



**Beschreibung**

## GEBIET

**[0001]** Die vorliegende Offenbarung betrifft Verbrennungsmotoren und insbesondere Systeme und Verfahren zur Steuerung von Ventilphasenstellern.

## HINTERGRUND

**[0002]** Verbrennungsmotoren verbrennen ein Luft- und Kraftstoffgemisch in Zylindern, um Kolben anzutreiben, was ein Antriebsdrehmoment erzeugt. Eine Luftströmung in den Motor wird mittels einer Drossel geregelt. Speziell stellt die Drossel eine Drosselfläche ein, was die Luftströmung in den Motor vergrößert oder verkleinert. Wenn die Drosselfläche zunimmt, nimmt die Luftströmung in den Motor zu. Ein Kraftstoffsteuersystem stellt die Rate ein, mit der Kraftstoff eingespritzt wird, um ein Soll-Luft/Kraftstoffgemisch an die Zylinder zu liefern und/oder eine Soll-Drehmomentabgabe zu erreichen. Eine Erhöhung der Menge an Luft und Kraftstoff, die an die Zylinder geliefert werden, vergrößert die Drehmomentabgabe des Motors.

**[0003]** Bei Motoren mit Funkenzündung löst ein Zündfunken die Verbrennung eines Luft/Kraftstoffgemischs aus, das an die Zylinder geliefert wird. Bei Motoren mit Kompressionszündung verbrennt die Kompression in den Zylindern das Luft/Kraftstoffgemisch, das an die Zylinder geliefert wird. Der Zündfunkenzeitpunkt und die Luftströmung können die primären Mechanismen zum Einstellen der Drehmomentabgabe der Motoren mit Funkenzündung sein, während die Kraftstoffströmung der primäre Mechanismus zum Einstellen der Drehmomentabgabe der Motoren mit Kompressionszündung sein kann.

**[0004]** Motorsteuersysteme wurden entwickelt, um das Motorausgangsdrehmoment zum Erreichen eines Soll-Drehmoment zu steuern. Herkömmliche Motorsteuersysteme steuern das Motorausgangsdrehmoment jedoch nicht so genau wie gewünscht. Ferner liefern herkömmliche Motorsteuersysteme kein schnelles Ansprechen auf Steuersignale oder stimmen die Motordrehmomentsteuerung nicht zwischen verschiedenen Einrichtungen ab, die das Motorausgangsdrehmoment beeinflussen.

**[0005]** In der DE 10 2004 029 314 A1 ist ein Steuersystem für einen Verbrennungsmotor beschrieben, bei welchem für das Ende einer Getriebeumschaltung ein Soll-Ausgangsdrehmoment anhand der Betätigung eines Gaspedals ermittelt wird. Der Hub sowie die Betätigungszeit eines Einlassventils des Motors werden anschließend derart eingestellt, dass das Soll-Ausgangsdrehmoment erreicht wird und eine weiche Änderung des Ist-Ausgangsdrehmoments erfolgt.

**[0006]** Die DE 196 53 231 A1 beschreibt ebenfalls ein Steuersystem für einen Verbrennungsmotor, bei welchem eine Zieldrehzahl des Motors nach einem Gangwechsel ermittelt und eine kombinierte Steuerung der Luftfüllung und der Steuerzeiten von Einlass- und Auslassventilen durchgeführt wird, um die Zieldrehzahl zu erreichen.

**[0007]** Eine Aufgabe der Erfindung besteht darin, ein Steuersystem für einen Motor mit variabler Ventilsteuerung von Einlass- und Auslassventilen zu schaffen, mit welchem eine Abweichung der Fahrzeugbeschleunigung von einer Soll-Fahrzeugbeschleunigung unmittelbar nach einem Gangwechsel vermeidbar ist.

## ZUSAMMENFASSUNG

**[0008]** Diese Aufgabe wird durch ein Motorsteuersystem mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst.

**[0009]** Das Motorsteuersystem umfasst ein Trägheitsphasen-Detektionsmodul, ein Optimalwert-Motordrehzahlmodul (FF-Motordrehzahlmodul), ein FF-APC-Modul, ein FF-Phasenstellerpositionsmodul und ein Phasensteller-Steuermodul. Das Trägheitsphasen-Detektionsmodul ermittelt, wann eine Trägheitsphase eines Gangwechsels in einem Getriebe auftritt. Das FF-Motordrehzahlmodul sagt eine Motordrehzahl für eine zukünftige Zeit voraus, zu der die Trägheitsphase endet. Das FF-APC-Modul sagt eine Luft pro Zylinder (APC) für die zukünftige Zeit basierend auf der Motordrehzahl voraus. Das FF-Phasenstellerpositionsmodul ermittelt eine FF-Phasenstellerposition basierend auf der Motordrehzahl und der APC. Das Phasensteller-Steuermodul steuert eine Nockenwellen-Phasenstellerposition während der Trägheitsphase des Gangwechsels basierend auf der FF-Phasenstellerposition.

**[0010]** Ein nicht beanspruchtes Motorsteuerverfahren umfasst: dass ermittelt wird, wann eine Trägheitsphase eines Gangwechsels in einem Getriebe auftritt; dass eine Motordrehzahl für eine zukünftige Zeit vorausgesagt wird, zu der die Trägheitsphase endet; dass eine Luft pro Zylinder (APC) für die zukünftige Zeit basierend auf der Motordrehzahl vorausgesagt wird; dass eine Optimalwert-Phasenstellerposition (FF-Phasenstellerposition) basierend auf der Motordrehzahl und der APC ermittelt wird; und dass eine Nockenwellen-Phasenstellerposition während der Trägheitsphase des Gangwechsels basierend auf der FF-Phasenstellerposition gesteuert wird.

**[0011]** Gemäß noch anderen Merkmalen werden die vorstehend beschriebenen Systeme und Verfahren durch ein Computerprogramm implementiert, das durch einen oder mehrere Prozessoren ausgeführt wird. Das Computerprogramm kann sich auf einem zugreifbaren, computerlesbaren Medium befinden.

den, wie beispielsweise einem Speicher, einem nicht flüchtigen Datenspeicher und/oder anderen geeigneten zugreifbaren Speichermedien, ohne auf diese beschränkt zu sein.

#### KURZBESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

**[0012]** Die vorliegende Offenbarung wird anhand der ausführlichen Beschreibung und der begleitenden Zeichnungen verständlicher werden, wobei:

**[0013]** Fig. 1 ein Funktionsblockdiagramm eines beispielhaften Motorsystems gemäß den Prinzipien der vorliegenden Offenbarung ist;

**[0014]** Fig. 2 ein Funktionsblockdiagramm eines beispielhaften Motorsteuersystems gemäß den Prinzipien der vorliegenden Offenbarung ist;

**[0015]** Fig. 3 ein Funktionsblockdiagramm eines beispielhaften Luftsteuermoduls gemäß den Prinzipien der vorliegenden Offenbarung ist;

**[0016]** Fig. 4 ein Funktionsblockdiagramm eines beispielhaften Phasensteller-Zeitplanungsmoduls gemäß den Prinzipien der vorliegenden Offenbarung ist;

**[0017]** Fig. 5 eine beispielhafte Graphik einer Motordrehzahl, einer angewiesenen Phasenstellerposition, einer Ist-Phasenstellerposition und einer Beschleunigung als Funktionen der Zeit gemäß den Prinzipien der vorliegenden Offenbarung ist;

**[0018]** Fig. 6 eine beispielhafte Graphik verschiedener Phasenstellerpositionen als eine Funktion der Zeit ohne Optimalwert-Phasenstellerpositionsteuerung (FF-Phasenstellerpositionsteuerung) gemäß den Prinzipien der vorliegenden Offenbarung ist;

**[0019]** Fig. 7 eine beispielhafte Graphik verschiedener Phasenstellerpositionen als eine Funktion der Zeit mit FF-Phasenstellerpositionsteuerung gemäß den Prinzipien der vorliegenden Offenbarung ist; und

**[0020]** Fig. 8 ein Flussdiagramm ist, die beispielhafte Schritte darstellt, die durch Verfahren gemäß den Prinzipien der vorliegenden Offenbarung ausgeführt werden.

#### AUSFÜHRLICHE BESCHREIBUNG

**[0021]** Zu Zwecken der Klarheit werden die gleichen Bezugszeichen in den Zeichnungen verwendet, um ähnliche Elemente zu identifizieren. Wie hierin verwendet, sollte die Formulierung A, B und/oder C derart ausgelegt werden, dass sie ein logisches (A oder B oder C) unter Verwendung eines nicht exklusiven logischen Oders bedeutet. Es versteht sich, dass Schritte innerhalb eines Verfahrens in unterschiedlicher Reihenfolge ausgeführt werden können, ohne

die Prinzipien der vorliegenden Offenbarung zu verändern.

**[0022]** Wie hierin verwendet, bezieht sich der Ausdruck Modul auf einen anwendungsspezifischen integrierten Schaltkreis (ASIC), einen elektronischen Schaltkreis, einen Prozessor (gemeinsam genutzt, fest zugeordnet oder als Gruppe) und einen Speicher, die ein oder mehrere Software- oder Firmwareprogramme ausführen, einen Schaltkreis der Schaltungslogik und/oder andere geeignete Komponenten, welche die beschriebene Funktionalität bereitstellen.

