



(10) **DE 10 2018 106 386 A1** 2018.09.27

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2018 106 386.5**
 (22) Anmeldetag: **19.03.2018**
 (43) Offenlegungstag: **27.09.2018**

(51) Int Cl.: **F02D 41/40 (2006.01)**
F02D 41/10 (2006.01)

(30) Unionspriorität:
15/466,745 **22.03.2017** **US**

(71) Anmelder:
Ford Global Technologies, LLC, Dearborn, Mich., US

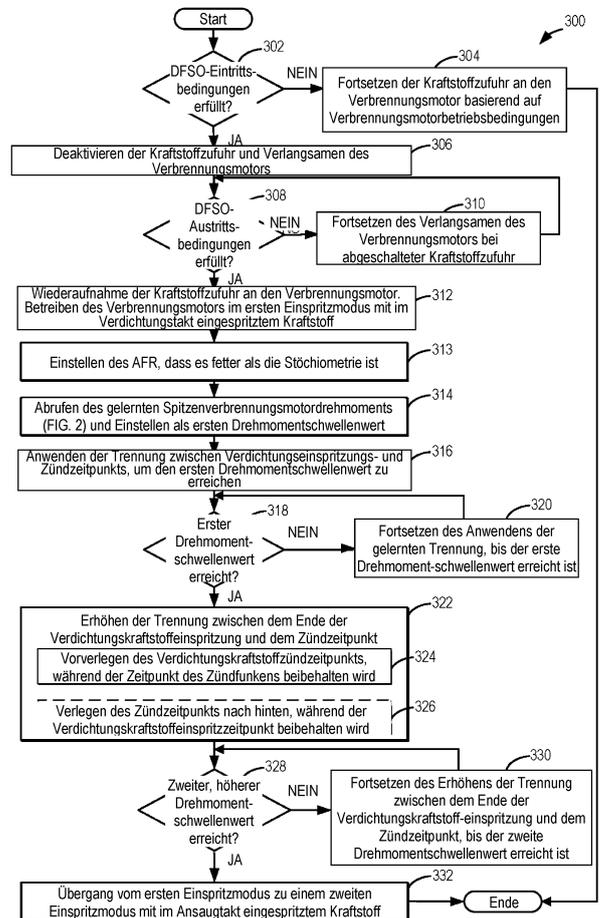
(74) Vertreter:
**Lorenz Seidler Gossel Rechtsanwälte
 Patentanwälte Partnerschaft mbB, 80538
 München, DE**

(72) Erfinder:
Uphues, Marc G., Ann Arbor, Mich., US

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **VERFAHREN UND SYSTEM FÜR EINEN VERBRENNUNGSMOTOR**

(57) Zusammenfassung: Es werden Verfahren und Systeme zum Zuführen von Kraftstoff an einen Verbrennungsmotor eines Fahrzeugs während eines Austritts aus einem Schubabschaltungs(DFSO)-Zustand bereitgestellt. In einem Beispiel kann ein Verfahren eine Kraftstoffzufuhr an den Verbrennungsmotor unter Verwendung einer Verdichtungstakt-Direkteinspritzung während des Austritts aus dem DFSO-Zustand beinhalten, um einen ersten Verbrennungsmotordrehmomentschwellenwert zu erreichen, und kann ferner Erhöhen einer Trennung zwischen der Verdichtungstakt-Direkteinspritzung und einem Zündfunken, um das Verbrennungsmotordrehmoment auf einen zweiten, höheren Verbrennungsmotordrehmomentschwellenwert schrittweise zu erhöhen, und danach Übergehen bei der Kraftstoffzufuhr an den Verbrennungsmotor von der Verdichtungstakt-Direkteinspritzung zu einer Ansaugtakt-Direkteinspritzung beinhalten. Auf diese Weise können Drehmomenterhebungen während des DFSO-Austritts verringert werden.



Beschreibung

GEBIET

[0001] Die vorliegende Beschreibung betrifft im Allgemeinen Verfahren und Systeme zum Zuführen von Kraftstoff an einen Verbrennungsmotor eines Fahrzeugs während eines Austritts aus einem Schubabschaltungs(deceleration fuel shut-off- DFSO)-Zustand.

ALLGEMEINER STAND DER
TECHNIK/KURZDARSTELLUNG

[0002] Verbrennungsmotoren können in einem Schubabschaltungs(DFSO)-Zustand betrieben werden, um Kraftstoff zu sparen. Dabei werden Kraftstoffeinspritzvorrichtungen ausgeschaltet, während Luft weiterhin durch die Zylinder strömt, und der Verbrennungsmotor fährt bei deaktivierter Kraftstoffzufuhr herunter. Sobald die Verbrennungsmotordrehzahl ausreichend gesunken ist, oder als Reaktion auf eine Erhöhung des Drehmomentbedarfs, kann aus dem DFSO-Zustand ausgetreten werden, wobei die Kraftstoffabgabe wieder aufgenommen wird. Während des DFSO-Austritts kann eine Drehmomenterhebung auftreten, wenn das Verbrennungsmotordrehmoment von negativ (Kraftstoffzufuhr abgeschaltet) zu positiv (Kraftstoffzufuhr angeschaltet) wechselt. Ferner kann der Verbrennungsmotor beim Austritt aus dem DFSO-Zustand mit einem fetten Luft-Kraftstoff-Verhältnis (air fuel ratio - AFR) betrieben werden, um die Effizienz von Abgaskatalysatoren, die mit Sauerstoff gesättigt wurden, als die Kraftstoffzufuhr deaktiviert war. Aufgrund des fetten AFR kann sich das Verbrennungsmotordrehmoment erhöhen, wobei die Drehmomenterhebung noch weiter verstärkt wird. Dies kann eine unerwünschte und spürbare Drehmomenterhebung verursachen, die durch die Kraftübertragung geleitet und durch den Fahrer wahrgenommen werden kann.

[0003] Beispielhafte Ansätze zur Verringerung von Drehmomenterhebungen beinhalten Ändern eines Kraftstoffeinspritzmodus. In Verbrennungsmotoren mit direkter Kraftstoffeinspritzung kann Kraftstoff zum Beispiel über einen Ansaugtakt-Direkteinspritzmodus (auch als Homogenmodus bezeichnet) und/oder einen Verdichtungstakt-Direkteinspritzmodus (auch als Schichtmodus bekannt) abgegeben wird. In dem Ansaugtakt-Direkteinspritz(direct injection - DI)-Modus enthalten die Brennkammern ein im Wesentlichen homogenes Gemisch aus Luft und Kraftstoff. In dem Verdichtungstakt-DI-Modus enthalten die Brennkammern geschichtete Schichten aus unterschiedlichen Luft/Kraftstoff-Gemischen, einschließlich eines stöchiometrischen Luft/Kraftstoff-Gemischs, das sich näher an der Zündkerze befindet, und einer unteren Schicht, die zunehmend magerere Luft/Kraftstoff-Gemische enthält. Der Verbrennungsmotorbetrieb kann

gesteuert werden, wenn zwischen dem Schicht- und dem Homogenmodus gewechselt wird, um das angeforderte Drehmoment abzugeben, ohne dabei die Fahrbarkeit negativ zu beeinflussen.

[0004] Ein beispielhafter Ansatz ist durch Yamada et al. in der US-Patentschrift 6.240.354 gezeigt. Dort wird zur Erhöhung der Homogenladung und Drehmomentausgabe Kraftstoff zweimal eingespritzt: einmal während des Ansaugtacts und dann wieder während des Verdichtungstacts, um Drehmomentschwankungen zu verringern.

[0005] Die Erfinder der vorliegenden Erfindung haben jedoch mögliche Probleme bei einem solchen Ansatz erkannt. Als ein Beispiel führt die Verwendung von zwei Einspritzungen, eine während des Ansaugtacts und die andere während des Verdichtungstacts, zu einer brennbaren Gemischschicht benachbart zu einer Zündkerze, während der Rest der Brennkammer ein mageres Gemisch enthält. Dies erzeugt eine schwache geschichtete Ladungsverbrennung und ist möglicherweise nicht in der Lage, genug Anfangsdrehmoment während DFSO-Zustandsaustritten bereitzustellen. Folglich wird der Verbrennungsmotor während des DFSO-Austritts abgewürgt. Zusätzlich dazu kann die Verwendung von zwei Einspritzungen während eines DFSO-Austritts zusätzliche Steuerung und Komplexität erfordern, um eine genaue zeitliche Steuerung zwischen den Einspritzungen zu gewährleisten.

[0006] In einem Beispiel können die vorstehend beschriebenen Probleme durch ein Verfahren zur Steuerung von Verbrennungsmotordrehmoment angegangen werden, wobei das Verfahren Folgendes umfasst: Zuführen von Kraftstoff an einen Verbrennungsmotor während des Austritts aus einem Schubabschaltungs(DFSO)-Zustands über eine Verdichtungstakt-Direkteinspritzung (DI) an einer ersten Trennung von einem Zündfunkenereignis, bis ein Verbrennungsmotordrehmoment einen ersten Schwellenwert erreicht, anschließend Erhöhen einer Trennung zwischen der Verdichtungstakt-DI und dem Zündfunkenereignis, bis das Verbrennungsmotordrehmoment einen zweiten, höheren Schwellenwert erreicht und danach Übergehen zur Kraftstoffzufuhr an den Verbrennungsmotor über eine Ansaugtakt-DI. Dabei kann der ersten Schwellenwert ein Spitzenverbrennungsmotorausgangsdrehmoment sein, das vor dem DFSO-Austritt bestimmt wird, und kann ausreichen, um die Anfangserhöhung des Drehmoments zu liefern, die benötigt wird, wenn der Motor aus einem DFSO-Zustand austritt. Auf diese Weise kann ein Abwürgen des Verbrennungsmotors vermieden werden.

[0007] Als ein Beispiel kann einem Verbrennungsmotor unter ausgewählten Motorbetriebsbedingungen (z. B. leichten Verbrennungsmotorlastbedingungen) Kraftstoff unter Verwendung von Verdich-

tungstakt-Direkteinspritzung zugeführt werden, um eine Schichtladungsverteilung innerhalb eines Zylinders zu erreichen. Wenn Kraftstoff unter Verwendung der Verdichtungstakt-Direkteinspritzung zugeführt wird, kann eine Steuerung eine Trennung zwischen einem Zeitpunkt der Verdichtungstakt-Direkteinspritzung und einem Zündfunkenereignis lernen, die ein Spitzenverbrennungsmotorausgangsdrehmoment (für die vorgegebenen Bedingungen) erzeugt, anschließend wird das Spitzenverbrennungsmotordrehmoment im Speicher der Steuerung als ein erster Drehmomentschwellenwert gespeichert. Während eines folgenden Austritts aus einem DFSO-Zustand kann die Steuerung dem Verbrennungsmotor Kraftstoff unter Verwendung von Verdichtungstakt-Direkteinspritzung zuführen, während die gelernte Trennung zwischen dem Verdichtungstakt-Direkteinspritzzeitpunkt und der Zündzeitpunkt angewendet wird. Sobald der Verbrennungsmotor das Spitzenverbrennungsmotordrehmoment erreicht hat, kann die Trennung zwischen dem Verdichtungstakt-Direkteinspritzzeitpunkt und dem Zündzeitpunkt erhöht werden, bis ein zweiter Drehmomentschwellenwert erreicht wird, der höher als der erste Drehmomentschwellenwert ist. Danach kann bei dem Verbrennungsmotor zur Kraftstoffzufuhr über Ansaugtakt-Direkteinspritzung übergegangen werden.

[0008] Auf diese Weise kann ein Verbrennungsmotor in der Lage sein, ein zuvor gelerntes Spitzenverbrennungsmotorausgangsdrehmoment während eines Austritts aus DFSO-Zuständen bei einer verringerten Wahrscheinlichkeit von Abwürgen zu erzeugen. Die technische Wirkung der Erhöhung der Trennung zwischen dem Zeitpunkt der Verdichtungstakt-Direkteinspritzung und dem Zündzeitpunkt nachdem das Spitzenverbrennungsmotorausgangsdrehmoment erreicht wurde, besteht darin, dass der resultierende Abfall des Verbrennungsmotordrehmoments verwendet werden kann, um die Erhöhung des Verbrennungsmotordrehmoments zu kompensieren, die als Folge des Betriebes des Verbrennungsmotors mit einem fetten Luft-Kraftstoff-Verhältnis (AFR) während eines DFSO-Austritts zu kompensieren. Anstelle dessen, dass eine spürbare Drehmomenterhebung auftritt, wird demzufolge eine schrittweise Erhöhung des Drehmoments durch die Kraftübertragung bereitgestellt, die den Fahrer möglicherweise nicht stört. Indem bei dem Verbrennungsmotor von der Kraftstoffzufuhr über Verdichtungstakt-Direkteinspritzung zu Ansaugtakt-Direkteinspritzung übergegangen wird, nachdem das Verbrennungsmotordrehmoment einen Schwellenwert überschritten hat, kann der Verbrennungsmotor mit einem eher homogenen Luft/Kraftstoff-Gemisch betrieben werden, das bei oder nahe einer Stöchiometrie gehalten wird, wodurch eine sauberere Verbrennung ermöglicht wird und geringere Emissionen erzeugt werden. Auf diese Weise kann bei dem Verbrennungsmotor von einer DSFO

mit einem glatteren Drehmomentprofil übergegangen werden, wodurch die Fahrbarkeit verbessert wird.

[0009] Es versteht sich, dass die vorstehende Kurzdarstellung bereitgestellt ist, um in vereinfachter Form eine Auswahl von Konzepten vorzustellen, die in der detaillierten Beschreibung ausführlicher beschrieben werden. Es ist nicht beabsichtigt, wichtige oder wesentliche Merkmale des beanspruchten Gegenstands nennen, dessen Umfang einzig in den Patentansprüchen im Anschluss an die detaillierte Beschreibung definiert ist. Des Weiteren ist der beanspruchte Gegenstand nicht auf Umsetzungen beschränkt, die vorstehend oder in einem beliebigen Teil der vorliegenden Offenbarung angeführte Nachteile beheben.

Figurenliste

Fig. 1 stellt schematisch eine beispielhafte Ausführungsform eines Zylinders eines Verbrennungsmotors dar.

Fig. 2 stellt ein Ablaufdiagramm auf hoher Ebene eines beispielhaften Verfahrens zum Lernen einer Zieltrennung zwischen einem Zeitpunkt einer Verdichtungstakt-Direkteinspritzung und dem Zeitpunkt eines Zündfunkenereignisses gemäß der vorliegenden Offenbarung dar.

Fig. 3 stellt ein Ablaufdiagramm auf hoher Ebene eines beispielhaften Verfahrens zum Anwenden und Aktualisieren der gelernten Zieltrennung während eines Austritts aus DFSO-Zuständen und zum Wechseln von Kraftstoffeinspritzmodi als Reaktion auf eine Verbrennungsmotordrehmomentausgabe nach dem DFSO-Austritt gemäß der vorliegenden Offenbarung dar.

Fig. 4 stellt ein prognostisches Beispiel für Verbrennungsmotoreinstellungen, die während eines DFSO-Austritts zur Verringerung von Drehmomenterhebungen vorgenommen werden, gemäß der vorliegenden Offenbarung dar.

Fig. 5 zeigt beispielhafte Kraftstoffeinspritzprofile, einschließlich beispielhafter Trennungen zwischen Kraftstoffeinspritzzeitpunkt und Zündzeitpunkt, die während eines DFSO-Austritts angewendet werden können, gemäß der vorliegenden Offenbarung.

DETAILLIERTE BESCHREIBUNG

[0010] Die folgende Beschreibung betrifft Systeme und Verfahren zum Einstellen eines Kraftstoffeinspritzmodus zum Verringern von Drehmomenterhebungen in einem Verbrennungsmotor, wie zum Beispiel in dem Verbrennungsmotorsystem aus **Fig. 1**. Dem Verbrennungsmotor kann Kraftstoff in einem ersten Einspritzmodus über eine Verdichtungstakt-Direkteinspritzung (DI) vor einem Schubabschal-

tungs(DFSO)-Ereignis zugeführt werden. Eine Verbrennungsmotorsteuerung kann dazu konfiguriert sein, eine Steuerroutine, wie etwa die beispielhafte Routine aus **Fig. 2**, durchzuführen, um eine Trennung zwischen einem Zeitpunkt der Verdichtungs-takt-DI und einem Zeitpunkt des Zündfunkenereignisses zu lernen, die zu einem Spitzenverbrennungsmotorausgangsdrehmoment, im Folgenden als ein erster Drehmomentschwellenwert bezeichnet, führt. Während eines folgenden Austritts aus DFSO-Zuständen, kann die Verbrennungsmotorsteuerung dazu konfiguriert sein, eine Steuerroutine, wie etwa die beispielhafte Routine aus **Fig. 3**, durchzuführen, um die Kraftstoffzufuhr an den Verbrennungsmotor in dem ersten Einspritzmodus über die Verdichtungstakt-DI wieder aufzunehmen, während die gelernte Trennung angewendet wird, bis das Verbrennungsmotordrehmoment den ersten Schwellenwert erreicht. Danach kann die Verbrennungsmotorsteuerung die Trennung schrittweise erhöhen, wie bei **Fig. 5** gezeigt, um die Verbrennungsmotordrehmomentausgabe schrittweise zu senken. Beispielhafte Kraftstoffzufuhr- und Zündzeitpunkteinstellungen, die während eines DFSO-Austritts vorgenommen werden können, sind bei **Fig. 4** gezeigt. Auf diese Weise kann ein Verbrennungsmotordrehmoment während eines Austritts aus DFSO-Zuständen schrittweise erhöht werden, wobei Drehmomenterhebungen verringert werden.

[0011] **Fig. 1** stellt ein Beispiel für einen Zylinder eines Verbrennungsmotors **10** dar. Der Verbrennungsmotor **10** kann mindestens teilweise durch ein Steuersystem, das die Steuerung **12** beinhaltet, und durch eine Eingabe von einem Fahrzeugführer **130** über eine Eingabevorrichtung **132** gesteuert werden. In diesem Beispiel beinhaltet die Eingabevorrichtung **132** ein Gaspedal und einen Pedalpositionssensor **134** zum Erzeugen eines proportionalen Pedalpositionssignals PP. Der Zylinder (hier auch als „Brennkammer bezeichnet“) **14** des Verbrennungsmotors **10** kann Brennkammerwände **136** beinhalten, in denen ein Kolben **138** positioniert ist. Der Kolben **138** kann an eine Kurbelwelle **140** gekoppelt sein, sodass eine Wechselbewegung des Kolbens in eine Rotationsbewegung der Kurbelwelle übersetzt wird. Die Kurbelwelle **140** kann über ein Getriebesystem an mindestens ein Antriebsrad des Personenkraftwagens gekoppelt sein. Ferner kann ein Anlasser (nicht dargestellt) über ein Schwungrad mit der Kurbelwelle **140** gekoppelt sein, um einen Anlassvorgang des Verbrennungsmotors **10** zu ermöglichen. Ein Zylinderinnendrucksensor **125** kann innerhalb des Zylinders **14** des Verbrennungsmotors **10** eingebaut sein, um einen Verbrennungsdruck in dem Zylinder stellvertretend als einen indizierten effektiven Mitteldruck (indicated mean effective pressure - IMEP) zu erkennen.

