(19) Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2015 102 249 B4** 2017.10.12

(12) # Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2015 102 249.4**
(22) Anmeldetag: **17.02.2015**
(43) Offenlegungstag: **18.08.2016**
(45) Veröffentlichungstag der Patenterteilung: **12.10.2017**

(51) Int Cl.: ***F02D 41/00*** (2006.01)
G01M 15/00 (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:
Maridis GmbH, 18119 Rostock, DE

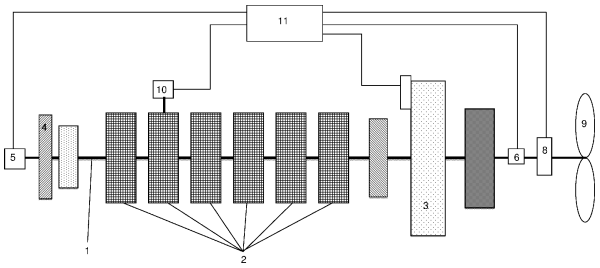
(74) Vertreter:
Schnick & Garrels Patentanwälte, 18057 Rostock, DE

(72) Erfinder:
Albert, Wolfgang, 23936 Grevesmühlen, DE; Gau, Daniel, 18147 Rostock, DE

(56) Ermittelter Stand der Technik:
siehe Folgeseiten

(54) Bezeichnung: **Verfahren und Vorrichtung zur Bestimmung der Leistungsverteilung einer Verbrennungskraftmaschine aus dem an der Kurbelwelle gemessenem Drehungleichförmigkeitsverlauf**

(57) Hauptanspruch: Verfahren zur Bestimmung der Leistungsverteilung einer Verbrennungskraftmaschine unter Nutzung des Drehungleichförmigkeitsverlaufs der Kurbelwelle (1) der Verbrennungskraftmaschine, wobei die Verbrennungsmaschine ein Messelement und eine Verarbeitungseinheit (11) aufweist und im Verfahren nach der Feststellung des Drehungleichförmigkeitsverlaufs an der Kurbelwelle mit Hilfe des Messelements und Ermittlung des mittleren Drehmoments eine Berechnung des Gesamtdrehmoments vorgenommen wird, und die relativen oder absoluten Leistungsanteile der Zylinder ermittelt werden, vor dem erstmaligen Ausführen des Verfahrens zur Verbrennungskraftmaschine gehörende Daten wie z. B. Massen, Federkonstanten, Dämpfungen, die Zündfolge der Zylinder (2) und andere Verbrennungskraftmaschinen-relevante Daten in einem Kennfeld in der Verarbeitungseinheit (11) bereitgestellt werden und sodann permanent mit Hilfe der Daten aus dem Kennfeld nach der Feststellung des Drehungleichförmigkeitsverlaufs an der Kurbelwelle (2) eine Umrechnung in einen Beschleunigungsverlauf an der Messstelle erfolgt, wobei der Beschleunigungsverlauf einer Ordnungsanalyse unterzogen wird und eine Berechnung der Wechselanteile des Gesamtdrehmoments auf Basis der Ordnungsanalyse durch die Zündfolge eine Zuordnung der Wechselanteile auf die Zylinder (2) erfolgt, dadurch gekennzeichnet, dass die prozentualen Leistungsanteile bei einer bestimmten Drehzahl für die Zylinder (2) über ein Gleichungssystem ermittelt werden, indem mit Hilfe der Ordnungsanalyse Fourieranordnungen des Beschleunigungsverlaufes bestimmt werden und sodann eine Berechnung eines Momentenverlaufs erfolgt, welcher über drehzahlabhängige Faktoren in einen Beschleunigungsverlauf für eine ”Starre Kurbelwelle” zurückgerechnet und mit einem Massenträgheitsmoment multipliziert wird, wobei Wechselanteile des Gesamtdrehmomentes errechnet werden, mit welchem in Verbindung mit einem mittleren Drehmoment ein Gesamtdrehmomentenverlauf errechnet wird, aus welchem die Anteile der einzelnen Zylinder am Verlauf des Gesamtdrehmomentes ermitteln werden, indem der Verlauf des Gesamtdrehmomentes sowie der Momentenverlauf in einzelne Flächenabschnitte geteilt wird.



(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE	**41 22 139**	**C2**
DE	**10 2006 053 255**	**B3**
DE	**44 45 684**	**A1**
DE	**102 35 665**	**A1**
DE	**10 2006 003 264**	**A1**
DE	**10 2008 008 383**	**A1**
DE	**10 2009 049 544**	**A1**
DE	**10 2010 051 370**	**A1**
US	**6 021 758**	**A**
WO	**93/ 22 648**	**A1**

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Bestimmung der Leistungsverteilung einer Verbrennungskraftmaschine. Daneben betrifft die Erfindung eine Vorrichtung, mit der das Verfahren durchgeführt werden kann.

Darstellung der Erfindung

[0002] Durch die steigenden Anforderungen an Verbrennungskraftmaschinen in Bezug auf Ökonomie, Ökologie und Sicherheit steigen auch die Anforderungen an die Betriebsführung der Maschinen. Besonders die Einhaltung der vom Hersteller vorgegebenen Betriebsparameter und damit die rechtzeitige Erkennung von Abweichungen zum Normalbetrieb werden immer wichtiger. Besonders wichtig ist in diesem Zusammenhang die gleichmäßige Verteilung der Zylinderleistung. Abweichungen führen hier zu erhöhtem Brennstoffverbrauch, zur Steigerung des Schadstoffausstoßes und zu einer erhöhten Belastung der Bauteile der Verbrennungskraftmaschine.

[0003] Die Bestimmung der Leistungsverteilung von Verbrennungskraftmaschinen erfolgt meist über die Messung des Zylinderdruckverlaufes der einzelnen Zylinder des Motors und der anschließenden Berechnung der indizierten Zylinderleistung. Bei dem in der DE 10 2010 051 370 A1 offenbarten Verfahren zur Bestimmung des indizierten Momentes einer Brennkraftmaschine wird auf einen Zylinderdruck des Führungszylinders zurückgegriffen, um die Momente der anderen Zylinder aus dem gemessenem Drehzahlverlauf zu bestimmen. Das erfordert relativ teure Mess- und Auswertetechnik. Gerade dadurch wird der Vorteil, den die Messung und Auswertung der Drehungleichförmigkeit mit ihrer einfachen und preiswerten Mess- und Auswertetechnik bietet, aufgehoben. Da viele Motoren keine Möglichkeit zur Druckmessung mehr haben, ist dieses Verfahren in der Praxis nur bedingt einsetzbar.

[0004] Auch in der Patentschrift DE 10 2006 053 255 B3 wird ein Verfahren zur Bestimmung des Zylinderinnendrucks einer Brennkraftmaschine aus dem Drehungleichförmigkeitsverlauf vorgestellt. Hierbei wird über ein adaptives Verfahren der Zylinderinnendruck bestimmt, allerdings nicht die Leistungsverteilung der Zylinder. Für das Verfahren ist ein relativ genaues und damit aufwändiges Innenprozessmodell erforderlich, von dem eine große Anzahl Modellparameter des Motors bekannt sein müssen. Diese Parameter stehen in der Praxis oft nicht zur Verfügung. Weiterhin wird beim vorgestellten Verfahren auf eine Berücksichtigung eines elastischen Drehschwingungssystems verzichtet. Damit ist dieses Verfahren nur an kleineren Motoren mit einem relativ starren Drehschwingungssystem einsetzbar. Bei Großdieselmotoren mit elastischen Drehschwingungssystemen ist dieses Verfahren in der Praxis zu ungenau.

[0005] Eine Bewertung der Leistungsverteilung mit Hilfe der gemessenen Abgastemperaturen ist sehr ungenau. Da die Abgastemperatur eines Zylinders neben der Zylinderleistung auch stark vom Zündzeitpunkt abhängig ist, verursachen Früh- oder Spätzündungen starke Verfälschungen des Ergebnisses.

[0006] Durch die in den vergangenen Jahren vorangetriebene Entwicklung der Sensorik und der Mikrokontroller ist es möglich, den Drehungleichförmigkeitsverlauf an der Kurbelwelle einer Verbrennungskraftmaschine mit einfachen und preiswerten Systemen zu messen. Mit dieser Messung wird ein Drehzahlverlauf über ein Arbeitsspiel der Verbrennungskraftmaschine aufgenommen. Dieser Drehzahlverlauf ist das Ergebnis der durch die einzelnen Zylinder eingebrachten Drehmomente. Betrachtet man die Kurbelwelle der Verbrennungskraftmaschine als starres System, so ist die durch die Momente hervorgerufene Winkelbeschleunigung und damit die Winkelgeschwindigkeit an jeder Stelle der Kurbelwelle gleich.

[0007] In der Praxis ist die Kurbelwelle jedoch als elastisches System mit Massen, Federkonstanten und Dämpfungen zu betrachten. Deshalb ist die an einer Stelle der Kurbelwelle gemessene Winkelgeschwindigkeit nicht an allen Stellen der Kurbelwelle identisch. Eine genaue Rückrechnung der Drehmomente der einzelnen Zylinder mit nur einer Messstelle ist aufgrund der Komplexität der Drehschwingungssysteme von Mehrzylindermotoren nicht direkt möglich.

[0008] Beispielhaft dürfen mehrere Schriften genannt werden. So ist in der Offenlegungsschrift DE 10 2009 049 544 A1 ein Verfahren zur Erkennung von Zündaussetzern bei Verbrennungskraftmaschinen auf der Basis der Messung der Drehungleichförmigkeit an der Kurbelwelle beschrieben. Bei diesem Verfahren wird jeweils nur die Fehlfunktion eines Zylinders bewertet. Eine Bestimmung der Verteilung der Leistung der Zylinder erfolgt nicht. Im Verfahren sind weitere Messwerte z. B. von der Lambda-Sonde für die Validierung erforderlich.

[0009] In dem in der Patentschrift: DE 41 22 139 C2 beschriebenen Verfahren wird die Messung der Drehungleichförmigkeit dazu genutzt, um die eingespritzten Kraftstoffmengen für einen optimalen Rundlauf des Motors abzugleichen. Auf eine Bestimmung der Leistungsverteilung wird verzichtet. Es handelt sich dabei um ein adaptives Verfahren zur Minimierung der Laufunruhe, bei dem nur einzelne Abschnitte des Drehzahlverlaufes genutzt werden.

[0010] In der Schrift DE 10 2006 003 264 A1 wird ein Verfahren vorgestellt, mit denen das von der Verbrennungskraftmaschine abgegebene Drehmoment durch Messung der Drehungleichförmigkeit ermittelt wird. Bei diesem Verfahren wird besonders der Einfluss von externen Momenten berücksichtigt. Eine Bestimmung der Leistungsverteilung des Motors erfolgt auch hier nicht.

[0011] In der Schrift US 60 21 758 A wird ein Verfahren zum Erkennen von Abweichungen beim Lastabgleich der Maschine und der Ausgleich dieser Abweichungen beschrieben. Beim beschriebenen Verfahren wird die Drehzahl der Kurbelwelle an einigen Messpunkten aufgenommen und daraus die ersten drei Ordnungen des Drehzahlspektrums berechnet. Aus diesen Ordnungen werden Korrekturfaktoren für die Brennstoffzufuhr ermittelt und an der Verbrennungskraftmaschine angewendet, um die Amplituden der ersten drei Schwingungsordnungen so zu verringern, dass der Rundlauf der Maschine wiederhergestellt wird.

[0012] Auch in den Schriften DE 102 35 665 A1 und DE 10 2008 008 383 A1 werden Verfahren zur Beseitigung der Laufunruhe von Verbrennungskraftmaschinen, die von Lastabweichungen der einzelnen Zylinder hervorgerufen werden, beschrieben. Auch bei diesen Verfahren wird das Drehzahlsignal der Kurbelwelle als Basis für die Lastregelung verwendet.

[0013] Die in den Schriften beschriebenen Verfahren eignen sich zur Eliminierung von Laufunruhen durch Abweichungen des Lastabgleichs von Brennkraftmaschinen. Für eine Bestimmung der Leistungsanteile der einzelnen Zylinder sind diese Verfahren ungeeignet, da wesentliche Einflüsse auf die Verbrennung im Motor wie Ladungswechsel, Einspritzung und Zerstäubung sowie Verschleiß der brennraumumschließenden Bauteile unberücksichtigt bleiben. Ein Extremfall wäre z. B. eine undichte oder gebrochene Einspritzleitung. Eine Bestimmung der Leistungsanteile der Zylinder unter Verwendung der beschriebenen Methoden ist nicht möglich. Weiterhin wird in den Veröffentlichungen auf eine Berücksichtigung der Elastizität der Kurbelwelle verzichtet. Gerade bei Großdieselmotoren sind auch bei einem gut abgeglichenem Motor Schwingungsanteile in den unteren Ordnungen möglich.