**[0023]** Die Verbrennung eines Luft/Kraftstoffgemischs in einem Motor treibt die Drehung einer Kurbelwelle an und erzeugt ein Drehmoment. Der Motor überträgt das Drehmoment auf ein Getriebe, und das Getriebe überträgt das Drehmoment mittels eines Endantriebs auf Räder des Fahrzeugs. Ein Gang (oder ein Übersetzungsverhältnis), der bzw. das in dem Getriebe ausgewählt ist, entspricht einem Verhältnis einer Getriebe-Eingangswellendrehzahl zu einer Getriebe-Ausgangswellendrehzahl. Auf diese Weise steuert der Gang, der in dem Getriebe ausgewählt ist, wie viel von dem Drehmoment, das von dem Motor abgegeben wird, auf die Räder des Fahrzeugs übertragen wird.

**[0024]** Fig. 1 umfasst ein beispielhaftes Motorsystem, und Fig. 2 umfasst ein beispielhaftes Steuermodul, welches das Motorsystem steuert. Das Steuermodul steuert im Allgemeinen einen Einlass und/oder eine Nockenwellen-Phasenstellerposition basierend auf einer Motordrehzahl, die durch einen Motordrehzahlsensor gemessen wird, und basierend auf einer Zielmenge einer Luft pro Zylinder (APC). Speziell ermittelt das Steuermodul eine Ziel-Phasenstellerposition basierend auf der Motordrehzahl und der Ziel-APC, und es steuert die Einlass- und/oder die Auslassnockenwellen-Phasenstellerposition basierend auf der Ziel-Phasenstellerposition.

**[0025]** Während eines Gangwechsels von einem momentanen Gang (oder Übersetzungsverhältnis) in einen nächsten Gang bewirkt die Trägheit, dass die Motordrehzahl basierend auf einem Übersetzungsverhältnis, das dem nächsten Gang zugeordnet ist, schnell zunimmt oder abnimmt. Lediglich beispielhaft nimmt die Motordrehzahl bei einer gegebenen Fahrzeuggeschwindigkeit während eines Hochschaltens (z. B. von einem zweiten Gang in einen dritten Gang) ab, und sie nimmt während eines Herunterschaltens zu.

**[0026]** Lediglich zu Erläuterungszwecken kann gesagt werden, dass ein gegebener Gangwechsel aus zwei aufeinander folgenden Phasen besteht: einer Drehmomentphase und einer Trägheitsphase. Während der Drehmomentphase bleibt die Motordrehzahl relativ dieselbe, während das Getriebe vorbereitet

wird, um in den nächsten Gang zu wechseln. Während der Trägheitsphase wird der nächste Gang eingelegt, und die Trägheit des Fahrzeugs erhöht oder verringert die Motordrehzahl, wenn der nächste Gang eingelegt wird.

**[0027]** Das Steuern der Einlass- und/oder der Auslassnockenwellen-Phasenstellerposition während der Trägheitsphase des Gangwechsels basierend auf der Ziel-Phasenstellerposition kann jedoch die Fahrzeugbeschleunigung begrenzen, wenn die Trägheitsphase endet, sobald der nächste Gang eingelegt ist. Spezieller kann das Steuern der Einlass- und/oder der Auslassnockenwellen-Phasenstellerposition basierend auf der Ziel-Phasenstellerposition während der Trägheitsphase dazu führen, dass die Einlass- und/oder die Auslassnockenwellen-Phasenstellerposition die Zielposition erreicht, nachdem die Trägheitsphase beendet ist. Dass die Einlass- und/oder die Auslassnockenwellen-Phasenstellerposition die Ziel-Phasenstellerposition erreicht, nachdem die Trägheitsphase beendet ist, kann wiederum verhindern, dass die Ist-APC die Ziel-APC erreicht. **Fig. 5** und **Fig. 6** umfassen beispielhafte Darstellungen dieses Phänomens.

**[0028]** Das Steuermodul der vorliegenden Offenbarung ermittelt eine Optimalwert-APC (FF-APC) und eine FF-Motordrehzahl, wenn die Trägheitsphase des Gangwechsels endet. Die FF-APC entspricht einem vorausgesagten Wert der Ziel-APC, wenn die Trägheitsphase des Gangwechsels endet, und die FF-Motordrehzahl entspricht einem vorausgesagten Wert der Motordrehzahl, wenn die Trägheitsphase des Gangwechsels endet. **Fig. 3** umfasst ein beispielhaftes Modul, das die FF-APC und die FF-Motordrehzahl ermittelt.

**[0029]** Das Steuermodul ermittelt eine FF-Phasenstellerposition basierend auf der FF-APC und der FF-Motordrehzahl und steuert die Einlass- und/oder die Auslassnockenwellen-Phasenstellerposition basierend auf der FF-Phasenstellerposition während der Trägheitsphase des Gangwechsels. **Fig. 4** umfasst ein beispielhaftes Modul, das die FF-Phasenstellerposition basierend auf der FF-APC und der FF-Motordrehzahl ermittelt. **Fig. 5** und **Fig. 7** umfassen beispielhafte Darstellungen des Steuerns der Einlass- und/oder der Auslassnockenwellen-Phasenstellerposition basierend auf der FF-Phasenstellerposition während der Trägheitsphase des Gangwechsels. **Fig. 8** umfasst ein beispielhaftes Verfahren zum Steuern der Einlass- und/oder der Auslassnockenwellen-Phasenstellerposition basierend auf der FF-Phasenstellerposition während der Trägheitsphase des Gangwechsels.

**[0030]** Nun auf **Fig. 1** Bezug nehmend, ist ein Funktionsblockdiagramm eines beispielhaften Motorsystems **100** dargestellt. Das Motorsystem **100** weist ei-

nen Motor **102** auf, der ein Luft/Kraftstoffgemisch verbrennt, um ein Antriebsdrehmoment für ein Fahrzeug basierend auf einer Fahrereingabe von einem Fahrereingabemodul **104** zu erzeugen. Luft wird durch ein Drosselventil **112** in einen Einlasskrümmer **110** eingelassen. Lediglich beispielhaft kann das Drosselventil **112** ein Schmetterlingsventil mit einem rotierbaren Blatt umfassen. Ein Motorsteuermodul (ECM) **114** steuert ein Drossel-Aktuatomodul **116**, welches das Öffnen des Drosselventils **112** regelt, um die Luftmenge zu steuern, die in den Einlasskrümmer **110** eingelassen wird.

**[0031]** Luft aus dem Einlasskrümmer **110** wird in Zylinder des Motors **102** eingelassen. Obgleich der Motor **102** mehr als einen Zylinder aufweisen kann, ist zu Darstellungszwecken ein einzelner repräsentativer Zylinder **118** gezeigt. Lediglich beispielhaft kann der Motor **102** 2, 3, 4, 5, 6, 8, 10 und/oder 12 Zylinder aufweisen. Das ECM **114** kann ein Zylinder-Aktuatomodul **120** anweisen, einige der Zylinder selektiv zu deaktivieren, was die Kraftstoffwirtschaftlichkeit unter bestimmten Motorbetriebsbedingungen verbessern kann.

**[0032]** Der Motor **102** kann unter Verwendung eines Viertaktzyklus arbeiten. Die vier Takte, die nachstehend beschrieben sind, werden als der Einlasstakt, der Kompressionstakt, der Verbrennungstakt und der Auslasstakt bezeichnet. Während jeder Umdrehung einer Kurbelwelle (nicht gezeigt) treten zwei der vier Takte in dem Zylinder **118** auf. Daher sind zwei Kurbelwellenumdrehungen für den Zylinder **118** notwendig, um alle vier der Takte zu durchlaufen.

**[0033]** Während des Einlasstakts wird Luft aus dem Einlasskrümmer **110** durch ein Einlassventil **122** in den Zylinder **118** eingelassen. Das ECM **114** steuert ein Kraftstoff-Aktuatomodul **124**, das die Kraftstoffeinspritzung regelt, um ein Soll-Luft/Kraftstoffverhältnis zu erreichen. Kraftstoff kann an einem zentralen Ort oder an mehreren Orten, wie z. B. in der Nähe des Einlassventils **122** jedes der Zylinder, in den Einlasskrümmer **110** eingespritzt werden. Bei verschiedenen Implementierungen (nicht gezeigt) kann Kraftstoff direkt in die Zylinder oder in Mischkammern, die den Zylindern zugeordnet sind, eingespritzt werden. Das Kraftstoff Aktuatomodul **124** kann die Einspritzung von Kraftstoff in die Zylinder stoppen, die deaktiviert sind.

**[0034]** Der eingespritzte Kraftstoff vermischt sich mit Luft und erzeugt ein Luft/Kraftstoffgemisch in dem Zylinder **118**. Während des Kompressionstakts komprimiert ein Kolben (nicht gezeigt) in dem Zylinder **118** das Luft/Kraftstoffgemisch. Der Motor **102** kann ein Motor mit Kompressionszündung sein, in welchem Fall die Kompression in dem Zylinder **118** das Luft/Kraftstoffgemisch zündet. Alternativ kann der Motor **102** ein Motor mit Funkenzündung sein, in welchem

Fall ein Zündfunken-Aktuatoremodul **126** eine Zündkerze **128** in dem Zylinder **118** basierend auf einem Signal von dem ECM **114** aktiviert, welche das Luft/Kraftstoffgemisch zündet. Der Zeitpunkt des Zündfunkens kann relativ zu der Zeit spezifiziert werden, zu der sich der Kolben an seiner obersten Position befindet, die als oberer Totpunkt (TDC) bezeichnet wird.

