(19) Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2007 056 217 A1** 2009.05.28

(12) # Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2007 056 217.0**
(22) Anmeldetag: **22.11.2007**
(43) Offenlegungstag: **28.05.2009**

(51) Int Cl.[8]: ***F01N 9/00*** (2006.01)
F02D 13/02 (2006.01)
F02D 41/40 (2006.01)

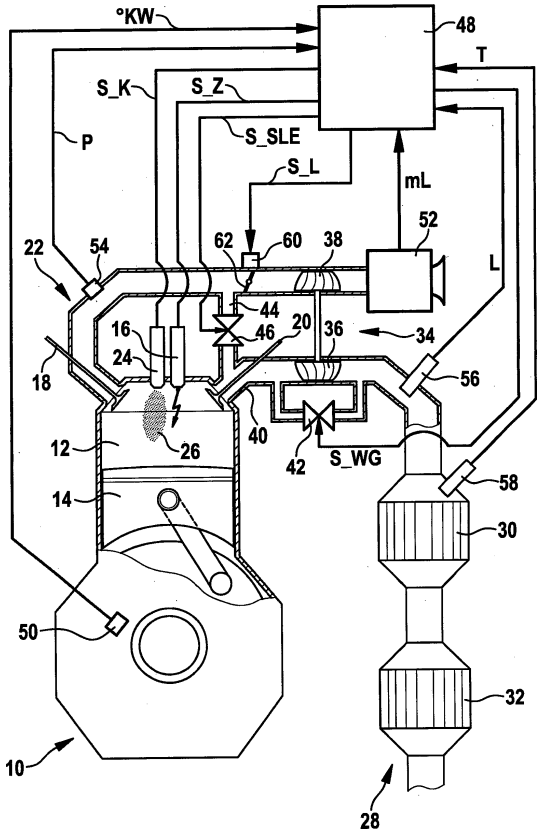
(71) Anmelder:
Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart, DE

(72) Erfinder:
Schenk, Peter, 71640 Ludwigsburg, DE; Raimann, Juergen, 71263 Weil der Stadt, DE; Porten, Guido, 71665 Vaihingen, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Verfahren und Steuergerät zum Aufheizen eines Katalysators im Abgassystem eines aufgeladenen Verbrennungsmotors**

(57) Zusammenfassung: Vorgestellt wird ein Verfahren zum Aufheizen eines Katalysators (30, 32) im Abgassystem (28) eines aufgeladenen Verbrennungsmotors (10) mit Hilfe einer Zufuhr von Luft in das Abgassystem (28), wobei die zugeführte Luft aus einem Ansaugsystem (22) des Verbrennungsmotors (10) in Strömungsrichtung der Luft hinter einem in dem Ansaugsystem (22) angeordneten Verdichter (38) eines Abgasturboladers (34) entnommen wird. Das Verfahren zeichnet sich dadurch aus, dass der Verbrennungsmotor (10) mit direkter Einspritzung von Kraftstoff in seine Brennräume (12) betrieben wird, wobei er nach einem Start mit einer Aufteilung einer vor einem Beginn einer Verbrennung einzuspritzenden Kraftstoffmenge auf wenigstens zwei Teileinspritzungen (ti_1, ti_2) pro Zündung und mit suboptimalem Zündwinkelwirkungsgrad betrieben wird. Ein zweiter unabhängiger Anspruch richtet sich auf ein Steuergerät, das zur Steuerung des Ablaufs des Verfahrens eingerichtet ist.



Beschreibung

Stand der Technik

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Aufheizen eines Katalysators im Abgassystem eines aufgeladenen Verbrennungsmotors mit Hilfe einer Zufuhr von Luft zum Abgassystem, wobei die zugeführte Luft aus einem Ansaugsystem des Verbrennungsmotors in Strömungsrichtung der Luft hinter einem in dem Ansaugsystem angeordneten Verdichter eines Abgasturboladers entnommen wird. Die Erfindung betrifft darüber hinaus ein zur Steuerung des Ablaufs des Verfahrens eingerichtetes Steuergerät des Verbrennungsmotors.

[0002] Ein solches Verfahren und ein solches Steuergerät ist jeweils aus der DE 100 62 377 A1 bekannt. Die Aufheizung eines Katalysators durch Einblasen von Sekundärluft in eine fette Abgasatmosphäre ist auch vor der Veröffentlichung durch die DE 100 62 377 A1 bereits bekannt gewesen. Die Sekundärluft wird in der Regel hinter die Auslassventile des Verbrennungsmotors eingeblasen und reagiert dort exotherm mit einer fetten Abgasatmosphäre, die aus Verbrennungen von fetten (Luftzahl Lambda kleiner 1) Brennraumfüllungen des Verbrennungsmotors resultiert. Für die Einblasung der Sekundärluft wird in der Regel eine separate Sekundärluftpumpe verwendet, die elektrisch angetrieben wird.

[0003] Das mit der Sekundärlufteinblasung arbeitende Verfahren lässt sich einer Gruppe von Heizverfahren zuordnen, deren Gemeinsamkeit darin besteht, dass die Aufheizung durch die Reaktionswärme von im Abgas ablaufenden chemischen Reaktionen erfolgt. Ferner sind zur Katalysatoraufheizung Eingriffe in die Verbrennungsmotorsteuerung bekannt, die zu einer Erhöhung der Abgastemperatur und/oder des Abgasmassenstroms führen.

[0004] Es ist zum Beispiel bekannt, in einer Nachstartphase des Verbrennungsmotors eine möglichst große Wärmemenge im Abgas zu erzeugen, ohne die im Leerlauf des Verbrennungsmotors aufgebrachte Leistung und die in der Nachstartphase angehobene Leerlaufdrehzahl von etwa 1.200 min^{-1} zu verändern. Dies wird bei einem Verbrennungsmotor mit Kraftstoffdirekteinspritzung dadurch erreicht, dass ein erster Teil der Kraftstoffmenge im Ansaugtakt und ein zweiter Teil der Kraftstoffmenge im Verdichtungstakt eingespritzt wird. Als Folge ergibt sich eine geschichtete Kraftstoffverteilung im Brennraum mit einer aus der Einspritzung des zweiten Teils resultierenden Zone mit vergleichsweise fettem und daher gut zündfähigem Kraftstoff-Luft-Gemisch in der Nähe der Zündkerze. Dieser Betrieb des Verbrennungsmotors wird auch als Homogen-Split-Betrieb bezeichnet, wobei sich „split" auf die Aufteilung der Einspritzung bezieht.