[0012] Der Zylinder **14** kann über eine Reihe von Ansaugluftkanälen **142**, **144** und **146** Ansaugluft auf-

nehmen. Der Ansaugluftkanal **146** kann zusätzlich zu dem Zylinder **14** mit anderen Zylindern des Verbrennungsmotors **10** kommunizieren. In einigen Beispielen können einer oder mehrere der Ansaugkanäle eine Aufladevorrichtung, wie etwa einen Turbolader oder einen Kompressor, beinhalten. Zum Beispiel zeigt **Fig. 1** den Verbrennungsmotor **10**, der mit einem Turbolader konfiguriert ist, der einen zwischen den Ansaugkanälen **142** und **144** angeordneten Verdichter **174** und eine entlang eines Abgaskanals **148** angeordnete Abgasturbine **176** beinhaltet. Der Verdichter **174** kann mindestens teilweise über eine Welle **180** durch die Abgasturbine **176** angetrieben werden, wenn die Aufladevorrichtung als Turbolader konfiguriert ist. In anderen Beispielen, wie etwa wenn der Verbrennungsmotor **10** mit einem Kompressor versehen ist, kann die Abgasturbine **176** jedoch optional weggelassen werden, wobei der Verdichter **174** durch mechanische Eingaben von einem Elektromotor oder dem Verbrennungsmotor angetrieben werden kann. Eine Drossel **162**, die eine Drosselklappe **164** beinhaltet, kann entlang eines Ansaugkanals des Motors bereitgestellt sein, um die Durchflussgeschwindigkeit und/oder den Druck der Ansaugluft zu variieren, die den Motorzylindern bereitgestellt wird. Zum Beispiel kann die Drossel **162** stromabwärts von dem Verdichter **174** positioniert sein, wie in **Fig. 1** gezeigt, oder sie kann alternativ stromaufwärts von dem Verdichter **174** bereitgestellt sein.

[0013] Der Abgaskanal **148** kann zusätzlich zu dem Zylinder **14** Abgase von anderen Zylindern des Motors **10** aufnehmen. Es ist gezeigt, dass der Abgasensor **128** stromaufwärts von der Emissionssteuervorrichtung **178** an den Abgaskanal **148** gekoppelt ist. Der Sensor **128** kann aus verschiedenen geeigneten Sensoren zum Bereitstellen einer Angabe eines Luft/Kraftstoff-Verhältnisses des Abgases ausgewählt sein, wie zum Beispiel einer linearen Lambdasonde oder UEGO-Sonde (universal exhaust gas oxygen sensor; Breitband- oder Weitbereichlambdasonde), einer binären Lambdasonde oder EGO-Sonde (wie dargestellt), einer HEGO-Sonde (beheizten EGO-Sonde), einem NOx-, HC- oder CO-Sensor. Bei der Emissionssteuervorrichtung **178** kann es sich um einen Dreiwegekatalysator (three-way catalyst - TWC), eine NOx-Falle, verschiedene andere Emissionssteuervorrichtungen oder Kombinationen davon handeln.

[0014] Jeder Zylinder des Verbrennungsmotors **10** kann ein oder mehrere Einlassventile und ein oder mehrere Auslassventile beinhalten. Zum Beispiel weist der Zylinder **14** der Darstellung nach mindestens ein Einlasstellerventil **150** und mindestens ein Auslasstellerventil **156** auf, die in einem oberen Bereich des Zylinders **14** angeordnet sind. In einigen Beispielen kann jeder Zylinder des Verbrennungsmotors **10**, einschließlich des Zylinders **14**, mindestens zwei Einlasstellerventile und mindestens zwei Aus-

lasstellerventile beinhalten, die in einem oberen Bereich des Zylinders angeordnet sind.

[0015] Das Einlassventil **150** kann über einen Aktor **152** durch die Steuerung **12** gesteuert werden. Auf ähnliche Weise kann das Auslassventil **156** über den Aktor **154** durch die Steuerung **12** gesteuert werden. Unter einigen Bedingungen kann die Steuerung **12** die den Aktoren **152** und **154** bereitgestellten Signale variieren, um das Öffnen und Schließen der jeweiligen Einlass- und Auslassventile zu steuern. Die Position des Einlassventils **150** und Auslassventils **156** kann durch entsprechende Ventilpositionssensoren (nicht gezeigt) bestimmt werden. Die Ventilaktoren können der Art mit elektrischer Ventilbetätigung oder der Art mit Nockenbetätigung oder einer Kombination daraus angehören. Die Einlass- und Auslassventilansteuerung können gleichzeitig gesteuert werden oder es kann eine beliebige von einer Möglichkeit zur variablen Einlassnockenansteuerung, zur variablen Auslassnockenansteuerung, zur dualen unabhängigen variablen Nockensteuerung oder zur festgelegten Nockensteuerung verwendet werden. Jedes Nockenbetätigungssystem kann einen oder mehrere Nocken beinhalten und eines oder mehrere aus Systemen zur Nockenprofilverstellung (cam profile switching - CPS), variablen Nockensteuerung (variable cam timing - VCT), variablen Ventilansteuerung (variable valve timing - VVT) und/oder zum variablen Ventilhub (variable valve lift - VVL), die durch die Steuerung **12** betrieben werden können, zum Variieren des Ventilbetriebs verwenden. Zum Beispiel kann der Zylinder **14** alternativ ein über eine elektronische Ventilbetätigung gesteuertes Einlassventil und ein über eine Nockenbetätigung, einschließlich CPS und/oder VCT, gesteuertes Auslassventil beinhalten. In anderen Beispielen können die Einlass- und Auslassventile durch einen gemeinsamen Ventilaktor oder ein gemeinsames Betätigungssystem oder einen Aktor oder ein Betätigungssystem zur variablen Ventilansteuerung gesteuert werden.

[0016] Der Zylinder **14** kann ein Verdichtungsverhältnis aufweisen, bei dem es sich um das Volumenverhältnis zwischen dem Kolben **138** am unteren Totpunkt und am oberen Totpunkt handelt. In einem Beispiel liegt das Verdichtungsverhältnis im Bereich von 9:1 bis 10:1. In einigen Beispielen, in denen andere Kraftstoffe verwendet werden, kann das Verdichtungsverhältnis jedoch erhöht sein. Hierzu kann es beispielsweise kommen, wenn Kraftstoffe mit einer höheren Oktanzahl oder Kraftstoffe mit einer höheren latenten Verdampfungsenthalpie verwendet werden. Das Verdichtungsverhältnis kann bei der Verwendung einer Direkteinspritzung aufgrund ihrer Auswirkung auf das Verbrennungsmotorklopfen ebenfalls erhöht sein.

[0017] In einigen Beispielen kann jeder Zylinder des Verbrennungsmotors **10** eine Zündkerze **192** zum In-

itieren der Verbrennung beinhalten. Das Zündsystem **190** kann der Brennkammer **14** über die Zündkerze **192** einen Zündfunken als Reaktion auf ein Vorzündungssignal SA (spark advance) von der Steuerung **12** unter ausgewählten Betriebsmodi bereitstellen.

[0018] Im Allgemeinen kann die Zündkerze einen elektrischen Strom an den Brennraum eines fremdgezündeten Verbrennungsmotors abgeben, um ein Luft-Kraftstoff-Gemisch zu zünden und die Verbrennung einzuleiten. In einigen Beispielen kann jeder Zylinder des Verbrennungsmotors **10** mit einer oder mehreren Kraftstoffeinspritzvorrichtungen konfiguriert sein, um diesem Kraftstoff bereitzustellen. Als ein nicht einschränkendes Beispiel beinhaltet der Zylinder **14** der Darstellung nach eine Kraftstoffeinspritzvorrichtung **166**. Die Kraftstoffeinspritzvorrichtung **166** kann dazu konfiguriert sein, Kraftstoff, der von einem Kraftstoffsystem **8** aufgenommen wird, abzugeben. Das Kraftstoffsystem **8** kann eine/n oder mehrere Kraftstofftanks, Kraftstoffpumpen und Kraftstoffverteiler beinhalten. Der Darstellung nach ist die Kraftstoffeinspritzvorrichtung **166** direkt an den Zylinder **14** gekoppelt, um Kraftstoff proportional zur Impulsbreite des Signals FPW-1, das von der Steuerung **12** über einen elektronischen Treiber **168** empfangen wird, direkt in diesen einzuspritzen. So stellt die Kraftstoffeinspritzvorrichtung **166** sogenannte Direkteinspritzung (nachfolgend als „DI“ bezeichnet) von Kraftstoff in den Verbrennungszylinder **14** bereit. Während die Einspritzvorrichtung **166** in **Fig. 1** auf einer Seite des Zylinders **14** positioniert gezeigt ist, kann sie alternativ dazu oberhalb des Kolbens angeordnet sein, wie etwa in der Nähe der Position der Zündkerze **192**. Eine solche Position kann das Mischen und Verbrennen verbessern, wenn der Verbrennungsmotor mit einem alkoholhaltigen Kraftstoff betrieben wird, da einige alkoholhaltige Kraftstoffe eine geringere Flüchtigkeit aufweisen. Alternativ dazu kann die Einspritzvorrichtung oberhalb und in der Nähe des Einlassventils angeordnet sein, um das Mischen zu verbessern. Kraftstoff kann der Kraftstoffeinspritzvorrichtung **166** von einem Kraftstofftank des Kraftstoffsystems **8** über eine Hochdruckkraftstoffpumpe und einen Kraftstoffverteiler zugeführt werden. Ferner kann der Kraftstofftank einen Druckwandler aufweisen, welcher der Steuerung **12** ein Signal bereitstellt.

[0019] In einigen Beispielen können zusätzliche Kraftstoffeinspritzvorrichtungen in dem Ansaugkanal **146** statt in dem Zylinder **14** in einer Konfiguration angeordnet sein, welche die sogenannte Saugrohereinspritzung von Kraftstoff in den Einlasskanal bereitstellt, der dem Zylinder **14** vorgelagert ist. In noch anderen Beispielen kann der Zylinder **14** nur eine einzelne Kraftstoffeinspritzvorrichtung beinhalten, die dazu konfiguriert ist, unterschiedliche Kraftstoffe in variierenden relativen Mengen als Kraftstoffgemisch aus den Kraftstoffsystemen aufzunehmen, und die

ferner dazu ausgelegt ist, dieses Kraftstoffgemisch entweder als Direktkraftstoffeinspritzvorrichtung direkt in den Zylinder oder als Saugrohrkraftstoffeinspritzvorrichtung den Einlassventilen vorgelagert einzuspritzen. So versteht sich, dass die hier beschriebenen Kraftstoffsysteme nicht durch die hier beispielhaft beschriebenen konkreten Kraftstoffeinspritzvorrichtungsauslegungen beschränkt sein können.

[0020] Kraftstoff kann an den Zylinder während eines einzelnen Zyklus des Zylinders durch die Einspritzvorrichtung **166** abgegeben werden. Ferner können die Verteilung und/oder die relative Menge des abgegebenen Kraftstoffs und der Einspritzzeitpunkt mit den Betriebsbedingungen, wie etwa Schubabschaltungs(DFSO)-Austrittszustand, Verbrennungsmotorlast, Klopfen und Abgastemperatur, wie hier nachstehend beschrieben, variieren. Der direkt eingespritzte Kraftstoff kann zum Beispiel während eines Ansaugtakts sowie teilweise während eines vorhergehenden Ausstoßtakts, während des Ansaugtakts und teilweise während des Verdichtungtakts abgegeben werden. Demnach kann selbst bei einem einzelnen Verbrennungsereignis eingespritzter Kraftstoff zu unterschiedlichen Zeitpunkten aus der Direkteinspritzvorrichtung eingespritzt werden. Außerdem können bei einem einzelnen Verbrennungsereignis mehrere Einspritzungen des abgegebenen Kraftstoffs pro Zyklus durchgeführt werden. Die mehreren Einspritzungen können während des Verdichtungtakts, Ansaugtakts oder einer beliebigen geeigneten Kombination daraus durchgeführt werden.

[0021] Eine Verbrennungsmotorsteuerung, wie etwa die Steuerung **12**, kann einen Zeitpunkt der Zylinderkraftstoffeinspritzung zum Betreiben des Zylinders **14** in einer Vielzahl von Einspritzmodi einstellen. Zum Beispiel kann die Steuerung den Zylinder in einem ersten Einspritzmodus betreiben, wobei ein geschichtetes Luft/Kraftstoff-Gemisch in dem Zylinder bereitgestellt wird. Als ein anderes Beispiel kann die Steuerung den Zylinder in einem zweiten Einspritzmodus betreiben, wobei ein homogenes Luft/Kraftstoff-Gemisch in dem Zylinder bereitgestellt wird. In dem ersten Einspritzmodus aktiviert die Steuerung **12** die Kraftstoffeinspritzvorrichtung **166** während eines Verdichtungtakts (z. B. gegen Ende des Verdichtungtakts, wie etwa am oder beim Verdichtungstakt-OT), sodass Kraftstoff direkt in die Mulde des Kolbens **138**, gesprüht wird. Im Folgenden kann der erste Einspritzmodus auch als die Verdichtungstakt-Direkteinspritzung bezeichnet werden. Als Folge der späten Verdichtungstakt-Kraftstoffeinspritzung, können geschichtete Luft/Kraftstoff-Schichten in dem Zylinder gebildet werden. Die der Zündkerze am nächsten gelegenen Schicht enthält ein stöchiometrisches Gemisch oder ein stöchiometrisch leicht fettes Gemisch und die folgenden Schichten enthalten zunehmend magerere Gemische. Dennoch kann das Ge-

samt-Luft/Kraftstoff-Verhältnis in dem Zylinder während der Verdichtungstakt-Direkteinspritzung mager (magerer als die Stöchiometrie) sein.

[0022] Unter ausgewählten Verbrennungsmotorbetriebsbedingungen (z. B. bei einer leichten Last und niedrigeren Verbrennungsmotordrehzahlen) kann die Steuerung **12** den Verbrennungsmotor in dem ersten Einspritzmodus betreiben, wobei dem Verbrennungsmotor Kraftstoff über die Verdichtungstakt-DI zugeführt wird. Zusätzlich dazu kann die Steuerung **12** eine Trennung zwischen einem Zeitpunkt der Verdichtungstakt-Einspritzung und einem Zündzeitpunkt lernen, die zu einem Verbrennungsmotordrehmoment führt, das ein Schwellendrehmoment (z. B. ein wie in **Fig. 2** gezeigtes Spitzenverbrennungsmotorausgangsdrehmoment) erreicht. Die Steuerung kann die gelernte Trennung in einem Speicher der Steuerung speichern und die gelernte Trennung zu einem späteren Zeitpunkt anwenden, wie etwa wenn der Verbrennungsmotor beispielsweise aus einem DFZO-Zustand austritt, wie in **Fig. 3** gezeigt. Wenn der Verbrennungsmotor aus dem DFZO-Zustand austritt, kann die Steuerung dabei die Kraftstoffzufuhr an den Verbrennungsmotor in dem ersten Einspritzmodus wieder aufnehmen, indem Kraftstoff während des Verdichtungtakts eingespritzt wird. Ferner kann die Steuerung die Trennung zwischen dem Zeitpunkt der Verdichtungstakt-Einspritzung und dem Zündzeitpunkt aus dem Speicher abrufen und anwenden, bis eine erste Schwellendrehmomentausgabe erreicht ist. Sobald die erste Schwellendrehmomentausgabe erreicht wurde, kann die Steuerung damit beginnen, die Trennung zwischen dem Zeitpunkt der Verdichtungstakt-DI und dem Zündzeitpunkt schrittweise zu erhöhen, um die Gesamtdrehmomentausgabe des Verbrennungsmotors auf einen zweiten, höheren Schwellenwert zu erhöhen. Danach kann die Steuerung **12** bei der Kraftstoffzufuhr an den Verbrennungsmotor von dem ersten Einspritzmodus zu dem zweiten Einspritzmodus übergehen. Auf diese Weise kann die Steuerung den Übergang von dem ersten Einspritzmodus zu dem zweiten Einspritzmodus einstellen, um Drehmomenterhebungen zu verringern.

[0023] Wie vorstehend beschrieben, zeigt **Fig. 1** lediglich einen Zylinder eines Mehrzylinderverbrennungsmotors. Somit kann jeder Zylinder gleichermaßen seinen eigenen Satz Einlass-/Auslassventile, Kraftstoffeinspritzvorrichtung(en), Zündkerze usw. aufweisen. Es versteht sich, dass der Verbrennungsmotor **10** jede geeignete Anzahl an Zylindern, einschließlich 2, 3, 4, 5, 6, 8, 10, 12 oder mehr Zylinder, beinhalten kann. Ferner kann jeder dieser Zylinder einige oder alle der verschiedenen Komponenten beinhalten, die in **Fig. 1** unter Bezugnahme auf den Zylinder **14** beschrieben und abgebildet sind.

[0024] Kraftstofftanks in dem Kraftstoffsystem **8** können Kraftstoffe unterschiedlicher Arten enthalten, wie etwa Kraftstoffe mit unterschiedlichen Kraftstoffeigenschaften und unterschiedlichen Kraftstoffzusammensetzungen. Die Unterschiede können Unterschiede in Bezug auf den Alkoholgehalt, den Wassergehalt, die Oktanzahl, Verdampfungswärme, Kraftstoffgemische und/oder Kombinationen davon usw. beinhalten. Ein Beispiel für Kraftstoffe mit unterschiedlicher Verdampfungswärme könnte Benzin als erste Kraftstoffart mit niedrigerer Verdampfungswärme und Ethanol als zweite Kraftstoffart mit größerer Verdampfungswärme beinhalten. In einem anderen Beispiel kann der Verbrennungsmotor Benzin als erste Kraftstoffart und ein alkoholhaltiges Kraftstoffgemisch, wie etwa E85 (das ungefähr zu 85 % aus Ethanol und zu 15 % aus Benzin besteht) oder M85 (das ungefähr zu 85 % aus Methanol und zu 15 % aus Benzin besteht), als zweite Kraftstoffart verwenden. Zu weiteren möglichen Stoffen gehören Wasser, Methanol, ein Gemisch aus Alkohol und Wasser, ein Gemisch aus Wasser und Methanol, ein Gemisch aus Alkoholen usw.

[0025] In noch einem anderen Beispiel kann es sich ferner bei beiden Kraftstoffen um Alkoholgemische mit variierender Alkoholzusammensetzung handeln, wobei die erste Kraftstoffart ein Benzin-Alkohol-Gemisch mit einer niedrigeren Alkoholkonzentration sein kann, wie etwa E10 (das ungefähr zu 10 % aus Ethanol besteht), während die zweite Kraftstoffart ein Benzin-Alkohol-Gemisch mit einer höheren Alkoholkonzentration sein kann, wie etwa E85 (das ungefähr zu 85 % aus Ethanol besteht). Darüber hinaus können sich der erste und der zweite Kraftstoff auch in Bezug auf weitere Kraftstoffeigenschaften unterscheiden, wie beispielsweise einen Unterschied hinsichtlich der Temperatur, Viskosität, Oktanzahl usw. Außerdem können sich die Kraftstoffeigenschaften eines oder beider Kraftstofftanks häufig ändern, zum Beispiel aufgrund täglicher Schwankungen beim Auffüllen des Tanks.

[0026] Die Steuerung **12** ist in **Fig. 1** als ein Mikrocomputer gezeigt, der eine Mikroprozessoreinheit **106**, Eingangs-/Ausgangsanschlüsse **108**, ein elektronisches Speichermedium für ausführbare Programme und Kalibrierungswerte, das in diesem konkreten Beispiel als nichtflüchtiger Festwertspeicherchip **110** zum Speichern ausführbarer Anweisungen gezeigt ist, Direktzugriffsspeicher **112**, Keep-Alive-Speicher **114** und einen Datenbus beinhalten.

[0027] Die Steuerung **12** kann zusätzlich zu den zuvor erörterten Signalen verschiedene Signale von an den Verbrennungsmotor **10** gekoppelten Sensoren empfangen, einschließlich der Messung von eingeleitetem Luftmassenstrom (mass air flow - MAF) von einem Luftmassenstromsensor **122**; der Verbrennungsmotorkühlmitteltemperatur (engine cool-

ant temperature - ECT) von einem Temperatursensor **116**, der an eine Kühllülse **118** gekoppelt ist; eines Profilzündungsaufnahmesignals (profile ignition pickup - PIP) von einem Hall-Effekt-Sensor **120** (oder einer anderen Art), der an die Kurbelwelle **140** gekoppelt ist; der Drosselstellung (throttle position - TP) von einem Drosselpositionssensor; und eines proportionalen Pedalpositions(PP)-Signal von dem Pedalpositionssensor **134** und eines Krümmerabsolutdrucksignals (manifold absolute pressure - MAP) von dem Sensor **124**. Ein Verbrennungsmotordrehzahlsignal, RPM, kann durch die Steuerung **12** aus dem PIP-Signal erzeugt werden. Das Krümmerdrucksignal MAP von einem Krümmerdrucksensor kann dazu verwendet werden, einen Hinweis auf Vakuum oder Druck in dem Ansaugkrümmer bereitzustellen. Die Steuerung **12** kann eine Verbrennungsmotortemperatur basierend auf einer Verbrennungsmotorkühlmitteltemperatur ableiten, die von dem Temperatursensor **116** bestimmt wird. Die Steuerung **12** kann einen indizierten effektiven Mitteldruck (IMEP) basierend auf einer Ausgabe des Zylinderinnendrucksensors **125** schätzen.

[0028] Als ein Beispiel erzeugt die Steuerung **12** eine Verbrennungsmotordrehzahl aus dem PIP-Signal. Wenn die Verbrennungsmotordrehzahl unter einen Schwellenwert fällt, kann die Steuerung **12** den Verbrennungsmotor in dem ersten Einspritzmodus betreiben, indem Kraftstoff an einem Ende des Verdichtungs takts eingespritzt wird. In einem anderen Beispiel kann die Steuerung ein Verbrennungsmotordrehmoment von dem MAP-Sensor bestimmen, und wenn das Verbrennungsmotordrehmoment unter ein Schwellendrehmoment fällt, kann die Steuerung den Verbrennungsmotor unter Verwendung des ersten Einspritzmodus betreiben. Das Betreiben in dem ersten Einspritzmodus kann die Kraftstoffzufuhr an den Verbrennungsmotor nur während des Verdichtungs takts (z. B. nicht während des Ansaugtakts) beinhalten.

[0029] Als ein anderes Beispiel kann die Steuerung **12** während des Betriebens des Verbrennungsmotors in dem ersten Einspritzmodus eine Trennung zwischen der Verdichtungseinspritzung und einem Zündfunken lernen, die ein Spitzenverbrennungsmotordrehmoment liefert. Die Steuerung **12** kann diese Trennung speichern und sie unter bestimmten Verbrennungsmotorbetriebsbedingungen wie vorstehend beschrieben abrufen.

[0030] In noch anderen Beispielen kann die Steuerung **12** basierend auf verschiedenen Betriebsbedingungen des Fahrzeugs und des Verbrennungsmotors bestimmen, ob Eintrittsbedingungen für eine Schubabschaltung (DFSO) erfüllt sind. Zum Beispiel kann die Steuerung **12** in einen DFZO-Zustand als Reaktion auf einen Abfall des durch den Bediener bedingten Drehmomentbedarfs eintreten. Als Reaktion

darauf, dass die DFSSO-Eintrittsbedingungen erfüllt sind, kann die Steuerung **12** den Verbrennungsmotor ohne Kraftstoffeinspritzung betreiben (indem z. B. die Kraftstoffeinspritzvorrichtung **166** deaktiviert wird) und wobei die Zylinderventile weiterhin Luft durch den Zylinder pumpen. Als Folge des DFSSO-Zustands kann der Verbrennungsmotor ohne Kraftstoffzufuhr langsamer werden.

[0031] Während der DFSSO kann die Steuerung **12** als Reaktion darauf, dass die Verbrennungsmotordrehzahl unter eine Schwellendrehzahl fällt (und über einer Nullzahl bleibt), bestimmen, dass DFSSO-Austrittsbedingungen erfüllt wurden. Dementsprechend kann die Steuerung die Kraftstoffzufuhr an den Zylinder durch Reaktivierung der Kraftstoffeinspritzvorrichtung **166** wieder aufnehmen und den Betrieb des Verbrennungsmotors in dem ersten Einspritzmodus wieder aufnehmen, wobei der Kraftstoff während des Verdichtungstakts des Verbrennungsmotorzyklus abgegeben wird. Zusätzlich dazu kann die Steuerung **12** die zuvor gelernte Trennung abrufen und diese Trennung zwischen dem Zeitpunkt der Verdichtungstakt-Direkteinspritzung und dem Zündzeitpunkt dazu verwenden, einen ersten Drehmoment-schwellenwert an dem DFSSO-Austritt zu erreichen. Sobald das Drehmoment den ersten Schwellenwert erreicht hat, kann die Steuerung damit beginnen, die Trennung zwischen dem Zeitpunkt der Verdichtungstakt-Direkteinspritzung und dem Zündzeitpunkt schrittweise zu erhöhen, sodass es eine schrittweise Erhöhung des Verbrennungsmotordrehmoments gibt (anstelle einer Drehmomenterhebung). In einem Beispiel kann die Steuerung **12** die Trennung erhöhen, indem der Zeitpunkt der Verdichtungstakt-Direkteinspritzung nach früh verstellt wird. Sobald das Verbrennungsmotordrehmoment einen zweiten, höheren Schwellenwert erreicht hat, kann die Steuerung **12** zu dem zweiten Kraftstoffeinspritzmodus wechseln, wobei der Kraftstoff in dem Ansaugtakt eingespritzt wird. Die Steuerung **12** kann zusätzlich dazu eine Trennung zwischen einem Zeitpunkt der Ansaugtakt-Direkteinspritzung und dem Zündzeitpunkt einstellen sowie eine Kraftstoffmenge basierend auf einem durch den Betreiber bedingten Drehmomentbedarf einstellen.

[0032] In weiteren Beispielen kann es nötig sein, dass ein TWC (wie etwa der in **Fig. 1** gezeigte TWC **178**) beim Austritt aus dem DFSSO-Zustand Umwandlungseffizienzen von Stickstoffoxiden (NO_x) wiederherstellt. Die Steuerung **12** kann einstellen, dass das AFR fetter als die Stöchiometrie ist, indem die Kraftstoffzufuhr eingestellt wird, um die NO_x-Umwandlungseffizienz zu verbessern.

[0033] Unter Bezugnahme auf **Fig. 2** ist nun ein beispielhaftes Verfahren **200** zum Lernen einer Zieltrennung zwischen einem Zeitpunkt der Verdichtungstakt-Direkteinspritzung und einem Zündzeitpunkt ge-

zeigt. Insbesondere beinhaltet das Verfahren **200** Lernen der Trennung zwischen der Verdichtungstakt-Direkteinspritzung und dem Zündfunken, die als eine Anfangstrennung während eines folgenden Austritts aus DFSSO-Zuständen verwendet werden kann, beinhalten. Anweisungen zum Ausführen des Verfahrens **200** und der übrigen hier beinhaltenen Verfahren können durch eine Steuerung basierend auf in einem Speicher der Steuerung gespeicherten Anweisungen und in Verbindung mit von Sensoren des Verbrennungsmotorsystems empfangenen Signalen, wie etwa den vorstehend in Bezug auf **Fig. 1** beschriebenen Sensoren, ausgeführt werden. Die Steuerung kann Verbrennungsmotoraktoren des Verbrennungsmotorsystems einsetzen, um den Verbrennungsmotorbetrieb gemäß den nachstehend beschriebenen Verfahren einzustellen.

[0034] Das Verfahren **200** beginnt bei 202, wobei die Steuerung Verbrennungsmotorbetriebsbedingungen schätzt und/oder misst. Die geschätzten Verbrennungsmotorbetriebsbedingungen können Verbrennungsmotordrehzahl, Verbrennungsmotorlast, Verbrennungsmotortemperatur, Umgebungsbedingungen (wie etwa Umgebungsdruck, -temperatur und -feuchtigkeit), durch den Betreiber bedingten Drehmomentbedarf, Krümmerdruck, Krümmerluftstrom, Abgaskatalysatorbedingungen, Abkühlzeit, Kraftstofftemperatur, Zündkerzentemperatur, Ladedruck usw. beinhalten.

[0035] Das Verfahren **200** geht zu 204 über, wobei bestimmt wird, ob eine Verbrennungsmotorlast niedriger als eine Schwellenverbrennungsmotorlast (z. B. in einem niedrigen Verbrennungsmotorlastbereich einer Verbrennungsmotordrehzahl/-last-Karte) ist. Als ein Beispiel kann bestimmt werden, ob die Verbrennungsmotorlast weniger als ein mittlerer effektiver Bremsdruck (brake mean effective pressure - BMEP) von 2 bar beträgt. Die Verbrennungsmotorlast kann basierend auf der Ausgabe eines oder mehrerer Sensoren, wie etwa eines Krümmerabsolutdruck (MAP)-Sensors, Drosselpositionssensors (TPS) und Verbrennungsmotordrehzahlsensors, geschätzt werden. Die Verbrennungsmotorlast kann unter Bedingungen, unter denen der durch den Betreiber bedingte Drehmomentbedarf niedrig ist, wie etwa beispielsweise während eines Kaltstarts des Verbrennungsmotors oder während eines Verbrennungsmotorleerlaufs, niedriger sein.

[0036] Wenn die Verbrennungsmotorlast niedriger als der Schwellenwert ist (z. B. „JA“ bei 204), geht das Verfahren **200** zu **208** über, wobei der Verbrennungsmotor in einem ersten Einspritzmodus betrieben wird, in dem Kraftstoff direkt in einen Zylinder am oder gegen Ende eines Verdichtungstakts eingespritzt wird (hier auch als Verdichtungstakt-Direkteinspritzung bezeichnet). Bei dem ersten Einspritzmodus kann es sich um einen standardmäßi-

gen Einspritzmodus handeln, der bei niedrigen Verbrennungsmotorlastbedingungen angewendet wird. Wenn dem Verbrennungsmotor mit Verdichtungstakt-Direkteinspritzung Kraftstoff zugeführt wird, wird eine kleine isolierte Tasche oder Wolke aus Luft/Kraftstoff-Gemisch innerhalb des Zylinders direkt unter einer Zündkerze (wie etwa der in **Fig. 1** gezeigten Zündkerze **192**) erzeugt. Wenn ein Zündfunkenereignis in dem Zylinder erfolgt, entzündet sich nur dieses Taschen- oder „geschichtetes“ Wolkengemisch und verbrennt. Die Verbrennung der geschichteten Gemischwolke wird dazu verwendet, die verbleibende Luft in dem Zylinder zu erhitzen, wodurch eine Ausdehnung des Gases innerhalb des Zylinders bewirkt wird. In einigen Beispielen kann die Verdichtungstakt-Direkteinspritzung auch als Schichteinspritzmodus oder einfach Schichtmodus bezeichnet werden.

[0037] Wenn die Verbrennungsmotorlast höher als die Schwellenlast ist (z. B. „NEIN“ bei 204), geht das Verfahren **200** zu **206** über, wobei die Steuerung den Verbrennungsmotor in einem zweiten Kraftstoffeinspritzmodus betreibt, in dem Kraftstoff während eines Ansaugtakts des Verbrennungsmotorzyklus eingespritzt wird, um eine eher homogene Ladungsverteilung bereitzustellen. Der zweite Modus der Kraftstoffeinspritzung, in dem Kraftstoff während des Ansaugtakts eingespritzt wird, kann auch als Ansaugtakt-Direkteinspritzung oder Homogeneinspritzmodus bezeichnet werden. In dem zweiten Einspritzmodus wird Kraftstoff während des Ansaugtakts direkt eingespritzt (während die Luft in den Zylinder gezogen wird). Infolgedessen vermischt sich der Kraftstoff mit der ganzen Luft in dem Zylinder, was zu einer vollständigen Mischung und zur Bildung eines homogenen Luft-Kraftstoff-Gemischs führt. Die Steuerung kann einen Zeitpunkt der Ansaugtakt-Kraftstoffeinspritzung derart einstellen, dass die Kraftstoffeinspritzung während eines Ansaugtakts des Verbrennungsmotorzyklus erfolgt. Zum Beispiel kann die Steuerung den Zeitpunkt der Ansaugtakt-Direkteinspritzung derart einstellen, dass sie erfolgt, wenn sich der Kolben zwischen dem oberen Totpunkt (OT) und dem unteren Totpunkt (UT) des Ansaugtakts befindet. Ferner kann die Steuerung einen Zündzeitpunkt einstellen, um zum Beispiel ein maximales Bremsdrehmoment (maximum brake torque - MBT) zu bewirken. Das Verfahren **200** endet dann.

[0038] Nachdem unter Rückkehr zu 208 der erste Einspritzmodus als Reaktion darauf ausgewählt wurde, dass die Verbrennungsmotorlast unter der Schwellenlast liegt, geht das Verfahren **200** zu **210** über, wobei die Steuerung eine Trennung zwischen dem Zeitpunkt der Verdichtungstakt-Direkteinspritzung und einem Zündzeitpunkt einstellt. Die Steuerung kann einen Zeitpunkt der Verdichtungstakt-Kraftstoffeinspritzung derart einstellen, dass die Kraftstoffeinspritzung am Ende des Verdichtungstakts des Verbrennungsmotorzyklus erfolgt. Zum Bei-

spiel kann die Steuerung den Zeitpunkt der Verdichtungstakt-Direkteinspritzung derart einstellen, dass sie erfolgt, wenn sich ein Kolben (wie etwa der in **Fig. 1** gezeigte Kolben **138**) an oder nahe einem oberen Totpunkt (OT) des Verdichtungstakts befindet. Ferner kann die Steuerung einen Zündzeitpunkt (zum Beispiel unter Verwendung des SA-Signals aus **Fig. 1**) derart einstellen, dass er bei einer Schwellentrennung von dem Zeitpunkt der Verdichtungstakt-Direkteinspritzung erfolgt. In einem Beispiel kann der Zündzeitpunkt derart eingestellt werden, dass er an einer Trennung von dem Zeitpunkt der Verdichtungstakt-Kraftstoffeinspritzung erfolgt, um ein maximales Bremsdrehmoment (MBT) oder ein Spitzendrehmoment für die vorgegebenen Betriebsbedingungen bewirkt.

[0039] Das Einstellen der Trennung kann Erhöhen der Trennung zwischen dem Zeitpunkt der Verdichtungstakt-Direkteinspritzung und dem Zündzeitpunkt beinhalten. In einem Beispiel kann der Zündzeitpunkt nach spät verstellt werden, während der Zeitpunkt der Verdichtungstakt-Direkteinspritzung beibehalten wird, um die Trennung zu erhöhen. In einem anderen Beispiel kann der Zeitpunkt der Verdichtungstakt-Direkteinspritzung nach früh verstellt werden, während der Zeitpunkt des Zündfunken beibehalten wird, um die Trennung zu erhöhen. Die Steuerung kann schrittweise die Trennung erhöhen, wie etwa indem der Zündzeitpunkt um jeweils 5 CAD (crank angle degree - Kurbelwinkelgrad) nach spät verstellt oder der Zeitpunkt der Verdichtungstakt-Direkteinspritzung (in Richtung des Verdichtungstakt-UT) um jeweils 5 CAD nach früh verstellt wird. Eine Größe der schrittweisen Erhöhung der Trennung kann eingestellt werden, um keine wesentlichen Drehmomentstörungen zu bewirken. Bei jeder schrittweisen Trennung zwischen dem Zeitpunkt der Verdichtungstakt-Direkteinspritzung und dem Zündzeitpunkt kann die Steuerung einen oder mehrere Verbrennungsmotorparameter wie nachstehend erklärt überwachen.

[0040] Nach dem Einstellen geht das Verfahren **200** zu **212** über, wobei das Verfahren **200** Schätzen eines oder mehrerer Verbrennungsmotorparameter beinhaltet, die eine Verbrennungsmotorausgabe an der eingestellten Trennung angeben, wie etwa ein Verbrennungsmotorausgangsdrehmoment (engine output torque - EOT) und einen indizierten effektiven Mitteldruck (IMEP). Der IMEP gibt ein Drehmoment an, das während der Verbrennung erzeugt wurde, und stellt die Verbrennungseffizienz des Verbrennungsmotors dar. Die Steuerung kann den IMEP für jeden Zylinder und den IMEP für jeden Fahrzyklus des Verbrennungsmotors basierend auf einem Verbrennungsdrucksignal, das von einem Verbrennungsdrucksensor (wie etwa dem in **Fig. 1** gezeigten Verbrennungsdrucksensor **125**) empfangen wird, erfassen oder berechnen.

[0041] Das Verfahren **200** geht anschließend zu 214 über, wobei das Verfahren **200** Bestimmen, ob das EOT und der IMEP annehmbar sind. Insbesondere kann bestimmt werden, ob die Trennung zu einer ausreichend großen Verbrennungsmotorausgabe geführt hat. Das EOT und der IMEP können mit entsprechenden Schwellenwerten verglichen werden, um zu bestimmen, ob sie annehmbar sind. In einem Beispiel kann das EOT mit einem Schwellendrehmoment verglichen werden. Wenn das EOT höher als das Schwellendrehmoment ist, kann das EOT als annehmbar angesehen werden. Das Schwellendrehmoment kann bei einer vorgegebenen Frühzündung, Verbrennungsmotordrehzahl und Verbrennungsmotorlast geschätzt werden. Als ein nicht einschränkendes Beispiel kann das Schwellendrehmoment auf 30 lb-ft eingestellt werden. In einem anderen Beispiel kann der IMEP als annehmbar angesehen werden, wenn die bei 210 eingestellte Trennung bewirkt, dass der IMEP zwischen 3 bar und 4 liegt. Wenn in einem anderen Beispiel der COV (coefficient of variation - Abweichungskoeffizient) des IMEP weniger als 10 % beträgt, kann der COV des IMEP als annehmbar angesehen werden. Die Steuerung kann bestätigen, dass sowohl das EOT als auch der IMEP annehmbar sind.

[0042] Wenn mindestens eines von dem EOT und dem IMEP nicht annehmbar ist (z. B. „NEIN“ bei 214), geht das Verfahren **200** zu **216** über, wobei die Steuerung die Trennung zwischen dem Zeitpunkt der Verdichtungstakt-Direkteinspritzung und dem Zeitpunkt des Zündfunkenereignisses weiter einstellt (z. B. weiter erhöht). Das Verfahren **200** fährt anschließend damit fort, die Schritte **212** und **216** erneut zu durchlaufen, wobei die Trennung kontinuierlich eingestellt wird, bis sowohl das EOT als auch der IMEP in annehmbaren Bereichen liegen.

[0043] Wenn sowohl das EOT als auch der IMEP annehmbar sind, geht das Verfahren **200** zu **218** über, wobei die Steuerung das bei 212 geschätzte EOT als gewünschtes (Ziel)Spitzenverbrennungsmotordrehmoment auswählt und den Wert des gewünschten Zielspitzenverbrennungsmotordrehmoments im Speicher der Steuerung speichert. Während eines folgenden Austritts aus DFSO-Zuständen kann die Steuerung das gelernte gewünschte Spitzenverbrennungsmotordrehmoment aus ihrem Speicher abrufen und es als Zielverbrennungsmotordrehmoment anwenden, wenn die Kraftstoffzufuhr an den Zylinder wieder aufgenommen wird, wie bei **Fig. 3** ausgeführt. Zusätzlich dazu kann die Steuerung die Trennung zwischen dem Zeitpunkt der Verdichtungstakt-Direkteinspritzung und dem Zündzeitpunkt, die dem gewünschten Spitzenverbrennungsmotorausgangsdrehmoment entspricht, lernen und diese Trennung als eine Anfangstrennung zwischen dem Zeitpunkt der Verdichtungstakt-Direkteinspritzung und dem Zündzeitpunkt anwenden, um das gewünsch-

te Spitzenverbrennungsmotorausgangsdrehmoment während des folgenden Austritts aus der DFSO wie in **Fig. 3** gezeigt zu erreichen. In einem Beispiel kann die Steuerung das Spitzendrehmoment als eine Funktion der Trennung und ferner als eine Funktion der Verbrennungsmotorlast und der Lastbedingungen, bei denen das Spitzendrehmoment bewirkt wurde, lernen. Die gelernte Trennung und das gelernte Spitzendrehmoment können dazu verwendet werden, eine in dem Speicher der Steuerung gespeicherte Lookup-Tabelle auszufüllen oder zu aktualisieren.

[0044] In einem Beispiel kann die gelernte Trennung einer optimalen Trennung entsprechen, bei der Verbrennungsmotor- und Wärmeverluste minimiert werden. Ferner kann die Trennung als der Betriebspunkt gelernt werden, an dem das Spitzenverbrennungsmotorausgangsdrehmoment und die Standardabweichung des IMEP (oder des IMEP) bei einer vorgegebenen Frühzündung, Verbrennungsmotordrehzahl und Verbrennungsmotorlast annehmbar sind. Als ein Beispiel kann es sich bei der gelernten Trennung um eine maximale Trennung handeln, die über den Punkt hinaus verwendet werden kann, bei dem Verluste in dem System auftreten können. Zum Beispiel kann eine beliebige Erhöhung über die bei 212 gelernte optimale Trennung hinaus zu einem Verlust von Verbrennungsmotorausgangsdrehmoment ohne eine wesentliche Änderung der Standardabweichung des IMEP oder zu einem Verlust der Schichtung führen. Zusätzlich dazu kann eine beliebige zusätzliche Änderung der Trennung die Standardabweichung des IMEP in großem Maße erhöhen, was zu unvollständiger Kraftstoffverdampfung und Flammenkernlöschung führt.

[0045] Unter Bezugnahme auf **Fig. 3** ist nun ein beispielhaftes Verfahren **300** zum Anwenden einer gelernten Trennung (zum Beispiel bei 210 des Verfahrens **200**) während eines Austritts aus einem Schubabschaltungs(DFS0)-Zustand gezeigt. Insbesondere die unter einer vorhergehenden Bedingung der Kraftstoffzufuhr an den Verbrennungsmotor gelernte Trennung zwischen einem Zeitpunkt einer Verdichtungstakt-Direkteinspritzung und einem Zündfunkenereignis kann abgerufen und als Anfangstrennung während eines gegenwärtigen DFS0-Austrittszustands angewendet werden. In einem Beispiel kann das Verfahren aus **Fig. 3** als Teil des Verfahrens aus **Fig. 2**, wie etwa bei 218, durchgeführt werden.

[0046] Das Verfahren **300** beginnt bei 302, wobei das Verfahren Bestimmen, ob die DFS0-Eintrittsbedingungen erfüllt sind, beinhaltet. Die DFS0-Eintrittsbedingungen können basierend auf verschiedenen Fahrzeug- und Verbrennungsmotorbetriebsbedingungen, wie etwa einer Kombination aus einem oder mehreren von durch den Betreiber bedingtem Drehmomentbedarf, Fahrzeuggeschwindigkeit, Verbrennungsmotordrehzahl und Verbrennungsmo-

torlast, bestimmt werden. In einem Beispiel können die DFSSO-Eintrittsbedingungen als Reaktion darauf, dass der durch den Betreiber bedingte Drehmomentbedarf niedriger als ein Schwellenwert ist, als erfüllt angesehen werden. In einem anderen Beispiel können die DFSSO-Eintrittsbedingungen als Reaktion darauf, dass ein Betreiber den Fuß von dem Gaspedal nimmt ohne dabei das Bremspedal zu betätigen (z. B. während eines Ausrollmanövers), als erfüllt angesehen werden. In noch einem anderen Beispiel können die DFSSO-Eintrittsbedingungen als Reaktion darauf, dass die Fahrzeuggeschwindigkeit unter einen Schwellenwert fällt, oder dass das Fahrzeug auf einem Abwärtsabschnitt fährt, als erfüllt angesehen werden.

[0047] Wenn die DFSSO-Eintrittsbedingungen nicht bestätigt werden (z. B. „NEIN“ bei 302), geht das Verfahren **300** zu **304** über, wobei dem Verbrennungsmotor weiterhin Kraftstoff basierend auf geschätzten Verbrennungsmotorbetriebsbedingungen, wie etwa Verbrennungsmotordrehzahl, Verbrennungsmotorlast, durch den Betreiber bedingtem Drehmomentbedarf usw., zugeführt wird.

[0048] Als ein Beispiel kann das Fortsetzen der Kraftstoffzufuhr an den Verbrennungsmotor die Kraftstoffzufuhr an den Verbrennungsmotor unter Verwendung eines ersten Einspritzmodus, in dem Kraftstoff während eines Verdichtungstakts direkt eingespritzt wird, wenn die Verbrennungsmotorlast unter einer Schwellenlast (z. B. 4 bar) liegt, beinhalten. Das Betreiben des Verbrennungsmotors in dem ersten Einspritzmodus kann Einspritzen von Kraftstoff am Ende des Verdichtungstakts zum Bilden eines „geschichteten“ fetten Gemischs direkt unter einer Zündkerze beinhalten. Wenn in anderen Beispielen die Verbrennungsmotordrehzahl unter einer Schwellendrehzahl liegt (z. B. niedriger als 2200 U/min ist) oder wenn ein niedrigeres Verbrennungsmotordrehmoment angefordert wird, kann dem Verbrennungsmotor Kraftstoff zugeführt werden, indem der erste Einspritzmodus verwendet wird, in dem Kraftstoff während des Verdichtungstakts direkt eingespritzt wird.

[0049] Als ein anderes Beispiel kann das Fortsetzen der Kraftstoffzufuhr an den Verbrennungsmotor die Kraftstoffzufuhr an den Verbrennungsmotor unter Verwendung eines zweiten, unterschiedlichen Einspritzmodus, in dem Kraftstoff während eines Ansaugtakts direkt eingespritzt wird, wenn die Verbrennungsmotorlast höher als die Schwellenlast ist, beinhalten. Wenn in anderen Beispielen eine höhere Verbrennungsmotorleistung angefordert wird oder wenn der Verbrennungsmotor mit höheren Drehzahlen (z. B. höher als 2200 U/min) betrieben wird, kann dem Verbrennungsmotor Kraftstoff unter Verwendung der Ansaugtakt-Direkteinspritzung zugeführt werden, um ein homogenes Luft-Kraftstoff-

Ladegemisch bereitzustellen. Die Steuerung kann basierend auf Verbrennungsmotorbetriebsbedingungen von dem ersten Einspritzmodus zu dem zweiten Einspritzmodus übergehen und umgekehrt. Das Verfahren **300** endet dann.

[0050] Wenn die DFSSO-Eintrittsbedingungen bestätigt sind (z. B. „JA“ bei 302), geht das Verfahren **300** zu **306** über, um den Verbrennungsmotor mit einer Abschaltung der Kraftstoffzufuhr zu verlangsamen. Als ein Beispiel kann die Kraftstoffzufuhr abgeschaltet werden, indem Zylinderkraftstoffeinspritzvorrichtungen deaktiviert werden, während der Zylinderventilbetrieb beibehalten wird. Während der DFSSO wird der Verbrennungsmotor ohne Kraftstoffeinspritzung betrieben, während sich der Verbrennungsmotor dreht und Luft durch die Zylinder pumpt.

[0051] Das Verfahren **300** geht anschließend zu 308 über, wobei bestimmt wird, ob die DFSSO-Austrittsbedingungen erfüllt sind. Die DFSSO-Austrittsbedingungen können als Reaktion auf eine Erhöhung des durch den Betreiber bedingten Drehmomentbefehls, der eine Wiederaufnahme der Zylinderkraftstoffeinspritzung als Folge des Herunterdrückens eines Gaspedals durch den Betreiber erfordert, oder eine erwartete Erhöhung des Drehmomentbedarfs, wie etwa während das Fahrzeug auf einem Anstiegsabschnitt fährt, bestätigt werden. In noch einem anderen Beispiel können die DFSSO-Austrittsbedingungen bestätigt werden, wenn der Verbrennungsmotor ohne Kraftstoffzufuhr langsamer wird bis unter eine Schwellendrehzahl, unter welcher sich der Verbrennungsmotor möglicherweise abschaltet. Wenn die DFSSO-Austrittsbedingungen nicht erfüllt sind (z. B. „NEIN“ bei 310), geht das Verfahren **300** zu **310** über, um den Verbrennungsmotor weiter zu verlangsamen, wobei die Abschaltung der Kraftstoffzufuhr und der Zylinderventilbetrieb beibehalten werden. Der Verbrennungsmotor bleibt anschließend in dem DFSSO-Zustand, bis die DFSSO-Austrittsbedingungen erfüllt sind.

[0052] Wenn die DFSSO-Austrittsbedingungen erfüllt sind (z. B. „JA“ bei 308) geht das Verfahren **300** zu **312** über, um die Kraftstoffzufuhr an den Verbrennungsmotor wieder aufzunehmen. Die Wiederaufnahme der Kraftstoffzufuhr in dem Verbrennungsmotor kann Aktivieren oder Freigeben der Kraftstoffeinspritzvorrichtungen, die zuvor bei 306 deaktiviert worden waren, beinhalten. Wenn die Kraftstoffeinspritzvorrichtungen freigegeben sind, kann die Steuerung Kraftstoff in den Verbrennungsmotor gemäß dem ersten (standardmäßigen) Kraftstoffeinspritzmodus, in dem Kraftstoff während des Verdichtungstakts eingespritzt wird, einspritzen.

[0053] Das Verfahren **300** geht zu 313 über, wobei die Steuerung ein Luft-Kraftstoff-Verhältnis (AFR) derart einstellt, dass es fetter als eine Stöchiometrie

ist. Dabei kann es nötig sein, dass ein TWC (wie etwa der in **Fig. 1** gezeigte TWC **178**) Umwandlungseffizienzen von Stickstoffoxiden (NO_x) wiederherstellt. Die Steuerung **12** kann einstellen, dass das AFR fetter als die Stöchiometrie ist, indem die Kraftstoffzufuhr eingestellt wird, um die NO_x-Umwandlungseffizienz zu verbessern.

[0054] Das Verfahren **300** geht zu 314 über, wobei die Steuerung ein zuvor gelerntes Zielspitzenverbrennungsmotorausgangsdrehmoment (das zuvor bei 218 aus FIG. 2 während des mit Kraftstoff versorgten Betriebs des Verbrennungsmotors bestimmt wurde) abrufen und das Spitzenverbrennungsmotorausgangsdrehmoment als einen ersten Drehmomentschwellenwert anwendet. Als nächstes wendet die Steuerung bei 316 eine zuvor gelernte Trennung zwischen dem Zeitpunkt der Verdichtungstakt-Kraftstoffeinspritzung und dem Zündzeitpunkt, wie sie zuvor während des mit Kraftstoff versorgten Betriebs des Verbrennungsmotors bei 218 des Verfahrens **200** bestimmt wurde, als eine Anfangstrennung zwischen dem Zeitpunkt der Verdichtungstakt-Direkteinspritzung und dem Zündfunkenereignis an dem Austritt aus der DFSO an. Die gelernte Trennung kann einer optimalen Trennung entsprechen, bei der Verbrennungsmotor- und Wärmeverluste minimiert werden. Die Anfangstrennung kann einen Anfangszeitpunkt der Verdichtungstakt-Kraftstoffeinspritzung und einen Anfangszündzeitpunkt beinhalten.

[0055] Das Verfahren **300** geht anschließend zu 318 über, wobei bestimmt wird, ob die Verbrennungsmotorausgabe beim Betrieb in dem ersten Einspritzmodus unter Anwendung der gelernten Trennung bei dem ersten Drehmomentschwellenwert liegt. Der erste Drehmomentschwellenwert kann dem Spitzenverbrennungsmotorausgangsdrehmoment entsprechen, das beim Betrieb mit der gelernten Trennung zwischen dem Zeitpunkt der Verdichtungstakt-Kraftstoffeinspritzung und des Zündzeitpunkts zuvor gelernt wurde. Indem die gelernte Trennung als die Anfangstrennung zwischen dem Zeitpunkt der Verdichtungstakt-Direkteinspritzung und dem Zündzeitpunkt angewendet wird, kann es ermöglicht werden, dass der Verbrennungsmotor den ersten Drehmomentschwellenwert mit verringerten Drehmomentverlusten aufgrund von unvollständiger Kraftstoffverdampfung und Flammenkernlöschung erreicht. Dabei führt die gelernte Trennung zu einer lokal fetten Kraftstoffwolke (das heißt, ein Schichtgemisch), welche die Zündkerze unmittelbar vor der Zündung umgibt. Da die Flammengeschwindigkeit in dieser lokal fetten Kraftstoffwolke höher ist, erfolgt die Verbrennung schneller, als wenn dies in einer homogenen Wolke erfolgen würde. Der Verbrennungsprozess kann eher näher zu einem konstanten Volumenereignis als zu einem konstanten Druckereignis sein. Infolgedessen kann ein größeres Verbrennungsmotordrehmoment mit einer besseren Verbrennung erreicht werden.

[0056] Der Verwendung in dieser Schrift nach bezieht sich die Trennung auf eine Anzahl von Kurbelwinkelgrad vor dem oberen Totpunkt (OT), an dem der Zündfunke das Luft-Kraftstoff-Gemisch in der Brennkammer während des Verdichtungstakts entzündet. Die gelernte oder Anfangstrennung entspricht einer optimalen Trennung, bei der das Spitzenverbrennungsmotorausgangsdrehmoment und die Standardabweichung des IMEP bei einer vorgegebenen Frühzündung, Verbrennungsmotordrehzahl und -last annehmbar sind. Als ein nicht einschränkendes Beispiel kann die Anfangstrennung auf 55 Kurbelwinkelgrad für eine vorgegebene Last und Verbrennungsmotordrehzahl eingestellt sein.

[0057] Wenn das Verbrennungsmotordrehmoment den ersten Drehmomentschwellenwert nicht erreicht hat („z. B. „NEIN“ bei 318), geht das Verfahren **300** zu **320** über, wobei die Anfangstrennung (oder gelernte Trennung) weiterhin zwischen der Verdichtungstakt-Direkteinspritzung und dem Zündfunken angewendet wird, sodass das Verbrennungsmotordrehmoment auf den ersten Schwellenwert steigt.

[0058] Sobald das Verbrennungsmotordrehmoment den ersten Schwellenwert erreicht hat (z. B. „JA“ bei 318), geht das Verfahren **300** zu **322** über, wobei die Trennung aktualisiert wird, in diesem Fall von der Anfangstrennung erhöht wird. In einem Beispiel beinhaltet das Erhöhen der Trennung bei 324 Verstellen nach früh des Zeitpunkts der Verdichtungstakt-Kraftstoffeinspritzung (von dem Anfangszeitpunkt der Kraftstoffeinspritzung), während der Zündzeitpunkt (bei dem Anfangszündzeitpunkt) beibehalten wird. Alternativ dazu kann die Trennung erhöht werden, indem bei 326 der Zündzeitpunkt (von dem Anfangszündzeitpunkt) nach spät verstellt wird, während der Zeitpunkt der Verdichtungstakt-Kraftstoffeinspritzung (bei dem Anfangszeitpunkt der Kraftstoffeinspritzung) beibehalten wird. Beispielhafte Trennungseinstellungen sind bei **Fig. 5** beschrieben.

[0059] Das Einstellen der Trennung kann Erhöhen der Trennung zwischen dem Zeitpunkt der Verdichtungstakt-Direkteinspritzung und dem Zündzeitpunkt beinhalten. In einem Beispiel kann der Zündzeitpunkt nach spät verstellt werden, während der Zeitpunkt der Verdichtungstakt-Direkteinspritzung beibehalten wird, um die Trennung zu erhöhen. In einem anderen Beispiel kann der Zeitpunkt der Verdichtungstakt-Direkteinspritzung nach früh verstellt werden, während der Zeitpunkt des Zündfunken beibehalten wird, um die Trennung zu erhöhen. Die Steuerung kann schrittweise die Trennung erhöhen, wie etwa indem der Zündzeitpunkt um jeweils 5 CAD nach spät verstellt oder der Zeitpunkt der Verdichtungstakt-Direkteinspritzung (in Richtung des Verdichtungstakt-UT) um jeweils 5 CAD nach früh verstellt wird. Eine Größe der schrittweisen Erhöhung der Trennung kann einge-

stellt werden, um keine wesentlichen Drehmomentstörungen zu bewirken. Bei jeder schrittweisen Trennung zwischen dem Zeitpunkt der Verdichtungstakt-Direkteinspritzung und dem Zündzeitpunkt kann die Steuerung einen oder mehrere Verbrennungsmotorparameter wie nachstehend erklärt überwachen.

[0060] Das Verfahren **300** geht von 322 zu 328 über, wobei bestimmt wird, ob das Verbrennungsmotordrehmoment einen zweiten Drehmomentschwellenwert erreicht hat. Der zweite Drehmomentschwellenwert kann derart eingestellt sein, dass er höher als der erste Drehmomentschwellenwert ist. Während eines Austritts aus DFSSO-Bedingungen kann die Steuerung bei 313 das AFR derart einstellen, dass es fetter als die Stöchiometrie ist. Dennoch erhöht dieser fette Betrieb das Verbrennungsmotorausgangsdrehmoment. Diese Erhöhung des Drehmoments kann kompensiert werden, indem die Trennung zwischen dem Zeitpunkt der Verdichtungstakt-Direkteinspritzung und dem Zylinderzündereignis erhöht wird. Die Erhöhung der Trennung verursacht eine Senkung des Verbrennungsmotordrehmoments. Zusammen können das Betreiben mit einem AFR, das fetter als die Stöchiometrie ist, und das Erhöhen der Trennung dazu führen, dass das Verbrennungsmotordrehmoment allmählicher auf den zweiten, höheren Schwellenwert erhöht wird. Auf diese Weise können Drehmomenterhebungen während des Austritts aus der DFSSO verringert werden.