[0014] In der Schrift DE 44 45 684 A1 werden Verfahren zur Bestimmung des Drehmomentes, des Gasdrehmomentes sowie der Bestimmung der zylinderspezifischen Arbeits-, Leistungs- und Drehmomentanteile beschrieben. Basis des Verfahrens ist eine hochgenaue Berechnung der Winkelgeschwindigkeit der Kurbelwelle. Hieraus wird über zuvor auf dem Prüfstand ermittelte Kennlinien und Kennfelder das mittlere effektive Drehmoment ermittelt. Weiterhin werden die zylinderspezifischen Anteile über eine Integration der Drehmomentkurve im Bereich des oberen Totpunktes des jeweiligen Zylinders berechnet. Über die Bewertung des Maximums der Drehmomentkurve im Bereich des oberen Totpunktes des Zylinders können Zündaussetzer erkannt werden. Das beschriebene Verfahren hat den Nachteil, dass die Überlagerung der Momentenverläufe der einzelnen Zylinder, die dann zum Gesamtdrehmomentverlauf addiert werden, kaum berücksichtigt wird. Ein Leistungsabfall eines Zylinders hat auch zur Folge, dass die zu integrierende Fläche für den folgenden Zylinder verkleinert wird, ohne dass dieser auch einen Leistungsabfall haben muss. Besonders bei Großdieselmotoren mit großer Zylinderanzahl ist die Überlagerung der Zylindermomente so groß, dass eine Integration des Momentes im Bereich des oberen Totpunkes des Zylinders zu großen Fehlern führt. Diese Überlagerung führt auch dazu, dass bei Motoren mit großen Zylinderzahlen die Bestimmung des mittleren Drehmomentes z. B. aus den Schwingungsamplituden der Hauptharmonischen fehlerhaft ist. Weiterhin wurde auch in diesem Verfahren die Elastizität der Kurbelwelle nicht berücksichtigt. Auch das führt bei Großdieselmotoren zu nicht zu vernachlässigbaren Fehlern bei der Bestimmung der Leistungsanteile der Zylinder.

[0015] Die Schrift WO 93/22 648 A1 beschreibt ein Verfahren zur Bestimmung der Motordrehzahl, der Motorleistung und weiterer Überwachungsgrößen aus der Messung der Winkelgeschwindigkeit an der Kurbelwelle der Verbrennungskraftmaschine. Für die bei Großdieselmotoren eingesetzten „langen Kurbelwellen" wird vorgeschlagen zur Korrektur der Winkelgeschwindigkeit an allen Drehmassen zu messen, was praktisch nicht durchführbar ist. Mit der Messung an einer Stelle der Kurbelwelle treten auch bei diesem Verfahren bei Großdieselmotoren größere Fehler auf. Die Berechnung des mittleren Drehmomentes aus der Amplitude der Zündfrequenz führt bei Großdieselmotoren mit größeren Zylinderzahlen aufgrund der starken Überlagerung der Einzelmomente im oberen Lastbereich der Verbrennungskraftmaschine wieder zum Abfall der Zündfrequenz-

amplituden. Dadurch ist die Bestimmung des mittleren Drehmomentes bzw. die Bestimmung der von der Maschine abgegebenen Leistung aus der Amplitude der Hauptharmonischen nicht eindeutig möglich ist.

[0016] Eine Bestimmung der Leistungsanteile der Zylinder erfolgt beim beschriebenen Verfahren nicht. Ebenso beinhaltet das Verfahren keine Korrektur des elastischen Schwingungssystems.

[0017] Aufgabe der Erfindung ist es daher, ein Verfahren bereitzustellen, mit dem sich die Leistungsverteilung von Verbrennungskraftmaschinen genauer und kostengünstiger ermitteln lässt. Zudem ist es Aufgabe, eine Vorrichtung bereitzustellen, mit der das Verfahren durchgeführt werden kann.

[0018] Die erste Aufgabe wird durch das Verfahren nach Anspruch 1 gelöst. Die Unteransprüche 2 bis 4 stellen ergänzende Verfahrensschritte dar. Die zweite Aufgabe wird durch den unabhängigen Anspruch 5 gelöst, wobei die Unteransprüche 6 bis 7 Verbesserungen der Vorrichtung enthalten.

[0019] Zur Lösung des Verfahrens wird an der Verbrennungskraftmaschine der Drehungleichförmigkeitsverlauf der Kurbelwelle mit einer geeigneten Messeinrichtung über ein Arbeitsspiel aufgenommen. Dieser gemessene Drehungleichförmigkeitsverlauf wird in den Beschleunigungsverlauf an der Messtelle umgerechnet. Mit Hilfe einer Ordnungsanalyse werden danach die Fourierordnungen des Beschleunigungsverlaufes bestimmt. Sodann erfolgt die Berechnung des Momentenverlaufes, wofür angenommen wird, dass die einzelnen Schwingungsordnungen durch das Drehschwingungssystem durch drehzahlabhängige Faktoren im Betrag und durch drehzahlabhängige Phasendrehungen im Phasenwinkel verändert werden. Über diese Faktoren und Phasenwinkel kann der gemessene Beschleunigungsverlauf in einen Beschleunigungsverlauf für die „Starre Kurbelwelle" zurückgerechnet werden, der dem Gesamtdrehmomentverlauf für alle Zylinder entspricht. Die drehzahlabhängigen Faktoren und Phasenwinkel können beispielsweise mit Hilfe von Drehschwingungsrechnungen zuvor ermittelt und in einem Kennfeld gespeichert werden. Über Interpolationsverfahren können die für die Rückrechnung benötigten Parameter für die gemessene Drehzahl ermittelt werden.

[0020] Durch die Multiplikation des zurückgerechneten Beschleunigungsverlaufes mit dem Massenträgheitsmoment der rotierenden Massen erhält man die Wechselanteile des Gesamtdrehmomentes. Das für eine Bestimmung des Gesamtdrehmomentes erforderliche mittlere Drehmoment ist direkt aus der Messung zu bestimmen. Hierzu können verschiedene Möglichkeiten genutzt werden. Bei Motoren mit kleinen Zylinderzahlen kann die Amplitude der ersten Hauptharmonischen ein Maß für das mittlere Drehmoment sein. Bei Motoren mit größeren Zylinderzahlen kann das mittlere Drehmoment aus direkten oder indirekten Messungen und Kennfeldern bestimmt werden.

