(19) Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 199 61 064 B4** 2004.05.06

(12) **Patentschrift**

(21) Aktenzeichen: **199 61 064.9**
(22) Anmeldetag: **17.12.1999**
(43) Offenlegungstag: **30.11.2000**
(45) Veröffentlichungstag der Patenterteilung: **06.05.2004**

(51) Int Cl.[7]: **G01M 15/00**
**F01L 1/46, F02D 45/00, F02B 77/08**

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden.

(30) Unionspriorität:
**213786 17.12.1998 US**

(71) Patentinhaber:
**Cummins Inc., Columbus, Ind., US**

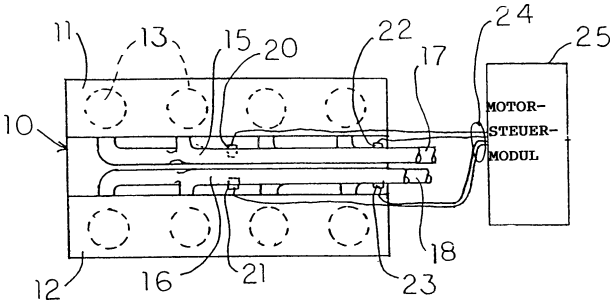
(74) Vertreter:
**WUESTHOFF & WUESTHOFF Patent- und Rechtsanwälte, 81541 München**

(72) Erfinder:
**Lewandowski, Edward J., Scipio, Ind., US; Decker, Scott G., Columbus, Ind., US**

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht gezogene Druckschriften:
**DE-OS 20 515 38**
**US 48 96 101 A**
**EP 06 37 713 A1**
**WO 96/00 943 A1**

(54) Bezeichnung: **Vorrichtung und Verfahren zum Detektieren von Fehlerzuständen für einen Verbrennungsmotor**

(57) Hauptanspruch: Verfahren zum Detektieren eines Fehlerzustandes in einem Verbrennungsmotor, der eine Anzahl von Luftansaugkrümmern zum Zuführen von Luft zu einer entsprechenden Anzahl von Motorzylinderabschnitten und einen Temperatursensor an jedem Krümmer aufweist, wobei das Verfahren die Schritte umfaßt:
– Auslesen des Ausgangswertes des Temperatursensors an jedem Luftansaugkrümmer,
– Erzeugen eines Mittelwertes, der die mittlere Ansaugluft-temperatur aller Luftansaugkrümmer angibt,
– Bestimmen eines Wertes einer Änderungsrate der Ausgabe jedes Temperatursensors für jeden Luftansaugkrümmer relativ zu dem Mittelwert, und
– Identifizieren eines Luftansaugkrümmers, bei dem der Wert der Änderungsrate einen vorbestimmten Grenzwert überschreitet, wodurch die Existenz eines Fehlerzustandes in dem entsprechenden Zylinderabschnitt angegeben wird.



## Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft die Detektion von Fehlerzuständen oder Fehlern eines Verbrennungsmotors. Insbesondere betrifft die Erfindung eine Vorrichtung und ein Verfahren zum Detektieren von Motorfehlern, die ein Ergebnis von Motorventilfehlern und ventilbezogener Fehler sind.

[0002] Ein typischer Verbrennungsmotor verwendet eine Anordnung von Ventilen, um das Ansaugen und Ablassen von Gasen in und aus einem Motorzylinder zu steuern. Bei einer typischen Anordnung sind die Ventile unter Verwendung von Federn in dem Motorblock oder Zylinderkopf befestigt. Die Bewegung – d.h. das Öffnen und Schließen – der Ventile wird typischerweise mittels einer Hebelanordnung gesteuert. Die Hebelanordnung wird von der Kurbelwelle des Motors angetrieben und verwendet eine Anordnung von Nocken, um den zeitlichen Ablauf der Bewegung (des Hubs) der Ventile in jedem Zylinder zu steuern.

[0003] Verbrennungsmotoren umfassen wenigstens ein Ventil pro Zylinder. Bei einem Zylinder mit einem einzelnen Ventil wird das Ventil einmal zum Ansaugen von Luft und ein zweites Mal zum Ablassen von Verbrennungsgasen geöffnet. Bei einem anderen Motortyp sind zwei derartige Ventile vorhanden, eins zum Ansaugen und eins zum Ablassen.

[0004] Den Motorzylindern wird mittels einer Anordnung von Krümmern Luft zugeführt. In **Fig.** 1 ist ein Typ eines Motors gezeigt, der acht Zylinder in einer herkömmlichen V-Anordnung verwendet. Somit umfaßt der Motor **10** eine linke Zylinderbank **11** und eine rechte Zylinderbank **12**. In diesem Fall kann der Motor **10** als in vier Zylinderabschnitte oder Quadranten unterteilt betrachtet werden, wobei jeder Quadrant von einem separaten Ansaugkrümmer versorgt wird. Beispielsweise werden die zwei oberen linken Zylinder in der Figur durch den linken vorderen Luftansaugkrümmer **15** mit Luft versorgt. In vergleichbarer Weise wird der rechte vordere Quadrant des Motors **10** durch den rechten vorderen Luftansaugkrümmer **16**, der linke hintere Quadrant durch den linken hinteren Luftansaugkrümmer **17** und der rechte hintere Quadrant von dem rechten hinteren Luftansaugkrümmer **18** gespeist.

[0005] Wie oben erwähnt, umfaßt jeder Zylinder eine Anordnung von einem oder mehreren Ventilen. Eine typische Ventilanordnung **30** ist in **Fig.** 2 abgebildet. Die Ventilanordnung **30** ist in dem Motorkopf **31** angebracht. Für ein Ansaugventil ist die Ventilanordnung zwischen dem Lufteinlaß **32** und der Motorzylinderkammer **33** angeordnet, um den Luftstrom zu steuern, der von dem Einlaß und dem Krümmer in den Zylinder gezogen wird.

[0006] Die Ventilanordnung umfaßt einen Ventilschaft **35**, der in einem Ventilkopf **36** endet. Der Ventilkopf **36** ist so ausgeführt, daß er gegen einen Ventilsitz **37** abdichtet, der zwischen dem Lufteinlaß **32** und der Zylinderkammer **33** angeordnet ist. Bei ordnungsgemäßem Betrieb wird der Ventilkopf **36** von dem Ventilsitz **37** abgehoben, um Luft in die Zylinderkammer **33** einzuführen, und dichtet dann anschließend gegen den Ventilsitz **37** ab.

[0007] Der Motorkopf **31** trägt eine Ventilführung **39**, durch die sich der Ventilschaft **35** hin- und herbewegt. Eine Anordnung von Federn, nämlich eine äußere Feder **40** und eine innere Feder **41**, stellen dem Ventilschaft **35** eine nach oben gerichtete Kraft zur Verfügung. Bei dieser Ausführungsform ist eine Federscheibe **42** am Ende des Ventilschaftes in Eingriff gebracht, um die Federn **40**, **41** zwischen der Scheibe und der Ventilführung **39** zu fesseln. Die Federn **40** und **41** sind so ausgelegt, daß sie eine geeignete Rückstellkraft bereitstellen, um den Ventilkopf **36**, zu einem geeigneten Zeitpunkt während des Motorzyklus, zurück in dichtenden Eingriff mit dem Ventilsitz **37** zu ziehen.

[0008] Die abwärts gerichtete Bewegung des Ventilschaftes **35** und somit des Ventilkopfes **36** wird von einer Hebelanordnung **45** gesteuert. Ein Stößel **44** an einem Ende der Hebelanordnung drückt letzteren an dem oberen Ende des Ventilschaftes **35** nach unten, um den Ventilkopf **36** von dem Ventilsitz **37** abzuheben. Wenn der Stößel **44** zurückgezogen wird, ziehen die Federn **40** und **41** den Ventilkopf wieder in Eingriff mit dem Sitz **37**.

[0009] Wie jede mechanische Vorrichtung ist die Ventilanordnung **30** in der rauhen Umgebung des Motors für Fehler anfällig. Fehler der Ventilanordnung reichen von untergeordneten bis hin zu schwerwiegenden Fehlern. Untergeordnete Probleme können mit einer Leckage aufgrund eines schlechten Sitzes des Ventilkopfes **36** in dem Ventilsitz **37** beginnen. Dieser schlechte Sitz kann aus einer Verformung des Ventils, des Ventilsitzes oder der Ventilführung resultieren. Aus einem Anstieg der Ventilleckage können schwerwiegende Probleme resultieren, die ein Überhitzen des Ventils und schließlich ein komplettes Versagen umfassen. Andere Fehlerzustände der Ventilanordnung umfassen das Verbrennen und/oder den Bruch des Ventilschaftes oder des Ventilsitzes. Zusätzlich können die Ventilfedern aufgrund von Materialermüdung versagen.

[0010] Fehler einer Ventilanordnung, beispielsweise der Ventilanordnung **30**, sind schwer zu detektieren. Nicht-detektierte ventilbezogene Fehler können sich rapide fortsetzen und schnell zu einer schwerwiegenden Beschädigung des Motors führen. In Abhängigkeit der Art des Fehlers kann sich innerhalb von weniger als fünf Minuten eine schwerwiegende Beschädigung eines Motors ergeben. In einigen Fällen können Kolben, Zylinderlaufbuchsen und Zylinderköpfe sowie Kraftstoffinjektoren und Verbindungsstangen aufgrund der Auswirkungen einer fehlerhaften Ventilanordnung irreparabel beschädigt werden. Natürlich führen Fehler dieses Ausmaßes zu erheblichen Ausfallzeiten des Motors. Bei vielen Anwendungen, beispielsweise bei einem Betrieb im Bergbau, soll ein Motor 24 Stunden am Tag und 7 Tage in der Woche laufen. Bei diesen Anwendungen führt jede Ausfall-

zeit zu zusätzlichen folgenschweren finanziellen Belastungen des Fahrzeugbesitzers/-betreibers.

[0011] Moderne Motoren umfassen ein Motorsteuersystem, das mehrere Motorbetriebszustände kontinuierlich überwacht, beispielsweise Motordrehzahl, Öldruck und -temperatur, Kühlmitteldruck und -temperatur, etc. Für einige Motorprobleme wird durch die Überwachung dieser Zustände ein rechtzeitiger Warnhinweis für den Fahrzeugbetreiber bereitgestellt, bevor diese Probleme schwerwiegender werden. Für ventilbezogene Fehler jedoch, stellt diese normalerweise durchgeführte Überwachung der Motorbetriebszustände keinen angemessen Warnhinweis bereit, bevor schwerwiegende und sogar katastrophale Motorfehler auftreten. Daher besteht ein Bedarf nach einer Vorrichtung und einem Verfahren, das exakt und rechtzeitig einen ventilbezogenen Fehler detektieren und den Fahrzeugbetreiber innerhalb eines hinreichenden Zeitraumes informieren können, um eine wesentlich schwerwiegendere Beschädigung des Motors zu vermeiden.

[0012] Aus der deutschen Offenlegungsschrift DE-OS 2 051 538 ist eine Einrichtung zum Überwachen der Abgastemperaturen einer Brennkraftmaschine bekannt, bei der im Abgasstrom jedes Verbrennungsraumes ein temperaturempfindlicher elektrischer Messfühler angeordnet ist. Jeder Messfühler ist mit dem ersten Eingang einer Vergleichseinrichtung und einem Eingang einer einen Mittelwert bildenden Vorrichtung verbunden, deren Ausgang an die zweiten Eingänge der Vergleichseinrichtungen geführt ist. Auf diese Weise soll mit nur einem Messfühler pro Verbrennungsraum ohne Verringerung der Genauigkeit ein Vergleich der Abgastemperatur jedes Verbrennungsraumes mit dem bei Laständerungen sich ändernden Mittelwert aller Verbrennungsräume erreicht werden.

[0013] Aus der WO 96/00943 A1 sind eine Vorrichtung und ein Verfahren zum Überwachen von Motorkomponenten bekannt, um eine Bauteilabnutzung oder ein Bauteilversagen vorherzusagen. Hierzu sind geteilte Abgaskrümmer einer Brennkraftmaschine je mit einem Sensor versehen, der die Abgastemperatur angebende Signale erzeugt. Ein Überwachungsgerät erhält die Temperatursignale und ermittelt periodisch einen Unterschied zwischen den Temperaturen und mittelt die Werte über eine vorgegebene Zeitdauer, um einen Trend zu bestimmen.

[0014] Die EP 0 637 713 A1 beschreibt ein Diagnose-System für Regel- und Absperrventile, welches den Prozessor eines intelligenten Stellungsreglers als digitalen Signalprozessor benutzt, der an Sensoren zur Erfassung und Speicherung von Betriebsgrößen und Kennlinien des Ventils und zur Erfassung und Speicherung von Körperschallspektren an dem Ventil angeschlossen ist. Ferner ist eine Einrichtung zur Überwachung der Dichtheit einer Stopfbuchse des Ventils vorhanden. Bei einer Abweichung der gemessenen Werte von zuvor bei einwandfreiem Betrieb des Ventils aufgenommenen Vergleichs-Messwerten gibt das System ein Alarmsignal aus.

[0015] Aus der US 4 896 101 A ist ein Verfahren zum Überwachen und Bewerten der Leistung elektromechanischer oder pneumatischer Ventile bekannt. Das Verfahren ermittelt unter anderem die Leistungsaufnahme eines Ventilantriebsmotors (so vorhanden), die Lautstärke mechanischer Geräusche bei der Ventilbetätigung, Strömungsgeräusche stromabwärts des Ventils bevor und nachdem das Ventil geschlossen wird, sowie die Temperatur des elektrischen Antriebsmotors und meldet die ermittelten Werte einer Auswerteeinheit, die die gemessenen Werte in Diagrammform anzeigt und so einen Trend angibt.

## Aufgabenstellung

[0016] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Vorrichtung und ein Verfahren bereitzustellen, die genau und schnell einen Fehler identifizieren können, bevor schwerwiegendere Konsequenzen auftreten. Insbesondere soll die Erfindung eine Detektion von Motorfehlern erlauben, die von ventilbezogenen Fehlern verursacht werden. Vorzugsweise sollen hierzu vorhandene Motorzustandssensoren oder bereits erfaßte Motorbetriebszustände verwendet werden.

[0017] Die vorliegende Erfindung betrifft eine Vorrichtung und ein Verfahren zum Detektieren eines Fehlerzustandes in einem Verbrennungsmotor und insbesondere zum Detektieren eines ventilbezogenen Fehlers. Das erfindungsgemäße Verfahren nutzt die Ansauglufttemperaturen an jedem einer Vielzahl von Zylinderabschnitten des Motors. Ein Mittelwert der Vielzahl von Ansauglufttemperaturen wird zu diskreten Zeitinkrementen mit jeder der einzelnen Temperaturen verglichen. Die Änderungsrate jeder Ansauglufttemperatur relativ zu dem Temperaturmittelwert wird beurteilt, um festzustellen, ob ein Fehlerzustand aufgetreten ist.

[0018] Erfindungsgemäß ist in bzw. an jedem Ansaugkrümmer ein Temperatursensor angeordnet. Die Ausgabe jedes Sensors wird einem Motorsteuermodul zugeführt, das eine Folge von Schritten ausführt, um die Temperaturinformationen zu evaluieren. Bei einer Ausführungsform umfaßt das Motorsteuermodul einen Mikroprozessor, der eine Folge von Softwarebefehlen ausführt. Bei dieser Ausführungsform werden Temperaturwerte an jedem Ansaugkrümmer, der einem Zylinderabschnitt entspricht, erfaßt, wobei ein Mittelwert erzeugt wird. Jeder Ansauglufttemperaturwert wird dann mit dem Mittelwert verglichen, um einen Differenzwert für jedes Zeitinkrement des Betriebs der Routine zu erzeugen.

[0019] Diese Differenzwerte für jeden Zylinderabschnitt werden analysiert, um die Rate der Änderung der Werte über der Zeit zu bestimmen. Wenn die Änderungsrate für einen bestimmten Zylinderabschnitt einen vorbestimmten Grenzwert überschreitet, wird dieser Zylinderabschnitt als fehlerhaft markiert.

[0020] Gemäß einem weiteren Merkmal der Vorrichtung und des Verfahrens werden die Temperaturdifferenzinformationen für einen betroffenen Zylinderabschnitt evaluiert, um festzustellen, ob der Fehler wahrscheinlich auf einen ventilbezogenen Fehler zurückzuführen ist. Bei einer Ausführungsform wird eine Vielzahl von Temperaturdifferenzwerten über mehrere Zeitinkremente differenziert. Die resultierende Vielzahl von differenzierten Werten wird über die Zeitperiode integriert oder summiert, wobei das Ergebnis mit einem Grenzwert verglichen wird, der einen ventilbezogenen Fehler angibt. Wenn das Ergebnis dieser Integration den Grenzwert überschreitet, wird der betroffene Zylinder zusätzlich als einen ventilbezogenen Fehler aufweisend markiert.

[0021] Wenn das Integrationsergebnis den Grenzwert nicht überschreitet, wird daraus geschlossen, daß kein ventilbezogener Fehler aufgetreten ist.

[0022] Ein Vorteil der Erfindung besteht darin, daß eine Fehleranzeige erzeugt werden kann, bevor eine schwerwiegende Beschädigung des Motors auftreten kann. Ein weiterer Vorteil besteht darin, daß die Vorrichtung und das Verfahren zwischen Fehlern unterscheiden können, die mit den Motorventilen zusammenhängen und solchen, die in keinem Zusammenhang mit denselben stehen.

## Ausführungsbeispiel

[0023] Ein anderer Vorteil der vorliegenden Erfindung besteht darin, daß sie den von dem ventilbezogenen Fehler betroffenen Zylinderabschnitt oder Motorquadranten angibt, um den Motorreparaturvorgang zu erleichtern. Andere Aufgaben und Vorteile der Erfindung werden unter Berücksichtigung der folgenden Beschreibung und der beigefügten Figuren deutlich. Es zeigen:

[0024] **Fig.** 1 eine schematische Draufsicht eines Verbrennungsmotors zur Verwendung mit der erfindungsgemäßen Vorrichtung und dem erfindungsgemäßen Verfahren;

[0025] **Fig.** 2 eine vergrößerte Teilschnittansicht einer Ventilanordnung, die typischerweise mit dem in **Fig.** 1 gezeigten Motor verwendet wird;

[0026] **Fig.** 3 eine graphische Darstellung von Ansaugkrümmertemperaturen über der Zeit vor, während und nach einem Ventilfederfehler;

[0027] **Fig.** 4 eine graphische Darstellung des Kurbelwellengehäusedrucks für den gleichen Motor, der den in **Fig.** 3 graphisch wiedergegebenen Ventilfederfehler aufweist;

[0028] **Fig.** 5 eine graphische Darstellung von Ansauglufttemperaturen über der Zeit für einen anderen Motor, der einen Ventilsitzfehler aufweist;

[0029] **Fig.** 6 ein Flußdiagramm von Schritten, die von einem Motorsteuermodul gemäß einem erfindungsgemäßen Verfahren ausgeführt werden;

[0030] **Fig.** 7 ein Flußdiagramm einer Subroutine, auf die durch Schritte des in dem Flußdiagramm der **Fig.** 6 abgebildeten Verfahrens zugegriffen wird;

[0031] **Fig.** 8 ein Flußdiagramm einer alternativen Subroutine, auf die durch Schritte des in dem Flußdiagramm der **Fig.** 6 abgebildeten Verfahrens zugegriffen wird;

[0032] **Fig.** 9a und 9b graphische Darstellungen der Ansauglufttemperatur über der Zeit für zwei ventilbezogene Fehlerzustände;

[0033] **Fig.** 10a–10c graphische Darstellungen der Ansauglufttemperatur über der Zeit, wenn kein ventilbezogener Fehler existiert;

[0034] **Fig.** 11 ein Flußdiagramm von Schritten für ein Verfahren zum Unterscheiden zwischen ventilbezogenen und nicht-ventilbezogenen Fehlern.

[0035] Die vorliegende Erfindung stellt eine Vorrichtung und ein Verfahren bereit, um ventilbezogene Fehler zu detektieren und ein Alarmsignal an den Fahrzeugbetreiber auszugeben. Bei den bevorzugten Ausführungsformen bewertet die Erfindung die Ansauglufttemperatur, detektiert Anomalitäten in dieser Temperatur und bewertet diese Anomalitäten, um zu bestimmen, ob sie mit einem Ventilfehler zusammenhängen.

[0036] Bezugnehmend auf **Fig.** 1 umfaßt der Motor **10**, der zuvor beschrieben wurde, eine Anzahl von Ansauglufttemperatursensoren **20**–**23**, einen für jeden Luftansaugkrümmer. Insbesondere ist ein Sensor **20** für den linken vorderen Krümmer **15** bereitgestellt, ein Sensor **21** in dem rechten vorderen Krümmer **16** angeordnet, ein Sensor **22** dem linken hinteren Krümmer **17** zugeordnet und der rechte rückwärtige Krümmer **18** hat einen Sensor **23**. Die Temperatursensoren können verschiedene bekannte Konfigurationen aufweisen, die dafür geeignet sind, die Temperatur der Luft, die sich durch jeden der Krümmer bewegt, genau und schnell zu erfassen, wie z.B. thermoelektrische Sensoren oder Thermistoren.

[0037] Signale von den Sensoren werden über Signalleitungen **24** zu einem Motorsteuermodul **25** geführt. Das Motorsteuermodul **25** kann in herkömmlicher Weise ausgeführt sein, nämlich daß es Eingangssignale von einer Vielzahl von Motorzustandssensoren erhält und Ausgangssignale für verschiedene Motorkomponenten erzeugt, um den Betrieb und die Leistung des Motors zu steuern. Im Sinne der Erfindung kann das Motorsteuermodul Einrichtungen zum Ausführen von Software umfassen, die die über die Signalleitungen **24** erhaltenen Sensorausgangswerte lesen und evaluieren. Vorzugsweise umfaßt das Motorsteuermodul **25** einen Mikroprozessor, der programmiert ist, eine Folge von Softwarebefehlen auszuführen.

[0038] Die vorliegende Ausführungsform betrifft einen Motor, beispielsweise den Motor **10**, der in Zylinderabschnitte oder Quadranten unterteilt werden kann. Jedem Quadranten wird durch seinen eigenen Ansaugkrümmer, beispielsweise den Ansaugkrümmern **15**–**18**, Luft zugeführt. Demzufolge stellen die entsprechenden Ansauglufttemperatursensoren **20**–**23** Ausgangssignalwerte in bezug zur Temperatur der Luft bereit, die in das Zylinderpaar in jedem Qua-

dranten gezogen wird.

[0039] Mit der vorliegenden Erfindung ist es möglich, den Quadranten der Zylinder zu identifizieren, der ein defektes oder ausgefallenes Ventil aufweist. Umfaßt jeder Quadrant mehr als einen Zylinder, ist es nicht möglich, exakt zu differenzieren, welcher der Zylinder das fehlerhafte Ventil aufweist. Nichtsdestotrotz ermöglicht es die vorliegende Erfindung, zumindest die Quelle des Problems auf einen der Motorquadranten zu begrenzen. Wenn jeder Quadrant nur einen Zylinder aufweist, kann das Problem natürlich schnell einem einzelnen Zylinder zugewiesen werden. Andererseits wird eine Inspektion während eines Wartungsvorgangs die fehlerhafte Ventilanordnung schnell entdecken, wenn jeder Quadrant zwei oder mehr Zylinder aufweist.

[0040] Bei dem Motor **10** der vorliegenden Ausführungsform werden dem Steuermodul **25** vier Temperatursignale zugeführt. Wie in **Fig.** 3 dargestellt, sind die vier Temperatursignale $T_{LF}$, $T_{LR}$, $T_{RF}$ und $T_{RR}$. Diese Temperaturen entsprechen den Ausgabewerten des linken vorderen Sensors **20**, des linken hinteren Sensors **22**, des rechten vorderen Sensors **21** bzw. des rechten hinteren Sensors **23**. Die graphische Darstellung in **Fig.** 3 veranschaulicht die Auswirkung auf die Ansauglufttemperatur für einen Motorquadranten, der einen Ventilfederfehler aufweist. Wie die graphische Darstellung zeigt, bleibt die Temperatur jedes Sensors und folglich die Lufttemperatur in den Ansaugkrümmern jedes Quadranten relativ gleichförmig und konstant für den Zeitraum eines normalen Motorbetriebs.

[0041] Bei Auftreten eines Ventilfederfehlers jedoch steigt die Temperatur der Ansaugluft des entsprechenden Quadranten, in diesem Fall des linken hinteren Quadranten, stark an. Wie aus dem steilen Anstieg der Temperatur der Ansaugluft zu dem linken hinteren Quadranten ersichtlich ist, kann ein katastrophaler Motorfehler ziemlich schnell nach einem ventilbezogenen Fehler auftreten. Folglich sind eine schnelle Detektion und ein schnelles Eingreifen wichtig. Die vorliegende Erfindung stellt eine Vorrichtung und ein Verfahren bereit, die innerhalb eines kurzen Zeitraums nach dem Fehler denselben detektieren und ein Alarmsignal erzeugen können. In einigen speziellen Fällen wird der Fehleralarm innerhalb von 10 Sekunden nach dem ventilbezogenen Fehler erzeugt.

[0042] Andere Motorzustandswerte reflektieren den ventilbezogenen Fehler nicht rechtzeitig. In **Fig.** 4 ist beispielsweise eine graphische Darstellung des Kurbelwellengehäusedrucks über der Zeit abgebildet. Der Kurbelwellengehäusedruck bleibt für einen geraumen Zeitraum nach dem Auftreten des Ventilfehlers stabil. In diesem speziellen Fall tritt keine bedeutsame Störung des Kurbelwellengehäusedrucks auf, bis mehr als 100 Sekunden nach dem Fehler vergangen sind. Insbesondere zeigt der Kurbelwellengehäusedruck keine bedeutsame Reaktion, bis mehr als 200 Sekunden oder über drei Minuten nach dem Fehler vergangen sind. In einigen Fällen wurd der betroffene Zylinder in dem Zeitraum, in dem der Kurbelwellengehäusedruck dramatisch angestiegen ist, stark beschädigt.

[0043] Ein anderer Ventilfehlerzustand ist in **Fig.** 5 graphisch dargestellt. Wiederum ist die Ansaugluft-temperatur für jeden der Zylinderabschnitte oder Quadranten über der Zeit aufgetragen. In diesem Fall ist ein Ventilsitzfehler aufgetreten und wurde nachfolgend weniger als 50 Sekunden später von der Vorrichtung und dem Verfahren der vorliegenden Erfindung detektiert. In diesem Fall stieg die Ansaugtemperatur des betroffenen Zylinders nicht so dramatisch an wie bei dem Ventilfederfehler in der graphischen Darstellung von **Fig.** 3. Nichtsdestotrotz stieg die Ansaugtemperatur in uncharakteristischer Weise an, fiel leicht ab und stieg dann vor einem Temperaturanstieg mit geringerer Steigung rasch an. Obwohl die in **Fig.** 4 abgebildete Temperaturveränderung nicht so stark wie in **Fig.** 3 ist, können die Auswirkungen dieses ventilbezogenen Fehlers für den Motor schwerwiegend sein. In diesem Fall macht der schwächere Temperaturanstieg den Detektionsprozeß ein wenig schwieriger und langwieriger.

[0044] Erfindungsgemäß arbeitet die die Temperatursensoren **20**–**23** und das Motorsteuermodul **25** umfassende Vorrichtung gemäß einer Anzahl von Schritten, die in dem Flußdiagramm der **Fig.** 6 gezeigt sind. Es versteht sich, daß bei der bevorzugten Ausführungsform diese Schritte als "Hintergrund"-Routine ablaufen, was bedeutet, daß die Folge der Schritte in vorbestimmten Zeitintervallen wiederholt wird, während andere motorbezogene Routinen ablaufen. Bei der Geschwindigkeit moderner Mikroprozessoren kann diese Hintergrundroutine beispielsweise in Intervallen von 100 Millisekunden ablaufen, ohne andere wichtige Funktionen des Motorsteuermoduls zu stören.

[0045] Sobald die Routine bei Schritt 50 beginnt, wird bei der bevorzugten Ausführungsform in einem Schritt 52 der Wert $T_i$ für alle Ansaugsensoren ausgelesen, wobei der Wert "i" der Nummer des Zylinderabschnittes entspricht. Bei der dargestellten Ausführungsform liegen vier Gruppen von Zylinderabschnitten oder Quadranten vor, so daß vier derartige Werte $T_1$, $T_2$, $T_3$ und $T_4$ von dem Motorsteuermodul **25** ausgelesen und verarbeitet werden. Natürlich umfaßt das Modul **25** geeignete Hardware und/oder Software, um die von den Temperatursensoren **20**–**23** erzeugten Signale in ein verwendbares Format umzuwandeln.

[0046] Im nächsten Schritt 54 wird ein Mittelwert der Ansauglufttemperatur berechnet. Dieser Mittelwert wird als $\overline{T}$ bezeichnet. Dieser Mittelwert der Ansauglufttemperatur kann auf verschiedenen Wegen erhalten werden. Natürlich kann ein arithmetischer Mittelwert berechnet werden, bei dem jeder der Temperaturwerte $T_i$ summiert und durch die Anzahl der Zylinderabschnitte dividiert wird. Alternativ können die höchsten und niedrigsten Temperaturwerte wegge-

lassen und die verbleibenden Temperaturen gemittelt werden, um die mittlere Ansauglufttemperatur $\overline{T}$ zu berechnen. Bei einer weiteren Alternative werden die höchsten und niedrigsten Temperaturwerte modifiziert oder proportional zugeordnet, bevor sie in den Mittelwertbildungsprozeß eingebracht werden. Bei diesen zwei letzteren Ansätzen wird der Einfluß von Temperaturextremwerten auf den Temperaturnormalwert minimiert. Andere Ansätze zum Berechnen des Wertes $\overline{T}$ können verwendet werden, vorausgesetzt das Ergebnis ist ein Wert, der einen Normalwert für die Ansaugtemperaturen aller Quadranten repräsentiert.

[0047] Sobald die mittlere Ansauglufttemperatur $\overline{T}$ berechnet ist, wird dieser Wert mit allen Ansauglufttemperaturen $T_i$ im Schritt 56 verglichen. Das Ergebnis dieses Schrittes kann ein neuer Wert $\Delta_i$ sein, der dem Unterschied zwischen der Temperatur des bestimmten Quadranten und dem Mittelwert oder der Normaltemperatur aller Quadranten entspricht.

[0048] Wird dieser Ansatz verwendet, können die Quadranten, deren Temperatur relativ zu den anderen Quadranten stark variiert, einfach identifiziert werden. Momentan auftretende Änderungen oder Änderungen kurzer Dauer in Ansauglufttemperaturen eines Quadranten geben jedoch nicht notwendigerweise einen ventilbezogenen Fehler an. Daher wird in Schritt 58 die Änderungsrate des Wertes $\Delta_i$ für jeden der Motorquadranten bestimmt. Dieser Wert der Änderungsrate wird mit $R_i$ bezeichnet. Da eine Rate der Änderung der Temperaturdifferenz berechnet wird, müssen Temperaturwerte zu mehreren diskreten Zeitpunkten gesammelt werden. Daher ist es vorgesehen, daß ein Array der Werte $T_i$, $\overline{T}$, $\Delta_i$ und $R_i$ in einem Speicher in dem Motorsteuermodul aufrechterhalten wird, wobei neue Werte zu vorbestimmten Zeitintervallen gespeichert werden. Subroutinen zum Ausführen dieser Berechnung der Werte $R_i$ sind in den Flußdiagrammen der **Fig.** 7 und 8 abgebildet und werden im folgenden detaillierter beschrieben.

[0049] Der Wert $R_i$ der Änderungsrate für jeden Motorquadranten wird verwendet, um zu bestimmen, ob ein ventilbezogener Fehler in dem Zylinderabschnitt aufgetreten ist. Daher wird in Schritt 60 der Wert $R_i$ der Änderungsrate für jeden Zylinder mit einem Grenzwert $R_{LIM}$ verglichen. Die Größe des Grenzswertes $R_{LIM}$ ist vorbestimmt und wird vorzugsweise in dem Speicher des Motorsteuermoduls **25** gespeichert. Dieser Wert kann für den speziellen Motor empirisch ermittelt werden. Gemäß diesem Merkmal der Erfindung werden die Werte $R_i$ der Änderungsrate, die den Grenzwert nicht überschreiten, als nicht fehlerhaft beurteilt. In diesem Fall können andere Motorsensoren andere Motorprobleme aufdecken, wenn sie mittels anderer Motorfehlerdetektionsroutinen in dem Motorsteuermodul überwacht werden.

[0050] Wenn der Wert der Änderungsrate für einen speziellen Quadranten den Grenzwert $R_{LIM}$ überschreitet, wird im Schritt 62 dieser Zylinderabschnitt oder Quadrant als einen Fehler aufweisend markiert. Der Programmablauf wird dann bei Schritt 64 und den nachfolgenden, von dem Motorsteuermodul **25** implementierten Schritten fortgesetzt. Bei der bevorzugten Ausführungsform kann in dem Speicher eine Zylinderabschnittstabelle abgelegt sein. Diese Tabelle kann Angaben zu dem "Gesundheitszustand" der Zylinderabschnitte enthalten, wobei eine Fehlermarke für jeden Quadranten gesetzt wird, der den Test in Schritt 62 nicht erfolgreich absolviert.

[0051] Bezugnehmend auf **Fig.** 7 und 8 werden zwei Ansätze offenbart, um den Wert $R_i$ der Änderungsrate zu bestimmen. Bei der ersten Ausführungsform von **Fig.** 7 beginnt eine Subroutine bei Schritt 70, sobald die Hauptroutine Schritt 58 erreicht. Im Schritt 72 der Subroutine wird für den Zylinderabschnitt oder Quadranten ein Wert für $\Delta_i$ zu einem Zeitpunkt T berechnet. Im nächsten Schritt 74 wird ein vergleichbarer Differenzwert für einen Zeitpunkt (T + a) berechnet, wobei "a" einem vorbestimmten Zeitintervall entspricht. Wie zuvor erläutert, können die Schritte der in **Fig.** 6 gezeigten Hauptroutine von dem Motorsteuermodul zu vorbestimmten Zeitintervallen ausgeführt werden, beispielsweise alle 10 Millisekunden. So kann der jüngste Wert für $\Delta_i$ zu dem Zeitpunkt (T + a) erzeugt und bei jedem Zyklus während der Schritte 50–64 gespeichert werden.

[0052] Gemäß dieser Ausführungsform werden nur zwei $\Delta_i$-Werte verglichen, um den Wert $R_i$ der Änderungsrate zu erhalten. Natürlich werden die gleichen Verfahrensschritte 72–76 für jeden Zylinderabschnitt oder Motorquadranten, oder insbesondere für jeden Temperaturwert $T_i$ ausgeführt, um die Werte $R_i$ zu erhalten. Die Subroutine wird bei Schritt 78 zu dem nächsten Schritt in der Hauptfolge fortgeführt, nämlich Schritt 60. Bei dieser Ausführungsform lösen starke oder im wesentlichen momentane Änderungen des Temperaturdifferenzwertes für einen Quadranten eine Fehlermarke aus. Eine derartige Änderungsrate ist in den graphischen Darstellungen der **Fig.** 3 und 5 zu sehen. Die Temperaturgraphik von **Fig.** 3 zeigt eine derartige schnelle Änderungsrate, die voraussichtlich in zwei Zyklen der Routine gemäß **Fig.** 6 detektiert würden. In **Fig.** 5 ist eine schnelle Rate zu Beginn des Ventilfehlers und zu der späteren Störung des Temperatursignals aufgetreten.

[0053] Bei einer alternativen Ausführungsform beginnt die Subroutine bei Schritt 70 und geht zu Schritt 73 über, wo ein Array von $\Delta_i$-Werten für eine Anzahl von Zeitpunkten t berechnet wird. In Schritt 75 wird dieses Array von $\Delta_i$-Werten über mehrere vorbestimmte Zeitintervalle "a" für eine spezielle Zeitperiode integriert. Bei einer speziellen Ausführungsform kann dieses Zeitintervall 1,0 Sekunden betragen, so daß, wenn die Hauptroutine von **Fig.** 6 alle 100 Millisekunden ausgeführt wird, zehn derartige Werte für $\Delta_i$ zur Integration zur Verfügung stehen.

[0054] Das Ergebnis dieser Integration entspricht dann dem Wert $R_i$ der Änderungsrate. Erneut wird die Subroutine bei Schritt 78 zu Schritt 60 der Hauptroutire fortgeführt, in der der neu erzeugte Wert $R_i$ mit

dem Grenzwert verglichen wird.

[0055] Es versteht sich, daß der Grenzwert $R_{LIM}$ angepaßt werden muß, um den relativen Zeitperioden Rechnung zu tragen, über die die zwei Subroutinen der **Fig.** 7 und 8 ausgeführt werden. Beispielsweise verwendet die Subroutine von **Fig.** 7 eine kurze Zeitperiode oder eine niedrige Anzahl von Routinenzyklen, über die die Änderung in den Differenzwerten bewertet wird. Da der Wert $R_i$ der Änderungsrate unter Verwendung von Daten von lediglich zwei aufeinanderfolgenden Zyklen bestimmt wird, ist die Größe dieses Wertes notwendigerweise kleiner, als wenn Daten über einen längeren Zeitraum gesammelt werden. Auf der anderen Seite tritt die Subroutine von **Fig.** 8 über einen längeren Zeitraum oder eine größere Anzahl von Zyklen der Hauptroutine auf. Es wird angenommen, daß die Werte der Änderungsrate, die von dieser Subroutine erzeugt werden, größer als die gleichen Werte für die Subroutine von **Fig.** 7 sind. Die geeignete Größe des $R_{LIM}$ muß basierend auf der Art der Subroutine zum Berechnen der $R_i$-Werte eingestellt werden.

[0056] Bei der bevorzugten Ausführungsform umfaßt der Motor **10** vier Zylinderabschnitte oder Quadranten, wobei jeder Quadrant zwei Zylinder umfaßt. Bei der bevorzugten Ausführungsform werden auch vier Ansauglufttemperatursensoren **20**–**23** verwendet. Bei einer Anwandlung der vorliegenden Erfindung wird ein Motor mit einem einzelnen Ansauglufttemperatursensor konfiguriert, um das erfindungsgemäße Verfahren zu implementieren. In diesem Fall umfaßt das Motorsteuermodul **25** Software, die basierend auf Ausgabewerten von anderen Motorzustandssensoren ein Echtzeit-Modell der Ansauglufttemperatur erzeugt. Beispielsweise kann das Ansauglufttemperaturmodell Motordrehzahlwerte, die Umgebungstemperatur und/oder den Ladedruck verwenden, um eine idealisierte Ansauglufttemperatur abzuschätzen.

[0057] Sobald dieser Wert vorliegt, wird er für die gemittelte Ansauglufttemperatur $\overline{T}$ substituiert, die in Schritt 54 des in dem Flußdiagramm der **Fig.** 6 dargestellten Verfahrens berechnet wird. Dieser Referenztemperaturwert wird dann in allen verbleibenden Schritten der Routine verwendet. Beispielsweise wird in Schritt 56 ein Vergleich der tatsächlichen Ansauglufttemperatur mit der Referenztemperatur durchgeführt, die unter Verwendung des Echtzeit-Modells berechnet wurde. Bei dieser modifizierten Ausführungsform werden nur ein einzelner Temperaturdifferenzwert, Δ, und ein einzelner Wert, R, der Änderungsrate berechnet.

[0058] In vergleichbarer Weise müssen die in **Fig.** 7 und 8 gezeigten Subroutinen entsprechend dem einzelnen Ansauglufttemperatursensor für den Motor nur einmal ausgeführt werden. In diesem Fall detektieren die Vorrichtung und das Verfahren der Erfindung lediglich die Existenz eines ventilbezogenen Fehlers, sofern der Motor nicht nur einen Zylinder aufweist. Wenn ein einzelner Ansauglufttemperatursensor für einen Motor mit mehreren Zylindern verwendet wird, kann die vorliegende Vorrichtung den betroffenen Zylinder nicht in der gleichen Weise wie für den Motor **10** der vorherigen Ausführungsform isolieren.

[0059] Wenn bestimmt wurde, daß die Änderungsrate der Differenz einer Temperatur $T_i$ relativ zu der mittleren Temperatur $\overline{T}$ den Grenzwert $R_{LIM}$ überschritten hat, wurde die Existenz einer Anomalie, wahrscheinlich einem Fehler, festgestellt. Typischerweise kann nur ein bestimmter Anteil der detektierten Fehler dem Ventileinrichtung zugeordnet werden. Wenn ein bestimmter Quadrant oder Zylinderabschnitt als einen Fehler aufweisend markiert wurde, wird der Fehlersuchprozeß wahrscheinlich in der Lage sein, die Quelle des Fehlers zu bestimmen. Es ist jedoch möglich, daß die von der Folge der Schritte gemäß **Fig.** 6 detektierten Fehler nicht einer speziellen Ventileinrichtung zugeordnet werden können. In diesem Fall wird der Fehlersuchprozeß mehr die Form einer nachforschenden Untersuchung haben, die notwendigerweise mehr Zeit benötigt. Daher sieht die vorliegende Erfindung eine Vorrichtung und ein Verfahren zum genauen Bestimmen von Fehlern vor, die von der Ventilanordnung verursacht werden oder ventilbezogen sind.

[0060] Diese zusätzliche Ausführungsform der Erfindung beruht auf bestimmten Charakteristika der Ansauglufttemperaturen für einen betroffenen Zylinderabschnitt. Graphische Darstellungen der Ansauglufttemperatur über der Zeit sind in den **Fig.** 9a und 9b gezeigt. In der ersten graphischen Darstellung von **Fig.** 9a zeigt ein spezieller Zylinder $T_i$ einen starken Temperatursprung relativ zu der mittleren Temperatur aller Zylinder. In diesem Fall kann der starke Temperaturanstieg unmittelbar einem Ventileinrichtungsfehler zugeordnet werden. Vergleichbar ist die in **Fig.** 9b gezeigte Ansauglufttemperatur $T_i$ einer stark oszillatorischen Störung unterworfen, der ein eher gradueller Anstieg folgt. Erneut haben empirische Daten belegt, daß dieser Ansauglufttemperaturverlauf einem ventilbezogenen Fehler entspricht.

[0061] Andererseits ist es nicht notwendig, daß alle Anstiege der Ansauglufttemperatur für einen speziellen Quadranten die Ventileinrichtung betreffen. So wurden, wie in **Fig.** 10a–10c gezeigt, verschiedene Ansauglufttemperaturverläufe gefunden, die anderen Fehlertypen oder auch einem normalen Motorbetrieb entsprechen. Beispielsweise steigt die Temperatur eines speziellen Zylinders $T_i$ in der graphischen Darstellung von **Fig.** 10a graduell an, aber dieser Anstieg verläuft parallel zu einem Anstieg der mittleren Ansauglufttemperatur. In diesem Fall unterliegen alle Zylinderabschnitte einem vergleichbaren Temperaturanstieg, auch wenn ein Zylinder eine proportional höhere Gesamttemperatur haben kann. Auch hier haben empirische Daten gezeigt, daß eine Temperaturkurve dieser Art keinen ventilbezogenen Fehler angibt.

[0062] In vergleichbarer Weise hat ein Zylinderab-

schnitt, betrachtet man die graphische Darstellung von **Fig.** 10b, eine graduell ansteigende Temperatur, die mit einer Rate ansteigt, die größer als der Anstieg der mittleren Ansaugtemperatur $\overline{T}$ ist. Erneut weisen empirische Daten darauf hin, daß diese Temperaturänderung keinen ventilbezogenen Fehler angibt. In **Fig.** 10c ist der Temperaturverlauf für einen Motorquadranten momentanen Spitzen unterworfen, wobei er im allgemeinen parallel zu der mittleren Ansaugtemperatur $\overline{T}$ verläuft. Wenn die Spitze von kurzer Dauer ist und ein normaler Temperaturverlauf folgt, kann der Fehler, falls vorhanden, normalerweise der Ventileinrichtung nicht genau zugeordnet werden. Dieser Signaltyp ist typisch für einen intermittierenden Sensorschaltkreisfehler.

[0063] Demzufolge wäre das effektivste Fehlerdetektionssystem und -verfahren in der Lage, die Ansauglufttemperaturverläufe der **Fig.** 9a und 9b von den Temperaturverläufen der **Fig.** 10a-10c zu unterscheiden. Das Motorsteuermodul kann eine alternative Routine umfassen, wie in dem Flußdiagramm von **Fig.** 11 dargestellt. Der Startschritt 80 dieser Routine kann bei dem Fortsetzungsschritt 64 des in **Fig.** 6 gezeigten Flußdiagramms beginnen, läuft aber bevorzugt im allgemeinen gleichzeitig mit der Primärroutine ab. Somit kann der Programmablauf zu den in **Fig.** 11 gezeigten Schritten 80–96 zurückgeführt werden, sobald ein Zylinderabschnitt als einen Fehler aufweisend markiert wurde. In Schritt 82 wird eine Bedingung evaluiert, um zu bestimmen, ob ein Zylinderabschnitt als fehlerhaft markiert worden ist. Ist dies nicht der Fall, endet die Routine am Rücksprungschritt 96.

[0064] Wenn eine Fehlermarke für einen speziellen Zylinderabschnitt oder Quadranten gesetzt worden ist, geht die Schrittfolge zu Schritt 84 über, in dem eine Anzahl von Werten $\Delta_i$ für den betroffenen Zylinder über eine Zeitperiode N gesammelt werden. Die Anzahl der Werte hängt von dem Zeitinkrement zum Ausführen der Schritte des Flußdiagramms von **Fig.** 11 sowie von der Zeitperiode N ab. Es wurde jedoch berücksichtigt, daß fünf oder mehr derartige Werte $\Delta_i$ über die spezielle Zeitperiode gesammelt werden.

[0065] Sobald die vorbestimmte Anzahl der Werte $\Delta_i$ gesammelt und in dem Speicher gespeichert wurde, werden diese Werte in Schritt 86 jeweils differenziert. Insbesondere werden diese in bezug auf den unmittelbar vorherigen benachbarten Wert differenziert. Mit anderen Worten wird ein differenzierter Wert aus $\Delta_i(t) - \Delta_i(t - 1)$ berechnet. Diese differenzierten Werte werden wieder in dem Speicher des Motorsteuermoduls **25** gespeichert. Es ist verständlich, daß dieser Differenzierschritt, außer für den ersten Durchlauf, in jedem Zyklus der Subroutine von **Fig.** 11 auftreten kann, der mit der Sammlung der Differenzwerte zusammmenfällt. Alternativ kann Schritt 86 ausgeführt werden, nachdem die Subroutine $\Delta_i$-Werte für den betroffenen Quadranten über die gesamte Zeitperiode N gesammelt hat.

[0066] Diese gesammelten differenzierten Werte werden in Schritt 88 integriert. Diese Integration kann auf verschiedene Arten ausgeführt werden. Bei der bevorzugten Ausführungsform werden die differenzierten Werte über die Zeitperiode N summiert. Diese Differenzierung und Integration bei den Schritten 86 und 88 kann durch die folgende Gleichung wiedergegeben werden:

$$SUM_i = \sum_{tk=t}^{tk=t+N} [\Delta_i(t_k) - \Delta_i(t_k - 1)]$$

[0067] Eine wesentliche Veränderung der Ansauglufttemperatur für den betroffenen Quadranten ergibt einen großen positiven Wert für $SUM_i$. Das Ergebnis dieser Integration, $SUM_i$, wird in dem Konditionalschritt 90 evaluiert, um zu bestimmen, ob es eine vorbestimmte Grenze überschreitet. Ist dies der Fall, dann geht das Programm zu Schritt 92 über, in dem der betroffene, zuvor markierte Zylinderabschnitt zusätzlich als einen ventilbezogenen Fehler aufweisend markiert wird. Wenn das Ergebnis des Konditionalschrittes 90 falsch oder "nein" ist, geht das Programm alternativ über den Zweig **94** zu dem Fortsetzungsschritt 96 über.

[0068] Nach dem Fortsetzungsschritt 64 in dem Flußdiagramm von **Fig.** 6 oder dem Rücksprungschritt 96 in dem Flußdiagramm von **Fig.** 11 kann das Motorsteuermodul verschiedene fehlerbezogene Routinen ausführen. Insbesondere wird ein Typ einer Fehlerwarnung an den Fahrzeugbetreiber ausgegeben, um den Betreiber vor dem Bevorstehen eines möglicherweise katastrophalen Motorfehlers zu warnen. Bei einem Ansatz kann eine Warnung höchster Stufe ausgegeben werden, um dem Fahrzeugbetreiber eine Chance zu geben, den Motor abzustellen. Alternativ kann das Motorsteuermodul die Steuerung des Motors übernehmen und den Motor graduell auf einen sicheren Pegel abzuregulieren, bis der Motor vollständig abgestellt werden kann.

[0069] Wenn der Motor von einem Diagnosetechniker evaluiert wird, können die Zylinderabschnittsfehlermarken überprüft werden. Es ist vorgesehen, daß das Motorsteuermodul einen Speicherbereich in dem Speicher für die Fehlermarken umfaßt, beispielsweise die oben diskutierte Zylinderabschnittstabelle. Nachfolgend kann die Fehlermarkeninformation unter Verwendung eines herkömmlichen Diagnosewerkzeugs für Motorsteuermodule mit einem Kommunikationsanschluß heruntergeladen werden. Der Motortechniker kann diese Fehlermarken dann verwenden, um den betroffenen Motorquadranten oder Zylinderabschnitt zu bestimmen und wenigstens ein erstes Verständnis der Ursachen des Fehlers zu entwickeln.

[0070] Es ist vorgesehen, daß die Schritte des in **Fig.** 6 und 11 gezeigten Verfahrens als Softwareroutine implementiert werden, die in einem Mikroprozessor des Motorsteuermoduls gespeichert sind. Ent-

sprechend können auch die verschiedenen Grenz- und Schwellwerte in dem Speicher gespeichert und zum Vergleich bei den geeigneten Schritten ein den dargestellten Folgen ausgelesen werden.

[0071] Obwohl die bevorzugte Ausführungsform einen softwarebasierten Ansatz vorsieht, kann die vorliegende Erfindung auch in einer nicht softwarebasierten Weise implementiert werden. Insbesondere können analoge arithmetische Einheiten verwendet werden, um die Werte jedes Ansaugluftsensors auszulesen, einen Mittelwert zu bestimmen und die Sensortemperaturwerte mit dem Mittelwert zu vergleichen. Bei diesem Ansatz würde jeder dieser Werte von einem Spannungspegel und die mögliche Ausgabe von jeder der Routinen von einem vergleichbaren Spannungspegel wiedergegeben werden. Wo es passend ist, kann dieser resultierende Spannungspegel in ein digitales Signal zur Verwendung durch softwarebasierte Routinen umgewandelt werden.

[0072] Obwohl die Erfindung in den vorherigen Zeichnungen und der Beschreibung detailliert veranschaulicht und beschrieben wurde, sind diese nur als veranschaulichend und nicht als restriktiv zu betrachten, wobei es verständlich ist, daß nur bevorzugte Ausführungsformen derselben gezeigt und beschrieben wurden und alle Veränderungen und Modifikationen im Rahmen des Erfindungsgedankens geschützt werden sollen.

[0073] Beispielsweise kann die erfindungsgemäße Vorrichtung zur Verwendung mit einem Motor modifiziert werden, der einen einzelnen Ansaugkrümmer und einen einzelnen Temperatursensor aufweist, ohne wie zuvor beschrieben, eine ideale Ansaugtemperatur zu modellieren. Insbesondere kann der Differenzwert Δ(t), der im Schritt 72 der Subroutine von **Fig.** 7 oder in Schritt 73 der Subroutine von **Fig.** 8 berechnet wird, der Differenz zwischen der aktuellen Temperatur zum Zeitpunkt t und der Temperatur zum Zeitpunkt t – a entsprechen, wobei "a" das vorbestimmte, zuvor diskutierte Zeitintervall ist. In vergleichbarer Weise entspricht der Differenzwert Δ(t + a) in Schritt 74 der Routine von **Fig.** 7 dem Wert T(t + a) – T(t). Mit dieser Substitution können die verbleibenden Schritte des Algorithmus in den **Fig.** 6–8 und **Fig.** 11 wie zuvor beschrieben ablaufen.

[0074] Als weitere Alternative in bezug auf die Subroutine von **Fig.** 7 können die Werte Δ(t) und Δ(t + a) einfach dem Temperaturwert von dem Sensor zu den Zeitpunkten t bzw. t + a entsprechen. Die verbleibenden Schritte der Routinen können ebenfalls in der gleichen Weise ablaufen.

## Patentansprüche

1. Verfahren zum Detektieren eines Fehlerzustandes in einem Verbrennungsmotor, der eine Anzahl von Luftansaugkrümmern zum Zuführen von Luft zu einer entsprechenden Anzahl von Motorzylinderabschnitten und einen Temperatursensor an jedem Krümmer aufweist, wobei das Verfahren die Schritte umfaßt:
– Auslesen des Ausgangswertes des Temperatursensors an jedem Luftansaugkrümmer,
– Erzeugen eines Mittelwertes, der die mittlere Ansauglufttemperatur aller Luftansaugkrümmer angibt,
– Bestimmen eines Wertes einer Änderungsrate der Ausgabe jedes Temperatursensors für jeden Luftansaugkrümmer relativ zu dem Mittelwert, und
– Identifizieren eines Luftansaugkrümmers, bei dem der Wert der Änderungsrate einen vorbestimmten Grenzwert überschreitet, wodurch die Existenz eines Fehlerzustandes in dem entsprechenden Zylinderabschnitt angegeben wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei der Schritt des Bestimmens eines Mittelwerts umfaßt:
– Summieren der Ausgangswerte der Temperatursensoren für alle Luftansaugkrümmer, und
– Teilen der Summe durch die Anzahl der Luftansaugkrümmer.

3. Verfahren nach Anspruch 1, wobei der Schritt des Bestimmens eines Mittelwertes umfaßt:
– Bestimmen des Mittels des Ausgangswertes für alle Temperatursensoren außer für die Sensoren mit den höchsten und den niedrigsten Ausgangswerten.

4. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem der Schritt des Bestimmens eines Mittelwertes umfaßt:
– Bestimmen der höchsten und niedrigsten Ausgangswerte der Temperatursensoren für alle Luftansaugkrümmer,
– Summieren des Ausgangswertes des Temperatursensors für alle Luftansaugkrümmer, außer für die Krümmer mit den höchsten und niedrigsten Ausgangswerten,
– Addieren eines vorbestimmten Verhältnisses der höchsten und niedrigsten Ausgangswerte zu der Summe, und
– Dividieren der resultierenden Summe durch die um das Doppelte des vorbestimmten Verhältnisses verringerte Anzahl der Luftansaugkrümmer.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, bei dem der Schritt des Bestimmens eines Wertes einer Änderungsrate umfaßt:
– Berechnen eines Differenzwertes basierend auf der Differenz zwischen dem Ausgangswert und dem Mittelwert, und
– Bestimmen der Änderungsrate des Differenzwertes über der Zeit.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, bei dem der Schritt des Bestimmens eines Wertes einer Änderungsrate umfaßt:
– Integrieren der Differenz zwischen dem Ausgangswert des Temperatursensors für den Luftansaugkrümmer und dem Mittelwert über einer vorbestimmten Zeitperiode.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, bei dem der Schritt des Bestimmens eines Wertes einer Änderungsrate umfaßt:
– Vergleichen der Differenz zwischen dem Ausgangswert des Temperatursensors für den Luftansaugkrümmer und dem Mittelwert zu einem ersten Zeitpunkt mit der Differenz zu einem zweiten Zeitpunkt.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, ferner den Schritt des Unterscheidens des Fehlermodus des Fehlerzustandes für den identifizierten Luftansaugabschnitt umfassend, wobei der Schritt umfaßt:
– Differenzieren des Wertes der Änderungsrate für den identifizierten Luftansaugkrümmer, um einen abgeleiteten Wert zu erhalten,
– Summieren von abgeleiteten, über ein vorbestimmtes Zeitintervall berechneten Werten, und
– Markieren des dem identifizierten Luftansaugkrümmer entsprechenden Motorzylinderabschnitts als unter einen speziellen Fehlermodus fallend, wenn die Summe der abgeleiteten Werte eine vorbestimmte Grenze überschreitet.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, bei dem der Motor einen Luftansaugkrümmer zum Zuführen von Luft zu einem Motorzylinderabschnitt und zusätzlich einen Mikroprozessor aufweist, der Signale von Motorbetriebszustandssensoren erhält, wobei der Schritt des Bestimmens eines Mittelwertes ein Erzeugen eines Mittelwertes aus den Motorzustandssensorsignalen umfaßt, die einen geschätzten Ansauglufttemperaturwert angeben.

10. Vorrichtung zum Detektieren eines Fehlerzustandes in einem Verbrennungsmotor mit einer Anzahl von Luftansaugkrümmern, die einer entsprechenden Anzahl. von Motorzylinderabschnitten Luft zuführen, mit:
– einem Sensor in jedem Luftansaugkrümmer, der einen Ausgangswert bereitstellt, der die Lufttemperatur in dem Krümmer angibt,
– einer Einrichtung zum Erzeugen eines Mittelwertes, der die mittlere Lufttemperatur aller Luftansaugkrümmer angibt,
– einer Einrichtung zum Erzeugen eines Wertes einer Änderungsrate, die die Änderungsrate relativ zu dem Mittelwert des Ausgangswertes des Sensors in jedem Luftansaugkrümmer angibt, und
– einer Einrichtung zum Vergleichen des Wertes der Änderungsrate für jeden Luftansaugkrümmer mit einem vorbestimmten Grenzwert und zum Bereitstellen eines Signales, das einen Motorzylinderabschnitt angibt, für den der Wert der Änderungsrate den Grenzwert überschreitet.

11. Vorrichtung nach Anspruch 10, mit:
– einer Motorsteuereinrichtung mit einem Mikroprozessor, wobei der Mikroprozessor von den Sensoren empfängt, die den Ausgangswert angeben, und
– wobei die Einrichtung zum Erzeugen eines Mittelwertes, die Einrichtung zum Erzeugen eines Wertes einer Änderungsrate und die Einrichtung zum Vergleichen Softwarebefehle umfassen, die von dem Mikroprozessor ausgeführt werden.

12. Vorrichtung nach Anspruch 11, bei der der Motor einen Luftansaugkrümmer umfaßt, wobei:
– die Motorsteuereinrichtung andere Sensoren zum Erfassen von Motorzuständen umfaßt, und
– die Einrichtung zum Erzeugen eines Mittelwertes eine Einrichtung zum Abschätzen einer Ansaugluft-temperatur in dem einen Luftansaugkrümmer basierend auf Werten von den anderen Sensoren enthält.

13. Verfahren zum Detektieren eines Fehlerzustandes in einer Ventileinrichtung eines Zylinders eines Verbrennungsmotors mit einem Luftansaugkrümmer zum Zuführen von Luft in den Zylinder, wobei das Verfahren umfaßt:
– Bestimmen eines Temperaturwertes zu vorbestimmten Zeitintervallen für die Temperatur der Luft in dem Ansaugkrümmer,
– Bestimmen eines Wertes einer Änderungsrate, die die Änderung des Temperaturwertes über wenigstens zwei Zeitintervalle angibt, und
– Anzeigen der Existenz eines Fehlerzustandes in der Ventileinrichtung, wenn der Wert der Änderungsrate einen vorbestimmten Grenzwert überschreitet.

Es folgen 6 Blatt Zeichnungen

**Anhängende Zeichnungen**

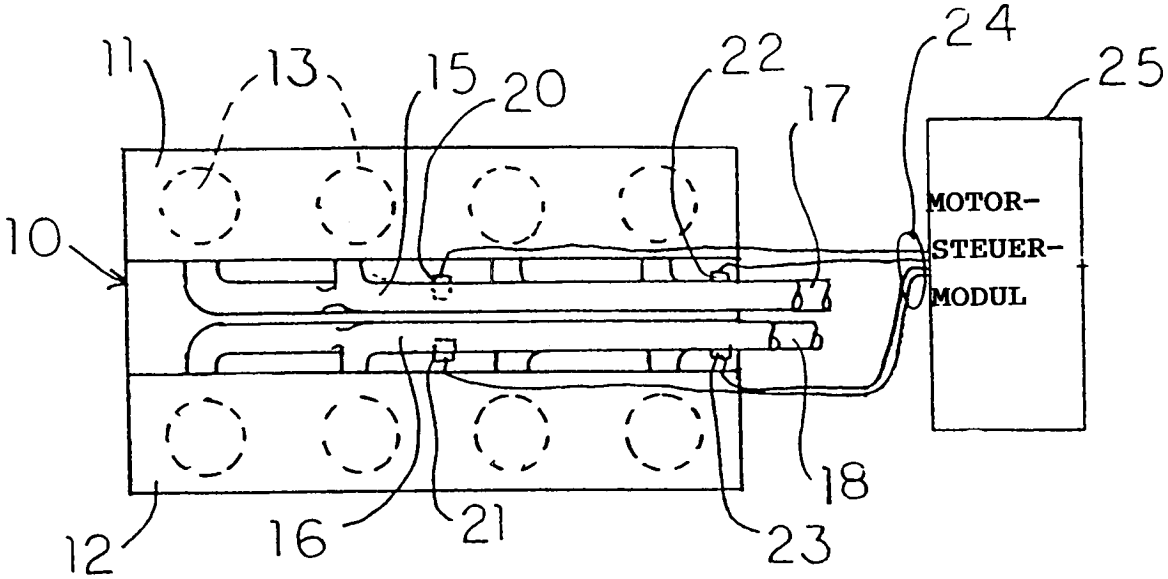



FIG. 1

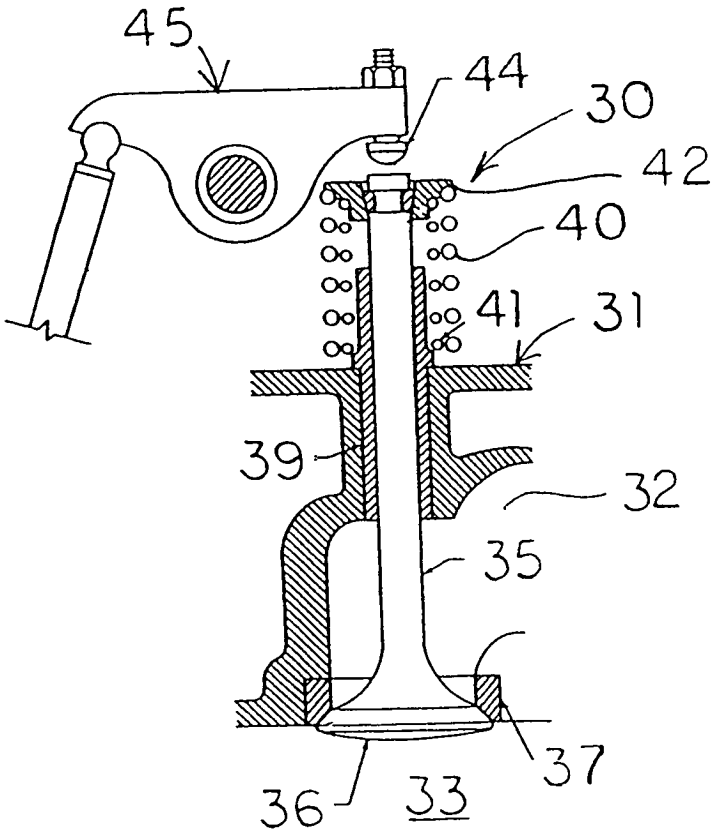



FIG. 2

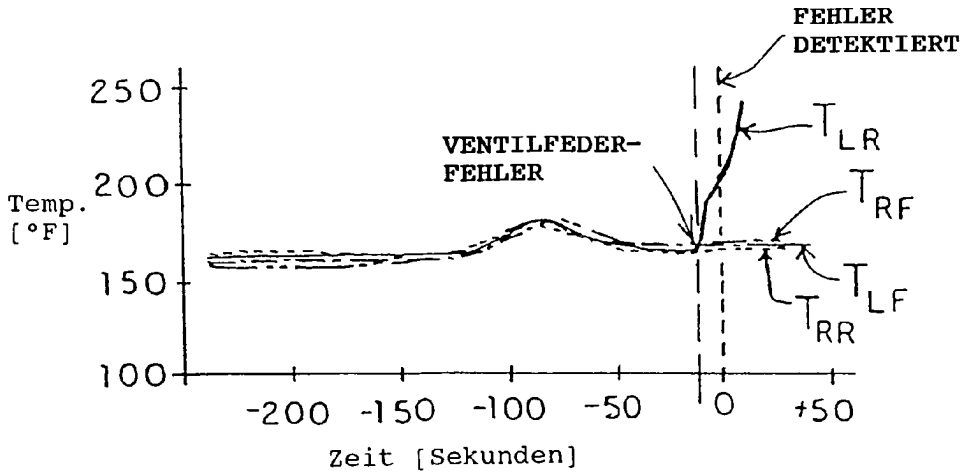



FIG. 3

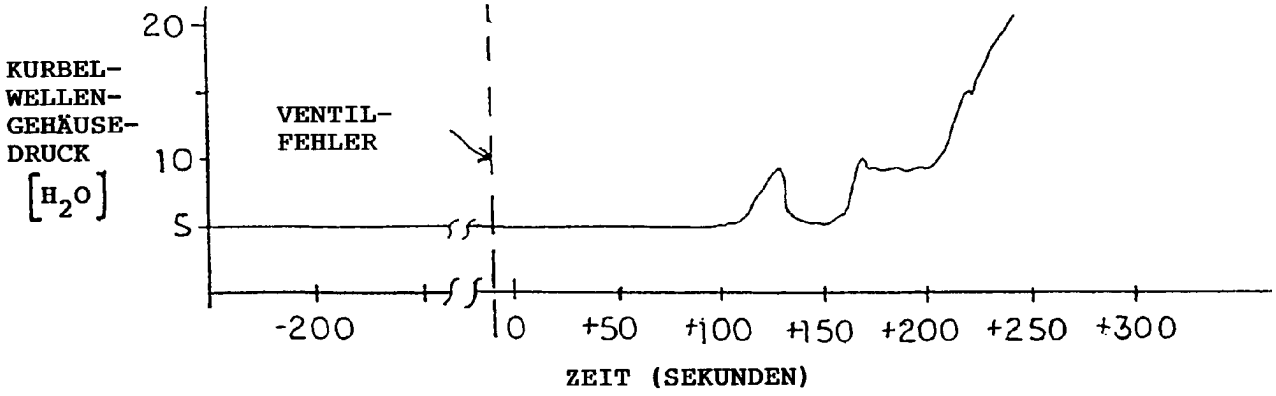



FIG. 4

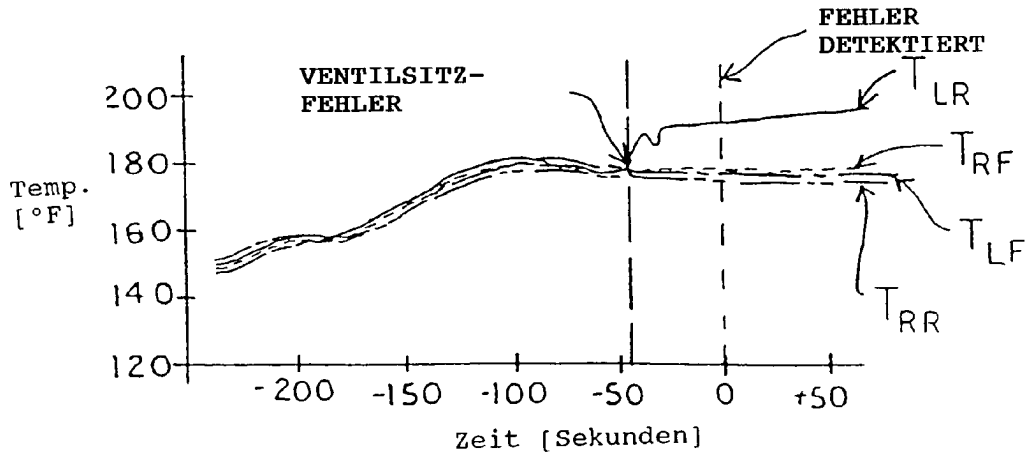



FIG. 5

Fig. 6

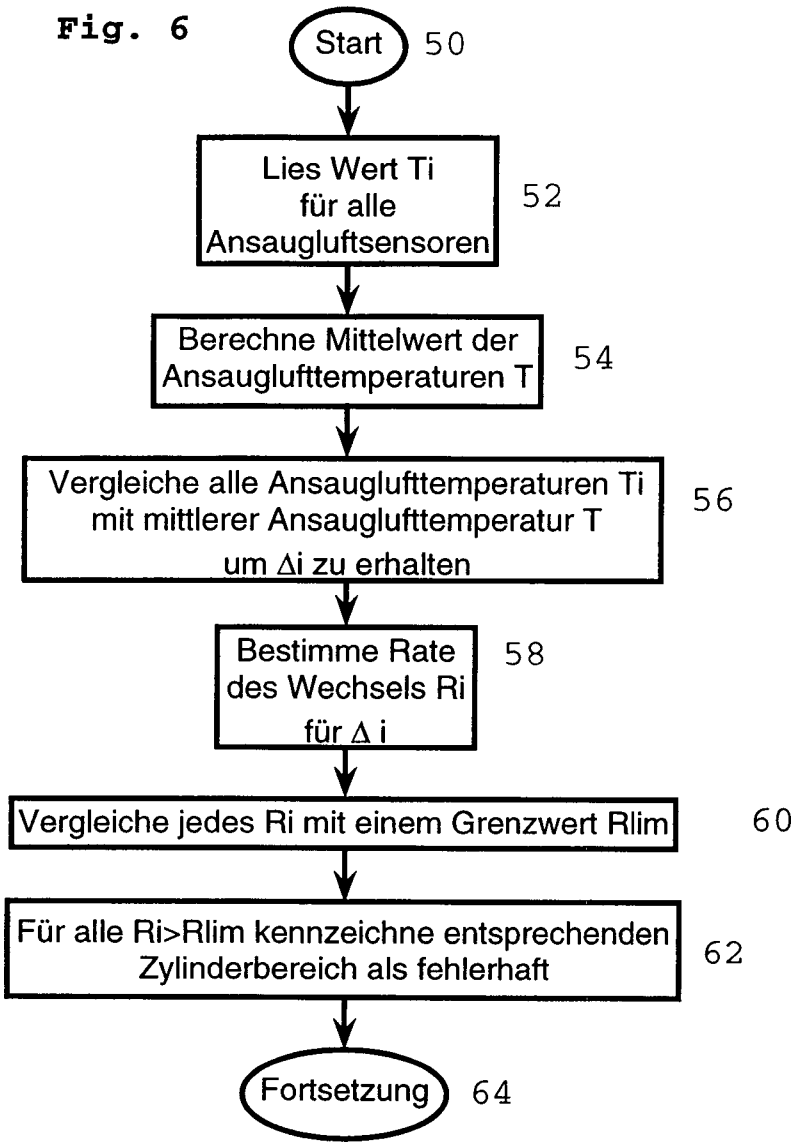

Start
50
Lies Wert Ti für alle Ansaugluftsensoren
52
Berechne Mittelwert der Ansaugluftemperaturen T
54
Vergleiche alle Ansaugluftemperaturen Ti mit mittlerer Ansaugluftemperatur T um Δi zu erhalten
56
Bestimme Rate des Wechsels Ri für Δ i
58
Vergleiche jedes Ri mit einem Grenzwert Rlim
60
Für alle Ri>Rlim kennzeichne entsprechenden Zylinderbereich als fehlerhaft
62
Fortsetzung
64

**Fig. 7**

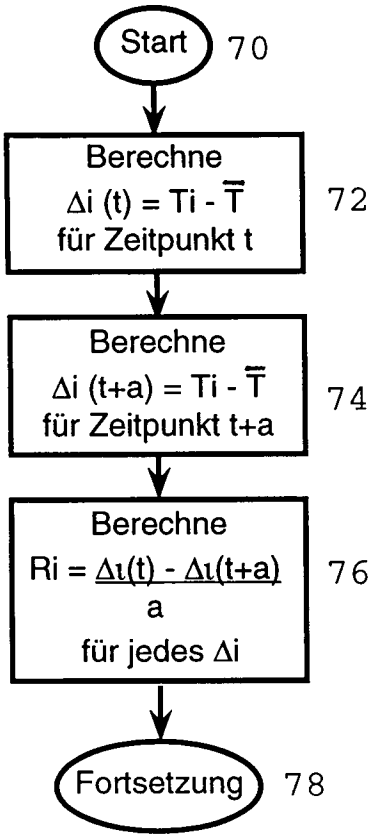
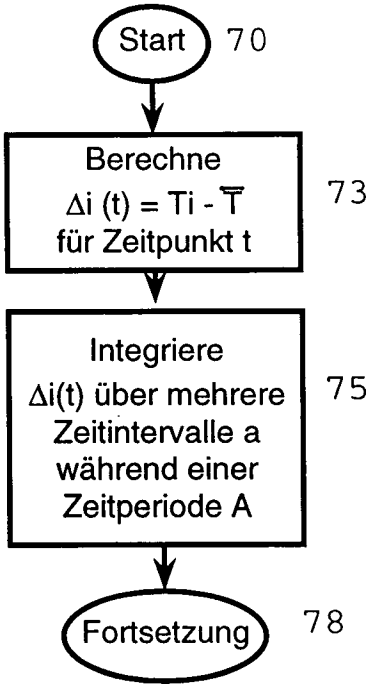

Start
70
Berechne
Δi (t) = Ti - T̄
für Zeitpunkt t
72
Berechne
Δi (t+a) = Ti - T̄
für Zeitpunkt t+a
74
Berechne
Ri = Δι(t) - Δι(t+a) / a
für jedes Δi
76
Fortsetzung
78

**Fig. 8**


Start
70
Berechne
Δi (t) = Ti - T̄
für Zeitpunkt t
73
Integriere
Δi(t) über mehrere
Zeitintervalle a
während einer
Zeitperiode A
75
Fortsetzung
78

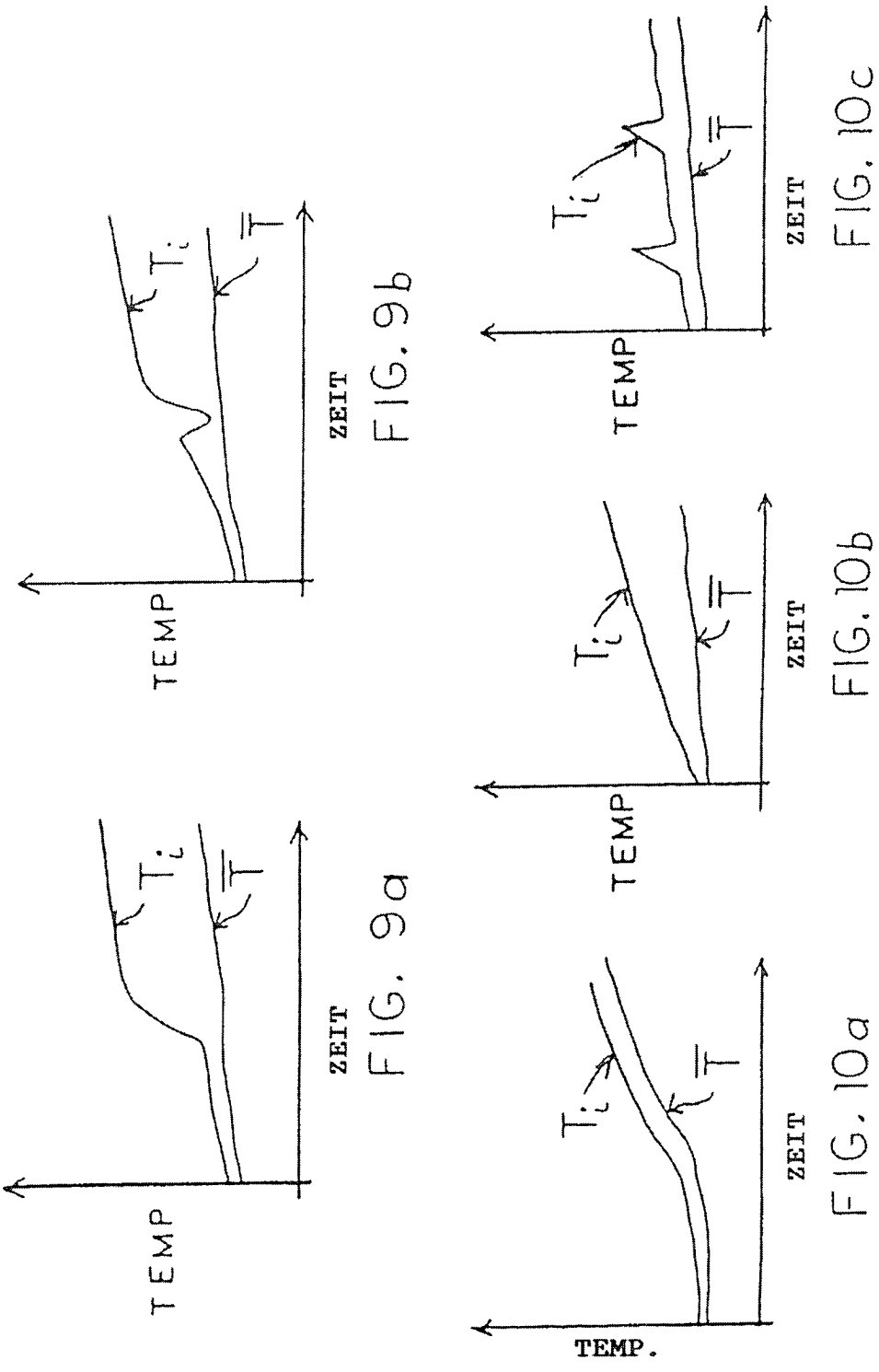



FIG. 9a

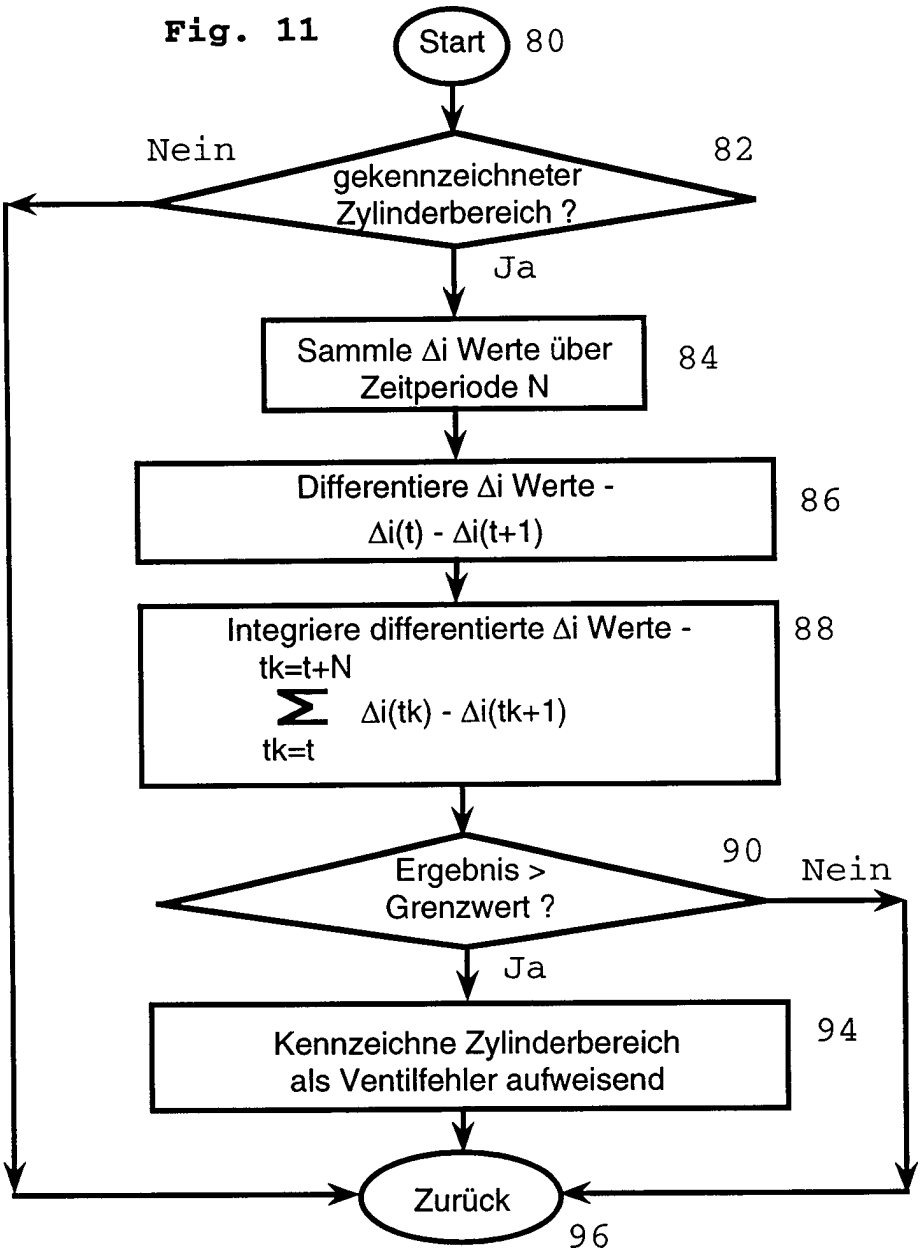
FIG. 9b

FIG. 10a

FIG. 10b

FIG. 10c

**Fig. 11**


Start
80
Nein
gekennzeichneter Zylinderbereich ?
82
Ja
Sammle Δi Werte über Zeitperiode N
84
Differentiere Δi Werte - Δi(t) - Δi(t+1)
86
Integriere differentierte Δi Werte - tk=t+N Σ tk=t Δi(tk) - Δi(tk+1)
88
Ergebnis > Grenzwert ?
90
Nein
Ja
Kennzeichne Zylinderbereich als Ventilfehler aufweisend
94
Zurück
96