**[0035]** Das Zündfunken-Aktuatoremodul **126** kann durch ein Zeitpunktsignal gesteuert werden, das spezifiziert, wie weit vor oder nach dem TDC der Zündfunken erzeugt werden soll. Da die Kolbenposition mit der Kurbelwellenposition in direkter Beziehung steht, kann der Betrieb des Zündfunken-Aktuatoremoduls **126** mit dem Kurbelwellenwinkel synchronisiert werden. Bei verschiedenen Implementierungen kann das Zündfunken-Aktuatoremodul **126** die Lieferung des Zündfunkens an die deaktivierten Zylinder stoppen.

**[0036]** Die Erzeugung des Zündfunkens kann als ein Zündungsereignis bezeichnet werden. Das Zündfunken-Aktuatoremodul **126** kann die Fähigkeit aufweisen, den Zeitpunkt des Zündfunkens für jedes Zündungsereignis zu variieren. Zusätzlich kann das Zündfunken-Aktuatoremodul **126** die Fähigkeit aufweisen, den Zeitpunkt des Zündfunkens für ein gegebenes Zündungsereignis sogar dann zu variieren, wenn eine Änderung in dem Zeitpunktsignal nach dem Zündungsereignis unmittelbar vor dem gegebenen Zündungsereignis empfangen wird.

**[0037]** Während des Verbrennungstakts treibt die Verbrennung des Luft/Kraftstoffgemischs den Kolben abwärts, wodurch die Kurbelwelle angetrieben wird. Der Verbrennungstakt kann als die Zeit zwischen dem Erreichen des TDC durch den Kolben und der Zeit definiert werden, zu welcher der Kolben zu einem unteren Totpunkt (BDC) zurückkehrt.

**[0038]** Während des Auslasstakts beginnt der Kolben, sich wieder von dem BDC aufwärts zu bewegen, und er treibt die Nebenprodukte der Verbrennung durch ein Auslassventil **130** heraus. Die Nebenprodukte der Verbrennung werden mittels eines Abgassystems **134** aus dem Fahrzeug ausgestoßen.

**[0039]** Das Einlassventil **122** kann durch eine Einlassnockenwelle **140** gesteuert werden, während das Auslassventil **130** durch eine Auslassnockenwelle **142** gesteuert werden kann. Bei verschiedenen Implementierungen können mehrere Einlassnockenwellen (einschließlich der Einlassnockenwelle **140**) mehrere Einlassventile (einschließlich des Einlassventils **122**) für den Zylinder **118** und/oder die Einlassventile (einschließlich des Einlassventils **122**) mehrerer Reihen von Zylindern (einschließlich des Zylinders **118**) steuern. Auf ähnliche Weise können mehrere Auslassnockenwellen (einschließlich der Aus-

lassnockenwelle **142**) mehrere Auslassventile für den Zylinder **118** und/oder die Auslassventile (einschließlich des Auslassventils **130**) mehrerer Reihen von Zylindern (einschließlich des Zylinders **118**) steuern. Bei verschiedenen Implementierungen kann eine Nockenwelle das Einlassventil **122** und das Auslassventil **130** steuern.

**[0040]** Das Zylinder-Aktuatoremodul **120** kann den Zylinder **118** deaktivieren, indem das Öffnen des Einlassventils **122** und/oder des Auslassventils **130** abgeschaltet wird. Bei verschiedenen anderen Implementierungen können das Einlassventil **122** und/oder das Auslassventil **130** durch andere Einrichtungen als Nockenwellen gesteuert werden, wie beispielsweise durch elektromagnetische Aktuatoren.

**[0041]** Die Zeit, zu der das Einlassventil **122** geöffnet wird, kann durch einen Einlass-Nockenphasensteller **148** bezogen auf die TDC-Position variiert werden. Die Zeit, zu der das Auslassventil **130** geöffnet wird, kann durch einen Auslass-Nockenphasensteller **150** bezogen auf die TDC-Position variiert werden. Ein Phasensteller-Aktuatoremodul **158** kann den Einlass-Nockenphasensteller **148** und den Auslass-Nockenphasensteller **150** basierend auf einer angewiesenen Phasenstellerposition von dem ECM **114** steuern. Wenn der Einlass- und der Auslass-Nockenphasensteller **148** und **150** unabhängig steuerbar sind, kann das ECM das Phasensteller-Aktuatoremodul **158** mit mehr als einer angewiesenen Phasenstellerposition versorgen. Wenn er implementiert ist, kann ein variabler Ventilhub (nicht gezeigt) ebenso durch das Phasensteller-Aktuatoremodul **158** gesteuert werden.

**[0042]** Das Motorsystem **100** kann eine Ladedruckeinrichtung aufweisen, die unter Druck stehende Luft an den Einlasskrümmer **110** liefert. Beispielsweise zeigt **Fig. 1** einen Turbolader, der eine heiße Turbine **160-1** aufweist, die durch heiße Abgase angetrieben wird, die durch das Abgassystem **134** strömen. Der Turbolader weist auch einen von der Turbine **160-1** angetriebenen Kompressor **160-2** für kalte Luft auf, der Luft komprimiert, die in das Drosselventil **112** geführt wird. Bei verschiedenen Implementierungen kann ein von der Kurbelwelle angetriebener Turbokompressor (nicht gezeigt) Luft von dem Drosselventil **112** komprimieren und die komprimierte Luft an den Einlasskrümmer **110** liefern.

**[0043]** Ein Ladedruck-Regelventil **162** kann dem Abgas ermöglichen, an der Turbine **160-1** vorbeizuströmen, wodurch der Ladedruck (der Betrag der Einlassluftkompression) des Turboladers verringert wird. Das ECM **114** kann den Turbolader mittels eines Ladedruck-Aktuatoremoduls **164** steuern. Das Ladedruck-Aktuatoremodul **164** kann den Ladedruck des Turboladers modulieren, indem die Position des Ladedruck-Regelventils **162** gesteuert wird. Bei verschiedenen Implementierungen können mehrere

Turbolader durch das Ladedruck-Aktuormodul **164** gesteuert werden. Der Turbolader kann eine variable Geometrie aufweisen, die durch das Ladedruck-Aktuormodul **164** gesteuert werden kann.

**[0044]** Ein Zwischenkühler (nicht gezeigt) kann einen Teil der in der komprimierten Luftladung enthaltenen Wärme dissipieren, die erzeugt wird, wenn die Luft komprimiert wird. Die komprimierte Luftladung kann auch Wärme von Komponenten des Abgassystems **134** absorbiert haben. Obwohl sie zu Darstellungszwecken getrennt gezeigt sind, können die Turbine **160-1** und der Kompressor **160-2** aneinander befestigt sein und die Einlassluft in die unmittelbare Nähe des heißen Abgases bringen.

**[0045]** Das Motorsystem **100** kann ein Abgasrückführungsventil (AGR-Ventil) **170** aufweisen, das Abgas selektiv zurück zu dem Einlasskrümmer **110** zurückleitet. Das AGR-Ventil **170** kann stromaufwärts der Turbine **160-1** des Turboladers angeordnet sein. Das AGR-Ventil **170** kann durch ein AGR-Aktuormodul **172** gesteuert werden.

**[0046]** Das Motorsystem **100** kann die Drehzahl der Kurbelwelle (d. h. die Motordrehzahl) in Umdrehungen pro Minute (RPM) unter Verwendung eines RPM-Sensors **180** messen. Die Drehzahl der Kurbelwelle (in RPM) kann als Motordrehzahl bezeichnet werden. Die Temperatur des Motorkühlmittels kann unter Verwendung eines Motorkühlmittel-Temperatur-sensors (ECT-Sensors) **182** gemessen werden. Der ECT-Sensor **182** kann in dem Motor **102** oder an anderen Orten angeordnet sein, an denen das Kühlmittel zirkuliert, wie z. B. einem Kühler (nicht gezeigt).

**[0047]** Der Druck in dem Einlasskrümmer **110** kann unter Verwendung eines Krümmerabsolutdrucksensors (MAP-Sensors) **184** gemessen werden. Bei verschiedenen Implementierungen kann ein Motorunterdruck gemessen werden, der die Differenz zwischen dem Umgebungsluftdruck und dem Druck in dem Einlasskrümmer **110** ist. Die Luftmassenströmungsrate in den Einlasskrümmer **110** kann unter Verwendung eines Luftmassenströmungssensors (MAF-Sensors) **186** gemessen werden. Bei verschiedenen Implementierungen kann der MAF-Sensor **186** in einem Gehäuse angeordnet sein, das auch das Drosselventil **112** umfasst.

**[0048]** Das Drossel-Aktuormodul **116** kann die Position des Drosselventils **112** unter Verwendung eines oder mehrerer Drosselpositionssensoren (TPS) **190** überwachen. Die Umgebungstemperatur der Luft, die in den Motor **102** eingelassen wird, kann unter Verwendung eines Einlassluft-Temperatur-sensors (IAT-Sensors) **192** gemessen werden. Das ECM **114** kann Signale von den Sensoren verwenden, um Steuerentscheidungen für das Motorsystem **100** zu treffen.

**[0049]** Das ECM **114** kann mit einem Getriebesteuermodul (TCM) **194** in Verbindung stehen, um Gangwechsel in einem Getriebe (nicht gezeigt) abzustimmen. Beispielsweise kann das ECM **114** das Motordrehmoment während eines Gangwechsels verringern. Ein Gangwechsel kann sich auf den Prozess beziehen, bei dem der Gang (oder das Übersetzungsverhältnis) verändert wird, der bzw. das in dem Getriebe ausgewählt ist. Das Übersetzungsverhältnis kann ein Verhältnis einer Getriebe-Eingangswellendrehzahl zu einer Getriebe-Ausgangswellendrehzahl entsprechen. Wenn ein Verhältnis eines Endantriebs (nicht gezeigt), durch den das Getriebe das Drehmoment zu den Rädern des Fahrzeugs überträgt, ein festes Übersetzungsverhältnis aufweist, kann das Übersetzungsverhältnis auch durch ein Verhältnis der Getriebe-Eingangswellendrehzahl zu der Fahrzeuggeschwindigkeit oder durch andere geeignete Drehzahlverhältnisse ermittelt oder repräsentiert werden. Die Fahrzeuggeschwindigkeit kann unter Verwendung eines Fahrzeuggeschwindigkeitssensors **199** gemessen werden, oder sie kann basierend auf einer oder mehreren anderen Drehzahlen, wie beispielsweise einer oder mehreren Raddrehzahlen, ermittelt werden.

**[0050]** Das ECM **114** kann auch mit einem Hybridsteuermodul **196** in Verbindung stehen, um den Betrieb des Motors **102** und eines Elektromotors **198** abzustimmen. Der Elektromotor **198** kann auch als ein Generator funktionieren, und er kann verwendet werden, um elektrische Energie zur Verwendung durch elektrische Systeme des Fahrzeugs und/oder zur Speicherung in einer Batterie zu erzeugen. Bei verschiedenen Implementierungen können verschiedene Funktionen des ECM **114**, des TCM **194** und des Hybridsteuermoduls **196** in ein oder mehrere Module integriert werden.

**[0051]** Jedes System, das einen Motorparameter variiert, kann als ein Motoraktuator bezeichnet werden. Jeder Motoraktuator empfängt einen Aktuatorwert. Beispielsweise kann das Drossel-Aktuormodul **116** als ein Motoraktuator bezeichnet werden, und die Drosselöffnungsfläche kann als der Aktuatorwert bezeichnet werden. In dem Beispiel von **Fig. 1** erreicht das Drossel-Aktuormodul **116** die Drosselöffnungsfläche, indem ein Winkel des Blatts des Drosselventils **112** angepasst wird.

**[0052]** Auf ähnliche Weise kann das Zündfunken-Aktuormodul **126** als ein Motoraktuator bezeichnet werden, während der entsprechende Aktuatorwert der Betrag der Zündfunkenvorverstellung relativ zu dem Zylinder-TDC sein kann. Andere Aktuatoren können das Zylinder-Aktuormodul **120**, das Kraftstoff-Aktuormodul **124**, das Phasensteller-Aktuormodul **158**, das Ladedruck-Aktuormodul **164** und das AGR-Aktuormodul **172** umfassen. Für diese Aktuatoren können die Aktuatorwerte der An-

zahl der aktivierten Zylinder, der Kraftstoffzufuhr rate, den Nockenphasenstellerpositionen, dem Ladedruck bzw. der AGR-Ventilöffnungsfläche entsprechen. Das ECM **114** kann die Aktuatorwerte steuern, um zu bewirken, dass der Motor **102** ein Ziel-Motorausgangsdrehmoment erzeugt.

**[0053]** Nun auf **Fig. 2** Bezug nehmend, ist ein Funktionsblockdiagramm eines beispielhaften Motorsteuersystems dargestellt. Eine beispielhafte Implementierung des ECM **114** umfasst ein Fahrer Drehmomentmodul **202**. Das Fahrer Drehmomentmodul **202** kann eine Fahrer Drehmomentanforderung basierend auf einer oder mehreren Fahrereingaben von dem Fahrereingabemodul **104** ermitteln. Die Fahrereingabe kann auf einer Position eines Gaspedals und/oder auf einer Position eines Bremspedals basieren. Die Fahrereingabe kann auch auf einem Tempomat basieren, der ein adaptives Tempomatsystem sein kann, das die Fahrzeuggeschwindigkeit variiert, um eine vorbestimmte Nachfolgedistanz aufrechtzuerhalten. Das Fahrer Drehmomentmodul **202** kann eine oder mehrere Abbildungen der Gaspedalposition auf ein Soll-Drehmoment speichern, und es kann die Fahrer Drehmomentanforderung basierend auf einer ausgewählten der Abbildungen ermitteln.

**[0054]** Ein Achsendrehmoment-Vermittlungsmodul **204** vermittelt zwischen der Fahrer Drehmomentanforderung von dem Fahrer Drehmomentmodul **202** und anderen Achsendrehmomentanforderungen. Ein Achsendrehmoment (Drehmoment an den Rädern) kann durch verschiedene Quellen erzeugt werden, die den Motor **102** und/oder den Elektromotor **198** umfassen. Die Drehmomentanforderungen können absolute Drehmomentanforderungen wie auch relative Drehmomentanforderungen und Rampenanforderungen umfassen. Lediglich beispielhaft können die Rampenanforderungen eine Anforderung umfassen, dass das Drehmoment bis zu einem minimalen Motorabschaltdrehmoment rampenartig abnimmt oder dass das Drehmoment von einem minimalen Motorabschaltdrehmoment rampenartig zunimmt. Relative Drehmomentanforderungen können vorübergehende oder dauerhafte Drehmomentverringerungen oder -zunahmen umfassen.

**[0055]** Die Achsendrehmomentanforderungen können eine Drehmomentverringerung umfassen, die von einem Traktionssteuersystem angefordert wird, wenn ein positiver Radschlupf detektiert wird. Ein positiver Radschlupf tritt auf, wenn das Achsendrehmoment die Reibung zwischen den Rädern und der Straßenoberfläche überwindet und die Räder beginnen, gegenüber der Straßenoberfläche zu rutschen. Die Achsendrehmomentanforderungen können auch eine Anforderung einer Drehmomentzunahme umfassen, um einem negativen Radschlupf entgegenzuwirken, bei dem ein Reifen des Fahrzeugs bezogen

auf die Straßenoberfläche in der anderen Richtung rutscht, da das Achsendrehmoment negativ ist.

**[0056]** Die Achsendrehmomentanforderungen können auch Bremsmanagementanforderungen und Drehmomentanforderungen aufgrund überhöhter Fahrzeuggeschwindigkeit umfassen. Bremsmanagementanforderungen können das Achsendrehmoment verringern, um sicherzustellen, dass das Achsendrehmoment nicht die Fähigkeit der Bremsen übersteigt, das Fahrzeug zu halten, wenn das Fahrzeug gestoppt wird. Die Drehmomentanforderungen aufgrund überhöhter Fahrzeuggeschwindigkeit können das Achsendrehmoment verringern, um zu verhindern, dass das Fahrzeug eine vorbestimmte Geschwindigkeit überschreitet. Die Achsendrehmomentanforderungen können auch von Fahrzeugstabilitäts-Kontrollsystemen erzeugt werden.

**[0057]** Das Achsendrehmoment-Vermittlungsmodul **204** gibt eine vorausgesagte Drehmomentanforderung und eine Momentandrehmomentanforderung basierend auf den Ergebnissen einer Vermittlung zwischen den empfangenen Drehmomentanforderungen aus. Wie nachstehend beschrieben ist, können die vorausgesagte Drehmomentanforderung und die Momentandrehmomentanforderung von dem Achsendrehmoment-Vermittlungsmodul **204** durch andere Module des ECM **114** selektiv angepasst werden, bevor sie verwendet werden, um Aktuatoren des Motorsystems **100** zu steuern.

**[0058]** Allgemein ausgedrückt ist die Momentandrehmomentanforderung der Betrag des derzeitigen Soll-Achsendrehmoments, während die vorausgesagte Drehmomentanforderung der Betrag des Achsendrehmoments ist, der kurzfristig benötigt werden kann. Das ECM **114** steuert daher das Motorsystem **100**, um ein Achsendrehmoment zu erzeugen, das gleich der Momentandrehmomentanforderung ist. Verschiedene Kombinationen von Aktuatorwerten können jedoch zu demselben Achsendrehmoment führen. Das ECM **114** kann daher die Aktuatorwerte anpassen, um einen schnelleren Übergang zu der vorausgesagten Drehmomentanforderung zu ermöglichen, während das Achsendrehmoment weiterhin bei der Momentandrehmomentanforderung gehalten wird.

**[0059]** Bei verschiedenen Implementierungen kann die vorausgesagte Drehmomentanforderung auf der Fahrer Drehmomentanforderung basieren. Die Momentandrehmomentanforderung kann kleiner als die vorausgesagte Drehmomentanforderung sein, beispielsweise wenn die Fahrer Drehmomentanforderung auf einer vereisten Oberfläche einen Radschlupf verursacht. In einem solchen Fall kann ein Traktionssteuersystem (nicht gezeigt) eine Verringerung mittels der Momentandrehmomentanforderung anfordern, und das ECM **114** verringert das Drehmoment,

das durch das Motorsystem **100** erzeugt wird, auf die Momentandrehmomentanforderung. Das ECM **114** steuert das Motorsystem **100** jedoch derart, dass das Motorsystem **100** die Erzeugung der vorausgesagten Drehmomentanforderung schnell wieder aufnehmen kann, sobald der Radschlupf aufhört.

**[0060]** Allgemein ausgedrückt kann die Differenz zwischen der Momentandrehmomentanforderung und der höheren vorausgesagten Drehmomentanforderung als eine Drehmomentreserve bezeichnet werden. Die Drehmomentreserve repräsentiert den Betrag eines zusätzlichen Drehmoments, den das Motorsystem **100** mit einer minimalen Verzögerung zu erzeugen beginnen kann. Schnelle Motoraktuatoren werden verwendet, um das gegenwärtige Achsendrehmoment zu erhöhen oder zu verringern. Nachstehend ist detaillierter beschrieben, wie schnelle Motoraktuatoren im Gegensatz zu langsamen Motoraktuatoren definiert sind.

