



(10) **DE 10 2020 200 222 B4** 2022.04.28

(12)

## Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2020 200 222.3**  
(22) Anmeldetag: **09.01.2020**  
(43) Offenlegungstag: **15.07.2021**  
(45) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: **28.04.2022**

(51) Int Cl.: **F02D 41/00** (2006.01)  
**F02D 41/14** (2006.01)  
**F02D 41/22** (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:  
**MTU Friedrichshafen GmbH, 88045  
Friedrichshafen, DE**

(74) Vertreter:  
**Gleiss Große Schrell und Partner mbB  
Patentanwälte Rechtsanwälte, 70469 Stuttgart, DE**

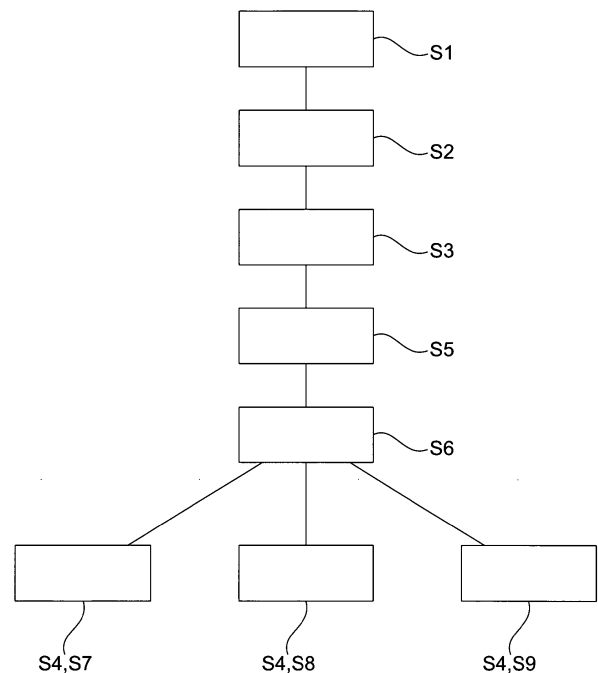
(72) Erfinder:  
**Bauer, Johannes, 91352 Hallerndorf, DE;  
Albersdörfer, Markus, 86462 Langweid, DE;  
Sobczyk, Daniel, 87757 Kirchheim, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE	<b>10 2004 060 893</b>	<b>A1</b>
DD	<b>2 49 941</b>	<b>A1</b>
EP	<b>2 310 654</b>	<b>B1</b>
EP	<b>2 310 655</b>	<b>B1</b>

(54) Bezeichnung: **Verfahren zur Regelung einer Brennkraftmaschine und Brennkraftmaschine**

(57) Hauptanspruch: Verfahren zur Regelung einer mehrzylindrigen Brennkraftmaschine (1), wobei die Brennkraftmaschine (1) zumindest zwei Zylinder (3; 5; 7) aufweist, wobei in einem ersten Schritt (S1) Abgastemperaturen der zumindest zwei Zylinder (3; 5; 7) erfasst werden, wobei in einem zweiten Schritt (S2) aus den erfassten Abgastemperaturen ein Temperaturreferenzwert ermittelt wird, wobei in einem dritten Schritt (S3) eine erste Abgastemperatur eines ersten Zylinders (3) der zumindest zwei Zylinder (3; 5; 7) mit dem Temperaturreferenzwert verglichen wird, wobei in einem vierten Schritt (S4) ein Korrektursignal an eine Zylindersteuerung des ersten Zylinders (8) übermittelt wird, wobei bei Überschreiten oder Unterschreiten eines Schwellwerts durch einen Temperaturvergleichswert ein dem ersten Zylinder (3) zugeordnetes Klopfsignal zur Ermittlung des Korrektursignals verwendet wird, wobei mittels der Zylindersteuerung ein Zündzeitpunkt des ersten Zylinders (3) nach früh verstellt wird, wenn das Klopfsignal in einem akzeptierten Wertebereich ist, oder nach spät verstellt wird, wenn das Klopfsignal in einem nicht-akzeptierten Wertebereich ist.



## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Regelung einer Brennkraftmaschine sowie eine Brennkraftmaschine, welche zur Durchführung eines solchen Verfahrens eingerichtet ist.

**[0002]** Verfahren und Brennkraftmaschinen der hier angesprochenen Art sind bekannt. Bei diesen bekannten Verfahren und Brennkraftmaschinen findet die Verbrennung in den jeweiligen Zylindern typischerweise zeitversetzt statt. Aufgrund von Bauteiltoleranzen, gasdynamischen Effekten, Unterschieden in den Zündbedingungen und Unterschieden in den Öffnungs- und Schließzeiten der Ein- und Auslassventile und der Dynamik der Brennkraftmaschine, werden die verschiedenen Zylinder auf unterschiedlichen Leistungsniveaus betrieben und damit unterschiedlich stark, insbesondere mit Blick auf den Druck, belastet. Eine derartige, ungleichmäßige Belastung der verschiedenen Zylinder führt zu einer Verringerung der Effizienz der Brennkraftmaschine insgesamt, da die jeweiligen Zylinder nicht allesamt an ihrem jeweiligen optimalen Leistungspunkt betrieben werden. Zudem ist die Kraftübertragung von den Zylindern auf eine Kurbelwelle aufgrund der zeitlich versetzten Zündungen im zeitlichen Verlauf ungleichmäßig, wodurch ebenfalls die Gesamteffizienz der Brennkraftmaschine reduziert ist. Ferner verursacht die unterschiedlich starke drucktechnische Belastung der Zylinder einen überdurchschnittlich hohen Verschleiß einzelner Zylinder, wodurch die Wartung teuer und die Gefahr von Fehlfunktionen der Brennkraftmaschine erhöht ist.

**[0003]** Da das Leistungsniveau der Zylinder direkt mit der drucktechnischen Belastung, also mit in den Zylindern auftretenden Drücken, zusammenhängt, wird also bei den bekannten Verfahren und Brennkraftmaschinen versucht, eine Gleichstellung der Zylinder bezüglich ihrer Leistung durch zylinderdruckgeregelte Systeme zu erreichen. Diese zylinderdruckgeregelten Systeme sind jedoch in der Entwicklung aufwendig und teuer. Auch die Standzeiten derartiger Brennkraftmaschinen sind niedrig.

**[0004]** Aus der DD 249 941 A1 ist zudem bekannt, dass eine Zylinderlastverteilung und damit die leistungstechnische Angleichung der Zylinder in Abhängigkeit von Abgastemperaturen der Zylinder erfolgen kann, indem aus den einzelnen Abgastemperaturen aller Zylinder ein Mittelwert bestimmt wird und die Abweichung der einzelnen Abgastemperaturen zu dem Mittelwert ermittelt wird. Diese Abweichung wird sodann verwendet, um eine Einspritzmenge eines Brennstoffs einzustellen.

**[0005]** Ferner ist aus der EP 2 310 654 B1 bekannt, dass bei Dieselmotoren zum Einstellen einer gewünschten Abgastemperatur und zum Angleichen

der von den Zylindern erzeugten Kräften eine Einspritzdauer angepasst werden kann, wobei in EP 2 310 655 B1 weiter ausgeführt wird, dass die Einspritzdauer anhand einer Messung der Torsionsschwingung einer Kurbelwelle der Brennkraftmaschine gewählt wird.

**[0006]** In DE 10 2004 060 893 A1 ist für einen Otto-Gasmotor beschrieben, welche allgemeinen Auswirkungen eine Veränderung eines Zündzeitpunkts auf die Abgastemperatur des Otto-Gasmotors hat, wobei insbesondere zum Absenken der Abgastemperatur der Zündzeitpunkt zeitlich nach vorne verschoben und zum Erhöhen der Abgastemperatur ein späterer Zündzeitpunkt gewählt wird.

**[0007]** Aufgabe der Erfindung ist es, ein Verfahren zur Regelung einer Brennkraftmaschine sowie eine zur Durchführung des Verfahrens eingerichtete Brennkraftmaschine zu schaffen, wobei die genannten Nachteile vermieden werden.

**[0008]** Die Aufgabe wird gelöst, indem die Gegenstände der unabhängigen Ansprüche geschaffen werden. Vorteilhafte Ausgestaltungen ergeben sich aus den Unteransprüchen.

**[0009]** Die Aufgabe wird insbesondere gelöst, indem ein Verfahren zur Regelung einer mehrzylindrigen Brennkraftmaschine geschaffen wird, wobei die Brennkraftmaschine zumindest zwei Zylinder aufweist, wobei in einem ersten Schritt Abgastemperaturen der zumindest zwei Zylinder erfasst werden, wobei in einem zweiten Schritt aus den erfassten Abgastemperaturen ein Temperaturreferenzwert, insbesondere ein mittlerer Temperaturwert, ermittelt wird, wobei in einem dritten Schritt eine erste Abgastemperatur eines ersten Zylinders der zumindest zwei Zylinder mit dem Temperaturreferenzwert verglichen wird, und wobei in einem vierten Schritt - insbesondere in Abhängigkeit von dem Vergleich - ein Korrektursignal an eine Zylindersteuerung des ersten Zylinders übermittelt wird. Dadurch können Unregelmäßigkeiten bei der Zündung der zumindest zwei Zylinder erkannt werden, und mittels des Korrektursignals kann gegebenenfalls eine angemessene Maßnahme eingeleitet werden, um eine gewünschte, insbesondere gleichmäßige Belastungsverteilung der Zylinder einzustellen. Zudem ist dieses Verfahren kostengünstig umsetzbar, da die zur Durchführung des Verfahrens erforderlichen Abgassensorenvorrichtungen und deren Montage bereits bekannt ist und keine zusätzliche Entwicklungsarbeit erforderlich ist. Insbesondere können die Abgastemperaturen mittels bereits eingebauter Sensoren einer fertigen Brennkraftmaschine erfasst werden. Bei solchen fertigen Brennkraftmaschinen, insbesondere bei Gasmotoren, sind also keine entsprechenden Umbaumaßnahmen erforderlich und bei der Produktion von neuen Brennkraftmaschinen, bei denen eine

Erfassung der Abgastemperatur bereits aus anderen Gründen vorgesehen ist, kann auf zusätzliche Sensoren verzichtet werden. Dabei ist vorgesehen, dass bei Überschreiten oder Unterschreiten eines Schwellwerts durch einen Temperaturvergleichswert ein dem ersten Zylinder zugeordnetes Klopfsignal zur Ermittlung des Korrektursignals verwendet wird. Damit wird vermieden, dass die im Rahmen dieses Verfahrens durchgeführte Korrektur ein Überschreiten einer Klopfgrenze verursacht. Ferner ist dabei vorgesehen, dass mittels der Zylindersteuerung ein Zündzeitpunkt des ersten Zylinders nach früh verstellt wird, wenn das Klopfsignal in einem akzeptierten Wertebereich ist, oder nach spät verstellt wird, wenn das Klopfsignal in einem nicht-akzeptierten Wertebereich ist. Somit wird die Frühverstellung des Zündzeitpunkts zugelassen, wenn das Klopfsignal akzeptabel ist. Dies vermeidet Schäden und Verschleiß an der Brennkraftmaschine. Ferner kann durch die Frühverstellung des Zündzeitpunkts die Effizienz der Brennkraftmaschine erhöht werden.

**[0010]** In der Regel tritt eine klopfende Verbrennung auf, wenn die erste Abgastemperatur unterhalb des Temperaturreferenzwerts liegt. In diesem Fall ist das Klopfsignal in dem nicht-akzeptierten Wertebereich und eine Frühverstellung des Zündzeitpunkts ist zu vermeiden. Insbesondere wird durch das Überprüfen des Klopfsignals eine Zündzeitpunktverstellung nach früh aber auch dann vermieden, wenn der Schwellwert von dem Temperaturvergleichswert überschritten wurde und das Klopfsignal trotzdem in dem nicht-akzeptierten Wertebereich ist. Dadurch ist in jedem Fall Verschleiß vermieden.

**[0011]** Vorzugsweise wird das hierzu benötigte Klopfsignal detektiert. Alternativ wurde das Klopfsignal bereits mittels eines separaten Verfahrens detektiert und wird für das vorliegende Verfahren bereitgestellt.

**[0012]** Der akzeptierte Wertebereich ist dabei insbesondere ein solcher Bereich, in dem keine klopfende Verbrennung auftritt. Der nicht-akzeptierte Wertebereich ist dagegen insbesondere ein solcher Bereich, in dem die klopfende Verbrennung auftritt.

**[0013]** Unter einer Abgastemperatur wird hier eine Temperatur eines aus einem Brennraum des Zylinders ausgestoßenen, insbesondere verbrannten Abgases verstanden. Diese Temperatur des Abgases kann sich insbesondere durch Abkühlung des Abgases noch verändern, nachdem sie den Brennraum verlassen hat. Wichtig ist, dass die Temperatur des Abgases erfasst wird und daraus auf eine Brennraumtemperatur oder auf eine Abgastemperatur an einem festen Ort im Abgasstrang zurückgeschlossen werden kann, und/oder dass alle Abgastemperaturen von sämtlichen der zumindest zwei Zylinder an einer festen, insbesondere bezüglich des jeweiligen

Zylinders gleichen Position erfasst werden, sodass alle Abgastemperaturen untereinander bei gleichen Vergleichsbedingungen vergleichbar sind.

**[0014]** Unter einem Temperaturreferenzwert wird hier ein insbesondere arithmetischer Mittelwert, ein Median oder eine andere statistische Kenngröße verstanden, welche die Temperaturverteilung der zumindest zwei Zylinder zumindest teilweise beschreibt. Vorzugsweise wird zur Ermittlung des Temperaturreferenzwerts eine Gewichtung der zur Ermittlung herangezogenen Abgastemperaturen durchgeführt, wobei insbesondere einzelne Abgastemperaturen mit einem Wichtungsfaktor multipliziert werden.

**[0015]** Unter einem Korrektursignal wird hier insbesondere ein Signal verstanden, welches eine Zündzeitpunktverstellung, eine Änderung einer Einspritzmenge und/oder eine Veränderung einer einzuspritzenden Brenngaszusammensetzung bewirkt. Dabei wird eine Veränderung einer individuellen Zylinderleistung bewirkt, wobei die individuelle Zylinderleistung vorzugsweise in Richtung einer durchschnittlichen Zylinderleistung der zumindest zwei Zylinder geändert wird.

**[0016]** Die Abgastemperaturen sind vorzugsweise jeweils einem einzelnen Zylinder der zumindest zwei Zylinder zugeordnet, sodass die erste Abgastemperatur die Temperatur des aus dem ersten Zylinder ausgestoßenen Abgases ist und eine zweite Abgastemperatur die Temperatur des aus einem zweiten Zylinder der zumindest zwei Zylinder ausgestoßenen Abgases ist. Somit wird in dem ersten Schritt bei der Erfassung der Abgastemperaturen eine Abgastemperaturverteilung von den zumindest zwei Zylindern erfasst.

**[0017]** Insbesondere ist es möglich, dass die Brennkraftmaschine neben den zumindest zwei Zylindern weitere Zylinder aufweist, deren Abgastemperaturen nicht erfasst werden. Es ist also nicht erforderlich, dass alle Zylinder der Brennkraftmaschine bei der Durchführung des Verfahrens herangezogen werden. Vielmehr ist das Verfahren auch nur für einen Teil aller Zylinder, nämlich die zumindest zwei Zylinder, durchführbar. Vorzugsweise wird das Verfahren jedoch für alle Zylinder der Brennkraftmaschinen durchgeführt.

**[0018]** Bei dem Vergleich der ersten Abgastemperatur mit dem Temperaturreferenzwert wird vorzugsweise ermittelt, ob die Abgastemperatur von dem Temperaturreferenzwert abweicht. Besonders bevorzugt wird die Größe der Abweichung ermittelt.

**[0019]** Vorzugsweise werden insbesondere in dem dritten Schritt auch die zweite Abgastemperatur des zweiten Zylinders und/oder alle Abgastemperaturen

von allen Zylindern der zumindest zwei Zylinder mit dem Temperaturreferenzwert verglichen. Ferner bevorzugt werden insbesondere in dem vierten Schritt - insbesondere in Abhängigkeit von dem jeweiligen Vergleich - weitere Korrektursignale an eine Zylindersteuerung des zweiten Zylinders und/oder der zumindest zwei Zylinder übermittelt. Dadurch können mit dem Verfahren mehrere Zylinder insbesondere gleichzeitig kontrolliert werden, wodurch eine leistungstechnische Gleichstellung schneller erreichbar ist und somit die Effizienz der Brennkraftmaschine besonders hoch ist.

**[0020]** Gemäß einer Weiterbildung der Erfindung ist vorgesehen, dass beim Vergleich von der ersten Abgastemperatur mit dem Temperaturreferenzwert der Temperaturvergleichswert, insbesondere eine Temperaturdifferenz zwischen der ersten Abgastemperatur und dem Temperaturreferenzwert, ermittelt wird und/oder überprüft wird, ob der Temperaturvergleichswert den Schwellwert überschreitet. Hierdurch wird die Abweichung der ersten Abgastemperatur von dem Temperaturreferenzwert genau und insbesondere quantitativ bestimmt, sodass eine besonders genaue Korrektur möglich ist und Iterationen bei der Korrektur vermieden sind.

**[0021]** Unter einem Schwellwert wird hier ein insbesondere positiver Temperatur-Schwellwert verstanden, welcher vorbestimmt ist oder - insbesondere während des Verfahrens - mittels des Temperaturreferenzwerts und/oder der Abgastemperatur und/oder anderer Betriebsparameter der Brennkraftmaschine bestimmt wird. Dabei definiert der Schwellwert eine obere Grenze eines von dem Temperaturreferenzwert ausgehenden Temperaturbereichs. Somit gibt der Schwellwert im Ergebnis eine maximal zulässige Temperatur oberhalb des Temperaturreferenzwerts an und definiert dadurch einen zulässigen Bereich für die erste, insbesondere für alle Abgastemperaturen.

**[0022]** Vorzugsweise wird die Temperaturdifferenz derart gebildet, dass sie größer als Null, also positiv ist, wenn die erste Abgastemperatur größer als der Temperaturreferenzwert ist, wobei die Temperaturdifferenz kleiner als Null, also negativ ist, wenn die Abgastemperatur kleiner als der Temperaturreferenzwert ist.

**[0023]** Vorzugsweise werden entsprechende Temperaturvergleichswerte für die zweite Abgastemperatur und/oder alle der zumindest zwei Abgastemperaturen ermittelt, wobei besonders bevorzugt jeweils überprüft wird, ob der Schwellwert überschritten wird und/oder wie groß die Abweichung zum Schwellwert ist.

**[0024]** Gemäß einer Weiterbildung der Erfindung ist vorgesehen, dass der Schwellwert 5 Kelvin beträgt.

Dieser Wert ein guter Indikator für einen effizienzmindernden Verbrennungsablauf in der Brennkraftmaschine, sodass bei Überschreiten des Schwellwerts durch den Temperaturvergleichswert auf zuverlässige Weise eine Ineffizienz erkannt wird. Andererseits wird mit diesem Wert eine übermäßige Regelung der Brennkraftmaschine vermieden, da hierbei Temperaturvergleichswerte, die kleiner als 5 Kelvin sind, zu keinem Korrektursignal führen. Dadurch werden die zumindest zwei Zylinder sehr gleichmäßig belastet und effizienzmindernende Verbrennungsabläufe sind vermieden.

**[0025]** Gemäß einer Weiterbildung der Erfindung ist vorgesehen, dass eine Schwellwertüberschreitung des Temperaturvergleichswerts, das heißt ein quantitatives Maß für die Überschreitung des Schwellwerts, ermittelt wird, welche zur Ermittlung des Korrektursignals verwendet wird. Hierdurch ist eine genaue Korrektur der Verbrennung ermöglicht. Insbesondere werden Überschwinger bei der Korrektur vermieden, wodurch der Zylinder in einen bezüglich des optimalen Betriebspunkts gegenüberliegend ineffizienten Betriebsbereich gebracht werden könnte. Insbesondere wird hierdurch auch ein Klopfen der Brennkraftmaschine vermieden.

**[0026]** Hierbei wird das Korrektursignal vorzugsweise proportional zu der Schwellwertüberschreitung eingestellt. Alternativ wird das Korrektursignal überproportional zu der Schwellwertüberschreitung eingestellt, sodass die Korrektur, also ein Gegensteuern gegen sich schnell ändernde Leistungen von Zylindern, besonders effektiv erfolgt.

**[0027]** Alternativ oder zusätzlich wird das Korrektursignal in Abhängigkeit von dem Temperaturvergleichswert eingestellt, wobei das Korrektursignal vorzugsweise proportional oder überproportional zu dem Temperaturvergleichswert eingestellt wird.

**[0028]** Gemäß einer Weiterbildung der Erfindung ist vorgesehen, dass das Korrektursignal eine Zündzeitpunktverstellung, insbesondere nach früh oder spät, des Zündzeitpunkts des ersten Zylinders bewirkt. Damit kann die Leistung des Zylinders gut gesteuert werden, sodass die Brennkraftmaschine effizient betrieben und Verschleiß vermieden wird.

**[0029]** Das Korrektursignal wird also derart eingestellt, dass - nach Übermittlung an die Zylindersteuerung - eine Zündzeitpunktverstellung nach früh oder spät durchgeführt wird. Alternativ wird das Korrektursignal derart eingestellt, dass eine Zündzeitpunktverstellung nicht durchgeführt, insbesondere verhindert wird.

**[0030]** Vorzugsweise erfolgt die Zündzeitpunktverstellung nach früh, wenn die erste Abgastemperatur größer ist als der Temperaturreferenzwert, ganz

besonders wenn der Temperaturvergleichswert den Schwellwert überschreitet. Hierdurch wird ein wärmetechnisch überdurchschnittlich stark belasteter Zylinder in seinem Leistungsniveau an die übrigen Zylinder der zumindest zwei Zylinder angenähert. Dies führt insgesamt zu einer Erhöhung der Effizienz und verringerten Verschleiß der Brennkraftmaschine.

**[0031]** Ferner bevorzugt erfolgt die Zündzeitpunktverstellung nach spät, wenn die erste Abgastemperatur kleiner als der Temperaturreferenzwert ist. In diesem Zustand - vor der Zündzeitpunktverstellung nach spät - ist der erste Zylinder wärmetechnisch unterdurchschnittlich stark belastet und mechanisch überdurchschnittlich stark belastet, sodass sich der erste Zylinder gegenüber den übrigen Zylindern auf einem relativ hohen, individuellen Leistungsniveau befindet. Durch Absenken der individuellen Leistung des ersten Zylinders wird dabei die Effizienz der Brennkraftmaschine insgesamt erhöht und Verschleiß vermieden.

**[0032]** Gemäß einer Weiterbildung der Erfindung ist vorgesehen, dass bei Unterschreiten des Schwellwerts durch den Temperaturvergleichswert zumindest keine Verstellung des Zündzeitpunkts des ersten Zylinders nach früh durchgeführt wird. Hierdurch wird vermieden, dass eine bezüglich der Effizienz der Brennkraftmaschine nachteilige Korrektur durchgeführt wird, sodass die Effizienz insgesamt hoch ist.

**[0033]** Vorzugsweise wird dabei als Korrektursignal ein Sperrsignal an die Zylindersteuerung übermittelt, welches eine Verstellung des Zündzeitpunkts zumindest nach früh verhindert.

**[0034]** Gemäß einer Weiterbildung der Erfindung ist vorgesehen, dass das Verfahren oberhalb einer vorbestimmten Leistungsgrenze der Brennkraftmaschine durchgeführt und unterhalb der vorbestimmten Leistungsgrenze nicht durchgeführt wird. Somit ist ein sicherer Start der Brennkraftmaschine, also solange die vorbestimmte Leistungsgrenze noch nicht erreicht ist, gewährleistet. Zudem wird oberhalb der Leistungsgrenze, insbesondere in einem Stationärbetrieb nach dem Startvorgang, ganz besonders an einer Nennlast oder Teillast, die Effizienz der Brennkraftmaschine gesteigert und der Verschleiß verringert.

**[0035]** Die Aufgabe wird insbesondere auch gelöst, indem eine Brennkraftmaschine mit zumindest zwei Zylindern geschaffen wird, wobei die Brennkraftmaschine zumindest zwei Temperatursensoren und ein mit diesen wirkverbundenes Steuergerät aufweist, wobei die Temperatursensoren und das Steuergerät angeordnet und eingerichtet sind, um Abgastemperaturen der zumindest zwei Zylinder, insbesondere eine erste Abgastemperatur eines ersten Zylinders

und eine zweite Abgastemperatur eines zweiten Zylinders, zu erfassen, wobei die Brennkraftmaschine zur Durchführung eines Verfahrens nach einer der vorherstehenden Ausführungsformen eingerichtet ist. Hierdurch ist ein Verschleiß der Brennkraftmaschine beim Betrieb vermieden und die Effizienz erhöht. Zusätzlich sind die Kosten der Brennkraftmaschine, insbesondere die Entwicklungskosten und Montagekosten der Brennkraftmaschine, gering.

**[0036]** Die Brennkraftmaschine ist vorzugsweise als Hubkolbenmotor ausgebildet.

**[0037]** Die Beschreibungen des Verfahrens und der Brennkraftmaschine sind komplementär zueinander zu verstehen. Insbesondere sind Merkmale der Brennkraftmaschine, die explizit oder implizit in Zusammenhang mit dem Verfahren beschrieben wurden, bevorzugt einzeln oder miteinander kombiniert Merkmale der Brennkraftmaschine. Bevorzugt ist die Brennkraftmaschine ausgebildet zur Durchführung wenigstens eines der in Zusammenhang mit dem Verfahren beschriebenen Verfahrensschritte. Verfahrensschritte, die explizit oder implizit in Zusammenhang mit der Brennkraftmaschine beschrieben wurden, sind bevorzugt einzeln oder in Kombination miteinander Schritte einer bevorzugten Ausführungsform des Verfahrens. Insbesondere ist im Rahmen des Verfahrens bevorzugt wenigstens ein Schritt vorgesehen, der sich aus wenigstens einem Merkmal der Brennkraftmaschine ergibt.

**[0038]** Die Erfindung wird im Folgenden anhand der Zeichnung näher erläutert. Dabei zeigt:

**Fig. 1** ein erstes Verfahren gemäß einer ersten Ausführungsform zur Regelung einer mehrzylindrigen Brennkraftmaschine,

**Fig. 2** ein zweites Verfahren gemäß einer zweiten Ausführungsform zur Regelung einer mehrzylindrigen Brennkraftmaschine, und

**Fig. 3** eine schematische Darstellung der mehrzylindrigen Brennkraftmaschine, welche zur Durchführung des Verfahrens gemäß der ersten und/oder zweiten Ausführungsform eingerichtet ist.

**[0039]** **Fig. 1** zeigt ein erstes Verfahren zur Regelung einer mehrzylindrigen Brennkraftmaschine gemäß einer ersten Ausführungsform, wobei die Brennkraftmaschine zumindest zwei Zylinder, nämlich einen ersten Zylinder und einen zweiten Zylinder, aufweist. Dabei werden in einem ersten Schritt S1 Abgastemperaturen der zumindest zwei Zylinder erfasst. Es werden also zumindest eine erste Abgastemperatur des ersten Zylinders und eine zweite Abgastemperatur des zweiten Zylinders erfasst. Aus den so erfassten Abgastemperaturen, insbesondere der ersten Abgastemperatur und der zweiten

Abgastemperatur, wird dann - in einem zweiten Schritt S2 - ein Temperaturreferenzwert ermittelt. In einem dritten Schritt S3 wird die erste Abgastemperatur mit dem Temperaturreferenzwert verglichen. Zudem wird in einem vierten Schritt S4 ein Korrektursignal an eine Zylindersteuerung des ersten Zylinders übermittelt. Mit diesem Verfahren wird vermieden, dass die Brennkraftmaschine mit einer niedrigen Effizienz betrieben wird. Zudem sind die Kosten gegenüber bekannten Verfahren niedrig, da Abgassensoren typischerweise bereits verbaut sind und für dieses Verfahren genutzt werden können.

**[0040]** Vorzugsweise wird in einem fünften Schritt S5, insbesondere während des Vergleichs in dem dritten Schritt S3 der ersten Abgastemperatur mit dem Temperaturreferenzwert, ein Temperaturvergleichswert ermittelt.

**[0041]** In der hier dargestellten Ausführungsform des ersten Verfahrens ist der Temperaturreferenzwert ein arithmetischer Mittelwert von den zumindest zwei Abgastemperaturen. In einer alternativen, hier nicht dargestellten Ausführungsform wird dagegen als Temperaturreferenzwert ein Median oder eine andere statistische Kenngröße einer Abgastemperaturverteilung ermittelt.

**[0042]** Der Temperaturvergleichswert gibt vorzugsweise eine Abweichung zwischen einer der Abgastemperaturen, insbesondere der ersten Abgastemperatur, und dem Temperaturreferenzwert an. Diese Abweichung wird hier als Differenz zwischen Temperaturreferenzwert und Abgastemperatur angegeben, wobei der Temperaturvergleichswert positiv ist, wenn die Abgastemperatur größer ist als der Temperaturreferenzwert.

**[0043]** Nach dem Vergleich in dem dritten Schritt S3 der ersten Abgastemperatur mit dem Temperaturreferenzwert, insbesondere also nach der Ermittlung des Temperaturvergleichswerts in dem fünften Schritt S5, wird in der hier dargestellten Ausführungsform in einem sechsten Schritt S6 überprüft, ob der Temperaturvergleichswert einen Schwellwert, welcher vorzugsweise auf 5 Kelvin gestellt ist, überschreitet.

**[0044]** Das Korrektursignal, welches in dem vierten Schritt S4 an die Zylindersteuerung übermittelt wird, bewirkt hier eine Zündzeitpunktverstellung eines Zündzeitpunkts des ersten Zylinders. Dabei wird in Abhängigkeit von dem Ergebnis des Überprüfens in dem sechsten Schritt S6 der Zündzeitpunkt des ersten Zylinders nach früh oder nach spät verstellt. Sofern der Temperaturvergleichswert größer ist als der Schwellwert, wird das Korrektursignal derart gewählt, dass - nach Übermittlung in dem vierten Schritt S4 des Korrektursignals an die Zylindersteue-

rung - in einem siebenten Schritt S7 eine Verstellung nach früh des Zündzeitpunkts durchgeführt wird.

**[0045]** Ist dagegen der Tempovergleichswert kleiner als der Schwellwert, wird der Zündzeitpunkt zumindest nicht nach früh verstellt. Vorzugsweise wird in diesem Fall in einem achten Schritt S8 eine Zündzeitpunktverstellung verhindert und somit nicht durchgeführt. Dabei wird das Korrektursignal derart gewählt, dass die Zylindersteuerung keine Verstellung bewirkt. Alternativ wird der Zündzeitpunkt mittels des Korrektursignals in einem neunten Schritt S9 nach spät verstellt. Die Spätverstellung wird insbesondere dann durchgeführt, wenn der Temperaturvergleichswert negativ ist.

**[0046]** Besonders bevorzugt wird ein weiterer, negativer Schwellwert bestimmt, welcher eine maximale, negative Abweichung der ersten Abgastemperatur zu dem Temperaturvergleichswert definiert. Ist der Temperaturvergleichswert negativ und weicht zudem um mehr als den negativen Schwellwert von dem Temperaturreferenzwert ab, wird bevorzugt die Spätverstellung durchgeführt. Hierdurch können Zylinder, mit einer vergleichsweise niedrigen Abgastemperatur hochgeregelt werden, sodass sie sich einem durchschnittlichen Leistungsniveau der zumindest zwei Zylinder annähern. Damit wird die Gesamteffizienz der zumindest zwei Zylinder weiter erhöht. Zudem kann die Regelung zu einer optimalen Effizienz hin schneller erfolgen, da Zylinder in ihrer Leistung nicht nur runter geregelt sondern auch hoch geregelt werden können.

**[0047]** **Fig. 2** zeigt ein zweites Verfahren gemäß einer zweiten Ausführungsform der Erfindung. Dieses zweite Verfahren umfasst, wie auch das erste Verfahren gemäß der ersten Ausführungsform, den ersten Schritt S1, den zweiten Schritt S2, den dritten Schritt S3, den vierten Schritt S4, den fünften Schritt S5 und den sechsten Schritt S6. Anders als in dem ersten Verfahren wird hier in dem zweiten Verfahren zusätzlich in einem zehnten Schritt S10 eine Klopf-signalprüfung durchgeführt. Anschließend wird das Korrektursignal in Abhängigkeit von dem Klopf-signal und der Überprüfung in dem sechsten Schritt S6 ermittelt.

**[0048]** Die Klopf-signalprüfung in dem zehnten Schritt S10 kann vor oder nach dem Überprüfen der Sollwertüberschreitung in dem sechsten Schritt S6 durchgeführt werden. In **Fig. 2** findet die Klopf-signalprüfung nach der Überprüfung des Temperaturvergleichswerts des sechstens Schrittes S6 statt. Wird beim Überprüfen festgestellt, dass der Temperaturvergleichswert oberhalb des Schwellwerts liegt, wird der Zustand des ersten Zylinders relativ zu den übrigen Zylindern als ein hoher Leistungszustand Z1 festgelegt. Wird dagegen festgestellt, dass der Temperaturvergleichswert nicht oberhalb des Schwell-

werts liegt, wird der Zustand des ersten Zylinders als ein niedriger Leistungszustand Z2 festgelegt.

**[0049]** Sofern die Klopfsignalprüfung ergibt, dass ein Klopfen der Brennkraftmaschine vorhanden und/oder zu stark ist, wird gemäß der zweiten Ausführungsform des Verfahrens das Korrektursignal derart gewählt, dass die Spätverstellung in dem neunten Schritt S9 des Zündzeitpunkts durchgeführt wird. Ergibt die Klopfsignalprüfung jedoch, dass kein Klopfen oder nur ein vernachlässigbares Klopfen vorliegt, wird der Zündzeitpunkt in Abhängigkeit von dem Überprüfen in dem sechsten Schritt S6 nach früh oder nicht verstellt. Die Frühverstellung gemäß dem siebenten Schritt S7 des Zündzeitpunkts wird durchgeführt, wenn der Temperaturvergleichswert den Schwellwert überschreitet, wobei keine Zündzeitpunktverstellung durchgeführt wird, wenn der Temperaturvergleichswert den Schwellwert nicht überschreitet.

**[0050]** Fig. 3 zeigt eine Brennkraftmaschine 1 mit zumindest zwei Zylindern, nämlich einem ersten Zylinder 3 und einem zweiten Zylinder 5. Es ist möglich, dass die Brennkraftmaschine 1 neben dem ersten Zylinder 3 und dem zweiten Zylinder 5 weitere Zylinder 7 aufweist, welche in der Zeichnung nur angedeutet und nicht explizit dargestellt sind. Jeder der Zylinder 3, 5, 7 ist über eine Brennstoffzuleitung 9 mit einem Brennstoff versorgbar.

**[0051]** Zusätzlich weist die Brennkraftmaschine 1 zumindest zwei Temperatursensoren auf, nämlich einen ersten Temperatursensor 11 und einen zweiten Temperatursensor 13. Jeder dieser Temperatursensoren ist dabei einem Zylinder 3, 5, 7 zugeordnet. In dem hier dargestellten Ausführungsbeispiel sind die Temperatursensoren 11, 13 jeweils an einem Abgasstrang 15 der Brennkraftmaschine 1 angeordnet. Mittels eines mit den Temperatursensoren wirkverbundenen Steuergeräts 17 sind sie außerdem eingerichtet, um - gemäß einem der zuvor beschriebenen Ausführungsformen des Verfahrens - Abgastemperaturen zu erfassen und/oder Zündzeitpunkte des ersten Zylinders 3 und/oder des zweiten Zylinders 5 nach früh und/oder nach spät zu verstellen.

**[0052]** Das Steuergerät 17 ist zudem eingerichtet, um die Zylinder 3, 5, 7 in Abhängigkeit von den erfassten Abgastemperaturen zu steuern. Hierzu wird das Korrektursignal gemäß einem der zuvor beschriebenen Verfahren bestimmt und an eine Zylindersteuerungseinheit des Steuergeräts übermittelt. Um die Abgastemperaturen zu erfassen und um den ersten Zylinder 3 und/oder den zweiten Zylinder zu steuern, weist die Brennkraftmaschine 1 Steuerleitungen 19 auf, welche das Steuergerät 17 steuerungstechnisch mit dem ersten Zylinder 3 und/oder dem zweiten Zylinder 5, sowie dem ersten Tempera-

tursensor 11 und/oder dem zweiten Temperatursensor 13 verbinden.

**[0053]** Somit können alle Zylinder 3, 5, 7 der Brennkraftmaschine 1 leistungstechnisch aneinander angepasst werden, wodurch die Effizienz der Brennkraftmaschine 1 sehr hoch ist. Zudem sind hierdurch der Verschleiß der Zylinder 3, 5, 7 und die Kosten sehr niedrig.

## Patentansprüche

1. Verfahren zur Regelung einer mehrzylindrigen Brennkraftmaschine (1), wobei die Brennkraftmaschine (1) zumindest zwei Zylinder (3; 5; 7) aufweist, wobei in einem ersten Schritt (S1) Abgastemperaturen der zumindest zwei Zylinder (3; 5; 7) erfasst werden, wobei in einem zweiten Schritt (S2) aus den erfassten Abgastemperaturen ein Temperaturreferenzwert ermittelt wird, wobei in einem dritten Schritt (S3) eine erste Abgastemperatur eines ersten Zylinders (3) der zumindest zwei Zylinder (3; 5; 7) mit dem Temperaturreferenzwert verglichen wird, wobei in einem vierten Schritt (S4) ein Korrektursignal an eine Zylindersteuerung des ersten Zylinders (8) übermittelt wird, wobei bei Überschreiten oder Unterschreiten eines Schwellwerts durch einen Temperaturvergleichswert ein dem ersten Zylinder (3) zugeordnetes Klopfsignal zur Ermittlung des Korrektursignals verwendet wird, wobei mittels der Zylindersteuerung ein Zündzeitpunkt des ersten Zylinders (3) nach früh verstellt wird, wenn das Klopfsignal in einem akzeptierten Wertebereich ist, oder nach spät verstellt wird, wenn das Klopfsignal in einem nicht-akzeptierten Wertebereich ist.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass beim Vergleich von der ersten Abgastemperatur mit dem Temperaturreferenzwert der Temperaturvergleichswert ermittelt wird und/oder überprüft wird, ob der Temperaturvergleichswert den Schwellwert überschreitet.

3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Schwellwert 5 Kelvin beträgt.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Schwellwertüberschreitung des Temperaturvergleichswerts ermittelt wird, welche zur Ermittlung des Korrektursignals verwendet wird.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Korrektursignal eine Zündzeitpunktverstellung des Zündzeitpunkts des ersten Zylinders (3) bewirkt.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass bei

Unterschreiten des Schwellwerts durch den Temperaturvergleichswert zumindest keine Verstellung des Zündzeitpunkts des ersten Zylinders (3) nach früh durchgeführt wird.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Verfahren oberhalb einer vorbestimmten Leistungsgrenze der Brennkraftmaschine (1) durchgeführt und unterhalb der vorbestimmten Leistungsgrenze nicht durchgeführt wird.

8. Brennkraftmaschine (1) mit zumindest zwei Zylindern (3; 5; 7), wobei die Brennkraftmaschine (1) zumindest zwei Temperatursensoren (11; 13) und ein mit diesen wirkverbundenes Steuergerät (17) aufweist, wobei die Temperatursensoren (11; 13) und das Steuergerät (17) angeordnet und eingerichtet sind, um Abgastemperaturen der zumindest zwei Zylinder (3; 5; 7) zu erfassen, wobei die Brennkraftmaschine (1) zur Durchführung eines Verfahrens nach einem der vorhergehenden Ansprüche eingerichtet ist.

Es folgen 3 Seiten Zeichnungen



Anhängende Zeichnungen

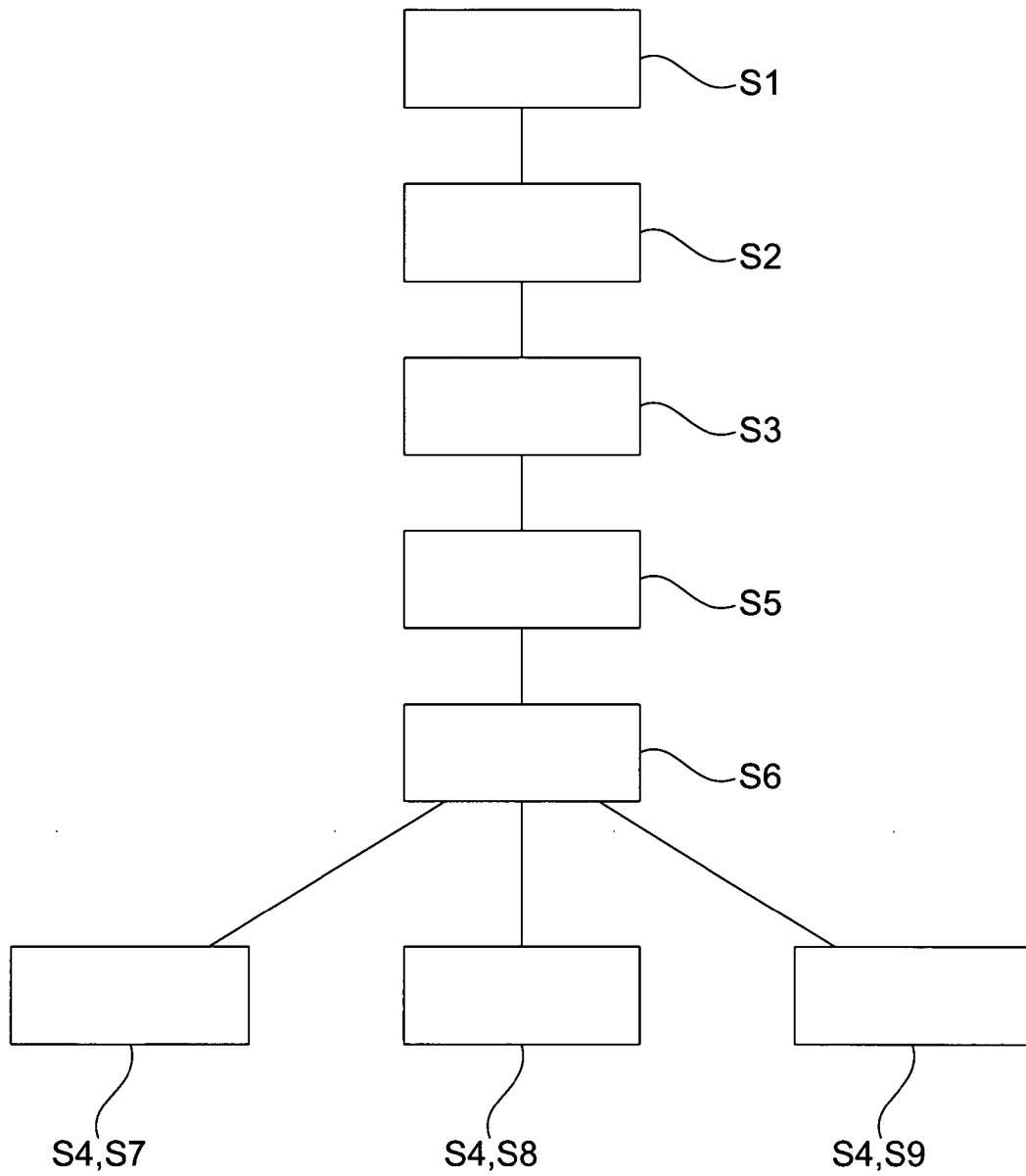


Fig. 1

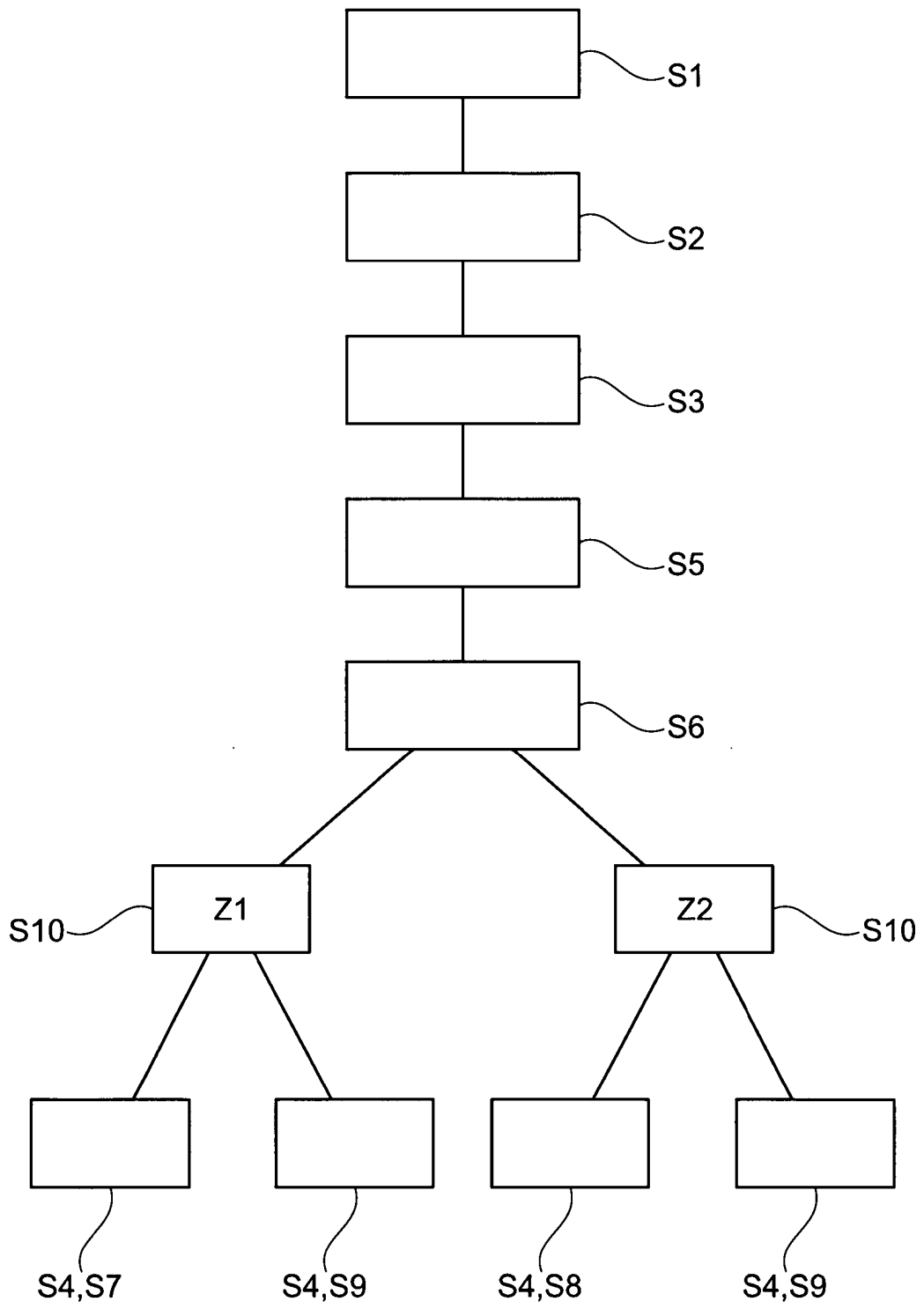


Fig. 2

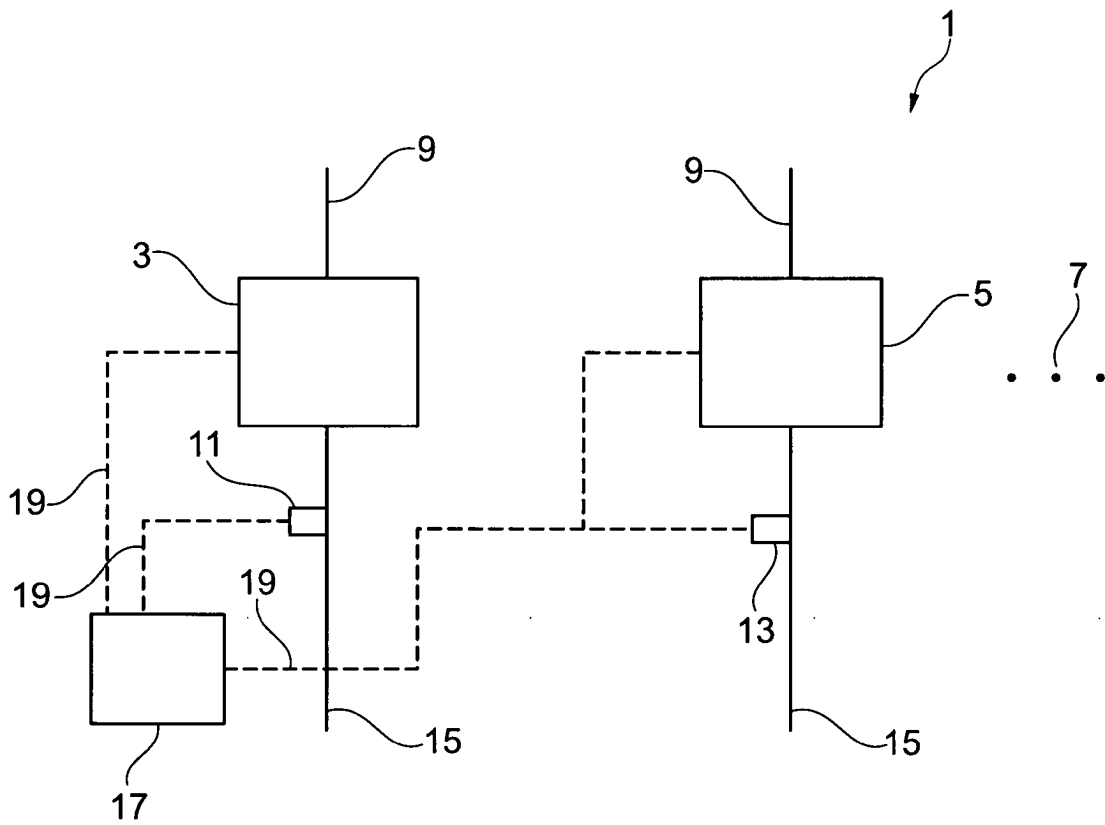


Fig. 3