[0061] Wenn das Verbrennungsmotordrehmoment den zweiten Drehmomentschwellenwert nicht erreicht hat („z. B. „NEIN“ bei 328), geht das Verfahren zu 330 über, wobei die Steuerung damit fortfährt, die Trennung zwischen dem Zeitpunkt der Verdichtungstakt-Direkteinspritzung und des Zündfunkens zu erhöhen, bis der zweite Drehmomentschwellenwert erreicht ist.

[0062] Sobald das Verbrennungsmotordrehmoment den zweiten Drehmomentschwellenwert erreicht hat (z. B. „JA“ bei 328) geht das Verfahren **300** zu **332** über. Wenn das Verbrennungsmotordrehmoment den zweiten höheren Drehmomentschwellenwert erreicht hat, kann die Ladeverteilung innerhalb des Zylinders als eher homogen angesehen werden. Dementsprechend kann die Steuerung von dem ersten Schichteinspritzmodus zu dem zweiten, Homogeneinspritzmodus übergehen. Insbesondere geht die Steuerung von einer Verdichtungstakt-Kraftstoffzufuhr zu einer Ansaugtakt-Kraftstoffzufuhr über. Das Verfahren **300** endet.

[0063] Unter Bezugnahme auf **Fig. 5** veranschaulicht nun eine **Abb. 500** beispielhafte Kraftstoffeinspritzprofile, die während eines Austritts aus DFSSO-Bedingungen angewendet werden können. **Abb. 500** veranschaulicht eine Verbrennungsmotorposition entlang der x-Achse in Kurbelwinkelgrad

(CAD). Verschiedene Kraftstoffeinspritzprofile (**502, 503, 505, 507, 509, 511, 513** und **515**) können durch eine Steuerung angewendet werden, um eine Trennung zwischen einem Zeitpunkt einer Zylinderdirektkraftstoffeinspritzung und einem Zündzeitpunkt beim Austritt aus einem DFSSO-Zustand einzustellen. Jeder Kraftstoffimpuls (**504, 508, 510, 512, 514, 516** und **518**) bildet einen Zeitpunkt der Einspritzung relativ zu einer Zylinderkolbenposition ab. Die Kraftstoffimpulse sind durch schraffierte Balken gezeigt, während Zündfunkenereignisse durch einen Stern dargestellt sind. Basierend auf der Position des Zylinderkolbens zu einem beliebigen Zeitpunkt in dem Verbrennungsmotorzyklus kann Kraftstoff während eines Ansaugtakts (I), eines Verdichtungtakts (C), eines Arbeitstakts (P) oder eines Ausstoßtakts (E) eingespritzt werden. Die Zahlen auf der Y-Achse geben eine Verbrennungseignisanzahl an, die von einem ersten Ereignis an gezählt wurde, bei dem die Kraftstoffzufuhr während eines DFSSO-Austrittszustands wieder aufgenommen wurde. Zum Beispiel handelt es sich bei der Verbrennung #1 um das erste Kraftstoffzufuhreignis (und Verbrennungseignis), das unmittelbar nach der Bestätigung der DFSSO-Austrittsbedingungen erfolgt. Anders gesagt, die Verbrennung #1 ist nicht das erste Verbrennungseignis, das in dem Fahrzyklus auftritt, aber das erste Verbrennungseignis, das in dem Verbrennungsmotor unmittelbar nach dem DFSSO-Austritt mit keinem dazwischenliegendem Verbrennungseignis erfolgt. Nachfolgende Verbrennungseignisnummern stellen nachfolgende Verbrennungseignisse dar, die ab dem Austritt aus der DFSSO erfolgen.

[0064] Während der DFSSO wird dem Verbrennungsmotor kein Kraftstoff zugeführt (Verlauf **502**). Wenn die DFSSO-Austrittsbedingungen erfüllt sind (wenn z. B. die Verbrennungsmotordrehzahl unter eine Schwellendrehzahl fällt), kann die Steuerung die Kraftstoffeinspritzvorrichtungen reaktivieren und die Kraftstoffzufuhr an den Verbrennungsmotor wieder aufnehmen. Wenn die DFSSO-Austrittsbedingungen erfüllt sind, führt die Steuerung dem Verbrennungsmotor insbesondere während des Verdichtungstakts Kraftstoff zu (Kraftstoffimpuls **504**). Dabei erfolgt die Verdichtungstakt-Direkteinspritzung näher zu einem Ende des Verdichtungstakts (näher zum OT als zum UT des Verdichtungstakts) und wird durch ein Zündfunkenereignis an einer Trennung s1 von dem Ende des Verdichtungstakts gefolgt. Bei der Trennung s1 handelt es sich um die Trennung, die während eines vorhergehenden Verbrennungsmotorzyklus (z. B. nicht gegenwärtigen DFSSO-Austrittszustand) (wie in dem Verfahren **200** gezeigt) gelernt wurde, als der Verbrennungsmotor mit Verdichtungstakt-Direkteinspritzung betrieben wurde, der vor dem gegenwärtigen DFSSO-Zustand (Verlauf **502**) erfolgte. Die Steuerung ruft die Trennung s1 aus dem Speicher ab und wendet die Trennung s1 unmittelbar nach dem Austritt aus der DFSSO an. Dabei ermöglicht die Trennung

s1 zwischen der Verdichtungstakt-Direkteinspritzung (Kraftstoffimpuls **504**) und dem Zündfunkenereignis (Stern), dass das Verbrennungsmotordrehmoment einen ersten Schwellenwert erreicht, wodurch ein Abwürgen des Verbrennungsmotors vermieden wird. Wie in Verfahren **300** ausgeführt, kann die Trennung s1 angewendet werden, bis ein Verbrennungsmotordrehmoment einen ersten Drehmomentschwellenwert erreicht hat, danach kann die Trennung zwischen der Verdichtungstakt-Direkteinspritzung und dem Zündfunkenereignis wie nachstehend gezeigt erhöht werden.

[0065] Während eines Verbrennungsereignisses #2 (z. B. das Verbrennungsereignis, das unmittelbar nach dem Verbrennungsereignis #1 erfolgt), kann die Steuerung die Trennung von der Anfangs- oder gelernten Trennung s1 auf eine Trennung s2 erhöhen, wie in dem Kraftstoffeinspritzprofil **505** gezeigt ist. Dabei wird die Trennung zwischen der Verdichtungstakt-Direkteinspritzung (Kraftstoffimpuls **508**) und dem Zündfunkenereignis (Stern) erhöht, indem der Zeitpunkt der Verdichtungstakt-Direkteinspritzung (Kraftstoffimpuls **508**) nach früh verstellt wird, während das Zündfunkenereignis (Stern) beibehalten wird. Somit ist in diesem Beispiel CAD2 relativ zu CAD1 weiter nach früh verstellt. Dabei ist s2 größer als s1, wobei es sich bei s1 um die gelernte Trennung handelt, die ein Spitzenverbrennungsmotorausgangsdrehmoment erreicht (wie in dem Verfahren **300** ausgeführt).

[0066] Während des nächsten Verbrennungsereignisses (#3) wird die Verdichtungstakt-Direkteinspritzung weiter nach früh verstellt, um die Trennung weiter zu erhöhen. Insbesondere beim Verbrennungsereignis #3 kann die Verdichtungstakt-Direkteinspritzung (Kraftstoffimpuls **510**) bei einer Trennung s3 von dem Zündfunken (Stern) sein. Dabei ist CAD3 relativ zu CAD2 und CAD1 weiter nach früh verstellt (oder $s3 > s2 > s1$). Dies wird bis zu einem Verbrennungsereignis #(n-2) fortgesetzt, wobei die Verdichtungstakt-Direkteinspritzung schrittweise nach früh verstellt wird, während der Zündzeitpunkt (Stern) beibehalten wird. Somit kann beim Verbrennungsereignis #(n-2) die Verdichtungstakt-Direkteinspritzung (Kraftstoffimpuls **512**) bei einer Trennung s(n-2) von dem Zündfunken (Stern) sein. Dabei ist CAD4 relativ zu jedem von CAD1, CAD2 und CAD3 weiter nach früh verstellt (oder $s(n-2) \gg s1$). CAD4 ist zum Beispiel näher zu dem UT als dem OT des Verdichtungstakts.

[0067] Es versteht sich, dass während des Verbrennungsereignisses #1, wenn die Trennung s1 zwischen der Verdichtungstakt-Direkteinspritzung und dem Zündfunkenereignis angewendet wird, eine lokal fette Kraftstoffwolke (geschichtet), welche die Zündkerze umgibt, unmittelbar vor der Zündung gebildet wird. Das Erhöhen der Trennung zwischen den Verdichtungstakt-Direkteinspritz- und den Zündfun-

kenereignissen in nachfolgenden Verbrennungsereignissen (zum Beispiel #2 bis #(n-2)) führt zu einer Zerstreung der lokal fetten Kraftstoffwolke. Während die Kraftstoffwolke zerstreut wird, wird die lokal fette Kraftstoffwolke zunehmend magerer. Als Folge des Abmagerns der Schichtladung wird die Flammengeschwindigkeit verringert. In einigen Beispielen kann die Steuerung den Zündfunken langsam nach früh verstellen, um das ursprüngliche Drehmoment wiederherzustellen.

[0068] In einem Beispiel kann der Zündfunke entweder basierend auf einem Fahrerbedarf oder auf einer Rückkopplungszündfunkensteuerung nach früh verstellt werden. Wenn der Fahrer Leistung anfordert, kann der Zündfunke nach früh verstellt werden, um die Anforderung zu erfüllen. Wenn der Zündfunken nach früh verstellt wird, kann das Ende der Verdichtung ebenfalls nach früh verstellt werden, um die gewünschte Trennung beizubehalten. Wenn das Ende der Einspritzung nach früh verstellt wird, verringert sich das Fenster zum Einspritzen von Kraftstoff. Wenn dieses Fenster zu klein wird (die minimale Einspritzvorrichtungsimpulsbreite erreicht), kann die Steuerung von der Verdichtungstakt-Direkteinspritzung zu der Ansaugtakt-Direkteinspritzung wechseln, um eine ungenaue Kraftstoffabgabe zu vermeiden. Wenn die Kraftstoffmasse größer als ein Schwellenwert wird, muss ein Teil der Kraftstoffzufuhr, wenn nicht sogar die gesamte Kraftstoffzufuhr, zu der Ansaugtakt-Direkteinspritzung bewegt werden, um eine ungenaue Kraftstoffabgabe zu vermeiden.

[0069] In einem anderen Beispiel kann der Zündfunken basierend auf einer Rückkopplungszündfunkensteuerung, zum Beispiel ohne Fahrereingabe, nach früh verstellt werden. Während die Trennung zwischen dem Ende der Verdichtungstakt-Direkteinspritzung und dem Zündfunken zunimmt, verringert sich das tatsächliche Verbrennungsmotorausgangsdrehmoment, was die Verbrennungsmotordrehzahl weiter verringern kann. Sobald die Verbrennungsmotordrehzahl unter eine gewünschte fällt, kann die Rückkopplungszündfunkensteuerung damit beginnen, den Zündfunken nach früh zu verstellen, um die Verbrennungsmotordrehzahl auf eine gewünschte zu erhöhen. Sobald die Trennung zwischen dem Ende der Verdichtungstakt-Direkteinspritzung und dem Zündfunken größer als eine Schwellentrennung wird, und wenn die Verbrennungsmotordrehzahl die gewünschte Verbrennungsmotordrehzahl erreicht hat, kann der Verbrennungsprozess als „homogen“ angesehen werden und die Steuerung kann von der Verdichtungstakt-Direkteinspritzung zu der Ansaugtakt-Direkteinspritzung wechseln. Auf diese Weise kann der Übergang von der Verdichtungstakt-Direkteinspritzung zu der Ansaugtakt-Direkteinspritzung ohne eine wesentliche Änderung des Verbrennungsmotorausgangsdrehmoments erfolgen.

[0070] Während der Zündfunke nach früh verstellt wird, hat der Kraftstoff jedoch weniger Zeit, um sich zu zerstreuen, und die Ladung kehrt zu einer Schichtposition zurück. Wenn unter solchen Bedingungen die Verbrennungsmotordrehzahl zu sinken beginnt, kann die Steuerung die optimale oder Anfangstrennung s_1 zwischen dem Ende der Einspritzung und dem Zündfunken wiederherstellen, um die gewünschte Verbrennungsmotordrehzahl wiederherzustellen.

[0071] Alternativ dazu kann es anstelle des Verstellens nach früh der Verdichtungstakt-Direkteinspritzung (Kraftstoffimpuls **504**) relativ zu dem Zündfunken möglich sein, die Trennung zu erhöhen, indem der Zündfunke von dem ursprünglichen Zündzeitpunkt nach spät verstellt, während der Anfangszeitpunkt der Verdichtungstakt-Direkte wie in der **Abb. 550** gezeigt beibehalten wird. Wie in dem Kraftstoffeinspritzprofil **515** gezeigt, kann der Zündfunke (Stern) nach spät verstellt werden, während die Verdichtungstakt-Direkteinspritzung (Kraftstoffimpuls **504**) nicht verändert wird. Auf diese Weise kann die Trennung zwischen der Verdichtungstakt-Direkteinspritzung und dem Zündfunken erhöht werden.

[0072] Während die Trennung zwischen dem Ende der Verdichtungstakt-Direkteinspritzung und dem Zündfunken erhöht wird, beginnt die Ladeverteilung innerhalb des Zylinders, sich von einem Schichtgemisch und hin zu einem Homogengemisch zu bewegen. Infolgedessen beginnt das Verbrennungsmotordrehmoment zu sinken. Somit kann bei dem im Kraftstoffeinspritzprofil **511** gezeigten Verbrennungsereignis $\#(n-1)$ bei der Kraftstoffzufuhr von der Verdichtungstakt-Direkteinspritzung zu der Ansaugtakt-Direkteinspritzung (**514**) übergegangen werden. In einem Beispiel kann bei der Kraftstoffzufuhr an den Verbrennungsmotor von der Verdichtungseinspritzung zur Ansaug einspritzung übergegangen werden, wenn die Trennung zwischen der Verdichtungseinspritzung und dem Zündfunken eine Schwellentrennung erreicht. Zum Beispiel kann es sich bei der Schwellentrennung um $s(n-1)$ handeln, wobei $s(n-1)$ größer als die Anfangstrennung s_1 zwischen der Verdichtungstakt-Direkteinspritzung und dem Zündfunken ist (wie in dem Kraftstoffeinspritzprofil **503** gezeigt). Ferner kann eine Trennung zwischen der Ansaugtakt-Direkteinspritzung (**514**) und dem Zündfunken basierend auf Verbrennungsmotorbetriebsbedingungen, wie etwa Verbrennungsmotorlast, Verbrennungsmotordrehzahl, Verbrennungsmortemperatur, Luft-Kraftstoff-Verhältnis und dergleichen, eingestellt werden. In einigen Beispielen kann in Abhängigkeit von Verbrennungsmotorbetriebsbedingungen die Verdichtungstakt-Direkteinspritzung (Kraftstoffimpuls **518**) zusätzlich zu der Ansaugtakt-Direkteinspritzung (Kraftstoffimpuls **516**) verwendet werden. Als ein Beispiel kann die Ansaugtakt-Einspritzung (Verlauf **516**) magerer als die Stöchiometrie

sein, und die Verdichtungstakt-Einspritzung (Verlauf **518**) kann fetter als die Stöchiometrie sein, um fette Verbrennungsbedingungen an der Zündkerze zu erreichen, um eine Verschmutzung der Zündkerze zu verringern.

[0073] Kurzum, wenn der Verbrennungsmotor aus der DFSS austritt, wechselt das Verbrennungsmotordrehmoment von negativ (Kraftstoffzufuhr aus) zu positiv (Kraftstoffzufuhr an). Dies verursacht eine spürbare Drehmomenterhebung, die durch die Kraftübertragung geleitet und durch den Fahrer wahrgenommen werden kann. Indem jedoch der erste Einspritzmodus verwendet wird, in dem Kraftstoff direkt während des Verdichtungstakts eingespritzt wird, und indem ferner die Trennung zwischen der Verdichtungseinspritzung und dem Zündfunken erhöht wird, können Drehmomenterhebungen während des Austritts aus einer DFSS verringert werden. Sobald eine Trennung zwischen dem Ende der Einspritzung und dem Zündfunken erreicht wurde, kann die Ladung homogener sein und die Steuerung geht von der Verdichtungskraftstoffzufuhr zu der Ansaugkraftstoffzufuhr über. Auf diese Weise kann ein glatterer Übergang beim Austritt aus der DFSS ohne Drehmomenterhebungen möglich sein.

[0074] Unter Bezugnahme auf **Fig. 4** zeigt nun eine **Abb. 400** ein Beispiel für das Lernen einer Trennung zwischen einer Verdichtungstakt-Direkteinspritzung und einem Zündfunken vor einem DFSS-Zustand und das Anwenden der gelernten Trennung während eines folgenden Austritts aus DFSS-Bedingungen. Die Verläufe **402** und **432** zeigen ein Verbrennungsmotordrehmoment während unterschiedlicher Sätze von Bedingungen (z. B. vor der DFSS und während eines Austritts aus der DFSS). Die Verläufe **404** und **436** zeigen den Betrieb des Verbrennungsmotors in verschiedenen Einspritzmodi unter den entsprechenden Bedingungen. Die Verläufe **406** und **438** zeigen die Trennung zwischen der Verdichtungstakt-Direkteinspritzung und dem Zündfunken, während die Verläufe **408** und **440** eine Verbrennungsmotordrehzahl unter den entsprechenden Bedingungen zeigen. Die Verläufe **410** und **442** zeigen eine Ladeverteilung, während die Verläufe **412** und **444** ein Gesamt-Luft-Kraftstoff-Verhältnis (AFR) unter den vorstehend genannten Bedingungen zeigen. Für jeden Verlauf ist die Zeit entlang der x-Achse (horizontal) abgebildet, während die Werte jedes entsprechenden Parameters entlang der y-Achse (vertikal) abgebildet sind.

[0075] Zwischen Zeitpunkt t_0 und t_1 wird der Verbrennungsmotor derart betrieben, dass Kraftstoff während des Ansaugtakts (Verlauf **404**) direkt eingespritzt wird. Bei der Ansaugtakt-Direkteinspritzung ist die Ladeverteilung (Verlauf **410**) in dem Zylinder eher homogen (Verlauf **428**). Wenn Kraftstoff während des Ansaugtakts eingespritzt wird, vermischt

sich der Kraftstoff mit der Luft, und zwar derart, dass die Ladeverteilung, die innerhalb des Zylinders auftritt, gleichförmig oder gleichbleibend oder homogen in dem gesamten Volumen im Inneren des Zylinders ist. Infolge des gleichförmigen Vermischens kann es weder magere noch fette Kraftstofftaschen im Inneren des Zylinders geben. Wenn die Zündung erfolgt, wird daher die ganze Ladung innerhalb des Zylinders entzündet und brennt mit gleicher Effizienz und die durch die Anfangsverbrennung erzeugte Flamme breitet sich effektiver über das gesamte Gemisch aus.

[0076] Zwischen Zeitpunkt t_0 und t_1 , wenn dem Verbrennungsmotor Kraftstoff über die Ansaugtakt-Direkteinspritzung zugeführt wird, kann ein Gesamt-AFR (Verlauf **412**) bei oder nahe dem stöchiometrischen Luft-Kraftstoff-Verhältnis **430** liegen. Dennoch kann es in Abhängigkeit von Verbrennungsmotorbetriebsbedingungen (wie etwa Verbrennungsmotordrehzahl, Verbrennungsmotordrehmoment, Verbrennungsmotortemperatur, Verbrennungsmotorlast usw.) möglich sein, den Verbrennungsmotor über die Ansaugtakt-Direkteinspritzung zu betreiben, sodass das Gesamt-AFR innerhalb eines Bereichs (z. B. 11:1 bis 15:1) liegt. Wenn zum Beispiel ein höherer durch den Betreiber bedingter Drehmomentbedarf besteht, kann der Verbrennungsmotor mit einem Gesamt-AFR, deren Stöchiometrie fetter als eine Stöchiometrie ist (z. B. 11:1) betrieben werden, bis der Drehmomentbedarf erfüllt ist. Danach kann das Gesamt-AFR auf oder nahe der Stöchiometrie eingestellt werden. Unter einigen Betriebsbedingungen, kann die Steuerung, wenn erhöhte Kraftstoffeffizienz gewünscht ist, den Verbrennungsmotor mit Kraftstoff betreiben, der während des Ansaugtakts eingespritzt wird und ein Gesamt-AFR aufweist, das magerer als die Stöchiometrie ist (z. B. 15:1).

[0077] Zwischen t_1 und t_3 kann der Verbrennungsmotor auf leichte Lastbedingungen treffen. Dabei bleibt eine Verbrennungsmotordrehzahl (Verlauf **408**) unter einer ersten Schwellendrehzahl **424**. Infolgedessen kann bei der Kraftstoffzufuhr an den Verbrennungsmotor von der Ansaugtakt-Direkteinspritzung zu der Verdichtungstakt-Direkteinspritzung (Verlauf **404**) bei Zeitpunkt t_1 übergegangen werden. Zusätzlich dazu kann der Verbrennungsmotor weiterhin mit der Verdichtungstakt-Direkteinspritzung betrieben werden, bis die Verbrennungsmotordrehzahl (Verlauf **408**) die erste Schwellendrehzahl **424** erreicht. Somit wird dem Verbrennungsmotor zwischen t_1 und t_3 Kraftstoff unter Verwendung der Verdichtungstakt-Direkteinspritzung zugeführt.

[0078] Bei der Verdichtungstakt-Direkteinspritzung (auch bekannt als Schichtmodus) wird Kraftstoff nahe einem Ende eines Verdichtungtakts eingespritzt, was zu einer eher geschichteten Ladeverteilung (Verlauf **426**) führt. Dabei wird eine kleine isolierte Tasche oder Wolke aus Luft-Kraftstoff-Gemisch innerhalb

des Zylinders direkt unter der Zündkerze erzeugt, wodurch eine lokal fette Schichtladungsverteilung gebildet wird. Obwohl das AFR in der Schichtwolke fett ist, kann das Gesamt-AFR (Verlauf **412**) magerer als die Stöchiometrie **430** sein, wenn dem Verbrennungsmotor unter Verwendung der Verdichtungstakt-Einspritzung Kraftstoff zugeführt wird. Als ein Beispiel kann dem Verbrennungsmotor mit der Verdichtungstakt-Direkteinspritzung Kraftstoff zugeführt werden und Einlassluft kann eingestellt werden, um ein Gesamt-AFR zu erreichen, das innerhalb eines Bereichs von 11:1 bis 40:1 liegt. Dabei kann der fette Betrieb benötigt werden, um Katalysatorumwandlungseffizienzen wiederherzustellen/beizubehalten.

[0079] Zusätzlich zur Kraftstoffzufuhr während des Verdichtungtakts kann die Steuerung darüber hinaus eine Trennung (Verlauf **406**) zwischen dem Zeitpunkt der Verdichtungstakt-Direkteinspritzung und einem Zündfunkenereignis einstellen. Bei Zeitpunkt t_1 , wenn bei der Kraftstoffzufuhr an den Verbrennungsmotor von der Ansaugtakt-Direkteinspritzung zu der Verdichtungstakt-Direkteinspritzung übergegangen wird, kann die Trennung (Verlauf **406**) auf eine Schwellentrennung **421** eingestellt werden. Die Schwellentrennung kann basierend auf einem oder mehreren von der Verbrennungsmotordrehzahl (Verlauf **408**) und dem Verbrennungsmotordrehmoment (Verlauf **402**) eingestellt werden.

[0080] Zwischen t_1 und t_2 kann die Trennung (Verlauf **406**) zwischen der Verdichtungstakt-Direkteinspritzung und dem Zündfunken erhöht werden. Während die Trennung (Verlauf **406**) zunimmt, beginnt das Verbrennungsmotordrehmoment (Verlauf **402**) zuzunehmen, bis es ein Schwellendrehmoment **414** erreicht, und danach beginnt das Verbrennungsmotordrehmoment (Verlauf **402**) abzunehmen, während die Trennung (Verlauf **406**) weiterhin vergrößert wird. Insbesondere nimmt das Verbrennungsmotordrehmoment zu, bis eine optimale Trennung (oder das Schwellendrehmoment **414**) erreicht ist. Sobald die optimale Trennung erreicht ist, führt jede weitere Erhöhung der Trennung zu einer Senkung des Drehmoments.

[0081] Bei t_2 lernt die Steuerung, dass das bei der Trennung (Markierung **416**) erzeugte Verbrennungsmotordrehmoment (Verlauf **402**) ein Spitzenverbrennungsmotorausgangsdrehmoment ist. Diese Trennung (Markierung **416**) und das Schwellendrehmoment oder Spitzenverbrennungsmotorausgangsdrehmoment (**414**) wird im Speicher der Steuerung gespeichert. Die Steuerung ruft die gelernte Trennung und das Spitzenverbrennungsmotorausgangsdrehmoment unter anderen Verbrennungsmotorbetriebsbedingungen (z. B. während eines DFSO-Austritts) wie nachstehend gezeigt ab.

[0082] Bei Zeitpunkt t_3 tritt der Verbrennungsmotor aus dem leichten Lastzustand heraus und die Verbrennungsmotordrehzahl (Verlauf **408**) übersteigt die erste Schwellendrehzahl **424**. In einem Beispiel kann bei der Kraftstoffzufuhr an den Verbrennungsmotor zurück zu der Ansaugtakt-Direkteinspritzung (Verlauf **404**) übergegangen werden, um die zunehmenden Verbrennungsmotorlastanforderungen zu erfüllen. In anderen Beispielen kann die Kraftstoffzufuhr an den Verbrennungsmotor bei der Verdichtungstakt-Direkteinspritzung für eine bestimmte Zeit beibehalten werden, und anschließend kann basierend auf Verbrennungsmotorbetriebsbedingungen zurück zu der Ansaugtakt-Direkteinspritzung übergegangen werden.

[0083] Somit wird die Trennung zwischen der Verdichtungstakt-Direkteinspritzung und dem Zündfunken, die ein Spitzenverbrennungsmotorausgangsdrehmoment bewirkt, während Verbrennungsmotorzyklen gelernt, wenn die Verdichtungstakt-Direkteinspritzung zur Kraftstoffzufuhr verwendet wird. In einem Beispiel kann die Steuerung die Trennung jedes Mal lernen, wenn dem Verbrennungsmotor unter Verwendung der Verdichtungstakt-Einspritzung Kraftstoff zugeführt wird, und dementsprechend den in dem Speicher gespeicherten Wert aktualisieren. In einem anderen Beispiel kann die Steuerung die Trennung lernen, wenn eine bestimmte Zeit seit dem letzten Lernen verstrichen ist.

[0084] Ein anderer Verbrennungsmotorbetrieb in dem gleichen Zyklus ist zwischen Zeitpunkt t_4 und t_8 gezeigt. Insbesondere zwischen t_4 und t_5 befindet sich der Verbrennungsmotor in einem Schubabschaltungs(DFSO)-Zustand. Während des DFSO-Zustands sind die Kraftstoffeinspritzvorrichtungen deaktiviert und dem Verbrennungsmotor wird kein Kraftstoff zugeführt. Da dem Verbrennungsmotor kein Kraftstoff zugeführt wird, kann bestimmt werden, dass das Gesamt-AFR (Verlauf **444**) mager ist. Zusätzlich dazu wird der Verbrennungsmotor während der DFSO verlangsamt (angegeben durch eine sinkende Verbrennungsmotordrehzahl (Verlauf **440**)) und das Verbrennungsmotordrehmoment (Verlauf **432**) kann niedrig sein.

[0085] Bei Zeitpunkt t_5 fällt die Verbrennungsmotordrehzahl (Verlauf **440**) unter eine zweite Schwellendrehzahl **450**. In einem Beispiel kann die zweite Schwellendrehzahl **450** niedriger als die erste Schwellendrehzahl **424** sein, die während eines vorhergehenden leichtlastigen Verbrennungsmotorzyklus verwendet wurde. In anderen Beispielen kann die erste Schwellendrehzahl **424** die gleiche oder eine andere als die Schwellendrehzahl **424** sein, die während eines vorhergehenden Verbrennungsmotorzyklus verwendet wurde. Wenn die Verbrennungsmotordrehzahl (Verlauf **440**) unter die zweite Schwellendrehzahl **450** fällt, werden die DFSO-Austrittsbedingungen als erfüllt angesehen und die Kraftstoffzu-

fuhr an den Verbrennungsmotor kann wieder aufgenommen werden.

[0086] Wenn die Kraftstoffzufuhr an den Verbrennungsmotor wieder aufgenommen wird, kann ein plötzlicher Sprung bei dem Drehmoment (Verlauf **434**) auftreten. Diese spürbare Drehmomenterhebung wird durch die Kraftübertragung geleitet und kann durch den Fahrer wahrgenommen werden. Die Erfinder haben erkannt, dass es möglich ist, die Drehmomenterhebung während eines DFSO-Austritts zu vermeiden, indem von einer Verdichtungstakt-Einspritzung zu einer Ansaugtakt-Einspritzung übergegangen wird, indem die Trennung zwischen dem Zeitpunkt der Verdichtungseinspritzung und dem Zündfunkenereignis erhöht wird, wie nachstehend erörtert ist.

[0087] Unmittelbar nach dem DFSO-Austritt bei t_5 wird dem Verbrennungsmotor unter Verwendung der Verdichtungstakt-Direkteinspritzung (Verlauf **436**) Kraftstoff zugeführt. Zusätzlich dazu wird die Trennung (Verlauf **422**), die während der vorhergehenden Verdichtungstakt-Direkteinspritzung (zwischen Zeitpunkt t_1 und t_2) nun zwischen Zeitpunkt t_5 und t_6 angewendet. Wenn die Trennung (Verlauf **438**) bei der gelernten Trennung oder der Schwellentrennung **422** gehalten wird, erreicht das Verbrennungsmotordrehmoment den ersten Schwellenwert **414**. Dabei handelt es sich bei dem ersten Schwellenwert um den Spitzenverbrennungsmotorausgangsschwellenwert, der während des Zeitpunkts t_1 und t_2 bestimmt wurde. Sobald das Verbrennungsmotordrehmoment den ersten Schwellenwert **414** erreicht hat, kann die Trennung **438** zwischen t_6 und t_7 schrittweise erhöht werden.

[0088] Wenn der Verbrennungsmotor aus der DFSO austritt können Emissionen abgebaut werden. Während der DFSO, bei der keine Kraftstoffzufuhr stattfindet, kann das Abgas reich an Sauerstoff sein. Infolgedessen kann ein Dreivegekatalysator (TWC) benötigt werden, um NO_x-Umwandlungseffizienzen wiederherzustellen, wenn aus der DFSO ausgetreten wird und die Kraftstoffzufuhr wieder aufgenommen wird. Eine Art, den Katalysator zu reaktivieren, ist, den Verbrennungsmotor mit einem AFR (Verlauf **444**) zu betreiben, das derart eingestellt ist, dass es fetter als die Stöchiometrie ist. Dieser fette Betrieb erhöht das Verbrennungsmotorausgangsdrehmoment, wobei eine Drehmomenterhebung deutlicher spürbar wird. Um dennoch dieser plötzlichen Erhöhung des Drehmoments entgegenzuwirken, kann die Trennung (Verlauf **438**) zwischen der Verdichtungstakt-Direkteinspritzung und dem Zündfunken schrittweise erhöht werden.

[0089] Wenn die Trennung (Verlauf **438**) erhöht wird, während das Gesamt-AFR nahe der Stöchiometrie oder mager gehalten wird, beginnt das Verbren-

nungsmotordrehmoment (Verlauf **448**) zu sinken. Somit besteht das Endergebnis des Erhöhen der Trennung, während ein Gesamt-AFR fett gehalten wird, darin, dass sich das Verbrennungsmotordrehmoment (Verlauf **432**) allmählicher erhöht. Auf diese Weise können plötzliche Drehmomenterhebungen verringert werden, die andernfalls während eines DFSO-Austritts auftreten würden.

[0090] In einem Beispiel kann die Steuerung die fette AFR-Aktion solange verzögern, bis das Verbrennungsmotordrehmoment den ersten Schwellenwert (**414**) erreicht. Als ein Beispiel kann der Verbrennungsmotor von Zeitpunkt t_5 bis t_6 nahe der Stöchiometrie betrieben werden und anschließend kann der Verbrennungsmotor bei t_6 mit dem fetten AFR betrieben werden. Das Verzögern des fetten AFR-Betriebs kann das Verbrennungsmotordrehmoment während des DFSO-Austritts allmählicher erhöhen.

[0091] Das Erhöhen der Trennung (Verlauf **438**) zwischen der Verdichtungstakt-Direkteinspritzung und dem Zündfunken verursacht, dass die Ladeverteilung (Verlauf **442**) schrittweise homogener bzw. weniger geschichtet wird. Bei t_7 kann die Ladeverteilung (Verlauf **442**) näher zu einer homogenen Verteilung sein. Ferner erreicht das Verbrennungsmotordrehmoment bei t_7 einen zweiten, höheren Schwellenwert (**415**). Wenn das Verbrennungsmotordrehmoment (Verlauf **432**) den zweiten Schwellenwert (**415**) erreicht, kann bei dem Verbrennungsmotor von der Verdichtungstakt-Einspritzung zu der Ansaugtakt-Einspritzung (**436**) übergegangen werden. In einem Beispiel kann der zweite Schwellenwert (**415**) basierend darauf bestimmt werden, dass die Ladeverteilung homogener wird.

[0092] Zwischen t_7 und t_8 wird dem Verbrennungsmotor unter Verwendung der Ansaugtakt-Einspritzung (Verlauf **436**) Kraftstoff zugeführt und das Gesamt-AFR (Verlauf **444**) wird näher zur Stöchiometrie (**430**) gehalten. Zusätzlich dazu können ein Einspritzzeitpunkt der Ansaugtakt-Einspritzung und eine Menge an eingespritztem Kraftstoff basierend auf der Verbrennungsmotordrehzahl (Verlauf **440**) und dem Verbrennungsmotordrehmoment (Verlauf **432**) eingestellt werden. Es versteht sich, dass das AFR (Verlauf **412**), das zwischen Zeitpunkt t_1 und t_3 verwendet wurde, als dem Verbrennungsmotor Kraftstoff unter Verwendung der Verdichtungstakt-Direkteinspritzung zugeführt wurde, magerer als das Gesamt-AFR (Verlauf **444**) ist, das zwischen Zeitpunkt t_5 und t_7 verwendet wird.

[0093] Auf diese Weise kann während eines Austritts aus DFSO-Bedingungen eine Trennung zwischen dem Ende einer Verdichtungstakt-Kraftstoffeinspritzung und einem Zündzeitpunkt schrittweise erhöht werden, um das Endverbrennungsmotordrehmoment schrittweise zu erhöhen und Drehmomenten-

erhebungen zu vermeiden. Insbesondere ändert das Erhöhen der Trennung zwischen der Verdichtungstakt-Direkteinspritzung und dem Zündfunkenereignis die Ladeverteilung. Da sich der Kraftstoff langsam zerstreut, gibt es einen Bereich, in dem das Gemisch nicht derart fett ist, wie es einmal war, jedoch nicht so mager wie ein Homogengemisch ist. Unter der Vorgabe, dass sich das Gemisch um die Zündkerze zerstreut, wird das lokal fette Gemisch ebenfalls magerer. Dieses Magerer-werden verringert die Flammgeschwindigkeit, was das Drehmoment verringert. Somit wirkt diese Verringerung des Drehmoments der Erhöhung des Drehmoments entgegen, die aufgrund eines fetteren AFR auftritt, das während eines DFSO-Austritts verwendet wird, um die Reaktivierung eines mit Sauerstoff gesättigten Abgaskatalysators zu steuern. Die technische Wirkung des Erhöhen der Trennung zwischen der Verdichtungstakt-Direkteinspritzung und dem Zündfunken während eines DFSO-Austritts besteht darin, dass das Verbrennungsmotordrehmoment zu sinken beginnt. Somit kann die Verringerung des Verbrennungsmotordrehmoments, die durch Erhöhen der Trennung verursacht wird, der Erhöhung des Verbrennungsmotordrehmoments entgegenstehen, die als Folge des Betriebs des Verbrennungsmotors mit einem fetten Luft-Kraftstoff-Verhältnis (AFR) (zur Erhöhung der Effizienz von Abgaskatalysatoren) auftritt. Anstelle des Auftretens einer riesigen Drehmomenterhebung erfolgt bei dem Verbrennungsmotor daher nun eine schrittweise Erhöhung des Drehmoments, wodurch der Übergang bei dem Verbrennungsmotordrehmoment während des DFSO-Austritts allmählicher wird.

[0094] Die vorstehend beschriebenen Systeme und Verfahren stellen ein Verfahren zum Umfassen von Folgendem während eines Austritts aus einem Schubabschaltungs(DFSO)-Zustand: Zuführen von Kraftstoff an einen Verbrennungsmotor über eine Verdichtungstakt-Direkteinspritzung (DI) an einer ersten Trennung von einem Zündfunkenereignis, bis ein Verbrennungsmotordrehmoment einen ersten Schwellenwert erreicht, anschließend Erhöhen einer Trennung zwischen der Verdichtungstakt-DI und dem Zündfunkenereignis, bis das Verbrennungsmotordrehmoment einen zweiten, höheren Schwellenwert erreicht und danach Übergehen bei der Kraftstoffzufuhr an den Verbrennungsmotor zu einer Ansaugtakt-DI. In einem ersten Beispiel für das Verfahren, kann das Verfahren zusätzlich oder alternativ beinhalten, dass es sich bei der ersten Trennung um eine gelernte Trennung handelt, die während einer vorhergehenden Verdichtungstakt-DI-Kraftstoffzufuhr an den Verbrennungsmotor vor dem DFSO-Zustand gelernt wurde. Ein zweites Beispiel für das Verfahren beinhaltet optional das erste Beispiel und beinhaltet ferner, dass es sich bei dem Verbrennungsmotordrehmoment um ein Endverbrennungsmotorausgangsdrehmoment handelt, und dass die erste Trennung ein Spitzenverbrennungsmotoraus-

gangsdrehmoment bereitstellt, das einen integrierten effektiven Mitteldruck eines Verbrennungsmotors innerhalb eines Schwellendrucks hält. Ein drittes Beispiel für das Verfahren beinhaltet optional eines oder mehrere des ersten und des zweiten Beispiels und beinhaltet ferner, dass der Verbrennungsmotor vor dem Austritt aus dem DFSO-Zustand bei abgeschalteten Kraftstoffeinspritzvorrichtungen verlangsamt wird.

[0095] Ein viertes Beispiel für das Verfahren beinhaltet optional eines oder mehrere des ersten bis dritten Beispiels und beinhaltet ferner, dass die Trennung eine Differenz zwischen einem Zeitpunkt der Kraftstoffeinspritzung und einem Zeitpunkt des Zündfunkenereignisses beinhaltet, und dass das Erhöhen der Trennung das Verstellen nach früh der Verdichtungstakt-DI, während der Zeitpunkt des Zündfunkenereignisses beibehalten wird, beinhaltet. Ein fünftes Beispiel für das Verfahren beinhaltet optional eines oder mehrere des ersten bis vierten Beispiels und beinhaltet ferner, dass das Erhöhen der Trennung das Verstellen nach spät eines Zeitpunkts des Zündfunkenereignisses, während ein Zeitpunkt der Verdichtungstakt-DI beibehalten wird, beinhaltet. Ein sechstes Beispiel für das Verfahren beinhaltet optional eines oder mehrere des ersten bis fünften Beispiels und beinhaltet ferner, dass die Kraftstoffzufuhr an den Verbrennungsmotor über die Ansaugtakt-DI die Kraftstoffzufuhr an den Verbrennungsmotor während eines Ansaugtakts eines Verbrennungsmotorzyklus, einen Zeitpunkt der Ansaugtakt-DI, der weiter nach früh verstellt von einem unteren Totpunkt eines Kolbens in dem Ansaugtakt als die Verdichtungstakt-DI von einem oberen Totpunkt des Kolbens in einem Verdichtungstakt ist, beinhaltet. Ein siebtes Beispiel für das Verfahren beinhaltet optional eines oder mehrere des ersten bis sechsten Beispiels und beinhaltet ferner, dass ein Gesamt-Luft-Kraftstoff-Verhältnis (AFR) des Verbrennungsmotors während der Verdichtungstakt-DI während des Austritts aus einem DFSO-Zustand fetter als das Gesamt-AFR des Verbrennungsmotors unter Verwendung der Verdichtungstakt-DI vor dem Austritt aus dem DFSO-Zustand ist.

[0096] Die vorstehend beschriebenen System und Verfahren stellen zudem ein Verfahren bereit, umfassend Betreiben eines Verbrennungsmotors in einem ersten Einspritzmodus vor einem Schubabschaltungs (DFS0)-Zustand, in dem Kraftstoff in einem Verdichtungstakt eingespritzt wird, um eine Anfangstrennung zwischen einem Zeitpunkt einer Verdichtungstakt-Direkteinspritzung und einem Zeitpunkt eines Zündfunkens, damit ein Verbrennungsmotordrehmoment einen ersten Drehmomentschwellenwert erreicht, Anwenden der Anfangstrennung und Betreiben des Verbrennungsmotors in dem ersten Einspritzmodus während eines Austritts aus dem DFS0-Zustand, um den ersten Drehmomentschwellenwert zu erreichen, Erhöhen einer Trennung zwischen dem Zeit-

punkt der Verdichtungstakt-Direkteinspritzung und dem Zeitpunkt des Zündfunkens, um das Verbrennungsmotordrehmoment zu erhöhen, und wenn das Verbrennungsmotordrehmoment einen zweiten, höheren Drehmomentschwellenwert erreicht, Übergehen bei dem Verbrennungsmotor von dem ersten Einspritzmodus auf einen zweiten, unterschiedlichen Einspritzmodus, bei dem Kraftstoff während eines Ansaugtakts eingespritzt wird. In einem ersten Beispiel für das Verfahren kann das Verfahren zusätzlich oder alternativ beinhalten, dass der erste Einspritzmodus vor dem DFS0-Zustand ein Luft-Kraftstoff-Verhältnis (AFR) beinhaltet, das magerer als der erste Einspritzmodus während des Austritts aus der DFS0 ist. Ein zweites Beispiel für das Verfahren beinhaltet optional das erste Beispiel und beinhaltet ferner, dass das Übergehen bei dem Verbrennungsmotor von dem ersten Einspritzmodus auf den zweiten Einspritzmodus erfolgt, wenn die Trennung eine Schwellentrennung erreicht, wobei die Schwellentrennung größer als die Anfangstrennung ist.

[0097] Ein drittes Beispiel für das Verfahren beinhaltet optional eines oder mehrere des ersten und des zweiten Beispiels und beinhaltet ferner, dass es sich bei dem ersten Drehmomentschwellenwert um ein gewünschtes Spitzenverbrennungsmotorausgangsdrehmoment handelt, wenn ein indizierter effektiver Mitteldruck (IMEP) eines Zylinders innerhalb eines Schwellendrucks liegt. Ein viertes Beispiel für das Verfahren beinhaltet optional eines oder mehrere des ersten bis dritten Beispiels und beinhaltet ferner Bestimmen des ersten Drehmomentschwellenwerts basierend auf einem oder mehreren von einer Verbrennungsmotorlast, einer Verbrennungsmotordrehzahl und einer Frühzündung. Ein fünftes Beispiel für das Verfahren beinhaltet optional eines oder mehrere des ersten bis vierten Beispiels und beinhaltet ferner, dass die Trennung eine Differenz zwischen dem Zeitpunkt der Verdichtungstakt-Direkteinspritzung und dem Zeitpunkt eines Zündfunkens beinhaltet, und dass das Erhöhen der Trennung das Verstellen nach früh des Zeitpunkts der Verdichtungstakt-Direkteinspritzung, während der Zeitpunkt des Zündfunkens beibehalten wird, beinhaltet. Ein sechstes Beispiel für das Verfahren beinhaltet optional eines oder mehrere des ersten bis fünften Beispiels und beinhaltet ferner, dass das Erhöhen der Trennung das Verstellen nach spät des Zeitpunkts des Zündfunkens, während der Zeitpunkt der Verdichtungstakt-Direkteinspritzung beibehalten wird, beinhaltet.

[0098] Die vorstehend beschriebenen Systeme und Verfahren stellen ein Fahrzeug bereit, umfassend einen Verbrennungsmotor, eine Direkteinspritzvorrichtung, die an einen Zylinder des Verbrennungsmotors gekoppelt ist, eine Zündkerze, eine Lambdasonde, einen Verbrennungsmotordrehzahlsensor, der dazu konfiguriert ist, eine Verbrennungsmotordrehzahl zu messen, und eine Steuerung mit in einem nicht-

flüchtigen Speicher gespeicherten computerlesbaren Anweisungen zu Folgendem: während eines Kraftstoffzufuhreignisses vor einem Schubabschaltungs (DFSO)-Zustands, Lernen einer ersten Trennung zwischen einer Verdichtungstakt-Direktkraftstoffeinspritzung und einem Zündzeitpunkt der Zündkerze, um ein Zieldrehmoment zu erreichen, Anwenden der ersten gelernten Trennung, um das Zieldrehmoment nach einem Austritt aus dem DFSO-Zustand zu erreichen, wenn eine Verbrennungsmotordrehzahl unter einen ersten Drehzahlschwellenwert fällt; und Erhöhen einer Trennung zwischen der Verdichtungstakt-Direktkraftstoffeinspritzung und dem Zündzeitpunkt von der ersten gelernten Trennung auf eine zweite, größere Trennung zwischen der Verdichtungstakt-Direktkraftstoffeinspritzung und dem Zündzeitpunkt und anschließendes Übergehen bei der Kraftstoffzufuhr an den Verbrennungsmotor zu einer Ansaugtakt-Direktkraftstoffeinspritzung. In einem ersten Beispiel für das System kann das System zusätzlich oder alternativ beinhalten, dass die Verdichtungstakt-Direktkraftstoffeinspritzung an einem Ende eines Verdichtungstakts erfolgt. Ein zweites Beispiel für das System beinhaltet optional das erste Beispiel und beinhaltet ferner, dass eine Ladeverteilung in dem Zylinder fetter ist, wenn der Verbrennungsmotor unter Verwendung der Verdichtungstakt-Direktkraftstoffeinspritzung betrieben wird, und dass die Ladeverteilung magerer ist, wenn der Verbrennungsmotor unter Verwendung der Ansaugtakt-Direktkraftstoffeinspritzung betrieben wird. Ein drittes Beispiel für das System beinhaltet optional eines oder mehrere des ersten und des zweiten Beispiels und beinhaltet ferner, dass die Steuerung ferner Anweisungen zu Folgendem beinhaltet: Bestimmen des Zieldrehmoments basierend auf eines oder mehrere von der Verbrennungsmotordrehzahl, einer Verbrennungsmotorlast und einem indizierten effektiven Mitteldruck (IMEP) des Zylinders, bevor der DFSO-Zustand auftritt. Ein viertes Beispiel für das System beinhaltet optional eines oder mehrere des ersten bis dritten Beispiels und beinhaltet ferner, dass die Steuerung ferner Anweisungen zu Folgendem beinhaltet: Übergehen bei der Kraftstoffzufuhr an den Verbrennungsmotor zu der Ansaugtakt-Direktkraftstoffeinspritzung, wenn die Verbrennungsmotordrehzahl einen zweiten, größeren Drehzahlschwellenwert übersteigt.

[0099] Es ist zu beachten, dass die hier beinhalten beispielhaften Steuer- und Schätzzroutinen im Zusammenhang mit verschiedenen Verbrennungsmotor- und/oder Fahrzeugsystemauslegungen verwendet werden können. Die hier offenbarten Steuerverfahren und -routinen können als ausführbare Anweisungen in einem nichtflüchtigen Speicher gespeichert und durch das Steuersystem, das die Steuerung in Kombination mit den verschiedenen Sensoren, Aktoren und sonstiger Verbrennungsmotorhardware beinhaltet, ausgeführt werden. Die hier beschriebenen konkreten Routinen können eine oder

mehrere aus einer beliebigen Anzahl von Verarbeitungsstrategien, wie etwa ereignisgesteuert, unterbrechungsgesteuert, Multitasking, Multithreading und dergleichen, darstellen. Somit können verschiedene dargestellte Handlungen, Operationen und/oder Funktionen in der dargestellten Abfolge oder parallel durchgeführt oder in manchen Fällen weggelassen werden. Gleichermaßen ist die Verarbeitungsreihenfolge nicht zwangsläufig erforderlich, um die Merkmale und Vorteile der hier beschriebenen Ausführungsbeispiele zu erzielen, sondern wird vielmehr zur Erleichterung der Veranschaulichung und Beschreibung bereitgestellt. Eine oder mehrere der veranschaulichten Handlungen, Operationen und/oder Funktionen können je nach der konkreten eingesetzten Strategie wiederholt durchgeführt werden. Ferner können die beschriebenen Handlungen, Operationen und/oder Funktionen grafisch Code darstellen, der in nichtflüchtigem Speicher des computerlesbaren Speichermediums im Verbrennungsmotorsystem zu programmieren ist, wobei die beschriebenen Handlungen durch Ausführen der Anweisungen in einem System, das die verschiedenen Verbrennungsmotorhardwarekomponenten in Kombination mit der elektronischen Steuerung beinhaltet, durchgeführt werden.

[0100] Es versteht sich, dass die hier offenbarten Auslegungen und Routinen beispielhafter Natur sind und diese konkreten Ausführungsformen nicht in einschränkendem Sinn aufzufassen sind, da zahlreiche Variationen möglich sind. Beispielsweise kann die vorstehende Technik auf V-6-, I-4-, I-6-, V-12-, 4-Zylinder-Boxer- und andere Verbrennungsmotortypen angewendet werden. Der Gegenstand der vorliegenden Offenbarung beinhaltet alle neuartigen und nicht naheliegenden Kombinationen und Unterkombinationen der unterschiedlichen Systeme und Auslegungen und weitere hier offenbarte Merkmale, Funktionen und/oder Eigenschaften.

[0101] Die folgenden Patentansprüche legen insbesondere bestimmte Kombinationen und Unterkombinationen dar, die als neuartig und nicht naheliegend betrachtet werden. Diese Ansprüche können sich auf „ein“ Element oder „ein erstes“ Element oder das Äquivalent davon beziehen. Solche Ansprüche sind so zu verstehen, dass sie die Einbeziehung eines oder mehrerer derartiger Elemente beinhalten und zwei oder mehr derartige Elemente weder erfordern noch ausschließen. Andere Kombinationen und Unterkombinationen der offenbarten Merkmale, Funktionen, Elemente und/oder Eigenschaften können durch Änderung der vorliegenden Ansprüche oder durch Einreichung neuer Ansprüche im Rahmen dieser oder einer verwandten Anmeldung beansprucht werden. Derartige Patentansprüche, egal ob sie im Vergleich zu den ursprünglichen Patentansprüchen einen weiteren, engeren, gleichen oder anderen Umfang aufweisen, werden außerdem als in dem Ge-

genstand der vorliegenden Offenbarung eingeschlossen betrachtet.

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

- US 6240354 [0004]

Patentansprüche

1. Verfahren, umfassend:

Zuführen von Kraftstoff an einen Verbrennungsmotor während eines Austritts aus einem Schubabschaltungs(DFSO)-Zustand über eine Verdichtungstakt-Direkteinspritzung (DI) an einer ersten Trennung von einem Zündfunkenereignis, bis ein Verbrennungsmotordrehmoment einen ersten Schwellenwert erreicht, anschließend Erhöhen einer Trennung zwischen der Verdichtungstakt-DI und dem Zündfunkenereignis, bis das Verbrennungsmotordrehmoment einen zweiten, höheren Schwellenwert erreicht und danach Übergehen bei der Kraftstoffzufuhr an den Verbrennungsmotor zu einer Ansaugtakt-DI.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei es sich bei der ersten Trennung um eine gelernte Trennung handelt, die während einer vorhergehenden Verdichtungstakt-DI-Kraftstoffzufuhr an den Verbrennungsmotor gelernt wurde, die vor dem DFSO-Zustand erfolgte.

3. Verfahren nach Anspruch 1, wobei es sich bei dem Verbrennungsmotordrehmoment um ein Endverbrennungsmotorausgangsdrehmoment handelt, und wobei die erste Trennung ein Spitzenverbrennungsmotorausgangsdrehmoment bereitstellt, das einen integrierten effektiven Mitteldruck eines Verbrennungsmotorzylinders innerhalb eines Schwellendrucks hält.

4. Verfahren nach Anspruch 1, wobei vor dem Austritt aus dem DFSO-Zustand der Verbrennungsmotor verlangsamt wird, wobei die Kraftstoffeinspritzvorrichtungen abgeschaltet sind.

5. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die Trennung eine Differenz zwischen einem Zeitpunkt der Kraftstoffeinspritzung und einem Zeitpunkt des Zündfunkenereignisses beinhaltet, und wobei das Erhöhen der Trennung das Verstellen nach früh der Verdichtungstakt-DI, während der Zeitpunkt des Zündfunkenereignisses beibehalten wird, beinhaltet.

6. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das Erhöhen der Trennung Verstellen nach spät eines Zeitpunkts des Zündfunkenereignisses, während ein Zeitpunkt der Verdichtungstakt-DI beibehalten wird, beinhaltet.

7. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die Kraftstoffzufuhr an den Verbrennungsmotor über die Ansaugtakt-DI die Kraftstoffzufuhr an den Verbrennungsmotor während eines Ansaugtakts eines Verbrennungsmotorzyklus beinhaltet, wobei ein Zeitpunkt der Ansaugtakt-DI weiter nach früh verstellt von einem unteren Totpunkt eines Kolbens in dem Ansaugtakt als die Verdichtungstakt-DI von einem oberen Totpunkt des Kolbens in einem Verdichtungstakt ist.

8. Verfahren nach Anspruch 1, wobei ein Gesamt-Luft-Kraftstoff-Verhältnis (AFR) des Verbrennungsmotors während der Verdichtungstakt-DI während des Austritts aus einem DFSO-Zustand fetter als das Gesamt-AFR des Verbrennungsmotors unter Verwendung der Verdichtungstakt-DI vor dem Austritt aus dem DFSO-Zustand ist.

9. System für ein Fahrzeug, umfassend:

einen Verbrennungsmotor;
eine Direkteinspritzvorrichtung, die an einen Zylinder des Verbrennungsmotors gekoppelt ist;
eine Zündkerze;
einen Verbrennungsmotordrehzahlsensor, der dazu konfiguriert ist, eine Verbrennungsmotordrehzahl zu messen;

und

eine Steuerung mit auf einem nichtflüchtigen Speicher gespeicherten computerlesbaren Anweisungen zu Folgendem:

während eines Kraftstoffzufuhreignisses vor einem Schubabschaltungs(DFSO)-Zustand, Lernen einer ersten Trennung zwischen einer Verdichtungstakt-Direktkraftstoffeinspritzung und einem Zündzeitpunkt der Zündkerze, um ein Zieldrehmoment zu erreichen; Anwenden der gelernten ersten Trennung, um das Zieldrehmoment nach einem Austritt aus dem DFSO-Zustand zu erreichen, wenn die Verbrennungsmotordrehzahl unter einen ersten Drehzahlschwellenwert fällt; und

Erhöhen einer Trennung zwischen der Verdichtungstakt-Direktkraftstoffeinspritzung und dem Zündzeitpunkt von der gelernten ersten Trennung auf eine zweite, größere Trennung zwischen der Verdichtungstakt-Direktkraftstoffeinspritzung und dem Zündzeitpunkt und anschließendes Übergehen bei der Kraftstoffzufuhr an den Verbrennungsmotor zu einer Ansaugtakt-Direktkraftstoffeinspritzung.

10. System nach Anspruch 9, wobei die Verdichtungstakt-Direktkraftstoffeinspritzung an einem Ende eines Verdichtungtakts erfolgt.

11. System nach Anspruch 9, wobei eine Ladeverteilung in dem Zylinder fetter ist, wenn der Verbrennungsmotor unter Verwendung der Verdichtungstakt-Direktkraftstoffeinspritzung betrieben wird, und wobei die Ladeverteilung magerer ist, wenn der Verbrennungsmotor unter Verwendung der Ansaugtakt-Direktkraftstoffeinspritzung betrieben wird.

12. System nach Anspruch 9, wobei die Steuerung ferner Anweisungen zu Folgendem beinhaltet: Bestimmen des Zieldrehmoments basierend auf einem oder mehreren von der Verbrennungsmotordrehzahl, einer Verbrennungsmotorlast und einem indizierten effektiven Mitteldruck (IMEP) des Zylinders, bevor der DFSO-Zustand auftritt.

13. System nach Anspruch 9, wobei die Steuerung ferner Anweisungen zu Folgendem beinhaltet: Übergehen bei der Kraftstoffzufuhr an den Verbrennungsmotor zu der Ansaugtakt-Direktkraftstoffeinspritzung, wenn die Verbrennungsmotordrehzahl einen zweiten, größeren Drehzahlschwellenwert übersteigt.

14. System nach Anspruch 9, wobei die Steuerung ferner Anweisungen zu Folgendem beinhaltet: Kraftstoffzufuhr an den Verbrennungsmotor während des Kraftstoffzufuhreignisses vor dem DFSO-Zustand bei einem Luft-Kraftstoff-Verhältnis (AFR), das magerer als die Kraftstoffzufuhr während eines Austritts aus dem DFSO-Zustand ist.

