



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) DE 103 50 796 A1 2005.05.25

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: 103 50 796.5

(22) Anmeldetag: 29.10.2003

(43) Offenlegungstag: 25.05.2005

(51) Int Cl.7: **F02B 3/10**
F02M 25/07

(71) Anmelder:

DaimlerChrysler AG, 70567 Stuttgart, DE

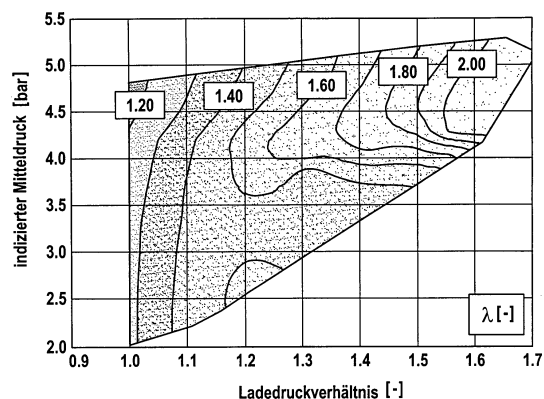
(72) Erfinder:

Brachert, Götz, Dipl.-Ing., 70372 Stuttgart, DE;
Herweg, Rüdiger, Dr.-Ing., 73734 Esslingen, DE;
Kanning, Kai, Dipl.-Ing., 70374 Stuttgart, DE; Pfau,
Matthias, Dipl.-Ing., 71636 Ludwigsburg, DE;
Schäfflein, Jochen, Dipl.-Ing., 70327 Stuttgart, DE;
Weimann, Hans-Jürgen, Dipl.-Ing., 71570
Oppenweiler, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Verfahren zum Betrieb einer Brennkraftmaschine**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren, das sich dadurch auszeichnet, dass im Brennraum einer aufgeladenen Brennkraftmaschine, die betriebspunktabhängig mit Kompressionszündung oder mit Fremdzündung betrieben wird und bei der ein Ladedruck der dem Brennraum zugeführten Frischluft einstellbar ist, Abgas während eines Ladungswechsels im Kompressionszündungsmodus zurückgehalten wird, welches während eines Ladungswechsel komprimiert wird, wobei wahlweise eine erste Kraftstoffmenge in das zurückgehaltene Abgas eingespritzt wird. Nachfolgend wird dem Brennraum eine zweite Kraftstoffmenge zugeführt, so dass im Brennraum ein homogenes Kraftstoff/Luft-Gemisch gebildet wird. Erfindungsgemäß wird die zurückgehaltene Abgasmenge im Brennraum bei einer Abweichung der Verbrennungsschwerpunktlage von einem Sollwert infolge einer Veränderung des Ladedrucks der Frischluft und/oder infolge einer Veränderung der Frischlufttemperatur derart korrigiert, dass die Verbrennungsschwerpunktlage in Richtung des Sollwertes verschoben wird.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betrieb einer aufgeladenen Brennkraftmaschine nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1, insbesondere eine selbstzündende Brennkraftmaschine mit Direkteinspritzung

[0002] Bei direkteinspritzenden Brennkraftmaschinen mit Selbstzündung werden oftmals homogene magere Kraftstoff/Luft-Gemische zur Selbstzündung gebracht, so dass hohe Wirkungsgrade und verbesserte Abgasemissionen erzielt werden. Bei solchen sogenannten HCCI- bzw. PCCI-Brennkraftmaschinen, auch als Brennkraftmaschinen mit Raumzündverbrennung bekannt, wird in der Regel bei Teillast ein mageres Grundgemisch aus Luft, Kraftstoff und zurückgehaltenem Abgas gebildet und selbstgezündet. Dagegen wird bei Vollast häufig ein stöchiometrisches Gemisch gebildet und fremdgezündet. Zur Optimierung solcher Brennkraftmaschinen wird versucht, den Betrieb mit Raumzündverbrennung bzw. den Kennfeldbereich im Kompressionszündungsbetrieb zu höheren Lasten zu erweitern. Eine solche Erweiterung des Betriebsbereichs mit Raumzündverbrennung wird dennoch durch einen physikalisch bedingten Luftmangel eingeschränkt, da die Einbringungsmöglichkeiten ausreichender Frischluftmengen zur Umsetzung hoher Kraftstoffeinspritzmengen insbesondere im Vollastbereich bei hohen Drehzahlen bei einem vorgegebenen Gesamtwirkungsgrad begrenzt sind. Eine Möglichkeit zur Überwindung eines solchen Luftmangels kann mittels einer Aufladung der dem Motor zugeführten Frischluft bewirkt werden.

[0003] Nach heutigem Stand der Technik ist eine Steuerung einer Raumzündverbrennung bei aufgeladenen Brennkraftmaschinen nur schwer zu erreichen, da der Zeitpunkt der Selbstzündung sehr stark von den motorischen Parametern und den Umgebungsbedingungen abhängt.

[0004] Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zum Betrieb einer aufgeladenen Brennkraftmaschine zu schaffen, bei dem ein wirkungsgradoptimierter Betrieb sowohl in einem Selbstzündungsmodus als auch in einem Fremdzündungsmodus gewährleistet ist.

[0005] Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst.

[0006] Das erfindungsgemäße Verfahren zeichnet sich dadurch aus, dass im Brennraum einer aufgeladenen Brennkraftmaschine, die betriebspunktabhängig mit Kompressionszündung oder mit Fremdzündung betrieben wird und bei der ein Ladedruck der dem Brennraum zugeführten Frischluft einstellbar ist, Abgas während eines Ladungswechsels im Kom-

pressionszündungsmodus zurückgehalten wird, welches während eines Ladungswechsels komprimiert wird, wobei wahlweise eine erste Kraftstoffmenge in das zurückgehaltene Abgas eingespritzt wird. Nachfolgend wird dem Brennraum eine zweite Kraftstoffmenge zugeführt, so dass im Brennraum ein homogenes Kraftstoff/Luft-Gemisch gebildet wird. Erfindungsgemäß wird die zurückgehaltene Abgasmenge im Brennraum bei einer Abweichung der Verbrennungsschwerpunktlage von einem Sollwert infolge einer Veränderung des Ladedrucks der Frischluft und/oder infolge einer Veränderung der Frischlufttemperatur derart korrigiert, dass die Verbrennungsschwerpunktlage in Richtung des Sollwertes verschoben wird.

[0007] Durch das erfindungsgemäße Verfahren kann mittels einer Variation des Ladedruckes der Selbstzündungsbetriebsbereich der Brennkraftmaschine zu höheren Lasten bei Beibehaltung eines optimierten Wirkungsgrads erweitert werden. Wenn beispielsweise eine Erhöhung des Ladedrucks lastpunktabhängig vorgenommen wird, dann ändert sich infolgedessen die Gemischzusammensetzung, da dem Brennraum mehr Frischluft zugeführt wird. Hierdurch verschiebt sich der Schwerpunkt der Verbrennung. Der Schwerpunkt der Verbrennung entspricht einer Kurbelwinkelangabe, bei der eine 50%-Umsetzung der an der Verbrennung beteiligten Kraftstoffmenge stattgefunden hat. Durch die erfindungsgemäße Veränderung der zurückgehaltenen Abgasmenge kann die Verschiebung der Schwerpunktlage in Richtung eines Sollwertes vorgenommen werden. Eine Verschiebung der Schwerpunktlage ergibt sich bei Raumzündverbrennung durch eine Veränderung der Frischlufttemperatur, die sich beispielsweise durch eine Ladeluftkühlung ergeben könnte. Eine derartige Verschiebung der Schwerpunktlage kann ebenfalls mittels einer Variation der zurückgehaltenen Abgasmenge ausgeglichen werden. Vorzugsweise kann eine Korrektur der zurückgehaltenen Abgasmenge zur Verschiebung der Schwerpunktlage in Richtung eines Sollwertes bei einer Veränderung des Abgasgedrucks erreicht werden, welche die Verbrennung negativ beeinflusst.

[0008] Durch das erfindungsgemäße Verfahren wird eine Erhöhung des Luft-Kraftstoff-Verhältnisses bei hohen Lasten erzielt, wodurch eine Verminderung des Kraftstoffverbrauchs und der Abgasemissionen, insbesondere der Stickoxidemissionen, bei einem wirkungsgradoptimierten Betrieb erreicht wird.

[0009] In einer Ausgestaltung der Erfindung wird während des Kompressionszündungsmodus ein Selbstzündungszeitpunkt des aus der ersten und der zweiten Kraftstoffmenge gebildeten Kraftstoff/Luft-Gemisches in Abhängigkeit von einem Mengenverhältnis der ersten zur zweiten Kraftstoffmenge eingestellt.

[0010] Die Einspritzung der ersten Kraftstoffmenge ins zurückgehaltene Abgas bewirkt eine optimale Homogenisierung bzw. eine Vorkonditionierung der ersten Kraftstoffmenge, welche zu einer Erhöhung einer Gemischreaktivität des aus der ersten und der zweiten Kraftstoffmenge gebildeten Kraftstoff/Luft-Gemisches führt. Hierdurch wird das Einsetzen der Selbstzündung, insbesondere bei Betriebspunkten mit geringer Abgastemperatur begünstigt.

[0011] In einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung wird das Mengenverhältnis der ersten zur zweiten Kraftstoffmenge von 1:100 bis 2:1, insbesondere von 1:5 bis 1:3 eingestellt. Hierdurch kann der Vorkonditionierungseffekt mittels der ersten Kraftstoffmenge dem gefahrenen Betriebspunkt angepasst werden. Vorzugsweise findet die Einspritzung der zweiten Kraftstoffmenge saugsynchron statt, so dass die durch die erste Kraftstoffmenge eingestellte Gemischreaktivität weder erhöht noch vermindert wird. Die zweite Kraftstoffmenge dient somit in erster Linie zur Einstellung einer gewünschten Last.

[0012] Gemäß einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung wird eine Schwerpunktlage der Verbrennung mittels einer Einspritzung einer dritten Kraftstoffmenge eingestellt, die nach Beendigung der Einspritzung der zweiten Kraftstoffmenge und vorzugsweise vor einem oberen Zünd-Totpunkt vorgenommen wird. Die dritte Kraftstoffmenge zielt insbesondere bei hohen Lasten auf eine Minderung der Reaktivität der Gesamtzylinderladung ab. Hierdurch sollen große Brenngeschwindigkeiten bzw. hohe Druckerhöhungen im Brennraum vermindert werden.

[0013] Weitere Merkmale und Merkmalskombinationen ergeben sich aus der Beschreibung. Konkrete Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in den Zeichnungen vereinfacht dargestellt und in der nachfolgenden Beschreibung näher erläutert. Es zeigen:

[0014] [Fig. 1](#) eine Darstellung von Verläufen unterschiedlicher Luft-Kraftstoff-Verhältnisse bei einer aufgeladenen Brennkraftmaschine in Abhängigkeit von einer Last und einem Ladedruckverhältnis und

[0015] [Fig. 2](#) ein schematisches Diagramm von Stickoxidverläufen in Abhängigkeit von der Last und dem Ladedruckverhältnis.

[0016] Eine beispielhafte aufgeladene Brennkraftmaschine mit Raumzündverbrennung umfasst vorzugsweise vier oder mehr Zylinder, in denen ein längsverschieblich gehaltener Kolben geführt und ein Brennraum zur Verbrennung eines Kraftstoff/Luft-Gemisches gebildet ist. Der Brennraum der Brennkraftmaschine wird von einem Zylinderkopf nach oben hin abgeschlossen, wobei der Kolben den Brennraum nach unten hin begrenzt. Die Brennkraftmaschine umfasst pro Brennraum mindestens ein Einlassventil,

mindestens ein Auslassventil, einen Kraftstoffinjektor und eine Zündquelle, die vorzugsweise als eine Zündkerze ausgebildet ist. Weiterhin umfasst die Brennkraftmaschine erfindungsgemäß eine Luftförderereinrichtung, vorzugsweise als ein Abgasturbolader ausgebildet, bei der ein Ladedruck der dem Brennraum zugeführten Frischluft einstellbar ist. Alternativ kann ein mechanischer Lader den Abgasturbolader ersetzen.

[0017] Die Brennkraftmaschine arbeitet nach dem 4-Takt-Prinzip, wobei sie lastpunktabhängig ottomotorisch, d.h. mit Fremdzündung, oder in einem Selbstzündungsmodus betrieben werden kann. Bei einem 4-Takt-Verfahren entspricht ein Takt einem vollen Kolbenhub. Das aus vier Takten bestehende Arbeitsspiel der Brennkraftmaschine entspricht einem Verbrennungszyklus, wobei ein Verbrennungszyklus mit einem ersten Ansaugtakt bei einem oberen Ladungswechsel-Totpunkt beginnt, bei dem sich der Kolben in einer Abwärtsbewegung bis zu einem unteren Totpunkt bewegt. Beim Ansaugtakt wird dem Brennraum Verbrennungsluft zugeführt, wobei erfindungsgemäß in einem Ausschietakt eines vorherigen Arbeitsspiels eine bestimmte Menge an Abgas im Brennraum zurückgehalten wird.