**[0061]** Bei verschiedenen Implementierungen können die schnellen Motoraktuatoren das Achsendrehmoment in einem Bereich variieren, wobei der Bereich durch die langsamen Motoraktuatoren festgelegt wird. Bei solchen Implementierungen ist die obere Grenze des Bereichs die vorausgesagte Drehmomentanforderung, während die untere Grenze des Bereichs durch die Drehmomentkapazität der schnellen Motoraktuatoren begrenzt ist.

**[0062]** Lediglich beispielhaft können die schnellen Motoraktuatoren das Achsendrehmoment nur um einen ersten Betrag verringern, wobei der erste Betrag ein Maß für die Drehmomentkapazität der schnellen Aktuatoren ist. Der erste Betrag kann basierend auf Motorbetriebsbedingungen variieren, die durch die langsamen Motoraktuatoren festgelegt werden. Wenn die Momentandrehmomentanforderung innerhalb des Bereichs liegt, können die schnellen Motoraktuatoren eingestellt werden, um zu bewirken, dass das Achsendrehmoment gleich der Momentandrehmomentanforderung ist. Wenn das ECM **114** anfordert, dass die vorausgesagte Drehmomentanforderung ausgegeben werden soll, können die schnellen Motoraktuatoren gesteuert werden, um das Achsendrehmoment bis zum dem Spitzenwert des Bereichs zu variieren, der die vorausgesagte Drehmomentanforderung ist.

**[0063]** Allgemein ausgedrückt können die schnellen Motoraktuatoren das Achsendrehmoment im Vergleich zu den langsamen Motoraktuatoren schneller verändern. Die langsamen Motoraktuatoren können langsamer als die schnellen Motoraktuatoren auf Änderungen ihrer jeweiligen Aktuatorwerte ansprechen. Ein langsamer Motoraktuator kann beispielsweise mechanische Komponenten umfassen, die Zeit erfordern, um sich in Ansprechen auf eine Änderung des Aktuatorwerts von einer Position in eine andere zu

bewegen. Ein langsamer Motoraktuator kann auch durch die Zeitspanne charakterisiert werden, die benötigt wird, damit sich das Achsendrehmoment zu ändern beginnt, sobald der langsame Motoraktuator den veränderten Aktuatorwert zu implementieren beginnt. Allgemein wird diese Zeitspanne für langsame Motoraktuatoren länger als für schnelle Motoraktuatoren sein. Sogar nachdem es sich zu verändern beginnt, kann das Achsendrehmoment zusätzlich länger benötigen, um auf eine Änderung in einem langsamen Aktuator vollständig anzusprechen.

**[0064]** Lediglich beispielhaft kann das ECM **114** die Aktuatorwerte für die langsamen Aktuatoren auf Werte festlegen, die dem Motorsystem **100** ermöglichen würden, die vorausgesagte Drehmomentanforderung zu erzeugen, wenn die schnellen Aktuatoren auf geeignete Werte eingestellt werden würden. In der Zwischenzeit kann das ECM **114** die Aktuatorwerte für die schnellen Aktuatoren auf Werte einstellen, die für die gegebenen Werte der langsamen Aktuatoren bewirken, dass das Motorsystem **100** die Momentandrehmomentanforderung anstelle der vorausgesagten Drehmomentanforderung erzeugt.

**[0065]** Die schnellen Aktuatorwerte bewirken daher, dass das Motorsystem **100** die Momentandrehmomentanforderung erzeugt. Wenn das ECM **114** entscheidet, das Achsendrehmoment von der Momentandrehmomentanforderung zu der vorausgesagten Drehmomentanforderung überzuleiten, ändert das ECM **114** die Aktuatorwerte für einen oder mehrere schnelle Aktuatoren auf Werte, die der vorausgesagten Drehmomentanforderung entsprechen. Da die langsamen Aktuatorwerte bereits basierend auf der vorausgesagten Drehmomentanforderung eingestellt wurden, ist das Motorsystem **100** in der Lage, die vorausgesagte Drehmomentanforderung nach nur einer solchen Verzögerung zu erzeugen, die den schnellen Motoraktuatoren zuzuschreiben ist. Mit anderen Worten wird die längere Verzögerung vermieden, die ansonsten aus einem Verändern des Achsendrehmoments unter Verwendung der langsamen Motoraktuatoren resultieren würde.

**[0066]** Lediglich beispielhaft kann dann, wenn die vorausgesagte Drehmomentanforderung gleich der Fahrerdrehmomentanforderung ist, eine Drehmomentreserve erzeugt werden, wenn die Momentandrehmomentanforderung aufgrund einer vorübergehenden Drehmoment-Verringerungsanforderung kleiner als die Fahrerdrehmomentanforderung ist. Alternativ kann eine Drehmomentreserve erzeugt werden, indem die vorausgesagte Drehmomentanforderung über die Fahrerdrehmomentanforderung hinaus erhöht wird, während die Momentandrehmomentanforderung bei der Fahrer-Drehmomentanforderung gehalten wird. Die resultierende Drehmomentreserve kann plötzliche Zunahmen in dem erforderlichen Achsendrehmoment absorbieren. Lediglich bei-

spielhaft können plötzliche Lasten einer Klimaanlage oder einer Servolenkungspumpe ausgeglichen werden, indem die Momentandrehmomentanforderung erhöht wird. Wenn die Zunahme der Momentandrehmomentanforderung kleiner als die Drehmomentreserve ist, kann die Zunahme schnell erzeugt werden, indem die schnellen Motoraktuatoren verwendet werden. Die vorausgesagte Drehmomentanforderung kann anschließend ebenso erhöht werden, um die vorhergehende Drehmomentreserve wieder herzustellen.

**[0067]** Eine andere beispielhafte Verwendung einer Drehmomentreserve ist es, Schwankungen in den langsamen Aktuatorwerten zu verringern. Aufgrund ihrer relativ langsamen Geschwindigkeit kann ein Variieren von langsamen Aktuatorwerten eine Steuerinstabilität erzeugen. Zusätzlich können die langsamen Motoraktuatoren mechanische Teile aufweisen, die mehr Leistung aufnehmen und/oder schneller abgenutzt werden können, wenn sie häufig bewegt werden. Das Erzeugen einer ausreichenden Drehmomentreserve ermöglicht, dass Änderungen in dem Soll-Drehmoment ausgeführt werden können, indem die schnellen Motoraktuatoren mittels der Momentandrehmomentanforderung variiert werden, während die Werte der langsamen Motoraktuatoren beibehalten werden. Um beispielsweise eine gegebene Leerlaufdrehzahl aufrechtzuerhalten, kann die Momentandrehmomentanforderung in einem Bereich variiert werden. Wenn die vorausgesagte Drehmomentanforderung auf ein Niveau oberhalb dieses Bereichs festgelegt wird, können Veränderungen in der Momentandrehmomentanforderung, welche die Leerlaufdrehzahl aufrechterhalten, unter Verwendung der schnellen Motoraktuatoren ohne die Notwendigkeit ausgeführt werden, die langsamen Motoraktuatoren anzupassen.

**[0068]** Lediglich beispielhaft kann der Zündfunkenzeitpunkt in einem Motor mit Funkenzündung ein schneller Aktuatorwert sein, während die Drosselöffnungsfläche ein langsamer Aktuatorwert sein kann. Motoren mit Funkenzündung können Kraftstoffe, die beispielsweise Benzin und Ethanol umfassen, durch Anwendung eines Zündfunkens verbrennen. Im Gegensatz dazu kann bei einem Motor mit Kompressionszündung die Kraftstoffströmung ein schneller Aktuatorwert sein, während die Drosselöffnungsfläche als ein Aktuatorwert für andere Motoreigenschaften als das Drehmoment verwendet werden kann. Motoren mit Kompressionszündung können Kraftstoffe verbrennen, die beispielsweise Diesel umfassen, indem die Kraftstoffe komprimiert werden.

**[0069]** Wenn der Motor **102** ein Motor mit Funkenzündung ist, kann das Zündfunken-Aktuatomodul **126** ein schneller Aktuator sein, und das Drossel-Aktuatomodul **116** kann ein langsamer Aktuator sein. Nachdem ein neuer Aktuatorwert empfan-

gen wurde, kann das Zündfunken-Aktuatomodul **126** in der Lage sein, den Zündfunkenzeitpunkt für das nachfolgende Zündungsereignis zu verändern. Wenn der Zündfunkenzeitpunkt (auch Zündfunkenuevorstellung genannt) für ein Zündungsereignis auf einen kalibrierten Wert eingestellt wird, wird ein maximales Drehmoment während des Verbrennungstakts unmittelbar nach diesem Zündungsereignis erzeugt. Ein Zündfunkenzeitpunkt, der von dem kalibrierten Wert abweicht, kann jedoch den Drehmomentbetrag verringern, der in dem Verbrennungstakt erzeugt wird. Daher kann das Zündfunken-Aktuatomodul **126** in der Lage sein, das Motorausgangsdrehmoment durch ein Variieren des Zündfunkenzeitpunkts zu verändern, sobald das nächste Zündungsereignis auftritt. Lediglich beispielhaft kann eine Tabelle mit Zündfunkenzeitpunkten, die verschiedenen Motorbetriebsbedingungen entsprechen, während einer Kalibrierungsphase der Fahrzeugausgestaltung ermittelt werden, und der kalibrierte Wert wird basierend auf den gegenwärtigen Motorbetriebsbedingungen aus der Tabelle ausgewählt.

**[0070]** Im Gegensatz dazu benötigen Änderungen in der Drosselöffnungsfläche länger, um das Motorausgangsdrehmoment zu beeinflussen. Das Drossel-Aktuatomodul **116** verändert die Drosselöffnungsfläche, indem der Winkel des Blatts des Drosselventils **112** angepasst wird. Sobald ein neuer Aktuatorwert empfangen wird, gibt es daher eine mechanische Verzögerung, wenn sich das Drosselventil **112** von seiner vorhergehenden Position basierend auf dem neuen Aktuatorwert in eine neue Position bewegt. Zusätzlich sind Luftströmungsänderungen basierend auf der Drosselventilöffnung Lufttransportverzögerungen in dem Einlasskrümmer **110** ausgesetzt. Ferner wird eine erhöhte Luftströmung in dem Einlasskrümmer **110** nicht als eine Erhöhung des Motorausgangsdrehmoments realisiert, bis der Zylinder **118** in dem nächsten Einlasstakt zusätzliche Luft aufnimmt, die zusätzliche Luft komprimiert und den Verbrennungstakt beginnt.

**[0071]** Unter Verwendung dieser Aktuatoren als ein Beispiel kann eine Drehmomentreserve erzeugt werden, indem die Drosselöffnungsfläche auf einen Wert eingestellt wird, der dem Motor **102** ermöglichen würde, eine vorausgesagte Drehmomentanforderung zu erzeugen. In der Zwischenzeit kann der Zündfunkenzeitpunkt basierend auf einer Momentandrehmomentanforderung eingestellt werden, die kleiner als die vorgesagte Drehmomentanforderung ist. Obwohl die Drosselöffnungsfläche eine ausreichende Luftströmung für den Motor **102** erzeugt, um die vorausgesagte Drehmomentanforderung zu erzeugen, wird der Zündfunkenzeitpunkt basierend auf der Momentandrehmomentanforderung nach spät verstellt (was das Motorausgangsdrehmoment verringert). Das Motorausgangsdrehmoment wird daher gleich der Momentandrehmomentanforderung sein.

**[0072]** Wenn ein zusätzliches Drehmoment erforderlich ist, beispielsweise wenn der Klimaanlage-Kompressor gestartet wird oder wenn die Traktionssteuerung ermittelt, dass ein Radschlupf aufgehört hat, kann der Zündfunkenzeitpunkt basierend auf der vorausgesagten Drehmomentanforderung eingestellt werden. Mit dem nachfolgenden Zündungsereignis kann das Zündfunken-Aktuormodul **126** die Zündfunkenvorverstellung auf einen kalibrierten Wert zurücksetzen, der dem Motor **102** ermöglicht, das volle Motorausgangsdrehmoment zu erzeugen, das mit der bereits vorhandenen Luftströmung erreichbar ist. Das Motorausgangsdrehmoment kann daher schnell auf die vorausgesagte Drehmomentanforderung erhöht werden, ohne dass Verzögerungen aufgrund des Änderns der Drosselöffnungsfläche wahrgenommen werden.

**[0073]** Wenn der Motor **102** ein Motor mit Kompressionszündung ist, kann das Kraftstoff-Aktuormodul **124** ein schneller Aktuator sein, und das Drossel-Aktuormodul **116** und das Ladedruck-Aktuormodul **164** können Emissionsaktuatoren sein. Auf diese Weise kann die Kraftstoffmasse basierend auf der Momentdrehmomentanforderung festgelegt werden, und die Drosselöffnungsfläche und der Ladedruck können basierend auf der vorausgesagten Drehmomentanforderung festgelegt werden. Die Drosselöffnungsfläche kann mehr Luftströmung erzeugen, als notwendig ist, um die vorausgesagte Drehmomentanforderung zu erfüllen. Umgekehrt kann die erzeugte Luftströmung größer sein, als für eine vollständige Verbrennung des eingespritzten Kraftstoffs erforderlich ist, so dass das Luft/Kraftstoffverhältnis üblicherweise mager ist und Änderungen in der Luftströmung die Motordrehmomentabgabe nicht beeinflussen. Das Motorausgangsdrehmoment wird daher gleich der Momentandrehmomentanforderung sein, und es kann durch das Einstellen der Kraftstoffströmung erhöht oder verringert werden.

**[0074]** Das Drossel-Aktuormodul **116**, das Ladedruck-Aktuormodul **164** und das AGR-Ventil **170** können basierend auf der vorausgesagten Drehmomentanforderung gesteuert werden, um Emissionen zu steuern und ein Turboloch zu minimieren. Das Drossel-Aktuormodul **116** kann einen Unterdruck erzeugen, um Abgas durch das AGR-Ventil **170** und in den Einlasskrümmer **110** zu saugen.

**[0075]** Das Achsendrehmoment-Vermittlungsmodul **204** kann die vorausgesagte Drehmomentanforderung und die Momentandrehmomentanforderung an ein Antriebsdrehmoment-Vermittlungsmodul **206** ausgeben. Bei verschiedenen Implementierungen kann das Achsendrehmoment-Vermittlungsmodul **204** die vorausgesagte Drehmomentanforderung und die Momentandrehmomentanforderung an ein Hybridoptimierungsmodul **208** ausgeben. Das Hybridoptimierungsmodul **208** ermittelt, wie viel Drehmo-

ment durch den Motor **102** erzeugt werden sollte und wie viel Drehmoment durch den Elektromotor **198** erzeugt werden sollte. Das Hybridoptimierungsmodul **208** gibt dann eine modifizierte vorausgesagte Drehmomentanforderung und eine modifizierte Momentandrehmomentanforderung an das Antriebsdrehmoment-Vermittlungsmodul **206** aus. Bei verschiedenen Implementierungen kann das Hybridoptimierungsmodul **208** in dem Hybridsteuermodul **196** implementiert werden.

**[0076]** Die vorausgesagte Drehmomentanforderung und die Momentandrehmomentanforderung, die von dem Antriebsdrehmoment-Vermittlungsmodul **206** empfangen werden, werden von einer Achsendrehmomentdomäne (Drehmoment an den Rädern) in eine Antriebsdrehmomentdomäne (Drehmoment an der Kurbelwelle) umgewandelt. Diese Umwandlung kann vor oder nach dem Hybridoptimierungsmodul **208**, als Teil von diesem oder an dessen Stelle auftreten.

**[0077]** Das Antriebsdrehmoment-Vermittlungsmodul **206** vermittelt zwischen Antriebsdrehmomentanforderungen, einschließlich der umgewandelten vorausgesagten Drehmomentanforderung und der umgewandelten Momentandrehmomentanforderung. Das Antriebsdrehmoment-Vermittlungsmodul **206** erzeugt eine vermittelte vorausgesagte Drehmomentanforderung und eine vermittelte Momentandrehmomentanforderung. Die vermittelten Drehmomente können erzeugt werden, indem eine gewinnende Anforderung unter den empfangenen Anforderungen ausgewählt wird. Alternativ oder zusätzlich können die vermittelten Drehmomente erzeugt werden, indem eine der empfangenen Anforderungen basierend auf einer oder mehreren anderen der empfangenen Anforderungen modifiziert wird.

**[0078]** Die anderen Antriebsdrehmomentanforderungen können Drehmomentverringerungen zum Schutz vor überhöhter Motordrehzahl, Drehmomentzunahmen zum Verhindern eines Abwürgens und Drehmomentverringerungen umfassen, die von dem Getriebesteuermodul **194** angefordert werden, um Gangwechsel aufzunehmen. Die Antriebsdrehmomentanforderungen können auch aus einer Kraftstoffabschaltung wegen der Kupplung resultieren, die das Motorausgangsdrehmoment dann verringert, wenn der Fahrer bei einem Fahrzeug mit Schaltgetriebe das Kupplungspedal niederdrückt, um ein Aufbrausen (einen schnellen Anstieg) der Motordrehzahl zu verhindern.

**[0079]** Die Antriebsdrehmomentanforderungen können auch eine Motorabschaltanforderung umfassen, die ausgelöst werden kann, wenn ein kritischer Fehler detektiert wird. Lediglich beispielhaft können die kritischen Fehler die Detektion eines Fahrzeugdiebstahls, einen blockierten Anlasser, Probleme mit

der elektronischen Drosselsteuerung und unerwartete Drehmomentzunahmen umfassen. Bei verschiedenen Implementierungen wählt die Vermittlung die Motorabschaltanforderung als die gewinnende Anforderung aus, wenn eine Motorabschaltanforderung vorliegt. Wenn die Motorabschaltanforderung vorliegt, kann das Antriebsdrehmoment-Vermittlungsmodul **206** Null als die vermittelten Drehmomente ausgeben.

**[0080]** Bei verschiedenen Implementierungen kann eine Motorabschaltanforderung den Motor **102** separat von dem Vermittlungsprozess einfach abschalten. Das Antriebsdrehmoment-Vermittlungsmodul **206** kann die Motorabschaltanforderung weiterhin empfangen, so dass beispielsweise geeignete Daten zu den anderen Drehmomentanforderern zurückgeführt werden können. Beispielsweise können alle anderen Drehmomentanforderer informiert werden, dass sie die Vermittlung verloren haben.

**[0081]** Ein Reserven/Lastenmodul **220** empfängt die vermittelte vorausgesagte Drehmomentanforderung und die vermittelte Momentandrehmomentanforderung von dem Antriebsdrehmoment-Vermittlungsmodul **206**. Das Reserven/Lastenmodul **220** kann die vermittelte vorausgesagte Drehmomentanforderung und die vermittelte Momentandrehmomentanforderung anpassen, um eine Drehmomentreserve zu erzeugen und/oder eine oder mehrere Lasten zu kompensieren. Das Reserven/Lastenmodul **220** gibt anschließend die angepasste vorausgesagte Drehmomentanforderung und die angepasste Momentandrehmomentanforderung an ein Betätigungsmodul **224** aus.

**[0082]** Lediglich beispielhaft kann ein Katalysator-Anspringprozess oder ein Prozess zur Verringerung von Kaltstartemissionen erfordern, dass die Zündfunkenvorverstellung nach spät verstellt wird. Das Reserven/Lastenmodul **220** kann daher die angepasste vorausgesagte Drehmomentanforderung über die angepasste Momentandrehmomentanforderung hinaus erhöhen, um einen nach spät verstellten Zündfunken für den Prozess zur Verringerung von Kaltstartemissionen zu erzeugen. Bei einem anderen Beispiel können das Luft/Kraftstoffverhältnis des Motors und/oder die Luftmassenströmung direkt variiert werden, wie z. B. durch ein Testen des Äquivalenzverhältnisses mittels einer eingreifenden Diagnostik und/oder durch ein Spülen eines neuen Motors. Bevor diese Prozesse beginnen, kann eine Drehmomentreserve erzeugt oder erhöht werden, um Verringerungen in dem Motorausgangsrehmoment schnell auszugleichen, die während dieser Prozesse daraus resultieren, dass das Luft/Kraftstoffgemisch magerer wird.

**[0083]** Das Reserven/Lastenmodul **220** kann auch eine Drehmomentreserve in Erwartung einer zukünftigen Last erzeugen oder erhöhen, wie z. B. des Betriebs der Servolenkungspumpe oder des Einrückens einer Klimaanlage-Kompressorkupplung (A/C-Kompressorkupplung). Die Reserve für das Einrücken der A/C-Kompressorkupplung kann erzeugt werden, wenn der Fahrer die Klimaanlage zum ersten Mal anfordert. Das Reserven/Lastenmodul **220** kann die angepasste vorausgesagte Drehmomentanforderung erhöhen, während die angepasste Momentandrehmomentanforderung unverändert belassen wird, um die Drehmomentreserve zu erzeugen. Dann, wenn die A/C-Kompressorkupplung einrückt, kann das Reserven/Lastenmodul **220** die Momentandrehmomentanforderung um die geschätzte Last der A/C-Kompressorkupplung erhöhen.

**[0084]** Das Betätigungsmodul **224** empfängt die angepasste vorausgesagte Drehmomentanforderung und die angepasste Momentandrehmomentanforderung von dem Reserven/Lastenmodul **220**. Das Betätigungsmodul **224** ermittelt, wie die angepasste vorausgesagte Drehmomentanforderung und die angepasste Momentandrehmomentanforderung erreicht werden. Das Betätigungsmodul **224** kann für den Motortyp spezifisch sein. Beispielsweise kann das Betätigungsmodul **224** für Motoren mit Funkenzündung gegenüber Motoren mit Kompressionszündung unterschiedlich implementiert werden oder unterschiedliche Steuerschemata verwenden.

**[0085]** Bei verschiedenen Implementierungen kann das Betätigungsmodul **224** die Grenze zwischen den Modulen, die bei allen Motortypen üblich sind, und den Modulen definieren, die für den Motortyp spezifisch sind. Lediglich beispielhaft können die Motortypen solche mit Funkenzündung und mit Kompressionszündung umfassen. Die Module vor dem Betätigungsmodul **224**, wie beispielsweise das Antriebsdrehmoment-Vermittlungsmodul **206**, können bei allen Motortypen üblich sein, während das Betätigungsmodul **224** und die nachfolgenden Module für den Motortyp spezifisch sein können.

**[0086]** Beispielsweise kann das Betätigungsmodul **224** in einem Motor mit Funkenzündung das Öffnen des Drosselventils **112** als einen langsamen Aktuator variieren, was einen weiten Bereich für die Drehmomentsteuerung ermöglicht. Das Betätigungsmodul **224** kann Zylinder unter Verwendung des Zylinder-Aktuatorsmoduls **120** deaktivieren, was auch für einen weiten Bereich der Drehmomentsteuerung sorgt, aber ebenso langsam sein kann und Fahrbarkeits- und Emissionsprobleme mit sich bringen kann. Das Betätigungsmodul **224** kann den Zündfunkenzeitpunkt als einen schnellen Aktuator verwenden. Der Zündfunkenzeitpunkt kann jedoch keinen so großen Bereich für die Drehmomentsteuerung liefern. Zusätzlich kann sich der Betrag der Drehmomentsteuerung ändern, der mit Änderungen in dem Zündfunkenzeitpunkt möglich ist (als Zündfunkenre-

servekapazität bezeichnet), wenn sich die Luftströmung ändert.

**[0087]** Bei verschiedenen Implementierungen kann das Betätigungsmodul **224** eine Luftdrehmomentanforderung basierend auf der angepassten vorausgesagten Drehmomentanforderung erzeugen. Die Luftdrehmomentanforderung kann der angepassten vorausgesagten Drehmomentanforderung gleich sein und die Luftströmung derart einstellen, dass die angepasste vorausgesagte Drehmomentanforderung durch Änderungen der anderen Aktuatoren erreicht werden kann.

**[0088]** Ein Luftsteuermodul **228** kann Ziel-Aktuatorwerte für Aktuatoren, welche die Motorluftströmungsparameter steuern, basierend auf der Luftdrehmomentanforderung ermitteln. Beispielsweise kann das Luftsteuermodul **228** einen Ziel-Krümmersolutdruck (Ziel-MAP), eine Ziel-Drosselfläche und eine Ziel-Luft pro Zylinder (Ziel-APC) steuern. Der Ziel-MAP kann verwendet werden, um einen Ziel-Ladedruck zu ermitteln, und die Ziel-APC kann verwendet werden, um die angewiesene Nockenphasenstellung zu ermitteln. Bei verschiedenen Implementierungen kann das Luftsteuermodul **228** auch einen Betrag des Öffnens des AGR-Ventils **170** ermitteln.

**[0089]** Das Betätigungsmodul **224** kann auch eine Zündfunken-Drehmomentanforderung, eine Zylinderabschalt-Drehmomentanforderung und eine Kraftstoffmassen-Drehmomentanforderung erzeugen. Die Zündfunken-Drehmomentanforderung kann von einem Zündfunkensteuermodul **232** verwendet werden, um zu ermitteln, wie viel der Zündfunken bezogen auf eine kalibrierte Zündfunkenvorstellung nach spät verstellt werden soll (was das Motorausgangs Drehmoment verringert).

**[0090]** Die Zylinderabschalt-Drehmomentanforderung kann von einem Zylindersteuermodul **236** verwendet werden, um zu ermitteln, wie viele Zylinder deaktiviert werden sollen. Das Zylindersteuermodul **236** kann das Zylinder-Aktuatormodul **120** anweisen, einen oder mehrere Zylinder des Motors **102** zu deaktivieren. Bei verschiedenen Implementierungen kann eine vordefinierte Gruppe von Zylindern gemeinsam deaktiviert werden.

**[0091]** Das Zylindersteuermodul **236** kann auch ein Kraftstoffsteuermodul **240** anweisen, die Kraftstofflieferung an die deaktivierten Zylinder zu stoppen, und es kann das Zündfunkensteuermodul **232** anweisen, die Lieferung des Zündfunkens an die deaktivierten Zylinder zu stoppen. Bei verschiedenen Implementierungen stoppt das Zündfunkensteuermodul **232** die Lieferung des Zündfunkens für einen Zylinder nur, sobald ein beliebiges Luft/Kraftstoffgemisch, das bereits in dem Zylinder vorhanden war, verbrannt worden ist.

**[0092]** Bei verschiedenen Implementierungen kann das Zylinder-Aktuatormodul **120** ein Hydrauliksystem umfassen, das Einlass- und/oder Auslassventile für einen oder mehrere Zylinder von den entsprechenden Nockenwellen selektiv abkoppelt, um diese Zylinder zu deaktivieren. Lediglich beispielhaft werden die Ventile für die Hälfte der Zylinder als eine Gruppe durch das Zylinder-Aktuatormodul **120** entweder hydraulisch angekoppelt oder abgekoppelt. Bei verschiedenen Implementierungen können die Zylinder deaktiviert werden, indem die Kraftstoffzufuhr zu diesen Zylindern einfach gestoppt wird, ohne dass das Öffnen und Schließen der Einlass- und Auslassventile gestoppt wird. Bei solchen Implementierungen kann das Zylinder-Aktuatormodul **120** weggelassen werden.

**[0093]** Das Kraftstoffsteuermodul **240** kann basierend auf der Kraftstoff-Drehmomentanforderung von dem Betätigungsmodul **224** die Kraftstoffmenge variieren, die an jeden Zylinder geliefert wird. Während des normalen Betriebs eines Motors mit Funkenzündung kann das Kraftstoffsteuermodul **240** in einem luftgeführten Modus arbeiten, in dem das Kraftstoffsteuermodul **240** versucht, ein stöchiometrisches Luft/Kraftstoffverhältnis aufrechtzuerhalten, indem die Kraftstoffströmung basierend auf der Luftströmung gesteuert wird. Das Kraftstoffsteuermodul **240** kann eine Kraftstoffmasse ermitteln, die eine stöchiometrische Verbrennung ergeben wird, wenn sie mit der momentanen APC kombiniert wird. Das Kraftstoffsteuermodul **240** kann das Kraftstoff Aktuatormodul **124** mittels der Kraftstoffzufuhr rate anweisen, diese Kraftstoffmasse für jeden aktivierten Zylinder einzuspritzen.