15. System nach Anspruch 9, wobei es sich bei dem Zieldrehmoment um ein gewünschtes Spitzenverbrennungsmotorausgangsdrehmoment handelt, wenn ein indizierter effektiver Mitteldruck (IMEP) des Zylinders innerhalb eines Schwellendrucks liegt.

Es folgen 5 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

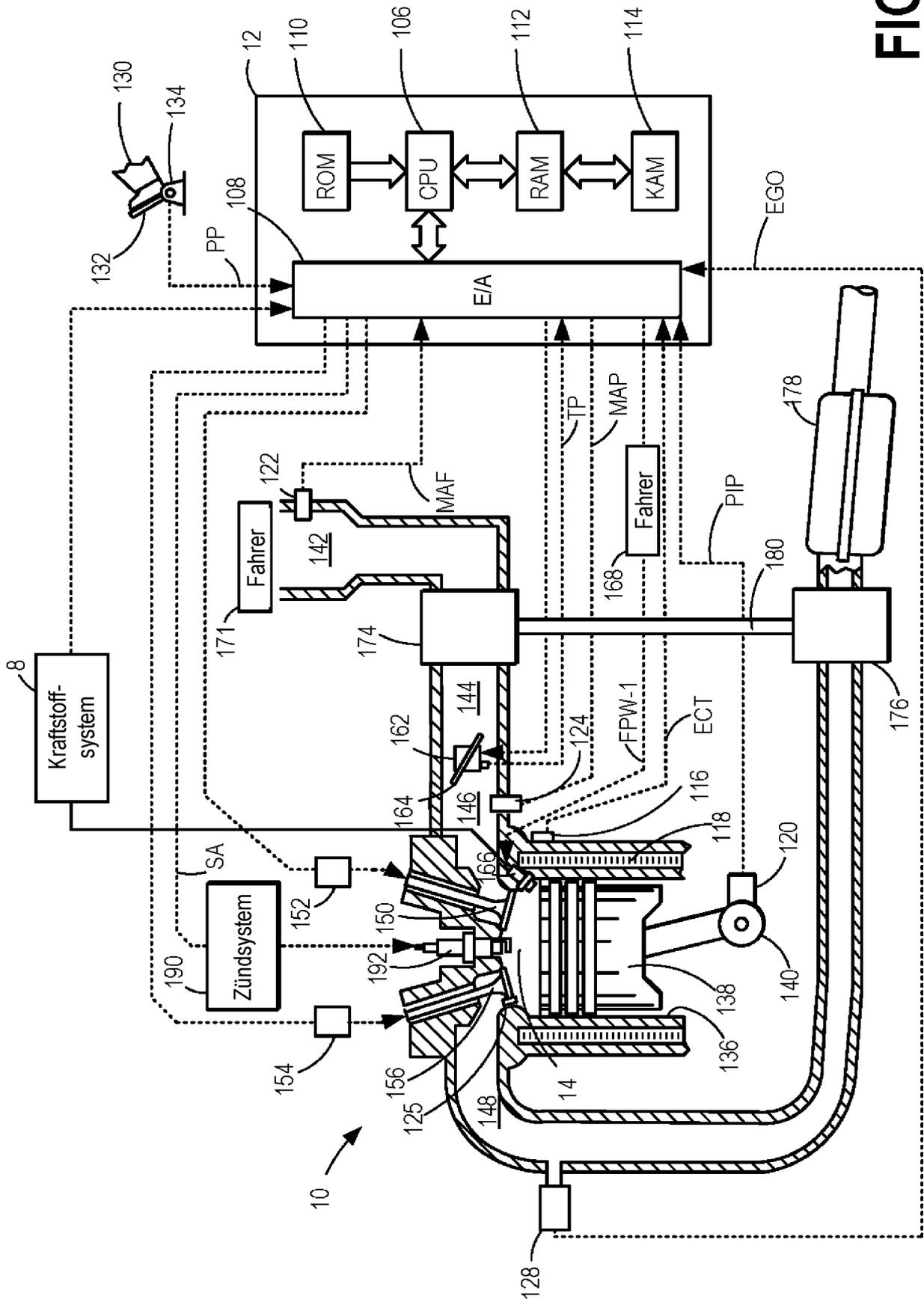


FIG. 1

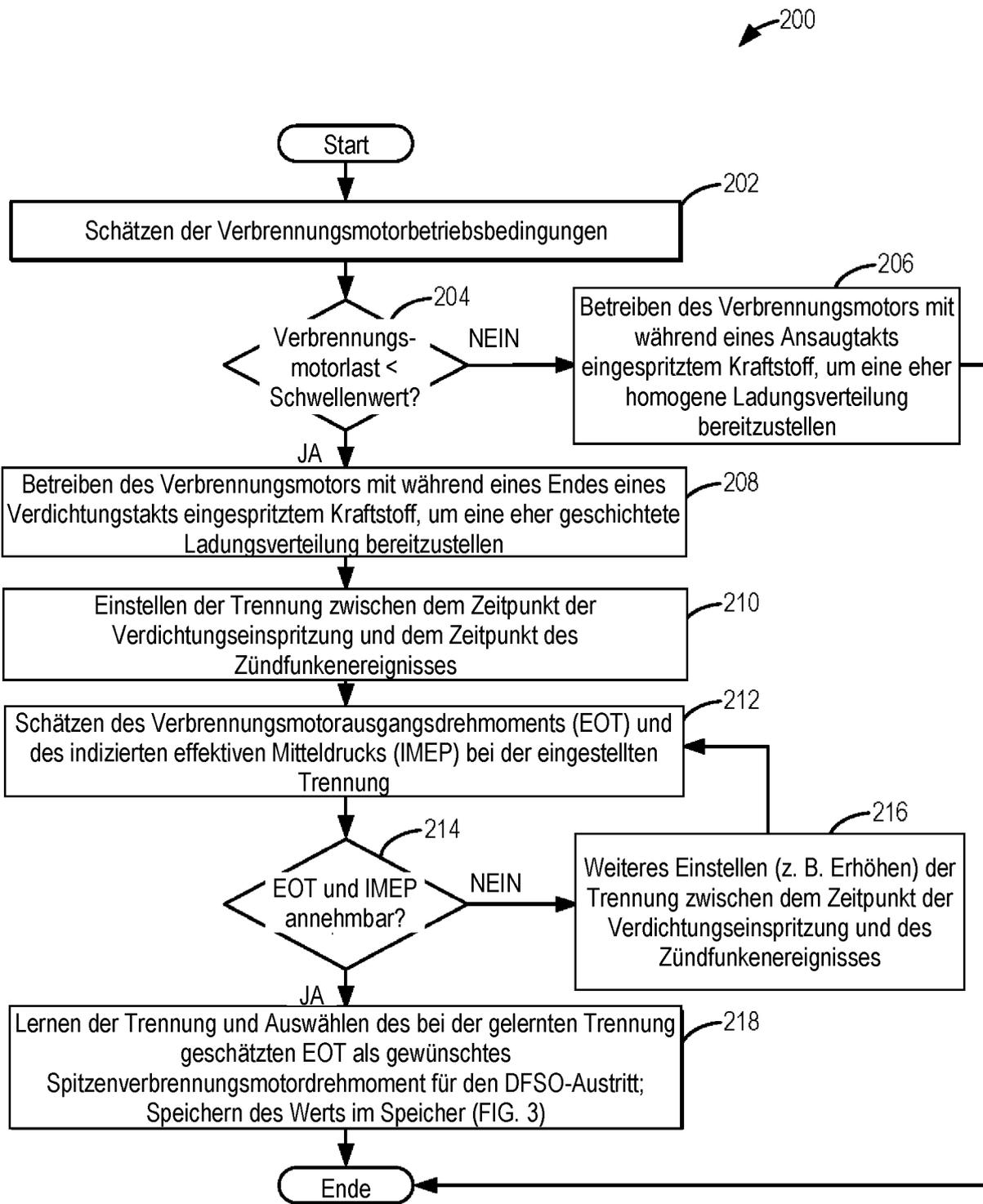


FIG. 2

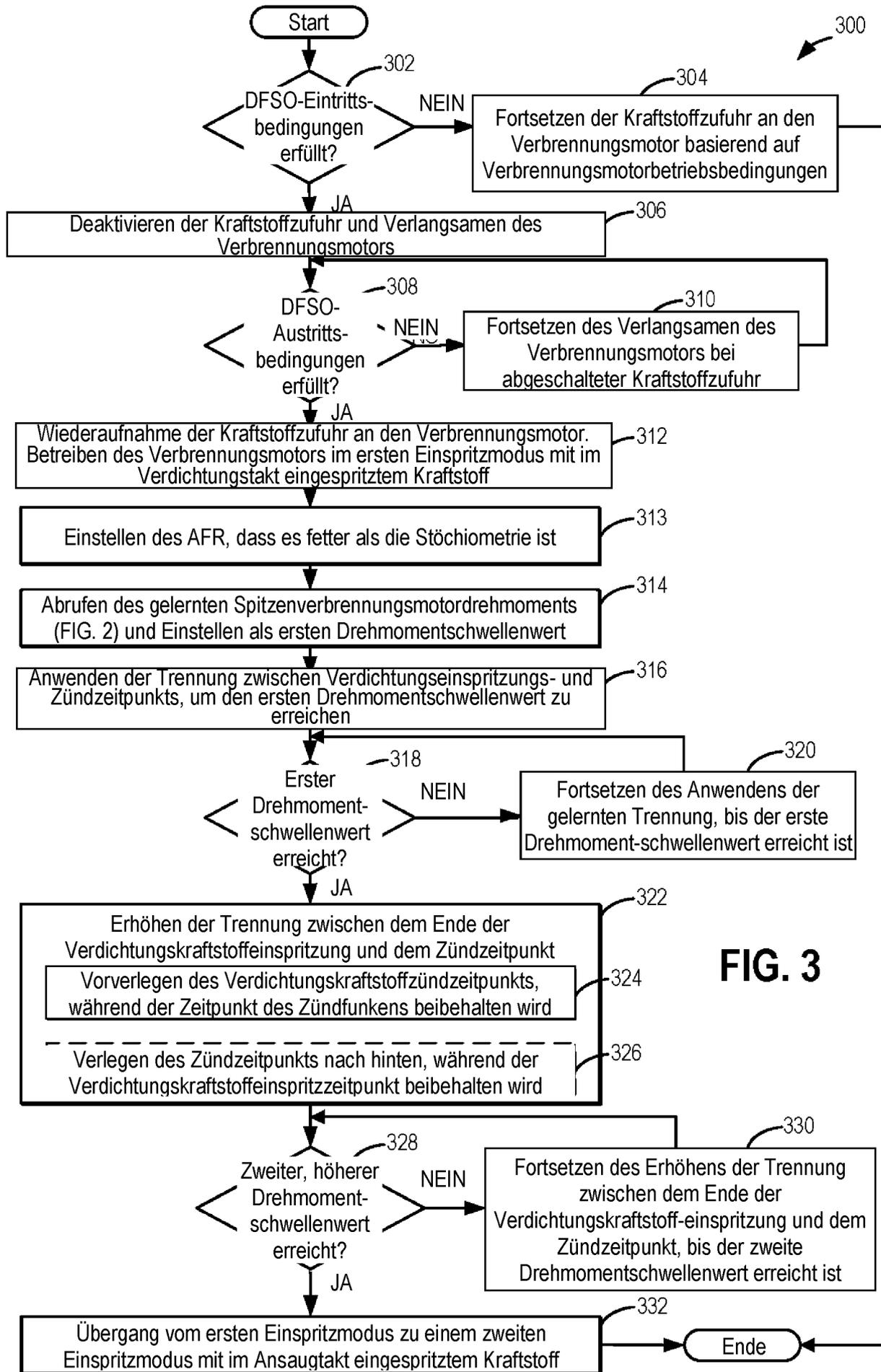


FIG. 3

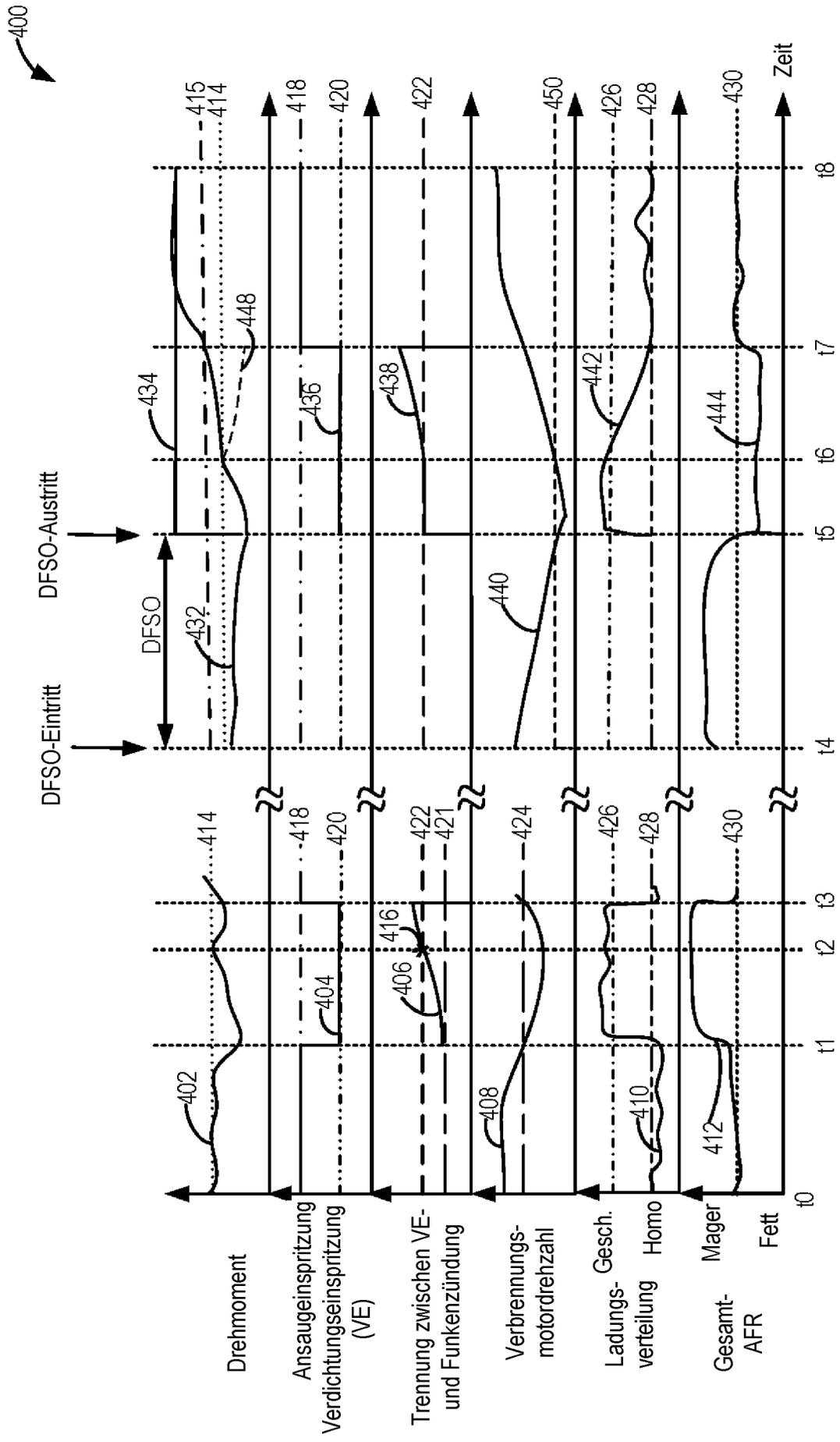


FIG. 4

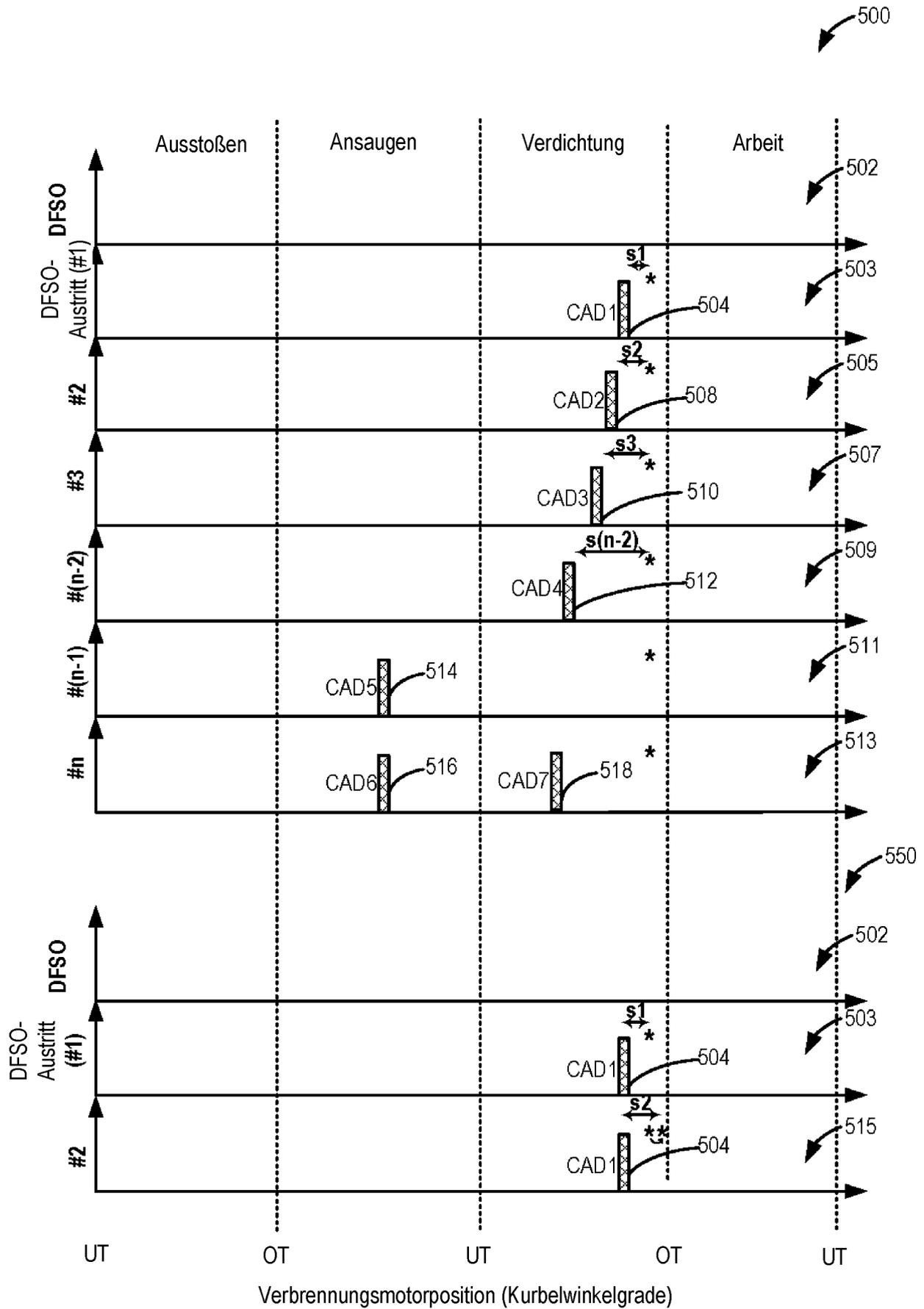


FIG. 5