[0005] Bei der weiter oben genannten DE 100 62 377 A1 geht man von einem zweistufigen Aufladekonzept aus. Dabei sieht das zweistufige Konzept in einer Ausgestaltung einen Abgasturbolader vor, dessen Welle durch einen Elektromotor angetrieben wird. Durch diesen Antrieb (1. Stufe) soll das sogenannte Turboloch (englisch: „lag") bei Betriebspunktwechseln verringert werden. Das Turboloch entsteht bekanntlich dadurch, dass die Turbine bei plötzlicher Drehmomentanforderung aus einem Betriebspunkt mit niedrigem Abgasmassenstrom zunächst beschleunigt werden muss, um auf der Verdichterseite den erforderlichen Ladedruck aufzubauen. Durch den unterstützenden elektrischen Antrieb wird die resultierende Verzögerung verringert. Die zweite Stufe entspricht dem herkömmlichen Antrieb der Turbine durch eine ausreichend große Abgasenthalpie.

[0006] Dieses zweistufige Aufladekonzept, das an sich noch nichts mit einem Katalysatorheizverfahren zu tun hat, wird bei der DE 100 62 377 A1 dazu benutzt, die separate Sekundärluftpumpe zu ersetzen. Dazu wird der Turbolader dann, wenn der Katalysator aufzuheizen ist, elektrisch angetrieben. Dadurch erzeugt er auch in Betriebspunkten mit niedriger Abgasenthalpie bereits einen gewissen Ladedruck, der ausreicht, um Luft aus dem Ansaugsystem über eine Rohrverbindung an den Brennräumen des Verbrennungsmotors vorbei in das Abgassystem strömen zu lassen. Damit kann bei zweistufigen Aufladekonzepten mit durch einen elektrischen Antrieb unterstützten Turboladern auf eine separate Sekundärluftpumpe verzichtet werden. Die Sekundärlufteinblasung erfordert jedoch auch bei diesen zweistufigen Aufladekonzepten einen elektrischen Antrieb.

Offenbarung der Erfindung

[0007] Vor diesem Hintergrund besteht die Aufgabe der Erfindung in der Angabe eines Verfahrens und eines Steuergeräts, das eine Sekundärluft nutzende Aufheizung eines Katalysator im Abgas eines mit einem Abgasturbolader aufgeladenen Verbrennungsmotors ohne separate Sekundärluftpumpe und ohne elektrischen Antrieb des Turboladers oder eines im Saugrohr angeordneten Verdichters erlaubt.

[0008] Diese Aufgabe wird jeweils mit den Merkmalen der unabhängigen Ansprüche gelöst.

[0009] Der Betrieb des Verbrennungsmotors mit direkter Einspritzung von Kraftstoff in seine Brennräume und mit einer nach einem Start erfolgenden Aufteilung einer vor einem Beginn einer Verbrennung einzuspritzenden Kraftstoffmenge auf wenigstens zwei Teileinspritzungen pro Zündung und Brennraum ergibt sehr stabile Verbrennungen, die sehr späte Zündwinkel erlauben. Bei luft- und wandgeführten Brennverfahren lassen sich späte Zündwinkel bis etwa 25 Grad nach OT, bei strahlgeführten Brennver-

fahren lassen sich durch Ausnutzung einer an die Zündung gekoppelten kleinen Kraftstoffmenge noch spätere Zündwinkel zwischen 25 und bis zu etwa 40 Grad nach OT bei stabilem Drehzahlverhalten und beherrschbaren Rohemissionen im Leerlauf einstellen. Dadurch sinkt der Zündwinkelwirkungsgrad, unter dem hier der Quotient aus dem Drehmoment bei einem verspäteten Zündwinkel im Zähler und dem Drehmoment bei einem für eine maximale Drehmomententwicklung optimalen Zündwinkel verstanden wird.

[0010] Der Wirkungsgradverlust führt aufgrund thermodynamischer Gesetzmäßigkeiten zu einer höheren Abgastemperatur und damit zu einer höheren Abgasenthalpie. Ferner muss der Verbrennungsmotor bei verspäteter Zündung mit höheren Brennraumfüllungen betrieben werden, um den mit der Wirkungsgradverschlechterung einhergehenden Drehmomentverlust zu kompensieren. Bei den angegebenen Zündwinkelwerten ergeben sich Vergrößerungen der Brennraumfüllungen bis zu Werten, von über 75% der unter Normbedingungen möglichen maximalen Füllung. Dies führt zu einem höheren Abgasmassenstrom, der ebenfalls die Abgasenthalpie vergrößert. Mit steigender Abgasenthalpie steigt die auf die Turbine des Abgasturboladers übertragene Antriebsleitung an. In der Summe ergibt sich damit eine vergleichsweise große Abgasmenge, deren Temperatur wegen des schlechten Zündwinkelwirkungsgrades vergleichsweise hoch ist, so dass sich ein maximaler Wärmestrom (Enthalpiestrom) in der Abgasanlage einstellt.

[0011] Die erzielte Steigerung der Abgasenthalpie bewirkt bereits für sich allein betrachtet eine schnelle Aufheizung der Abgasanlage. Darüber hinaus bewirkt die Steigerung, dass der Turbolader ohne unterstützenden elektrischen Antrieb innerhalb weniger Sekunden nach einem Kaltstart einen Ladedruck und damit ein Druckgefälle oder Spülgefälle zum Abgas aufbaut, der auch bei niedrigen Drehzahlen ausreichend groß ist, um Luft aus dem Ansaugsystem über eine Rohrverbindung an den Brennräumen des Verbrennungsmotors vorbei in das Abgas strömen zu lassen. Dadurch kann auch bei einstufigen Aufladekonzepten, die ohne elektrische unterstützten Turbolader und ohne zusätzlichen elektrisch oder mechanisch vom Verbrennungsmotors angetriebenen Verdichter (z. B. Roots-Gebläse, Kompressor) arbeiten, auf eine separate Sekundärluftpumpe verzichtet werden. Die Erfindung nutzt damit den an sich bekannten Homogen-Split-Betrieb bei einem aufgeladenen Verbrennungsmotor für eine Ladedrucksteigerung, um ein für eine Sekundärlufteinblasung ausreichendes Spülgefälle (Druckgefälle) zwischen Ansaugsystem und Abgassystem zu erzielen.

[0012] Weitere Vorteile ergeben sich aus den abhängigen Ansprüchen, der Beschreibung und den beigefügten Figuren.

[0013] Es versteht sich, dass die vorstehend genannten und die nachstehend noch zu erläuternden Merkmale nicht nur in der jeweils angegebenen Kombination, sondern auch in anderen Kombinationen oder in Alleinstellung verwendbar sind, ohne den Rahmen der vorliegenden Erfindung zu verlassen.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0014] Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in den Zeichnungen dargestellt und werden in der nachfolgenden Beschreibung näher erläutert. Es zeigen, jeweils in schematischer Form:

[0015] Fig. 1 einen Verbrennungsmotor mit Benzindirekteinspritzung und einem Steuergerät;

[0016] Fig. 2 ein Einspritzmuster, das bei einer Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens verwendet wird.

[0017] Fig. 3 ein Flussdiagramm zur Veranschaulichung von Verfahrensaspekten der Erfindung; und

[0018] **Fig.** 4 zeitlich korrelierte Verläufe von Betriebsparametern des Verbrennungsmotors bei einer Durchführung einer Ausgestaltung eines erfindungsgemäßen Verfahrens.

Ausführungsform(en) der Erfindung

[0019] Im Einzelnen zeigt die Fig. 1 einen Verbrennungsmotor **10** mit wenigstens einem Brennraum **12**, der von einem Kolben **14** beweglich abgedichtet wird. Füllungen des Brennraums **12** mit einem Gemisch aus Kraftstoff und Luft werden von einer Zündkerze **16** gezündet und anschließend verbrannt. In einer bevorzugten Ausgestaltung ist der Verbrennungsmotor **10** für ein strahlgeführtes Brennverfahren optimiert. Als Brennverfahren bezeichnet man die Art und Weise der Gemischbildung und Energieumsetzung im Brennraum **12**. Das strahlgeführte Brennverfahren zeichnet sich dadurch aus, dass der Kraftstoff in unmittelbarer Umgebung der Zündkerze eingespritzt wird und dort verdampft. Das erfordert eine exakte Positionierung von Zündkerze **16** und Kraftstoff-Injektor und eine präzise Strahlausrichtung, um das Gemisch zum richtigen Zeitpunkt entzünden zu können.

[0020] Ein Wechsel der Füllung des Brennraums **12** wird mit Gaswechselventilen **18** und **20** gesteuert, die phasensynchron zur Bewegung des Kolbens **14** geöffnet und geschlossen werden. Die verschiedenen Möglichkeiten zur Betätigung der Gaswechselventile **18** und **20** sind dem Fachmann vertraut und sind aus Gründen der Übersichtlichkeit in der Fig. 1 nicht im Detail dargestellt. Bei geöffnetem Einlassventil **18**

und abwärts laufendem Kolben **14**, also im Ansaugtakt, strömt Luft aus einem Ansaugsystem **22** in den Brennraum **12**. Über einen Injektor **24** wird Kraftstoff **26** zu der Luft im Brennraum **12** dosiert. Aus einer Verbrennung der Brennraumfüllungen resultierendes Abgas wird bei geöffnetem Auslassventil **20** in ein Abgassystem **28** ausgestoßen, das wenigstens einen 3-Wege-Katalysator **30** aufweist. Im Allgemeinen wird das Abgassystem **28** mehrere Katalysatoren enthalten, zum Beispiel einen motornah eingebauten Vorkatalysator **30** und einen motorferner eingebauten Hauptkatalysator **32**, der ein 3-Wege-Katalysator oder ein NOx-Speicherkatalysator sein kann.

[0021] Der Verbrennungsmotor **10** weist einen Turbolader **34** mit einer Turbine **36** und einem Verdichter **38** auf. Die Turbine **36** ist zwischen einem Krümmer **40** und dem Vorkatalysator **30** im Strömungsweg der Abgase angeordnet ist. Über ein Waste Gate Ventil **42** kann das Druckgefälle über der Turbine **36** begrenzt werden. Eine Sekundärluftleitung **44** mit einem Sekundärluftventil **46** liegt zwischen dem Ansaugsystem **22** und dem Abgassystem **28**. Bei geöffnetem Sekundärluftventil **46** und ausreichendem Druckgefälle vom Ansaugsystem **22** (vor den Einlassventilen **18**) zur Mündung der Sekundärluftleitung **44** in das Abgassystem **28** strömt Luft aus dem Ansaugsystem **22** an den Brennräumen **12** des Verbrennungsmotors **10** vorbei in das Abgassystem **28** vor den Katalysator **30**.

[0022] Der Verbrennungsmotor **10** wird von einem Steuergerät **48** gesteuert, das dazu Signale verschiedener Sensoren verarbeitet, in denen sich Betriebsparameter des Verbrennungsmotors **10** abbilden. In der nicht abschließenden Darstellung der Fig. 1 sind dies ein Drehwinkelsensor **50**, der eine Winkelposition °KW einer Kurbelwelle des Verbrennungsmotors **10** und damit eine Stellung des Kolbens **14** erfasst, ein Luftmassenmesser **52**, der eine in den Verbrennungsmotor **10** strömende Luftmasse mL erfasst, ein Drucksensor **54**, der den Druck p im Ansaugsystem **22** vor den Einlassventilen **18** erfasst, und, optional, ein oder mehrere Abgassensoren **56**, **58**, die eine Konzentration eines Abgasbestandteils und/oder eine Temperatur des Abgases erfassen.

[0023] In der Ausgestaltung der Fig. 1 ist der Abgassensor **56** ein Lambdasensor, der eine Sauerstoffkonzentration im Abgas als Maß einer Luftzahl L (L = Lambda) erfasst, während der Sensor **58** eine Abgastemperatur T am Eingang des Vorkatalysators **30** erfasst. Die Luftzahl Lambda ist bekanntlich als Quotient einer tatsächlich zur Verfügung stehenden Luftmasse im Zähler und einer für eine stöchiometrische Verbrennung einer bestimmten Kraftstoffmasse erforderlichen Luftmasse im Nenner definiert. Luftzahlen Lambda größer 1 repräsentieren daher einen Luftüberschuss, während Luftzahlen Lambda kleiner 1 einen Kraftstoffüberschuss repräsentieren. Sofern das Abgassystem **28** einen Abgastemperatursensor **58** aufweist, kann dieser auch an anderer Stelle des Abgassystems **28** angeordnet sein, beispielsweise am Eingang des Hauptkatalysators **32**. Dies gilt insbesondere für den Fall, dass der Hauptkatalysator **32** ein NOx-Speicherkatalysator ist.

[0024] Aus den Signalen dieser und gegebenenfalls weiterer Sensoren bildet das Steuergerät **48** Stellsignale zur Ansteuerung von Stellgliedern zur Steuerung des Verbrennungsmotors **10**. In der Ausgestaltung der Fig. 1 sind dies insbesondere ein Stellsignal S_L zur Ansteuerung eines Drosselklappenstellers **60**, der die Winkelstellung einer Drosselklappe **62** im Ansaugsystem **22** verstellt, ein Signal S_K, mit dem das Steuergerät **48** den Injektor **24** ansteuert, ein Stellsignal S_Z, mit dem das Steuergerät **48** die Zündkerze **16** beziehungsweise eine Zündvorrichtung **16** ansteuert, die auch Spulen und/oder Kondensatoren zur Erzeugung der Zündspannung aufweist, und ein Stellsignal S_SLE, mit dem das Steuergerät **48** den Öffnungsquerschnitt des Sekundärluftventils **46** steuert, sowie ein Stellsignal S_WG zur Ansteuerung des Waste-Gate-Ventils **42**. Analog zu der Darstellung der Sensoren gilt auch für die dargestellten Stellglieder, dass die Darstellung in der Fig. 1 nicht abschließend gemeint ist und dass moderne Verbrennungsmotoren **10** weitere Stellglieder wie Abgasrückführventile, Tankentlüftungsventile, Stellglieder für variable Steuerungen der Gaswechselventile **18**, **20** etc., aufweisen können.

[0025] Im Übrigen ist das Steuergerät **48** dazu eingerichtet, insbesondere dazu programmiert, das hier vorgestellte Verfahren und/oder eine seiner Ausgestaltungen durchzuführen und/oder einen entsprechenden Verfahrensablauf zu steuern.

[0026] In einer bevorzugten Ausgestaltung rechnet das Steuergerät **48** Leistungsanforderungen an den Verbrennungsmotor **10** in einen Soll-Wert für das vom Verbrennungsmotor **10** insgesamt zu erzeugende Drehmoment um und teilt dieses Drehmoment auf Drehmomentanteile auf, die durch die Stellsignale S_L für die Füllungssteuerung, S_K für die Kraftstoffzumessung, S_Z für die Zündungssteuerung und S_WG für die Ladedrucksteuerung beeinflusst werden. Der Füllungsanteil wird durch eine entsprechende Einstellung der Drosselklappe **62** oder einer variablen Steuerung von Einlassventilen **18** mit dem Stellsignal S_L eingestellt. Der Kraftstoffanteil wird mit der Stellgröße S_K im Wesentlichen durch die eingespritzte Kraftstoffmasse und die Art und Weise der Aufteilung der einzuspritzenden Kraftstoffmasse auf eine oder mehrere Teileinspritzungen sowie die relative Lage der Teileinspritzungen zueinander und zu der Bewegung des Kolbens **14**, also durch ein Einspritz-Timing, eingestellt. Das bei gegebener Luftfüllung maximal mögliche Drehmoment ergibt sich bei optimaler Luftzahl Lambda, optimalem Einspritz-Ti-

ming und optimalem Zündwinkel.

[0027] Die Fig. 2 zeigt ein Einspritzmuster, das bei einer Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens verwendet wird. Dabei sind Einspritzimpulsbreiten ti_1 und ti_2 jeweils als hohe Pegel über dem Kurbelwellenwinkel °KW eines Arbeitszyklusses aus einem Ansaugtakt Takt_1, einem Verdichtungstakt Takt_2, einem Arbeitstakt Takt_3 und einem Auslasstakt Takt_4 aufgetragen. Obere Totpunkte sind mit OT bezeichnet.

[0028] Im Einzelnen zeigt Fig. 2 ein Einspritzmuster M_1 für einen Homogen-Split-Betrieb für maximierte Abgasenthalpie mit einer ersten Teileinspritzung ti_1, die im Ansaugtakt Takt_1 erfolgt und einer zweiten Teileinspritzung ti_2, die später erfolgt. Die zweite Teileinspritzung ti_2 erfolgt auf jeden Fall vor der Zündung, die beim Kurbelwellenwinkel KW_Z ausgelöst wird. Wie bereits erwähnt wurde, liegt KW_Z unter Umständen sehr spät im Bereich von 10° bis 35°KW nach dem Zündungs-OT, so dass die zweite Teileinspritzung ti_2 auch ganz oder teilweise im Arbeitstakt Takt_3 liegen kann. Sie liegt aber auf jeden Fall vor der Zündung. Statt einer Aufteilung auf zwei Teileinspritzungen kann die mit dem ersten Einspritzmuster M_1 eingespritzte Kraftstoffmenge auch auf mehr als zwei Teileinspritzungen aufgeteilt sein. Die Möglichkeit der Aufteilung wird durch die Kleinmengen-Dosierfähigkeit des Injektors **24** begrenzt. Wesentlich für das Muster M_1 ist die Aufteilung auf wenigstens zwei Teileinspritzungen, von denen die frühere bevorzugt im Ansaugtakt Takt_1 liegt und die letzte auf jeden Fall in demselben Arbeitszyklus vor der Zündung liegt, wobei sich eine Luftzahl Lambda im Brennraum (also ohne Sekundärluft) kleiner als 1 und eine Luftzahl Lambda im Abgas (also mit Sekundärluft) größer als 1 ergibt.

[0029] Fig. 3 zeigt ein Flussdiagramm als Ausführungsbeispiel von Verfahrensaspekten der Erfindung. Nach einem Start des Verbrennungsmotors **10** im Schritt **64** wird zunächst im Schritt **66** seine Drehzahl n erfasst und im Schritt **68** mit einem Schwellenwert n_SE vergleichen. Eine Überschreitung des Schwellenwerts n_SE lässt das Verfahren zu dem Schritt **70** verzweigen, in dem der beschriebene Homogen-Split-Betrieb HSP mit Spätzündung und erhöhter Füllung aktiviert wird. In einer bevorzugten Ausgestaltung wird der Verbrennungsmotor **10** dabei weitgehend vollständig entdrosselt betrieben, wobei unter einer weitgehend vollständigen Entdrosselung ein Betrieb mit wenigstens 75% der unter gleichen Bedingungen maximal möglichen Füllung verstanden wird.

[0030] Zeitgleich oder schnell anschließend wird bei ausreichendem Ladedruck im Schritt **72** das Sekundärluftventil **46** geöffnet. Die Öffnung kann z. B. mit einer festen Zeitverzögerung in der Größenordnung weniger Sekunden gegenüber dem Aktvieren des Homogen-Split-Betriebes oder in Abhängigkeit von der Überschreitung eines Ladedruckschwellenwertes erfolgen. Anschließend wird im Schritt **74** ein Parameter A gebildet oder erfasst, in dem sich die Wirkung der Sekundärlufteinblasung abbildet. Als Parameter wird ein Zeitzählerstand oder eine für die Temperatur des Turboladers **34**, des Krümmers **40** oder eines der Katalysatoren **30**, **32** charakteristische Größe bevorzugt. Kombinationen von solcher Größen sind ebenfalls möglich. Im Schritt wird **76** der Parameter A mit einem Schwellenwert S_A als Abbruchkriterium verglichen. Bei Überschreitung von S_A wird im Schritt **78** der Homogen-Split-Betrieb beendet, das Sekundärluftventil **46** geschlossen und im Schritt **80** in einen Normalbetrieb des Verbrennungsmotors **10** verzweigt, in dem keine besonderen Maßnahmen zur Erhöhung der Abgasenthalpie aktiviert sind. Der Übergang kann auch schrittweise erfolgen, indem erst das Sekundärluftventil **46** geschlossen wird und dann der Homogen-Split-Betrieb beendet wird. Diese Reihenfolge kann auch umgekehrt sein.

[0031] Die Wirkung des erfindungsgemäßen Verfahren wird durch die in der **Fig.** 4 dargestellten zeitlichen Verläufe der Motordrehzahl n, des Ladedrucks p und eines Steuerbits SB veranschaulicht. Vor dem Zeitpunkt t = 0 steht der Verbrennungsmotor **10** still. Daher ist seine in Fig. 4a dargestellte Drehzahl n zunächst gleich Null und der in der Fig. 4b dargestellte Ladedruck p entspricht dem Umgebungsdruck von etwa 1000 mbar. Der in Fig. 4c dargestellte Wert des Steuerbits SB ist noch niedrig.

[0032] Zum Zeitpunkt t0 beschleunigt ein Starter den Verbrennungsmotor auf eine Starterdrehzahl von knapp über 200 min^{-1}. Mit einsetzenden Verbrennungen in den Brennräumen **12** steigt die Drehzahl n des Verbrennungsmotors **10** weiter an und überschreitet zum Zeitpunkt t1 einen Startende-Drehzahlschwellenwert von ca. 400 min^{-1}. Anschließend pendelt sie sich rasch auf eine erhöhte Leerlaufdrehzahl von ca. 1.200 min^{-1} ein. Durch das Ansaugen der ersten Brennraumfüllungen aus dem Ansaugsystem **22** bei noch nicht oder noch nicht schnell rotierender Turbine **36** sinkt der Ladedruck p vor den Einlassventilen **18** zunächst ab. Mit dem Überschreiten des Startende-Drehzahlschwellenwerts zum Zeitpunkt t1 beginnt die Nachstartphase. Das Steuerbit SB aus der Fig. 4c wird auf seinen hohen Pegel gesetzt. Bei hochgesetztem Pegel wird das erfindungsgemäße Verfahren oder eine seiner Ausgestaltungen durchgeführt.

[0033] Um in dieser Nachstartphase einen großen Enthalpiestrom im Abgas bereitzustellen, gibt das Steuergerät **48** über die Stellgröße S_Z suboptimale Zündwinkel aus, die über den damit verringerten Zündwinkelwirkungsgrad zu einer Drehmomenteinbuße führen, die durch eine vergrößerte Füllung der

Brennräume **12**, die durch Stellsignale S_L erzeugt wird, kompensiert wird. Durch den als Folge der weitgehend vollständigen Entdrosselung großen Enthalpiestrom im Abgas wird die Turbine **36** des Abgasturboladers **34** schnell beschleunigt, so dass der Ladedruck p schnell auf Werte von mehr als 1200 mbar ansteigt. Bei solchen Ladedrücken ist die Druckdifferenz zwischen dem Ladedruck auf der Frischluftseite der Sekundärluftleitung **44** und der Abgasseite der Sekundärluftleitung **44** groß genug, um bei geöffnetem Sekundärluftventil **46** Frischluft aus dem Ansaugsystem **22** in das Abgassystem **28** strömen zu lassen.