**[0094]** Bei Systemen mit Kompressionszündung kann das Kraftstoffsteuermodul **240** in einem kraftstoffgeführten Modus arbeiten, bei dem das Kraftstoffsteuermodul **240** eine Kraftstoffmasse für jeden Zylinder ermittelt, welche die Kraftstoff Drehmomentanforderung erfüllt, während die Emissionen, das Geräusch und der Kraftstoffverbrauch minimiert werden. In dem kraftstoffgeführten Modus wird die Luftströmung basierend auf der Kraftstoffströmung gesteuert, und sie kann gesteuert werden, um ein mageres Luft/Kraftstoffverhältnis zu ergeben. Zusätzlich kann das Luft/Kraftstoffverhältnis oberhalb eines vorbestimmten Niveaus gehalten werden, das bei dynamischen Motorbetriebsbedingungen die Erzeugung von schwarzem Rauch verhindern kann.

**[0095]** Ein Drehmomentschätzmodul **244** kann die Drehmomentabgabe des Motors **102** schätzen. Dieses geschätzte Drehmoment kann von dem Luftsteuermodul **228** verwendet werden, um eine Regelung der Motorluftströmungsparameter (mittels der Ziel-Aktuatorwerte) auszuführen, wie z. B. der Drosselfläche, des MAP und der APC. Beispielsweise kann eine Drehmomentbeziehung wie z. B.

$$T = f(\text{APC}, S, I, E, \text{AF}, \text{OT}, \#) \quad (1)$$

definiert werden, wobei das Drehmoment (T) eine Funktion der momentanen Luft pro Zylinder (APC), der Zündfunkenvorverstellung (S), der Einlass-Nockenphasenstellerposition (I), der Auslass-Nockenphasenstellerposition (E), des Luft/Kraftstoffverhältnisses (AF), der Öltemperatur (OT) und der Anzahl der aktivierten Zylinder (#) ist. Zusätzliche Variablen können berücksichtigt werden, wie z. B. der Öffnungsgrad eines Abgasrückführungsventils (AGR-Ventils). Diese Beziehung kann durch eine Gleichung modelliert und/oder als eine Nachschlagetabelle gespeichert werden. Das Drehmomentschätzmodul **244** kann die momentane APC basierend auf der gemessenen MAF und der momentanen RPM ermitteln. Die verwendeten Einlass- und Auslass-Nockenphasenstellerpositionen können auf Ist-Positionen basieren, wenn sich die Phasensteller zu den angewiesenen Positionen bewegen können.

**[0096]** Die Ist-Zündfunkenvorverstellung kann verwendet werden, um das Ist-Motorausgangsdrehmoment zu schätzen. Wenn ein kalibrierter Zündfunkenvorverstellungswert verwendet wird, um das Drehmoment zu schätzen, kann das geschätzte Drehmoment als ein geschätztes Luftdrehmoment oder einfach als Luftdrehmoment bezeichnet werden. Das Luftdrehmoment kann eine Schätzung sein, wie viel Drehmoment der Motor **102** bei der gegenwärtigen Luftströmung erzeugen könnte, wenn die Zündfunkenvorverstellung nach spät aufgehoben werden würde (d. h. der Zündfunkenzeitpunkt auf den kalibrierten Zündfunkenvorverstellungswert eingestellt werden würde) und allen Zylindern Kraftstoff zugeführt werden würde.

**[0097]** Die kalibrierten Zündfunkenvorverstellungswerte können basierend auf verschiedenen Motorbetriebsbedingungen variieren. Lediglich beispielhaft kann eine Drehmomentbeziehung invertiert werden, um diese nach der Soll-Zündfunkenvorverstellung aufzulösen. Für eine gegebene Drehmomentanforderung ( $T_{\text{des}}$ ) kann die Soll-Zündfunkenvorverstellung ( $S_{\text{des}}$ ) ermittelt werden basierend auf

$$S_{\text{des}} = T^{-1}(T_{\text{des}}, \text{APC}, I, E, \text{AF}, \text{OT}, \#). \quad (2)$$

**[0098]** Diese Beziehung kann durch eine Gleichung und/oder durch eine Nachschlagetabelle verkörpert werden. Das Luft/Kraftstoffverhältnis (AF) kann das Ist-Luft/Kraftstoffverhältnis sein, wie es von dem Kraftstoffsteuermodul **240** angegeben wird.

**[0099]** Wenn die Zündfunkenvorverstellung auf die kalibrierte Zündfunkenvorverstellung eingestellt wird, kann das resultierende Drehmoment so nahe wie möglich bei einem mittleren Bestdrehmoment (MBT) liegen. Das MBT bezieht sich auf das maximale Motorausgangsdrehmoment, das für eine gegebene

Luftströmung erzeugt wird, wenn die Zündfunkenvorverstellung erhöht wird, während Kraftstoff mit einer Oktanzahl größer als ein vorbestimmter Schwellenwert und eine stöchiometrische Kraftstoffzufuhr verwendet werden. Die Zündfunkenvorverstellung, bei der dieses maximale Drehmoment auftritt, wird als ein MBT-Zündfunken bezeichnet. Die kalibrierte Zündfunkenvorverstellung kann sich beispielsweise aufgrund der Kraftstoffqualität (wenn beispielsweise Kraftstoff mit geringerer Oktanzahl verwendet wird) und aufgrund von Umweltfaktoren von dem MBT-Zündfunken leicht unterscheiden. Das Drehmoment bei der kalibrierten Zündfunkenvorverstellung kann daher kleiner als das MBT sein.

**[0100]** Das Luftsteuermodul **228** kann das Ziel-Flächensignal an das Drossel-Aktuatormodul **116** ausgeben. Das Drossel-Aktuatormodul **116** regelt dann das Drosselventil **112**, um die Ziel-Drosselfläche zu erreichen. Das Luftsteuermodul **228** kann das Ziel-Flächensignal basierend auf einem inversen Drehmomentmodell und der Luftdrehmomentanforderung erzeugen. Das Luftsteuermodul **228** kann das geschätzte Luftdrehmoment und/oder das MAF-Signal verwenden, um eine Regelung der Motorluftströmung auszuführen. Beispielsweise kann das Ziel-Flächensignal gesteuert werden, um eine Differenz zwischen dem geschätzten Luftdrehmoment und der Luftdrehmomentanforderung zu minimieren.

**[0101]** Das Luftsteuermodul **228** kann den Ziel-MAP an ein Ladedruck-Zeitplanungsmodul **248** ausgeben. Das Ladedruck-Zeitplanungsmodul **248** kann den Ziel-MAP verwenden, um das Ladedruck-Aktuatormodul **164** zu steuern. Das Ladedruck-Aktuatormodul **164** kann dann einen oder mehrere Turbolader (z. B. den Turbolader, der die Turbine **160-1** und den Kompressor **160-2** umfasst) und/oder Turbokompressoren basierend auf dem Ziel-MAP steuern. Das Luftsteuermodul **228** kann den Ziel-MAP basierend auf einem inversen Drehmomentmodell und der Luftdrehmomentanforderung erzeugen.

**[0102]** Das Luftsteuermodul **228** kann die Ziel-APC an ein Phasensteller-Zeitplanungsmodul **252** ausgeben. Das Phasensteller-Zeitplanungsmodul **252** steuert die Nockenphasenstellerpositionen während des normalen Betriebs basierend auf der RPM und der Ziel-RPC. Während eines Gangwechsels steuert das Phasensteller-Zeitplanungsmodul **252** die Nockenphasenstellerpositionen jedoch selektiv basierend auf Optimalwertparametern.

**[0103]** Zur Erleichterung der Diskussion kann gesagt werden, dass der Gangwechsel aus zwei aufeinander folgenden Phasen besteht: einer Drehmomentphase und einer Trägheitsphase. Während der Drehmomentphase des Gangwechsels kann das TCM **194** das Getriebe für den Wechsel von dem momentanen Gang in einen nächsten Gang vorbereiten, während

die RPM aufrechterhalten wird. Eine oder mehrere Kupplungen können während der Drehmomentphase des gegebenen Gangwechsels gefüllt, freigegeben, betätigt oder auf andere Weise vorbereitet werden. Obwohl dies nicht gezeigt ist, können lediglich beispielhaft eine ausrückende Kupplung (die dem momentanen Gang zugeordnet ist) und eine einrückende Kupplung (die dem nächsten Gang zugeordnet ist) betätigt werden, um das Drehmoment während der Drehmomentphase zu halten.

**[0104]** Während der Trägheitsphase des Gangwechsels wird der Drehmomentbetrag, der durch die einrückende Kupplung gehalten wird, erhöht, die ausrückende Kupplung wird freigegeben, und der momentane Gang wird in den nächsten Gang übergeführt. Wenn der Gangwechsel ein Hochschalten ist (z. B. von dem zweiten Gang in den dritten Gang), kann die Trägheit des Fahrzeugs die RPM während der Trägheitsphase des Gangwechsels verringern. Dieses Verringern ermöglicht dem Motor **102**, bei einer gegebenen Fahrzeuggeschwindigkeit mit einer niedrigeren RPM zu arbeiten, wenn der nächste Gang (mit einem niedrigeren Übersetzungsverhältnis) in dem Getriebe eingelegt wird. Wenn der Gangwechsel ein Herunterschalten ist (z. B. von dem dritten Gang in den zweiten Gang), kann die Trägheit des Fahrzeugs die RPM während der Trägheitsphase des Gangwechsels erhöhen.

**[0105]** