



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 100 66 318 B4 2009.07.30**

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **100 66 318.4**
 (22) Anmeldetag: **17.10.2000**
 (43) Offenlegungstag: **10.05.2001**
 (45) Veröffentlichungstag
 der Patenterteilung: **30.07.2009**

(51) Int Cl.⁸: **F02D 45/00 (2006.01)**
F02D 41/18 (2006.01)
F02D 41/14 (2006.01)

Innerhalb von drei Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(30) Unionspriorität:
420323 18.10.1999 US

(62) Teilung aus:
100 51 423.5

(73) Patentinhaber:
Ford Global Technologies, LLC, Dearborn, Mich., US

(74) Vertreter:
Rechts- und Patentanwälte Lorenz Seidler Gossel, 80538 München

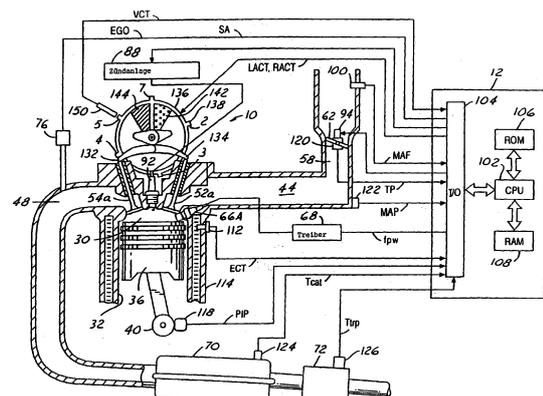
(72) Erfinder:
Kotwicki, Allan Joseph, Williamsburg, Mich., US;
Russel, John David, Farmington Hills, Mich., US;
Rutkowski, Brian D., Ypsilanti, Mich., US

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht gezogene Druckschriften:

DE	198 47 851	A1
US	56 90 071	A
US	55 48 995	A
US	50 19 989	A
JP	11-2 70 368	A

(54) Bezeichnung: **Verfahren zur Steuerung des Drehmomentes eines Verbrennungsmotors**

(57) Hauptanspruch: Verfahren zur Steuerung des Drehmomentes eines Verbrennungsmotors, der mindestens einen Zylinder, einen Ansaugkrümmer, ein Einlassventil, einen variablen Ventiltrieb zum variablen Steuern der Ventilöffnung des Einlassventils, eine dem Ansaugkrümmer zugeordnete elektronisch steuerbare Drosselklappe, ein Kraftstoffeinspritzventil, einen Abgaskrümmer sowie einen darin angeordneten Abgassensor aufweist, wobei eine in den Zylinder strömende Soll-Luftmenge bestimmt wird, dadurch gekennzeichnet, dass die genannte Soll-Luftmenge in Abhängigkeit eines gewünschten Drehmoments bestimmt wird, der Ventilhub des Einlassventils zur Erreichung des gewünschten Drehmoments verstellt wird, die Stellung der Drosselklappe in Abhängigkeit eines zuvor bestimmten Drucks im Ansaugkrümmer verändert wird, und die von dem Kraftstoffeinspritzventil eingespritzte Kraftstoffmenge in Abhängigkeit eines Signals des Abgassensors derart verändert wird, dass das durchschnittliche Luft-/Kraftstoffverhältnis etwa stöchiometrisch gehalten wird.



Beschreibung

Gebiet der Erfindung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Steuerung des Drehmoments eines Verbrennungsmotors, der mindestens einen Zylinder, einen Ansaugkrümmer, ein Einlassventil, einen variablen Ventiltrieb zum variablen Steuern der Ventilöffnung des Einlassventils, eine dem Ansaugkrümmer zugeordnete elektronisch steuerbare Drosselklappe, ein Kraftstoffeinspritzventil, einen Abgaskrümmer sowie einen darin angeordneten Abgassensor aufweist, wobei eine in den Zylinder strömende Soll-Luftmenge bestimmt wird.

Hintergrund der Erfindung

[0002] Bei manchen Motoren wird eine elektronisch gesteuerte Drosselklappe für eine Leistungsverbesserung eingesetzt. Die elektronische Drosselklappe wird insbesondere zur Regelung des Luftdurchsatzes auf einen gewünschten Wert, der durch Betriebsbedingungen und einen Fahrerbefehl bestimmt wird, verwendet. Auf diese Weise kann das Fahrzeug ein verbessertes Fahrgefühl und eine verbesserte Kraftstoffwirtschaftlichkeit erzielen.

[0003] Bei diesem System wird der erforderliche Luftdurchsatz dazu verwendet, eine anfängliche Einstellung der Drosselklappe zu ermitteln. Ferner wird auch eine Differenz zwischen dem erforderlichen Luftdurchsatz und dem tatsächlichen gemessenen Luftdurchsatz dazu verwendet, die anfängliche Einstellung der Drosselklappe zu berichtigen. Somit wird die Drosselklappe zur Steuerung des Luftdurchsatzes und damit des Motordrehmoments verwendet. Ein derartiges System wird in der US 5,019,989 A beschrieben.

[0004] Ein Nachteil bei dieser Steuerung der Drosselklappenstellung liegt insbesondere darin, dass die Drosselklappe das Drehmoment nicht schnell ändern kann, da die Drosselklappe eine in den Ansaugkrümmer strömende Menge steuert. Ein Steuern der in den Krümmer strömenden Luftmenge kann aufgrund des Krümmervolumens die Zylinderfüllung nicht schnell steuern. Wenn die Drosselklappe beispielsweise sofort geschlossen wird, sinkt die Luftfüllung des Zylinders nicht sofort auf Null. Der Motor muss die in dem Krümmer gespeicherte Luft herunterpumpen, was eine bestimmte Anzahl an Umdrehungen dauert. Daher sinkt die Luftfüllung des Zylinders nur allmählich auf Null.

[0005] Es sind auch Verfahren zum Steuern des Motordrehmoments bekannt, bei denen der Zündzeitpunkt verwendet wird. Zur Maximierung der Kraftstoffwirtschaftlichkeit sollte die Zündzeitpunktsteuerung insbesondere auf MBT-Zündzeitpunktsteuerung

(Zündsteuerung für maximales Drehmoment) stehen. An diesem Punkt reduziert aber die Verstellung des Zündzeitpunkts in jeder Richtung das Drehmoment und die Kraftstoffwirtschaftlichkeit. Daher kann bei der Maximierung der Kraftstoffwirtschaftlichkeit das Drehmoment schnell erhöht werden. Um die Zündzeitpunktsteuerung in positiver und negativer Richtung verwenden zu können, muss der Zündzeitpunkt weg von der MBT-Steuerung gesetzt werden. Dies erlaubt eine schnelle Motordrehmomentsteuerung, doch auf Kosten einer schlechteren Kraftstoffwirtschaftlichkeit.

[0006] Die DE 198 47 851 A1 schlägt vor, den Motor in niedrigem und mittlerem Lastbereich nicht mit einem stöchiometrischen Luft-/Kraftstoffgemisch, sondern mit einem Magergemisch mit Lambdawerten von 14 bis 20 zu betreiben. Hierfür soll die Drosselklappe vollständig geöffnet und die Einlassluftmenge alleine über den Ventilhub des Einlassventils gesteuert werden. Hierdurch kann jedoch die in den Zylinder strömende Luftmenge nicht rasch genug geändert werden.

[0007] Die US 5,690,071 A schlägt es weiterhin vor, zur Kompensation von Drehmomentschwankungen, die aus einer Verstellung der Ventilsteuerzeiten resultieren, durch eine Anpassung der Einlassluftmenge vorzunehmen, und zwar durch Verstellung eines Luftbypassventils bzw. Verstellung einer elektronisch gesteuerten Drosselklappe.

[0008] Ferner beschreibt es die JP 11-270368 A, ungewollte Ansprechfehler der Ventilhubsteuervorrichtung bei niedrigen Öltemperaturen durch eine Veränderung der Drosselklappenstellung zu kompensieren. Auch mit dieser Motorsteuerung kann es zu ungewollten Verzögerungen bei der Steuerung der Einlassluftmenge kommen, so dass diese nicht rasch genug geändert werden kann.

Zusammenfassende Beschreibung der Erfindung

[0009] Eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung liegt deshalb darin, das Motordrehmoment rasch zu steuern.

[0010] Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch ein Verfahren gemäß Anspruch 1 gelöst. Bevorzugte Ausgestaltungen der Erfindung sind Gegenstand der abhängigen Ansprüche.

[0011] Erfindungsgemäß wird also vorgeschlagen, dass die in den Zylinder strömende Soll-Luftmenge anhand eines gewünschten Drehmoments bestimmt wird, daß die Ventilöffnung des Einlassventils zur Erreichung des gewünschten Drehmoments verstellt wird, dass die Stellung der Drosselklappe in Abhängigkeit eines zuvor bestimmten Drucks im Ansaugkrümmer verändert wird, und dass die von dem Kraft-

stoffeinspritzventil eingespritzte Kraftstoffmenge in Abhängigkeit eines Signals des Abgassensors derart verändert wird, dass das durchschnittliche Luft-/Kraftstoffverhältnis etwa stöchiometrisch gehalten wird.

[0012] Durch Steuern sowohl einer dem Ansaugkrümmer zugeordneten Drosselklappe als auch eines Einlassventils, das die aus dem Krümmer in den Zylinder strömende Menge steuert, ist es möglich, den Luftdurchsatz trotz Reaktionsverzögerungen der durch den Ansaugkrümmer angesaugten Luftmenge schnell zu verändern. Weiterhin kann durch Reaktion auf die Anforderung einer in den Zylinder strömenden Menge eine genauere und schnellere Steuerung erreicht werden. Durch die schnelle Änderung der Zylinderfüllung wird eine schnelle Änderung des Motordrehmoments ermöglicht. Dabei beschränkt das Krümmervolumen nicht die maximale Änderungsgeschwindigkeit des Motorluftdurchsatzes.

[0013] Durch Ändern sowohl der Drosselklappen- als auch der Einlassventilstellung ist es möglich, den Motorluftdurchsatz und die Zylinderluftfüllung trotz Reaktionsverzögerungen der durch den Ansaugkrümmer angesaugten Luftmenge schnell zu verändern. Die vorliegende Erfindung steuert mit anderen Worten die Ansaugkrümmereinlass- und -auslassströme auf koordinierte Weise, um eine schnelle Änderung der Luftfüllung des Zylinders unabhängig vom Krümmervolumen zu ermöglichen.

[0014] Durch Verändern sowohl der Einlass- als auch der Auslass-Steuervorrichtung ist es zudem auch möglich, das Motordrehmoment trotz Reaktionsverzögerungen der durch den Ansaugkrümmer angesaugten Luftmenge schnell zu verändern. Dabei kann eine schnelle Motordrehmomentsteuerung ohne Einbuße der Kraftstoffwirtschaftlichkeit verwirklicht werden.

Kurzbeschreibung der Zeichnungen

[0015] Die Vorteile der hierin beanspruchten Erfindung sind bei Lesen eines Beispiels einer Ausführung, in der die Erfindung vorteilhaft angewendet wird, unter Bezug auf die folgenden Zeichnungen weiter ersichtlich. Hierbei sind:

[0016] [Fig. 1A](#) und [Fig. 1B](#) Blockdiagramme einer Ausführung, bei der die Erfindung vorteilhaft angewendet wird;

[0017] [Fig. 2A](#) ein Blockdiagramm einer Ausführung, bei der die Erfindung vorteilhaft angewendet wird;

[0018] [Fig. 2B–Fig. 2O](#) Darstellungen, die den Betrieb der Ausführung von [Fig. 2A](#) beschreiben;

[0019] [Fig. 3–Fig. 5](#), [Fig. 8–Fig. 10](#) detaillierte Ablaufdiagramme, die einen Teil des Betriebs der in [Fig. 1A](#), [Fig. 1B](#) und [Fig. 2A](#) gezeigten Ausführung durchführen;

[0020] [Fig. 6](#) eine Darstellung, die zeigt, wie verschiedene Faktoren mit dem Motorbetrieb erfindungsgemäß in Verbindung stehen;

[0021] [Fig. 7](#) eine Darstellung, die Ergebnisse bei Verwendung der vorliegenden Erfindung zeigt;

[0022] [Fig. 11A–Fig. 11F](#) Darstellungen, die den Betrieb einer Ausführung der vorliegenden Erfindung beschreiben, und

[0023] [Fig. 12](#) bis [Fig. 14](#) Blockdiagramme einer Ausführung, in der die Erfindung vorteilhaft angewendet wird.

Beschreibung der bevorzugten Ausführung(en)

[0024] Ein Direkteinspritzerverbrennungsmotor **10** mit Fremdzündung, der eine Vielzahl von Brennräumen umfasst, wird durch ein elektronisches Motorsteuergerät **12** gesteuert. Der Brennraum **30** des Motors **10** wird in [Fig. 1A](#) mit Brennraumwandungen **32** mit dem darin positionierten und mit der Kurbelwelle **40** verbundenen Kolben **36** gezeigt. In diesem speziellen Beispiel umfasst der Kolben **30** eine (nicht abgebildete) Ausnehmung oder Kammer zur Unterstützung der Bildung von Schichtfüllungen mit Luft und Kraftstoff. Der Brennraum oder Zylinder **30** wird mit dem Ansaugkrümmer **44** und dem Abgaskrümmer **48** über (nicht abgebildete) jeweilige Einlassventile **52a** und **52b** und (nicht abgebildete) Auslassventile **54a** und **54b** in Verbindung stehend gezeigt. Das Einspritzventil **66A** ist direkt mit dem Brennraum **30** verbunden dargestellt, zur Zufuhr von flüssigem Kraftstoff direkt dort hinein im Verhältnis zur Impulsbreite des von dem Steuergerät **12** über den herkömmlichen elektronischen Treiber **69** erhaltenen Signals fpw. Durch ein (nicht abgebildetes) herkömmliches Hochdruckkraftstoffsystem einschließlich eines Kraftstofftanks, Kraftstoffpumpen und eines Kraftstoffverteilerrohrs wird dem Einspritzventil **66A** Kraftstoff zugeführt.

[0025] Der Ansaugkrümmer **44** ist über die Drosselklappenplatte **62** mit dem Drosselklappengehäuse **58** verbunden. Bei diesem speziellen Beispiel ist die Drosselklappenplatte **62** mit dem elektrischen Motor **94** derart verbunden, dass die Stellung der Drosselklappenplatte **62** durch das Steuergerät **12** über den elektrischen Motor **94** gesteuert wird. Diese Konfiguration wird häufig als elektronische Drosselklappensteuerung (ETC) bezeichnet, die auch während der Leerlaufstabilisierung eingesetzt wird. In einer (nicht abgebildeten) alternativen Ausführung, die dem Fachmann an sich bekannt ist, ist ein Umgehungs-

luftkanal parallel zur Drosselklappenplatte **62** angeordnet, um die Ansaugluft während der Leerlaufstabilisierung über ein in dem Luftkanal positioniertes Drosselklappensteuerventil zu steuern.

[0026] Die Abgas-Lambdasonde **76** ist mit dem Abgaskrümmter **48** stromaufwärts des Katalysators **70** verbunden. In diesem speziellen Beispiel liefert die Sonde **76** das Signal EGO an das Steuergerät **12**, welches das Signal EGO in das Zweizustandssignal EGOS umwandelt. Ein Hochspannungszustand des Signals EGOS zeigt an, dass die Abgase unterstöchiometrisch sind, und ein Niederspannungszustand des Signals EGOS zeigt an, dass die Abgase überstöchiometrisch sind. Das Signal EGOS wird während der Lambdaregelung auf herkömmliche Weise vorteilhaft verwendet, um das durchschnittliche Luft-/Kraftstoffverhältnis während des stöchiometrischen homogenen Betriebs stöchiometrisch zu halten.

[0027] Die herkömmliche verteilerlose Zündung **88** liefert dem Brennraum **30** über die Zündkerze **92** in Reaktion auf das Zündzeitpunktverstellungssignal SA von dem Steuergerät **12** einen Zündfunken.

[0028] Das Steuergerät **12** bewirkt durch Steuern der Einspritzzeit einen Betrieb des Brennraums **30** entweder in einem homogenen Luft-/Kraftstoffbetrieb oder in einem Schicht-Luft-/Kraftstoffbetrieb. Im Schichtbetrieb aktiviert das Steuergerät **12** das Einspritzventil **66A** während des Motorverdichtungs- hubs, so dass Kraftstoff direkt in die Kammer des Kolbens **36** eingespritzt wird. Dadurch werden Luft-/Kraftstoffschichtungen gebildet. Die der Zündkerze am nächsten liegende Schicht enthält ein stöchiometrisches Gemisch bzw. ein leicht unterstöchiometrisches Gemisch und die folgenden Schichten enthalten zunehmend magerere Gemische. Während des homogenen Betriebs aktiviert das Steuergerät **12** das Einspritzventil **66A** während des Ansaughubs, so dass ein im Wesentlichen homogenes Luft-/Kraftstoffgemisch gebildet wird, wenn der Zündkerze **92** durch die Zündung **88** Zündkraft zugeführt wird. Das Steuergerät **12** steuert die Menge des von dem Einspritzventil **66A** zugeführten Kraftstoffes, so dass das homogene Luft-/Kraftstoffgemisch in dem Raum **30** bei einem stöchiometrischen, einem unterstöchiometrischen oder einem überstöchiometrischen Wert gewählt werden kann. Das Schicht-Luft-/Kraftstoffgemisch liegt immer bei einem überstöchiometrischen Wert, wobei das exakte Luft-/Kraftstoffverhältnis eine Funktion der Menge des dem Brennraum **30** zugeführten Kraftstoffes ist. Ein zusätzlicher geteilter Betrieb, bei dem zusätzlicher Kraftstoff während des Auspufftakts bei Schichtbetrieb eingespritzt wird, ist ebenfalls möglich.

[0029] Eine Stickstoff-(NOx)-Absorbiervorrichtung oder Falle **72** ist stromabwärts des Katalysators **70**

positioniert gezeigt. Die NOx-Falle **72** absorbiert NOx, wenn der Motor **10** überstöchiometrisch läuft. Das absorbierte NOx wird dann mit Kohlenwasserstoff zur Reaktion gebracht und wird während eines NOx-Spülzyklus katalysiert, wenn das Steuergerät **12** den Motor **10** entweder in einem unterstöchiometrischen Betrieb oder einem stöchiometrischen homogenen Betrieb arbeiten lässt.

[0030] Das Steuergerät **12** ist in [Fig. 1A](#) als herkömmlicher Mikrocomputer gezeigt, der Folgendes umfasst: eine Mikroprozessorvorrichtung **102**, Eingangs-/Ausgangskanäle **104**, ein elektronisches Speichermedium für ausführbare Programme und Kalibrierungswerte, das in diesem speziellen Beispiel als Festspeicherbaustein **106** gezeigt wird, einen Direktzugriffsspeicher **108**, einen Erhaltungsspeicher **110** und einen herkömmlichen Datenbus. Es wird das Steuergerät **12** gezeigt, wie es verschiedene Signale von den mit dem Motor **10** verbundenen Sensoren zusätzlich zu den vorstehend erwähnten Signalen erhält, nämlich: Messung der angesaugten Luftmasse (MAP) von dem mit dem Drosselklappengehäuse **58** verbundenen Luftmassensensor **100**; Motorkühlmittemperatur (ECT) von dem mit dem Kühlmantel **114** verbundenen Temperatursensor **112**; ein Profilizündungsabstastsignal (PIP) von dem mit der Kurbelwelle **40** verbundenen Hallgeber **118**; die Drosselklappenstellung TP von dem Drosselklappenschalter **120** und das Ansaugunterdrucksignal MAP von dem Sensor **122**. Das Drehzahlsignal RPM wird durch das Steuergerät **12** aus dem Signal PIP auf herkömmliche Weise erzeugt, und das Ansaugunterdrucksignal MAP zeigt eine Motorlast an. Bei einer bevorzugten Erscheinungsform der vorliegenden Erfindung erzeugt der Geber **118**, der auch als Motordrehzahlsensor verwendet wird, eine vorbestimmte Anzahl an gleichmäßig beabstandeten Impulsen pro Umdrehung der Kurbelwelle.

[0031] Bei diesem speziellen Beispiel werden die Temperatur Tcat des Katalysators **70** und die Temperatur Ttrp der NOx-Falle **72** aus dem in dem U.S. Patent Nr. 5,414,994, auf deren Beschreibung insoweit verwiesen wird, offenbarten Motorbetrieb abgeleitet. In einer anderen Ausführung wird die Temperatur Tcat durch den Temperatursensor **124** und die Temperatur Ttrp durch den Temperatursensor **126** ermittelt.

[0032] Gemäß [Fig. 1A](#) wird eine Nockenwelle **130** des Motors **10** in Verbindung mit Kipphebeln **132** und **134** zur Betätigung der Einlassventile **52a**, **52b** und des Auslassventils **54a**, **54b** gezeigt. Die Nockenwelle **130** ist direkt mit dem Gehäuse **136** verbunden. Das Gehäuse **136** bildet ein Zahnrad mit einer Vielzahl von Zähnen **138**. Das Gehäuse **136** ist mit einer (nicht abgebildeten) Innenwelle hydraulisch verbunden, welche wiederum über eine (nicht abgebildete) Steuerkette direkt mit der Nockenwelle **130** verbun-

den ist. Daher drehen sich das Gehäuse **136** und die Nockenwelle **130** bei einer Geschwindigkeit, die im Wesentlichen gleich der der inneren Nockenwelle ist. Die innere Nockenwelle dreht sich bei einem konstanten Geschwindigkeitsverhältnis zur Kurbelwelle **40**. Durch ein später hier beschriebenes Eingreifen in die hydraulische Kupplung kann die relative Stellung der Nockenwelle **130** zur Kurbelwelle **40** durch Hydraulikdrücke in der Frühverstellkammer **142** und der Spätverstellkammer **144** abgeändert werden. Indem man das Hochdruckhydrauliköl in die Frühverstellkammer **142** gelangen lässt, wird das relative Verhältnis zwischen Nockenwelle **130** und Kurbelwelle **40** auf früh gestellt. Somit öffnen und schließen die Einlassventile **52a**, **52b** und die Auslassventile **54a**, **54b** gegenüber der Kurbelwelle **40** früher als normal. Indem man ein Hochdruckhydrauliköl in die Spätverstellkammer **144** gelangen lässt, wird analog das relative Verhältnis zwischen Nockenwelle **130** und Kurbelwelle **40** auf spät eingestellt. Somit öffnen und schließen die Einlassventile **52a**, **52b** und die Auslassventile **54a**, **54b** gegenüber der Kurbelwelle **40** später als normal.

[0033] Zähne **138**, die mit dem Gehäuse **136** und der Nockenwelle **130** verbunden sind, ermöglichen über einen Nockensteuersensor **150**, der dem Steuergerät **12** das Signal VCT liefert, ein Messen der relativen Nockenstellung. Die Zähne **1**, **2**, **3** und **4** werden vorzugsweise zur Messung der Nockensteuerung verwendet und sind gleichmäßig (zum Beispiel in einem zweireihigen V-8 Motor 90 Grad voneinander) beabstandet, während der Zahn **5** wie später hier beschrieben vorzugsweise zur Zylinderidentifikation verwendet wird. Ferner schickt das Steuergerät **12** Steuersignale (LACT, RACT) an (nicht abgebildete) herkömmliche Magnetventile, um das Strömen des Hydrauliköls entweder in die Frühverstellkammer **142**, die Spätverstellkammer **144** oder in keine zu steuern.

[0034] Die variable Nockensteuerung wird unter Verwendung des in U.S. 5,548,995 A beschriebenen Verfahrens, auf die insoweit verwiesen wird, gemessen. Allgemein gesagt liefert die Zeit bzw. der Drehwinkel zwischen der Anstiegsflankensteilheit des PIP-Signals und dem Empfang eines Signals von einem der Vielzahl von Zähnen **138** an dem Gehäuse **136** ein Maß der relativen Nockensteuerung. Für das spezielle Beispiel eines V-8 Motors mit zwei Zylinderreihen und einem Rad mit fünf Zähnen wird ein Maß der Nockensteuerung für eine spezielle Reihe viermal pro Umdrehung erhalten, wobei das Extrasignal für die Zylinderidentifikation verwendet wird.

[0035] [Fig. 1B](#) zeigt eine Saugkanaleinspritzkonfiguration, bei der das Einspritzventil **66B** mit dem Ansaugkrümmer **44** statt direkt mit dem Zylinder **30** verbunden ist.

[0036] [Fig. 2A](#) zeigt in einem allgemeineren Diagramm den Krümmer **44a** mit Einlassmenge m_{in} und Auslassmenge m_{out} . Die Einlassmenge m_{in} wird durch die Steuervorrichtung **170** reguliert. Die Auslassmenge m_{out} wird durch die Steuervorrichtung **171** reguliert. In einer bevorzugten Ausführung ist der Krümmer **44a** ein Einlasskrümmer eines Motors, die Steuervorrichtung **170** ist eine Drosselklappe und die Steuervorrichtung **171** ist ein veränderlicher Nockensteuermechanismus. Wie man jedoch als Fachmann erkennen würde, gibt es viele alternative Ausführungen der vorliegenden Erfindung. Eine Steuervorrichtung **171** könnte zum Beispiel ein Wirbelsteuerventil, ein veränderlicher Ventilsteuermechanismus, ein veränderlicher Ventilhubmechanismus oder ein elektronisch gesteuertes Einlassventil sein, welches in der nockenlosen Motortechnologie verwendet wird.

[0037] Gemäß [Fig. 2A](#) gibt es andere Variablen, die den in den Krümmer **44a** gelangenden und aus diesem austretenden Strom beeinflussen. Die Drücke p_1 und p_2 bestimmen zum Beispiel zusammen mit der Steuervorrichtung **170** die Menge m_{in} . Analog bestimmen die Drücke p_2 und p_3 zusammen mit der Steuervorrichtung **171** die Menge m_{out} . Daher beeinflusst die Mengenspeicherung in dem Krümmer **44a**, die bestimmt, wie schnell sich der Druck p_2 ändern kann, die Menge m_{out} . In einem Beispiel, in dem der Krümmer **44a** ein Ansaugkrümmer eines stöchiometrisch laufenden Motors ist, stellt die Menge m_{out} eine in einen Zylinder strömende Menge dar und ist direkt proportional zu dem Motordrehmoment.

[0038] [Fig. 2B–Fig. 2K](#) zeigen die Wirkung derartiger gegenseitiger Abhängigkeiten auf die Systemleistung. In [Fig. 2B](#) wird die Steuervorrichtung **170** bei Zeit t_1 schnell geändert. Die sich ergebende Änderung der Auslassmenge (m_{out}) wird in [Fig. 2C](#) gezeigt. Die sich ergebende Änderung der Einlassmenge (m_{in}) wird in [Fig. 2D](#) gezeigt. Bei diesem Beispiel ist die Steuervorrichtung **171** fest und stellt daher einen herkömmlichen Motorbetrieb und Betrieb des Stands der Technik dar, bei dem die Drosselklappenstellung der Steuerung der Auslassmenge (m_{out}) dient. Bei diesem Beispiel erzeugt eine schnelle Änderung der Steuervorrichtung **170** keine ebenso schnelle Änderung der Auslassmenge m_{out} .

[0039] Gemäß [Fig. 2E](#) wird eine Steuervorrichtung **171** zu der Zeit t_2 schnell geändert. Die sich ergebende Änderung der Auslassmenge (m_{out}) wird in [Fig. 2F](#) gezeigt. Die sich ergebende Änderung der Einlassmenge (m_{in}) wird in [Fig. 2G](#) gezeigt. Bei diesem Beispiel ist die Steuervorrichtung **170** fest und stellt daher eine Verstellung allein der Steuervorrichtung **170** zur Steuerung der Auslassmenge (m_{out}) dar. Bei diesem Beispiel erzeugt eine schnelle Ände-

zung der Steuervorrichtung **170** eine gleichermaßen schnelle Änderung der Austrittsmenge m_{out} . Doch die schnelle Änderung wird nicht vollständig aufrechterhalten.

[0040] Gemäß [Fig. 2H](#) wird die Steuervorrichtung **170** zu der Zeit t_3 schnell geändert. Analog wird in [Fig. 2I](#) die Steuervorrichtung **171** zu der Zeit t_3 schnell geändert. Die sich ergebende Änderung der Auslassmenge (m_{out}) wird in [Fig. 2J](#) gezeigt. Die sich ergebende Änderung der Einlassmenge (m_{in}) wird in [Fig. 2K](#) gezeigt. Bei diesem Beispiel ändern sich die Steuervorrichtung **170** und die Steuervorrichtung gleichzeitig. Bei diesem Beispiel erzeugt eine schnelle Änderung der Steuervorrichtung **170** und der Steuervorrichtung **171** eine gleichermaßen schnelle Änderung der Austrittsmenge m_{out} , wobei die schnelle Änderung aufrechterhalten wird.

[0041] Gemäß [Fig. 2L](#) wird die Steuervorrichtung **170** zu der Zeit t_4 schnell geändert. Analog wird in [Fig. 2M](#) die Steuervorrichtung **171** zu der Zeit t_4 stärker als in [Fig. 2I](#) schnell geändert. Die sich ergebende Änderung der Auslassmenge (m_{out}) wird in [Fig. 2N](#) gezeigt. Die sich ergebende Änderung der Einlassmenge (m_{in}) wird in [Fig. 2O](#) gezeigt. Bei diesem Beispiel ändern sich die Steuervorrichtung **170** und die Steuervorrichtung gleichzeitig. Bei diesem Beispiel erzeugt eine schnelle Änderung der Steuervorrichtung **170** und der Steuervorrichtung **171** eine gleichermaßen schnelle Änderung der Austrittsmenge m_{out} , wobei die schnelle Änderung aufrechterhalten wird und sogar eine gewisse Spitzenmenge bzw. Überschießen erzeugt. Dies zeigt, wie die vorliegende Erfindung nicht nur zur schnellen Erzeugung einer Erhöhung der Auslassmenge, sondern auch für ein zusätzliches Überschießen verwendet werden kann. Somit kann das Steuerungssystem eine Luftdurchsatz-Vorsteuerung erzeugen. Eine derartige Vorsteuerung ist für die Stabilisierung des Motorleerlaufs zum Entgegenwirken einer Motorträgheit oder bei Fahrzeuganfahrbedingungen zwecks eines verbesserten Fahrgefühls vorteilhaft.

[0042] Dabei ist es durch Verwenden der Steuervorrichtung **171** möglich, die aus dem Krümmer strömende Menge schnell zu steuern. Weiterhin ist es durch Steuern sowohl einer Einlass- als auch einer Auslassseite des Ansaugkrümmers möglich, die aus einem Krümmer in verschiedenen Formen strömende Menge präziser und schnell zu steuern.

[0043] In Fällen, da der Motor **10** bei einem stöchiometrischen Luft-/Kraftstoffverhältnis läuft, ist das Motordrehmoment direkt proportional zu der Zylinderfüllung, die wiederum zu der Austrittsmenge m_{out} und der Motordrehzahl proportional ist. Somit wird durch Regeln des Motorluftdurchsatzes auf einen gewünschten Wert das Motordrehmoment geregelt.

Motorleerlaufstabilisierung

[0044] Unter Bezug auf [Fig. 3](#) wird nun ein Ablauf zur Steuerung der Motordrehzahl unter Verwenden der Drosselklappenstellung und der Nockensteuerung beschrieben. Bei Schritt **310** wird ein Motordrehzahlfehler (Nerr) anhand einer Differenz zwischen der erwünschten Motordrehzahl (N_{des}) und einer tatsächlichen Motordrehzahl (N_{act}) berechnet. Dann wird bei Schritt **320** die gewünschte Änderung der Zylinderfüllung aus dem Drehzahlfehler unter Verwendung des Reglers K1 berechnet, wobei der Regler K1 in der Laplace-Domäne als $K1(s)$ dargestellt wird, wie dies einem Fachmann bekannt ist. Die gewünschte Änderung der Zylinderfüllung (Δm_{cyl}) wird vorzugsweise unter Verwendung eines Proportionalreglers berechnet. Daher stellt in der bevorzugten Ausführung der Regler K1 einen Proportionalregler dar. Wie jedoch ein Fachmann erkennen wird, können an Stelle des Proportionalreglers K1 verschiedene andere Regelschemata verwendet werden. Es können zum Beispiel proportional-integral-differential wirkende Regler oder Schieberegler oder beliebige andere einem Fachmann bekannte Regler verwendet werden. Als Nächstes wird bei Schritt **330** eine Drosselklappen-Zwischenstellung ($Teint$) anhand des Drehzahlfehlers und Reglers K3 berechnet. Wie oben beschrieben können verschiedene Regler für den Regler K3 verwendet werden. In einer bevorzugten Ausführung ist der Regler K3 ein integraler Regler. Als Nächstes wird bei Schritt **340** eine Nockensteuerabweichung (VCT_{err}) anhand einer Differenz zwischen einer gewünschten Nockensollstellung (VCT_{desnom}) und einer Nockeniststellung (VCT_{desnom}) berechnet. Die gewünschte Nockensollstellung (VCT_{desnom}) kann anhand Betriebsbedingungen ermittelt werden, zum Beispiel anhand eines Leerlaufbetriebs oder eines Fahrbetriebs. Die gewünschte Nockensollstellung (VCT_{desnom}) kann auch als Funktion des gewünschten Motordrehmoments eingegeben werden, oder jedes andere dem Fachmann bekannte gleichförmige Ablaufplanungsverfahren. Als Nächstes wird bei Schritt **350** eine Zwischensteuerung (VCT_{int}) anhand der Nockensteuerabweichung und des Reglers K2 berechnet. Der Regler K2 kann jeder der Fachwelt bekannte Regler sein. In der bevorzugten Ausführung ist der Regler K2 ein proportional-integral wirkender Regler.

[0045] Unter Bezug auf [Fig. 4](#) wird nun ein Ablauf zur Berechnung der Verstellungen der Nockensteuerung und der Drosselklappenstellung zur schnellen Änderung der Zylinderfüllung beschrieben. Zuerst wird bei Schritt **410** der Krümmerdruck (P_m) unter Verwendung des Sensors **122** geschätzt oder gemessen. In der bevorzugten Ausführung wird der Krümmerdruck (P_m) mit dem Fachmann bekannten Verfahren geschätzt. Der Krümmerdruck kann zum Beispiel mit dem Signal MAF von einem Luftmassensensor **100**, der Motordrehzahl und anderen dem

Fachmann bekannten Signalen zur Beeinflussung des Krümmerdrucks geschätzt werden. Als Nächstes wird bei Schritt **412** die gewünschte Änderung der Zylinderfüllung (Δcyl) von [Fig. 3](#) abgelesen. Als Nächstes wird bei Schritt **414** eine Änderung der Nockensteuerung (ΔVCT) so ermittelt, dass sie die gewünschte Änderung der Zylinderfüllung bei dem in Schritt **410** abgelesenen Krümmerdruck (P_m) ergibt. Schritt **414** wird unter Verwendung von Kennfeldern bezüglich Nockensteuerung, Zylinderfüllung und Krümmerdruck durchgeführt. Die Kennfelder können theoretisch mittels Motormodellen ermittelt oder mittels Motortestdaten gemessen werden. Als Nächstes wird bei Schritt **416** eine Änderung der Drosselklappenstellung (ΔTP) ermittelt, um bei dem in Schritt **410** ermittelten Krümmerdruck (P_m) die gewünschte Änderung der Zylinderfüllung (Δcyl) zu geben. Schritt **416** wird unter Verwendung von Motorkennfeldern bezüglich Parameter, Drosselklappenstellung, Zylinderfüllung und Krümmerdruck analog durchgeführt. Die Kennfelder können entweder unter Verwendung von Motormodellen oder Motortestdaten ermittelt werden.

[0046] Bezüglich [Fig. 5](#) wird der Ablauf zur Berechnung der gewünschten Nockensteuerung und der gewünschten Drosselklappenstellung beschrieben. Zuerst wird bei Schritt **510** ein gewünschter Zylinder, eine gewünschte Nockensteuerung (VCT_{des}) anhand der gewünschten Änderung der Nockensteuerung und der Zwischennockensteuerung ermittelt. Als Nächstes wird bei Schritt **512** die gewünschte Drosselklappenstellung (TP_{des}) anhand der Drosselklappen-Zwischenstellung und der gewünschten Änderung der Drosselklappenstellung ermittelt.

[0047] Wenn jedoch eine Nockensteuerungsstellung erwünscht ist, die größer als eine maximal mögliche Nockensteuerung ist, oder wenn eine minimale Nockensteuerung geringer als eine minimal mögliche Nockensteuerung ist, wird die gewünschte Nockensteuerung (VCT_{des}) auf den Maximal- bzw. Minimalwert gekürzt. Die Verstellung der Nockensteuerung kann mit anderen Worten eventuell die gewünschte Steigerung oder Senkung der Zylinderluftfüllung nicht erzeugen. In diesem Fall wird die Nockensteuerung auf den erzielbaren Grenzwert gekürzt und man vertraut darauf, dass die Drosselklappenstellung die Steuerung erbringt.

Zwangsläufigkeiten bei gleichförmigem Zustand

[0048] Wie vorstehend unter besonderem Bezug auf [Fig. 3–Fig. 5](#) beschrieben wurde ein Steuerverfahren zur Steuerung des Motorluftdurchsatzes bzw. des Motordrehmoments und somit der Motordrehzahl beschrieben. Das Verfahren umfasste weiterhin ein Verfahren zur schnellen Steuerung der Zylinderfüllung unter Steuerung sowohl einer Einlass- als auch einer Auslassseite des Ansaugkrümmers, wobei die

Einlassventile langsam auf eine Sollposition gesteuert wurden. Mittels der [Fig. 6](#) und [Fig. 7](#) werden diese beiden Vorgänge nun weiter veranschaulicht.

[0049] Unter Bezug auf [Fig. 6](#) wird nun eine Darstellung mit der Drosselklappenstellung (TP) an der vertikalen Achse und der Nockensteuerung (VCT) an der horizontalen Achse gezeigt. Strichpunktierte Linien werden für konstante Werte des Drehmoments (T_e) unter Annahme stöchiometrischer Bedingungen gezeigt, während durchgehende Linien einen konstanten Wert des Krümmerdrucks zeigen. Erfindungsgemäß kann der Motor schnell die Betriebspunkte entlang der Linien konstanten Drucks ändern (wodurch der Motorluftdurchsatz und das Drehmoment schnell geändert werden), da es in dieser Richtung keine Krümmerdynamik gibt. Der Motor kann sich jedoch entlang der strichpunktierten Linien nur relativ langsam ändern, wenn das Luft-/Kraftstoffverhältnis fest ist (zum Beispiel bei Stöchiometrie). Die strichpunktierte Linie stellt die gewünschte Nockensollstellung für die vorgegebenen Betriebsbedingungen dar, zum Beispiel für Leerlaufbedingungen oder für das aktuelle gewünschte Motordrehmoment.

[0050] Die Krümmerdynamik stellt mit anderen Worten eine mit der Änderung des Krümmerdrucks einhergehende Dynamik dar und veranschaulicht, warum die in den Zylinder strömende Menge nicht immer gleich der in den Ansaugkrümmer strömenden Menge ist. Der Krümmerdruck kann sich aufgrund des Krümmervolumens nicht sofort ändern. Mit zunehmendem Krümmervolumen wird die Krümmerdynamik langsamer. Umgekehrt wird bei abnehmendem Krümmervolumen die Krümmerdynamik schneller. Somit ist die Krümmerdynamik oder Krümmerverzögerung eine Funktion des Krümmervolumens. Wie oben beschrieben ist die Krümmerdynamik im Wesentlichen bedeutungslos, wenn sie sich entlang der Linien konstanten Drucks bewegt. Daher sind Strömungsänderungen nicht durch die Krümmerdynamik beschränkt, wenn die Einlass- und Auslassseite des Krümmers geändert werden, um den Strom in ähnlichen Richtungen zu beeinflussen. Werden die Drosselklappe und das Einlassventil schneller geändert als die Krümmerdynamik zur Steigerung sowohl entlang der Abszisse als auch der Ordinate von [Fig. 6](#), ändert sich die Zylindermenge schneller als die Krümmerdynamik. Anders ausgedrückt: die Zylindermenge ändert sich schneller, als sie dies täte, wenn sich nur die Drosselklappe unendlich schnell änderte. Werden Einlass- und Auslassseite des Ansaugkrümmers geändert, um die in entgegengesetzte Richtungen strömenden Mengen zu beeinflussen, kann die Zylinderfüllung konstant gehalten werden. Sowohl die Drosselklappe als auch die Einlassventile werden im Einzelnen langsamer geändert als die Krümmerdynamik, da der Krümmerdruck geändert wird. Dies ist besonders nützlich, wenn der Motorluftdurchsatz oder das Motordrehmoment relativ konstant gehalten

werden soll, es aber wünschenswert ist, entweder die Drosselklappe oder die Einlassventile auf eine vorgegebene Position zu fahren.

[0051] Unter Bezug auf die beiden [Fig. 6](#) und [Fig. 7](#) wird nun ein Beispiel des Betriebs gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung beschrieben. Zuerst wird das System bei Punkt 1 betrieben. Das gewünschte Motordrehmoment (T_{ed}) ist zum Beispiel T_{e2} , bzw. ist zufällig das Motordrehmoment zur Aufrechterhaltung einer gewünschten Motordrehzahl. Dann ändert sich entweder das gewünschte Motordrehmoment (T_{ed}) zu T_{e3} oder eine Drehmomentstörung bewirkt ein Sinken der Motordrehzahl, wodurch eine Erhöhung des Drehmoments auf T_{e3} zur Aufrechterhaltung der gewünschten Motordrehzahl erforderlich ist. Zu diesem Zeitpunkt (Zeit t_5) bewirkt das Steuergerät **12**, dass sich sowohl die Drosselklappenstellung als auch die Nockensteuerung so ändern, dass sich die Motoranlage schnell zu Punkt 2 bewegt. Um die Nockensteuerung und die Sollnockensteuerung aufrecht zu halten, veranlasst das Steuergerät **12** als Nächstes sowohl die Drosselklappenstellung als auch die Nockensteuerung zur Bewegung zu Punkt 3 bei einer Geschwindigkeit unter der der Krümmerdynamik.

[0052] Somit werden erfindungsgemäß die Drosselklappenstellung und die Nockensteuerung veranlasst, sich auf folgende Weise zu bewegen. Wenn eine schnelle Zunahme der Zylinderluftfüllung unabhängig vom Krümmervolumen erwünscht ist: 1) die Drosselklappenstellung bewegt sich in einer Weise, die eine Zunahme der Drosselklappenöffnungsfläche bewirkt, und 2) die Nockensteuerung wird in einer Weise berichtigt, dass die angesaugte Zylinderluftfüllung bei einem vorgegebenen Krümmerdruck zunimmt. Wenn es erwünscht ist, die Zylinderluftfüllung unabhängig vom Krümmervolumen schnell zu senken, gilt analog: 1) die Drosselklappenstellung bewegt sich in einer Weise, die eine Abnahme der Drosselklappenöffnungsfläche bewirkt, und 2) die Nockensteuerung wird in einer Weise berichtigt, so dass die angesaugte Zylinderluftfüllung bei einem vorgegebenen Krümmerdruck abnimmt. Somit ist es möglich, durch dieses kombinierte Vorgehen die in den Zylinder strömende Menge schnell zu ändern und zu halten.

[0053] Wenn es jedoch erwünscht ist, die Zylinderluftfüllung zu halten und entweder die Drosselklappenöffnung zu vergrößern oder die Nockensteuerung zu einer Bewegung zu veranlassen, so dass weniger Luftfüllung bei einem vorgegebenen Krümmerdruck angesaugt wird, oder beides, dann: 1) bewegt sich die Drosselklappenstellung in einer Weise, die eine Zunahme der Drosselklappenöffnungsfläche bewirkt, und 2) wird die Nockensteuerung auf solche Weise berichtigt, dass die bei einem vorgegebenen Krümmerdruck angesaugte Zylinderluftfüllung abnimmt.

Somit kann die Zylinderfüllung durch diese entgegengesetzte Wirkung konstant gehalten werden. Wenn es alternativ erwünscht ist, die Zylinderluftfüllung zu halten und entweder die Drosselklappenöffnung zu verringern oder eine Bewegung der Nockensteuerung zu bewirken, so dass mehr Luftfüllung bei einem vorgegebenen Krümmerdruck angesaugt wird, oder beides, dann: 1) bewegt sich die Drosselklappenstellung in einer Weise, die eine Abnahme der Drosselklappenöffnungsfläche bewirkt, und 2) wird die Nockensteuerung auf solche Weise berichtigt, dass die bei einem vorgegebenen Krümmerdruck angesaugte Zylinderluftfüllung zunimmt. Somit kann die Zylinderfüllung durch diese entgegengesetzte Wirkung wiederum konstant gehalten werden.

[0054] Eine derartige koordinierte Steuerung ist vorteilhaft, da Optimierungszwangsläufigkeiten des gleichförmigen Zustands bei der Nockensteuerung erzeugt werden können, dabei aber immer noch die Möglichkeit der schnellen Steuerung der Zylinderluftfüllung gegeben wird.

Motordrehmomentsteuerung

[0055] Unter Bezug auf [Fig. 8](#) wird nun ein Ablauf zur Steuerung des Motordrehmoments statt der in [Fig. 3](#) beschriebenen Motordrehzahl beschrieben. Die erfindungsgemäße Motordrehmomentsteuerung kann aus verschiedenen Gründen verwendet werden, zu denen normaler Fahrbetrieb, Antriebschlupfregelung und/oder Tempomat gehören. [Fig. 8](#) kann mit anderen Worten zusammen mit [Fig. 3–Fig. 5](#) zur Steuerung des Motordrehmoments verwendet werden, wobei die Schritte **310–330** durch [Fig. 8](#) ersetzt werden. Bezüglich [Fig. 8](#) wird zuerst in Schritt **810** ein gewünschtes Motordrehmoment (T_{ed}) ermittelt. Der Fachmann wird erkennen, dass das gewünschte Motordrehmoment (T_{ed}) auf verschiedene Weisen ermittelt werden kann. Das gewünschte Motordrehmoment (T_{ed}) kann zum Beispiel aus dem gewünschten Raddrehmoment und Übersetzung, aus Pedalstellung und Fahrzeuggeschwindigkeit, aus Pedalstellung und Motordrehzahl oder einem anderem dem Fachmann bekannten Verfahren ermittelt werden. Dann wird bei Schritt **820** die gewünschte Zylinderfüllung (m_{cyl_d}) anhand einer Funktion (h) des gewünschten Motordrehmoments (T_{ed}) ermittelt. Die Funktion (h) beruht auf einem gewünschten Luft-/Kraftstoffverhältnis, beispielsweise stöchiometrischen Bedingungen.

[0056] Weiter mit [Fig. 8](#) wird bei Schritt **830** eine gewünschte Änderung der Zylinderfüllung (Δm_{cyl}) anhand der Differenz zwischen der gewünschten Zylinderfüllung (m_{cyl_d}) und der tatsächlichen Zylinderfüllung (m_{cyl}) ermittelt. Dann wird in Schritt **840** die Drosselklappen-Zwischenstellung ($Teint$) anhand der gewünschten Änderung der Zylinderfüllung (Δm_{cyl}) und des Reglers K_3 berechnet. Wie oben beschrie-

ben können verschiedene Regler für den Regler K3 verwendet werden. In einer bevorzugten Ausführung ist der Regler K3 ein integraler Regler. Als Nächstes wird bei Schritt **850** eine Nockensollstellung (VCT-desnom) anhand der Funktion (g) und des gewünschten Motordrehmoments (Ted) ermittelt. Dann fährt der Ablauf mit Schritt **340** in [Fig. 3](#) fort.

Alternative Ausführung für die Steuerung von Zylinderfüllung, Drehmoment und Motordrehzahl

[0057] Nun wird eine alternative Ausführung beschrieben, die zur Steuerung entweder der Zylinderluftfüllung, des Motordrehmoments bei einem vorgegebenen Luft-/Kraftstoffverhältnis oder der Motordrehzahl verwendet werden kann. Unter Bezug auf [Fig. 9](#) wird nun bei Schritt **910** eine Ermittlung durchgeführt, ob der Motor sich derzeit in Leerlauf befindet. Der Fachmann wird verschiedene Verfahren zur Ermittlung von Leerlaufbedingungen kennen, beispielsweise Gaspedalstellung, Motordrehzahl und verschiedene andere Faktoren. Wenn die Antwort auf Schritt **910** JA lautet, fährt der Ablauf mit Schritt **912** fort. Bei Schritt **912** beruht die gewünschte Zylinderfüllung (mcyldes) auf einem Motordrehzahlfehler (Nerr). Die gewünschte Zylinderfüllung wird mittels Funktion L1 berechnet, die für jede Funktion stehen kann, beispielsweise Motordrehzahlfehler multipliziert mit einer konstanten Zunahme, was die bevorzugte Ausführung ist. Wenn andernfalls die Antwort auf Schritt **910** NEIN lautet, fährt der Ablauf mit Schritt **914** fort. Bei Schritt **914** wird die gewünschte Zylinderfüllung anhand entweder eines Fahrerbefehls oder von Betriebsbedingungen unter Verwendung von Funktion (L2) berechnet. Der Fachmann kennt verschiedene Verfahren zur Berechnung einer gewünschten Zylinderfüllung aus einem Fahrerbefehl, um beispielsweise ein gewünschtes Motordrehmoment, ein gewünschtes Raddrehmoment, eine Motorleistung oder eine andere vom Fahrer verlangte Bedingung zu erzeugen. Der Fachmann kennt auch verschiedene Betriebsbedingungen, die eine gewünschte Zylinderfüllung beeinflussen können, zum Beispiel Motorstartbedingungen, Kaltbedingungen oder Anlassbedingungen.

[0058] Weiter mit [Fig. 9](#) fährt der Ablauf entweder mit Schritt **912** oder mit Schritt **914** bis **916** fort. Bei Schritt **916** wird ein Zylinderfüllungsfehler (Mcyler) anhand einer gewünschten Zylinderfüllung und einer tatsächlichen Zylinderfüllung (mcy lact) berechnet. Als Nächstes wird bei Schritt **918** der Nockensteuerungssollfehler berechnet. Als Nächstes wird bei Schritt **920** die Nockenstellung anhand des Nockensteuerungssollfehlers und des Reglers H1 berechnet. In einer bevorzugten Ausführung ist der Regler H1 ein integraler Regler, der dem Fachmann bekannt ist. In einer bevorzugten Ausführung werden ferner die Verstärkungen des Reglers H1 so bestimmt, dass die Nockensteuerung langsamer als die Krümmerdyna-

mik eingestellt ist. Die Verstärkungen des Reglers H1 werden mit anderen Worten anhand des Krümmervolumens und der Motordrehzahl ermittelt. Der Regler H1 kann jedoch jeder dem Fachmann bekannte Regler sein, beispielsweise ein PID-Regler, ein PI-Regler oder ein P-Regler. Als Nächstes wird bei Schritt **930** die Drosselklappen-Zwischenstellung anhand des Zylinderfüllungsfehlers und des Reglers H2 berechnet. In einer bevorzugten Ausführung ist der Regler H2 ein integraler Regler; der Fachmann wird jedoch erkennen, dass verschiedene Regler verwendet werden können. Als Nächstes wird in Schritt **940** eine Differenz der Nockensteuerung anhand des Zylinderfüllungsfehlers und des Reglers H3 berechnet. In einer bevorzugten Ausführung ist der Regler H3 ein Vorregler oder ein Hochpass-Filterregler. Als Nächstes geht der Ablauf zu Schritt **950**, wo eine Differenz der Drosselklappenstellung aus der Differenz der Nockensteuerung mittels des Reglers H4 berechnet wird. In einer bevorzugten Ausführung ist der Regler H4 einfach eine konstante Verstärkung. Als Nächstes fährt der Ablauf mit [Fig. 5](#) fort.

Luft-/Kraftstoffzwangsläufigkeiten bei mageren Bedingungen

[0059] Unter Bezug auf [Fig. 10](#) wird ein Ablauf zur Beschränkung des Luft-/Kraftstoffverhältnisses auf bestimmte Bereiche beschrieben. Bei Schritt **1010** erfolgt eine Ermittlung, ob der Motor im Schichtbetrieb läuft. Wenn die Antwort auf Schritt **1010** JA lautet, fährt der Ablauf mit Schritt **1012** fort. Bei Schritt **1012** wird die erforderliche Kraftstoffeinspritzmenge (fi) anhand von Fahrerbefehlen oder Betriebsbedingungen berechnet. Der Fachmann wird wiederum verschiedene Verfahren zur Ermittlung einer Kraftstoffeinspritzmenge anhand eines Fahrerbefehls oder von Motorbetriebsbedingungen kennen. Als Nächstes fährt der Ablauf mit Schritt **1014** fort, wo ein beschränkter Luftbereich berechnet wird. Der beschränkte Luftbereich wird mittels eines maximal und minimal zulässigen Luft-/Kraftstoffverhältnisses, der Kraftstoffeinspritzmenge und eines Bandparameters (B) berechnet. Der Bandparameter dient dazu, Raum bei rechnerischen Ungenauigkeiten zu bieten. Als Nächstes fährt der Ablauf mit Schritt **1016** fort, wo eine Ermittlung erfolgt, ob die tatsächliche Zylinderfüllung zwischen den maximal und minimal zulässigen Zylinderfüllungen (mcy1, mcy2) liegt. Wenn die Antwort auf Schritt **1016** JA lautet, erfolgt bei Schritt **1018** eine Ermittlung, ob es bei den aktuellen Betriebsbedingungen möglich ist, die Luftfüllung (mcy1) zu erzeugen. Diese Ermittlung kann anhand von Faktoren wie Motordrehzahl und Atmosphärendruck erfolgen. Bei steigendem Atmosphärendruck ist der Motor **10** insbesondere in der Lage, eine größere maximale Luftmenge zu pumpen. Daher wird in einer bevorzugten Ausführung der Grenzwert mcy1 gewählt, wenn der Atmosphärendruck größer als ein kalibrierter Wert ist, und ansonsten wird mcy2 gewählt. Bei

Schritt **1018** erfolgt mit anderen Worten eine Ermittlung, ob der Motor eine obere Luftfüllung (mcy1) physikalisch tatsächlich erzeugen kann. Wenn die Antwort auf Schritt **1018** NEIN lautet, setzt der Ablauf bei Schritt **1020** die gewünschte Zylinderfüllung (mcy2) gleich der niedrigeren Luftfüllung (mcy1). Ansonsten wird die gewünschte Zylinderfüllung auf die obere Zylinderfüllung (mcy1) gesetzt.

[0060] Unter Bezug auf **Fig. 11** wird nun die vorliegende Erfindung hinsichtlich der Steuerung des Motordrehmoments oder das Halten eines Luft-/Kraftstoffverhältnisses außerhalb eines beschränkten Luft-/Kraftstoffverhältnissbereichs mit Vorgehen des Stands der Technik verglichen. Die **Fig. 11a** bis **Fig. 11f** zeigen einen Vergleich der vorliegenden Erfindung, dargestellt durch durchgehende Linien, und Vorgehensweisen des Stands der Technik, dargestellt durch Strichlinien. Bei den Vorgehensweisen des Stands der Technik, dargestellt in **Fig. 11a**, nimmt die Kraftstoffeinspritzmenge bei Zeitpunkt T6 in Reaktion auf eine Änderung des in **Fig. 11d** gezeigten gewünschten Motordrehmoments zu. Um das Luft-/Kraftstoffverhältnis bei einem gewünschten Punkt zu halten, wie in **Fig. 11e** gezeigt, ist ein größerer Luftdurchsatz erforderlich. Zur Erzeugung eines größeren Luftdurchsatzes ändern Vorgehensweisen des Stands der Technik die Drosselklappenstellung, wie in **Fig. 11c** gezeigt, zu Zeitpunkt T6. Aufgrund der durch das Krümmervolumen bedingten Luftdurchsatzdynamik nimmt aber die Luftfüllung nicht schnell genug zu, wie in **Fig. 11f** gezeigt. Dies führt zu einem zeitweiligen Auswandern des Luft-/Kraftstoffverhältnisses in den beschränkten Bereich, wie in **Fig. 11e** gezeigt. Somit können die Vorgehensweisen des Stands der Technik nicht das Luft-/Kraftstoffverhältnis völlig aus dem beschränkten Bereich heraushalten.

[0061] Wie in **Fig. 10** beschrieben, wird bei Zeitpunkt T6 die Nockenverstellung, wie in **Fig. 11b** gezeigt, ebenfalls erhöht. Dies ermöglicht es dem Luft-/Kraftstoffverhältnis, wie in **Fig. 11e** gezeigt, ein Eindringen in den beschränkten Luft-/Kraftstoffbereich zu unterlassen. Dies ist möglich, da der Luftdurchsatz schnell mittels der Nockensteuerung und der Drosselklappenstellung, wie in **Fig. 11f** durch die durchgehende Linie gezeigt, geändert wurde.

Fahrzeuganfahrverbesserung

[0062] Das Fahrverhalten des Fahrzeugs wird durch Erzeugen von Motordrehmomentsteigerungen bei einer Geschwindigkeit, die höher als bei Verfahren des Stands der Technik ist, verbessert. Bezüglich **Fig. 12** ist der Motor **10** über den Drehmomentwandler (TC) **1210** mit dem automatischen Getriebe (AT) **1200** verbunden. Das automatische Getriebe (AT) **1200** ist mit der Antriebswelle **1202** verbunden dargestellt, welche wiederum mit der Achsantriebsvorrich-

tung (FD) **1204** verbunden ist. Die Achsantriebsvorrichtung (FD) ist über die zweite Antriebswelle **1208** mit dem Rad **1208** verbunden. In dieser Konfiguration kann der Motor **10** etwas in der Größe verringert werden und immer noch durch Steuern des Motordrehmoments und des Luftdurchsatzes mittels der oben beschriebenen Drosselklappenstellung und der Nockenverstellung ein angenehmes Fahrgefühl bieten.

[0063] Bei **Fig. 13** wird auf den Drehmomentwandler **1210** verzichtet. Somit wird auch ohne Verkleinerung des Motors **10** unter Verwendung von Vorgehensweisen des Stands der Technik das Fahrverhalten verschlechtert. Das Anfahren des Fahrzeugs ist mit anderen Worten normalerweise von der von dem Drehmomentwandler **1210** vorgesehenen Drehmomentmultiplikation unterstützt. Ohne Drehmomentwandler **1210** ist das Fahrzeuganfahrgefühl verschlechtert. Zum Ausgleich des fehlenden Drehmomentwandlers **1210** wird der Motor **10** mittels der Drosselklappenstellung und der Nockenverstellung gesteuert, um das Motordrehmoment bzw. den Luftdurchsatz schnell zu erhöhen, wodurch das Fahrgefühl verbessert wird und ein Verzicht auf den Drehmomentwandler **1210** möglich wird.

[0064] In einer bevorzugten Ausführung werden während des Fahrzeuganfahrens bei geringer Fahrzeuggeschwindigkeit und geringer Motordrehzahl sowohl die Einlass-Steuervorrichtung **170** als auch die Auslass-Steuervorrichtung **171** koordiniert, um die Motorzylinderfüllung schnell zu steuern, wodurch das Fahrgefühl verbessert wird. Zur Ermöglichung eines derartigen Betriebs wird ferner die Nockensollstellung (VCTdesnom) auf einen Wert gesetzt, bei dem eine große Zunahme der Zylinderluftfüllung erreicht werden kann, wenn das Getriebe auf Fahrt gestellt ist und die Fahrzeuggeschwindigkeit unterhalb einer vorbestimmten Fahrzeuggeschwindigkeit liegt, die das Potential eines Fahrzeuganfahrens anzeigt.

Turboverzögerungskompensation

[0065] Bei **Fig. 14** wird nun eine Konfiguration gezeigt, bei der der Motor **10** mit einer Verdichtungs- vorrichtung **1400** verbunden ist. In einer bevorzugten Ausführung ist die Verdichtungs- vorrichtung **1400** ein Turbolader. Die Verdichtungs- vorrichtung **1400** kann jedoch jede Verdichtungs- vorrichtung sein, beispielsweise ein Lader. Der Motor **10** wird mit dem Ansaugkrümmer **44b** und dem Auspuffkrümmer **48b** verbunden dargestellt. Ferner wird die Steuervorrichtung **171** zwischen dem Ansaugkrümmer **44b** und dem Motor **10** angeschlossen gezeigt. Die Steuervorrichtung **170** ist ebenfalls zwischen dem Ansaugkrümmer **44b** und der Verdichtungs- vorrichtung **1400** angeschlossen gezeigt. Die Verdichtungs- vorrichtung **1400** enthält den Verdichter **1410**.

[0066] Dabei ist es nun möglich, durch eine Turbo-

verzögerung bedingte Verzögerungen auszugleichen. In einer bevorzugten Ausführung werden während des Fahrzeuganfahrens bei niedriger Fahrzeuggeschwindigkeit und niedriger Motordrehzahl sowohl die Steuervorrichtung **170** als auch die Steuervorrichtung **171** koordiniert, um die Motorzylinderfüllung schnell zu steuern, wodurch der verzögerte Druckaufbau von der Verdichtungs Vorrichtung **1400** ausgeglichen wird. Ein derartiges Vorgehen kann jedoch bei verschiedenen Fahrbedingungen verwendet werden, wie zum Beispiel bei konstanter Fahrt auf Landstraßen.

[0067] Die Erfindung wurde in ihren bevorzugten Ausführungen gezeigt und beschrieben, doch ein Fachmann auf dem Gebiet wird erkennen, dass viele Änderungen und Abwandlungen durchgeführt werden können, ohne vom Schutzzumfang der Erfindung abzuweichen. Zum Beispiel kann wie hier vorstehend beschrieben jede Vorrichtung, die die aus dem Ansaugkrümmer **44** und in den Zylinder **30** strömende Menge beeinflusst, an Stelle der Nockenstellvorrichtung verwendet werden. Es können zum Beispiel ein Wirbelsteuerventil, ein Füllungsbewegungssteuerventil, ein Ansaugkrümmerlaufsteuerventil, ein elektronisch gesteuertes Einlassventil erfindungsgemäß verwendet werden, um die Frischladung des Zylinders schnell zu ändern. Weiterhin kann jede Vorrichtung, die die in den Ansaugkrümmer **44** strömende Menge beeinflusst, an Stelle der Drosselklappe verwendet werden. Es können zum Beispiel ein Abgasrückführventil, ein Spülungssteuerventil, ein Ansaugluftumgehungsventil in Verbindung mit der Auslass-Steuervorrichtung verwendet werden, um die Frischladung des Zylinders schnell zu ändern.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Steuerung des Drehmoments eines Verbrennungsmotors, der mindestens einen Zylinder, einen Ansaugkrümmer, ein Einlassventil, einen variablen Ventiltrieb zum variablen Steuern der Ventilöffnung des Einlassventils, eine dem Ansaugkrümmer zugeordnete elektronisch steuerbare Drosselklappe, ein Kraftstoffeinspritzventil, einen Abgaskrümmer sowie einen darin angeordneten Abgassensor aufweist, wobei eine in den Zylinder strömende Soll-Luftmenge bestimmt wird, **dadurch gekennzeichnet**, dass die genannte Soll-Luftmenge in Abhängigkeit eines gewünschten Drehmoments bestimmt wird, der Ventilhub des Einlassventils zur Erreichung des gewünschten Drehmoments verstellt wird, die Stellung der Drosselklappe in Abhängigkeit eines zuvor bestimmten Drucks im Ansaugkrümmer verändert wird, und die von dem Kraftstoffeinspritzventil eingespritzte Kraftstoffmenge in Abhängigkeit eines Signals des Abgassensors derart verändert wird, dass das durchschnittliche Luft-/Kraftstoffverhältnis etwa stöchiometrisch gehalten wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass auch die Veränderung der Einlassventilöffnung in Abhängigkeit des zuvor bestimmten Drucks im Ansaugkrümmer gesteuert wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass zur schnellen Zunahme der in den Zylinder strömenden Luftmenge sowohl die Drosselklappenöffnung vergrößert als auch die Ventilöffnung des Einlassventils vergrößert wird.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass zur schnellen Abnahme der in den Zylinder strömenden Luftmenge sowohl die Drosselklappenöffnung verkleinert als auch die Ventilöffnung des Einlassventils verkleinert wird.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Ventilöffnung bis zu einem Maximalwert oder einem Minimalwert verändert wird, und bei Erreichen dieser maximalen oder minimalen Ventilöffnung nur noch die Drosselklappenstellung verändert wird, um die gewünschte Soll-Luftmenge zu erreichen.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Ventiltrieb ein veränderliches Nockensteuersystem ist.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die gewünschte Soll-Luftmenge durch einen Fahrerbefehl, insbesondere in Abhängigkeit der Gaspedalstellung erzeugt wird.

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Soll-Luftmenge anhand einer gewünschten Veränderung des Motordrehmoments bestimmt wird.

Es folgen 10 Blatt Zeichnungen

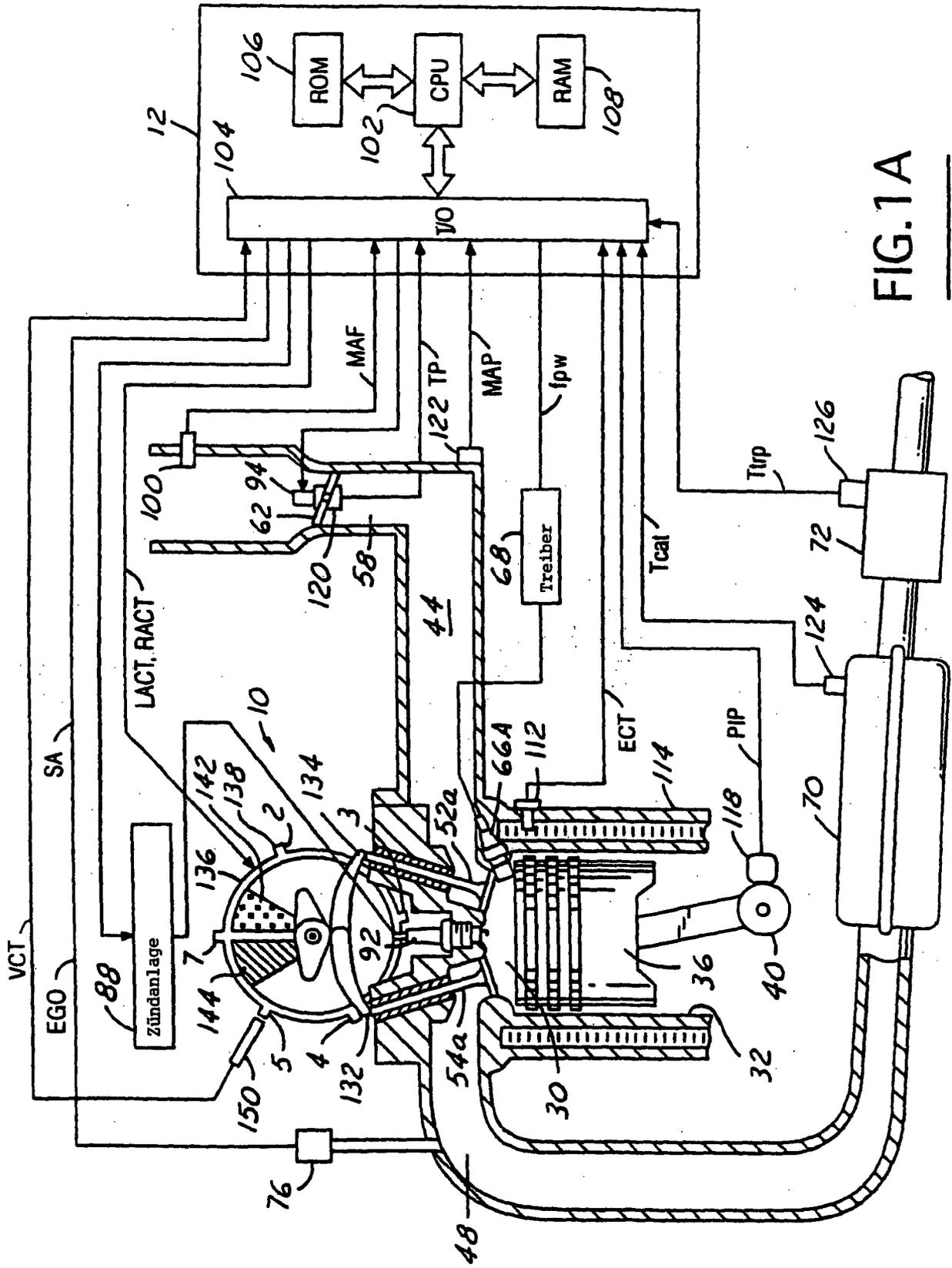


FIG. 1A

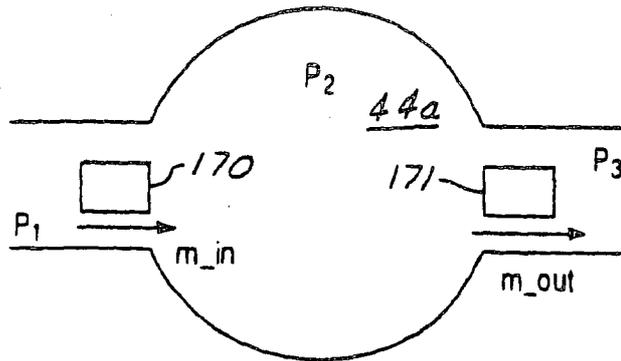
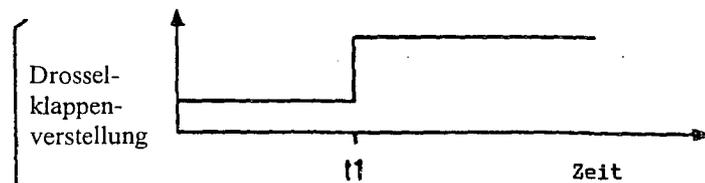
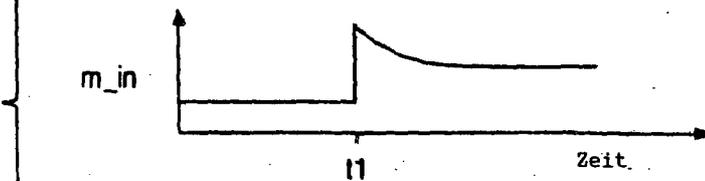


FIG.2A



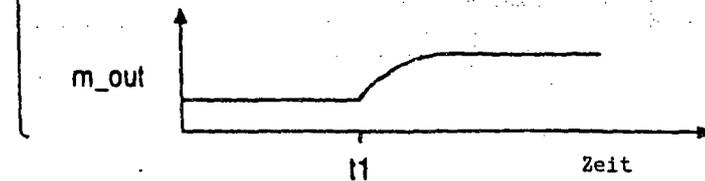
(Stand der Technik)

FIG.2B



(Stand der Technik)

FIG.2C



(Stand der Technik)

FIG.2D

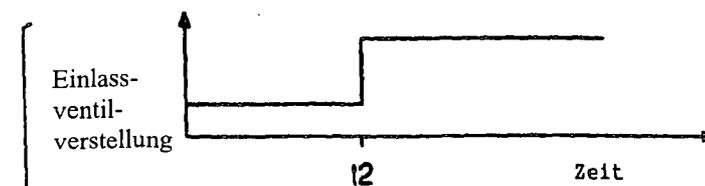


FIG.2E

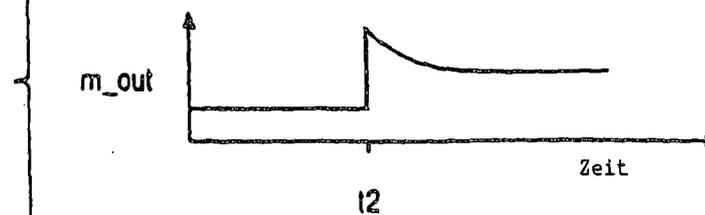


FIG.2F

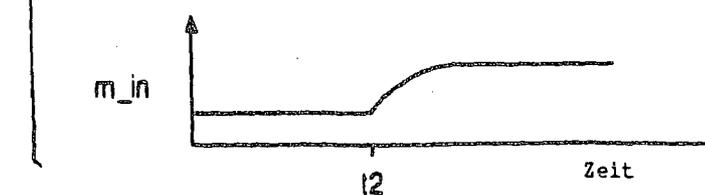
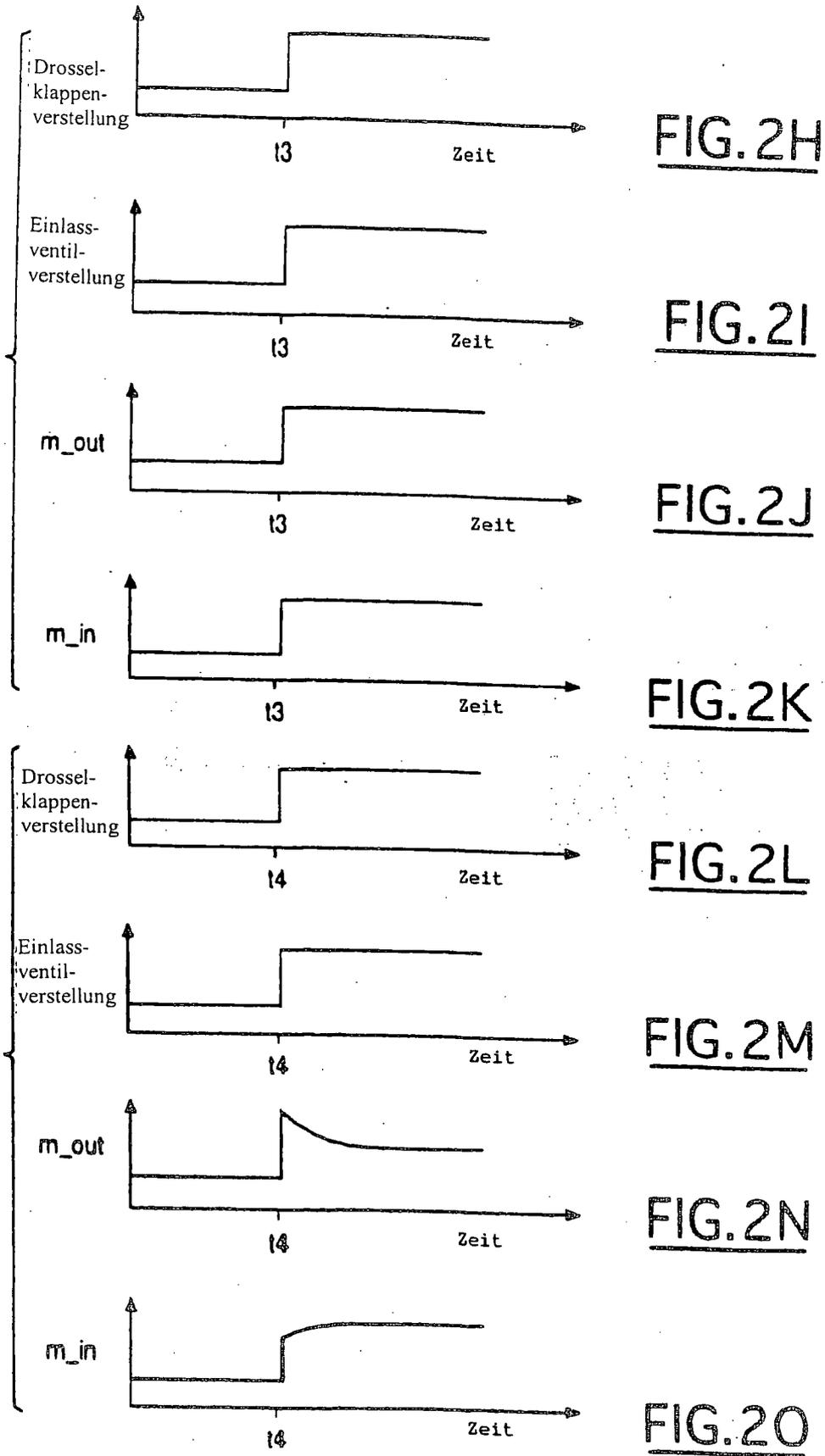