[0034] Das Steuergerät **48** öffnet daher das Sekundärluftventil **46** durch Ausgabe eines öffnenden Stellsignals S_SLE. Durch ergänzende Beeinflussung der Kraftstoff-Stellsignale S_K wird insgesamt eine Luftzahl Lambda im Abgas im überstöchiometrischen Bereich, beispielsweise eine Luftzahl Lambda = 1,1 eingestellt. Je nach Menge der in das Abgas eingeblasenen Frischluft wird die Luftzahl Lambda im Brennraum **12** auf entsprechend kleinere Werte eingestellt, die auch im unterstöchiometrischen (Lambda < 1, Kraftstoffüberschuss) liegen können. Dadurch ergibt sich eine gute Zündfähigkeit und stabile Verbrennung des in den Brennräumen eingeschlossenen Kraftstoff/Luft-Gemisches. Gleichzeitig ist die überstöchiometrische Luftzahl im Abgas besonders in der ersten Phase nach einem Startende wichtig, da der noch kalte Vorkatalysator **30** zunächst noch keine Kohlenwasserstoffe reduzieren kann. Daher besteht die einzige Möglichkeit zur Beschränkung der in die Umgebung gelangenden Kohlenwasserstoffemissionen zunächst darin, die Roh-Emissionen des Verbrennungsmotors **10** zu beschränken. Diese Beschränkung ergibt sich als erwünschte Folge des Betriebs mit einer Luftzahl Lambda im Abgas größer als eins.

[0035] Durch die vergrößerte Füllung wird eine hohe Abgasmenge erzeugt, die überdies wegen des suboptimalen Zündwinkelwirkungsgrades eine vergleichsweise hohe Temperatur besitzt und einen Sauerstoffüberschuss aufweist. Insgesamt wird damit ein großer Wärme- oder Enthalpiestrom erzeugt. Sobald ein Abbruchkriterium zum Zeitpunkt t2 erfüllt ist, wird die Steigerung der Abgasenthalpie beendet. Die Drehzahl n des Verbrennungsmotors **10** fällt dann auf ihren normalen Leerlaufdrehzahlwert zurück, der typischerweise zwischen 500 und 800 min^{-1} liegt. Die über das im Normalbetrieb erforderliche Maß hinausgehende Entdrosselung wird aufgehoben. Dadurch fällt der Druck p zwischen der dann wieder weniger weit geöffneten Drosselklappe **62** und den Einlassventilen **18** stark ab. In der Darstellung der **Fig.** 4 sinkt er bis auf etwa 400 mbar ab, wobei der tatsächliche Wert von Verbrennungsmotor zu Verbrennungsmotor und auch in Abhängigkeit von anderen Bedingungen variieren kann. Der niedrige Druck reicht dann nicht mehr für eine Sekundärlufteinblasung aus, so dass das Sekundärluftventil **46** rechtzeitig geschlossen wird.

[0036] Die Druckdifferenz dp gibt das Ausmaß der Druckänderung an, die zwischen den Zeitpunkten t1 und t2 durch die gesteigerte Abgasenthalpie erzeugt und die für eine Sekundärlufteinblasung genutzt wird. Ohne die Idee zur Nutzung der Druckänderung für eine Sekundärlufteinblasung würde man die gesteigerte Abgasenthalpie, die sich als Folge des Homogen-Split-Betriebs ergibt, eher durch Öffnen des Waste-Gate-Ventils **42** absteuern.

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

- DE 10062377 A1 **[0002, 0002, 0005, 0006]**

Patentansprüche

1. Verfahren zum Aufheizen eines Katalysators (**30**, **32**) im Abgassystem (**28**) eines aufgeladenen Verbrennungsmotors (**10**) mit Hilfe einer Zufuhr von Luft in das Abgassystem (**28**), wobei die zugeführte Luft aus einem Ansaugsystem (**22**) des Verbrennungsmotors (**10**) in Strömungsrichtung der Luft hinter einem in dem Ansaugsystem (**22**) angeordneten Verdichter (**38**) eines Abgasturboladers (**34**) entnommen wird, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Verbrennungsmotor (**10**) mit direkter Einspritzung von Kraftstoff in seine Brennräume (**12**) betrieben wird, wobei er nach einem Start mit einer Aufteilung einer vor einem Beginn einer Verbrennung einzuspritzenden Kraftstoffmenge auf wenigstens zwei Teileinspritzungen (ti_1, ti_2) pro Zündung und Brennraum und mit suboptimalem Zündwinkelwirkungsgrad betrieben wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Einspritzung von Kraftstoff in die Brennräume (**12**) des Verbrennungsmotors (**10**) so erfolgt, dass sich ein fettes Kraftstoff/Luft-Gemisch in den Brennräumen (**12**) einstellt.

3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Einspritzung von Kraftstoff in die Brennräume (**12**) des Verbrennungsmotors (**10**) so erfolgt, dass die Luftzahl Lambda im Abgas nach der Zufuhr der Luft größer als 1 oder gleich 1 ist.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Verbrennungsmotor (**10**) weitgehend vollständig entdrosselt betrieben wird.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Verbrennungsmotor (**10**) nach einem Start mit erhöhter Leerlaufdrehzahl betrieben wird.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Drehzahl des Verbrennungsmotors (**10**) beim Start erfasst wird und dass das Aufheizen des Katalysators (**30**, **32**) dann ausgelöst wird, wenn die Drehzahl des Verbrennungsmotors (**10**) einen Startende-Drehzahlschwellenwert überschreitet.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Verbrennungsmotor mit einer strahlgeführten Benzindirekteinspritzung arbeitet.

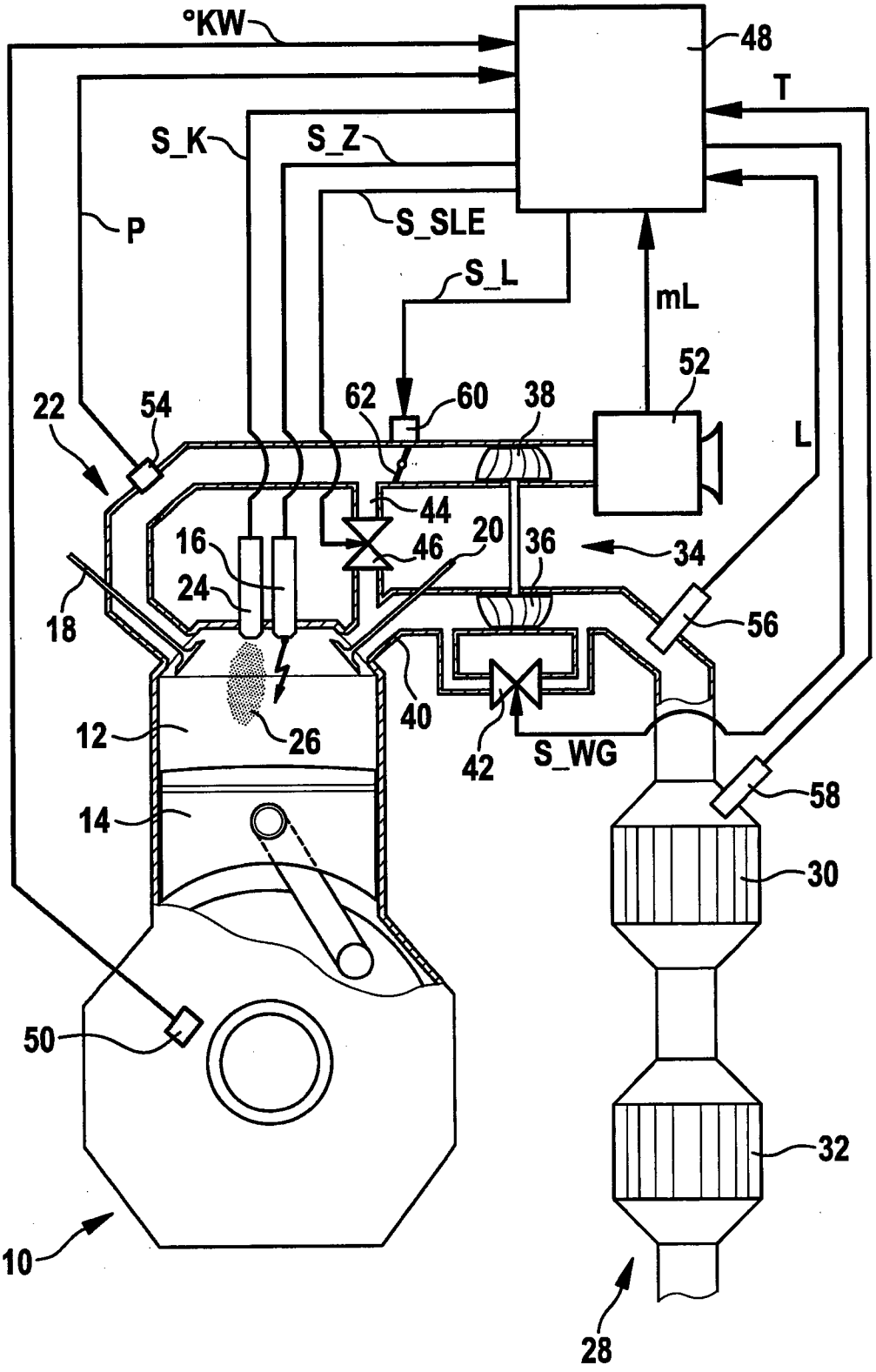
8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass der Verbrennungsmotor im Leerlauf mit einem Zündwinkel zwischen 25°KW und 40°KW nach OT betrieben wird.

9. Steuergerät (**48**) eines aufgeladenen Verbrennungsmotors (**10**), das dazu eingerichtet ist, ein Verfahren zum Aufheizen eines Katalysators (**30**, **32**) im Abgassystem (**28**) des aufgeladenen Verbrennungsmotors (**10**) mit Hilfe einer Zufuhr von Luft in das Abgassystem (**28**) zu steuern, wobei die zugeführte Luft aus einem Ansaugsystem (**22**) des Verbrennungsmotors (**10**) in Strömungsrichtung der Luft hinter einem in dem Ansaugsystem (**22**) angeordneten Verdichter (**38**) eines Abgasturboladers (**34**) entnommen wird, dadurch gekennzeichnet, dass das Steuergerät (**48**) dazu eingerichtet ist, einen mit direkter Einspritzung von Kraftstoff in seine Brennräume (**12**) arbeitenden Verbrennungsmotor (**10**) nach einem Start des Verbrennungsmotors (**10**) mit einer Aufteilung einer vor einem Beginn einer Verbrennung einzuspritzenden Kraftstoffmenge auf wenigstens zwei Teileinspritzungen (ti_1, ti_2) pro Zündung und mit suboptimalem Zündwinkelwirkungsgrad zu betreiben.

10. Steuergerät (**48**) nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass es dazu eingerichtet ist, einen Ablauf eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 2 bis 8 zu steuern.

Es folgen 4 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen



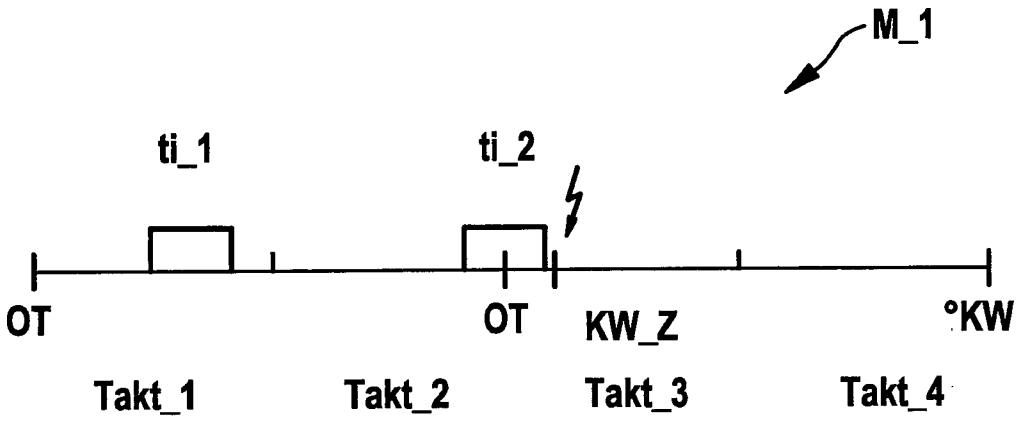


Fig. 2

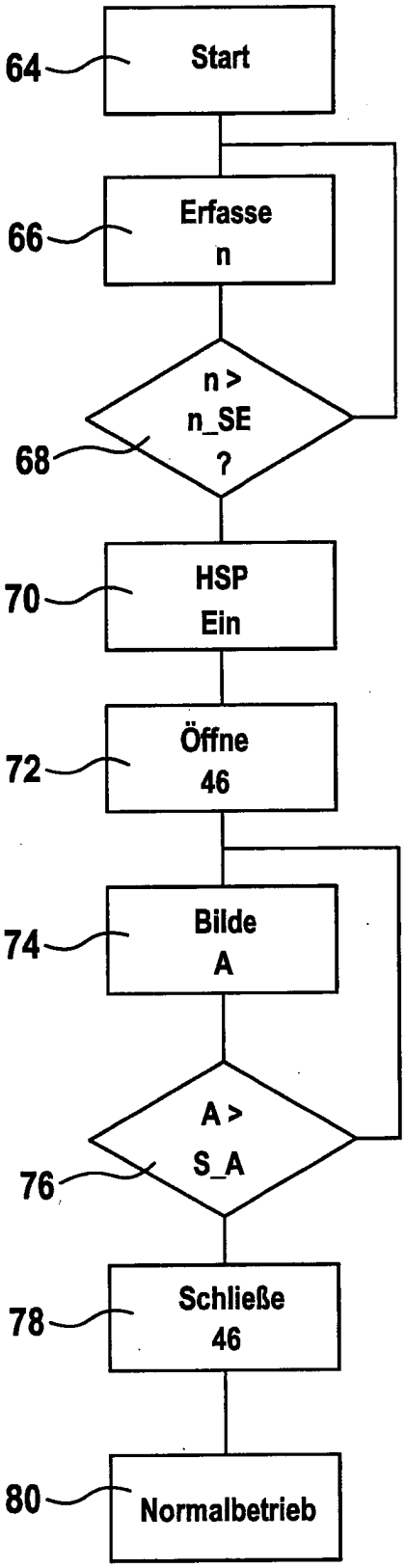

64
Start
66
Erfasse
n
n >
n_SE
?
68
70
HSP
Ein
72
Öffne
46
74
Bilde
A
A >
S_A
76
78
Schließe
46
80
Normalbetrieb

Fig. 3

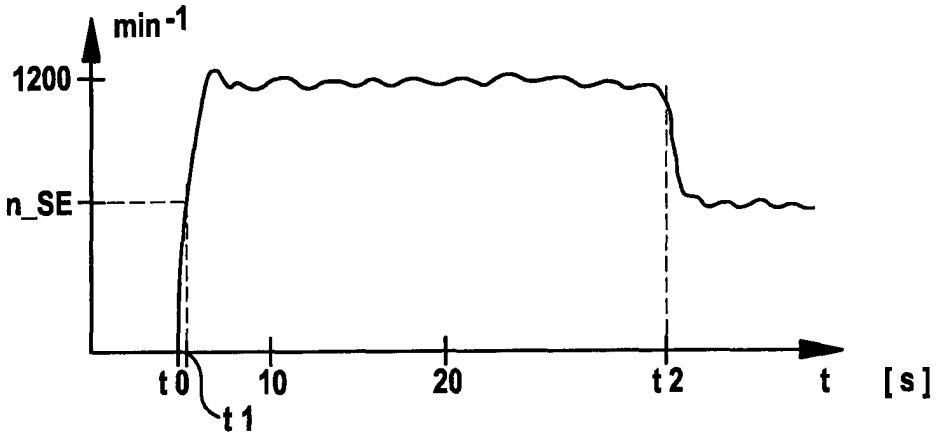


Fig. 4a

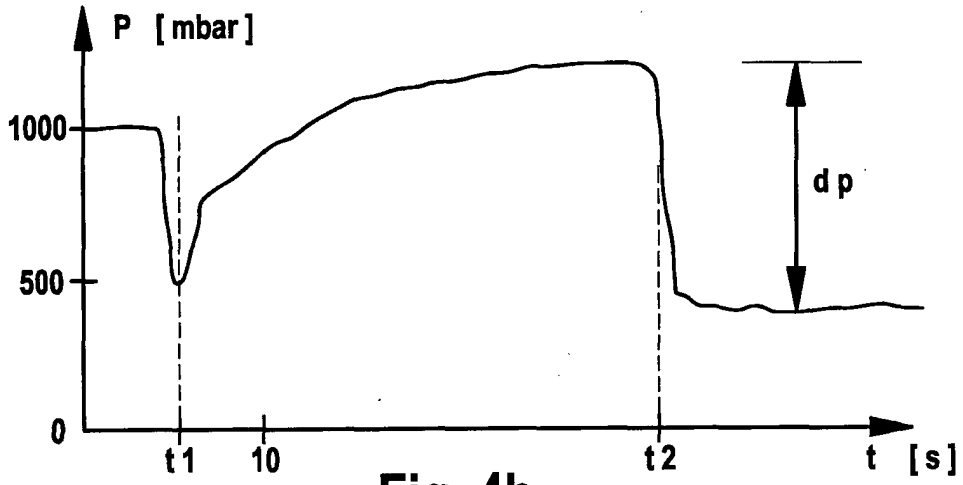


Fig. 4b

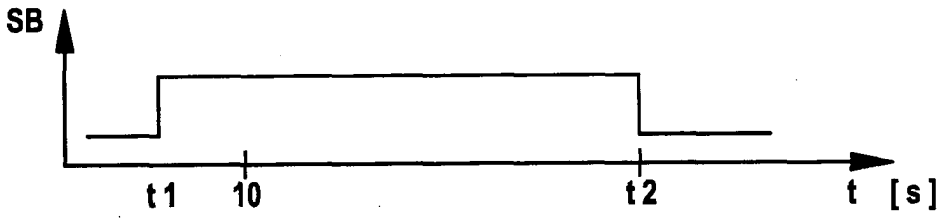


Fig. 4c