



(12)

## Veröffentlichung

der internationalen Anmeldung mit der

(87) Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2020/040014**

in der deutschen Übersetzung (Art. III § 8 Abs. 2  
IntPatÜG)

(21) Deutsches Aktenzeichen: **11 2019 003 685.8**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/JP2019/031915**

(86) PCT-Anmeldetag: **14.08.2019**

(87) PCT-Veröffentlichungstag: **27.02.2020**

(43) Veröffentlichungstag der PCT Anmeldung  
in deutscher Übersetzung: **06.05.2021**

(51) Int Cl.: **F02D 45/00 (2006.01)**

(30) Unionspriorität:  
**2018-154508 21.08.2018 JP**

(71) Anmelder:  
**Hitachi Automotive Systems, Ltd., Hitachinaka-shi, Ibaraki, JP; Suzuki Motor Corporation, Hamamatsu-shi, Shizuoka, JP**

(74) Vertreter:  
**MERH-IP Matias Erny Reichl Hoffmann Patentanwälte PartG mbB, 80336 München, DE**

(72) Erfinder:  
**Namba, Shogo, Tokyo, JP; Oryoji, Kazuhiro, Tokyo, JP; Saruwatari, Masayuki, Hitachinaka-shi, Ibaraki, JP; Kojima, Hiraku, Hamamatsu-shi, Shizuoka, JP; Ikemoto, Akio, Hamamatsu-shi, Shizuoka, JP; Nakama, Kenjiro, Hamamatsu-shi, Shizuoka-ken, JP**

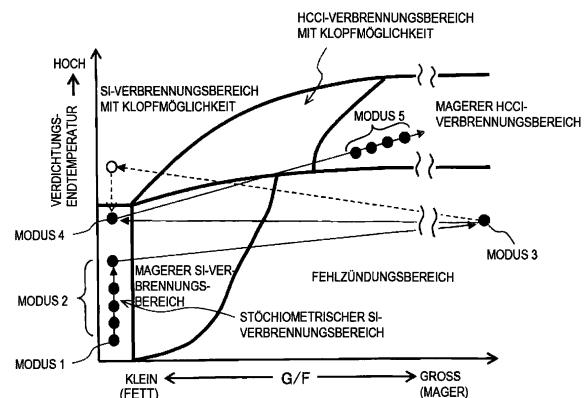
Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.**

(54) Bezeichnung: **VERBRENNUNGSMOTOR-STEUERVERRICHTUNG UND VERBRENNUNGSMOTOR-STEUERVERFAHREN**

(57) Zusammenfassung: Es wird eine Verbrennungsmotor-Steuervorrichtung bereitgestellt, die einen zufriedenstellenden Übergang von einem SI-Verbrennung-Steuermodus in einen HCCI-Verbrennung-Steuermodus ermöglicht, indem eine Umgebungstemperatur in der Brennkammer während eines Umschaltens von dem SI-Verbrennung-Steuermodus in den HCCI-Verbrennung-Steuermodus hoch gehalten wird. Wenn von dem SI-Verbrennung-Steuermodus in den HCCI-Verbrennung-Steuermodus umgeschaltet wird, führt die Steuervorrichtung eine Steuerung durch, um eine Temperatur zu erhöhen, indem sie mindestens eine Kraftstoffeinspritzung, eine Zündung und die Öffnungs- und Schließphase eines Einlass- und eines Auslassventils steuert, wodurch die Verdichtungsendtemperatur eines Luft-Kraftstoff-Gemischs in der Brennkammer während eines Übergangs zu der HCCI-Verbrennung erhöht wird und ein Übergang zu dem HCCI-Verbrennung-Steuermodus stattfindet. Im Laufe des Umschaltens von dem SI-Verbrennung-Steuermodus in den HCCI-Verbrennung-Modus werden die Kraftstoffeinspritzung, die Zündung und die Öffnungs- und Schließphase des Einlass- und des Auslassventils angemessen gesteuert und die Verdichtungsendtemperatur des Luft-Kraftstoff-Gemischs in dem Zylinder kann auf eine für eine HCCI-Verbrennung geeignete Temperatur festgelegt werden. Es wird ermöglicht, einen zufriedenstellenden Übergang von dem SI-Verbren-

nung-Steuermodus in den HCCI-Verbrennung-Steuermodus durchzuführen.



**Beschreibung****Technisches Gebiet**

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft eine Vorrichtung und ein Verfahren zur Steuerung eines Verbrennungsmotors und insbesondere eine Vorrichtung und ein Verfahren zur Steuerung eines Verbrennungsmotors, bei denen ein Umschalten zwischen zwei Verbrennungsweisen durchgeführt wird: zwischen einer vorgemischten Funkenzündungsverbrennung und einer vorgemischten Kompressionszündungsverbrennung.

**Stand der Technik**

**[0002]** Verbrennungsmotoren, welche eine vorgemischte Funkenzündungsverbrennung durch eine Zündkerze einsetzen, sind bezüglich einer Verbesserung eines thermischen Wirkungsgrads mittels Erhöhens eines Verdichtungsverhältnisses Grenzen gesetzt, da ein übermäßig erhöhtes Verdichtungsverhältnis zum Zweck eines verbesserten thermischen Wirkungsgrads zu einer anomalen Verbrennung führt, die z. B. Klopfen und Vorzündung genannt wird. Daher werden derzeit Verbrennungsmotoren entwickelt, die eine vorgemischte Kompressionszündungsverbrennung einsetzen, bei der ein mageres brennbares Luft-Kraftstoff-Gemisch, welches mit frischer Luft und Abgas verdünnt ist, durch einen Kolben verdichtet und eine Selbstzündungsverbrennung durchgeführt wird.

**[0003]** Man beachte, dass die vorgemischte Funkenzündungsverbrennung in der folgenden Beschreibung und auch in den Zeichnungen als „SI-Verbrennung“ (SI für Spark Ignition, auf Deutsch Funkenzündung) bezeichnet wird und die vorgemischte Kompressionszündungsverbrennung als „HCCI-Verbrennung“ (HCCI für Homogenous Charge Compression Ignition, auf Deutsch Homogene Kompressionszündung) bezeichnet wird.

**[0004]** Für Verbrennungsmotoren, die eine HCCI-Verbrennung einsetzen, kann das Verdichtungsverhältnis im Vergleich zu Verbrennungsmotoren, die eine herkömmliche SI-Verbrennung einsetzen, höher festgelegt werden und darüber hinaus ermöglicht das Verhalten einer Verbrennung eines mageren brennbaren Luft-Kraftstoff-Gemischs, die bei niedrigeren Verbrennungstemperaturen stattfindet, dass eine Reduzierung eines Kühlverlusts (Anstieg einer Zylinderwand-Oberflächentemperatur) sowie eine NOx-Reduzierung erzielt werden. Für eine HCCI-Verbrennung ist es jedoch notwendig, eine zylinderinterne Temperatur, ein Verhältnis einer Verdünnung mit frischer Luft und Abgas, einen Kraftstoffeinspritzungszeitpunkt usw. genau zu verwalten, da der Zündungszeitpunkt des Luft-Kraftstoff-Gemischs während ei-

nes Verdichtungstakts von einem chemischen Reaktionsvorgang abhängt.

**[0005]** Bei Verbrennungsmotoren, die eine HCCI-Verbrennung einsetzen, ist ein Betriebsbereich, in dem eine normale Verbrennung umgesetzt werden kann, schmäler als bei Verbrennungsmotoren, die eine herkömmliche SI-Verbrennung einsetzen, und es ist bei einer HCCI-Verbrennung unmöglich, den gesamten Bereich eines praktischen Betriebs abzudecken. Aus diesem Grund ist es erforderlich, zwischen einem SI-Verbrennung-Steuermodus und einem HCCI-Verbrennung-Steuermodus umzuschalten. Umgebungsbedingungen, wie etwa die Konzentration eines brennbaren Luft-Kraftstoff-Gemischs und die Temperatur der Brennkammer, weichen zwischen dem SI-Verbrennung-Steuermodus und dem HCCI-Verbrennung-Steuermodus erheblich ab. Folglich entsteht das folgende Problem: Allein durch ein einfaches Ändern von Steuerbefehlswerten für eine Kraftstoffeinspritzdauer, einen Zündungszeitpunkt usw., wenn zwischen diesen Verbrennungsmodi umgeschaltet wird, könnten eine Fehlzündung und eine anomale Verbrennung stattfinden, die zu einem Anstieg schädlicher Abgasbestandteile und einer verschlechterten Betriebsfähigkeit führen.

**[0006]** Als Mittel zur Lösung eines solchen Problems wird z. B. in der japanischen offengelegten Patentanmeldung Nr. 2015-140728 (PTL 1) vorgeschlagen, eine Steuerung zu implementieren, um ein effektives Verdichtungsverhältnis zu erhöhen, während für einen Zeitraum eines Zwischenzustands, wenn von dem SI-Verbrennung-Steuermodus in den HCCI-Verbrennung-Steuermodus umgeschaltet wird, eine Kraftstoff-Abschaltung durchgeführt wird. Gemäß PTL 1 liegt eine Beschreibung vor, dass eine Steuervorrichtung eine effiziente Umschaltung von einem Verbrennungsmodus in den anderen Verbrennungsmodus erzielen kann.

**Aufgeführte Literatur****Patentliteratur**

**[0007]** PTL 1: Japanische offengelegte Patentanmeldung Nr. 2015-140728

**Kurzfassung der Erfindung****Technische Aufgabe**

**[0008]** Nebenbei bemerkt, wird gemäß PTL 1 eine Steuerung implementiert, um die Drehzahl zu verringern, während für einen Zeitraum eines Zwischenzustands, wenn von dem SI-Verbrennung-Steuermodus in den HCCI-Verbrennung-Steuermodus umgeschaltet wird, eine Kraftstoff-Abschaltung durchgeführt wird. Daher findet aufgrund der Kraftstoff-Abschaltung während eines Übergangs von dem

SI-Verbrennung-Steuermodus in den HCCI-Verbrennung-Steuermodus keine Verbrennung statt. Es besteht die Möglichkeit, dass Umgebungsbedingungen, damit eine HCCI-Verbrennung stattfindet, aufgrund einer schnellen Abnahme der Umgebungstemperatur in der Brennkammer nicht erfüllt werden. Das führt zu dem Problem, dass der Übergang von dem SI-Verbrennung-Steuermodus in den HCCI-Verbrennung-Steuermodus nicht zufriedenstellend durchgeführt werden kann.

**[0009]** Es ist eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine neue Vorrichtung und ein neues Verfahren zur Steuerung eines Verbrennungsmotors bereitzustellen, welche es zulassen, dass Umgebungsbedingungen geschaffen werden können, die einen zufriedenstellenden Übergang von dem SI-Verbrennung-Steuermodus in den HCCI-Verbrennung-Steuermodus ermöglichen, wenn von dem SI-Verbrennung-Steuermodus in den HCCI-Verbrennung-Steuermodus umgeschaltet wird.

#### Lösung der Aufgabe

**[0010]** Ein Hauptmerkmal der vorliegenden Erfindung liegt in der Durchführung einer Steuerung, um eine Temperatur zu erhöhen, während von dem SI-Verbrennung-Steuermodus in den HCCI-Verbrennung-Steuermodus umgeschaltet wird, wobei die Steuerung ein Steuern mindestens einer Kraftstoffeinspritzungsmenge, eines Zündungszeitpunkts und der Öffnungs- und Schließphase eines Einlass- und eines Auslassventils umfasst, wodurch die Verdichtungsendtemperatur eines Luft-Kraftstoff-Gemischs in der Brennkammer während eines Übergangs zu der HCCI-Verbrennung erhöht wird und ein Übergang zu dem HCCI-Verbrennung-Steuermodus stattfindet.

#### Vorteilhafte Wirkungen der Erfindung

**[0011]** Gemäß der vorliegenden Erfindung werden im Laufe des Umschaltens von dem SI-Verbrennung-Steuermodus in den HCCI-Verbrennung-Modus die Kraftstoffeinspritzungsmenge, der Zündungszeitpunkt und die Öffnungs- und Schließphase des Einlass- und des Auslassventils angemessen gesteuert und die Verdichtungsendtemperatur eines Luft-Kraftstoff-Gemischs in der Brennkammer kann auf eine für eine HCCI-Verbrennung geeignete Temperatur festgelegt werden. Es wird ermöglicht, einen zufriedenstellenden Übergang von dem SI-Verbrennung-Steuermodus in den HCCI-Verbrennung-Steuermodus durchzuführen.

#### Figurenliste

**Fig. 1** ist eine Systemstrukturdarstellung, die eine Struktur eines Verbrennungsmotorsystems darstellt, für welches die vorliegende Erfindung gilt.

**Fig. 2** ist ein erläuterndes Diagramm zur Erklärung von Verbrennungsbereichen basierend auf einem zylinderinternen Gas-Kraftstoff-Verhältnis (G/F für gas/fuel) eines brennbaren Luft-Kraftstoff-Gemischs und einer Verdichtungsendtemperatur des brennbaren Luft-Kraftstoff-Gemischs.

**Fig. 3** ist ein erläuterndes Diagramm zur Erklärung von Eigenschaften eines Einlassventils und eines Auslassventils, wenn die Phase und der Hub dieser Ventile gesteuert werden.

**Fig. 4** ist ein erläuterndes Diagramm zur Erklärung der Phasen des Einlassventils und des Auslassventils und von Änderungen der internen AGR sowie der Umgebungstemperatur der Brennkammer.

**Fig. 5A** ist ein Kennfeld zur Erklärung einer Eigenschaft einer Einspritzmenge gegenüber einer Einspritzimpulsdauer.

**Fig. 5B** ist ein erläuterndes Diagramm zur Erklärung einer Verbrennungsform eines Luft-Kraftstoff-Gemischs basierend auf einer Verdichtungsendtemperatur und einer Einspritzimpulsdauer.

**Fig. 6** ist ein Flussdiagramm, das einen Steuerfluss veranschaulicht, wenn von dem SI-Verbrennung-Steuermodus in den HCCI-Verbrennung-Steuermodus umgeschaltet wird, wobei der Steuerfluss eine repräsentative Ausführungsform der vorliegenden Erfindung erläutert.

**Fig. 7** ist ein erläuterndes Diagramm zur Erklärung eines Verhaltens von repräsentativen Steuerzielwerten, wenn von dem SI-Verbrennung-Steuermodus in den HCCI-Verbrennung-Steuermodus umgeschaltet wird, gemäß einer ersten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

**Fig. 8** ist ein erläuterndes Diagramm zur Erklärung von Änderungen von in **Fig. 7** dargestellten repräsentativen Zustandsgrößen, wenn von dem SI-Verbrennung-Steuermodus in den HCCI-Verbrennung-Steuermodus umgeschaltet wird.

**Fig. 9** ist ein erläuterndes Diagramm zur Erklärung eines Verbrennungszustandsübergangs basierend auf dem in **Fig. 7** dargestellten zylinderinternen Gas-Kraftstoff-Verhältnis (G/F) eines brennbaren Luft-Kraftstoff-Gemischs und der Verdichtungsendtemperatur, wenn von dem SI-Verbrennung-Steuermodus in den HCCI-Verbrennung-Steuermodus umgeschaltet wird.

**Fig. 10** ist ein erläuterndes Diagramm zur Erklärung eines Verhaltens von repräsentativen Steuerzielwerten, wenn von dem SI-Verbrennung-Steuermodus in den HCCI-Verbrennung-Steuermodus umgeschaltet wird, gemäß einer

zweiten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

**Fig. 11** ist ein erläuterndes Diagramm zur Erklärung von Änderungen von in **Fig. 10** dargestellten repräsentativen Zustandsgrößen, wenn von dem SI-Verbrennung-Steuermodus in den HCCI-Verbrennung-Steuermodus umgeschaltet wird.

**Fig. 12** ist eine Systemstrukturdarstellung, die eine Struktur eines weiteren Verbrennungsmotorsystems darstellt, für welches die vorliegende Erfindung gilt.

**Fig. 13** ist ein erläuterndes Diagramm zur Erklärung eines Verhaltens von repräsentativen Steuerzielwerten, wenn von dem SI-Verbrennung-Steuermodus in den HCCI-Verbrennung-Steuermodus umgeschaltet wird, gemäß einer dritten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung, welche für das in **Fig. 12** dargestellte Verbrennungsmotorsystem ausgelegt ist.

**Fig. 14** ist ein erläuterndes Diagramm zur Erklärung von Änderungen von in **Fig. 13** dargestellten repräsentativen Zustandsgrößen, wenn von dem SI-Verbrennung-Steuermodus in den HCCI-Verbrennung-Steuermodus umgeschaltet wird.

**Fig. 15** ist ein erläuterndes Diagramm zur Erklärung eines Verbrennungszustandsübergangs basierend auf dem in **Fig. 14** dargestellten zylinderinternen Gas-Kraftstoff-Verhältnis (G/F) eines brennbaren Luft-Kraftstoff-Gemischs und der Verdichtungsendtemperatur, wenn von dem SI-Verbrennung-Steuermodus in den HCCI-Verbrennung-Steuermodus umgeschaltet wird.

#### Beschreibung von Ausführungsformen

**[0012]** Im Folgenden werden Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung ausführlich mithilfe der beigefügten Zeichnungen beschrieben. Die vorliegende Erfindung ist nicht als auf die im Folgenden beschriebenen Ausführungsformen beschränkt auszulegen, und auch verschiedene Modifizierungen und Anwendungen sind im Umfang des technischen Konzepts der vorliegenden Erfindung enthalten.

#### Beispiel 1

**[0013]** Eine erste Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird im Folgenden ausführlich mithilfe von **Fig. 1** bis **Fig. 9** beschrieben. Man beachte, dass für die erste Ausführungsform die Beschreibung im Folgenden einen Betrieb betrifft, wenn von dem SI-Verbrennung-Steuermodus in den HCCI-Verbrennung-Steuermodus in einem Zustand umgeschaltet wird, in dem Umgebungsbedingungen, unter welchen eine HCCI-Verbrennung durchgeführt werden kann, unter einem nicht turboaufgeladenen Zustand, erfüllt sind,

in dem ein Turbolader keine Turboaufladung ausführt hat.

**[0014]** **Fig. 1** stellt eine Struktur eines Verbrennungsmotorsystems dar, für welches die vorliegende Erfindung gilt. Mit einem Verbrennungsmotor **1** sind ein Einlassströmungsweg (ein Ansaugrohr) und ein Auslassströmungsweg (ein Abgasrohr) verbunden. Der Verbrennungsmotor **1** ist mit einem Turbolader **4** ausgestattet, in dem eine Turbine **2** durch eine Abgasgeschwindigkeits- und Abgasdruckenergie gedreht wird, und Ansaugluft wird durch einen Verdichter **3** turboaufgeladen bzw. verdichtet. Stromabwärts von dem Verdichter **3** ist ein Ladeluftkühler **5** vorgesehen und ein Drosselventil **6** zur Steuerung der Ansaugluftmenge, die durch den Einlassströmungsweg in einen Zylinder **7** strömt, ist stromabwärts von dem Ladeluftkühler montiert. Das Drosselventil **6** ist ein elektronisch gesteuertes Drosselventil, dessen Ventilöffnung durch einen Elektromotor als Reaktion auf den Niederdruckbetrag eines Gaspedals gesteuert werden kann.

**[0015]** Ein Ansaugkrümmer **8** ist stromabwärts von dem Drosselventil **6** verbunden und ein Ansauglufttemperatur/-drucksensor **9** zur Erfassung einer Ansauglufttemperatur und eines Ansaugluftdrucks ist auf dem Ansaugkrümmer **8** montiert. Zudem ist ein Strömungsverstärkungsventil **10** zur Verstärkung einer Luftströmungsturbulenz im Inneren des Zylinders **7C**, indem eine Treibströmung in der Ansaugluftströmung erzeugt wird, stromabwärts von dem Ansaugkrümmer **8** angeordnet.

**[0016]** Im Inneren des Zylinders **7C** ist ein Kolben **7P** angeordnet und auf dem Zylinder **7C** ist darüber hinaus ein Kraftstoff-Einspritzventil **11** eines direkten Einspritztyps zur direkten Einspritzung von Kraftstoff in eine Brennkammer, die durch den Zylinder **7C** und den Kolben **7P** gebildet ist, angeordnet. Der Verbrennungsmotor **1** weist ein Einlassventil **12** und ein Auslassventil **13** auf, von denen jedes mit einem verstellbaren Ventilmechanismus ausgestattet ist, der die Öffnungs- und Schließphase und den Hub des Einlass- und des Auslassventils kontinuierlich verändert. Des Weiteren sind in dem verstellbaren Ventilmechanismus auf dem Einlassventil **12** bzw. dem Auslassventil **13** Ventilstellungssensoren **14**, **15** zur Erfassung der Öffnungs- und Schließphase und des Hubs des Einlass- und des Auslassventils montiert. Zudem ist eine Zündkerze **16** auf einem Zylinderkopfabschnitt derart montiert, dass ein Elektrodenabschnitt der Kerze im Inneren des Zylinders **7** freiliegt und ihre Funkenbildung ein brennbares Luft-Kraftstoff-Gemisch zündet.