[0021] Aus den Wechselanteilen und dem mittleren Drehmoment kann das Gesamtdrehmoment berechnet werden. Dieses Gesamtdrehmoment ist die Summe aller an der Kurbelwelle der Verbrennungskraftmaschine eingeleiteten Drehmomente. Das sind im Wesentlichen die durch die bei der Verbrennung der einzelnen Zylinder erzeugten und über den Kurbeltrieb eingebrachten Zylindermomente.

[0022] Für die Bestimmung der Leistungverteilung der Verbrennungskraftmaschine müssen die Zylindermomente aus dem Gesamtmoment der Kurbelwelle extrahiert werden. Hierzu wird angenommen, dass das Gesamtmoment die Summe der Zylindermomente ist und dass die an der Kurbelwelle eingebrachten Zylindermomente einen ähnlichen Verlauf haben. Da die Summe der Verdichtungs- und Expansionarbeit und die Summe der oszillierenden Momente über ein Arbeitsspiel gleich null ist, kann dieser Verlauf ohne Verdichtungs-/Expansionsarbeit und ohne oszillierende Momente der Kolben betrachtet werden. Damit bleibt der reine Leistungsanteil des Zylinders.

[0023] Um die Anteile der einzelnen Zylinder am Verlauf des Gesamtdrehmoments der Verbrennungskraftmaschine zu ermitteln, wird der aus dem gemessenen Drehungleichförmigkeitsverlauf berechnete Verlauf des Gesamtdrehmomentes in einzelne Flächenabschnitte geteilt. Die oberen Totpunkte der Zylinder bilden dabei die Grenzen der Einzelflächen. Weiterhin wird auch der Momentenverlauf der Zylinder in Flächen mit den gleichen Grenzen, wie das Gesamtmoment aufgeteilt. Beim Verlauf des Zylindermoments kann dann der Anteil jedes Flächenabschnittes am Zylindermoment, der Gesamtfläche des Verlaufes, bestimmt werden.

[0024] Man erhält die Fläche eines Abschnittes des Gesamtmomentenverlaufes durch die entsprechend der Zündfolge der Verbrennungskraftmaschine gebildete Summe der Flächenanteile der Zylinder. Auf dieser Grundlage kann ein Gleichungssystem aufgestellt werden, mit dem die Anteile der Zylinder am Gesamtdrehmoment der Verbrennungskraftmaschine berechnet werden können.

[0025] Durch eine Normierung der berechneten Zylinderanteile kann dann die Leistungsverteilung der Verbrennungskraftmaschine berechnet werden. Bei ausreichend genauer Bestimmung des mittleren Drehmomentes können hiermit auch die Zylinderleistungen berechnet werden.

Ausführungsbeispiel

[0026] Für die Bestimmung der Leistungsverteilung ist an einer geeigneten Stelle der Kurbelwelle der Verbrennungskraftmaschine der Drehungleichförmigkeitsverlauf für ein Arbeitsspiel zu messen. Aus den Messdaten ist danach der Beschleunigungsverlauf an der Messstelle zu berechnen.

[0027] Da der Kurbeltrieb von Verbrennungskraftmaschinen kein starres System ist, kann aus dem gemessenen Beschleunigungsverlauf nicht direkt der Gesamtmomentenverlauf berechnet werden. Vorher sind die Veränderungen durch das Drehschwingungssystem zurückzurechnen. Hierfür wird angenommen, dass die einzelnen Schwingungsordnungen durch einen Faktor im Betrag und durch einen Winkel in der Phasenlage verändert werden. Weiterhin wird angenommen, dass der Faktor und der Phasenversatz drehzahlabhängig sind.

[0028] Damit können für jede Schwingungsordnung ein drehzahlabhängiger Faktor k und ein drehzahlabhängiger Phasenwinkel $\Delta\varphi$ bestimmt werden mit dem eine Rückrechnung auf den Beschleunigungsverlauf der „starren Kurbelwelle" möglich ist. Dazu werden mit Hilfe einer Ordnungsanalyse die Schwingungsordnungen des gemessenen Beschleunigungsverlaufes berechnet.

[0029] Den folgenden mathematischen Ausführungen kann folgende Formelzeichenliste zu Grunde gelegt werden:

M_t	Drehmoment
Θ	Massenträgheitsmoment
α	Winkelbeschleunigung
n	Drehzahl
$k_i(n)$	drehzahlabhängiger Faktor (i-te Schwingungsordnung)
$\Delta\varphi_i(n)$	drehzahlabhängiger Phasenwinkel (i-te Schwingungsordnung)
Pa_z	Leistungsanteil des Zylinders z am Gesamtdrehmoment
za_b	Teilflächen b der durch die Zylinder eingebrachten Drehmomente
MA_b	Teilflächen b des Momentenverlaufes
Pn_z	normierter Leistungsanteil des Zylinder z an der Gesamtleistung in %

[0030] Mit Hilfe der Beziehung

$$M_t = \Theta \cdot \alpha \tag{1}$$

kann aus der Winkelbeschleunigung das Gesamtdrehmoment berechnet werden.

[0031] Die Ordnungen des Gesamtdrehmomentes werden nach den folgenden Korrekturgleichungen bestimmt:

$$|M_{ti}| = k_i(n) \cdot \Theta \cdot |\alpha_i| \tag{2a}$$

$$\gamma(M_{ti}) = \gamma(\alpha_i) + \Delta\varphi_i(n) \tag{2b}$$

[0032] Aus den einzelnen Ordnungen des Moments und dem mittleren Drehmoment kann mit Hilfe einer Fouriersynthese der Gesamtmomentenverlauf der Verbrennungskraftmaschine berechnet werden.

[0033] Die Faktoren und die Phasenwinkel können über Drehschwingungsrechnungen oder über Versuche ermittelt und über Kennfelder bei der Berechnung des Drehmomentes genutzt werden. Weiterhin ist die Bestimmung der Faktoren und Phasenwinkel über Drehschwingungsrechnungen auch zur Laufzeit möglich. Das mittlere Drehmoment kann aus einer direkten Momenten- oder Leistungsmessung oder aus einer indirekten Bestimmung aus geeigneten Kennfeldern, wie z. B. Turboladerdrehzahl, Abgastemperaturen, Ladeluftdruck o. ä., erfolgen. Bei Motoren mit wenigen Zylindern kann das mittlere Drehmoment auch aus den Wechselanteilen des Momemtenverlaufes bestimmt werden. Hierzu kann die Amplitude der ersten Haupttharmonischen verwendet werden.

[0034] Der berechnete Gesamtmomentenverlauf ist die Summe der einzelnen durch die Zylinder über den Kurbeltrieb eingebrachten Drehmomente. Um die Leistungsverteilung zu bestimmen müssen die Anteile der Drehmomente am dem Gesamtmomentenverlauf ermittelt werden.

[0035] Dazu wird der Gesamtmomentenverlauf in Flächenanteile geteilt, die durch die oberen Totpunkte der einzelnen Zylinder begrenzt sind. Die Fläche des Momentenverlaufes in jedem Intervall wird durch die Summe der Teilflächen der Drehmomente der Zylinder im gleichen Kurbelwinkelintervall gebildet. Da das Moment aus der Verdichtung, der Expansion und das oszillierende Moment in der Summe über ein Arbeitsspiel null sind, wird bei der Bestimmung der Teilflächen des Zylindermomentes nur das Drehmoment aus dem Überdruckanteil, also ohne Verdichtung, Expansion und oszillierende Massen, verwendet (**Fig.** 2). Damit ist die Fläche dieses Verlaufes ein direktes Maß für die Zylinderleistung.

[0036] Aus den Flächenanteilen und den Teilflächen der Drehmomente der Zylinder kann unter Beachtung der Zündfolge ein Gleichungssystem aufgestellt werden, mit dessen Hilfe die Anteile der Zylinder am Gesamtmoment berechnet werden können.

[0037] Das folgende System zeigt ein Beispiel für einen Motor nach **Fig.** 1 mit der Zündfolge 1-3-5-6-4-2:

$za_1 \cdot Pa_1 + za_2 \cdot Pa_2 + za_6 \cdot Pa_3 + za_3 \cdot Pa_4 + za_5 \cdot Pa_5 + za_4 Pa_6 = MA_1$
$za_2 \cdot Pa_1 + za_3 \cdot Pa_2 + za_1 \cdot Pa_3 + za_4 \cdot Pa_4 + za_6 \cdot Pa_5 + za_5 Pa_6 = MA_2$
$za_3 \cdot Pa_1 + za_4 \cdot Pa_2 + za_2 \cdot Pa_3 + za_5 \cdot Pa_4 + za_1 \cdot Pa_5 + za_6 Pa_6 = MA_3$
$za_4 \cdot Pa_1 + za_5 \cdot Pa_2 + za_3 \cdot Pa_3 + za_6 \cdot Pa_4 + za_2 \cdot Pa_5 + za_1 Pa_6 = MA_4$
$za_5 \cdot Pa_1 + za_6 \cdot Pa_2 + za_4 \cdot Pa_3 + za_1 \cdot Pa_4 + za_3 \cdot Pa_5 + za_2\, Pa_6 = MA_5$
$za_6 \cdot Pa_1 + za_1 \cdot Pa_2 + za_5 \cdot Pa_3 + za_2 \cdot Pa_4 + za_4 \cdot Pa_5 + za_3 Pa_6 = MA_6$

[0038] Mit der Lösung des Gleichungssystems können die Anteile Pa_z der Zylinder am Gesamtdrehmoment der Verbrennungskraftmaschine berechnet werden.

[0039] Der prozentuale Einzelanteil eines Zylinders am Gesamtmoment kann dann mit der folgenden Gleichung berechnet werden:

$$Pn_z = \frac{Pa_z \cdot 100}{\frac{Zylinderzahl}{\sum_{i=1} Pa_i}} \qquad (3)$$

[0040] Bei ausreichend genauer Messung der Leistung oder des mittleren Drehmomentes der Maschine kann neben den Leistungsanteilen der Zylinder zusätzlich die Zylinderleistung jedes Zylinders berechnet werden.

[0041] Die erfindungsgemäße Vorrichtung ist durch einen an einer Stelle der Kurbelwelle einer Verbrennungskraftmaschine angebrachten Drehwinkelgeber gekennzeichnet, mit dem aus den gemessenen Drehungleichförmigkeitsverlauf über das beschriebene mehrstufige Verfahren die relativen Anteile der Zylinderleistungen an der Gesamtleistung und die Leistungsverteilung der Verbrennungskraftmaschine ermittelt werden können. Damit ist eine schnelle und zuverlässige Bewertung der Leistungsverteilung und damit der Motoreinstellung durch den Betreiber möglich. Besonders Störungen im Einspritzsystem von Dieselmotoren sind damit schnell und zuverlässig zu erkennen.

Ausführung der Vorrichtung gemäß der Erfindung

[0042] Die Erfindung wird anhand von Zeichnungen näher erläutert. Dabei zeigen

[0043] Fig. 1: eine erfindungsgemäße Verbrennungskraftmaschine, mit den einzelnen Komponenten des Drehschwingungssystems

[0044] Fig. 2: den aus dem gemessenen Drehungleichförmigkeitsverlauf berechnete und mit dem Massenträgheitsmoment multipliziierte Beschleunigungsverlauf (gestrichelt) und den daraus berechneten Gesamtmomentenverlauf (durchgezogen) in einem Diagramm und

[0045] Fig. 3: ein Diagramm des Momentenverlaufs eines Zylinders mit Verdichtung, Expansion und oszillierenden Moment (gestrichelt) und durch die Verbrennung erzeugten Moment (durchgezogen).

[0046] Die in **Fig.** 1 dargestellte Verbrennungskraftmaschine umfasst eine Kurbelwelle **1**, mit der Zylinder **2** in Wirkverbindung stehen. Daneben sind auf der Kurbelwelle **1** ein Schwungrad **3** und ein Schwingungsdämpfer **4** angeordnet. Zudem verfügt die Verbrennungskraftmaschine im Ausführungsbeispiel über einen Abnehmer der erzeugten Kraft, einen Schiffspropeller **9**. Die für das Verfahren erforderlichen Daten werden z. B. durch Encoder **5**, eine Leistungsmessanlage **6**, eine Einrichtung zur Messung von Nulldurchgängen und Winkeldurchgängen bzw. eine Schaft-Power-Messanlage **8** erhoben. Zudem kann eine Zylinderdruckmesseinrichtung **10** vorgesehen werden. Die an den unterschiedlichen Stellen ermittelten Daten werden einer Verarbeitungseinheit **11** zugeführt, in der Parameter und ein oder mehrere Kennfelder mit z. B. grundlegenden Daten über die Verbrennungskraftmaschine gespeichert sind.

[0047] Die ermittelten Daten werden dazu genutzt, den Gesamtmomentenverlauf zu berechnen. Dazu kann wie in **Fig.** 2 gezeigt, das Drehmoment über den Kurbelwinkel über die Winkelbeschleunigung gemessen werden. Es zeigt sich, dass der aus dem gemessenen Drehungleichförmigkeitsverlauf berechnete und mit dem Massenträgheitsmoment multipliziierte Beschleunigungsverlauf, in **Fig.** 2 gestrichelt dargestellt, einen anderen Verlauf zeigt als das korrigierte Moment für die „Starre Kurbelwelle", durchgezogen dargestellt, hat. Die Korrektur wird in der Verarbeitungseinheit **11** nach dem beschriebenen Verfahren durchgeführt.

[0048] Im weiteren Ablauf des Verfahrens wird dann der in **Fig.** 2 dargestellte korrigierte Gesamtmomentenverlauf in Flächenteile geteilt und auf die einzelnen Zylinder anteilsmäßig verteilt. Dann werden über das beschriebene Gleichungssystem die Anteile der Zylinderleistungen **Fig.** 3 berechnet.

[0049] Da es sich bei dem vorhergehenden, detailliert beschriebenen Verfahren und der vorhergehenden, detailliert beschriebenen Vorrichtung um Ausführungsbeispiele handelt, können sie in üblicher Weise vom Fachmann in einem weiten Umfang modifiziert werden, ohne den Bereich der Erfindung zu verlassen. Insbesondere können auch die konkreten Ausgestaltungen der Vorrichtung bzw. des Verfahrens in anderer Form als in der hier beschriebenen folgen. Ebenso kann die Vorrichtung bzw. das Verfahren in einer anderen Form ausgestaltet werden, wenn dies aus Platzgründen bzw. designerischen Gründen notwendig ist. Weiter schließt die Verwendung der unbestimmten Artikel „ein" bzw. „eine" nicht aus, dass die betreffenden Merkmale auch mehrfach vorhanden sein können.

Bezugszeichenliste

1 Kurbelwelle
2 Zylinder
3 Schwungrad
4 Schwingungsdämpfer
5 Encoder
6 Leistungsmessanlage
8 Schaft-Power-Messanlage
9 Schiffspropeller
10 Zylinderdruckmesseinrichtung
11 Verarbeitungseinheit

Patentansprüche

1. Verfahren zur Bestimmung der Leistungsverteilung einer Verbrennungskraftmaschine unter Nutzung des Drehungleichförmigkeitsverlaufs der Kurbelwelle (**1**) der Verbrennungskraftmaschine, wobei die Verbrennungsmaschine ein Messelement und eine Verarbeitungseinheit (**11**) aufweist und im Verfahren nach der Feststellung des Drehungleichförmigkeitsverlaufs an der Kurbelwelle mit Hilfe des Messelements und Ermittlung des mittleren Drehmoments eine Berechnung des Gesamtdrehmoments vorgenommen wird, und die relativen oder absoluten Leistungsanteile der Zylinder ermittelt werden, vor dem erstmaligen Ausführen des Verfahrens zur Verbrennungskraftmaschine gehörende Daten wie z. B. Massen, Federkonstanten, Dämpfungen, die Zündfolge der Zylinder (**2**) und andere Verbrennungskraftmaschinen-relevante Daten in einem Kennfeld in der Verarbeitungseinheit (**11**) bereitgestellt werden und sodann permanent mit Hilfe der Daten aus dem Kennfeld nach der Feststellung des Drehungleichförmigkeitsverlaufs an der Kurbelwelle (**2**) eine Umrechnung in einen Beschleunigungsverlauf an der Messstelle erfolgt, wobei der Beschleunigungsverlauf einer Ordnungsanalyse unterzogen wird und eine Berechnung der Wechselanteile des Gesamtdrehmoments auf Basis der Ordnungsanalyse durch die Zündfolge eine Zuordnung der Wechselanteile auf die Zylinder (**2**) erfolgt, **dadurch gekennzeichnet,** dass die prozentualen Leistungsanteile bei einer bestimmten Drehzahl für die Zylinder (**2**) über ein Gleichungssystem ermittelt werden, indem mit Hilfe der Ordnungsanalyse Fourieranordnungen des

Beschleunigungsverlaufes bestimmt werden und sodann eine Berechnung eines Momentenverlaufs erfolgt, welcher über drehzahlabhängige Faktoren in einen Beschleunigungsverlauf für eine ”Starre Kurbelwelle” zurückgerechnet und mit einem Massenträgheitsmoment multipliziert wird, wobei Wechselanteile des Gesamtdrehmomentes errechnet werden, mit welchem in Verbindung mit einem mittleren Drehmoment ein Gesamtdrehmomentenverlauf errechnet wird, aus welchem die Anteile der einzelnen Zylinder am Verlauf des Gesamtdrehmomentes ermitteln werden, indem der Verlauf des Gesamtdrehmomentes sowie der Momentenverlauf in einzelne Flächenabschnitte geteilt wird.

2. Verfahren zur Bestimmung der Leistungsverteilung einer Verbrennungskraftmaschine nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet,** dass die zur Umrechnung in den Beschleunigungsverlauf benötigten Faktoren und Phasenwinkel für die „Starre Kurbelwelle” durch Versuche oder durch Drehschwingungsrechnungen vorher bestimmt oder zur Laufzeit durch Drehschwingungsrechnungen permanent bereitgestellt werden.

3. Verfahren zur Bestimmung der Leistungsverteilung einer Verbrennungskraftmaschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet,** dass das mittlere Drehmoment durch direkte oder indirekte Messungen mit einer Schaft-Power-Messanlage (**8**), einer Leistungsmessanlage (**6**) oder Zylinderdruckmessanlage (**10**) festgestellt wird.

4. Verfahren zur Bestimmung der Leistungsverteilung einer Verbrennungskraftmaschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet,** dass das mittlere Drehmoment durch Bestimmung der Amplitudenhöhen des Beschleunigungsverlaufs oder des Drehmomentenverlaufs des einzelnen Zylinders (**2**) ermittelt wird.

5. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 1 zur Bestimmung der Leistungsverteilung an Verbrennungskraftmaschinen, **dadurch gekennzeichnet,** dass die Verbrennungskraftmaschine an einer geeigneten Position der Kurbelwelle ein Element zur Ermittlung der Drehungleichförmigkeit und eine Verarbeitungseinheit (**11**) aufweist, welche in elektrischer Verbindung zum Element zur Ermittlung der Drehungleichförmigkeit steht, wobei die Verarbeitungseinheit (**11**) die Verfahren nach Anspruch 1 bis 4 ausführt und damit die Leistungsverteilung der Verbrennungskraftmaschine bereitstellt.

6. Vorrichtung zur Bestimmung der Leistungsverteilung an Verbrennungskraftmaschinen nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet,** dass das Element zur Ermittlung der Drehungeichförmigkeit ein Encoder (**5**) an der Kurbelwelle (**1**) oder an der Schaftrolle ist.

7. Vorrichtung zur Bestimmung der Leistungsverteilung an Verbrennungskraftmaschinen nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet,** dass das Element zur Ermittlung der Drehungleichförmigkeit ein Element zur Kennzeichnung eines Nullpunktes und zur Kennzeichnung einer diskreten Zahl von Winkeln einer Winkeleinteilung sowie eine Einrichtung (**7**) zur Messung des Nullpunktdurchganges und aller Winkeldurchgänge aufweist.

Es folgen 3 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

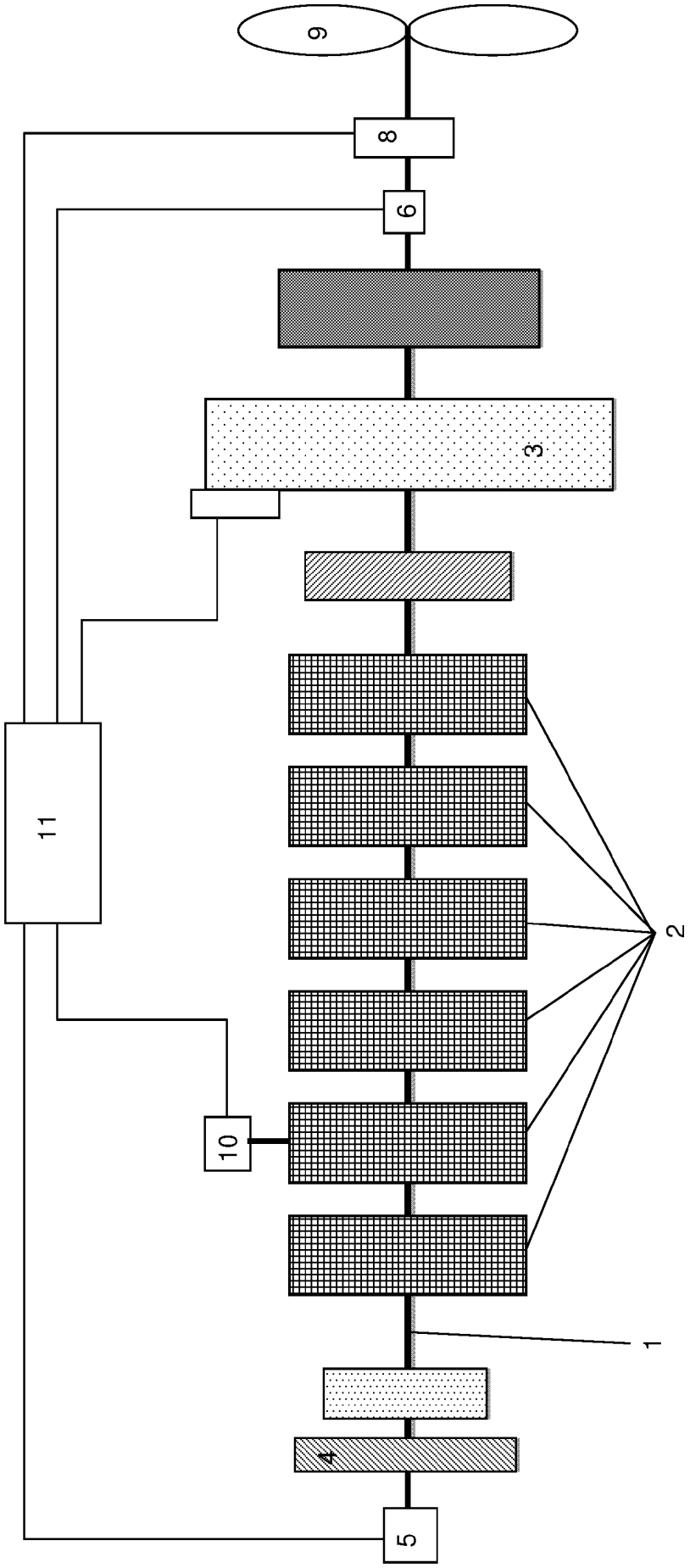


Fig. 1:

