



SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
BUNDESAMT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

⑤ Int. Cl.³: C 10 L 1/00
F 02 B 45/10
F 02 C 5/06

Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein

Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

⑫ PATENTSCHRIFT A5

⑪

645 129

⑫ Gesuchsnummer: 6859/79

⑫ Anmeldungsdatum: 24.07.1979

⑫ Priorität(en): 16.04.1979 US 030573

⑫ Patent erteilt: 14.09.1984

⑫ Patentschrift
veröffentlicht: 14.09.1984

⑦ Inhaber:
Thermo Electron Corporation, Waltham/MA
(US)

⑦ Erfinder:
Davis, Jerry P., Concord/MA (US)

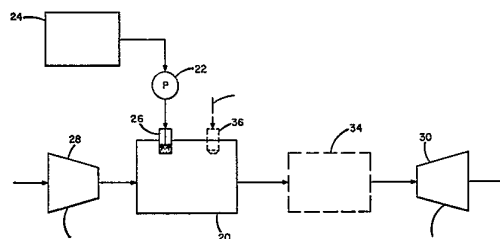
⑦ Vertreter:
A. Braun, Braun, Héritier, Eschmann AG,
Patentanwälte, Basel

⑤ Verfahren und Vorrichtung zur Erzeugung von Energie.

⑦ In einen Dieselmotor (20) mit einer Drehzahl von 80 bis 150 Umdrehungen pro Minute führt man a) eine flüssige Kraftstoffaufschlämmung und b) eine brennbare Flüssigkeit oder ein brennbares Gas in einer Menge von bis zu 10 Gew.-% der eingesetzten Kraftstoffaufschlämmung ein. Die letztere enthält ein Gemisch von Wasser und 20 bis 50 Gew.-% Kohle in Form von Partikeln mit einer Partikelgrösse von nicht mehr als 20 μm . Man mischt die Kraftstoffaufschlämmung und die brennbare Flüssigkeit oder das brennbare Gas unter solchen Druck- und Temperaturbedingungen mit komprimierter Luft, dass die Kohle verbrennt und das Wasser verdampft. Aus den Verbrennungsprodukten und aus dem Dampf gewinnt man durch Expansion derselben in einer Expansionskammer des Motors (20) Energie.

Die Vorrichtung zur Durchführung des obigen Verfahrens umfasst

- a) einen Dieselmotor (20) mit einer Drehzahl von 80 bis 150 Umdrehungen pro Minute,
- b) Mittel (28) für die Zufuhr von komprimierter Luft,
- c) Mittel (26) für die Zufuhr der Kraftstoffaufschlämmung,
- d) Mittel (36) zum Einführen des brennbaren Materials und
- e) Mittel (30) zum Gewinnen von Energie aus den Auspuffgasen.



PATENTANSPRÜCHE

1. Verfahren zur Erzeugung von Energie, dadurch gekennzeichnet, dass man a) in einen Dieselmotor mit einer Drehzahl von 80 bis 150 Umdrehungen pro Minute eine flüssige Kraftstoffaufschlämmung, die ein Gemisch von Wasser und 20 bis 50 Gew.-% Kohle in Form von Partikeln mit einer maximalen Partikelgrösse von nicht mehr als 20 µm aufweist, einführt, b) eine brennbare Flüssigkeit oder ein brennbares Gas in einer Menge von bis zu 10 Gew.-% der eingesetzten Kraftstoffaufschlämmung in den Dieselmotor einführt, um die Entzündung der Kraftstoffaufschlämmung zu erleichtern, c) die Kraftstoffaufschlämmung und die brennbare Flüssigkeit oder das brennbare Gas in dem Motor unter solchen Druck- und Temperaturbedingungen mit komprimierter Luft vermischt, dass die Kohle in der Aufschlämmung unter Bildung von Verbrennungsprodukten verbrennt und das Wasser in der Aufschlämmung unter Bildung von Dampf verdampft, und d) aus den Verbrennungsprodukten und aus dem Dampf Energie gewinnt, wobei die Energiegewinnungsphase eine Expansion der Verbrennungsprodukte und des Dampfes in einer Expansionskammer des Motors umfasst, um Auspuffgase zu bilden.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Energiegewinnungsphase überdies eine Expansion der Auspuffgase des Motors in einer Entspannungsturbine umfasst.

3. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch a) einen Dieselmotor mit einer Drehzahl von 80 bis 150 Umdrehungen pro Minute zum Verbrennen von mikronisierter Kohle in einer Mischung von mikronisierter Kohle, Wasser und komprimierter Luft, die dem Motor zugeführt wird, und zur Gewinnung von Energie aus dem beim Verbrennen erhaltenen Medium, b) Mittel für die Zufuhr von komprimierter Luft zum Motor, c) Mittel für die Zufuhr einer flüssigen Kraftstoffaufschlämmung, die Wasser und mikronisierte Kohle enthält, in den Motor, d) Mittel zum einführen eines brennbaren flüssigen oder gasförmigen Materials in einer Menge von bis zu 10 Gew.-%, bezogen auf die Kraftstoffaufschlämmung, zwecks Erleichterung der Entzündung der Kraftstoffaufschlämmung und e) Mittel zur flüssigen bzw. gasförmigen Kommunikation mit den Auspuffgasen des Motors zum Gewinnen von Energie aus den Auspuffgasen des Motors.

4. Vorrichtung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Mittel zum Gewinnen von Energie aus den Auspuffgasen des Motors aus einer Gasturbine bestehen.

5. Vorrichtung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass sie ferner Ascheentfernungsmittel, die zwischen dem Motor und der Gasturbine angeordnet sind, aufweist, um Kohleasche aus den Auspuffgasen des Motors zu beseitigen.

Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Erzeugung von Energie unter Verwendung einer Kraftstoffaufschlämmung, die aus einem Gemisch von Wasser und 20 bis 50 Gew.-% Kohle in Form von Partikeln mit einer maximalen Partikelgrösse von nicht mehr als 20 µm besteht.

Der rasch ansteigende Ölpreis und die Ungewissheit der Zugänglichkeit von Öl hat ein erhöhtes Interesse an der Verwendung anderer Kraftstoffe, wie z.B. Kohle, geweckt. Ein Versuchsfeld hat sich auf Kraftstoffe für Verbrennungskraftmaschinen, wie z.B. Dieselmotoren, bezogen, bei welchen die bisher aus Erdöl gewonnenen flüssigen Kraftstoffe teilweise oder gänzlich durch Kohle zu ersetzen sind. So wurden beispielsweise Kraftstoffgemische aus pulverisierter Kohle und Luft für Dieselmotoren vorgeschlagen. Zuzufolge der unvollständigen Verbrennung und der Schwierigkeit der Einführung des Kraftstoffes in die Maschinen haben solche Versuche mit Luft-Kohle-Mischungen bei modernen Dieselmotoren im allgemeinen keinen

Erfolg gezeigt. Auch Aufschlämmungen aus Kohle und Ölen sind als Kraftstoffe für Dieselmotoren untersucht worden. Um aber für das Einspritzen von Kohle-Öl-Aufschlämmungen in eine solche Maschine geeignete Viskositäten aufrechtzuerhalten, ist der Kohlegehalt auf maximal ungefähr 30 bis 40 Gew.-% beschränkt. Wenngleich man durch Verwendung von Kohle-Öl-Aufschlämmungen eine Reduktion des Ölverbrauchs erreichen könnte, bleibt immerhin der Umstand bestehen, dass das Öl immer noch einen grossen Teil des Kraftstoffes ausmacht.

10 Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist daher die Entwicklung einer Kohle-Wasser-Kraftstoffaufschlämmung, welcher sich für Verbrennungskraftmaschinen eignet.

Eine weitere Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist die Entwicklung eines Verfahrens und einer Vorrichtung zur Erzeugung von Energie unter Verwendung einer Kohle-Wasser-Aufschlämmung als Kraftstoff, wobei das Wasser als Träger für die Kohle dient und auch zur Arbeitsabgabe der Maschine etwas beiträgt.

Eine weitere Aufgabe der Erfindung ist die Entwicklung einer Vorrichtung zur Durchführung des erfindungsgemässen Verfahrens, die einen Dieselmotor mit einer Drehzahl von 80 bis 150 Umdrehungen pro Minute umfasst.

Das erfindungsgemässe Verfahren zur Erzeugung von Energie ist dadurch gekennzeichnet, dass man a) in einen Dieselmotor mit einer Drehzahl von 80 bis 150 Umdrehungen pro Minute eine flüssige Kraftstoffaufschlämmung, die ein Gemisch von Wasser und 20 bis 50 Gew.-% Kohle in Form von Partikeln mit einer maximalen Partikelgrösse von nicht mehr als 20 µm aufweist, einführt, b) eine brennbare Flüssigkeit oder ein brennbares Gas in einer Menge von bis zu 10 Gew.-% der eingesetzten Kraftstoffaufschlämmung in den Dieselmotor einführt, um die Entzündung der Kraftstoffaufschlämmung zu erleichtern, c) die Kraftstoffaufschlämmung und die brennbare Flüssigkeit oder das brennbare Gas in dem Motor unter solchen Druck- und Temperaturbedingungen mit komprimierter Luft vermischt, dass die Kohle in der Aufschlämmung unter Bildung von Verbrennungsprodukten verbrennt und das Wasser in der Aufschlämmung unter Bildung von Dampf verdampft, und d) aus den Verbrennungsprodukten und aus dem Dampf Energie gewinnt, wobei die Energiegewinnungsphase eine Expansion der Verbrennungsprodukte und des Dampfes in einer Expansionskammer des Motors umfasst, um Auspuffgase zu bilden.

Die kleinen Partikelgrössen der Kohle erleichtern eine vollständige Verbrennung der Kohle, reduzieren die Partikelgrösse der während der Verbrennung etwa anfallenden Asche auf ein Minimum und reduzieren auch den Verschleiss von Maschinenteilen, in denen die Kraftstoffaufschlämmung verwendet wird, auf ein Minimum. Das in der Kraftstoffaufschlämmung vorhandene Wasser dient als Transportmedium für die mikronisierte Kohle. Bei der Einführung der Kraftstoffaufschlämmung in den Dieselmotor verdampft überdies das Wasser unter Bildung von Dampf, der zu der Arbeitsleistung des Motors während der Expansion beiträgt.

Die Kraftstoffaufschlämmung enthält vorzugsweise 30 bis 40 Gew.-% mikronisierte Kohle, die Partikelgrössen von nicht mehr als 10 µm aufweist. Man kann auch als Teil des Dieselmotors eine Zündflamme vorsehen, die mit einer kleinen Menge einer brennbaren Flüssigkeit, wie z. B. ein Kraftstoff auf Erdölbasis, gespeist wird. Kleine Mengen an die Viskosität erhöhenden Mitteln und an Suspensionsstabilisatoren können gleichfalls in der Kraftstoffaufschlämmung vorhanden sein.

Die Vorrichtung zur Durchführung des erfindungsgemässen Verfahrens ist gekennzeichnet durch a) einen Dieselmotor mit einer Drehzahl von 80 bis 150 Umdrehungen pro Minute zum Verbrennen von mikronisierter Kohle in einer Mischung von mikronisierter Kohle, Wasser und komprimierter Luft, die dem Motor zugeführt wird, und zur Gewinnung von Energie aus dem beim Verbrennen erhaltenen Medium, b) Mittel für die Zufuhr

von komprimierter Luft zum Motor, c) Mittel für die Zufuhr einer flüssigen Kraftstoffaufschlämmung, die Wasser und mikronisierte Kohle enthält, in den Motor, d) Mittel zum Einführen eines brennbaren flüssigen oder gasförmigen Materials in einer Menge von bis zu 10 Gew.-%, bezogen auf die Kraftstoffaufschlämmung, zwecks Erleichterung der Entzündung der Kraftstoffaufschlämmung und e) Mittel zur flüssigen bzw. gasförmigen Kommunikation mit den Auspuffgasen des Motors zum Gewinnen von Energie aus den Auspuffgasen des Motors.

Die beiliegende Zeichnung stellt ein Blockbild einer erfindungsgemässen Vorrichtung dar.

Die Eigenschaften der erfindungsgemäss verwendeten Kraftstoffaufschlämmung, die sich ohne weiteres anstelle von aus Erdöl gewonnenen flüssigen Kraftstoffen verwenden lässt, stehen in engem Zusammenhang mit den Motoren, in denen sie verwendet werden, sowie den Verfahren zum Betrieb dieser Motoren. Sie sind besonders geeignet für Zweitakt Dieselmotoren, wie sie beispielsweise durch die Firma Gebrüder Sulzer AG hergestellt werden und zur Zeit beispielsweise für die Stromerzeugung und den Schiffsantrieb zur Anwendung gelangen. Die äusserst niedrigen Drehzahlen solcher Dieselmotoren (80 bis 150 Umdrehungen pro Minute) verschaffen genügend Zeit für die vollständige Verbrennung der Kohlepartikel. Überdies ermöglicht das gute Verschleissverhalten der gekühlten Metallteile solcher Motoren eine lange Lebensdauer.

Ein wichtiger Parameter der Kraftstoffaufschlämmung ist die Partikelgrösse der Kohle. Obwohl die niedrigen Drehzahlen der verwendeten Dieselmotoren die Verbrennung der Kohle in der Kraftstoffaufschlämmung begünstigen, ergeben Kohlepartikelgrössen von nicht mehr als 20 µm eine spezifische Oberfläche, wie sie erforderlich ist, um eine vollständige Verbrennung in der Maschine zu fördern. Die Partikelgrössen der Kohle sind daher für das erfindungsgemässe Verfahren von besonderer Bedeutung. Ein weiterer Vorteil der äusserst kleinen Kohlepartikelgrössen, wie sie im erfindungsgemässen Verfahren verwendet werden, liegt darin, dass etwa in der Aufschlämmung vorhandene Asche oder während der Verbrennung darin gebildete Asche zur Hauptsache aus sehr kleinen Partikeln besteht, wodurch die Erosion und die Abnutzung von Maschinenteilen, wie z. B. der Zylinderlaufbüchsen und Kolbenringe, verringert werden. Überdies verringert die mikronisierte Kohle, welche bei den im vorliegenden Falle bevorzugten Ausführungsformen Partikelgrössen von nicht mehr als 10 µm aufweist, den Aufwand für das Rühren, das erforderlich ist, um eine gleichmässige Zusammensetzung der Kohle-Wasser-Aufschlämmungen während des Lagerens aufrechtzuerhalten.

Der Kohlegehalt der Kraftstoffaufschlämmung ist ebenfalls wichtig. Bei einem Kohlegehalt von mehr als 50 Gew.-% würde eine Kraftstoffaufschlämmung gebildet, die für das Pumpen und Einspritzen in Dieselmotoren zu viskos wäre. Ein Kohlegehalt von weniger als 20 Gew.-% würde der Aufschlämmung nicht annehmbare Zündungseigenschaften verleihen, wobei die Verbrennung einen unannehmbar geringen Gesamtwirkungsgrad liefern würde. Wie nachstehend beschrieben wird, liefert eine bevorzugte Kraftstoffaufschlämmung mit einem Kohlgehalt von 40 Gew.-% beim Verbrennen in einem Dieselmotor Verbrennungsprodukte und thermische Gesamtwirkungsgrade, die denjenigen nahezu äquivalent sind, die man beim Verbrennen typischer, aus Erdöl gewonnener flüssiger Kraftstoffe erreicht.

Bei der Herstellung der zur Bildung der Kraftstoffaufschlämmung erforderlichen Mischung von Wasser und mikronisierter Kohle muss die Kohle vorerst mechanisch auf die vorgeschriebene Partikelgrösse von nicht mehr als 20 µm zerkleinert werden, weil mikronisierte Kohle im Handel nicht leicht erhältlich ist. Gemäss einer Herstellungsmethode wird genügend Wasser zu der pulverisierten Kohle zugegeben, um die Kraftstoffaufschlämmung zu bilden. Das so erhaltene Kohle-Wasser-Gemisch wird dann in eine Mahlscheibenmühle eingetragen, d.h. in eine

Maschine zum Schütteln und Mahlen von Kohle, in welcher die Verringerung der Kohlepartikelgrösse zum Teil dadurch erzeugt wird, dass Kohlepartikel und Metallkugeln geeigneter Grösse sich aneinander reiben.

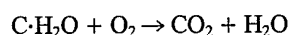
Die beiliegende Zeichnung zeigt eine Vorrichtung zur Durchführung des erfindungsgemässen Verfahrens. Diese Vorrichtung umfasst einen Dieselmotor 20, dem man, beispielsweise mittels einer Pumpe 22, die Kraftstoffaufschlämmung zuführt. Die Pumpe ist zwischen einem Aufschlämmungslagertank 24 und Mitteln für die Einführung der Kraftstoffaufschlämmung in den Motor 20, wie beispielsweise eine Einspritzdüse 26, angeordnet. Der Motor 20 ist ein Dieselmotor, vorzugsweise ein Zweitakt Dieselmotor, dessen Drehzahl 80 bis 150 Umdrehungen pro Minute beträgt. Ein Beispiel eines Dieselmotors für die in der beiliegenden Zeichnung erläuterte Vorrichtung ist das Modell 12 RND105M der Gebrüder Sulzer AG. Es handelt sich dabei um einen Zweitaktmotor ohne Ventile, der mit einer Drehzahl von 108 Umdrehungen pro Minute und einer Leistung an der Abtriebswelle von ungefähr 40 Megawatt arbeitet.

In der dargestellten Vorrichtung steht ein Turbokompressor 28 mit einem Einlass des Dieselmotors 20 in Verbindung, um dem Dieselmotor 20 Pressluft für die Verbrennung der Kraftstoffaufschlämmung zuzuführen. Eine Entspannungsturbine 30 ist ebenfalls vorgesehen, um aus den Auspuffgasen des Dieselmotors 20 Energie zu gewinnen. Zur Entfernung der Kohlenasche aus den Auspuffgasen des Dieselmotors 20 können Aschenentfernungsmittel 34, z. B. ein Zyklonabscheider oder eine Ausfällungsvorrichtung, vorgesehen sein, um eine übermässige Korrosion und Erosion der Schaufeln in der Expansionsturbine zu verhindern. Die durch diese Vorrichtung erzeugte Gesamtenergie entspricht derjenigen, die durch den Dieselmotor 20 erzeugt wird, plus der durch die Kombination der Expansionsturbine 30 und des Turbokompressors 28 erzeugten Nettoenergie.

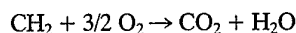
Zur Einführung der brennbaren Flüssigkeit, z. B. Methanol oder Äthanol, kann man z. B. eine Zündflamme 36 in den Dieselmotor 20 einbauen, wie dies in der beiliegenden Zeichnung gestrichelt wiedergegeben ist.

Um eine gleichmässige Suspension der Kohlepartikel in der Kraftstoffaufschlämmung aufrechtzuerhalten, kann man kleine Mengen von bis zu ungefähr 2 Gew.-% Suspensionsstabilisatoren zugeben. Man kann auch ähnliche Mengen von Viskosität erhöhenden Mitteln hinzugeben, um die Viskosität der Aufschlämmung zu steuern.

Die Arbeitsweise und die Leistung der oben beschriebenen Vorrichtung unter Verwendung einer ausgewählten Kraftstoffaufschlämmung ist ersichtlich aus einer Beschreibung der eintretenden thermodynamischen Prozesse. Eine für einen Dieselmotor 20 geeignete Kraftstoffaufschlämmung besteht aus 40 Gew.-% Kohle (im Idealfall reiner Kohlenstoff und 60 Gew.-% Wasser, d.h. aus gleichen Molenbrüchen von Kohle und Wasser. Die grundlegende Verbrennungsreaktion einer solchen Kraftstoffaufschlämmung beim Einführen in einen Dieselmotor 20 und Vermischen mit Pressluft entspricht der folgenden Gleichung:



Zum Vergleich verläuft die Verbrennungsreaktion eines typischen, aus Erdöl gewonnenen flüssigen Kraftstoffes gemäss der folgenden Gleichung:



Aus den oben genannten beiden Reaktionen geht eindeutig hervor, dass die bei der Verbrennung einer aus 40 Gew.-% Kohle und 60 Gew.-% Wasser bestehenden Aufschlämmung anfallenden Produkte denjenigen ähneln, die mit einem flüssigen Kraftstoff auf Erdölbasis erzielt werden. Insbesondere während der

Verbrennung eines flüssigen, aus Erdöl gewonnenen Kraftstoffes gleichviel Mol Wasser erzeugt wie bei der Verbrennung der erfindungsgemäss verwendeten Kraftstoffaufschlammung.

Der thermodynamische Wirkungsgrad der Verbrennung der erfindungsgemäss verwendeten Kraftstoffaufschlammung und anderer weniger Kohle und mehr Wasser enthaltenden Aufschlammungen hängt weitgehend von der Nettowirkung des flüssigen Wassers in der Aufschlammung ab. Das Einführen von Wasser in einen Dieselmotor 20 bewirkt u. a. eine Verringerung der Menge an überschüssiger Luft, welche zum Verbrennen bei einer bestimmten Spitztemperatur im Verbrennungszyklus erforderlich ist. Der Ausdruck „überschüssige Luft“, welcher hier gebraucht wird, bezieht sich auf die im obigen Falle erforderliche zusätzliche Luft, welche in einer stöchiometrischen Verbrennung verbraucht würde. Die bei Anwendung des erfindungsgemässen Verfahrens erzielte Verringerung der Menge an überschüssiger Luft bewirkt eine Steigerung des Wirkungsgrades, da die pro Einheit verbrannten Kraftstoffes erforderliche Kompressionsenergie verringert wird. Eine zweite Wirkung ist darin zu sehen, dass während der Verbrennung zwecks Verdampfens des flüssigen Wassers unter Überführung in einen gasförmigen Zustand thermische Energie erforderlich ist, welche eine negative Wirkung auf den thermischen Wirkungsgrad hat. Eine dritte Wirkung besteht darin, dass das verdampfte Wasser in ein komprimiertes Gas übergeht, aus welchem während des Expansionshubes eines jeden Kolbens des Dieselmotors 20 Arbeit gewonnen wird, was eine positive Wirkung auf den Wirkungsgrad hat. Das Nettoresultat dieser drei Wirkungen beeinflusst den thermodynamischen Wirkungsgrad der erfindungsgemässen Vorrichtung in wesentlichem Ausmass und ist entscheidend dafür, ob dieser Wirkungsgrad höher oder niedriger ist als derjenige, der bei Verwendung von flüssigen, aus Erdöl gewonnenen Kraftstoffen erzielt werden kann.

Es ist ferner darauf hinzuweisen, dass das Vorhandensein von Wasser in der Kraftstoffaufschlammung neben einer günstigen Beeinflussung des Gesamtwirkungsgrades die Menge an NO_x , welche in der Vorrichtung erzeugt wird, wesentlich verringern kann, wenn man die oben definierte Kraftstoffaufschlammung verwendet, indem Verbrennungszonen mit örtlichen hohen

Temperaturen vermindert werden können.

Die Gesamtwirkung auf den Wirkungsgrad lässt sich durch die folgenden Verbrennungsanalysen einer Kraftstoffaufschlammung, die aus 40 Gew.-% reinem Kohlenstoff und 60 Gew.-% Wasser besteht, bestimmen. Der analysierte Motortakt umfasst eine adiabatische Kompression der Eintrittsluft auf ein Druckverhältnis von 20 : 1. Dann folgt eine Aufheizung unter konstantem Druck durch Verbrennung bei einer maximalen Motortakttemperatur von ungefähr 1093°C und anschliessend eine adiabatische Expansion der anfallenden Verbrennungsprodukte bis zum Einlassdruck. Es werden Kompressions- und Expansionswirkungsgrade von 88% angenommen, wobei der Gesamtwirkungsgrad bei jedem Motortakt nach der folgenden Gleichung bestimmt wird:

$$\frac{\text{Gesamtwirkungsgrad}}{100} = \frac{\text{Expansionsarbeit} - \text{Kompressionsarbeit}}{\text{Wärmezufuhr}}$$

Der Gesamtwirkungsgrad wurde sowohl für die erfindungsgemäss verwendete Kraftstoffaufschlammung als auch für einen flüssigen Erdöltreibstoff (CH_2) berechnet. Die Wirkungsgrade wurden bestimmt, indem man die aus dem unteren Heizwert (LHV) der Kraftstoffe bestimmten Wärmezufuhren und überdies die durch den oberen Heizwert (HHV) der Kraftstoffe bestimmten Wärmezufuhren verwendete. (Der untere Heizwert, ein besserer Massstab der tatsächlichen Maschinenleistung, basiert auf der Annahme, dass die aus der Kondensation von Wasser resultierende Wärme in den Auspuffgasen der Maschine für die Erzeugung von Arbeit in einem praktisch verwendeten Motor nicht zur Verfügung steht. Der obere Heizwert umfasst diese durch die Kondensation von Wasser in den Auspuffgasen erzeugte Wärme und stellt einen besseren Indikator für den wirtschaftlichen Wert eines Kraftstoffes dar, weil Kraftstoffe aufgrund des oberen Heizwertes gekauft werden). Die Kompressionsarbeit und die Expansionsarbeit für diese Berechnungen werden aus den oben beschriebenen Zyklusparametern und adiabatischen Vorgängen bestimmt. Es ergeben sich somit Gesamtwirkungsgrade gemäss folgender Tabelle I.

Tabelle 1

Kraftstoff	LHV (kJ/kg)	HHV (kJ/kg)	Gesamtwirkungsgrad (%)	
			(LHV)	(HHV)
flüssiges Erdöl (CH_2)	140 861	150 979	36,8	34,3
Kraftstoffaufschlammung ($\text{C-H}_2\text{O}$) (40 Gew.-% Kohle, 60 Gew.-% Wasser)	38 928	43 682	38,5	34,3

Für eine aus 40 Gew.-% Kohle und 60 Gew.-% Wasser bestehende Kraftstoffaufschlammung sind die durch Verbrennung in Dieselmotoren erzielten Gesamtwirkungsgrade ganz ähnlich wie die mit üblichem Erdölkraftstoff erzielten.

Eine zweite Analyse wurde unter Anwendung der oben beschriebenen Motortaktparameter und Verfahren für eine typische, im Handel erhältliche Kohle folgender Zusammensetzung ausgeführt:

Tabelle II

Komponente	Gewichtsprozent
Feuchtigkeit	9,61
Asche (Korr.)	9,19
Kohlenstoff *	66,60
Wasserstoff * (rein)	3,25

Komponente	Gewichtsprozent
Schwefel	0,49
Stickstoff	1,42
gebundenes Wasser	9,44

$$\text{* Wasserstoff-Kohlenstoff-Molverhältnis} = \frac{3,25/1}{66,6/12} \approx 0,6$$

Somit wird das zugrundeliegende Kohle-„Molekül“ als äquivalent mit $\text{CH}_{0,6}$ angesehen. In diesem Beispiel wird die Verbrennung einer aus 30 Gew.-% Kohle gemäss Tabelle II und 70 Gew.-% Wasser bestehenden Kraftstoffaufschlammung analysiert. Der berechnete Gesamtwirkungsgrad für die Kraftstoffaufschlammung beträgt 30,2% (bezogen auf HHV), d. h. bloss einige wenige Prozente weniger als der in Tabelle I für einen

typischen Erdölkraftstoff angegebene Wert von 34,3 %.

Weitere Vorteile des erfindungsgemässen Verfahrens und der erfindungsgemässen Vorrichtung werden im nachstehenden Beispiel erläutert. In diesem Beispiel wird die Arbeitsweise einer Vorrichtung gemäss beiliegender Zeichnung unter Verwendung einer aus Wasser und 30 Gew.-% Kohle mit der Zusammensetzung gemäss Tabelle II bestehenden Kraftstoffaufschlämmung analysiert und mit der Verwendung eines typischen Erdöltreibstoffes verglichen. Als Motortaktparameter für einen typischen modernen Dieselmotor mit Turbokompressor gelten Motortakt-Spitzentemperaturen von ungefähr 1371 °C und ein Druckverhältnis von 60:1. Auch die Mengen an eingeführtem Kraftstoff und Luft werden so ausgesucht, dass für einen Expansionskolbenhub unter Verwendung der Kraftstoffaufschlämmung und für

einen Expansionskolbenhub unter Verwendung von Erdölkraftstoff die gleiche Energieabgabe zustande kommt. Somit sind die Motortaktspitzentemperaturen und die Drücke für beide Kraftstoffe praktisch dieselben. Diese Auswahl des Kraftstoffes und der Luftzufuhr erleichtert einen Vergleich der maximalen Nettoenergie, welche erhalten werden kann, wenn man verschiedene Kraftstoffe in einem bestimmten Motor verbrennt, weil die maximale Energieabgabe eines Dieselmotors gegebener Grösse in erster Linie durch die Energieabgabe eines Expansionshubes bestimmt wird. Die in der folgenden Tabelle III wiedergegebenen Analysenresultate zeigen, dass bei Verwendung einer oben definierten Kraftstoffaufschlämmung anstelle eines Erdölkraftstoffes in einem Dieselmotor lediglich ein bescheidener Abfall im Wirkungsgrad in Kauf genommen werden muss.

Tabelle III

Angaben	Erdölkraftstoff	Kraftstoffaufschlämmung (bestehend aus 30 Gew. % Kohle und 70 Gew. % Wasser)
Zugeführter brennbarer Kraftstoff (Mol)	1,0	2,137*
Zugeführte Luft (Mol)	23,49	17,92
Zugeführtes Wasser (Mol)	0	5,42**
Gesamtauspuffgase (Mol)	23,99	23,65
Expansionsenergie (kJ)	338 498	338 498
Kompressionsenergie (kJ)	224 754	171 487
Nettoenergie (kJ)	113 744	167 011
Kraftstoff HHV (kJ/kg brennbarer Kraftstoff)	148 493 (CH ₂)	125 281 (CH _{0,6})
Zugeführte Wärme (kJ)	291 665	472 585
Wirkungsgrad-HHV (%)	39,00	35,34

* äquivalente Mol CH_{0,6}

** einschliesslich Wasser als Bestandteil der verwendeten Kohle

Aus der Tabelle III geht ebenfalls hervor, dass für äquivalente Werte der Expansionsenergie – die der tatsächlichen Begrenzung eines Dieselmotors bestimmter Grösse und mechanischer Erfordernisse entspricht – die mit einer erfindungsgemässen Vorrichtung unter Verwendung einer oben definierten Kraftstoffaufschlämmung erzeugte Nettoenergie ungefähr 47 % höher ist als bei Verwendung von Erdölkraftstoff. Daraus ergibt sich, dass die Kapitalkosten für eine erfindungsgemässe Vorrichtung ohne Berücksichtigung der Herstellungskosten für die Kraftstoffaufschlämmung pro Kilowatt abgegebener Energie wesentlich niedriger sind als bei mit üblichem Erdölkraftstoff arbeitenden Vorrichtungen. Der Grund für diese höhere Nettoenergie liegt in der geringeren Luftmenge und dem geringeren Aufwand an Kompressionsenergie, welche erforderlich sind, um mit einer oben definierten Kraftstoffaufschlämmung eine bestimmte Menge Expansionsenergie zu erhalten. Während des Betriebs

wirkt das Treibmedium für den Expansionshub in einem Dieselmotor, der mit einer weniger als 40 Gew.-% trockene Kohle enthaltenden Kraftstoffaufschlämmung beschickt wird, als ein Gemisch, welches zwischen reinem Dampf und den Verbrennungsprodukten eines Erdölkraftstoffes liegt. Der überschüssige Dampf in einem solchen Treibmedium bewirkt, dass der Dieselmotor etwas von den Betriebseigenschaften einer Dampfmaschine besitzt, so dass der Motor an und für sich als „Steisel“ (Steam und Diesel) bezeichnet werden kann. Im Gegensatz zu einer Dampfmaschine wird aber der einen Teil des Treibmediums dieser „Steisel“-Maschine bildende Dampf während der direkten Verbrennung einer Kohle-Wasser-Kraftstoffaufschlämmung in einer Expansionskammer des Motors und nicht äusserlich in einem Dampfkessel erzeugt, wodurch geringere Gesamtkosten und höhere Gesamtwirkungsgrade erzielt werden.

