



(10) **DE 10 2004 017 990 B4** 2015.10.01

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2004 017 990.5**
(22) Anmeldetag: **14.04.2004**
(43) Offenlegungstag: **03.11.2005**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **01.10.2015**

(51) Int Cl.: **F02D 41/40 (2006.01)**

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

(73) Patentinhaber:
Daimler AG, 70327 Stuttgart, DE

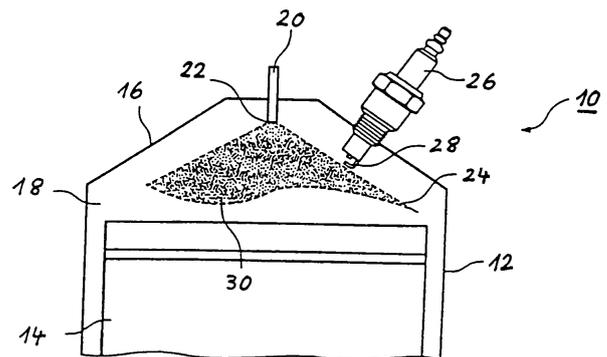
(72) Erfinder:
Köhler, Bernd, Dipl.-Ing., 73072 Donzdorf, DE;
Lux, Christoph, Dipl.-Ing., 70193 Stuttgart, DE;
Oechsle, Michael, Dipl.-Ing., 71065 Sindelfingen,
DE; Spieth, Andreas, Dipl.-Ing., 73265 Dettingen,
DE

(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE	102 42 227	A1
DE	103 05 941	A1
WO	01/ 09 500	A1

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

(57) Hauptanspruch: Verfahren zum Betrieb einer fremd-gezündeten Brennkraftmaschine (10) mit Kraftstoffdirekteinspritzung in der Nachstartphase T bei niedrigen Temperaturen, bei welchem
einem Brennraum (18) Verbrennungsluft zugeführt wird; in den Brennraum (18) mittels eines Kraftstoffinjektors (20) Kraftstoff eingespritzt wird; und
ein in dem Brennraum (18) gebildetes Kraftstoff-Luft-Gemisch mittels einer Zündkerze (26) zu einem vorbestimmten Zündzeitpunkt ZT gezündet wird, wobei eine erste Kraftstoffmenge in einer Voreinspritzung M_H in einem Ansaughub der Brennkraftmaschine (10) in den Brennraum (18) eingespritzt wird, mit welcher im Wesentlichen in dem gesamten Brennraum (18) ein homogenes, mageres Kraftstoff-Luft-Gemisch wird; und
anschließend eine zweite Kraftstoffmenge in einer Haupteinspritzung M_S in einem Kompressionshub unmittelbar vor dem Zündzeitpunkt ZT in den Brennraum (18) mit $\lambda > 1$ gebildet eingespritzt wird, mit welcher im Bereich der Zündkerze (26) ein geschichtetes, fettes Kraftstoff-Luft-Gemisch mit $\lambda < 1$ gebildet wird..



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betrieb einer fremdgezündeten Brennkraftmaschine, insbesondere zum Betrieb einer fremdgezündeten Brennkraftmaschine mit Kraftstoffdirekteinspritzung in der Nachstartphase bei niedrigen Temperaturen.

[0002] Bei direkteinspritzenden Ottomotoren und bei Ottomotoren mit Saugrohreinspritzung wird bei einer konventionellen Einspritzstrategie der Motor in den ersten Sekunden nach einem Kaltstart bei niedrigen Temperaturen von -30°C bis 0°C in der sogenannten homogenen Betriebsart betrieben. Hierbei erfolgt bei dem direkteinspritzenden Ottomotor die Einspritzung in den Brennraum im Ansaughub. Durch die einströmende Ansaugluft und die durch sich abwärts bewegenden Kolben entstehenden Strömungen im Brennraum wird der eingespritzte Kraftstoff gleichmäßig mit der Frischluft vermischt. Die so im Brennraum erzeugte Ladung ist vollständig homogenisiert, d. h. es befindet sich im gesamten Brennraum im Wesentlichen das gleiche Kraftstoff-Luft-Gemisch.

[0003] Um eine sichere Entflammung des Frischgemisches zu gewährleisten, muss das sich in der Nähe der Zündkerze befindende Kraftstoff-Luft-Gemisch zum Zeitpunkt der Zündung leicht fett sein, d. h. einen leichten Kraftstoffüberschuss aufweisen. Da aber im Homogenbetrieb das Gemisch im gesamten Brennraum gleichmäßig/homogen verteilt ist, muss auch im gesamten Brennraum ein leicht fettes Gemisch erzeugt werden. Dies hat aufgrund des Sauerstoffmangels bei der Verbrennung eine erhöhte Emission an Kohlenmonoxid sowie an unverbrannten Kohlenwasserstoffen zur Folge. Die nicht vollständige Umsetzung der im Kraftstoff gebundenen Energie bewirkt außerdem einen erhöhten Kraftstoffverbrauch.

[0004] Im Fall eines hier interessierenden Kaltstarts bei sehr niedrigen Temperaturen kondensiert Kraftstoff aus der Frischladung an den noch kalten Brennraumwänden sowie am Kolbenboden in der Nachstartphase. Dieser Kraftstoff steht nicht mehr für die Verbrennung zur Verfügung und muss durch eine vergrößerte Einspritzmenge ausgeglichen werden, um ein Ausmagern des Kraftstoff-Luft-Gemisches zu verhindern. Ein zu mageres Gemisch würde aufgrund seiner schlechteren Zündfähigkeit bei den nach dem Kaltstart noch niedrigen Brennraumtemperaturen zu einem ungleichmäßigen Motorlauf oder sogar zu Aussetzern führen. Beides ist aus Gründen des Fahrkomforts und der Schadstoffemission nicht akzeptabel.

[0005] Der an der Brennraumwand und auf dem Kolbenboden kondensierte Kraftstoff liegt dort in flüssiger Form vor. Er nimmt nicht mehr an der eigentlichen, das Moment erzeugenden Verbrennung teil.

Auch der verdampfte Kraftstoff in unmittelbarer Nähe der kalten Brennraumwände nimmt aufgrund des sogenannten Quenchings nicht mehr an der Verbrennung teil. Dabei wird der Verbrennung außerdem durch die kalten Brennraumwände Wärme und damit Energie entzogen. Dies führt zu einer Verlangsamung der Brenngeschwindigkeit bis hin zum Erlöschen der Flamme in der Nähe der Brennraumwand. Es bildet sich eine Schicht unverbrannter Kohlenwasserstoffe vor der Brennraumwand. Während des Ausschlebevorgangs schabt der sich nach oben bewegende Kolben diesen Kraftstoff von der Brennraumwand ab und schiebt ihn unverbrannt durch das offene Auslassventil in den Auslasskanal. Dies hat hohe HC-Emissionen zur Folge.

[0006] Auch der nicht an der Verbrennung teilnehmende Kraftstoff muss durch eine vergrößerte Einspritzmenge kompensiert werden, damit in den Bereichen des Brennraums, in denen die Frischladung an der Verbrennung teilnehmen kann, eine ausreichende Kraftstoff- und somit Energiemenge zur Verfügung steht, um das zum Motorlauf benötigte Moment zu erzeugen. Speziell nach einem Kaltstart bei sehr niedrigen Temperaturen erfordert dies sehr hohe Einspritzmengen, die ein Vielfaches der Einspritzmenge bei Vollast betragen können. In diesem Zusammenhang ist es auch von Bedeutung, dass die nach dem Kaltstart benötigte Einspritzmenge die Mindestfördermenge einer elektrischen Kraftstoffpumpe bzw. einer Hochdruckpumpe definiert.

[0007] Die DE 102 42 227 A1 offenbart ein Verfahren zum Betrieb einer Brennkraftmaschine bei dem der Kraftstoffmindestdruck und die Zyklenanzahl beim Start der Brennkraftmaschine in Abhängigkeit von einer Brennraumtemperatur gewählt werden, wobei während des Startbetriebs die Einspritzung des Kraftstoffs in den Brennraum vorzugsweise getaktet stattfindet. Durch die Taktung der eingespritzten Kraftstoffmenge während eines Zyklus wird eine Brennraumwandbenetzung mit dem eingespritzten Kraftstoff minimiert, wodurch die Emissionen insbesondere die unverbrannten Kraftstoffanteile während der Startphase verringert werden. Da ein Hochdruckstart erst dann eingeleitet wird, wenn genügend Kraftstoffdruck vorhanden ist, wird eine verbesserte Zerstäubung des eingespritzten Kraftstoffs gewährleistet. Weiterhin wird ein Druckabfall in der Einspritzvorrichtung während des Hochdruckstarts durch die Taktung der eingespritzten Kraftstoffmenge aufgrund des hohen Kraftstoffmengenbedarfs beim Start der Brennkraftmaschine verhindert.

[0008] Die WO 01/09 500 A1 offenbart ein Verfahren zum Betreiben einer Brennkraftmaschine insbesondere eines Kraftfahrzeugs, bei dem Kraftstoff in einer ersten Betriebsart während einer Ansaughphase, in einer zweiten Betriebsart während einer Verdichtungsphase oder in einer dritten Betriebsart während

der Ansaug- und der Verdichtungsphase direkt von einem Einspritzventil in einen Brennraum eingespritzt und von einer Zündkerze entzündet wird, wobei in der dritten Betriebsart bei einem Klopfen der Brennkraftmaschine die Masse des während der Ansaugphase eingespritzten Kraftstoffs reduziert wird.

[0009] Die DE 103 05 941 A1 offenbart ein Verfahren zum Betrieb einer fremdgezündeten Brennkraftmaschine mit Direkteinspritzung, bei dem einem Brennraum Verbrennungsluft zugeführt wird und Kraftstoff mittels eines im Brennraum angeordneten Kraftstoffinjektors in den Brennraum eingespritzt wird. Mittels einer im Brennraum angeordneten Zündquelle wird ein gebildetes Kraftstoff/Luftgemisch bei einem vorbestimmten Zündzeitpunkt gezündet wird, wobei in einem Ansaughub der Brennkraftmaschine eingespritzt wird, mit der im Brennraum ein homogenes Kraftstoff/Luftgemisch mit einem Kraftstoff/Luftverhältnis λ größer als 1 gebildet wird. Nachfolgend wird in einem Expansionshub der Brennkraftmaschine eine zweite Kraftstoffmenge als eine Haupteinspritzmenge in den Brennraum eingespritzt, mit der in der Nähe der Zündquelle eine geschichtete Kraftstoff/Luftgemisch-Wolke mit einem Kraftstoff/Luftverhältnis λ kleiner als 1 gebildet wird. Nachfolgend wird, vorzugsweise nach dem Einspritzende der Haupteinspritzmenge, eine Zündung der geschichteten Kraftstoff/Luftgemisch-Wolke vorgenommen.

[0010] Es ist deshalb eine Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren zum Betrieb einer Brennkraftmaschine vorzusehen, welches die oben beschriebenen Probleme bei einem herkömmlichen Homogenbetrieb vermeidet. Insbesondere soll das Verfahren zum Betrieb der Brennkraftmaschine in einer Nachstartphase auch bei sehr niedrigen Temperaturen die erforderliche Einspritzmenge reduzieren, wodurch auch die Schadstoffemissionen weiter reduziert und die Dimensionierung einer benötigten Hochdruckpumpe verkleinert werden können.

[0011] Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren zum Betrieb einer fremdgezündeten Brennkraftmaschine mit Kraftstoffdirekteinspritzung mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen der Erfindung sind Gegenstand der Unteransprüche 2 bis 9.

[0012] Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren zum Betrieb einer fremdgezündeten Brennkraftmaschine mit Kraftstoffdirekteinspritzung in der Nachstartphase wird einem Brennraum Verbrennungsluft zugeführt; in den Brennraum wird mittels eines Kraftstoffinjektors Kraftstoff eingespritzt; und ein in dem Brennraum gebildetes Kraftstoff-Luft-Gemisch wird mittels einer Zündkerze zu einem vorbestimmten Zündzeitpunkt gezündet. Das erfindungsgemäße Verfahren zeichnet sich dadurch aus, dass eine erste Kraftstoffmenge in einer Voreinspritzung in einem Ansaughub der

Brennkraftmaschine in den Brennraum eingespritzt wird, mit welcher im Wesentlichen in dem gesamten Brennraum ein homogenes, mageres Kraftstoff-Luft-Gemisch ($\lambda > 1$) gebildet wird; und dass anschließend eine zweite Kraftstoffmenge in einer Haupteinspritzung im Kompressionshub unmittelbar vor dem Zündzeitpunkt in den Brennraum eingespritzt wird, mit welcher im Bereich der Zündkerze eine geschichtete, fette Kraftstoff-Luft-Wolke ($\lambda < 1$) gebildet wird.

[0013] Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren wird die in den Brennraum eingespritzte Kraftstoffmenge in der Nachstartphase, d. h. in der Zeit nach dem beendeten Motorstart bis zur Betriebsbereitschaft der Lambda-Regelung, auf zwei Einspritzmengen aufgeteilt. Die Voreinspritzung erfolgt im Ansaughub der Brennkraftmaschine, um im gesamten Brennraum ein homogenes, mageres Kraftstoff-Luft-Gemisch zu bilden. Durch die im Vergleich zum konventionellen Homogenbetrieb deutlich geringere Kraftstoffeinspritzmenge ist somit auch die Menge des an den Brennraumwänden angelagerten Kraftstoffes und des Kraftstoffs in Wandnähe, die durch Quenching nicht an der Verbrennung teilnehmen kann deutlich verringert. Durch die reduzierte Kraftstoffmenge, die nicht an der Verbrennung teilnehmen kann, verringern sich die Emissionen an unverbrannten Kohlenwasserstoffen deutlich, die einzuspritzende Kraftstoffmenge wird deutlich reduziert und damit kann die benötigte Hochdruckpumpe kleiner dimensioniert werden. Mit der Haupteinspritzung im Kompressionshub der Brennkraftmaschine wird unmittelbar vor dem Zündzeitpunkt ein geschichtetes, fettes Kraftstoff-Luft-Gemisch im Bereich der Zündkerze gebildet, um trotz der mageren Frischladung eine gute Entflammungssicherheit zu gewährleisten.

[0014] In einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung wird die Haupteinspritzung als Mehrfacheinspritzung mit mehreren Schichteinspritzungen in zeitlich kurzer Abfolge durchgeführt. Durch diese Mehrfacheinspritzung wird die Durchmischung des geschichtet eingespritzten Kraftstoffes mit der Frischluft und dem Restgas verbessert, wodurch die Entflammungssicherheit weiter verbessert wird.

[0015] In einer Ausgestaltung der Erfindung wird die Haupteinspritzung als Doppeleinspritzung mit zwei Schichteinspritzungen durchgeführt. In diesem Fall kann der Zündzeitpunkt entweder nach der zweiten Schichteinspritzung der Haupteinspritzung oder zwischen der ersten und der zweiten Schichteinspritzung der Haupteinspritzung liegen.

[0016] In einer alternativen Ausgestaltung der Erfindung wird die Haupteinspritzung als Dreifacheinspritzung mit drei Schichteinspritzungen durchgeführt. In diesem Fall kann der Zündzeitpunkt nach der dritten Schichteinspritzung der Haupteinspritzung oder wahlweise zwischen der ersten und der zweiten oder

zwischen der zweiten und der dritten Schichteinspritzung der Haupteinspritzung liegen.

[0017] In einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung wird durch die Voreinspritzung ein leicht mageres Kraftstoff-Luft-Gemisch, insbesondere ein Kraftstoff-Luft-Gemisch mit $\lambda \approx 1,2$ im Brennraum erzeugt wird.

[0018] Das Kraftstoff-Luft-Gemisch sollte nach der zweiten Schichteinspritzung gemittelt über den gesamten Brennraum bevorzugt stöchiometrisch ($\lambda = 1$) bis leicht mager ($\lambda = 1,05$) sein.

[0019] Der Zündzeitpunkt entspricht dem üblichen Zündzeitpunkt in einer herkömmlichen homogenen Betriebsart der Brennkraftmaschine, d. h. er liegt je nach Betriebspunkt der Brennkraftmaschine bevorzugt zwischen etwa 10°KW und etwa 20°KW vor dem oberen Zünd-Totpunkt.

[0020] In einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung liegt das Ende der Haupteinspritzung bzw. der ersten Schichteinspritzung der Haupteinspritzung etwa 1°KW bis 15°KW vor dem Zündzeitpunkt.

[0021] In einer noch weiteren Ausgestaltung der Erfindung wird auch die Voreinspritzung als Mehrfacheinspritzung mit mehreren Homogeneinspritzungen durchgeführt. Durch diese Maßnahme wird die Homogenität des Kraftstoff-Luft-Gemisches im gesamten Brennraum weiter verbessert.

[0022] Konkrete Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in den Zeichnungen vereinfacht dargestellt und in der nachfolgenden Beschreibung näher erläutert. Dabei zeigen:

[0023] Fig. 1 eine schematische Querschnittsdarstellung durch einen Zylinder einer fremdgezündeten Brennkraftmaschine mit Kraftstoffdirekteinspritzung, bei welcher das Verfahren gemäß der vorliegenden Erfindung eingesetzt werden kann;

[0024] Fig. 2 eine schematische Darstellung der Drehzahl der Brennkraftmaschine über die Zeit zur Erläuterung des relevanten Zeitpunkts des erfindungsgemäßen Betriebsverfahrens;

[0025] Fig. 3 ein schematisches Diagramm eines ersten Ausführungsbeispiels eines Einspritzverlaufs der Brennkraftmaschine von Fig. 1, aufgetragen über dem Kurbelwinkel, gemäß der vorliegenden Erfindung;

[0026] Fig. 4 ein schematisches Diagramm eines zweiten Ausführungsbeispiels eines Einspritzverlaufs der Brennkraftmaschine von Fig. 1, aufgetragen über dem Kurbelwinkel, gemäß der vorliegenden Erfindung;

[0027] Fig. 5 ein schematisches Diagramm eines dritten Ausführungsbeispiels eines Einspritzverlaufs der Brennkraftmaschine von Fig. 1, aufgetragen über dem Kurbelwinkel, gemäß der vorliegenden Erfindung; und

[0028] Fig. 6 ein schematisches Diagramm eines vierten Ausführungsbeispiels eines Einspritzverlaufs der Brennkraftmaschine von Fig. 1, aufgetragen über dem Kurbelwinkel, gemäß der vorliegenden Erfindung.

[0029] Fig. 1 zeigt stark vereinfacht einen Zylinder **12** einer fremdgezündeten Brennkraftmaschine **10** mit Kraftstoffdirekteinspritzung. In dem Zylinder **12** wird ein Brennraum **18** durch einen Kolben **14** und einen den Zylinder **12** verschließenden Zylinderkopf **16** begrenzt. Im Zylinderkopf **16** ist zentral ein Kraftstoffinjektor **20** angeordnet, mit welchem durch eine Düsenöffnung **22** Kraftstoff in den Brennraum **18** eingespritzt werden kann. Eine Steuereinrichtung (nicht dargestellt) bestimmt u. a. die Einspritzzeitpunkte des Kraftstoffs mit den zugehörigen Kraftstoffmengen und einen Zündzeitpunkt, an dem mittels einer Zündkerze **26** oder dergleichen ein im Brennraum gebildetes Kraftstoff-Luft-Gemisch gezündet wird.

[0030] Bei der Freigabe der Düsenöffnung **22** des Kraftstoffinjektors **20** wird der Kraftstoff in Form eines Kegelstrahls **24** mit einem Öffnungswinkel zwischen 70° und 110° in den Brennraum **18** eingespritzt. Die Positionierung der Zündkerze **26** im Brennraum **18** ist derart gewählt, dass die Elektroden **28** der Zündkerze **26** durch den eingespritzten Kraftstoffkegel **24** nicht benetzt werden.

[0031] Die in Fig. 1 dargestellte Brennkraftmaschine **10** arbeitet vorzugsweise nach dem Viertakt-Prinzip. In einem ersten Takt eines Arbeitsspiels der Brennkraftmaschine **10**, dem sogenannten Ansaughub, wird dem Brennraum **18** durch einen Einlasskanal (nicht dargestellt) Verbrennungsluft zugeführt. Dabei bewegt sich der Kolben **14** in einer Abwärtsbewegung bis zu einem unteren Totpunkt UT. In einem weiteren Kompressionshub der Brennkraftmaschine **10** bewegt sich der Kolben **14** in einer Aufwärtsbewegung vom unteren Totpunkt UT bis zu einem oberen Zünd-Totpunkt ZOT. In einem nachfolgenden Expansionshub bewegt sich der Kolben **14** in einer Abwärtsbewegung wieder bis zu einem unteren Totpunkt UT; und in einem vierten Ausschiebehub fährt der Kolben **14** in einer Aufwärtsbewegung bis zu einem oberen Totpunkt OT, um dabei die Abgase aus dem Brennraum **18** auszuschieben.

[0032] Ziel des erfindungsgemäßen Verfahrens ist es, eine Einspritzstrategie für eine Brennkraftmaschine vorzusehen, die in einer Nachstartphase der Brennkraftmaschine, d. h. für die Zeit nach dem beendeten Motorstart bis zur Betriebsbereitschaft der

Lambda-Regelung auch bei sehr niedrigen Temperaturen, d. h. insbesondere auch niedrigen Temperaturen der Ansaugluft, einen reduzierten Kraftstoffverbrauch bei gleichzeitig verbesserter Schadstoffemission (insbes. von Kohlenwasserstoffen) und hoher Entflammungssicherheit zum Zündzeitpunkt zu erzielen. Ein wichtiger Spezialfall ist in diesem Zusammenhang der vom Gesetzgeber vorgeschriebene Abgastest bei einer Motorstarttemperatur von -7°C .

[0033] Anhand von **Fig. 2** wird nachfolgend der Betriebszeitraum erläutert, in welchem die im Folgenden beschriebene Einspritzstrategie der Erfindung relevant ist. Nach Erreichen der Startendedrehzahl der Brennkraftmaschine, d. h. der Drehzahl, bei welcher der Start abgeschlossen ist, beginnt die sogenannte Nachstartphase T. In dieser Nachstartphase entsteht die eingangs beschriebene Problematik bei niedrigen Temperaturen. In dem Maße, in dem sich die Brennraumwände und der Kolbenboden erwärmen, entschärfen sich die genannten Probleme. Bei Erreichen der Betriebsbereitschaft der Lambdasonden kann die Gemischzumessung durch diese übernommen werden, sodass die Gemischzusammensetzung so eingeregelt werden kann, dass der an der Verbrennung teilnehmende Kraftstoff zusammen mit der Frischluft ein stöchiometrisches Kraftstoff-Luft-Verhältnis ($\lambda \approx 1$) ergibt. Der Zeitpunkt, zu dem die Betriebsbereitschaft der Lambdasonden erreicht ist, ist von der Motorstarttemperatur abhängig, da die Sonden erst dann auf ihre Betriebstemperatur gebracht werden können, wenn die Sonden durch das heiße Verbrennungsgas so weit erwärmt wurden, dass sich kein Kondenswasser mehr auf den Keramikkörpern der Sonden befinden kann, da sonst beim Beheizen der Sonden die Gefahr von Spannungsrissen besteht.

[0034] Hier geht die Nachstartphase T in den sogenannten Warmlauf über, in welchem die nun mögliche Gemischregelung einen stabilen Betrieb der Brennkraftmaschine in homogener Betriebsart erlaubt.

[0035] Anhand der Darstellungen der **Fig. 3** bis **Fig. 6** werden verschiedene bevorzugte Ausführungsbeispiele der Erfindung näher erläutert. Dabei sind jeweils die Einspritzvorgänge ES der Brennkraftmaschine **10** über dem Kurbelwinkel $^{\circ}\text{KW}$ aufgetragen.

[0036] Ein wesentlicher Punkt des erfindungsgemäßen Verfahrens ist die Aufteilung des eingespritzten Kraftstoffs in zwei Teile, nämlich in eine homogene Voreinspritzung M_H und eine geschichtete Haupteinspritzung M_S . Zunächst wird im Ansaughub der Brennkraftmaschine **10** eine erste Kraftstoffmenge in einer Voreinspritzung M_H eingespritzt, sodass im gesamten Brennraum **18** ein homogenes Kraftstoff-Luft-Gemisch mit einem Kraftstoff-Luft-Verhältnis $\lambda > 1$ gebildet wird. Im Gegensatz zu herkömmlichen Homogeneinspritzungen wird eine deutlich geringere Kraft-

stoffmenge eingespritzt und es soll ein leicht mageres Kraftstoff-Luft-Gemisch zum Beispiel mit $\lambda \approx 1,2$ im gesamten Brennraum erzeugt werden. Im Vergleich zu dem fetten Kraftstoff-Luft-Gemisch bei herkömmlicher Homogeneinspritzung ist somit die Menge des an den Brennraumwänden und auf dem Kolbenboden kondensierten Kraftstoffs deutlich geringer. Auch in der Grenzschicht in der Nähe der Brennraumwände, die durch Quenching nicht mehr an der Verbrennung teilnehmen kann, befindet sich weniger verdampfter Kraftstoff. Durch die so reduzierte Kraftstoffmenge, die nicht an der Verbrennung teilnehmen kann, verringern sich die Emissionen an unverbrannten Kohlenwasserstoffen deutlich. Die benötigte einzuspritzende Kraftstoffmenge kann durch diese Einspritzstrategie ebenfalls deutlich reduziert werden, was wiederum eine kleinere Dimensionierung der benötigten Hochdruckpumpe erlaubt.

[0037] Der Einspritzbeginn der Voreinspritzung M_H in den Ansaughub der Brennkraftmaschine **10** entspricht im Wesentlichen dem Einspritzbeginn einer herkömmlichen Homogeneinspritzung. Dieser Einspritzbeginn ist so spät im Ansaughub zu wählen, dass der Einspritzstrahl nicht mehr auf den kalten Kolbenboden trifft, aber andererseits so früh, dass eine möglichst lange Zeit zur Homogenisierung des Kraftstoff-Luft-Gemisches im Brennraum zur Verfügung steht.

[0038] Kurz vor dem Zündzeitpunkt ZT, welcher dem üblichen Zündzeitpunkt bei einer homogenen Betriebsart der Brennkraftmaschine **10** entspricht und welcher je nach Betriebspunkt der Brennkraftmaschine zwischen etwa 10°KW und etwa 20°KW vor dem oberen Zünd-Totpunkt (ZOT) liegt, wird eine zweite Kraftstoffmenge im Kompressionshub in einer Haupteinspritzung M_S in den Brennraum **18** als Schichteinspritzung eingespritzt. Um bei einem strahlgeführten Brennverfahren zum Zündzeitpunkt ZT die für die Zündung optimale Ausbildung des Einspritzstrahls zu gewährleisten, ist der Einspritzzeitpunkt der Haupteinspritzung M_S an den Zündzeitpunkt ZT gekoppelt. Diese Koppelung erfolgt über einen vom Betriebspunkt abhängigen Abstandswinkel Δ zwischen dem Ende der geschichteten Haupteinspritzung M_S und dem Zündzeitpunkt ZT. Dieser Abstandswinkel Δ liegt bevorzugt in einem Kurbelwinkelbereich von etwa 1°KW bis etwa 15°KW vor dem Zündzeitpunkt ZT.

[0039] Zweck dieser geschichteten Haupteinspritzung M_S ist die Bildung einer leicht fetten ($\lambda < 1$), trotz des hohen Restgasgehaltes im Brennraum **18** sicher entflammaren Ladungswolke **30** in der Nähe der Zündkerze **26** zum Zündzeitpunkt ZT. Durch die Schaffung optimaler Bedingungen an der Zündkerze **26** zum Zündzeitpunkt ZT wird eine hohe Entflammungssicherheit erreicht. Aus diesem Bereich kann sich dann die Flammenfront in die Bereiche des Brennraums **18** fortsetzen, in denen das Ladungsge-

misch zwar brennbar, aber aufgrund der hohen Restgasrate nicht sicher zündfähig ist. Unter der Annahme, dass die Verbrennungsgeschwindigkeit in erster Näherung derjenigen des herkömmlichen Homogenbetriebs entspricht, bleiben auch der verbrennungswirkungsgrad und das entstehende Moment, abgesehen vom Einfluss des mageren Kraftstoff-Luft-Gemisches, im Wesentlichen konstant.

[0040] Durch das in **Fig. 2** veranschaulichte und oben beschriebene Einspritzverfahren gemäß der Erfindung wird einerseits durch die homogene Voreinspritzung M_H eine minimale Benetzung der Brennraumwände und des Kolbenbodens mit Kraftstoff und damit eine Reduzierung der Einspritzmenge erzielt, was zu einer deutlichen Reduzierung der Emission an Kohlenwasserstoffen führt, und andererseits wird durch die geschichtete Haupteinspritzung M_S zum Zündzeitpunkt ZT eine sicher entflammare Ladungswolke im Bereich der Zündkerze **26** zur Verfügung gestellt, was trotz des insgesamt mageren Ladungsgemisches im Brennraum **18** zu einer stabilen Verbrennung und damit einer guten Laufruhe führt. Auf diese Weise kann somit ein Betrieb der Brennkraftmaschine in der Nachstartphase auch bei niedrigen Temperaturen durchgeführt werden, bei dem der Kraftstoffverbrauch reduziert und gleichzeitig die Emission an Kohlenwasserstoffen minimiert ist.

[0041] Vorzugsweise ist das Kraftstoff-Luft-Verhältnis λ nach der geschichteten Haupteinspritzung M_S gemittelt über den gesamten Brennraum **18** stöchiometrisch ($\lambda \approx 1$) bis leicht mager ($\lambda \approx 1,05$).

[0042] Während im ersten Ausführungsbeispiel von **Fig. 3** die geschichtete Haupteinspritzung M_S in Form einer Einfacheinspritzung erfolgte, wird die geschichtete Haupteinspritzung M_S im zweiten Ausführungsbeispiel von **Fig. 4** unmittelbar vor dem Zündzeitpunkt ZT als Doppeleinspritzung mit einer ersten und einer zweiten Schichteinspritzung innerhalb weniger Millisekunden durchgeführt. Durch die getaktete Ausführung der geschichteten Haupteinspritzung M_S als Mehrfacheinspritzung wird die Gemischbildung der fetten Ladungswolke **30** im Bereich der Zündkerze **26** aufgrund einer besseren Durchmischung des Kraftstoffdampfes mit der Frischluft und damit auch die Laufruhe der Brennkraftmaschine **10** weiter verbessert. Außerdem wird durch die Mehrfacheinspritzung auch die Turbulenz im Bereich der Zündkerze **26** erhöht und somit die Verbrennung weiter stabilisiert.

[0043] Wie in **Fig. 4** angedeutet, kann der Zündzeitpunkt ZT im Fall einer geschichteten Doppeleinspritzung M_S entweder erst nach der zweiten Schichteinspritzung der Haupteinspritzung M_S oder aber zwischen der ersten und der zweiten Schichteinspritzung der Haupteinspritzung M_S liegen. Der Einspritzzeitpunkt der Haupteinspritzung M_S ist dabei derart an den Zündzeitpunkt ZT gekoppelt, dass der Abstands-

winkel Δ zwischen dem Ende der ersten Schichteinspritzung der Haupteinspritzung M_S und dem Zündzeitpunkt in Abhängigkeit vom Betriebspunkt bevorzugt etwa 1°KW bis etwa 15°KW beträgt.

[0044] Die übrigen Aspekte des zweiten Ausführungsbeispiels und die mit diesem Verfahren erzielbaren Vorteile entsprechen jenen des ersten Ausführungsbeispiels von **Fig. 3**.

[0045] Während im zweiten Ausführungsbeispiel die Haupteinspritzung M_S als Doppeleinspritzung mit einer ersten und einer zweiten Schichteinspritzung ausgeführt wird, wird die Haupteinspritzung M_S im dritten Ausführungsbeispiel von **Fig. 5** als Dreifacheinspritzung mit einer ersten, einer zweiten und einer dritten Schichteinspritzung durchgeführt. Der Abstandswinkel Δ zwischen dem Ende der ersten Schichteinspritzung und dem Zündzeitpunkt ZT beträgt auch in diesem Fall bevorzugt etwa 1°KW bis etwa 15°KW .

[0046] Wie in **Fig. 5** dargestellt, erfolgt die Zündung ZT wahlweise zwischen der ersten und der zweiten oder zwischen der zweiten und der dritten Schichteinspritzung der geschichteten Haupteinspritzung M_S oder wahlweise auch erst nach der dritten Schichteinspritzung der Haupteinspritzung M_S .

[0047] Das in **Fig. 6** dargestellte vierte Ausführungsbeispiel der Erfindung unterscheidet sich von dem dritten Ausführungsbeispiel von **Fig. 5** dadurch, dass auch die homogene Voreinspritzung M_H als Mehrfacheinspritzung, in dem gezeigten Ausführungsbeispiel als Doppeleinspritzung, ausgeführt wird. Durch diese homogene Doppeleinspritzung wird die Homogenität des Kraftstoff-Luft-Gemisches im gesamten Brennraum weiter verbessert.

[0048] Es sei an dieser Stelle ausdrücklich darauf hingewiesen, dass diese homogene Mehrfacheinspritzung M_H von **Fig. 6** auch mit allen anderen gezeigten Ausführungsbeispielen kombiniert werden kann, ohne dass dies explizit dargestellt ist.

[0049] Die vorliegende Erfindung eignet sich insbesondere für eine fremdgezündete Brennkraftmaschine mit Kraftstoffdirekteinspritzung. Die Vorteile der vorliegenden Erfindung liegen insbesondere in den geringeren Schadstoffemissionen in der Nachstartphase aufgrund einer geringeren Benetzung der Brennraumwände und des Kolbenbodens mit kondensiertem Kraftstoff; einer Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs durch eine Reduzierung der notwendigen Gemischanfettung in der Nachstartphase; einer Verbesserung der Laufruhe der Brennkraftmaschine durch eine Verbesserung der Entflammungssicherheit des lokal fetten Frischgemisches im Bereich der Zündkerze zum Zündzeitpunkt; und einer kleineren Dimensionierung der notwendigen Hoch-

druckpumpe zur Darstellung der im Kaltstart geforderten Kraftstofffördermenge und einer daraus resultierenden Kosteneinsparung.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Betrieb einer fremdgezündeten Brennkraftmaschine (10) mit Kraftstoffdirekteinspritzung in der Nachstartphase T bei niedrigen Temperaturen, bei welchem einem Brennraum (18) Verbrennungsluft zugeführt wird; in den Brennraum (18) mittels eines Kraftstoffinjektors (20) Kraftstoff eingespritzt wird; und ein in dem Brennraum (18) gebildetes Kraftstoff-Luft-Gemisch mittels einer Zündkerze (26) zu einem vorbestimmten Zündzeitpunkt ZT gezündet wird, wobei eine erste Kraftstoffmenge in einer Voreinspritzung M_H in einem Ansaughub der Brennkraftmaschine (10) in den Brennraum (18) eingespritzt wird, mit welcher im Wesentlichen in dem gesamten Brennraum (18) ein homogenes, mageres Kraftstoff-Luft-Gemisch wird; und anschließend eine zweite Kraftstoffmenge in einer Haupteinspritzung M_S in einem Kompressionshub unmittelbar vor dem Zündzeitpunkt ZT in den Brennraum (18) mit $\lambda > 1$ gebildet eingespritzt wird, mit welcher im Bereich der Zündkerze (26) ein geschichtetes, fettes Kraftstoff-Luft-Gemisch mit $\lambda < 1$ gebildet wird..

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Haupteinspritzung M_S als Mehrfacheinspritzung mit mehreren Schichteinspritzungen in zeitlich kurzer Abfolge durchgeführt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Haupteinspritzung M_S als Doppelspritzung mit zwei Schichteinspritzungen durchgeführt wird und der Zündzeitpunkt ZT nach der zweiten Schichteinspritzung der Haupteinspritzung oder zwischen der ersten und der zweiten Schichteinspritzung der Haupteinspritzung liegt.

4. Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Haupteinspritzung M_S als Dreifacheinspritzung mit drei Schichteinspritzungen durchgeführt wird und der Zündzeitpunkt ZT nach der dritten Schichteinspritzung der Haupteinspritzung oder zwischen der ersten und der zweiten oder zwischen der zweiten und der dritten Schichteinspritzung der Haupteinspritzung liegt.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass durch die Voreinspritzung M_H ein leicht mageres Kraftstoff-Luft-Gemisch, insbesondere ein Kraftstoff-Luft-Gemisch mit $\lambda \approx 1,2$ im Brennraum (18) erzeugt wird.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Kraftstoff-Luft-

Gemisch nach der zweiten Schichteinspritzung gemittelt über den gesamten Brennraum (18) etwa stöchiometrisch mit $\lambda \approx 1$ bis leicht mager mit $\lambda \approx 1,05$ ist.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Zündzeitpunkt ZT zwischen etwa 10°KW und etwa 20°KW vor einem oberen Zünd-Totpunkt ZOT liegt.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Ende der Haupteinspritzung M_S bzw. der ersten Schichteinspritzung der Haupteinspritzung M_S etwa 1°KW bis 15°KW vor dem Zündzeitpunkt ZT liegt.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass auch die Voreinspritzung M_H als Mehrfacheinspritzung mit mehreren Homogeneinspritzungen durchgeführt wird.

Es folgen 3 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

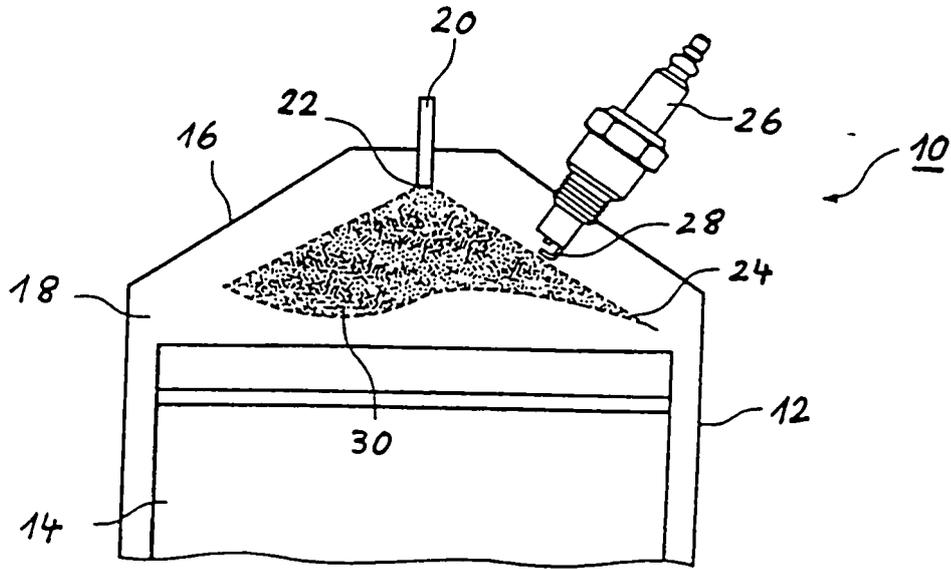


Fig. 1

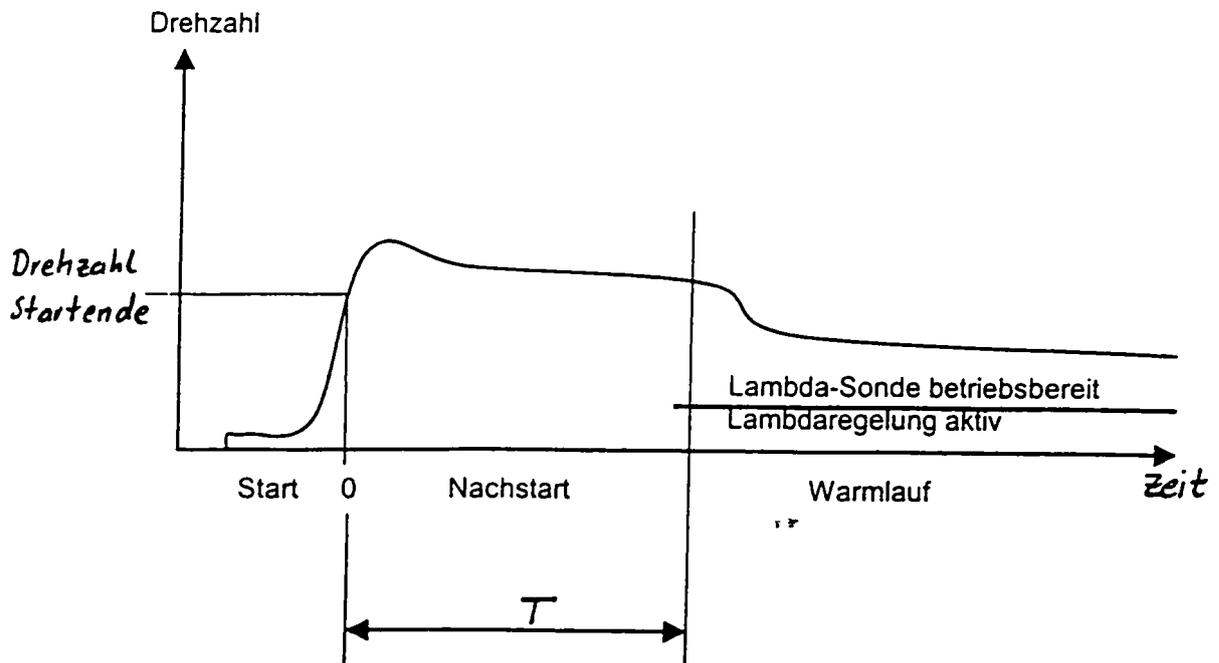


Fig. 2

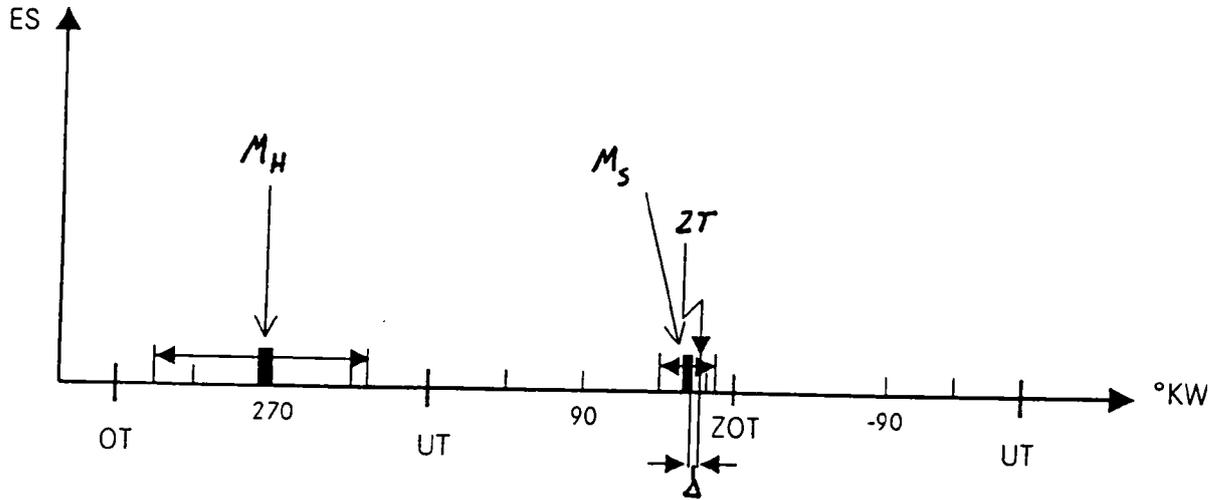


Fig. 3

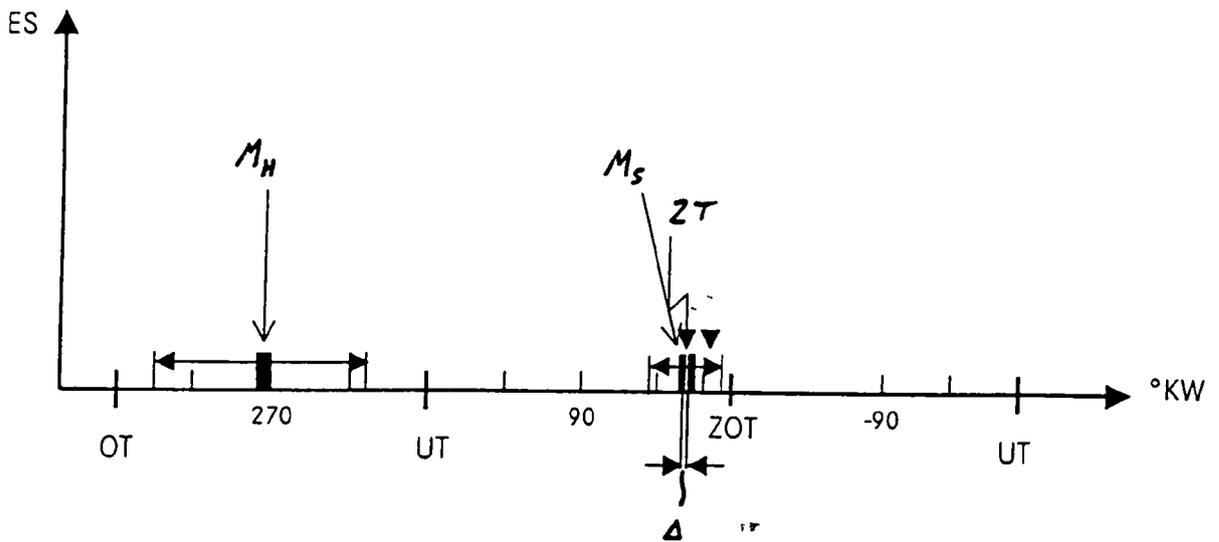


Fig. 4

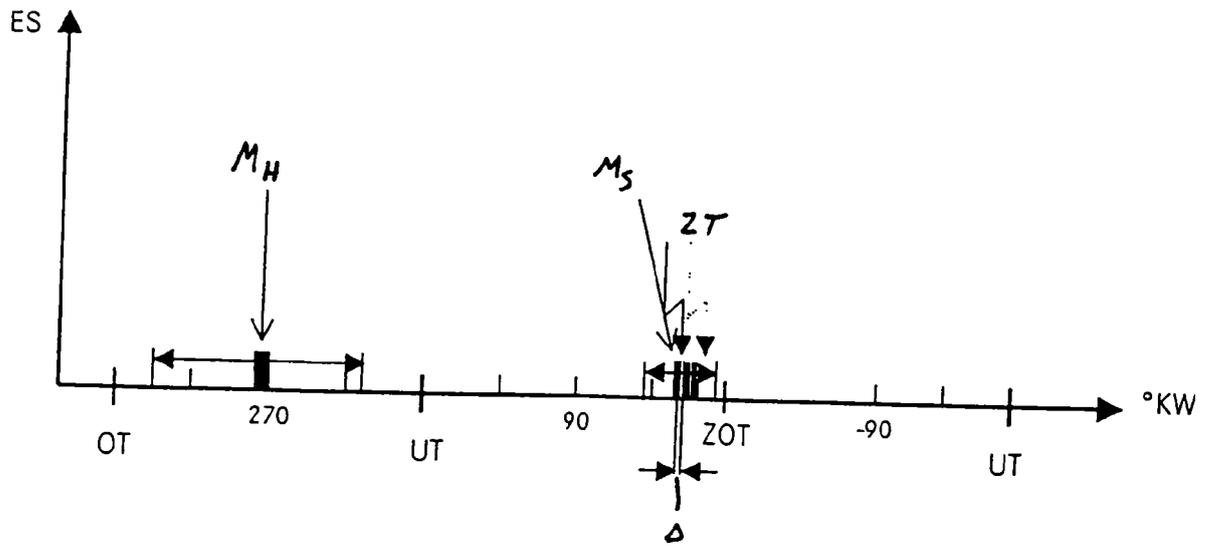


Fig. 5

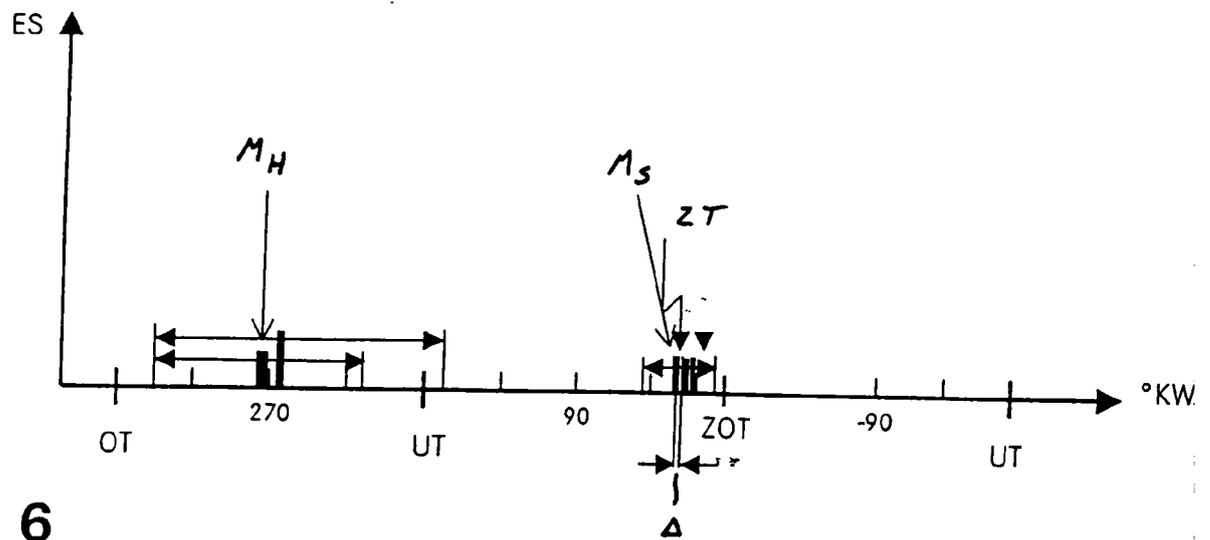


Fig. 6