[0018] Das erfindungsgemäße Verfahren zielt darauf ab, den Selbstzündungsbetriebsbereich der Brennkraftmaschine mittels einer Variation des Ladedruckes in Richtung zu höherer Lasten bei Beibehaltung eines optimierten Wirkungsgrads zu erweitern. Durch den Einsatz des Abgasturboladers kann eine Erhöhung des Ladedrucks vorgenommen werden, so dass höhere Lastpunkte gemäß [Fig. 1](#) ebenfalls mit einem mageren Gemisch, beispielsweise mit hohen Luft-Kraftstoff-Verhältnissen $\lambda > 1$, in einem Selbstzündungsbetrieb gefahren werden können. Da sich infolgedessen die Gemischzusammensetzung aufgrund der dem Brennraum mehr zugeführten Frischluft ändert, verschiebt sich der Schwerpunkt der Verbrennung von einem Sollwert hinweg. Hierdurch verschlechtert sich der Wirkungsgrad der Brennkraftmaschine und die Stickoxidemission kann zunehmen. Durch die erfindungsgemäße Veränderung der zurückgehaltenen Abgasmenge kann die Verschiebung der Schwerpunktlage zurück in Richtung des Sollwertes vorgenommen werden und somit die Beibehaltung eines optimierten Wirkungsgrads bei gleichzeitiger Minimierung der Stickoxidemission erzielt werden. Demnach kann die Verschiebung der Schwerpunktlage ohne großen Aufwand schnell und gezielt nahezu ausgeglichen werden. Hierdurch wird gemäß der Erfindung eine Erhöhung des Luft-Kraftstoff-Verhältnisses bei hohen Lasten erzielt, wodurch gemäß [Fig. 2](#) die Stickoxidemissionen erheblich gesenkt werden können.

[0019] Alternativ kann die Brennkraftmaschine dennoch bei sehr hohen Lasten, insbesondere im Voll-

lastbereich ottomotorisch betrieben werden, d.h. die Zylinderladung wird fremdgezündet.

[0020] Erfindungsgemäß wird während des Kompressionszündungsbetriebs mittels einer ersten Einspritzung, die in den mit zurückgehaltenem Abgas gefüllten Brennraum eingebracht wird, eine bestimmte Gemischreaktivität eines aus der ersten und einer nachfolgenden zweiten Kraftstoffmenge gebildeten Kraftstoff/Luft-Gemisches eingestellt. Hierdurch wird das Einsetzen der Selbstzündung geregelt bzw. gesteuert. Dies ist insbesondere bei Betriebspunkten mit geringer Abgastemperatur vorteilhaft, da für den Erfolg der Aufladung bestimmte Ladedruckverhältnisse benötigt werden. Somit wird ein zuverlässiger Betrieb der Brennkraftmaschine mit Kompressionszündung auch in unteren Drehzahl- und Lastbereichen ermöglicht.

[0021] Durch die erste Kraftstoffmenge steht für eine anschließende Hauptverbrennung ein höheres Energie- bzw. Temperaturniveau zur Verfügung, wodurch ein Energieverlust aufgrund der kleineren umgesetzten Kraftstoffmenge bei der Realisierung niedriger Motorlasten kompensiert werden kann. Dadurch wird der mit Kompressionszündung gefahrene Betriebsbereich vergrößert, so dass weiterhin verbesserte Abgasemissionen beispielsweise bei Leerlauf erzielt werden können. Vorzugsweise wird die erste Kraftstoffeinspritzung zwischen dem Schließen des Auslassventils und dem Öffnen des Einlassventils vorgenommen. Alternativ kann die erste Kraftstoffmenge in das im Brennraum zurückgehaltene Abgas während des Ausschleibetakts der Brennkraftmaschine zwischen dem Schließen des Auslassventils und 270°KW vor einem oberen Zünd-Totpunkt eingespritzt werden.

[0022] Alternativ kann die erste Kraftstoffmenge in einem Bereich zwischen dem Schließen des Auslassventils und einem Ladungswechsel-Totpunkt in den Brennraum eingebracht werden. Hierdurch werden die Umsetzungsartigen Reaktionen bei der ersten Kraftstoffeinspritzung erhöht. Die Einspritzung der ersten Kraftstoffmenge führt zu umsetzungsartigen Reaktionen, mit denen die Gemischendtemperatur beeinflusst wird. Somit kann der Selbstzündzeitpunkt beeinflusst werden. Vorzugsweise beträgt die erste Kraftstoffmenge zwischen 0% und 30% der Gesamtkraftstoffmenge, wobei die zweite Kraftstoffmenge zwischen 40% und 100% der Gesamtkraftstoffmenge betragen kann.