**[0017]** Ein Kurbelwinkelsensor **17** ist auf einer Kurbelwelle montiert und eine Drehzahl des Verbrennungsmotors **1** kann basierend auf einem Signal erfasst werden, das von dem Kurbelwinkelsensor **17**

ausgegeben wird. Ferner ist eine Lichtmaschine 21, die mit einer Motorfunktion vorgesehen ist, mit einem Kurbelwellenabschnitt gekoppelt, um Motordrehmomentveränderungen einzuschränken. In der vorliegenden Ausführungsform ist es in einer Situation, in der eine Motordrehmomentveränderung stattfindet, möglich, eine derartige Veränderung einzuschränken, indem die Lichtmaschine 21 angetrieben wird, die mit der Motorfunktion vorgesehen ist.

**[0018]** Auf dem Auslassströmungsweg ist ein Abgastemperatur-/drucksensor 18 zur Erfassung einer Abgastemperatur und eines Abgasdrucks montiert. Die Turbine 2 des Turboladers 4, die vorangehend erwähnt wurde, ist stromabwärts von dem Abgastemperatur-/drucksensor 18 in dem Auslassströmungsweg angeordnet. Stromabwärts von der Turbine 2 ist ein Luft-Kraftstoff-Verhältnissensor 19 montiert und, basierend auf einem durch den Luft-Kraftstoff-Verhältnissensor 19 erfassten Signal, wird eine Rückkopplungssteuerung durchgeführt, sodass eine Kraftstoffeinspritzungsmenge, welche von dem Kraftstoff-Einspritzventil 11 zugeführt wird, ein Ziel-Luft-Kraftstoff-Verhältnis ergibt.

**[0019]** In der vorliegenden Ausführungsform ist außerdem eine ECU (für Engine Control Unit, Motorsteuereinheit) 20, die ein elektronisches Steuermittel ist, vorgesehen, wie in **Fig. 1** dargestellt. Mit der ECU 20 sind verschiedene vorangehend erwähnte Sensoren und verschiedene Stellglieder verbunden. Stellglieder, wie etwa das Drosselventil 6, das Kraftstoff-Einspritzventil 11 und das Einlass- und das Auslassventil 12 und 13 mit den verstellbaren Ventilmechanismen werden durch Steuersignale gesteuert, die von der ECU 20 ausgegeben werden. Darüber hinaus erfasst die ECU 20, basierend auf Sensorsignalen, die von verschiedenen vorangehend erwähnten Sensoren eingegeben wurden, einen Betriebszustand des Verbrennungsmotors 1 und sie berechnet verschiedene Steuersignale gemäß dem Betriebszustand. Man beachte, dass ein Signal, das von der ECU 20 an das Kraftstoff-Einspritzventil 11 übertragen wird, in der folgenden Beschreibung als ein Einspritzsignal bezeichnet wird und ein Signal, das an die Zündkerze 16 übertragen wird, als ein Zündsignal bezeichnet wird.

**[0020]** **Fig. 2** stellt Betriebsbereiche basierend auf einem zylinderinternen Gas-Kraftstoff-Verhältnis (G/F) des brennbaren Luft-Kraftstoff-Gemischs im Inneren des Zylinders 7 und einer Verdichtungsendtemperatur dar. Die Verdichtungsendtemperatur stellt eine Umgebungstemperatur in der Brennkammer (= zylinderinterne Umgebungstemperatur) unmittelbar vor einer Zündung des brennbaren Luft-Kraftstoff-Gemischs im Falle einer SI-Verbrennung und eine Umgebungstemperatur in der Brennkammer unmittelbar vor einer Selbstzündung des brennbaren Luft-Kraftstoff-Gemischs im Falle einer HCCI-Verbren-

nung dar. Daher kann die Verdichtungsendtemperatur in der folgenden Beschreibung als die Umgebungstemperatur in der Brennkammer bezeichnet werden.

**[0021]** In **Fig. 2** ist ein „stöchiometrischer SI-Verbrennungsbereich“ ein Bereich, in dem der Motor unter Bedingungen betrieben wird, unter denen die Verdichtungsendtemperatur niedrig ist, das Luft-Kraftstoff-Gemisch homogen ist und das zylinderinterne Gas-Kraftstoff-Verhältnis (G/F) des Gemischs nahe einem stöchiometrischen Gemischverhältnis liegt. Ein „magerer SI-Verbrennungsbereich“ ist ein Bereich, in dem der Motor unter Bedingungen betrieben wird, unter denen die Verdichtungsendtemperatur niedrig ist, das Luft-Kraftstoff-Gemisch homogen ist und das Luft-Kraftstoff-Verhältnis sowie das Gas-Kraftstoff-Verhältnis (G/F) des Gemischs mager sind, d. h. ein mageres Gemischverhältnis. Man beachte, dass eine Nähe zu dem stöchiometrischen Gemischverhältnis einen Bereich umfasst, in dem HC, CO, NOx usw. im Abgas mit einem Drei-Wege-Katalysator gereinigt werden können. Ein „SI-Verbrennungsbereich mit Klopfmöglichkeit“ ist ein Bereich, in dem ein Klopfen auftreten kann, wenn eine Klopfgrenztemperatur Tnock aufgrund eines Anstiegs der Verdichtungsendtemperatur überschritten wird. Es ist notwendig, den Motor unter Vermeidung einer Verbrennung in dem „SI-Verbrennungsbereich mit Klopfmöglichkeit“ zu betreiben.

**[0022]** Außerdem bezeichnet ein „magerer HCCI-Verbrennungsbereich“ einen Bereich, in dem eine Funkenzündung durch die Zündkerze 16 stoppt und das brennbare Luft-Kraftstoff-Gemisch verdichtet sowie selbstgezündet und somit verbrannt wird. Der „magere HCCI-Verbrennungsbereich“ ist ein Bereich, in dem der Motor unter Bedingungen betrieben wird, unter denen die Verdichtungsendtemperatur hoch ist, das Luft-Kraftstoff-Gemisch homogen ist und das Gas-Kraftstoff-Verhältnis des Gemischs mager ist, d. h. ein mageres Gemischverhältnis. Das Luft-Kraftstoff-Verhältnis in dem „mageren HCCI-Verbrennungsbereich“ ist magerer als das in dem „mageren SI-Verbrennungsbereich“.

**[0023]** Zudem ist ein „HCCI-Verbrennungsbereich mit Klopfmöglichkeit“ ein Bereich, in dem das zylinderinterne Gas-Kraftstoff-Verhältnis (G/F) des Luft-Kraftstoff-Gemischs fetter ist als das in dem „mageren HCCI-Verbrennungsbereich“, wobei mehr Wärme erzeugt wird und ein Anstieg der Verdichtungsendtemperatur zu einem Klopfen führen kann, wenn der Motor in dem HCCI-Verbrennung-Steuermodus betrieben wird. Darüber hinaus ist ein „Fehlzündungsbereich“ ein Bereich, in dem eine Fehlzündung als Folge der Tatsache auftreten kann, dass die Verdichtungsendtemperatur fällt und das zylinderinterne Gas-Kraftstoff-Verhältnis (G/F) des Luft-Kraftstoff-Gemischs magerer wird. Wenn eine Fehlzündung

stattfindet, wenn Kraftstoff eingespritzt wird, entsteht ein großes Problem einer großen Menge von HC-Emissionen, weshalb es notwendig ist, den Motor unter Vermeidung einer Verbrennung in diesem Bereich zu betreiben.

**[0024]** Wie vorangehend aufgeführt, ist es notwendig, den Motor unter Vermeidung einer Verbrennung in dem „HCCI-Verbrennungsbereich mit Klopfmöglichkeit“ und dem „Fehlzündungsbereich“ zu betreiben. Daher ist es bei einem Umschalten von dem Si-Verbrennung-Steuermodus in dem „stöchiometrischen SI-Verbrennungsbereich“ in den HCCI-Verbrennung-Steuermodus in dem „mageren HCCI-Verbrennungsbereich“ wirksam, Steuervorgänge zum Umschalten durchzuführen, wie etwa ein Durchführen einer Kraftstoff-Abschaltung und ein Erhöhen des effektiven Verdichtungsverhältnisses, wie in PTL 1 vorgeschlagen, da das zylinderinterne Gas-Kraftstoff-Verhältnis (G/F) des Luft-Kraftstoff-Gemischs zwischen den vorangehend erwähnten Modi erheblich abweicht.

**[0025]** Nichtsdestoweniger ist es hinsichtlich einer Reaktionsfähigkeit verschiedener Stellglieder, wie etwa des Kraftstoff-Einspritzventils **11** und der verstellbaren Ventilmechanismen, schwierig, sofort von dem SI-Verbrennung-Steuermodus in dem „stöchiometrischen SI-Verbrennungsbereich“ oder dem „mageren SI-Verbrennungsbereich“ in den HCCI-Verbrennung-Steuermodus in dem „mageren HCCI-Verbrennungsbereich“ umzuschalten. Daher fällt durch den Einfluss einer Kraftstoff-Abschaltung (durch Spülung) die Umgebungstemperatur in der Brennkammer sogar rapide, während das effektive Verdichtungsverhältnis während eines Übergangs von dem SI-Verbrennung-Steuermodus in den HCCI-Verbrennung-Steuermodus erhöht wird. Folglich besteht die Möglichkeit, dass Umgebungsbedingungen, damit eine HCCI-Verbrennung stattfindet, nicht erfüllt werden, was zu einer Situation führt, in der ein Übergang von dem SI-Verbrennung-Steuermodus in den HCCI-Verbrennung-Steuermodus nicht zufriedenstellend durchgeführt werden kann.

**[0026]** Wenn daher von dem SI-Verbrennung-Steuermodus in dem „stöchiometrischen SI-Verbrennungsbereich“ oder dem „mageren SI-Verbrennungsbereich“ in den HCCI-Verbrennungsmodus in dem „mageren HCCI-Verbrennungsbereich“ umgeschaltet wird, ist es erforderlich, die Umgebungsbedingungen, damit eine HCCI-Verbrennung stattfindet, angepasst zu steuern, insbesondere die Verdichtungsendtemperatur.

**[0027]** **Fig. 3** stellt die Verhalten verstellbarer Ventilmechanismen dar, die einen Typ mit variabler Phase und einen Typ mit variablem Hub aufweisen. **Fig. 3(A)** veranschaulicht ein Beispiel für einen verstellbaren Ventilmechanismus eines Typs mit varia-

bler Phase, wobei angenommen wird, dass ein Zeitraum, für den ein Ventil öffnet (der Ventilbetriebswinkel) konstant ist. Bei diesem Typ kann nur die Öffnungs- und Schließphase variieren. Darüber hinaus veranschaulicht **Fig. 3(B)** ein Beispiel für einen verstellbaren Ventilmechanismus eines Typs mit variablem Hub, wobei bei diesem Typ der Ventilhub sowie der Betriebswinkel gleichzeitig variieren können. Des Weiteren veranschaulicht **Fig. 3(C)** ein Beispiel für die Verwendung von sowohl dem Ventilmechanismus mit variabler Phase als auch dem Ventilmechanismus mit variablem Hub, wobei entweder eine Ventilöffnungszeit oder eine Ventilschließzeit feststehen. Bei dieser Anordnung können die Ventilöffnungszeit oder die Ventilschließzeit und der Hub gleichzeitig variieren.

**[0028]** In der vorliegenden Ausführungsform wird eine Steuerung zur Erhöhung des effektiven Verdichtungsverhältnisses mit diesen verstellbaren Ventilmechanismen in einer kombinierten Weise verwendet. Das heißt, dass in der vorliegenden Ausführungsform die Steuerung implementiert wird, um das effektive Verdichtungsverhältnis mit den verstellbaren Ventilmechanismen vom Typ mit variabler Phase und vom Typ mit variablem Hub zu erhöhen, wodurch die Umgebungstemperatur in der Brennkammer erhöht wird.

**[0029]** Ein einfacher Grund zur Erhöhung der Umgebungstemperatur wird anhand von **Fig. 4** beschrieben. In **Fig. 4** bezeichnet EVO (für Exhaust Valve Open) eine Auslassventilöffnungszeit, EVC (für Exhaust Valve Close) bezeichnet eine Auslassventilschließzeit, IVO (für Intake Valve Open) bezeichnet eine Einlassventilöffnungszeit und IVC (für Intake Valve Close) bezeichnet eine Einlassventilschließzeit. Unter Verwendung der verstellbaren Ventilmechanismen von dem Typ mit variabler Phase und dem Typ mit variablem Hub und durch gleichzeitiges Handhaben der Phase und des Hubs können hier die Phase und der Hub des Einlassventils sowie des Auslassventils verändert werden, um eine Veränderung von der Ventilöffnungs- und Ventilschließeigenschaft in **Fig. 4(A)** zu der Ventilöffnungs- und Ventilschließeigenschaft in **Fig. 4(B)** vorzunehmen.

**[0030]** Wie in **Fig. 4(B)** wird in der vorliegenden Ausführungsform während eines Übergangs von dem SI-Verbrennung-Steuermodus in den HCCI-Verbrennung-Steuermodus ein Intervall einer negativen Ventilüberschneidung (im Folgenden als N-O/L für Negative Valve Overlap bezeichnet) zwischen der Auslassventilschließzeit EVC und der Einlassventilöffnungszeit IVO erzeugt. Man beachte, dass sich in **Fig. 4(A)** eine Auslassventilschließzeit EVC und eine Einlassventilöffnungszeit IVO überschneiden und eine positive Ventilüberschneidung (bezeichnet als P-O/L für Positive Valve Overlap) erzeugt wird.

**[0031]** Wenn die N-O/L erzeugt wird, werden das Auslassventil und das Einlassventil im Laufe eines Auslasshubs zu einem Einlasshub geschlossen und daher wird Abgas in der Brennkammer eingeschlossen und die interne AGR-Menge (restliches Verbrennungsgas) nimmt zu. **Fig. 4(C)** zeigt interne AGR-Mengen, wobei die interne AGR-Menge in einem Zustand, in dem eine N-O/L erzeugt wird (mit einer durchgezogenen Linie dargestellt), größer ist als die in einem Zustand, in dem keine N-O/L erzeugt wird (mit einer gestrichelten Linie dargestellt).

**[0032]** Folglich nimmt wie in **Fig. 4(D)** die Umgebungstemperatur in der Brennkammer auf ein kleineres Maß in dem Zustand ab, in dem eine N-O/L erzeugt wird (mit einer durchgezogenen Linie dargestellt), als das in dem Zustand, in dem keine N-O/L erzeugt wird (mit einer gestrichelten Linie dargestellt). Des Weiteren wird für das N-O/L-Intervall restliches Verbrennungsgas in der Brennkammer durch den Kolben 7P verdichtet und folglich steigt die Umgebungstemperatur in der Brennkammer weiter an. Es ist somit möglich, die Umgebungstemperatur in der Brennkammer während eines Übergangs von dem SI-Verbrennung-Steuermodus in den HCCI-Verbrennung-Steuermodus zu erhöhen und sie näher zu der Umgebung zu bringen, in welcher der HCCI-Verbrennung-Steuermodus durchgeführt werden kann. Man beachte, dass die Verdichtungsendtemperatur für eine SI-Verbrennung und eine HCCI-Verbrennung selbstverständlich ansteigen wird, wenn das N-O/L-Intervall vorliegt.

**[0033]** **Fig. 5A** zeigt eine Einspritzmenge gegenüber einer Einspritzimpulsdauer. Die Einspritzmenge nimmt mit einem Anstieg der Einspritzimpulsdauer zu, wobei jedoch, wenn die Einspritzimpulsdauer kleiner ist als ein fester Wert ( $T_{Q\min}$ ), ein Fehler mit einer Einspritzmenge gegenüber einer Einspritzimpulsdauer zunimmt und eine erforderliche Einspritzmenge nicht erfüllt werden kann. In der vorliegenden Ausführungsform ist in **Fig. 5A** die Mindesteinspritzmenge, wenn die erforderliche Einspritzmenge erfüllt ist, als  $Q_{\min}$  definiert und ihre entsprechende Einspritzimpulsdauer ist als die Mindesteinspritzimpulsdauer  $T_{Q\min}$  definiert. Zudem wird in der vorliegenden Ausführungsform, sogar wenn ein Einspritzimpuls, der kleinere ist als die Mindesteinspritzimpulsdauer  $T_{Q\min}$  (ein Einspritzimpuls kürzer ist als ein Intervall  $T$ ), einmal oder mehrere Male auftritt, eine Einspritzung als gestoppt betrachtet.

**[0034]** **Fig. 5B** stellt eine Brennbarkeit des Luft-Kraftstoff-Gemischs basierend auf der Verdichtungsendtemperatur und dem zylinderinternen Gas-Kraftstoff-Verhältnis (G/F) des Luft-Kraftstoff-Gemischs dar. Ein Grund für ein Klopfen während einer Verbrennung ist die Selbstzündung eines unverbrannten Teils des Luft-Kraftstoff-Gemischs (= unverbranntes Luft-Kraftstoff-Gemisch), der durch die Wirkung

eines erhöhten Drucks eines verbrannten Teils des Luft-Kraftstoff-Gemischs (= verbranntes Luft-Kraftstoff-Gemisch) verdichtet wird. Eine Selbstzündungsgrenzkurve, die in **Fig. 5B** gezeigt ist, ist eine Grenze, über welche das Luft-Kraftstoff-Gemisch hinaus selbst zündet und verbrannt wird und sie gibt an, dass das Luft-Kraftstoff-Gemisch dazu neigt, selbst zu zünden, wenn die Verdichtungsendtemperatur ansteigt. Man beachte, dass, wenn das Luft-Kraftstoff-Verhältnis des Luft-Kraftstoff-Gemischs mit zunehmender Einspritzimpulsdauer fetter wird, die Selbstzündungsgrenze abnimmt und das Gemisch leichter selbstzündend wird, sogar bei einer niedrigen Verdichtungsendtemperatur.

**[0035]** Eine Flammenausbreitungsgrenzkurve ist eine Grenze, über welche das Luft-Kraftstoff-Gemisch hinaus durch Entladung der Zündkerze gezündet wird und sie gibt an, dass das Luft-Kraftstoff-Gemisch gezündet wird und eine Flammenausbreitung stattfindet, wenn Kraftstoff mit einer Einspritzimpulsdauer eingespritzt wird, die größer ist als die Flammenausbreitungsgrenze. Sie gibt außerdem an, dass bei zunehmender Verdichtungsendtemperatur die Flammenausbreitungsgrenze ansteigt, während die Einspritzimpulsdauer abnimmt. Die Flammenausbreitungs- und Selbstzündungsgrenzen in **Fig. 5B** variieren hier in Abhängigkeit von der Drehzahl und des erforderlichen Drehmoments.

**[0036]** Des Weiteren ist ein Bereich, in dem die Selbstzündung und die Flammenausbreitung nicht stattfinden können (ein Bereich, der in **Fig. 5B** von durchgezogenen Linien umgeben ist) der Bereich, in dem eine Verbrennung nicht erzeugt wird oder keine stabile Flamme gebildet wird, selbst wenn eine Verbrennung erzeugt wird. In der vorliegenden Ausführungsform ist der Bereich, der in **Fig. 5B** von durchgezogenen Linien umgeben ist, als der Fehlzündungsbereich definiert. In **Fig. 5B** ist ebenso zu sehen, dass, selbst wenn ein Einspritzimpuls, der kürzer ist als das Intervall  $T$ , einmal oder mehrere Male auftritt, eine Verbrennung nicht erzeugt wird, da dieser innerhalb des Fehlzündungsbereichs stattfindet, wie zu erkennen ist, wenn die Einspritzimpulsdauer so lange wie das Intervall  $T$ , das in **Fig. 5A** definiert ist, überlagert ist.

**[0037]** Anhand von **Fig. 6** werden außerdem Beschreibungen über einen Steuerfluss geliefert, wenn von dem SI-Verbrennung-Steuermodus in den HCCI-Verbrennung-Steuermodus umgeschaltet wird, was eine repräsentative Ausführungsform der vorliegenden Erfindung darstellt. Man beachte, dass dieser Steuerfluss für jeden Verbrennungszyklus ausgeführt wird.

&lt;&lt; Schritt S10&gt;&gt;

&lt;&lt; Schritt S12&gt;&gt;

**[0038]** Schritt S10 dient der Erfassung von Betriebszustandsgrößen des Verbrennungsmotors von verschiedenen Sensoren. In diesem Schritt werden die Zustandsgrößen des Verbrennungsmotors von z. B. dem Ansauglufttemperatur-/drucksensor 9, den Ventilstellungssensoren **14, 15**, dem Luft-Kraftstoff-Verhältnissensor **19** und weiteren notwendigen Sensoren erfasst. Nach Erfassung der Betriebszustandsgrößen des Verbrennungsmotors wird ein Übergang zu Schritt S11 vorgenommen.

&lt;&lt; Schritt S11&gt;&gt;

**[0039]** Schritt S11 dient zur Schätzung eines zylinderinternen Luftvolumens anhand der Ansauglufttemperatur und des Ansaugluftdrucks und der Öffnungszeit und Schließzeit des Einlassventils. Man beachte, dass das zylinderinterne Luftvolumen auch von Informationen von anderen Sensoren abgeleitet werden kann. Darüber hinaus wird in diesem Schritt eine erforderliche Kraftstoffeinspritzungsmenge unter anderem aus dem erhaltenen zylinderinternen Luftvolumen, einem zylinderinternen Ziel-Gas-Kraftstoff-Verhältnis (G/F) und einem Zieldrehmoment bestimmt. Die Kraftstoffeinspritzungsmenge wird hier durch eine Einspritzimpulsdauer ersetzt.

**[0040]** Außerdem dient Schritt S11 der Schätzung einer Verdichtungsendtemperatur  $T_c$  in der Brennkammer aus der Ansauglufttemperatur und dem Ansaugluftdruck und der Schließzeit des Auslassventils. Zur Schätzung der Verdichtungsendtemperatur  $T_c$  wird zunächst eine Schätzung einer internen AGR-Gasmenge aus der Ansauglufttemperatur und dem Ansaugluftdruck und der Schließzeit des Auslassventils durchgeführt. Man beachte, dass diese Schätzung durch Erstellen eines physikalischen Modells abgeleitet werden kann.

**[0041]** Bei der Schätzung der internen AGR-Gasmenge treibt dieser Schritt ein effektives Verdichtungsverhältnis an, welches durch ein Verhältnis zwischen dem Brennkammervolumen zur Schließzeit des Einlassventils und dem Brennkammervolumen am oberen Totpunkt definiert ist. Des Weiteren wird bei dem Schritt ein geschätzter Wert  $T_c$  einer Verdichtungsendtemperatur mittels einer Berechnung geschätzt, bei der eine adiabatische Verdichtung von einer zylinderinternen Temperatur und ein Wärmekapazitätsverhältnis zur Einlassventilschließzeit angenommen wird. Dieser geschätzte Wert  $T_c$  einer Verdichtungsendtemperatur kann ebenso durch Erstellung eines physikalischen Modells abgeleitet werden. Nach Ableitung der Kraftstoffeinspritzungsmenge, der Verdichtungsendtemperatur  $T_c$  und des effektiven Verdichtungsverhältnisses wird ein Übergang zu Schritt S12 vorgenommen.

**[0042]** Schritt S12 dient zur Einlesung des zylinderinternen Ziel-Gas-Kraftstoff-Verhältnisses (G/F) und der Verdichtungsendtemperatur  $T_c$  und ferner der Ableitung der aktuellen Phasenwinkel und Betriebswinkel des Einlass- und des Auslassventils von dem Einlassventilstellungssensor **14** und dem Auslassventilstellungssensor **15**. Nach Ableitung dieser Parameter wird ein Übergang zu Schritt S13 vorgenommen.

&lt;&lt; Schritt S13&gt;&gt;

**[0043]** Schritt **13** dient der Entscheidung, ob der laufende Verbrennungsmodus des Verbrennungsmotors geändert werden muss. Wenn keine Veränderung des Verbrennungsmodus erforderlich ist, wird ein Übergang zu Schritt S14 vorgenommen; wenn eine Veränderung des Verbrennungsmodus erforderlich ist, wird ein Übergang zu Schritt S15 vorgenommen.

&lt;&lt; Schritt S14&gt;&gt;

**[0044]** Schritt S14 dient der Fortsetzung des laufenden Verbrennungsmodus, da keine Veränderung des laufenden Verbrennungsmodus des Verbrennungsmotors erforderlich ist. Da in der vorliegenden Ausführungsform von einem Übergang von dem SI-Verbrennung-Steuermodus in den HCCI-Verbrennung-Steuermodus ausgegangen wird, wird in Schritt **14** der SI-Verbrennung-Steuermodus fortgeführt. Man beachte, dass der Verbrennungsmodus, der in diesem Schritt S14 ausgeführt wird, einem Modus 1 entspricht, der anhand von **Fig. 7** an späterer Stelle beschrieben wird. Nach Fortsetzung des SI-Verbrennung-Steuermodus endet der Steuerfluss und wartet auf den Startzeitpunkt eines nächsten Verbrennungszyklus.

&lt;&lt; Schritt S15&gt;&gt;

**[0045]** Da in Schritt S13 entschieden wurde, dass eine Veränderung des Verbrennungsmodus erforderlich ist, dient Schritt S15 der Entscheidung, ob der laufende Verbrennungsmodus der SI-Verbrennung-Steuermodus ist. Diese Entscheidung darüber, ob der SI-Verbrennung-Steuermodus läuft, kann in Abhängigkeit davon erfolgen, ob Entscheidungsbedingungen im Folgenden erfüllt werden oder nicht.

(1) Eine erste Entscheidungsbedingung ist, dass das zylinderinterne Ziel-Gas-Kraftstoff-Verhältnis (G/F), welches in Schritt S12 eingelesen wird, gesteuert wird, sodass es nahe dem stöchiometrischen Gemischverhältnis liegt (siehe **Fig. 2**).

(2) Eine zweite Entscheidungsbedingung ist, dass die Verdichtungsendtemperatur  $T_c$  gerin-

ger ist als die Klopfgrenztemperatur  $T_{knock}$  für eine SI-Verbrennung (siehe **Fig. 2**).

(3) Eine dritte Entscheidungsbedingung ist, dass entschieden wird, dass in einem nächsten Verbrennungszyklus die Phasenwinkel und Betriebswinkel der Einlass- und Auslasswerte sich nicht auf festgelegte Zielwerte für eine HCCI-Verbrennung verschieben.

(4) Eine vierte Entscheidungsbedingung ist, dass eine Kurve einer Beziehung zwischen einer Verdichtungsendtemperatur  $T_c$ , die aus den Phasenwinkel und den Betriebswinkel der Einlass- und der Auslasswerte in einem nächsten Verbrennungszyklus geschätzt wird, und einer Einspritzimpulsdauer kleiner ist als die Selbstzündungsgrenze, die in **Fig. 5B** gezeigt ist.

**[0046]** Nur wenn alle vorangehenden Entscheidungskriterien erfüllt sind, wird daraufhin eine Entscheidung getroffen, dass der SI-Verbrennung-Steuermodus läuft. Nachdem entschieden wurde, dass der SI-Verbrennung-Steuermodus läuft, wird ein Übergang zu Schritt S16 vorgenommen; wenn dem nicht so ist, wird ein Übergang zu Schritt S19 vorgenommen.

<< Schritt S16>>

**[0047]** Schritt S16 dient der Entscheidung, ob ein „Steuermodus für eine SI-Verbrennung bei höherer Temperatur“ ausgeführt werden kann, anhand des zylinderinternen Ziel-Gas-Kraftstoff-Verhältnisses (G/F) und der Verdichtungsendtemperatur  $T_c$ , die in Schritt S12 abgeleitet werden. Diese Entscheidung darüber, ob der Steuermodus für eine SI-Verbrennung bei höherer Temperatur ausgeführt werden kann, kann in Abhängigkeit davon erfolgen, ob Entscheidungsbedingungen im Folgenden erfüllt werden oder nicht. Man beachte, dass der Steuermodus für eine SI-Verbrennung bei höherer Temperatur eine Steuerung bedeutet, um die Umgebungstemperatur in der Brennkammer unter einer SI-Verbrennung zu erhöhen. Dieser Steuermodus für eine SI-Verbrennung bei höherer Temperatur wird an späterer Stelle beschrieben.

(1) Eine erste Entscheidungsbedingung ist, dass unter dem Steuermodus für eine SI-Verbrennung bei höherer Temperatur in einem nächsten Verbrennungszyklus die Verdichtungsendtemperatur  $T_c$  die Klopfgrenztemperatur  $T_{knock}$  während einer SI-Verbrennung überschreitet ( $T_c > T_{knock}$ ).

(2) Eine zweite Entscheidungsbedingung ist, dass nach drei Verbrennungszyklen die Phasenwinkel und Betriebswinkel der Einlass- und Auslasswerte sich festgelegten Zielwerten für eine HCCI-Verbrennung nähern können. Man beach-

te, dass, obwohl die zweite Entscheidungsbedingung erfüllt ist, wenn eine Entscheidung getroffen wird, dass sich nach drei Verbrennungszyklen die Phasenwinkel und die Betriebswinkel der Einlass- und Auslasswerte festgelegten Zielwerte für eine HCCI-Verbrennung nähern können, diese Entscheidung nicht immer nach drei Verbrennungszyklen getroffen wird, sondern vor drei Verbrennungszyklen oder in nachfolgenden Verbrennungszyklen getroffen werden kann.

(3) Eine dritte Entscheidungsbedingung ist, dass eine Kurve einer Beziehung zwischen einer Verdichtungsendtemperatur  $T_c$  und einer Einspritzimpulsdauer, wobei die Kurve aus den Phasenwinkel und den Betriebswinkel der Einlass- und der Auslasswerte nach drei Verbrennungszyklen geschätzt wird, größer ist als die Selbstzündungsgrenze, die in **Fig. 5B** gezeigt ist.

**[0048]** Wenn nicht alle vorangehenden Entscheidungskriterien erfüllt sind, wird daraufhin eine Entscheidung getroffen, dass der Steuermodus für eine SI-Verbrennung bei höherer Temperatur ausgeführt werden kann und es wird ein Übergang zu Schritt S17 vorgenommen. Wenn mindestens eines der vorangehenden Entscheidungskriterien erfüllt ist, wird eine Entscheidung getroffen, dass der Steuermodus für eine SI-Verbrennung bei höherer Temperatur nicht ausgeführt werden kann und es wird ein Übergang zu Schritt S18 vorgenommen.

<< Schritt S17>>

**[0049]** Da in Schritt S16 entschieden wurde, dass der Steuermodus für eine SI-Verbrennung bei höherer Temperatur ausgeführt werden kann, dient Schritt S17 der Ausführung des Steuermodus für eine SI-Verbrennung bei höherer Temperatur. Dieser Steuermodus für eine SI-Verbrennung bei höherer Temperatur umfasst eine Steuerung, um die Umgebungstemperatur in der Brennkammer unter einer SI-Verbrennung zu erhöhen, und ein konkretes Verfahren dafür wird anhand von **Fig. 7** ausführlich dargelegt. Man beachte, dass der Verbrennungsmodus, der in diesem Schritt S17 ausgeführt wird, einem Modus 2 entspricht, der anhand von **Fig. 7** an späterer Stelle beschrieben wird. Nach Ausführung des Steuermodus für eine SI-Verbrennung bei höherer Temperatur endet der Steuerfluss und wartet auf den Startzeitpunkt eines nächsten Verbrennungszyklus.

<< Schritt S18>>

**[0050]** Da in Schritt S16 anders entschieden wurde, dass der Steuermodus für eine SI-Verbrennung bei höherer Temperatur nicht ausgeführt werden kann, dient Schritt S18 der Ausführung eines „Steuermodus für eine Zwischenverbrennung bei höherer Temperatur“. Dieser Steuermodus für eine Zwischenverbrennung bei höherer Temperatur stoppt die Kraft-

stoffeinspritzungssteuerung und die Zündungssteuerung, die in dem Steuermodus für eine SI-Verbrennung bei höherer Temperatur durchgeführt werden, und führt eine Steuerung aus, um die Parameter des Einlass- und des Auslassventils auf die festgelegten Zielwerte für eine HCCI-Verbrennung zu verschieben, und ein konkretes Verfahren dafür wird anhand von **Fig. 7** ausführlich dargelegt. Man beachte, dass der Steuermodus für eine Zwischenverbrennung bei höherer Temperatur, der in diesem Schritt S18 ausgeführt wird, einem Modus 3 entspricht, der anhand von **Fig. 7** an späterer Stelle beschrieben wird. Nach Ausführung des Steuermodus für eine Zwischenverbrennung bei höherer Temperatur endet der Steuerfluss und wartet auf den Startzeitpunkt eines nächsten Verbrennungszyklus.

<< Schritt S19>>

**[0051]** Da in Schritt S15 entschieden wurde, dass eine Verbrennung außerhalb des SI-Verbrennungsbereichs läuft, dient Schritt S19 der Entscheidung, ob der Steuermodus für eine Zwischenverbrennung bei höherer Temperatur nun ausgeführt wird. Da der in **Fig. 6** dargestellte Steuerfluss zu Beginn jedes Verbrennungszyklus gestartet wird, wie zuvor angemerkt, wird der Steuermodus für eine Zwischenverbrennung bei höherer Temperatur in Schritt S18 zur Startzeit ausgeführt, bevor Schritt 19 ausgeführt wird. Daher wird in Schritt S19 eine Entscheidung bezüglich eines Verbrennungszustands in dem vorangehenden Verbrennungszyklus getroffen. Dies gilt auch für Steuerschritte, die nachfolgend beschrieben werden.

**[0052]** Hier in Schritt S19 wird -eine Entscheidung darüber getroffen, ob der Steuermodus für eine Zwischenverbrennung bei höherer Temperatur läuft, und Kriterien für die Entscheidung lauten wie folgt.

- (1) Eine erste Entscheidungsbedingung ist, dass die Verdichtungsendtemperatur  $T_c$  und der Einspritzimpuls in **Fig. 5B** gesteuert werden, sodass sie innerhalb des Fehlzündungsbereichs liegen.
- (2) Eine zweite Entscheidungsbedingung ist, dass die Phasenwinkel und die Betriebswinkel der Einlass- und Auslasswerte gesteuert werden, sodass sie sich auf die festgelegten Zielwerte in dem HCCI-Verbrennung-Steuermodus verschieben.

**[0053]** Wenn alle vorangehenden Entscheidungskriterien erfüllt sind, wird daraufhin eine Entscheidung getroffen, dass der Steuermodus für eine Zwischenverbrennung bei höherer Temperatur läuft, und es wird ein Übergang zu Schritt S20 vorgenommen. Wenn mindestens eines der vorangehenden Entscheidungskriterien nicht erfüllt ist, wird eine Entscheidung getroffen, dass der Steuermodus für eine

Zwischenverbrennung bei höherer Temperatur nicht läuft, und es wird ein Übergang zu Schritt S22 vorgenommen.

<< Schritt S20>>

**[0054]** Da in Schritt S19 entschieden wurde, dass der Steuermodus für eine Zwischenverbrennung bei höherer Temperatur läuft, dient Schritt S20 der Entscheidung, ob eine HCCI-Verbrennung ausgeführt werden kann. Ein Kriterium für die Entscheidung lautet wie folgt.

- (1) Die Phasenwinkel und die Betriebswinkel der Einlass- und Auslasswerte können sich von den aktuellen Phasenwinkel und Betriebswinkel der Einlass- und Auslasswerte auf die festgelegten Zielwerte für eine HCCI-Verbrennung nach zwei Verbrennungszyklen verschieben.

**[0055]** Wenn entschieden wird, dass die vorangehenden Winkel sich auf die festgelegten Zielwerte für eine HCCI-Verbrennung verschieben, wird daraufhin eine Entscheidung getroffen, dass der Motor in dem HCCI-Verbrennung-Steuermodus betrieben werden kann, und es wird ein Übergang zu Schritt S21 vorgenommen. Wenn anders entschieden wird, dass der Motor nicht in dem HCCI-Verbrennung-Steuermodus betrieben werden kann, wird ein Übergang zu Schritt S18 vorgenommen und der Steuermodus für eine Zwischenverbrennung bei höherer Temperatur wird fortgesetzt.

<< Schritt S21>>

**[0056]** Da in Schritt S20 entschieden wurde, dass der HCCI-Verbrennung-Steuermodus ausgeführt werden kann, dient Schritt S21 der Ausführung eines „Steuermodus für eine Vor-Umschalt-Verbrennung bei höherer Temperatur“. Dieser Steuermodus für eine Vor-Umschalt-Verbrennung bei höherer Temperatur startet die Kraftstoffeinspritzungssteuerung und die Zündungssteuerung neu, während die festgelegten Zielwerte in dem Steuermodus für eine Zwischenverbrennung bei höherer Temperatur aufrechterhalten werden, und er führt eine SI-Verbrennung aus, wobei das zylinderinterne Gas-Kraftstoff-Verhältnis (G/F) des Luft-Kraftstoff-Gemischs nahe dem stöchiometrischen Gemischverhältnis gehalten wird. Ein konkretes Verfahren dafür ist in **Fig. 7** ausführlich dargelegt.

**[0057]** Man beachte, dass der Steuermodus für eine Vor-Umschalt-Verbrennung bei höherer Temperatur, der in diesem Schritt S21 ausgeführt wird, einem Modus 4 entspricht, der anhand von **Fig. 7** an späterer Stelle beschrieben wird. Nach Ausführung des Steuermodus für eine Vor-Umschalt-Verbrennung bei höherer Temperatur endet der Steuerfluss und wartet auf den Startzeitpunkt eines nächsten Verbrennungszyklus.

&lt;&lt; Schritt S22&gt;&gt;

**[0058]** Es wird anhand der Entscheidungskriterien in Schritt S19 eine Entscheidung darüber getroffen, ob der Steuermodus für eine Zwischenverbrennung bei höherer Temperatur läuft. Wenn entschieden wird, dass der Steuermodus für eine Zwischenverbrennung bei höherer Temperatur nicht läuft, wird der HCCI-Verbrennung-Steuermodus in Schritt S22 ausgeführt.

**[0059]** Man beachte, dass der HCCI-Verbrennung-Steuermodus, der in diesem Schritt S22 ausgeführt wird, einem Modus 5 entspricht, der anhand von **Fig. 7** an späterer Stelle beschrieben wird. Nach Ausführung des HCCI-Verbrennung-Steuermodus endet der Steuerfluss und wartet auf den Startzeitpunkt eines nächsten Verbrennungszyklus.

**[0060]** Wie vorangehend beschrieben, wird der in **Fig. 6** dargestellte Steuerfluss zu Beginn jedes Verbrennungszyklus gestartet. Im Laufe eines Umschaltens von dem SI-Verbrennung-Steuermodus in den HCCI-Verbrennung-Steuermodus werden die Steuermodi grundsätzlich in der folgenden Reihenfolge ausgeführt: SI-Verbrennung-Steuermodus (Modus 1)  $\Rightarrow$  Steuermodus für eine SI-Verbrennung bei höherer Temperatur (Modus 2)  $\Rightarrow$  Steuermodus für eine Zwischenverbrennung bei höherer Temperatur (Modus 3)  $\Rightarrow$  Steuermodus für eine Vor-Umschalt-Verbrennung bei höherer Temperatur (Modus 4)  $\Rightarrow$  HCCI-Verbrennung-Steuermodus (Modus 5). Es ist jedoch auch möglich, dass ein Verbrennungszyklus zählervorgesehen ist und der voranstehende Steuerfluss durch eine Unterbrechung ausgeführt wird, die alle paar Zyklen, z. B. alle zwei Verbrennungszyklen, ausgelöst wird. In diesem Fall wird ein einziger Verbrennungssteuermodus in aufeinanderfolgenden Verbrennungszyklen ausgeführt.

**[0061]** Als Nächstes wird eine konkrete Verbrennungssteuerung jedes Verbrennungssteuermodus auf der Grundlage von **Fig. 7** und **Fig. 8** beschrieben. **Fig. 7** zeigt eine Veränderung der Steuerzielwerte jeweiliger Stellglieder im Laufe eines Umschaltens von dem SI-Verbrennung-Steuermodus in den HCCI-Verbrennung-Steuermodus. Die x-Achse stellt einen Zeitverlauf dar und die y-Achse stellt jeden Steuerzielwert eines Ansaugluftdrucks, einer Kraftstoffeinspritzungsmenge, eines Zündungszeitpunkts, von Zeiten des Einlass- und des Auslassventils und einer Lichtmaschinenunterstützung dar.

**[0062]** Gleichesmaßen zeigt **Fig. 8** eine Veränderung jeweiliger Zustandsgrößen im Laufe eines Umschaltens von dem SI-Verbrennung-Steuermodus in den HCCI-Verbrennung-Steuermodus. Die x-Achse stellt einen Zeitverlauf dar und die y-Achse jede Steuerzustandsgröße einer Ansaugluftmenge, eines zylinderinternen Gas-Kraftstoff-Verhältnisses (G/F), ei-

ner Verdichtungsendtemperatur, einer Kraftstoffeinspritzungsmenge, eines Zündungszeitpunkts und eines Motordrehmoments.

**[0063]** Man beachte, dass in **Fig. 7** und **Fig. 8** der SI-Verbrennung-Steuermodus als „Modus 1“ bezeichnet wird, der Steuermodus für eine SI-Verbrennung bei höherer Temperatur als „Modus 2“, der Steuermodus für eine Zwischenverbrennung bei höherer Temperatur als „Modus 3“, der Steuermodus für eine Vor-Umschalt-Verbrennung bei höherer Temperatur als „Modus 4“ und der HCCI-Verbrennung-Steuermodus als „Modus 5“.

&lt;&lt;SI-Verbrennung-Steuermodus (Modus 1)&gt;&gt;

**[0064]** Der SI-Verbrennung-Steuermodus ist der Modus, in dem eine vorgemischte Funkenzündungsverbrennung unter Verwendung einer gewöhnlichen Zündkerze durchgeführt wird, und dieser Modus wird mit der Kraftstoffeinspritzungsmenge, dem Zündungszeitpunkt und den Zeiten des Einlass- und des Auslassventils betrieben, die gemäß dem Betriebszustand des Verbrennungsmotors eingestellt werden. Man beachte, dass die Zeiten des Einlass- und des Auslassventils festgelegt werden, um eine positive Ventilüberschneidung (P-O/L) zu erzeugen, d. h. die Zeiten der Ventile überschneiden sich.

&lt;&lt;Steuermodus für eine SI-Verbrennung bei höherer Temperatur (Modus 2).&gt;&gt;

**[0065]** Wenn dann ein Übergang von dem SI-Verbrennung-Steuermodus in den Steuermodus für eine Vor-Umschalt-Verbrennung bei höherer Temperatur vor einer HCCI-Verbrennung vorgenommen wird, wird der Steuermodus für eine SI-Verbrennung bei höherer Temperatur als vorbereitende Phase ausgeführt, wie in **Fig. 7** dargestellt.

**[0066]** Als Erstes verzögert dieser Modus die Einlassventilöffnungszeit (IVO) in dem SI-Verbrennungsmodus und verlegt die Auslassventilschließzeit (EVC) in diesem Modus vor, wie in **Fig. 4(A)** und **Fig. 4(B)**. Das heißt, dass, wenn die Verdichtungsendtemperatur  $T_c$ , die geschätzt wird, niedriger ist als die Klopfgrenztemperatur  $T_{knock}$  einer SI-Verbrennung, das vorangehende Einlass- und das Auslassventil gehandhabt werden und die Handhabung endet, wenn diese Ventile auf bestimmte Stellungen festgelegt wurden, um ein Überschreiten der Klopfgrenztemperatur  $T_{knock}$  zu vermeiden.

**[0067]** Wenn der Betrag einer N-O/L zunimmt, indem die verstellbaren Ventilmechanismen angetrieben werden, nimmt die interne AGR-Menge zu und die Umgebungstemperatur in der Brennkammer steigt an, und folglich nimmt die Verdichtungsendtemperatur  $T_c$  zu. Indem die Schließzeit des Einlassventils nahe dem unteren Totpunkt durchgeführt wird,

während der Betriebswinkel des Einlassventils erhöht wird, nimmt darüber hinaus der Betrag einer N-O/L weiter zu, das effektive Verdichtungsverhältnis steigt an und die Verdichtungsendtemperatur Tc wird höher.

**[0068]** Zudem nimmt die Ansaugluftmenge mit zunehmendem Betriebswinkel des Einlassventils zu und eine gleichzeitige Erhöhung der Kraftstoffeinspritzungsmenge schränkt eine Veränderung des Luft-Kraftstoff-Verhältnisses des Luft-Kraftstoff-Gemischs ein. Des Weiteren verzögert dieser Modus den Zündungszeitpunkt bezüglich des Zündungszeitpunkts in dem SI-Verbrennung-Steuermodus, um zu verhindern, dass eine Drehmomentveränderung gemäß einem Anstieg der Luft-Kraftstoff-Gemischmenge zunimmt. Dadurch erhöht dieser Modus, wie in **Fig. 8** dargestellt, die Luft-Kraftstoff-Gemischmenge (die Ansaugluftmenge) und hält das zylinderinterne Gas-Kraftstoff-Verhältnis (G/F) nahe dem stöchiometrischen Gemischverhältnis, wodurch mehr Wärme erzeugt wird. Indem der Zündungszeitpunkt verzögert wird, wird zudem eine Verschlechterung der Betriebsfähigkeit aufgrund einer aufgetretenen Veränderung des Drehmoments eingeschränkt.

**[0069]** Mittels einer Steuerung, wie vorangehend beschrieben, wie in **Fig. 8** dargestellt, wird vor einem Übergang in den HCCI-Verbrennung-Steuermodus die Gemischmenge vorher erhöht und die Verdichtungsendtemperatur Tc kann erhöht werden, indem das effektive Verdichtungsverhältnis Tc erhöht wird. Daher ist es möglich, einen Zeitraum eines Übergangs in den Steuermodus für eine Zwischenverbrennung bei höherer Temperatur zu verkürzen, welcher an späterer Stelle beschrieben wird. Es ist folglich möglich, einen Zeitraum zum Umschalten von dem SI-Verbrennung-Steuermodus in den HCCI-Verbrennung-Steuermodus zu verkürzen. Nach Abschluss des Steuermodus für eine SI-Verbrennung bei höherer Temperatur wird der Steuermodus für eine Zwischenverbrennung bei höherer Temperatur ausgeführt. Man beachte, dass, wenn es unmöglich ist, eine SI-Verbrennung bei höherer Temperatur durchzuführen, dieser Steuermodus für eine SI-Verbrennung bei höherer Temperatur nicht ausgeführt wird und der Steuermodus für eine Zwischenverbrennung bei höherer Temperatur ausgeführt wird.

<<Steuermodus für eine Zwischenverbrennung bei höherer Temperatur (Modus 3)>>

**[0070]** Wenn ein Übergang von dem SI-Verbrennung-Steuermodus in den HCCI-Verbrennung-Steuermodus durchgeführt wird, im Falle, dass der Motor nicht in dem Steuermodus für eine SI-Verbrennung bei höherer Temperatur oder dem HCCI-Verbrennung-Steuermodus betrieben werden kann, wird der Steuermodus für eine Zwischenverbrennung bei höherer Temperatur ausgeführt. In diesem Fall wer-

den keine festgelegten Zielwerte für den Steuermodus für eine SI-Verbrennung bei höherer Temperatur verwendet und die Kraftstoffeinspritzungssteuerung sowie die Zündungssteuerung werden gestoppt. Außerdem werden die Parameter des Einlass- und des Auslassventils auf festgelegte Zielwerte für den HCCI-Verbrennung-Steuermodus verschoben. In diesem Fall werden festgelegte Zielwerte des Einlass- und des Auslassventils gleich denjenigen in dem Steuermodus für eine SI-Verbrennung bei höherer Temperatur festgelegt, wobei jedoch die festgelegten Zielwerte so festgelegt werden, dass sie sich von diesen unterscheiden.

**[0071]** Indem dieser Modus ausgeführt wird, wenn ein Übergang von dem SI-Verbrennung-Steuermodus in den HCCI-Verbrennung-Steuermodus durchgeführt wird, nimmt das effektive Verdichtungsverhältnis zu und folglich steigt die Verdichtungsendtemperatur Tc an. Diese Temperatur fällt jedoch in den Fehlzündungsbereich in **Fig. 5B**, da die Kraftstoffeinspritzungssteuerung und die Zündungssteuerung gestoppt sind. Man beachte, dass eine Fehlzündung, wenn sie auftritt, nicht zu einem Anstieg schädlicher Abgasbestandteile führt, da in diesem Modus kein Kraftstoff intrinsisch eingespritzt wird. Zusammengefasst, findet selbst während eines Anstiegs der Verdichtungsendtemperatur Tc keine Verbrennung des Luft-Kraftstoff-Gemischs statt, wodurch ermöglicht wird, eine heiße interne AGR, die in dem Steuermodus für eine SI-Verbrennung bei höherer Temperatur gehalten wird, zu spülen, und wodurch ermöglicht wird, die Umgebungstemperatur in der Brennkammer auf unterhalb der Klopfgrenztemperatur Tnock zu senken. Dadurch wird die Verdichtungsendtemperatur Tc in dem Steuermodus für eine Vor-Umschalt-Verbrennung bei höherer Temperatur vor einer HCCI-Verbrennung in einem nächsten Verbrennungszyklus gesenkt, um möglicherweise einen Verbrennungssteuermodus in dem stöchiometrischen SI-Verbrennungsbereich auszuführen.

**[0072]** Mit anderen Worten, da eine Ausführung einer stöchiometrischen SI-Verbrennung mit erhöhter Verdichtungsendtemperatur Tc zu einem Übergang in den SI-Verbrennungsbereich mit Klopfmöglichkeit (siehe **Fig. 2**) führen kann, in dem ein Klopfen auftreten kann, wird die Verdichtungsendtemperatur Tc auf unterhalb der Klopfgrenztemperatur Tnock gesenkt, indem die Kraftstoffeinspritzungssteuerung und die Zündungssteuerung gestoppt werden, sodass keine Verbrennung des Luft-Kraftstoff-Gemischs stattfinden wird.

**[0073]** Da zudem keine Verbrennung des Luft-Kraftstoff-Gemischs zu dieser Zeit stattfindet, tritt ein Phänomen auf, bei dem das Motordrehmoment abnimmt, wobei jedoch eine Drehmomentunterstützung durch die Lichtmaschine mit einer Motorfunktion das gesunkenen Motordrehmoment kompensiert, wodurch ei-

ne Veränderung des Drehmoments beschränkt wird. Nach Abschluss des Steuermodus für eine Zwischenverbrennung bei höherer Temperatur wird der Steuermodus für eine Vor-Umschalt-Verbrennung bei höherer Temperatur vor einer HCCI-Verbrennung ausgeführt.

<<Steuermodus für eine Vor-Umschalt-Verbrennung bei höherer Temperatur (Modus 4)>>

**[0074]** Wenn ein Übergang von dem Steuermodus für eine Zwischenverbrennung bei höherer Temperatur in den HCCI-Verbrennung-Steuermodus vorgenommen wird, wird der Steuermodus für eine Vor-Umschalt-Verbrennung bei höherer Temperatur zum Umschalten auf eine HCCI-Verbrennung als eine vorbereitende Phase ausgeführt, wie in **Fig. 7** dargestellt. In diesem Steuermodus für eine Vor-Umschalt-Verbrennung bei höherer Temperatur werden die Kraftstoffeinspritzungssteuerung und die Zündungssteuerung unter Verwendung der festgelegten Zielwerte in dem Steuermodus für eine SI-Verbrennung bei höherer Temperatur neugestartet, bevor in den Steuermodus für eine Zwischenverbrennung bei höherer Temperatur umgeschaltet wird, und eine SI-Verbrennung wird mit der Steuerung durchgeführt, um das zylinderinterne Gas-Kraftstoff-Verhältnis (G/F) an das stöchiometrische Gemischverhältnis anzunähern.

**[0075]** Indem somit das zylinderinterne Gas-Kraftstoff-Verhältnis (G/F) nahe dem stöchiometrischen Gemischverhältnis gehalten wird, erzeugt dieser Modus mehr Wärme, erhöht die Verbrennungstemperatur auf ein großes Maß und hält eine heiße interne AGR zurück, indem die Ventilzeiten festgelegt werden, um eine N-O/L zu erzeugen. Indem die Umgebungstemperatur in der Brennkammer in einem nächsten Verbrennungszyklus erhöht wird, erhöht dieser Modus somit die Verdichtungsendtemperatur Tc und erzeugt Umgebungsbedingungen zur Erfüllung einer HCCI-Verbrennung. Nach Abschluss des Steuermodus für eine Vor-Umschalt-Verbrennung bei höherer Temperatur vor einer HCCI-Verbrennung wird der HCCI-Verbrennung-Steuermodus ausgeführt.

<<HCCI-Verbrennung-Steuermodus (Modus 5)>>

**[0076]** Der HCCI-Verbrennung-Steuermodus ist der Modus, in dem eine vorgemischte Selbstzündungsverbrennung durch Verdichtung durchgeführt wird, ohne von der Zündkerze abhängig zu sein, obwohl die Zündungssteuerung gestoppt wird, und dieser Modus wird mit der Kraftstoffeinspritzungsmenge und den Zeiten des Einlass- und des Auslassventils betrieben, die gemäß dem Betriebszustand des Verbrennungsmotors eingestellt werden. Zudem wird das zylinderinterne Gas-Kraftstoff-Verhältnis (G/F) gesteuert, sodass es magerer wird, mit einem Tem-

peraturanstieg über den Fehlzündungsbereich hinaus, und die Zeiten des Einlass- und des Auslassventils werden festgelegt, um eine N-O/L zu erzeugen, d. h. die Zeiten der Ventile überschneiden sich nicht.

**[0077]** Basierend auf **Fig. 8** werden weitere Beschreibungen über Veränderungen der Zustandsgrößen gegeben, wenn ein Umschalten von dem SI-Verbrennung-Steuermodus in den HCCI-Verbrennung-Steuermodus durchgeführt wird.

**[0078]** In dem Steuermodus für eine SI-Verbrennung bei höherer Temperatur hält dieser Modus, indem die Einspritzungsmenge bei zunehmender Ansaugluftmenge erhöht wird, das zylinderinterne Gas-Kraftstoff-Verhältnis (G/F) nahe dem stöchiometrischen Gemischverhältnis. Des Weiteren verzögert dieser Modus den Zündungszeitpunkt und erhöht einen Abgasverlust, wodurch eine Ausgabe reduziert und eine Motordrehmomentveränderung eingeschränkt wird.

**[0079]** Als Nächstes verhindert dieser Modus in dem Steuermodus für eine Zwischenverbrennung bei höherer Temperatur, indem die Kraftstoffeinspritzungssteuerung und die Zündungssteuerung gestoppt werden, dass ein Klopfen und eine Selbstzündungsverbrennung des Luft-Kraftstoff-Gemischs auftreten, eschränkt ein Auftreten einer anomalen Verbrennung zusammen mit einem Anstieg des effektiven Verdichtungsverhältnisses ein und ermöglicht ein Umschalten in den Steuermodus für eine Vor-Umschalt-Verbrennung bei höherer Temperatur.

**[0080]** In dem Steuermodus für eine Vor-Umschalt-Verbrennung bei höherer Temperatur hält dieser Modus als Nächstes, indem er eine Rückgewinnung der Kraftstoffeinspritzungssteuerung und der Zündungssteuerung durchführt und indem er die Ansaugluftmenge erhöht und die Kraftstoffeinspritzungsmenge erhöht, das zylinderinterne Gas-Kraftstoff-Verhältnis (G/F) nahe dem stöchiometrischen Gemischverhältnis und erzeugt mehr Wärme. Des Weiteren verzögert dieser Modus den Zündungszeitpunkt, um einen Abgasverlust zu erhöhen und eine Ausgabe zu reduzieren, wodurch eine Motordrehmomentveränderung eingeschränkt wird.

**[0081]** Schließlich wird in dem HCCI-Verbrennung-Steuermodus die Kraftstoffeinspritzungsmenge verringert - und das zylinderinterne Gas-Kraftstoff-Verhältnis (G/F) des Luft-Kraftstoff-Gemischs wird rasche magerer hergestellt. Außerdem ermöglicht dieser Modus, indem eine Steuerung einer Zündung durch die Zündkerze gestoppt wird, eine zufrieden stellende HCCI-Verbrennung, wobei ein Auftreten eines Klopfens beschränkt wird.

**[0082]** Indem die Steuerung, wie vorangehend beschrieben, implementiert wird, kann die Verdichtungsendtemperatur Tc in der Brennkammer gesteu-

ert werden, sodass sie seriell im Laufe eines Übergangs von dem SI-Verbrennung-Steuermodus in den HCCI-Verbrennung-Steuermodus ansteigt, während ein Auftreten einer anomalen Verbrennung, einschließlich eines Klopfens und einer Fehlzündung, im Laufe des Steuermodus für eine SI-Verbrennung bei höherer Temperatur, des Steuermodus für eine Zwischenverbrennung bei höherer Temperatur und des Steuermodus für eine Vor-Umschalt-Verbrennung bei höherer Temperatur beschränkt wird.

**[0083]** Es werden nun Beschreibungen über die Steuermodi und Verbrennungsbereiche gemäß dem vorangegangenen Steuerfluss bereitgestellt. **Fig. 9** veranschaulicht eine Beziehung zwischen dem zylinderinternen Gas-Kraftstoff-Verhältnis (G/F), der Verdichtungsendtemperatur Tc und den Verbrennungsbereichen basierend auf **Fig. 2**, wenn ein Umschalten von dem SI-Verbrennung-Steuermodus in den HCCI-Verbrennung-Steuermodus durchgeführt wird. Man beachte, dass eine „•“-Kennzeichnung veranschaulichend einen Passierpunkt eines Verbrennungszyklus während eines Zeitraums eines Übergangs von dem SI-Verbrennung-Steuermodus in den HCCI-Verbrennung-Steuermodus bezeichnet.

**[0084]** Bei einem Übergang von dem SI-Verbrennung-Steuermodus (Modus 1) in den Steuermodus für eine SI-Verbrennung bei höherer Temperatur (Modus 2) steigt die Verdichtungsendtemperatur Tc mit zunehmenden Verbrennungszyklen, indem das zylinderinterne Gas-Kraftstoff-Verhältnis (G/F) nahe dem stöchiometrischen Gemischverhältnis gehalten wird, der Zündungszeitpunkt verzögert wird und die Ventilzeiten festgelegt werden, um eine N-O/L zu erzeugen.

**[0085]** Als Nächstes wird bei einem Übergang von dem Steuermodus für eine SI-Verbrennung bei höherer Temperatur (Modus 2) zu der Steuerung für eine Zwischenverbrennung (Modus 3), da die Kraftstoffeinspritzungssteuerung stoppt, das zylinderinterne Gas-Kraftstoff-Verhältnis (G/F) unendlich ( $\cong$  Luft). Im Vergleich zu einem Zustand, wenn das zylinderinterne Gas-Kraftstoff-Verhältnis (G/F) nahe dem stöchiometrischen Gemischverhältnis liegt, nimmt das Wärmekapazitätsverhältnis ab und folglich nimmt die Verdichtungsendtemperatur Tc zu. Zudem steigt die Verdichtungsendtemperatur Tc weiter an, da das effektive Verdichtungsverhältnis zunimmt.

**[0086]** Als Nächstes wird bei einem Übergang von dem Steuermodus für eine Zwischenverbrennung bei höherer Temperatur (Modus 3) in dem Steuermodus für eine Vor-Umschalt-Verbrennung bei höherer Temperatur (Modus 4), die Kraftstoffeinspritzungsmenge festgelegt, um das zylinderinterne Gas-Kraftstoff-Verhältnis (G/F) dem stöchiometrischen Gemischverhältnis anzunähern. Zudem wird, da die Kraftstoffeinspritzungssteuerung in dem vor-

angehenden Verbrennungszyklus gestoppt wurde, die beibehaltene interne AGR gespült, indem die Ventilzeiten festgelegt werden, um eine N-O/L zu erzeugen. Dadurch wird die Temperatur des Luft-Kraftstoff-Gemischs in der Brennkammer, bevor es verdichtet wird, auf unterhalb der Klopfgrenztemperatur Tnock gesenkt.

**[0087]** Da in dem Steuermodus für eine Zwischenverbrennung bei höherer Temperatur die Spülung mit frischer Luft nicht durchgeführt wird und ein Übergang in den Steuermodus für eine Vor-Umschalt-Verbrennung bei höherer Temperatur vorgenommen wird, steigt die Verdichtungsendtemperatur Tc in dem Steuermodus für eine Vor-Umschalt-Verbrennung bei höherer Temperatur auf ein Niveau an, das durch eine „Kreis (O)“-Kennzeichnung angegeben ist, und fällt in den SI-Verbrennungsbereich mit Klopfmöglichkeit, wodurch ein Klopfen auftreten kann. Als Gegenmaßnahme dafür wird der Steuermodus für eine Zwischenverbrennung bei höherer Temperatur ausgeführt, um die Umgebungstemperatur in der Brennkammer zu verringern, bevor eine Verdichtung stattfindet. Daher ist es möglich, eine Verbrennung in dem stöchiometrischen SI-Verbrennungsbereich unter Vermeidung einer Verbrennung in dem SI-Verbrennungsbereich mit Klopfmöglichkeit fortzusetzen.

**[0088]** Als Nächstes verändern sich bei einem Übergang von dem Steuermodus für eine Vor-Umschalt-Verbrennung bei höherer Temperatur (Modus 4) in den HCCI-Verbrennung-Steuermodus (Modus 5) die festgelegten Zielwerte zu denjenigen in dem HCCI-Verbrennung-Steuermodus und daher wird eine HCCI-Verbrennung mit einem zylinderinternen Ziel-Gas-Kraftstoff-Verhältnis (G/F) durchgeführt, welches magerer wird. Außerdem werden in dem Steuermodus für eine Vor-Umschalt-Verbrennung bei höherer Temperatur in dem vorhergehenden Verbrennungszyklus die Ventilzeiten festgelegt, um eine N-O/L zu erzeugen, wodurch heißes Abgas, das während des Steuermodus für eine Vor-Umschalt-Verbrennung bei höherer Temperatur erzeugt wird, gehalten wird. Somit ist es möglich, die Verdichtungsendtemperatur Tc für einen Übergang in den HCCI-Verbrennung-Steuermodus weiter zu erhöhen.

**[0089]** Wie im vorangehenden Kontext beschrieben wurde, wird gemäß der vorliegenden Ausführungsform, wenn von dem SI-Verbrennung-Steuermodus in den HCCI-Verbrennung-Steuermodus umgeschaltet wird, eine Steuerung ausgeführt, um die Temperatur zu erhöhen, indem mindestens die Öffnungs- und Schließphase der verstellbaren Ventilmechanismen, die Kraftstoffeinspritzungsmenge und der Zündungszeitpunkt angemessen eingestellt werden. Diese Steuerung erhöht die Verdichtungsendtemperatur des Luft-Kraftstoff-Gemischs in der Brennkammer im Laufe eines Übergangs zu einer HCCI-Verbren-

nung und nimmt einen Übergang in den HCCI-Verbrennung-Steuermodus vor.

**[0090]** Im Laufe des Umschaltens von dem SI-Verbrennung-Steuermodus in den HCCI-Verbrennung-Modus werden hierdurch die Kraftstoffeinspritzung, die Zündung und die Öffnungs- und Schließphase des Einlass- und des Auslassventils angemessen gesteuert und die Verdichtungsendtemperatur des Luft-Kraftstoff-Gemischs in dem Zylinder kann auf eine für eine HCCI-Verbrennung geeignete Temperatur festgelegt werden. Es wird ermöglicht, einen zufrieden stellenden Übergang von dem SI-Verbrennung-Steuermodus in den HCCI-Verbrennung-Steuermodus durchzuführen, während eine anomale Verbrennung wie etwa ein Klopfen oder eine Fehlzündung verhindert werden.

**[0091]** Darüber hinaus wird die Ansaugluftmenge durch den Betriebswinkel des Einlassventils gesteuert und die interne AGR-Menge wird durch die Schließzeit des Auslassventils gesteuert. Basierend auf der durch den Betriebswinkel des Einlassventils geschätzten Ansaugluftmenge wird die Kraftstoffeinspritzmenge gesteuert und korrigiert, um ein Ziel-Luft-Kraftstoff-Verhältnis zu erhalten. Daher können das zylinderinterne Gas-Kraftstoff-Verhältnis (G/F) und die Verdichtungsendtemperatur durch den Betrieb des Einlass- und des Auslassventils geschätzt werden. Folglich kann, da die Betriebslast einer Berechnung von Steuergroßen wie etwa der festgelegten Zielwerte reduziert wird, eine Steuerung mit hoher Geschwindigkeit und hoher Genauigkeit implementiert werden.

**[0092]** Zudem wird während eines Übergangs zum Umschalten von einer SI-Verbrennung in eine HCCI-Verbrennung ein Verbrennungssteuermodus, der durchgeführt werden soll, basierend auf der geschätzten Verdichtungsendtemperatur und dem zylinderinternen Gas-Kraftstoff-Verhältnis (G/F) bestimmt. Daher ist ermöglicht, die Öffnungs- und Schließphase der verstellbaren Ventilmechanismen und den Zündungszeitpunkt im Einklang mit jedem Verbrennungssteuermodus angemessen zu steuern.

## Beispiel 2

**[0093]** Eine zweite Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird nun im Folgenden mithilfe von **Fig. 10** und **Fig. 11** beschrieben. Beschreibungen der Struktur, des Betriebs und der vorteilhaften Wirkungen, die denen der ersten Ausführungsform entsprechen, werden weggelassen, es sei denn sie sind notwendig. In einer dritten Ausführungsform soll die Umgebungstemperatur in der Brennkammer erhöht werden, indem der Ansaugdruck auf der Überdruckseite unter Verwendung des Turboladers 4 erhöht wird.

**[0094]** Man beachte, dass, da eine Betriebszeit des Turboladers 4 unter anderem durch ein Umgehungsventil auf der Verdichterseite und ein Wastegate-Ventil auf der Turbinenseite ausgewählt werden kann, es von Vorteil ist, den Turbolader so zu konfigurieren, dass er in einem Betriebsbereich arbeitet, in dem ein Übergang von dem SI-Verbrennung-Steuermodus in den HCCI-Verbrennung-Modus durchgeführt wird.

**[0095]** In **Fig. 10** und **Fig. 11** beginnt bei einem Übergang von dem SI-Verbrennung-Steuermodus in den Steuermodus für eine SI-Verbrennung bei höherer Temperatur der Turbolader 4 zu arbeiten und dadurch steigen ein Ansaugdruck und eine Ansaugdichte. Folglich nimmt die Umgebungstemperatur in der Brennkammer zu und die Verdichtungsendtemperatur  $T_c$  steigt an. Somit ermöglicht die effektive Verwendung des Turboladers 4, dass die Verdichtungsendtemperatur  $T_c$  ein Temperaturniveau, welches für eine HCCI-Verbrennung erforderlich ist, schnell erreicht, und folglich ist es möglich, den Zeitraum zum Umschalten von dem SI-Verbrennung-Steuermodus in den HCCI-Verbrennung-Steuermodus zu verkürzen.

**[0096]** Mit anderen Worten erzeugt diese Ausführungsform nicht nur eine Wirkung einer erhöhten Verdichtungsendtemperatur  $T_c$  gemeinsam mit einem Anstieg der Ansaugluftmenge und einem Anstieg des effektiven Verdichtungsverhältnisses, die durch den Turbolader 4 in dem Steuermodus für eine SI-Verbrennung bei höherer Temperatur durchgeführt werden, sie erzeugt ebenso eine Wirkung eines verkürzten Zeitraums für einen Übergang von dem Steuermodus für eine Zwischenverbrennung - bei höherer Temperatur im Laufe eines Umschaltens von dem SI-Verbrennung-Steuermodus in den HCCI-Verbrennung-Steuermodus.

**[0097]** Zudem werden in dem Steuermodus für eine Zwischenverbrennung bei höherer Temperatur der Ansaugdruck und die Ansaugdichte durch den Turbolader 4 mehr erhöht als in dem Steuermodus für eine SI-Verbrennung bei höherer Temperatur. Gleichzeitig wird durch Stoppen der Kraftstoffeinspritzungssteuerung und Zündungssteuerung eine Verbrennung so gesteuert, dass sie in den Fehlzündungsbereich in **Fig. 5B** fällt. Folglich ist es der Verdichtungsendtemperatur  $T_c$  möglich, weiter anzusteigen.

**[0098]** Da jedoch in diesem Fall keine Verbrennung stattfindet, ist es möglich, die heiße AGR zu spülen und die Umgebungstemperatur in der Brennkammer auf unterhalb der Klopfgrenztemperatur  $T_{nock}$  zu senken.

**[0099]** Zudem werden auch in dem Steuermodus für eine Vor-Umschalt-Verbrennung bei höherer Temperatur der Ansaugdruck und die Ansaugdichte durch den Betrieb des Turboladers 4 erhöht und folglich

steigt die Umgebungstemperatur derart an, dass die Verdichtungsendtemperatur  $T_c$  in einem nächsten Verbrennungszyklus steigen wird. Der Betrieb, wie vorangehend beschrieben, ermöglicht, Umgebungsbedingungen früh zu erfüllen, damit eine HCCI-Verbrennung stattfinden kann.

### Beispiel 3

**[0100]** Eine dritte Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird nun im Folgenden mithilfe von **Fig. 12** bis **Fig. 15** beschrieben. Die vorliegende Erfindung basiert auf der zweiten Ausführungsform. Daher werden Beschreibungen der Struktur, des Betriebs und der vorteilhaften Wirkungen, die denen der zweiten Ausführungsform entsprechen, weggelassen, es sei denn sie sind notwendig.

**[0101]** In der dritten Ausführungsform soll das Verhältnis zwischen der Luftmenge, die durch den Ladeluftkühler **5** verläuft, und der Luftmenge, die nicht durch den Ladeluftkühler **5** verläuft, wenn der Turbolader **4** verwendet wird, verändert und die Umgebungstemperatur in der Brennkammer durch heißere Luft erhöht werden. Es soll zudem ein Kraftstoffverbrauch in dem Steuermodus für eine Vor-Umschalt-Verbrennung bei höherer Temperatur reduziert und darüber hinaus ein Abgasverlust reduziert sowie eine Kraftstoffeffizienz verbessert werden.

**[0102]** **Fig. 12** stellt eine Struktur eines Verbrennungsmotorsystems der dritten Ausführungsform dar und seine Grundstruktur ist die gleiche wie die Struktur des Verbrennungsmotorsystems, das anhand von **Fig. 1** beschrieben wurde. Ein Teil der Struktur stromabwärts von dem Verdichter **3** weicht jedoch von der Struktur in **Fig. 1** ab.

**[0103]** Ein stromabwärtiger Weg des Verdichters **3** läuft in zwei Strömungswegen auseinander und der Ladeluftkühler **5** ist auf einem ersten Strömungsweg 22 vorgesehen. Stromabwärts von dem Ladeluftkühler ist ein erstes Drosselventil **6** montiert, um den Luftstrom in den Einlassströmungsweg zu regulieren und die Ansaugluftmenge zu steuern, die in den Zylinder 7C strömt. Zudem ist in einem zweiten Strömungsweg 23 ein zweites Drosselventil 24 montiert, um den Luftstrom in den Einlassströmungsweg zu regulieren und die Ansaugluftmenge zu steuern, die in den Zylinder 7 strömt.

**[0104]** Die zwei Drosselventile **6**, **24** werden durch Drosselventile elektronisch gesteuert, deren Ventilöffnung als Reaktion auf den Niederdruckbetrag eines Gaspedals gesteuert werden kann. Der erste Strömungsweg 22 und der zweite Strömungsweg 23 laufen stromabwärts von den Drosselventilen **6**, **24** zusammen und ein Ansaugkrümmer **8** ist stromabwärts von den Ventilen verbunden. Daher kann, indem das Verhältnis zwischen der Öffnung des ersten

Drosselventils **6** und der Öffnung des zweiten Drosselventils 24 verändert wird, die Temperatur der Ansaugluft, welche in den Zylinder 7C eingespeist wird, gesteuert werden.

**[0105]** Das heißt, dass Luft, die durch den ersten Strömungsweg 22 strömt, durch den Ladeluftkühler **5** gekühlt wird, während Luft, die durch den zweiten Strömungsweg 23 strömt, weiterhin eine hohe Temperatur aufweist, ohne gekühlt zu werden. Wenn die Luftmenge, die durch den ersten Strömungsweg 22 strömt, durch das erste Drosselventil **6** verringert wird und die Luftmenge, die durch den zweiten Strömungsweg 23 strömt, durch das zweite Drosselventil **6** erhöht wird, steigt somit die Temperatur der gesamten Luft, die in den Zylinder 7G eingespeist wird. Wenn andernfalls die Luftmenge, die durch den ersten Strömungsweg 22 strömt, durch das erste Drosselventil **6** erhöht wird und die Luftmenge, die durch den zweiten Strömungsweg 23 strömt, durch das zweite Drosselventil **6** verringert wird, fällt die Temperatur der gesamten Luft, die in den Zylinder 7C eingespeist wird. Im Laufe eines Übergangs von dem SI-Verbrennung-Steuermodus in den HCCI-Verbrennung-Steuermodus, wenn die Luftmenge, die durch den ersten Strömungsweg 22 strömt, durch das erste Drosselventil **6** verringert wird und die Luftmenge, die durch den zweiten Strömungsweg 23 strömt, durch das zweite Drosselventil 6 erhöht wird, steigt somit die Ansauglufttemperatur und die Umgebungstemperatur in der Brennkammer kann erhöht werden.

**[0106]** In **Fig. 13** und **Fig. 14** ist es im Laufe eines Übergangs in einen Steuermodus für eine SI-Verbrennung bei höherer Temperatur, in den Steuermodus für eine Zwischenverbrennung bei höherer Temperatur und in den Steuermodus für eine Vor-Umschalt-Verbrennung bei höherer Temperatur, indem die Öffnung des ersten Drosselventils **6** graduell verringert wird, um die Luftmenge, die in den Ladeluftkühler **5** strömt, zu verringern, und indem umgekehrt die Öffnung des zweiten Drosselventils 24 graduell erhöht wird, möglich, die Temperatur von Luft zu erhöhen, die in den Verbrennungsmotor gelangt. Indem dadurch die Umgebungstemperatur in der Brennkammer steigt, ist es möglich, die Verdichtungsendtemperatur  $T_c$  während eines Verdichtungstakts weiter zu erhöhen.

**[0107]** In der vorliegenden Ausführungsform wird in dem Steuermodus für eine Vor-Umschalt-Verbrennung bei höherer Temperatur die Kraftstoffeinspritzungsmenge verringert, die sich von derjenigen der zweiten Ausführungsform unterscheidet, wie in einem Graphen bezüglich der Kraftstoffeinspritzungsmenge in **Fig. 15**, und eine Verbrennung wird mit der verringerten Kraftstoffeinspritzungsmenge in dem mageren SI-Verbrennungsbereich durchgeführt. So mit kann ein Kraftstoffverbrauch wiederhergestellt werden. Wie in einem Graphen bezüglich des Zün-

dungszeitpunkts, wird auch der Zündungszeitpunkt in diesem Modus gesteuert, sodass er vorverlegt ist, um eine Drehmomentverringerung durch eine magere Verbrennung zu kompensieren. Darüber hinaus trägt die Steuerung zur Vorverlegung des Zündungszeitpunkts auch dazu bei, einen Abgasverlust zu reduzieren und eine Kraftstoffeffizienz zu verbessern.

**[0108]** Es besteht hier die Möglichkeit, dass ein Halten des zylinderinternen Gas-Kraftstoff-Verhältnisses (G/F) in dem mageren SI-Verbrennungsbereich die Verbrennungstemperatur im Vergleich zu einem Fall senkt, in dem das G/F nahe dem stöchiometrischen Gemischverhältnis gehalten wird. Die Öffnung des ersten Drosselventils **6** schließt jedoch graduell bis sie vollständig geschlossen ist, und die Öffnung des zweiten Drosselventils **24** öffnet graduell, bis sie vollständig offen ist. Folglich nimmt die Luftmenge, die in dem Ladeluftkühler **5** strömt, ab und die Temperatur der Ansaugluft, die in den Verbrennungsmotor gelangt, nimmt zu. Somit werden, indem die Umgebungstemperatur in der Brennkammer für eine HCCI-Verbrennung in einem nächsten Verbrennungszyklus erhöht wird und die Verdichtungsendtemperatur  $T_c$  steigt, die Umgebungsbedingungen erfüllt, damit eine HCCI-Verbrennung stattfindet.

**[0109]** **Fig. 15** veranschaulicht eine Beziehung zwischen dem zylinderinternen Gas-Kraftstoff-Verhältnis (G/F), der Verdichtungsendtemperatur  $T_c$  und den Verbrennungsbereichen basierend auf **Fig. 2**, wenn ein Umschalten von dem SI-Verbrennung-Steuermodus in den HCCI-Verbrennung-Steuermodus durchgeführt wird. Man beachte, dass eine „•“-Kennzeichnung veranschaulichend einen Passierpunkt eines Verbrennungszyklus während eines Zeitraums eines Übergangs von dem SI-Verbrennung-Steuermodus in den HCCI-Verbrennung-Steuermodus bezeichnet.

**[0110]** Im Grunde ist der Betrieb der gleiche wie in **Fig. 9**. In dem Steuermodus für eine Vor-Umschalt-Verbrennung bei höherer Temperatur wird jedoch die Kraftstoffeinspritzungsmenge verringert und die Verdichtungsendtemperatur  $T_c$  wird gesenkt. Daraus kann sich eine Verbrennung in dem SI-Verbrennungsbereich mit Klopfmöglichkeit auf einem Temperaturniveau, das durch eine „O“-Kennzeichnung angegeben ist, auf eine Verbrennung in dem mageren SI-Verbrennungsbereich verschieben und es ist somit möglich, eine anomale Verbrennung wie etwa ein Klopfen zu verhindern. Da eine magere Verbrennung mit der verringerten Kraftstoffeinspritzmenge durchgeführt wird, erzeugt dies zudem die Wirkung, einen Kraftstoffverbrauch zu ermöglichen. Außerdem ist es, da der Zündungszeitpunkt so gesteuert wird, dass er vorverlegt ist, möglich, den Abgasverlust zu reduzieren und darüber hinaus die Kraftstoffeffizienz zu verbessern.

**[0111]** Wie in dem vorangehenden Kontext beschrieben, wurde gemäß der vorliegenden Erfindung eine Struktur wie folgt eingerichtet: Wenn von dem SI-Verbrennung-Steuermodus in den HCCI-Verbrennung-Steuermodus umgeschaltet wird, wird die Steuerung ausgeführt, um eine Temperatur durch mindestens die Öffnungs- und Schließphase der verstellbaren Ventilmechanismen, die Kraftstoffeinspritzungsmenge und den Zündungszeitpunkt zu erhöhen, wobei diese Steuerung die Verdichtungsendtemperatur des Luft-Kraftstoff-Gemischs in der Brennkammer im Laufe eines Übergangs zu einer HCCI-Verbrennung erhöht und einen Übergang in den HCCI-Verbrennung-Steuermodus vornimmt.

**[0112]** Im Laufe des Umschaltens von dem SI-Verbrennung-Steuermodus in den HCCI-Verbrennung-Modus werden hierdurch die Kraftstoffeinspritzung, die Zündung und die Öffnungs- und Schließphase des Einlass- und des Auslassventils angemessen gesteuert und die Verdichtungsendtemperatur des Luft-Kraftstoff-Gemischs in dem Zylinder kann auf eine für eine HCCI-Verbrennung geeignete Temperatur festgelegt werden. Es wird ermöglicht, einen zufrieden stellenden Übergang von dem SI-Verbrennung-Steuermodus in den HCCI-Verbrennung-Steuermodus durchzuführen.

**[0113]** Man beachte, dass die vorliegende Erfindung nicht auf die hier zuvor beschriebenen Ausführungsformen beschränkt ist und verschiedene Modifizierungen hierin enthalten sind. Beispielsweise sind die vorangegangenen Ausführungsformen diejenigen, die ausführlich beschrieben wurden, um die vorliegende Erfindung klar zu erörtern und die vorliegende Erfindung ist nicht notwendigerweise auf diejenigen beschränkt, die alle beschriebenen Komponenten umfassen. Zudem kann ein Untersatz der Komponenten einer Ausführungsform durch Komponenten einer anderen Ausführungsform ersetzt werden und Komponenten einer anderen Ausführungsform können zu den Komponenten einer Ausführungsform hinzugefügt werden. Darüber hinaus können für einen Untersatz der Komponenten jeder Ausführungsform andere Komponenten zu dem Untersatz hinzugefügt werden oder der Untersatz kann entfernt oder durch andere Komponenten ersetzt werden.

#### Bezugszeichenliste

- |          |                    |
|----------|--------------------|
| <b>1</b> | Verbrennungsmotor, |
| <b>2</b> | Turbine,           |
| <b>3</b> | Verdichter,        |
| <b>4</b> | Turbolader,        |
| <b>5</b> | Ladeluftkühler,    |
| <b>6</b> | Drosselventil,     |
| <b>7</b> | Zylinder 7C,       |

- 8 Ansaugkrümmer,
- 9 Ansauglufttemperatur/-drucksensor,
- 10 Strömungsverstärkungsventil,
- 11 Kraftstoff-Einspritzventil,
- 12 Einlassventil,
- 13 Auslassventil,
- 14, 15 Ventilstellungssensor,
- 16 Zündkerze,
- 17 Kurbelwinkelsensor,
- 18 Abgastemperatur/-drucksensor,
- 19 Luft-Kraftstoff-Verhältnissensor,
- 20 ECU.

**ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG**

*Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.*

**Zitierte Patentliteratur**

- JP 2015140728 [0006, 0007]

## Patentansprüche

1. Verbrennungsmotor-Steuervorrichtung, die für einen Verbrennungsmotor verwendet wird, umfassend mindestens Kraftstoff-Steuermittel zum Zuführen von Kraftstoff zu einer Brennkammer und Bilden eines brennbaren Luft-Kraftstoff-Gemischs, Zündungssteuermittel zum Zünden des brennbaren Luft-Kraftstoff-Gemischs in der Brennkammer und verstellbare Einlass- und Auslassventilmechanismen, die eine Öffnungs- und Schließphase eines Einlassventils und eines Auslassventils ändern, die sich über der Brennkammer befinden, wobei die Verbrennungsmotor-Steuervorrichtung Steuermittel umfasst, um eine Steuerung über ein Umschalten zwischen einer vorgemischten Funkenzündungsverbrennung (im Folgenden als SI-Verbrennung bezeichnet) durch das Zündungssteuermittel und einer vorgemischten Kompressionszündungsverbrennung (im Folgenden als HCCI-Verbrennung bezeichnet) durch eine Kompressionswirkung eines Kolbens durchzuführen, wobei das Steuermittel, wenn von einem SI-Verbrennung-Steuermodus, in welchem die SI-Verbrennung stattfindet, in einen HCCI-Verbrennung-Steuermodus, in welchem die HCCI-Verbrennung stattfindet, umgeschaltet wird, eine Steuerung durchführt, um eine Temperatur zu erhöhen, wobei die Steuerung ein Steuern mindestens einer Kraftstoffeinspritzungsmenge durch das Kraftstoffsteuermittel, eines Zeitpunktes einer Zündung durch das Zündungssteuermittel und einer Öffnungs- und Schließphase durch die verstellbaren Einlass- und Auslassventilmechanismen umfasst, wodurch eine Verdichtungsendtemperatur eines Luft-Kraftstoff-Gemischs in der Brennkammer während eines Übergangs zu der HCCI-Verbrennung erhöht wird und ein Übergang zu dem HCCI-Verbrennung-Steuermodus stattfindet.

2. Verbrennungsmotor-Steuervorrichtung nach Anspruch 1, wobei die Steuerung, um eine Temperatur zu erhöhen, umfasst:  
 einen Steuermodus für eine SI-Verbrennung bei höherer Temperatur zur Temperaturerhöhung unter Bedingungen, unter denen Kraftstoff durch das Kraftstoffsteuermittel zugeführt wird, eine Zündung durch das Zündungssteuermittel betätigt wird und eine negative Ventilüberschneidung (im Folgenden als N-O/L bezeichnet) durch die verstellbaren Einlass- und Auslassventilmechanismen erzeugt wird;  
 einen Steuermodus für eine Zwischenverbrennung bei höherer Temperatur zur Temperaturerhöhung unter Bedingungen, unter denen Kraftstoff durch das Kraftstoffsteuermittel gestoppt wird, eine Zündung durch das Zündungssteuermittel gestoppt wird und eine N-O/L durch die verstellbaren Einlass- und Auslassventilmechanismen erzeugt wird; und  
 einen Steuermodus für eine Vor-Umschalt-Verbrennung bei höherer Temperatur zur Temperaturerhöhung unter Bedingungen, unter denen Kraftstoff durch das Kraftstoffsteuermittel zugeführt wird, ei-

ne Zündung durch das Zündungssteuermittel betätigt wird und eine N-O/L durch die verstellbaren Einlass- und Auslassventilmechanismen erzeugt wird, und wenn von einem SI-Verbrennung-Steuermodus, in welchem die SI-Verbrennung stattfindet, in einen HCCI-Verbrennung-Steuermodus, in welchem die HCCI-Verbrennung stattfindet, umgeschaltet wird, das Steuermittel mindestens einen Übergang von dem SI-Verbrennung-Steuermodus in den Steuermodus für eine Zwischenverbrennung bei höherer Temperatur, einen Übergang von dem Steuermodus für eine Zwischenverbrennung bei höherer Temperatur in den Steuermodus für eine Vor-Umschalt-Verbrennung bei höherer Temperatur und einen Übergang von dem Steuermodus für eine Vor-Umschalt-Verbrennung bei höherer Temperatur in den HCCI-Verbrennung-Steuermodus durchführt.

3. Verbrennungsmotor-Steuervorrichtung nach Anspruch 2, wobei das Steuermittel den Steuermodus für eine SI-Verbrennung bei höherer Temperatur zwischen dem SI-Verbrennung-Steuermodus und dem Steuermodus für eine Zwischenverbrennung bei höherer Temperatur ausführt.

4. Verbrennungsmotor-Steuervorrichtung nach Anspruch 2,  
 wobei das Steuermittel ein zylinderinternes Gas-Kraftstoff-Verhältnis eines brennbaren Luft-Kraftstoff-Gemischs in dem Steuermodus für eine SI-Verbrennung bei höherer Temperatur derart steuert, dass das zylinderinterne Gas-Kraftstoff-Verhältnis nahe einem stöchiometrischen Gemischverhältnis liegen wird, und einen Zündungszeitpunkt in dem Steuermodus für eine SI-Verbrennung bei höherer Temperatur derart steuert, dass der Zündungszeitpunkt bezüglich eines Zündungszeitpunkts in dem SI-Verbrennung-Steuermodus verzögert sein wird, und  
 wobei das Steuermittel ein zylinderinternes Gas-Kraftstoff-Verhältnis eines brennbaren Luft-Kraftstoff-Gemischs in dem Steuermodus für eine Vor-Umschalt-Verbrennung bei höherer Temperatur derart steuert, dass das zylinderinterne Gas-Kraftstoff-Verhältnis nahe einem stöchiometrischen Gemischverhältnis liegen wird, und einen Zündungszeitpunkt in dem Steuermodus für eine Vor-Umschalt-Verbrennung bei höherer Temperatur derart steuert, dass der Zündungszeitpunkt bezüglich eines Zündungszeitpunkts in dem SI-Verbrennung-Steuermodus verzögert sein wird.

5. Verbrennungsmotor-Steuervorrichtung nach Anspruch 4, wobei das Steuermittel einen Zündungszeitpunkt für den Steuermodus für eine Vor-Umschalt-Verbrennung bei höherer Temperatur und den Steuermodus für eine SI-Verbrennung bei höherer Temperatur gleich festlegt.

6. Verbrennungsmotor-Steuervorrichtung nach Anspruch 2,

wobei das Steuermittel ein Luft-Kraftstoff-Verhältnis eines brennbaren Luft-Kraftstoff-Gemischs in dem Steuermodus für eine SI-Verbrennung bei höherer Temperatur derart steuert, dass das Luft-Kraftstoff-Verhältnis gleich einem zylinderinternen Gas-Kraftstoff-Verhältnis nahe einem stöchiometrischen Gemischverhältnis sein wird, und einen Zündungszeitpunkt in dem Steuermodus für eine S1-Verbrennung bei höherer Temperatur derart steuert, dass der Zündungszeitpunkt bezüglich eines Zündungszeitpunkts in dem SI-Verbrennung-Steuermodus verzögert sein wird, und

wobei das Steuermittel ein zylinderinternes Gas-Kraftstoff-Verhältnis eines brennbaren Luft-Kraftstoff-Gemischs in dem Steuermodus für eine Vor-Umschalt-Verbrennung bei höherer Temperatur derart steuert, dass das zylinderinterne Gas-Kraftstoff-Verhältnis magerer sein wird als ein stöchiometrisches Gemischverhältnis, und einen Zündungszeitpunkt in dem Steuermodus für eine Vor-Umschalt-Verbrennung bei höherer Temperatur derart steuert, dass der Zündungszeitpunkt bezüglich eines Zündungszeitpunkts in dem SI-Verbrennung-Steuermodus verzögert und bezüglich eines Zündungszeitpunkts in dem Steuermodus für eine SI-Verbrennung bei höherer Temperatur vorverlegt sein wird.

7. Verbrennungsmotor-Steuervorrichtung nach Anspruch 4 oder 6, wobei das Steuermittel einen Turbolader während eines Übergangs von dem SI-Verbrennung-Steuermodus in den HCCI-Verbrennung-Steuermodus betätigt.

8. Verbrennungsmotor-Steuervorrichtung nach Anspruch 4 oder 6, wobei das Steuermittel die Luftmenge, welche durch einen Ladeluftkühler gelangt, der sich stromabwärts von dem Turbolader befindet, verringert und die Luftmenge, welche nicht durch den Ladeluftkühler gelangt, während eines Übergangs von dem SI-Verbrennung-Steuermodus in den HCCI-Verbrennung-Steuermodus erhöht.

9. Steuerverfahren für einen Verbrennungsmotor, umfassend mindestens Kraftstoff-Steuermittel zum Zuführen von Kraftstoff zu einer Brennkammer und Bilden eines brennbaren Luft-Kraftstoff-Gemischs, Zündungssteuermittel zum Zünden des brennbaren Luft-Kraftstoff-Gemischs in der Brennkammer, verstellbare Einlass- und Auslassventilmechanismen, die eine Öffnungs- und Schließphase eines Einlassventils und eines Auslassventils ändern, die sich über der Brennkammer befinden, und Steuermittel, um ein Umschalten zwischen einer vorgemischten Funkenzündungsverbrennung (im Folgenden als SI-Verbrennung bezeichnet) durch das Zündungssteuermittel und einer vorgemischten Kompressionszündungsverbrennung (im Folgenden als HCCI-Verbrennung bezeichnet) durch eine Kompressionswirkung eines Kolbens zu steuern,

wobei das Steuermittel ein Umschalten von einem SI-Verbrennung-Steuermodus, in welchem die SI-Verbrennung stattfindet, in einen HCCI-Verbrennung-Steuermodus, in welchem die HCCI-Verbrennung stattfindet durchführt; und

wobei das Steuermittel mindestens eine Kraftstofffeinspritzungsmenge durch das Kraftstoffsteuermittel, einen Zeitpunkt einer Zündung durch das Zündungssteuermittel und eine Öffnungs- und Schließphase durch die verstellbaren Einlass- und Auslassventilmechanismen steuert, wodurch eine Verdichtungsendtemperatur eines Luft-Kraftstoff-Gemischs in der Brennkammer während eines Übergangs zu der HCCI-Verbrennung seriell erhöht wird und ein Übergang zu dem HCCI-Verbrennung-Steuermodus stattfindet.

Es folgen 15 Seiten Zeichnungen

## Anhängende Zeichnungen

FIG. 1

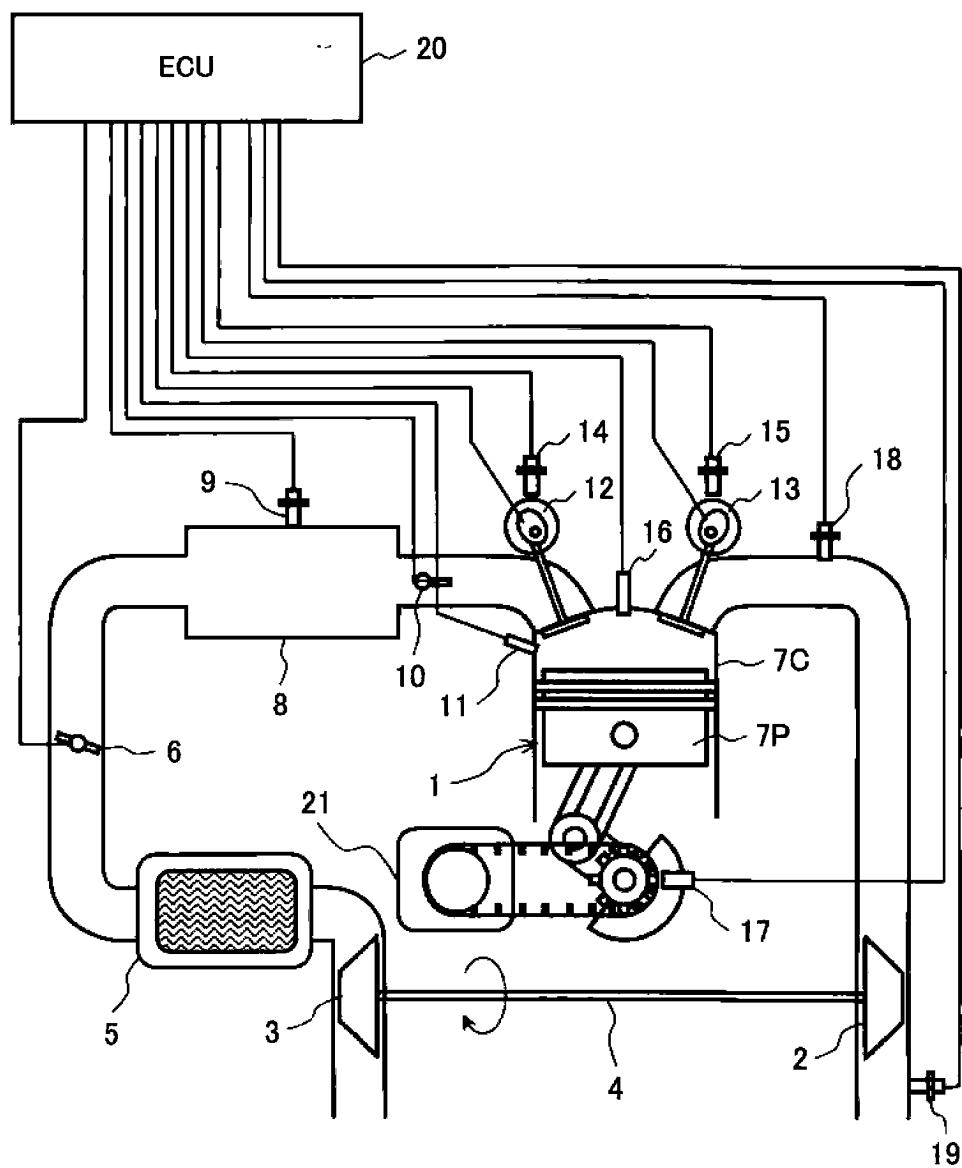
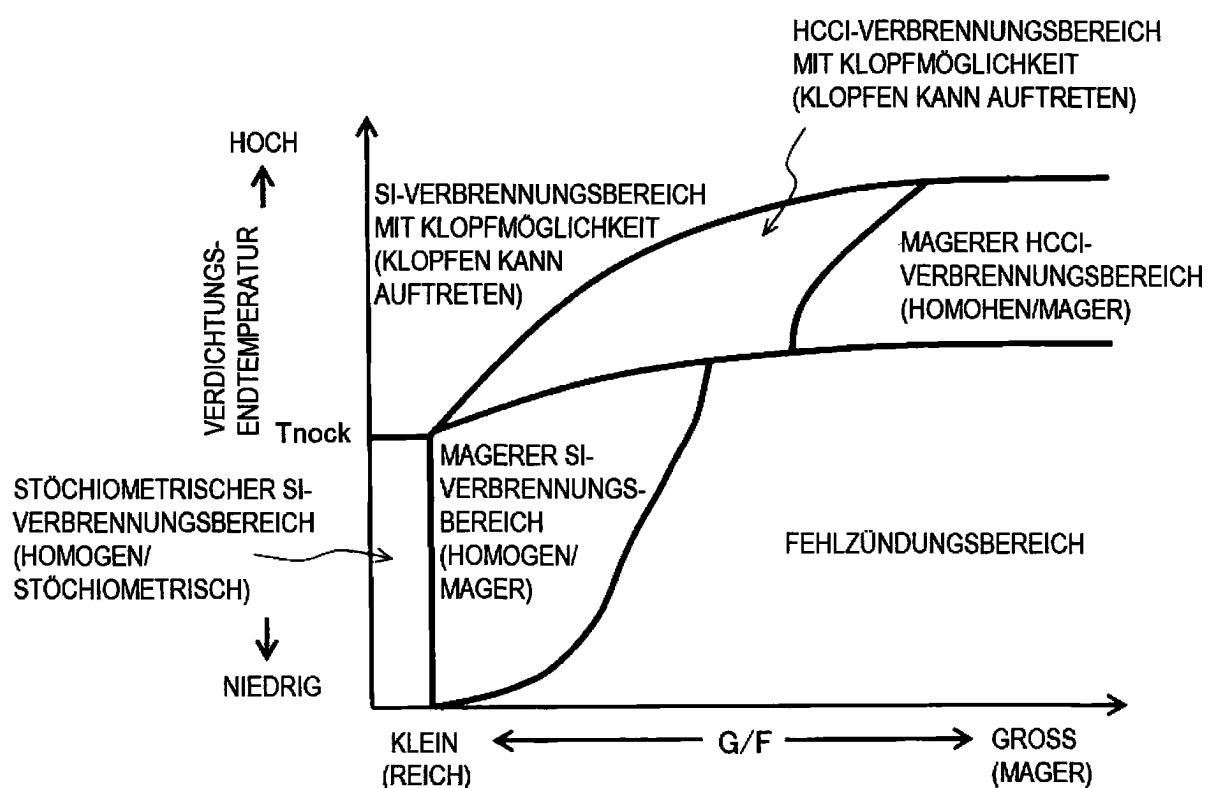


FIG. 2



*FIG. 3*

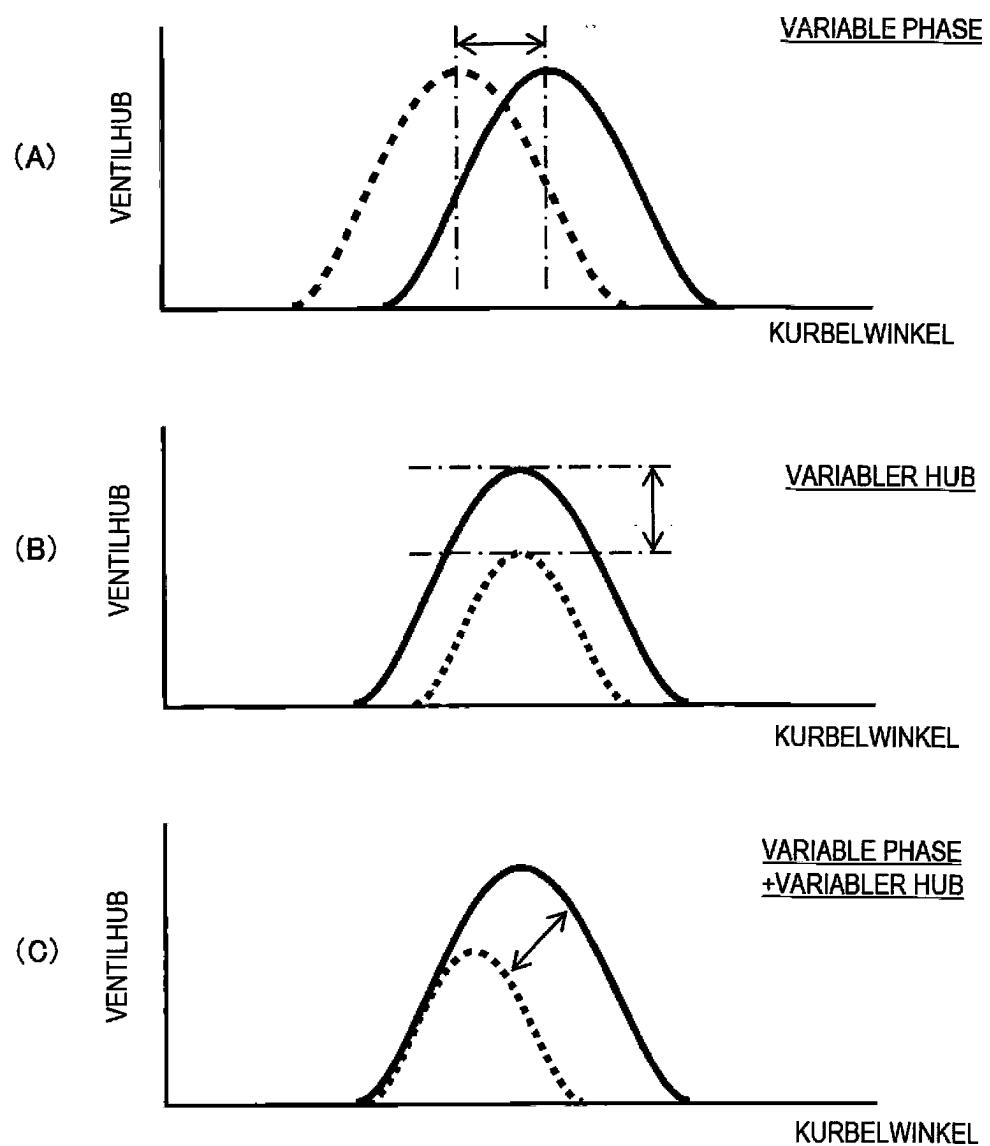


FIG. 4

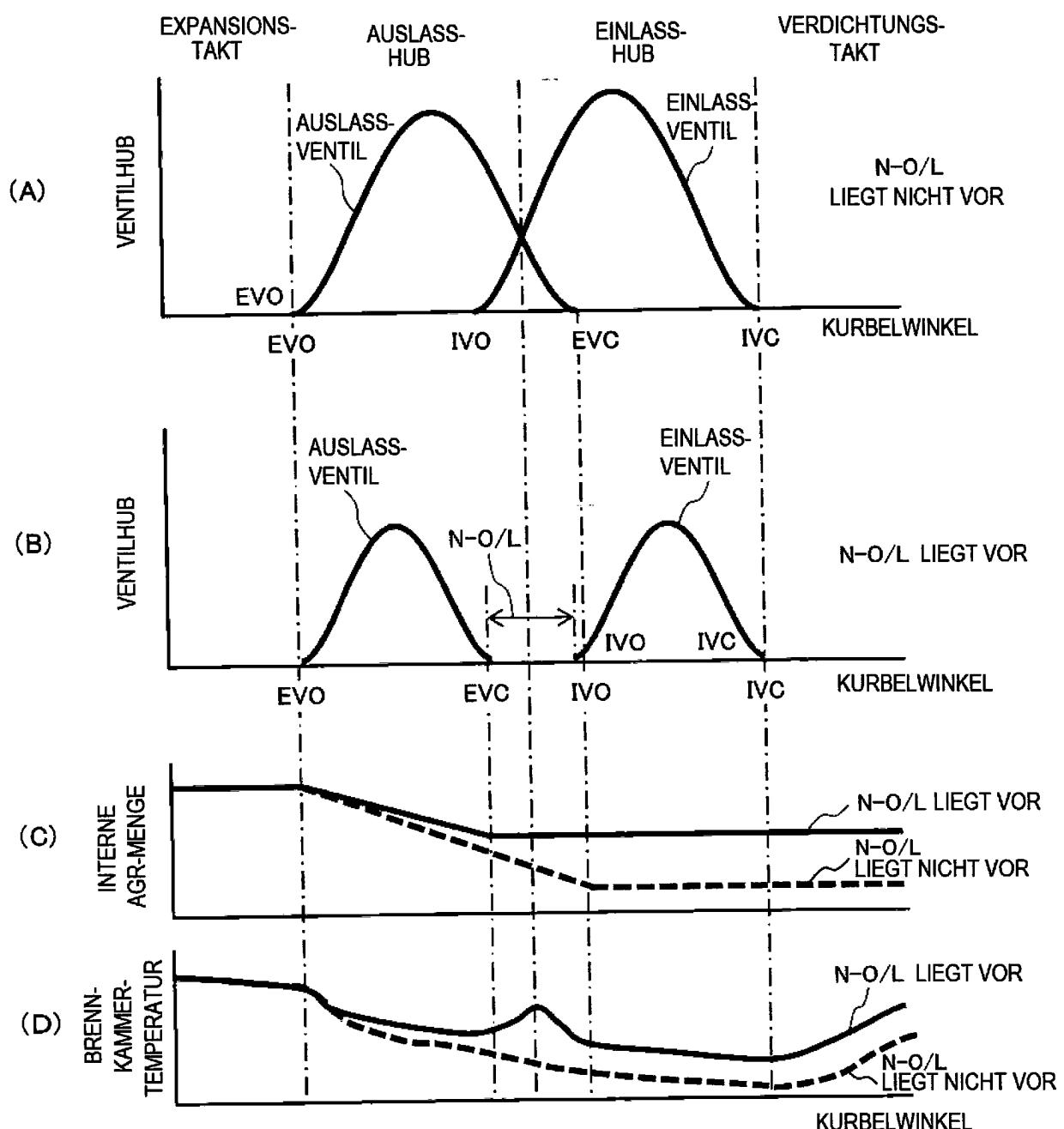


FIG. 5A

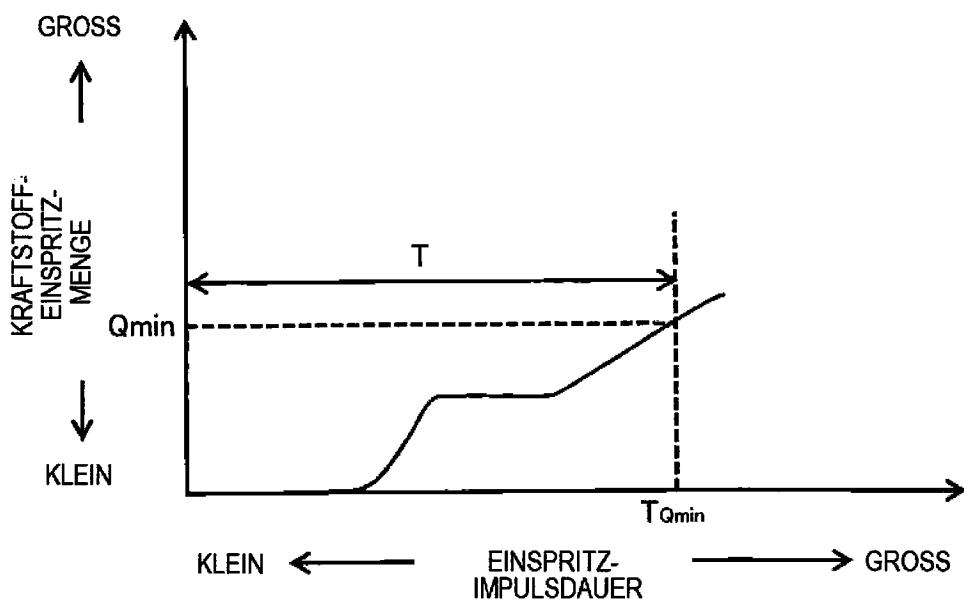


FIG. 5B

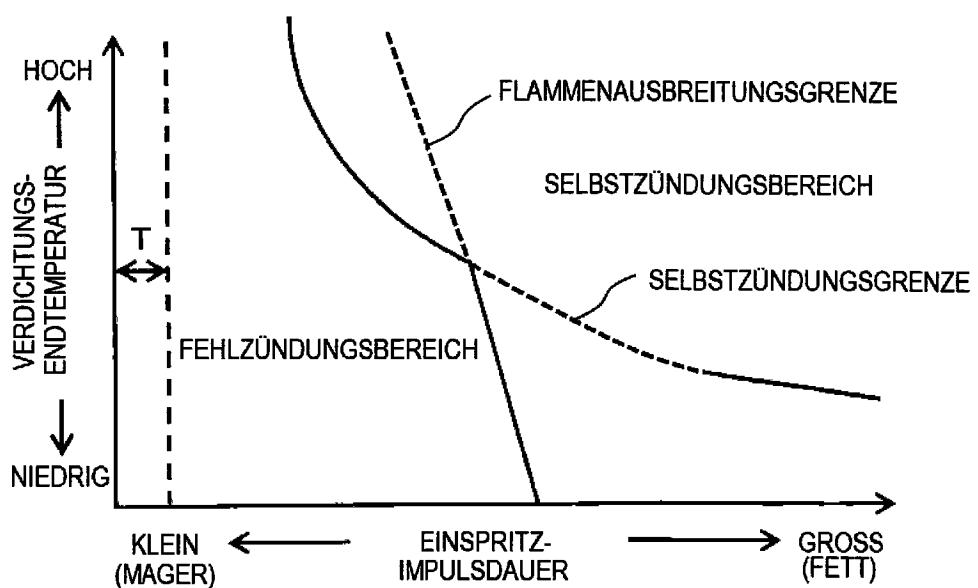


FIG. 6

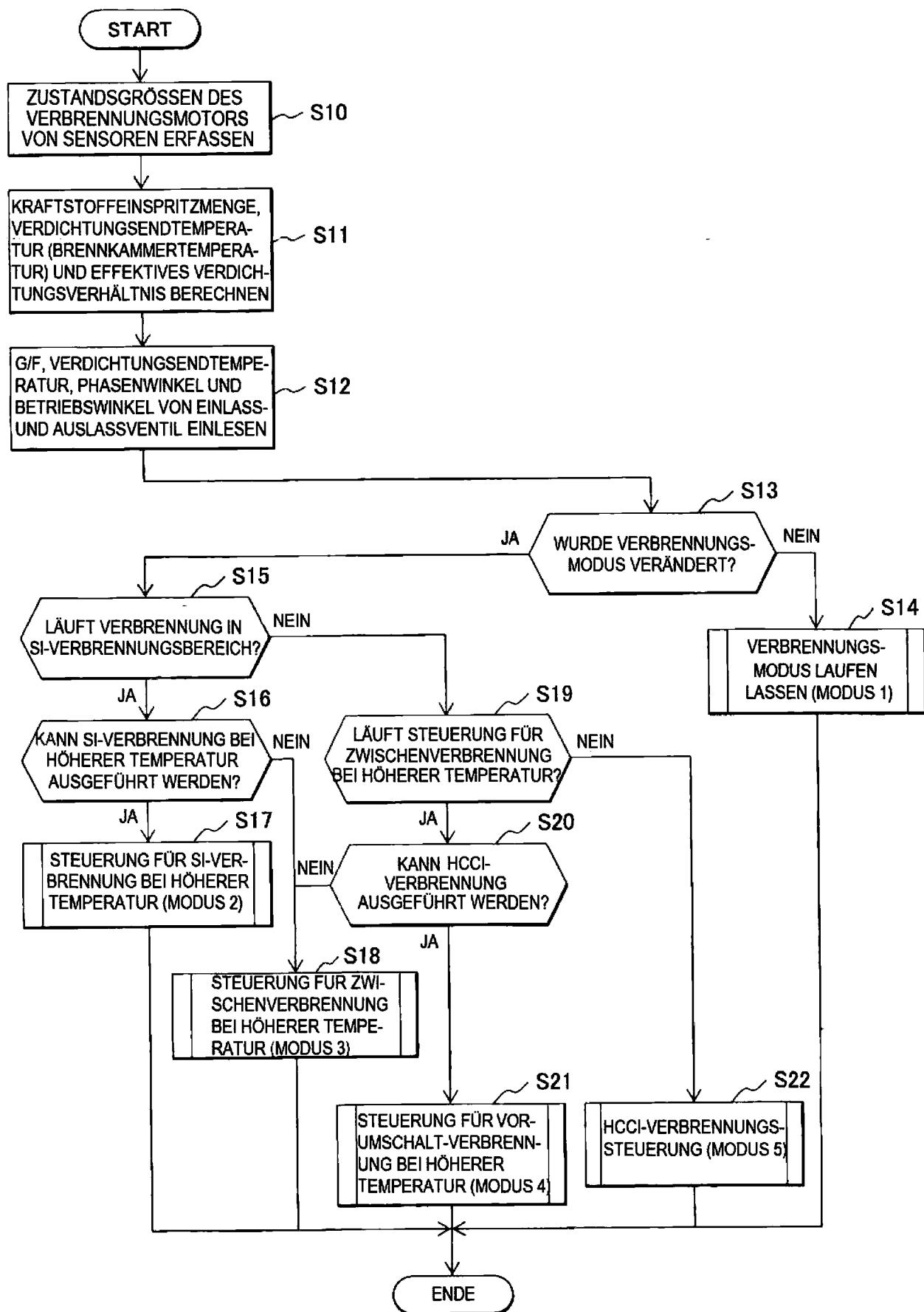


FIG. 7

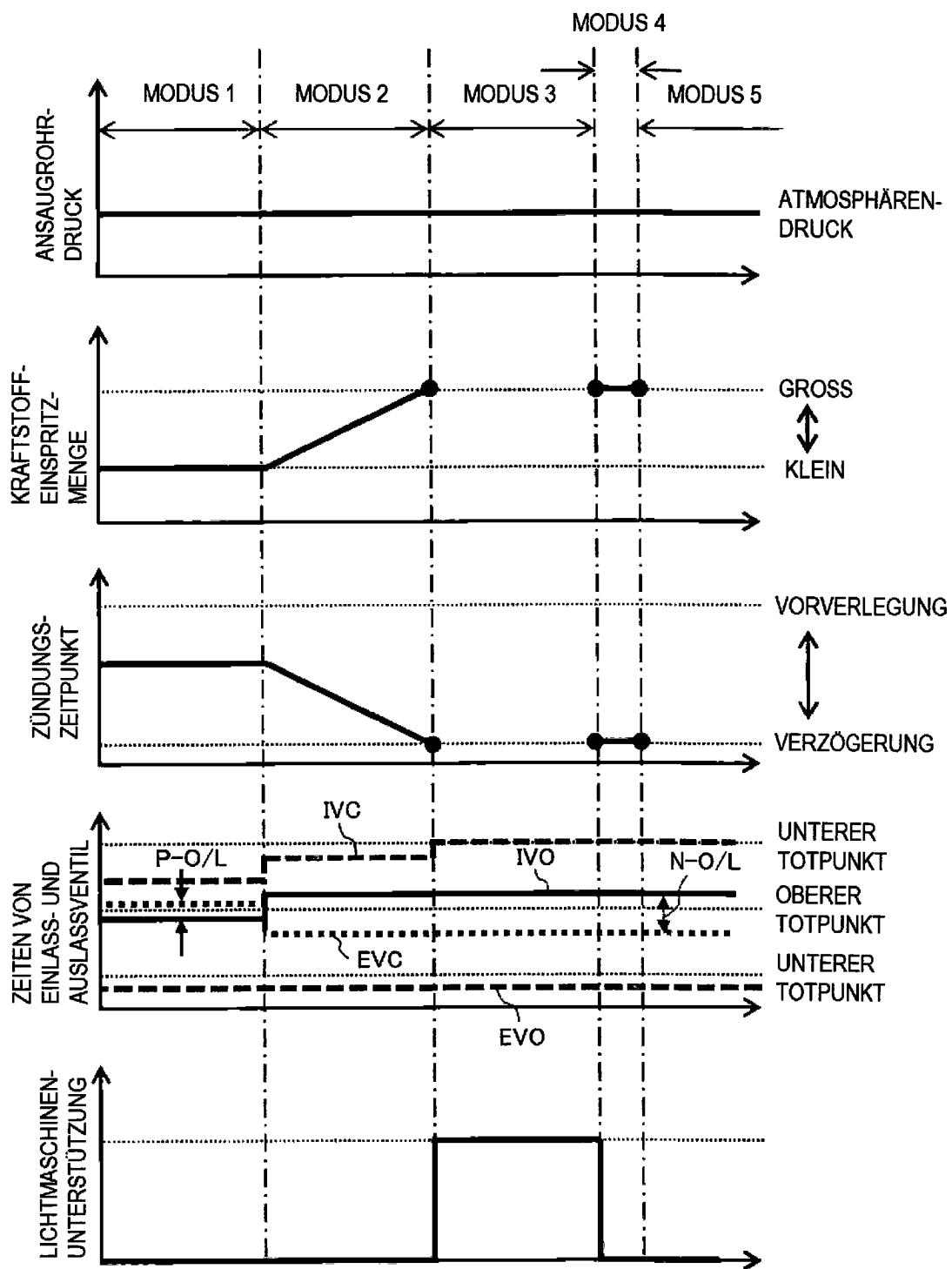


FIG. 8

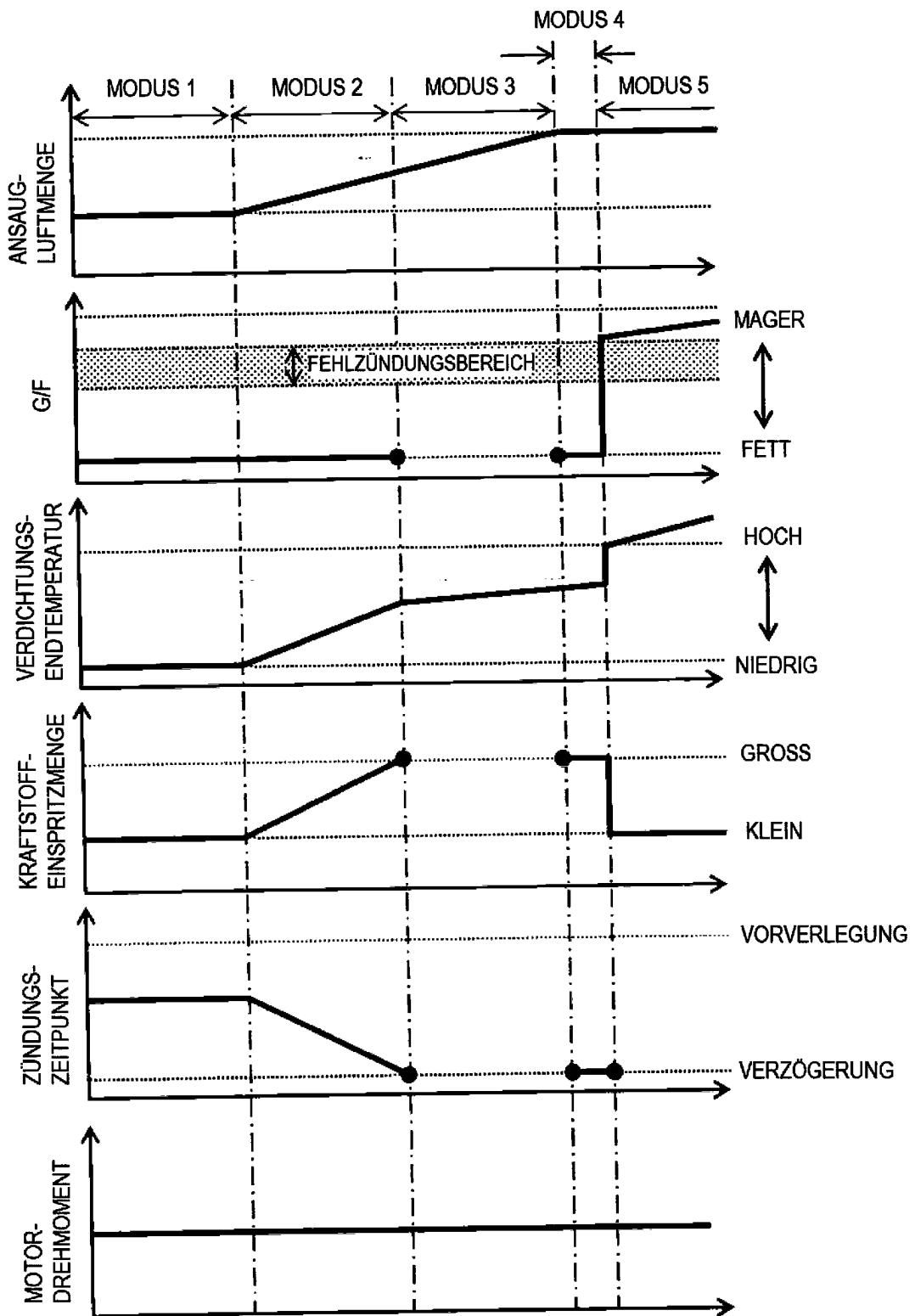


FIG. 9

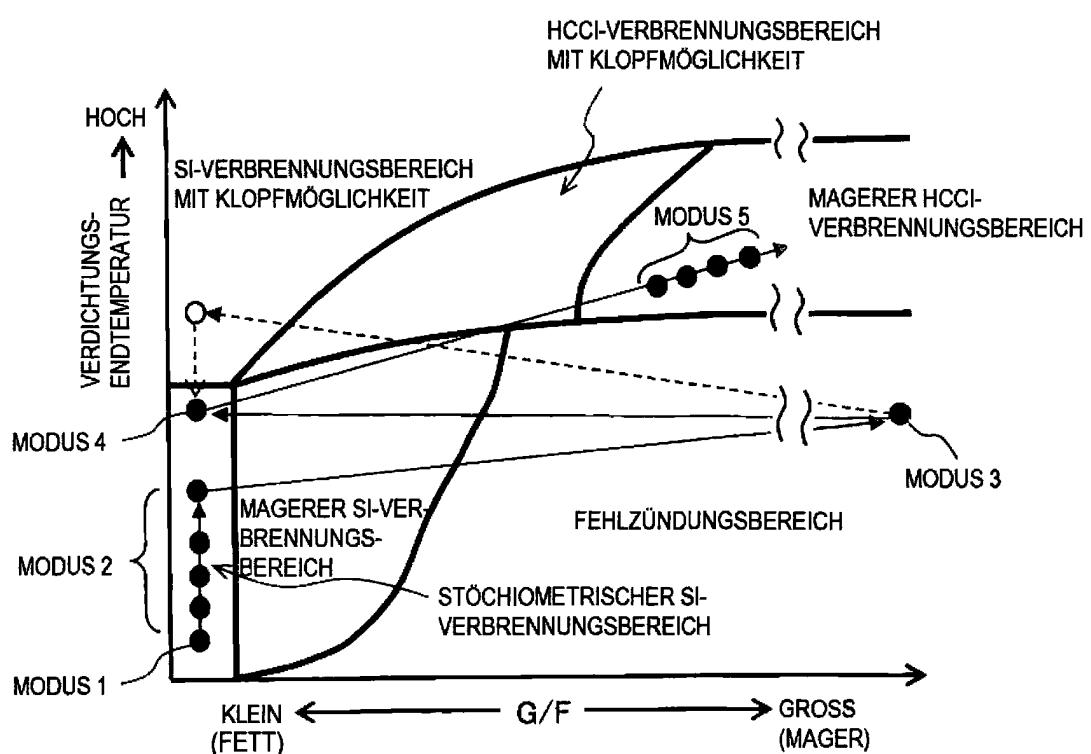


FIG. 10

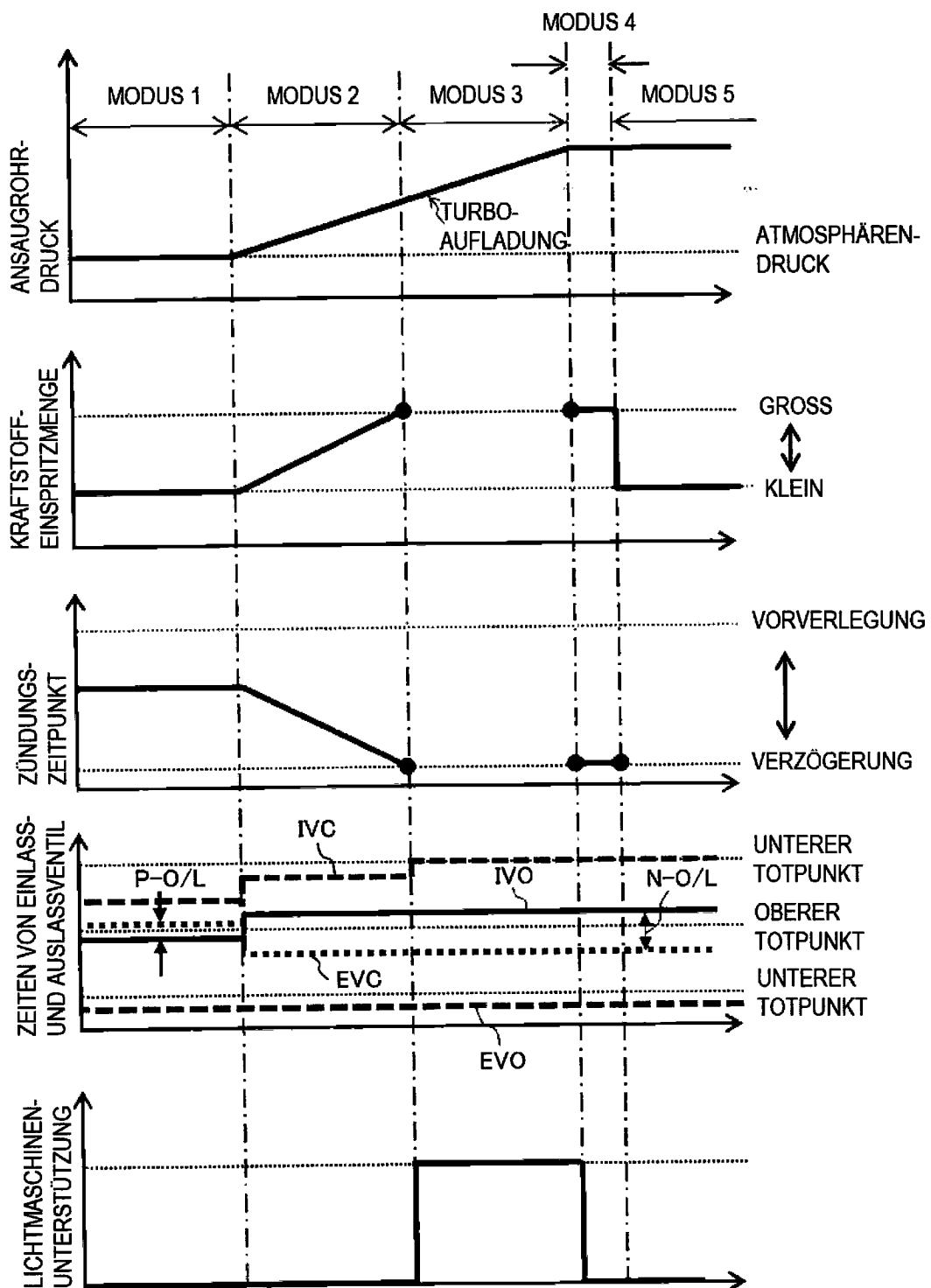
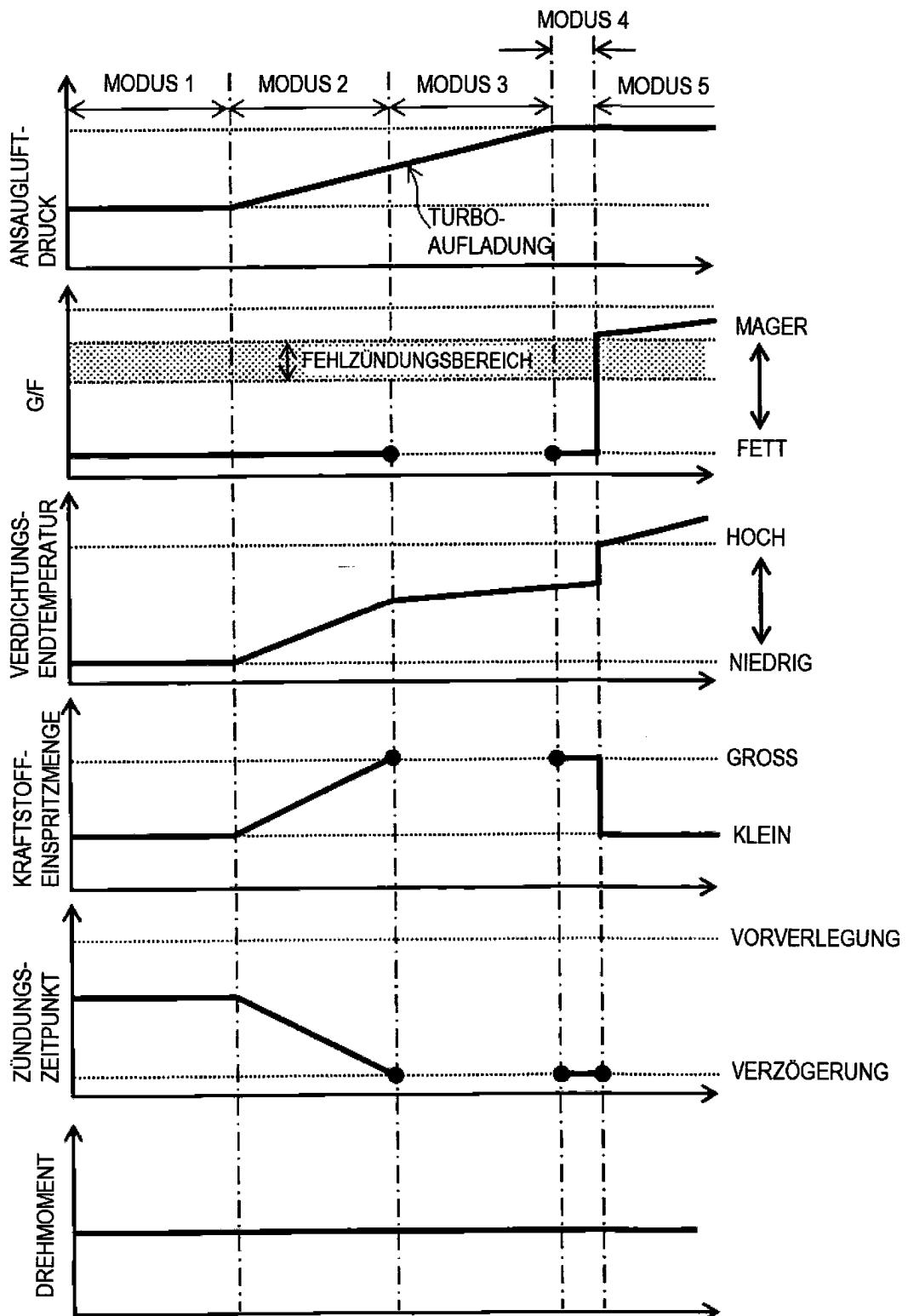


FIG. 11



*FIG. 12*

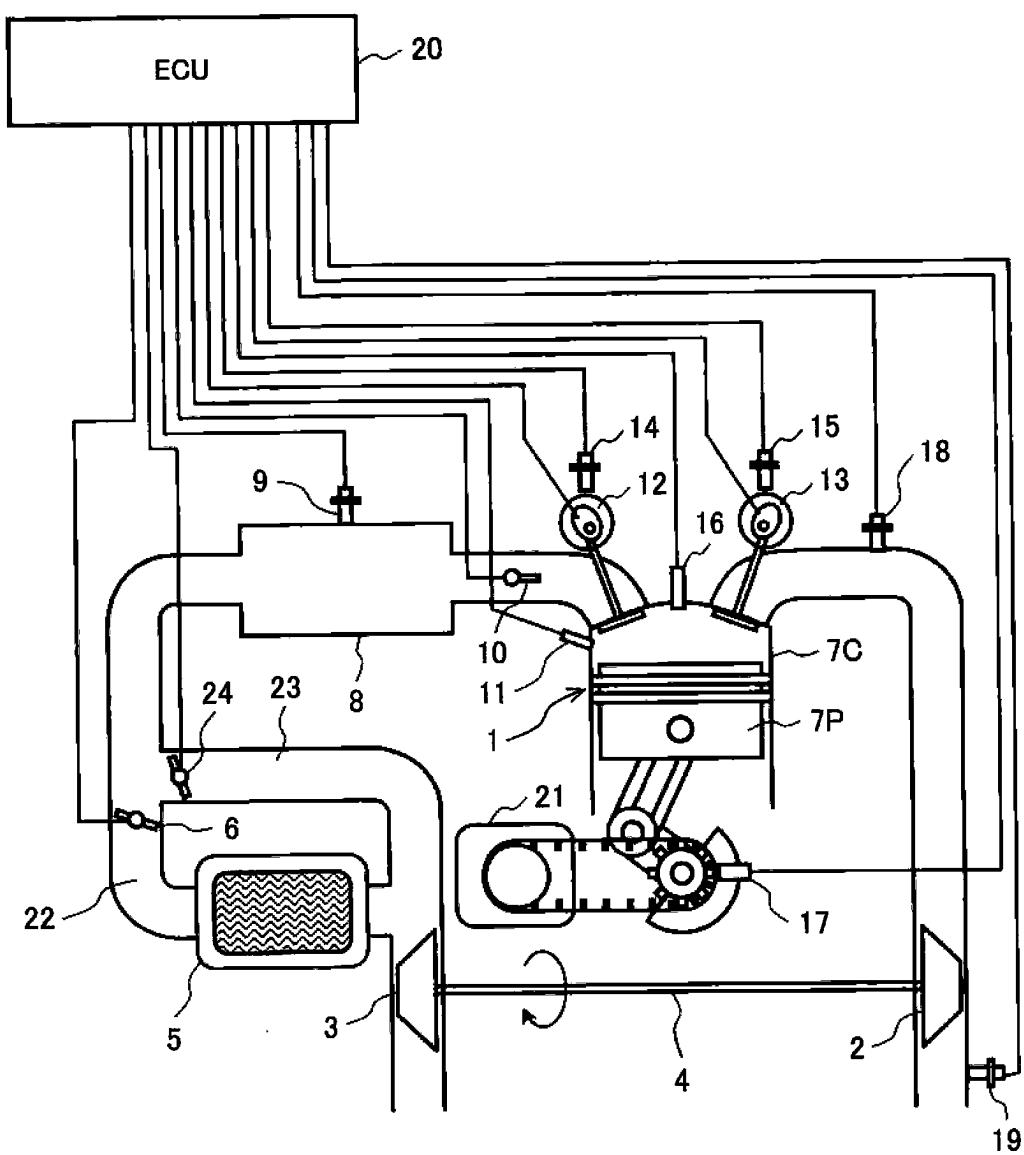


FIG. 13

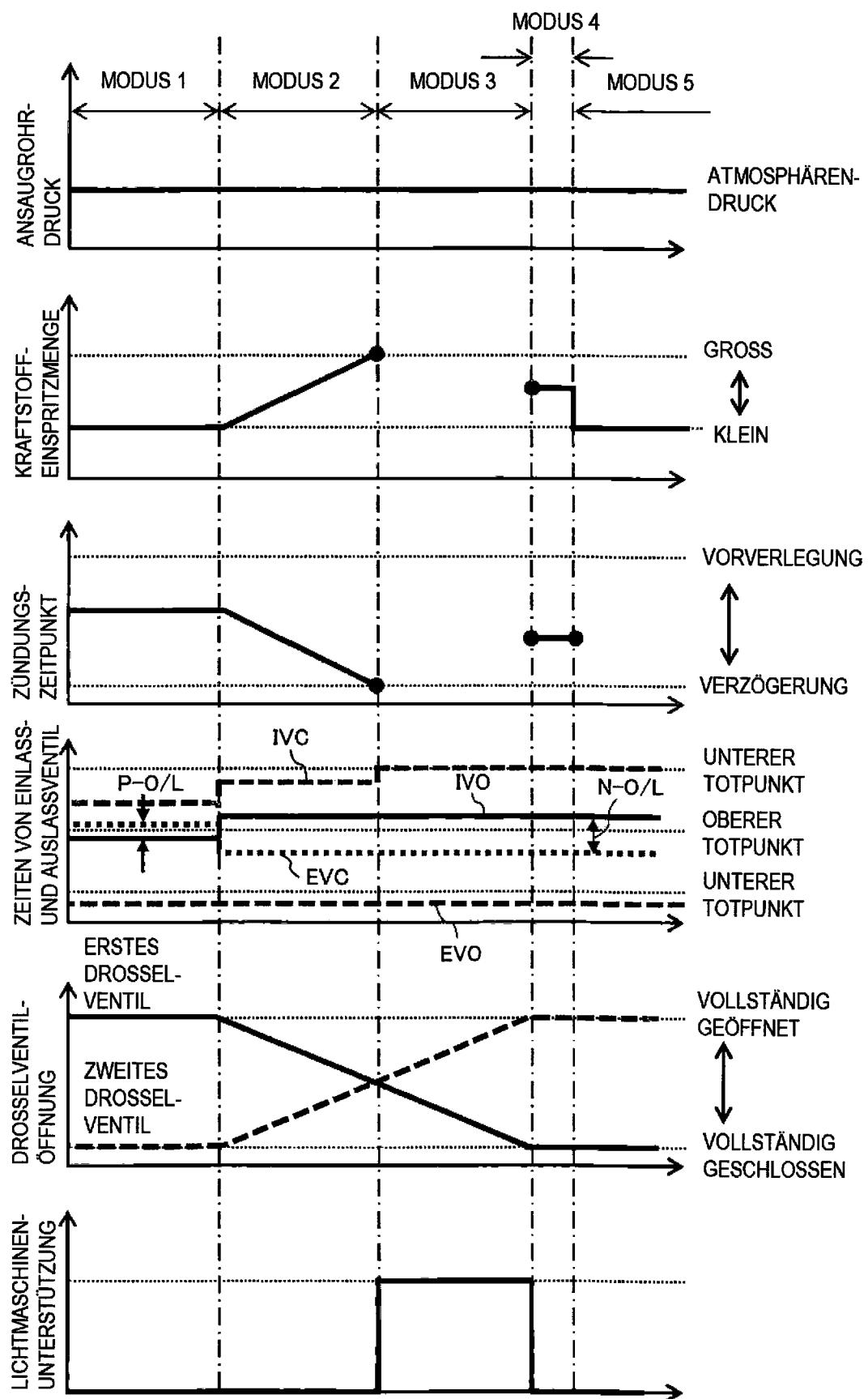
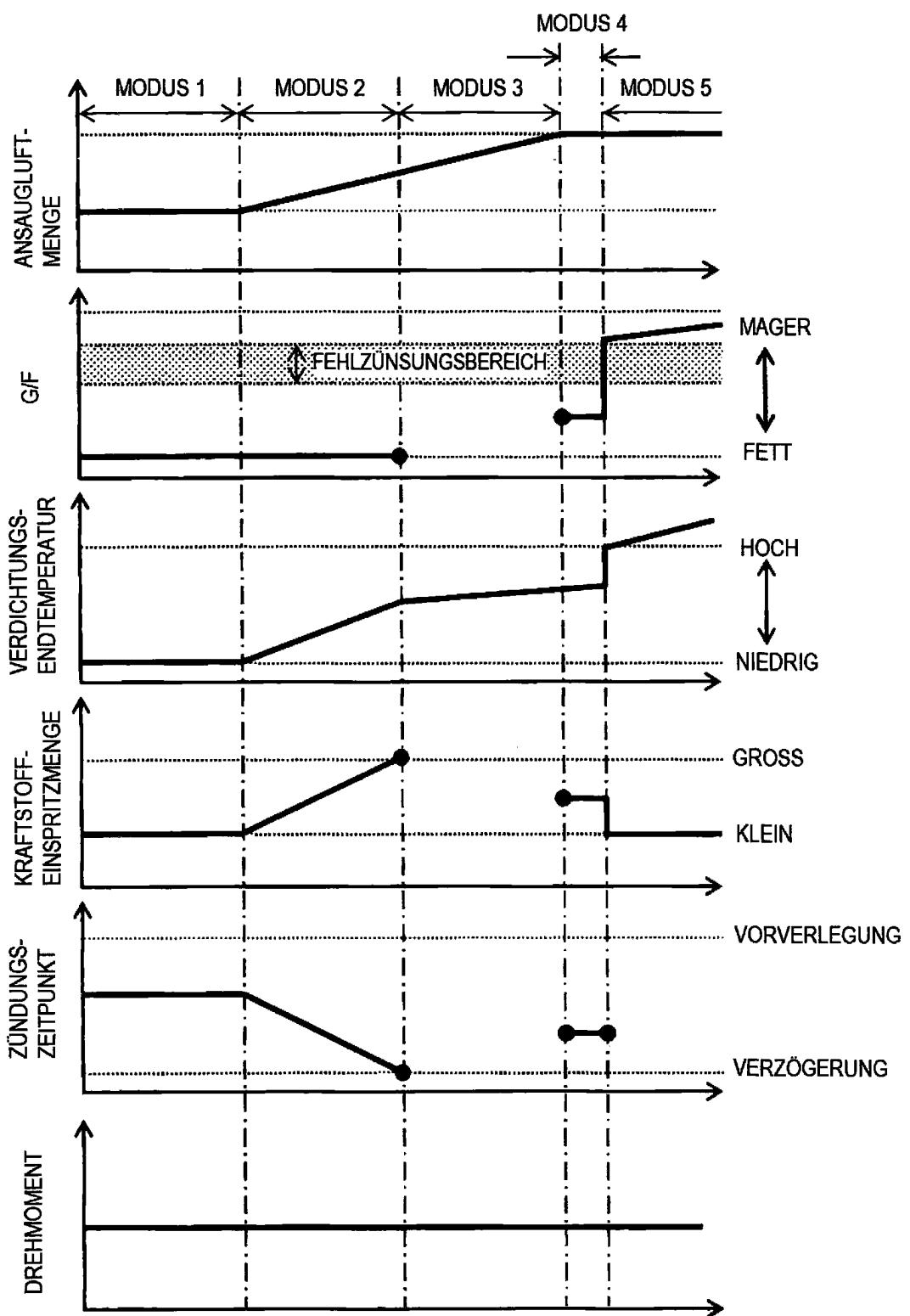


FIG. 14



*FIG. 15*