FIG.2G



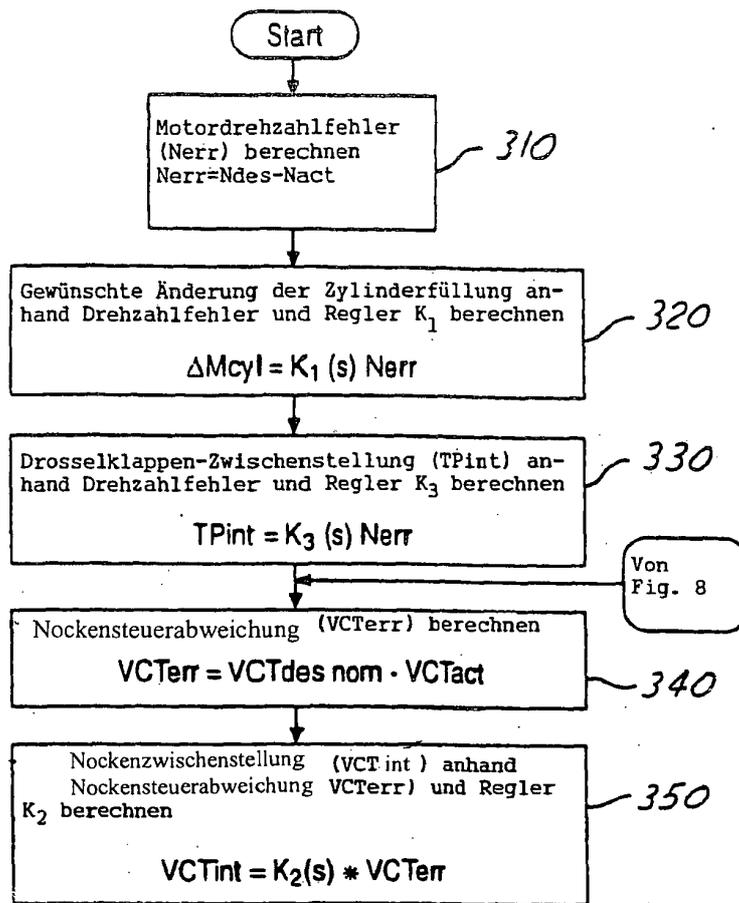


FIG. 3

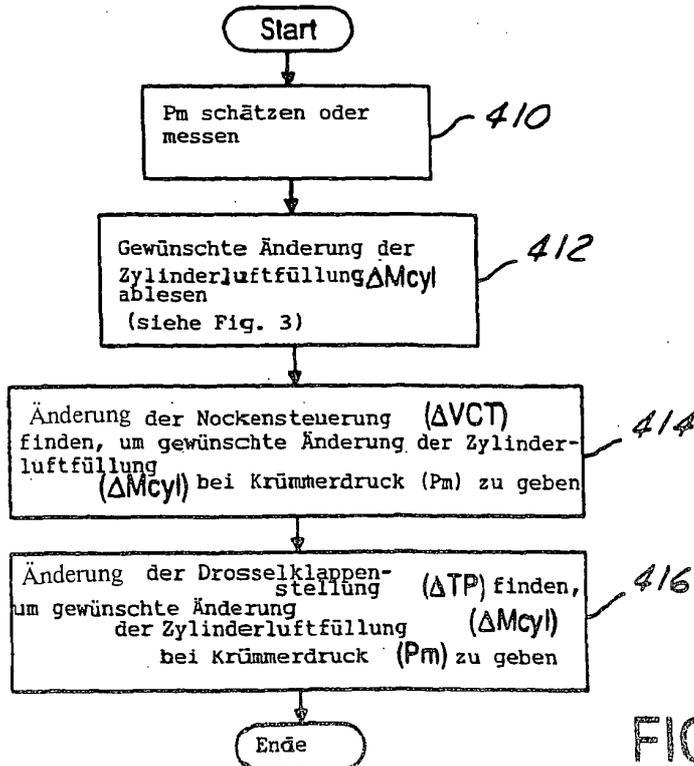


FIG. 4

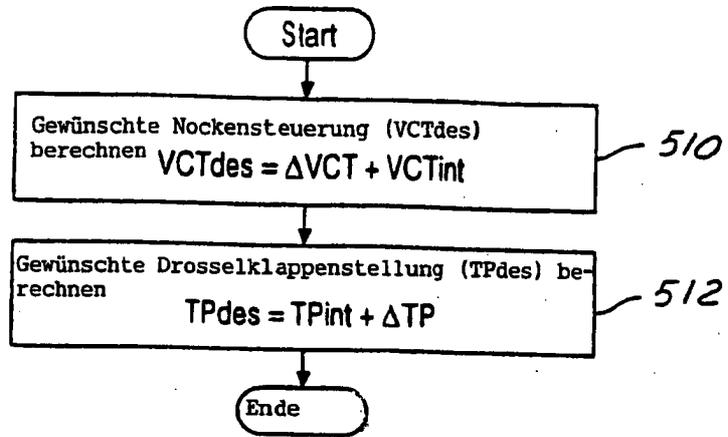


FIG.5

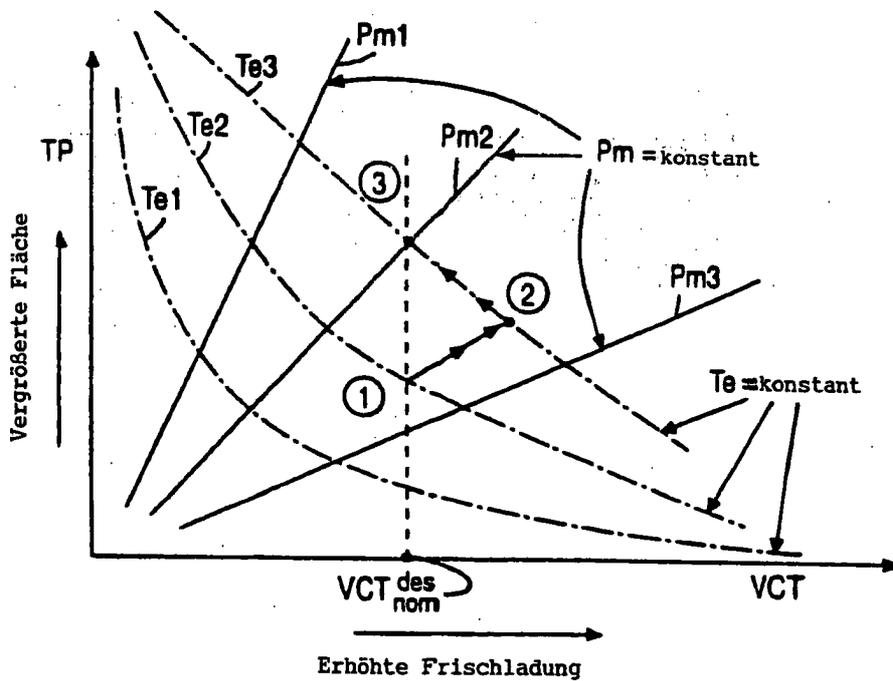


FIG.6

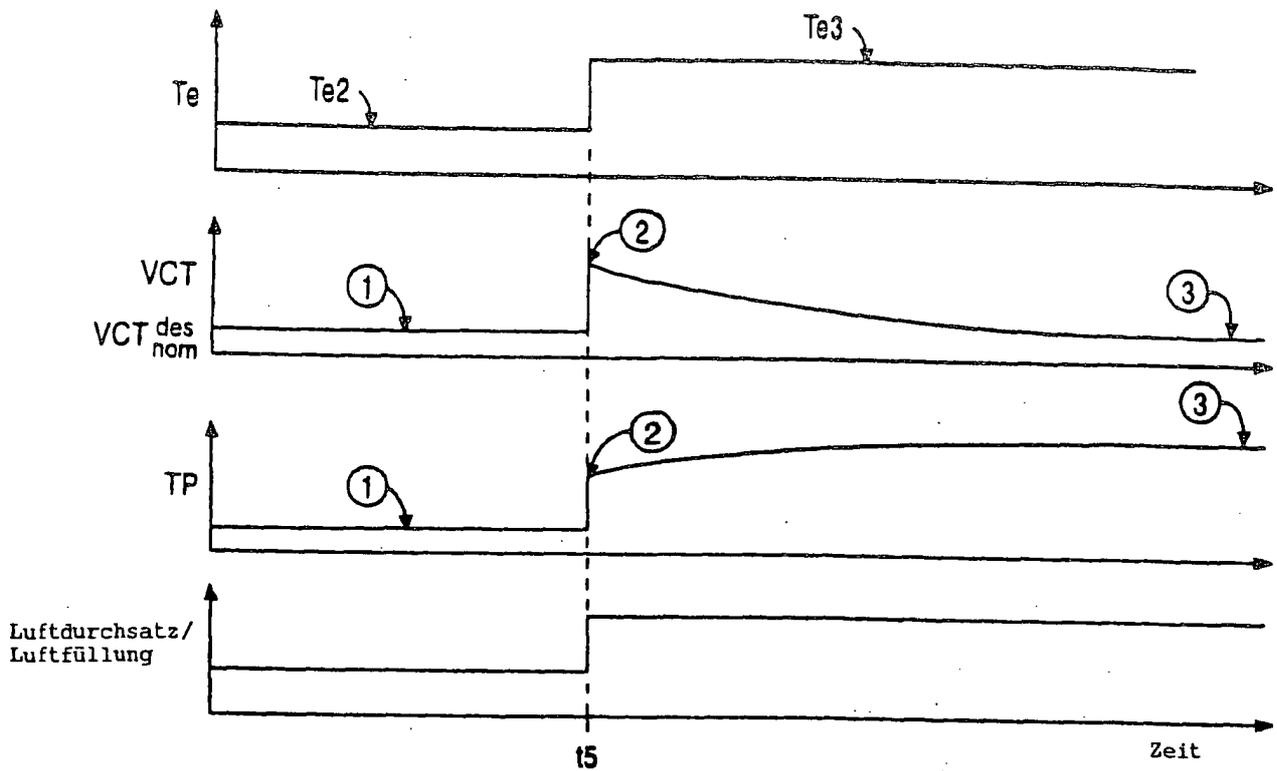


FIG. 7

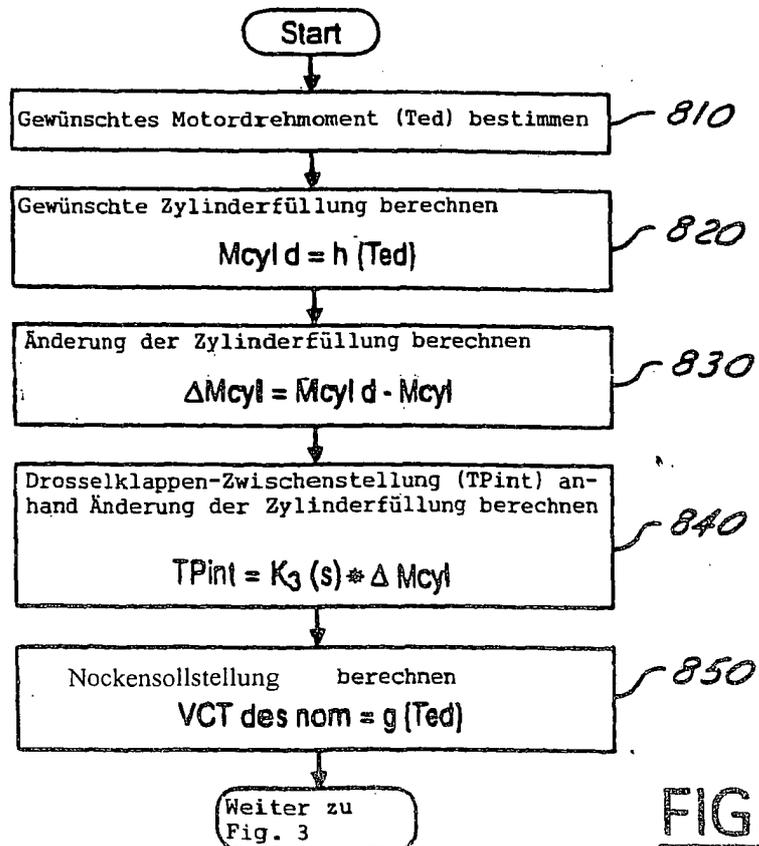


FIG. 8

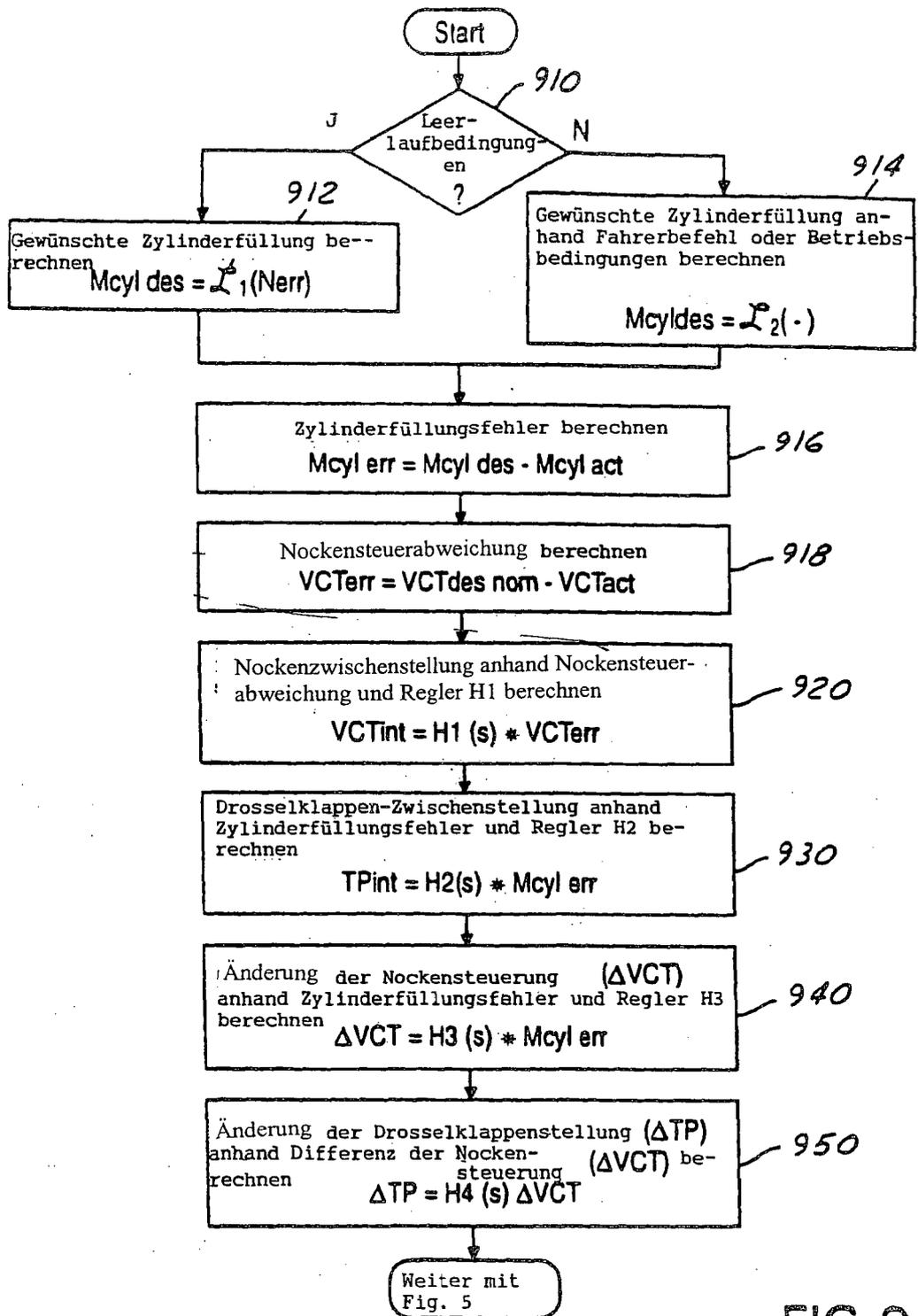
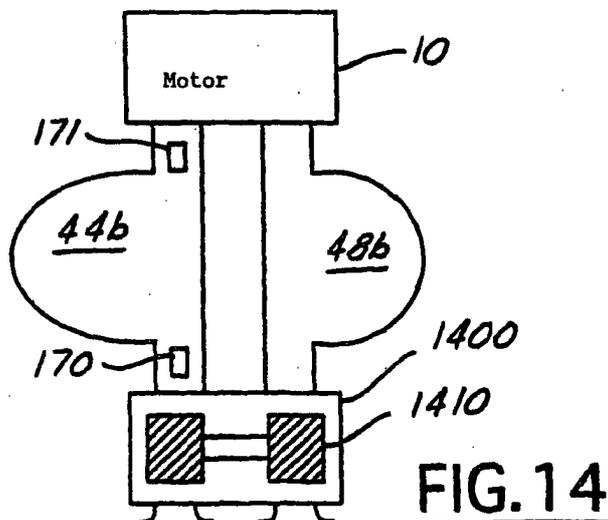
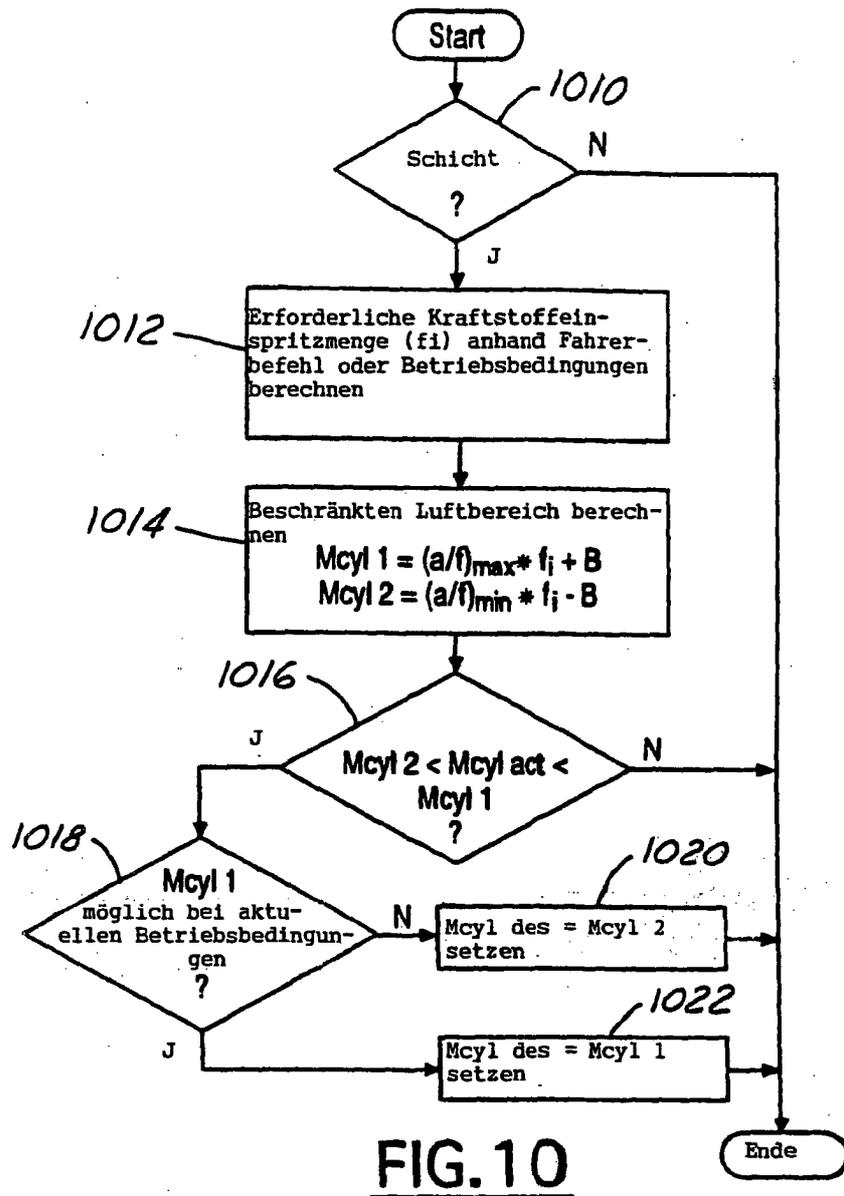


FIG.9



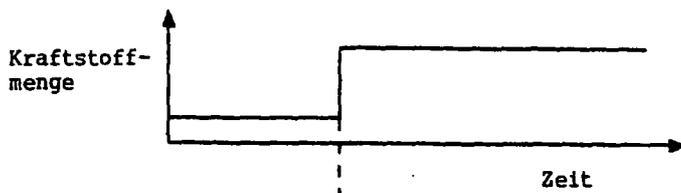


FIG. 11 A

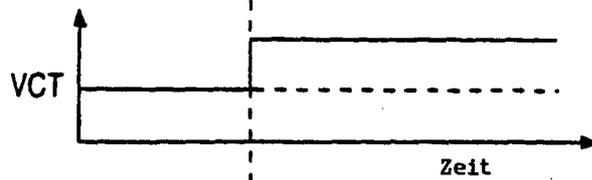


FIG. 11 B

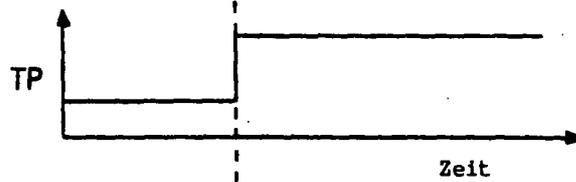


FIG. 11 C



FIG. 11 D

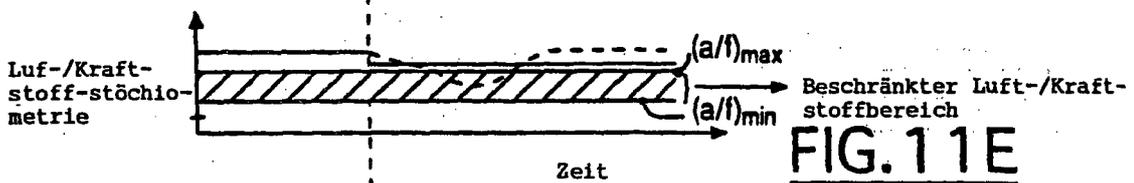


FIG. 11 E

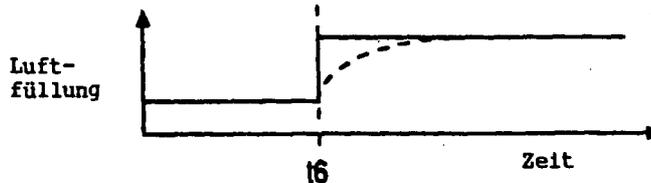


FIG. 11 F

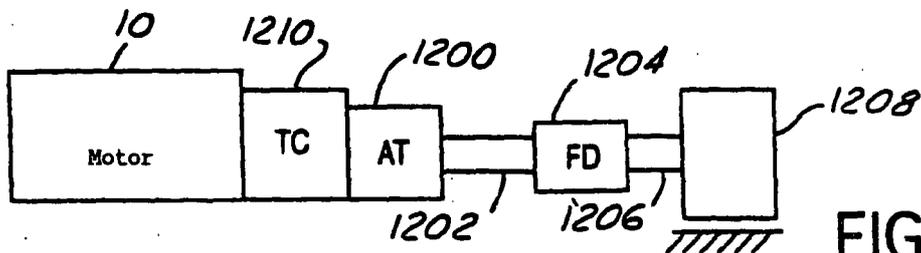


FIG. 12

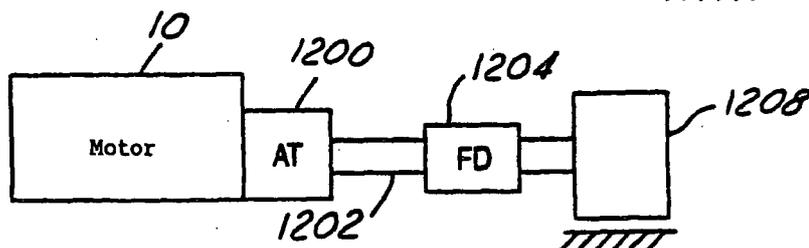


FIG. 13