[0023] Durch die Einbringung der zweiten Kraftstoffmenge in den Brennraum wird das Hauptgemisch gebildet, das im Kompressionstakt verdichtet wird. Während des Kompressionstaktes bewegt sich der Kolben in einer Aufwärtsbewegung vom unteren Totpunkt bis zum oberen Zünd-Totpunkt. Das gebildete Hauptgemisch wird in einem Bereich des oberen

Zünd-Totpunkts durch die vorliegende Kompression gezündet. Erfindungsgemäß kann der Selbstzündungszeitpunkt des aus der ersten und der zweiten Kraftstoffmenge gebildeten Kraftstoff/Luft-Gemischs in Abhängigkeit von einem Mengenverhältnis der ersten zur zweiten Kraftstoffmenge eingestellt werden. Eine besonders vorteilhafte Vorkonditionierung des Hauptgemisches stellt sich bei einem Mengenverhältnis zwischen 1:5 und 1:3 ein. Vorzugsweise wird die zweite Kraftstoffmenge in einem Bereich zwischen 300°KW und 120°KW vor dem oberen Zünd-Totpunkt in den Brennraum eingespritzt.

[0024] Während der noch laufenden Verbrennung des Hauptgemisches expandiert der Kolben in einer Abwärtsbewegung bis zu einem unteren Totpunkt. Die Schwerpunktlage der Verbrennung kann erfindungsgemäß lastpunktabhängig mittels einer Einspritzung einer dritten Kraftstoffmenge optimiert werden. Die Variation der zurückgehaltenen Abgasmenge in Kombination mit der Einspritzung einer dritten Kraftstoffmenge dient in erster Linie einer Optimierung des Selbstzündungsbetriebs bei Beibehaltung eines nahezu idealen Wirkungsgrads, insbesondere bei sehr kleinen und hohen Lasten, da in diesen Betriebsbereichen ein optimierter Selbstzündungsbetrieb homogener Gemische nicht leicht zu regeln ist.

[0025] Wahlweise findet die Einspritzung der dritten Kraftstoffmenge vor oder nach dem Einsetzen der Selbstzündung statt, wobei vorzugsweise vor dem oberen Zünd-Totpunkt eingespritzt wird, so dass die Reaktivität des Hauptgemisches bzw. der Gesamtzylinderladung vermindert bzw. verändert werden kann. Die dritte Kraftstoffeinspritzung kann in vorteilhafter Weise die Dauer der Verbrennung in Abhängigkeit von ihrem Einspritzzeitpunkt und/oder ihrer Menge steuern. Hierdurch werden steile Druckerhöhungen im Brennraum verhindert und somit bessere Abgasemissionen erzielt. Vorzugsweise beträgt die dritte Kraftstoffmenge zwischen 10% und 30% der Gesamtkraftstoffmenge.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Betrieb einer aufgeladenen Brennkraftmaschine mit einem Zylinder, einem Zylinderkopf, in dem mindestens ein Einlass- und ein Auslassventil angeordnet sind, einem Kolben und einem zwischen dem Zylinderkopf und dem Kolben begrenzten Brennraum, dem Frischluft über eine Luftfördereinrichtung zugeführt wird, wobei ein Ladedruck der dem Brennraum zugeführten Frischluft einstellbar ist, bei dem

- die Brennkraftmaschine betriebspunktabhängig mit Kompressionszündung oder mit Fremdzündung betrieben wird, wobei
- während eines Kompressionszündungsmodus im Brennraum Abgas zurückgehalten und während eines Ladungswechsels komprimiert wird, und

– wahlweise eine erste Kraftstoffmenge in das zurückgehaltene Abgas eingespritzt wird, wobei

– nachfolgend dem Brennraum eine zweite Kraftstoffmenge zugeführt wird, so dass im Brennraum ein homogenes Kraftstoff/Luft-Gemisch gebildet wird, **dadurch gekennzeichnet**, dass

– die zurückgehaltene Abgasmenge im Brennraum bei einer Abweichung der Verbrennungsschwerpunktlage von einem Sollwert infolge einer Veränderung des Ladedrucks der Frischluft und/oder infolge einer Veränderung der Frischlufttemperatur derart korrigiert wird, dass die Verbrennungsschwerpunktlage in Richtung des Sollwertes verschoben wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1 dadurch gekennzeichnet, dass ein Selbstzündungszeitpunkt des aus der ersten und der zweiten Kraftstoffmenge gebildeten Kraftstoff/Luft-Gemischs in Abhängigkeit von einem Mengenverhältnis der ersten zur zweiten Kraftstoffmenge eingestellt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 2 dadurch gekennzeichnet, dass das Mengenverhältnis der ersten zur zweiten Kraftstoffmenge zwischen 1:100 und 2:1, insbesondere zwischen 1:5 und 1:3 eingestellt wird.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche dadurch gekennzeichnet, dass die Schwerpunktlage der Verbrennung mittels einer Einspritzung einer dritten Kraftstoffmenge eingestellt wird, die nach Beendigung der Einspritzung der zweiten Kraftstoffmenge und vor einem oberen Zünd-Totpunkt vorgenommen wird.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche dadurch gekennzeichnet, dass eine Dauer der Verbrennung in Abhängigkeit von der dritten Kraftstoffmenge und/oder ihrem Einspritzzeitpunkt eingestellt wird.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche dadurch gekennzeichnet, dass die erste Kraftstoffmenge 0% bis 30% der Gesamtkraftstoffmenge beträgt.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche dadurch gekennzeichnet, dass die zweite Kraftstoffmenge 40% bis 100% der Gesamtkraftstoffmenge beträgt.

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche dadurch gekennzeichnet, dass die dritte Kraftstoffmenge 10% bis 30% der Gesamtkraftstoffmenge beträgt.

Es folgt ein Blatt Zeichnungen

Fig. 1

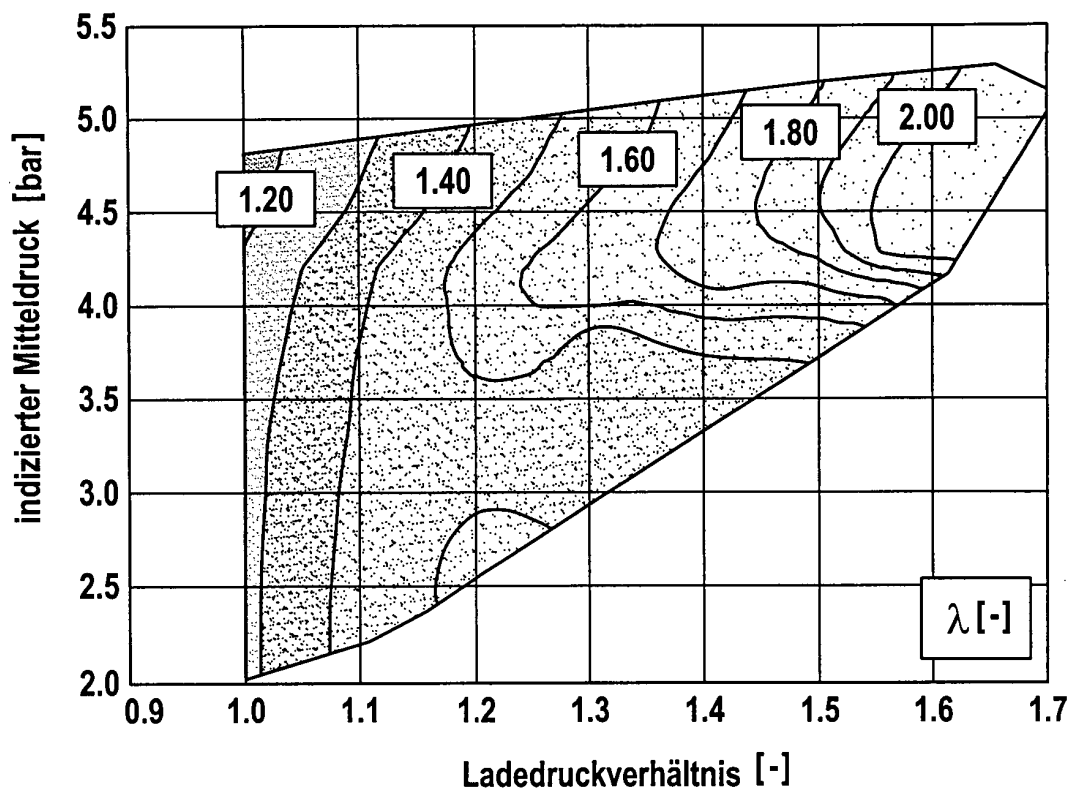


Fig. 2