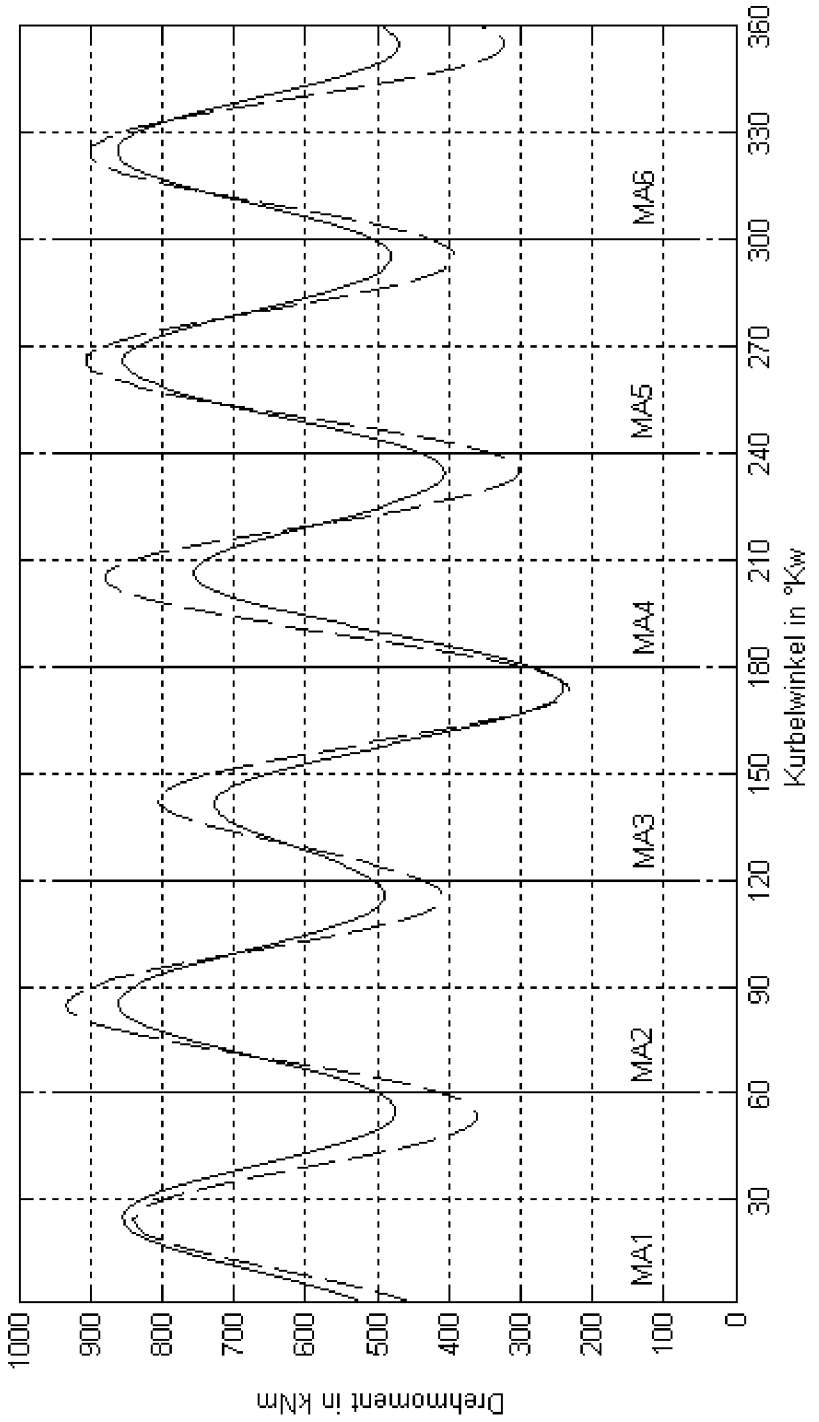

Drehmoment in kNm
1000
900
800
700
600
500
400
300
200
100
0
30
60
90
120
150
180
210
240
270
300
330
360
Kurbelwinkel in °Kw
MA1
MA2
MA3
MA4
MA5
MA6

Fig. 2:

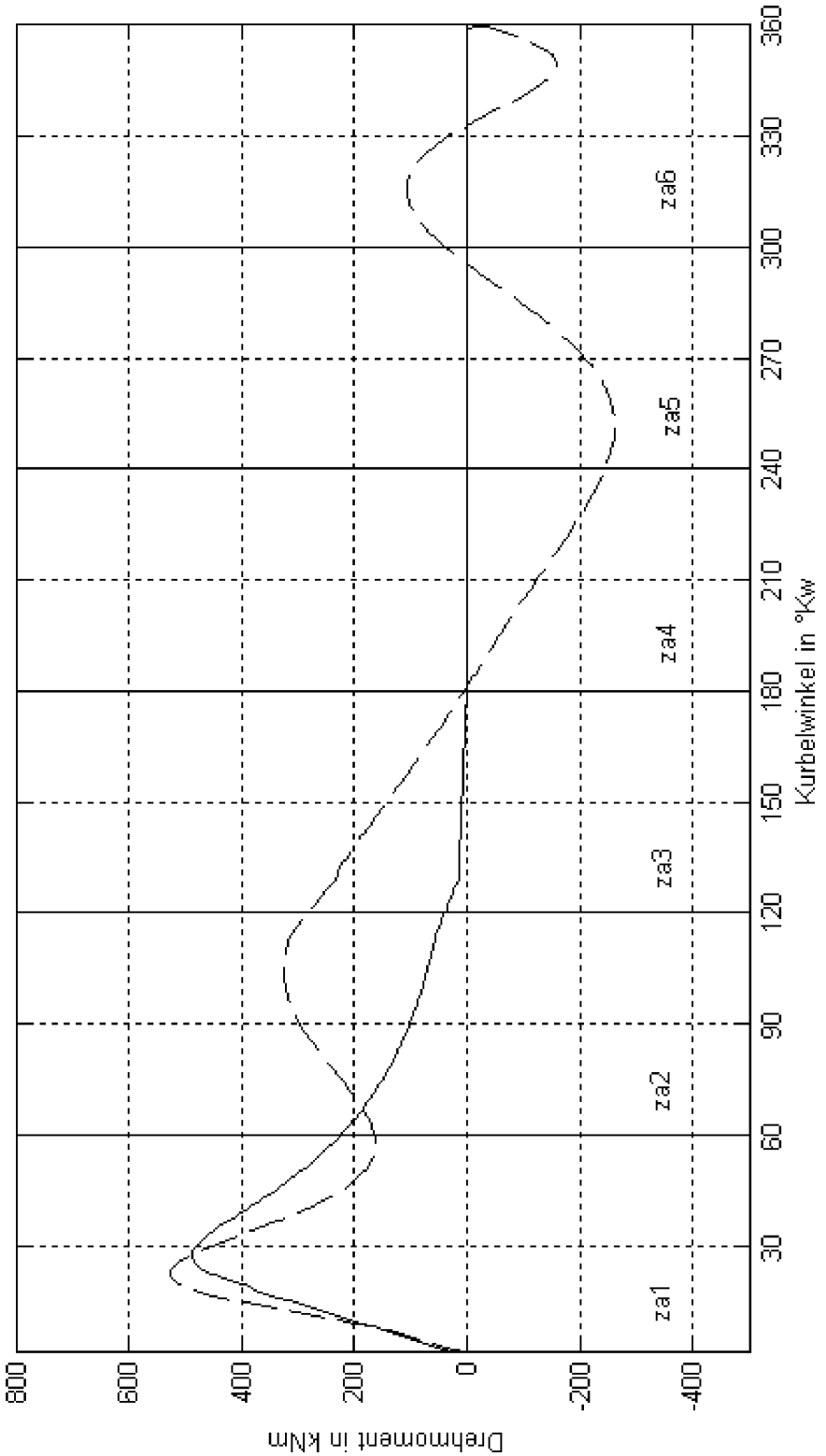

Drehmoment in kNm
800
600
400
200
0
-200
-400
Kurbelwinkel in °Kw
30
60
90
120
150
180
210
240
270
300
330
360
za1
za2
za3
za4
za5
za6

Fig. 3: