schlagfestem Kunststoff besteht.

- 5 **17.** Vorrichtung nach den Ansprüchen 15 und 16, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Luftstromquerschnitte für die äußeren Ventilstößel größer als die der inneren sein können, um eine intensivere Luftstromwirkung im Bereich der Formkastenwände zu erzielen.
- 10 **18.** Vorrichtung nach den Ansprüchen 15 bis 17, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Luftstrom aus der Druckluftkammer **19.2** gespeist wird und daß die Druckluftkammer während des Luftstromes über das geöffnete Ventil **28.2** vom Druckluftnetz **93.2** nachgespeist wird, um den Ausgangsdruck für den nachfolgenden Druckluftstoß aufrecht zu erhalten.
- 15 **19.** Vorrichtung nach den Ansprüchen 15 bis 18, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Ventilstößel **63.2/64.2/65.2** ohne Kräfteinwirkung durch den Hubrahmen **24.2** vom Systemdruck **19.2/21.2** über die Fläche $D_2^{2*3,14/4}$ auf den Ventilsitz **57.2** gedrückt wird und daß beim Hubbeginn des Hubrahmens **24.2** der Ventilstößel vom Systemdruck **19.2/21.2** über die Ringfläche $(D_2^2 - D_1^2) * 3,14/4$ auf dem Ventilsitz **57.2** gehalten wird und daß nach dem Abheben des Hubrahmens **24.2** von der Dichtung **64.2** und während des Luftstromes, der Ventilstößel weiter vom Systemdruck **19.2/21.2** über die Fläche $D_2^{2*3,14/4}$ auf dem Ventilsitz **57.2** gehalten wird.
- 20 **20.** Vorrichtung nach den Ansprüchen 15 bis 19, **dadurch gekennzeichnet**, daß zur Einstellung eines bestimmten Durchgangsquerschnittes (beispielsweise **73.2/76.2**) der Hubrahmen **24.2** mit dem Bolzen **66.2** um das Maß **77.2** angehoben wird und in dieser Stellung bis zur Einleitung des Druckluftstoßes verbleibt und daß zur Einleitung des Druckluftstoßes der Hubrahmen **24.2** mit dem Bolzen **66.2** weiter angehoben und über den Weg **80.2** auf eine hohe Geschwindigkeit beschleunigt wird, mit welcher dann die Prallscheibe **69.2** gegen die Ventilstößelfläche **63.2a** schlägt und den Ventilstößel **63.2** mit der Dichtung **65.2** schlagartig vom Ventilsitz **57.2** um das Maß $h=D_3/4$ abhebt, wobei die aus Gummi bestehende Dämpfscheibe **68.2** den Anschlag dämpft und die aus schlagfesten Kunststoff bestehende Prallscheibe **69.2** ein metallisches Anschlagen verhindert.
- 25 **21.** Vorrichtung nach den Ansprüchen 15 bis 20, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Prallscheibenhöhe **79.2** und damit das Distanzmaß **94.2** für die einzelnen Ventilstößel unterschiedlich sein kann, womit die Öffnungsfolge der Ventilstößel bestimmt werden kann und wobei insbesondere die Öffnungsfolge von außen nach innen verläuft, um eine glockenförmige Druckimpulswelle mit einer intensiveren Wirkung im Bereich der Formkastenwände zu erreichen und womit außerdem auch noch die Hubkraft zum Anheben des Hubrahmens **24.2** reduziert wird.
- 30 **22.** Vorrichtung nach den Ansprüchen 15 bis 21, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Ventilstößelgrundkörper aus einer metallischen Hülse **95.2** und einer darauf aufvulkanisierten Gummiummantelung **96.2** besteht und daß die Gummiummantelung die Dichtungsfunktion **64.2/65.2** übernimmt.
- 35 **23.** Vorrichtung nach den Ansprüchen 15 bis 22, **dadurch gekennzeichnet**, daß zur Einstellung eines Durchgangsquerschnittes für den Luftstrom ein Stellzylinder **82.2** mit einem integrierten Wegmeßsystem in der Kopfplatte **89.2** eingebaut ist, dessen Kolbenstange **86.2** mit der Mitnehmerscheibe **87.2** berührungslos durch die Scheibe **85.2** in den Kolbenraum **83.2** eingeführt ist und daß durch Anheben der Kolbenstange **86.2** sowie nach Durchfahren der Distanz **88.2** der Hubkolben **23.2** mit dem Hubrahmen **24.2** von der Mitnehmerscheibe **87.2** soweit angehoben wird, bis der vorgegebene Durchgangsquerschnitt an der Steuerkante **62.2** und somit der erforderliche Massendurchsatz des Luftstromes erreicht ist, wobei das genaue Positionieren des Hubrahmens **24.2** von der Regeleinrichtung **90.2** in Verbindung mit dem Proportional-oder Servoventil **91.2** und des im Stellzylinder **82.2** eingebauten Wegmeßsystem übernommen wird.
- 40 **24.** Vorrichtung nach den Ansprüchen 15 bis 23, **dadurch gekennzeichnet**, daß sich der Hubkolben **23.2** mit der Scheibe **85.2** beim Druckluftstoß, der durch eine schlagartige Entlastung des Kolbenraumes **22.2** über das großflächige Schnellschaltventil **29.2** ausgelöst wird, von der Mitnehmerscheibe **87.2** löst und dabei frei und ohne Berührung zur Kolbenstange **86.2** mit hoher Geschwindigkeit bis gegen das Dämpfungsgummi **92.2** fährt.
- 45 **25.** Vorrichtung nach den Ansprüchen 15 bis 23, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Luftstromdruck "B" in der Formkammer **10.2** oberhalb der Formstoffoberfläche von einem Drucksensor **49.2** überwacht wird, der bei Abweichungen von der Sollwerttoleranz automatisch eine entsprechende Korrektur der Kolbenstellung des Stellzylinders **82.2** über die Regeleinrichtung **90.2** bewirkt.
- 50
- 55

- 5 26. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 6, und nach den Ansprüchen 10 und 15, **dadurch gekennzeichnet**, daß zum Einblasen der Druckluft von der Modellplattenunterseite **06.1/2** ein separates Druckluftsystem verwendet wird, welches die Ventile **51.1/2**, **52.1/2**, **56.1/2** und das Leitungssystem **54.1/2** aufweist, wobei am Druckregelventil **51.1/2** der in der Formkammer **10.1/2** und in den Luftporen des Formstoffes aufzubauende Druck "**C+B**" eingestellt wird und wobei am regelbaren Drosselventil **56.1/2** die Einstellung der Einblasintensität und die Zunahme der Einblasintensität erfolgt und wobei das Einblasen durch das Ventil **52.1/2** eingeschaltet wird.
- 10 27. Vorrichtung nach den Ansprüchen 10 bis 26, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Steuerorgane und Leitungen zwischen der Modellplattenunterseite **06.1/2** und der freien Atmosphäre **53.1/2a** oder der Unterdruckquelle **55.1/2** so dimensioniert sind, daß die aus den Modellplattendüsen **07.1/2** in den Raum **06.1/2** austretende Abluft ohne nennenswerten Druckstau abfließen kann.
- 15 28. Vorrichtung nach den Ansprüchen 10 und 15, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Freiraumhöhe **09.1/2** auf Grund der feingliederigen und flächendeckenden Anordnung der Düsen **26.1/2** und **37.1** sehr klein gehalten werden kann und welche bis maximal 50%, insbesondere bis 25% der Formkastenhöhe beträgt.
- 20 29. Vorrichtung nach den Ansprüchen 1 bis 26, **dadurch gekennzeichnet**, daß die modellbezogenen Betriebswerte für die Druckregelventile **27.1/2**, **42.1**, und **51.1/2**, für den Hubwert des Stellzylinders **82.2**, für das Drosselventil **56.1/2**, für die Unterdruckquelle **55.1/2** und für die Zeiten t_1 und t_2 sowie für den Korrespondenzwert des Drucksensors **49.1/2** für jedes einzelne Modellplattenpaar in einem Datensatz abgelegt werden, der der Modellnummer fest zugeordnet ist und daß die Modellnummer beim Modellwechsel über eine an der Modellplatte **02.1/2** angebrachte Kodierleiste automatisch ausgelesen oder über eine Tastatur bzw. über einen Kodierschalter manuell eingegeben wird, und wonach dann die Betriebs- und Korrespondenzwerte automatisch an die Steuereinrichtung und an die Stellgeräte ausgegeben werden.
- 25
- 30
- 35
- 40
- 45
- 50
- 55



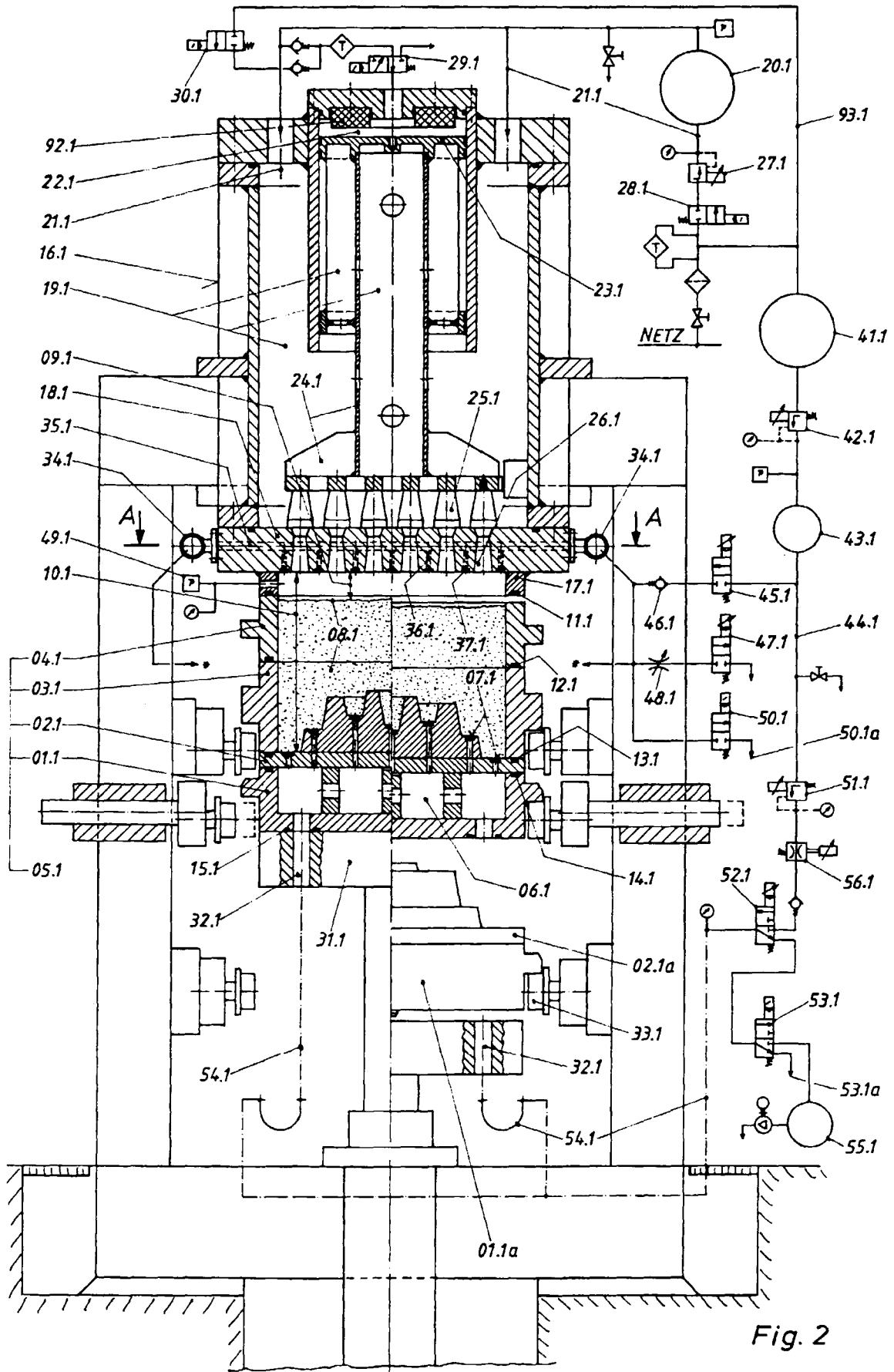


Fig. 2

SCHNITT A-A
Fig. 2

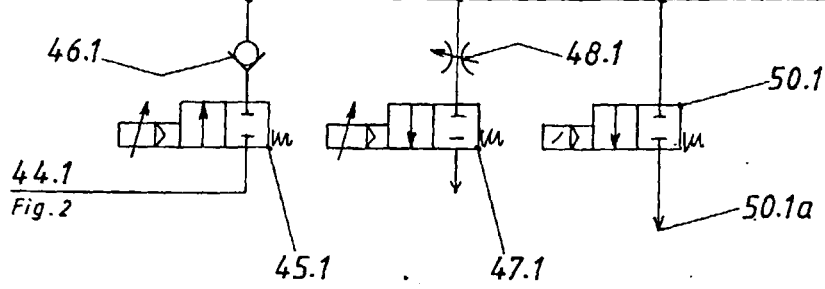
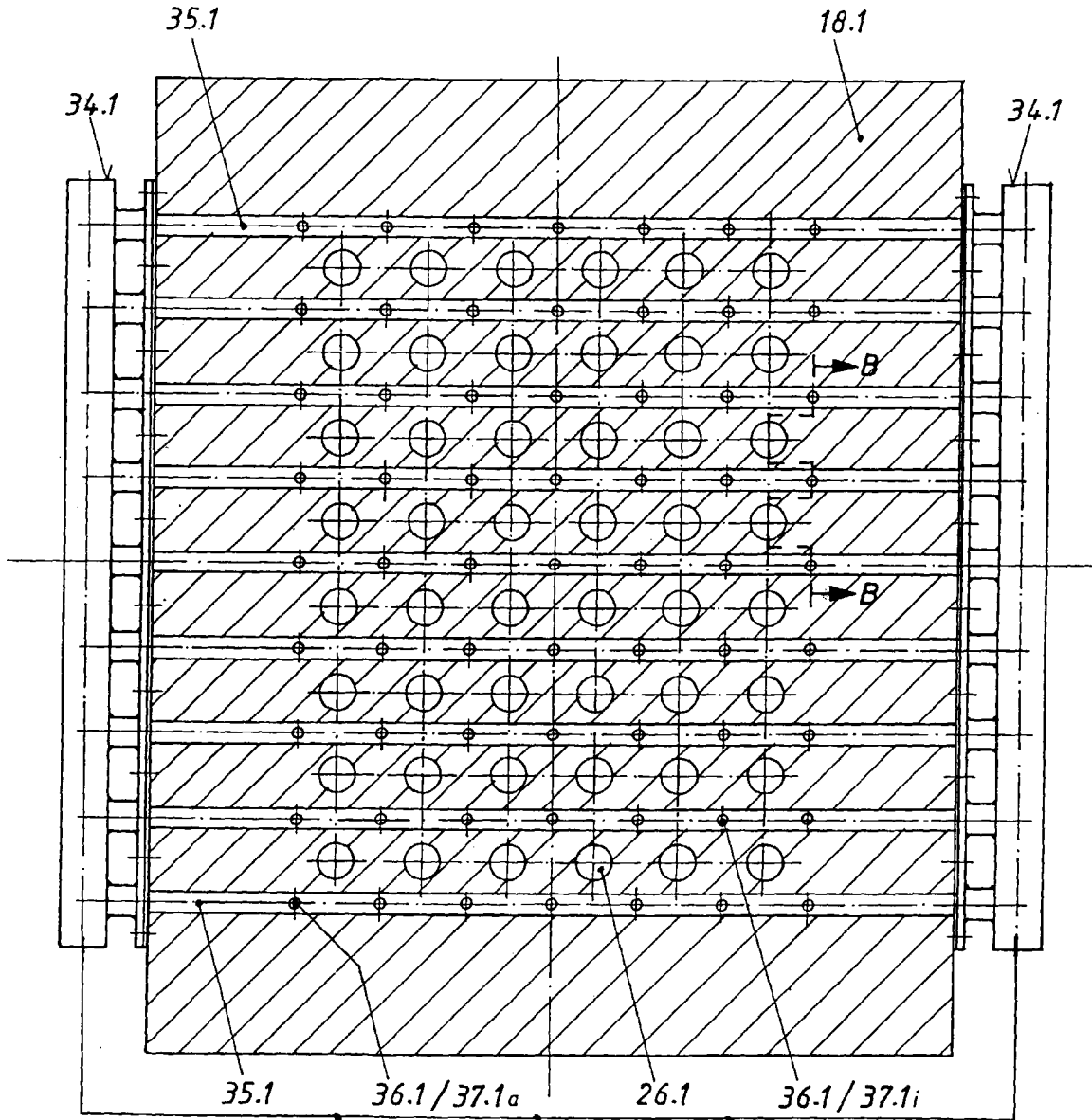


Fig. 3

SCHNITT B-B

Fig. 3

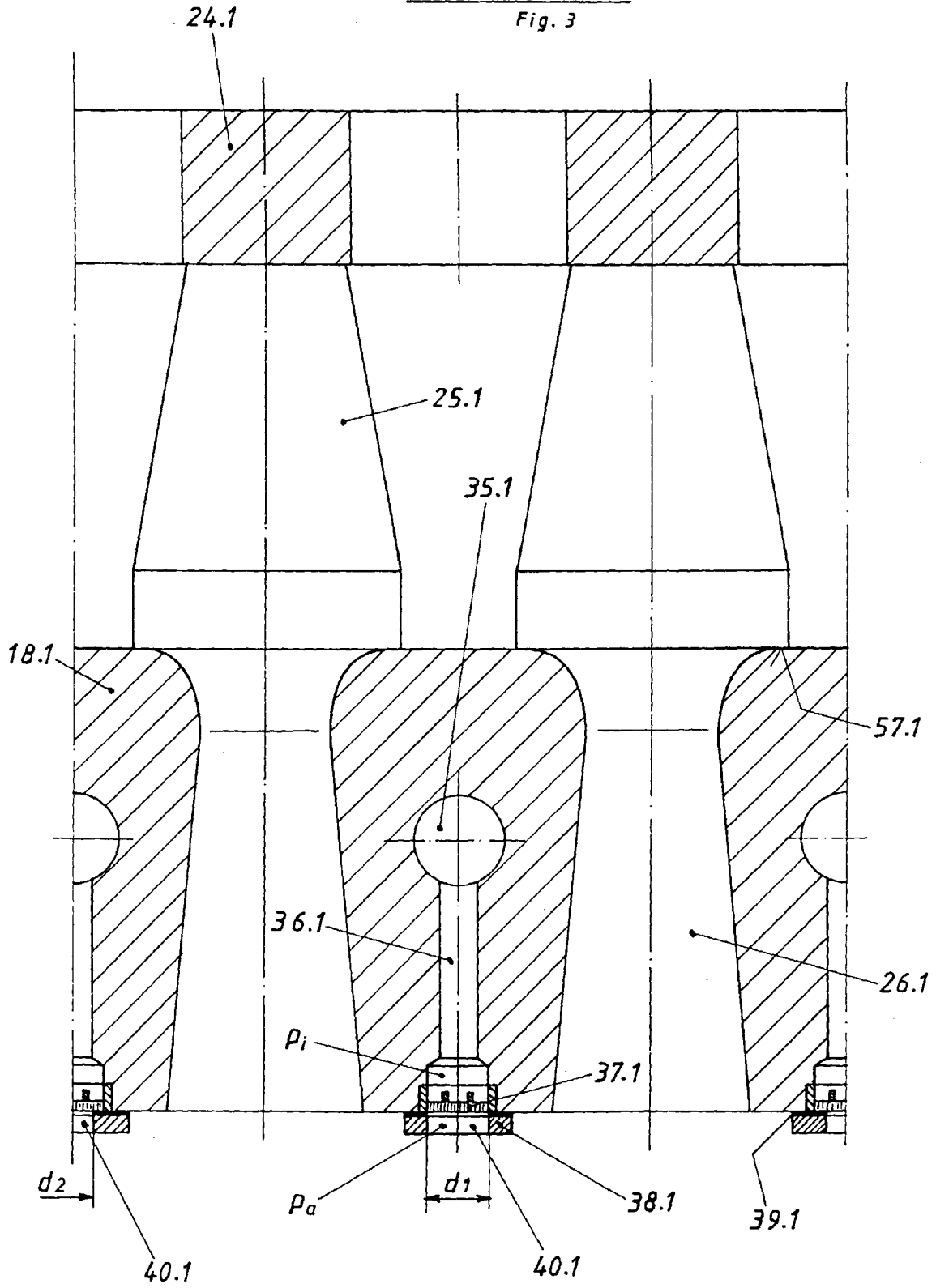
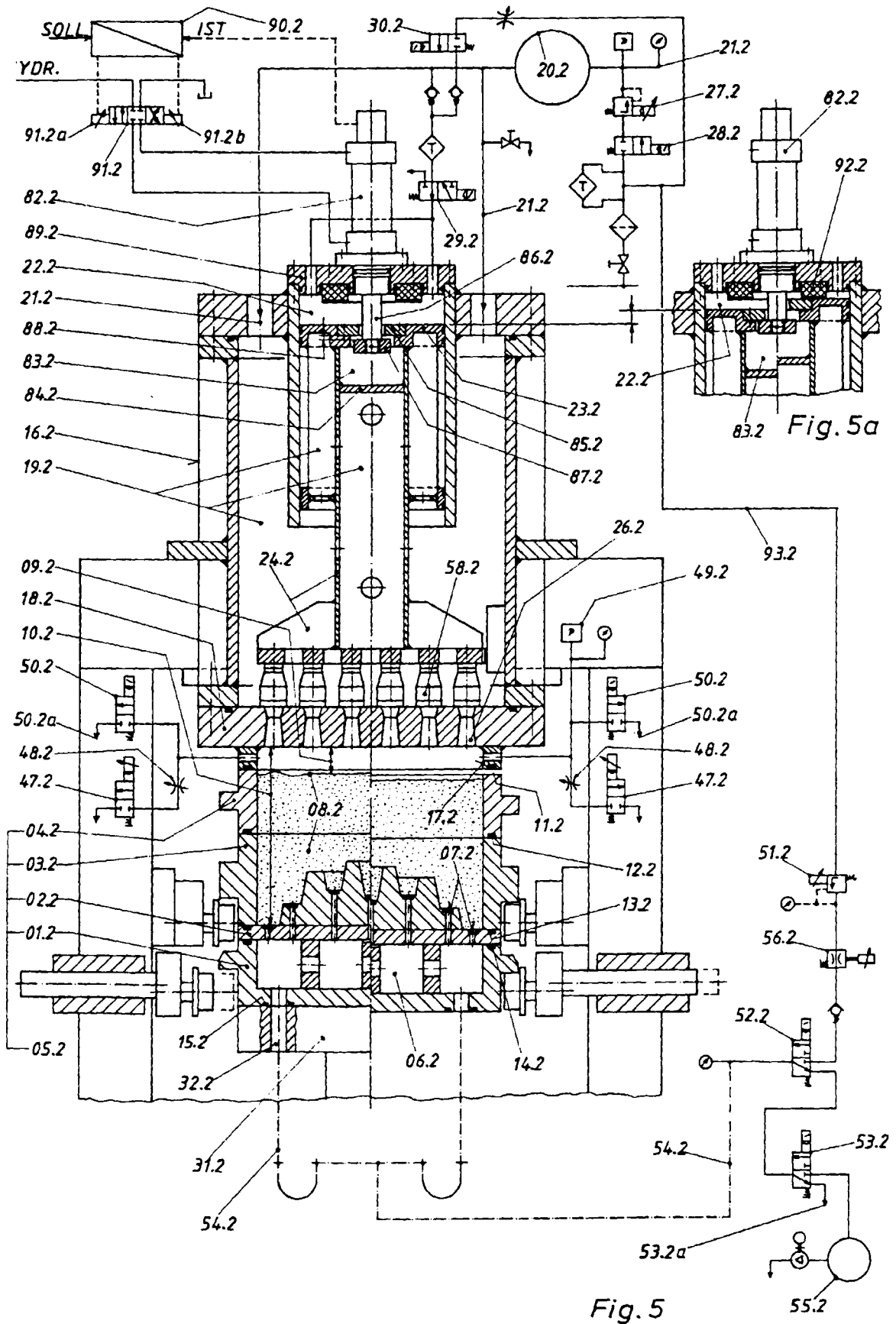


Fig. 4



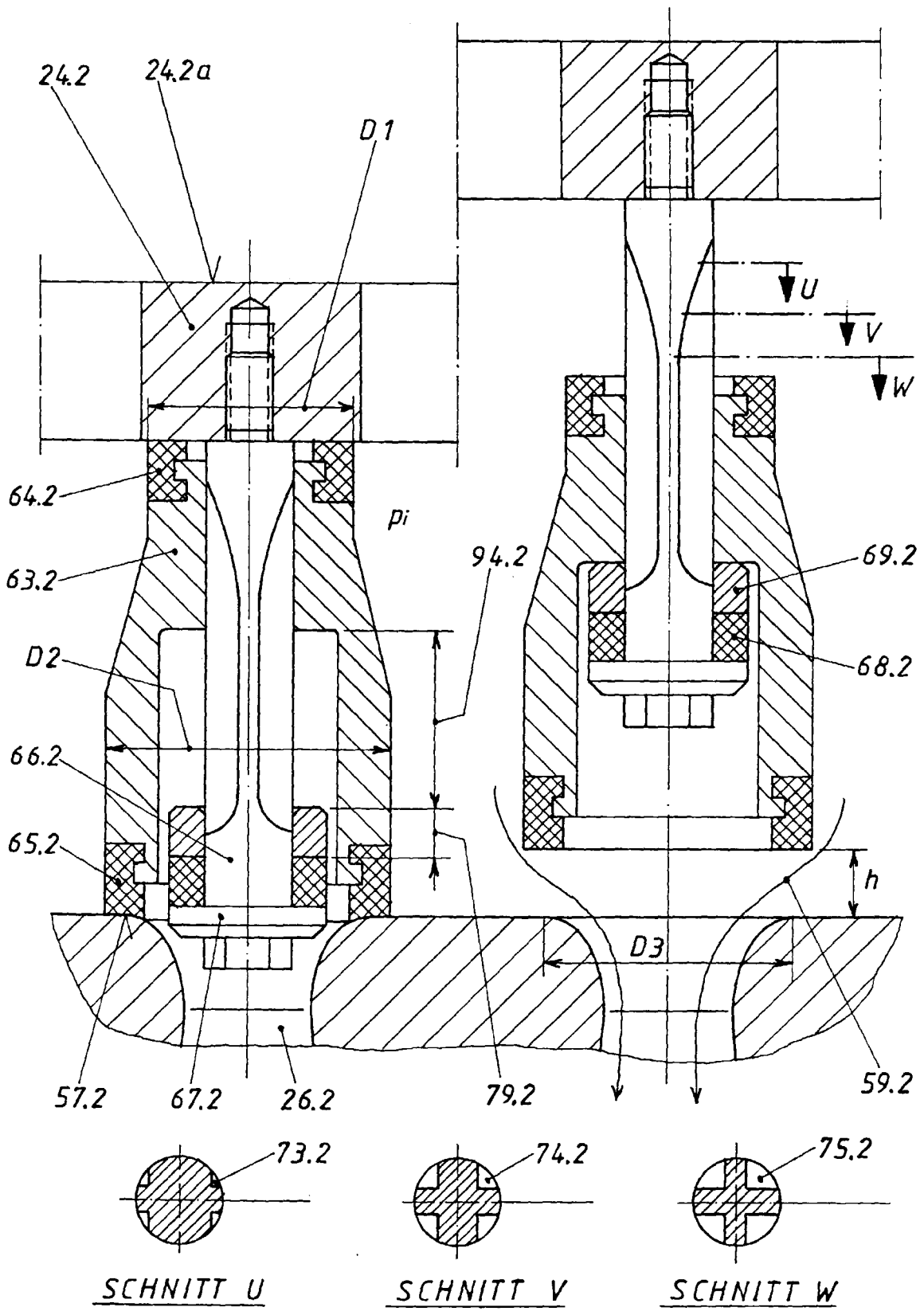


Fig. 6a

Fig. 6b

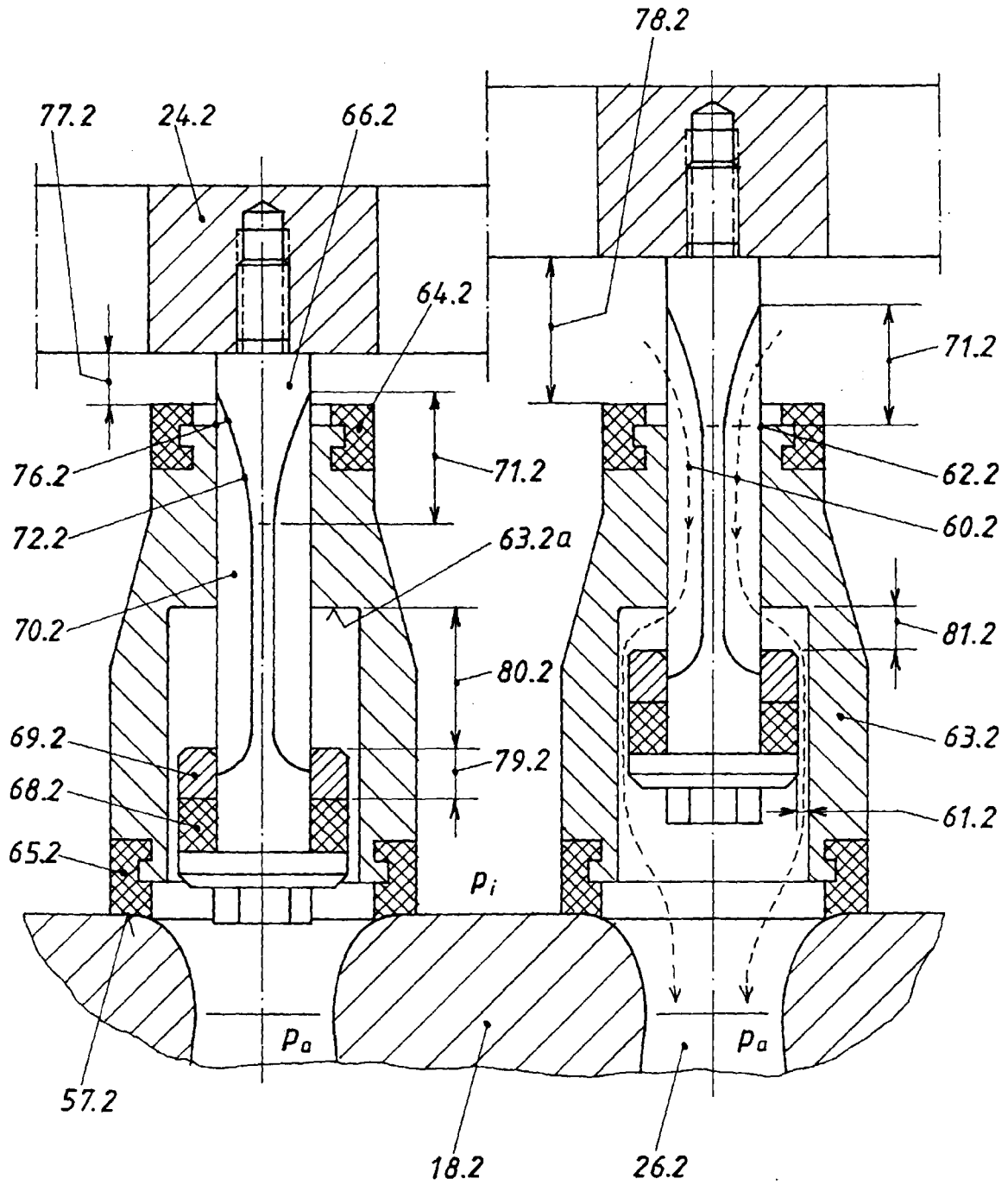


Fig. 6c

Fig. 6d

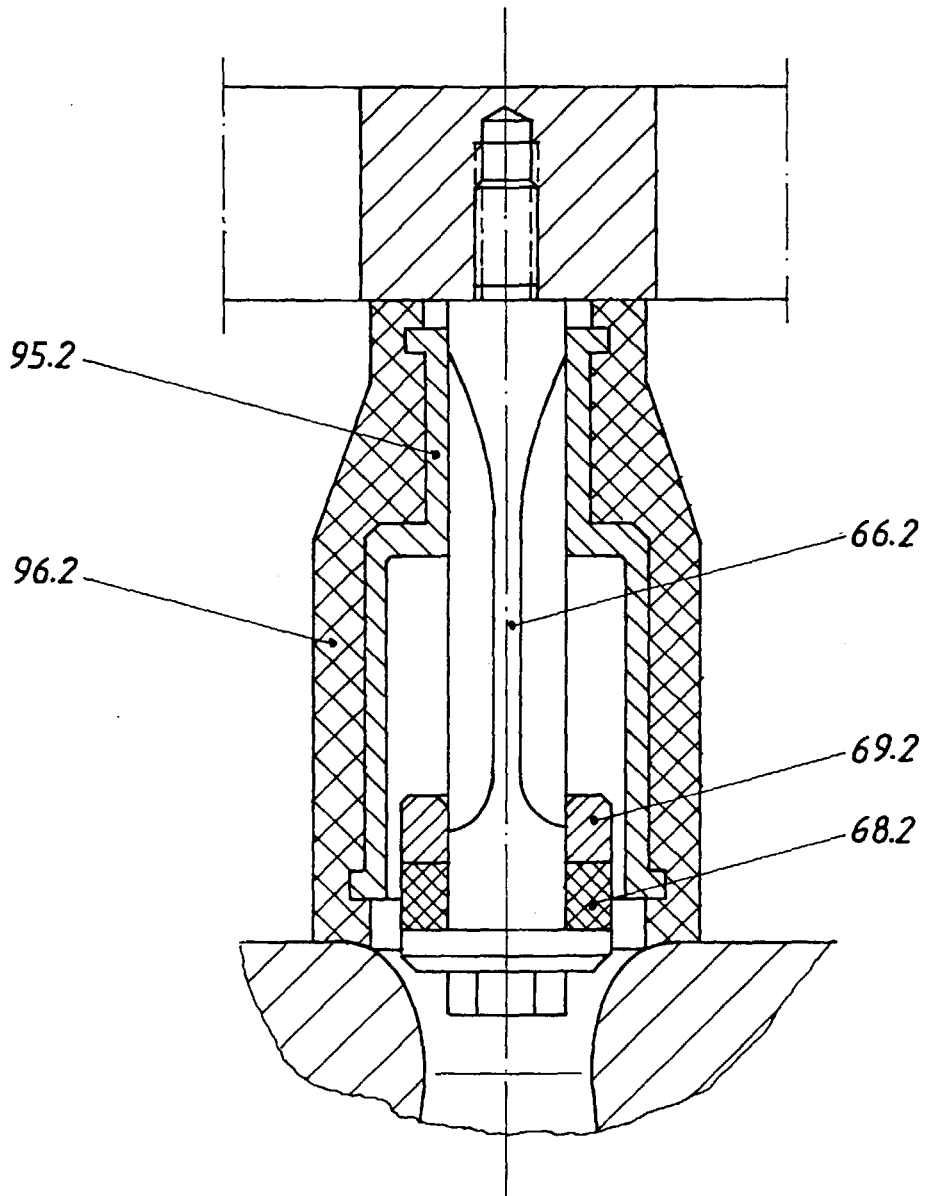


Fig. 6e



Europäisches
Patentamt

EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 99 12 0186

| EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE | | | |
|--|--|---|---|
| Kategorie | Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile | Betrifft Anspruch | KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int.Cl.7) |
| X | DE 38 36 876 A (BADISCHE MASCHF GMBH) 27. April 1989 (1989-04-27) * Spalte 3, Zeile 65 - Zeile 67 * * Spalte 5, Zeile 53 - Spalte 6, Zeile 9 * --- | 1, 10 | B22C15/00 B22C15/23 |
| D, Y | EP 0 139 119 A (MERTES JOSEF) 2. Mai 1985 (1985-05-02) * Abbildungen 1, 7 * --- | 15 | |
| Y | GB 2 069 384 A (FISCHER AG GEORG) 26. August 1981 (1981-08-26) * Abbildung 1 * ----- | 15 | |
| | | | RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int.Cl.7) |
| | | | B22C |
| Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt | | | |
| Recherchenort DEN HAAG | | Abschlußdatum der Recherche 26. Januar 2000 | Prüfer WOUDENBERG, S |
| KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE | | T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument | |
| X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur | | | |

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT
 ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 99 12 0186

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente angegeben.
 Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
 Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

26-01-2000

| Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument | Datum der Veröffentlichung | Mitglied(er) der Patentfamilie | Datum der Veröffentlichung |
|--|-------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|
| DE 3836876 A | 27-04-1989 | DE 58907453 D | 19-05-1994 |
| | | EP 0366902 A | 09-05-1990 |
| | | ES 2050744 T | 01-06-1994 |
| | | US 5020582 A | 04-06-1991 |
| EP 0139119 A | 02-05-1985 | DE 3327822 A | 14-02-1985 |
| | | AT 37305 T | 15-10-1988 |
| | | DE 3474117 A | 27-10-1988 |
| GB 2069384 A | 26-08-1981 | CH 642288 A | 13-04-1984 |
| | | DE 3105350 A | 17-12-1981 |
| | | DK 69381 A | 19-08-1981 |
| | | FR 2475953 A | 21-08-1981 |
| | | IT 1143509 B | 22-10-1986 |
| | | JP 1006855 B | 06-02-1989 |
| | | JP 1526009 C | 30-10-1989 |
| | | JP 56134046 A | 20-10-1981 |
| | | PL 229742 A | 15-03-1982 |

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82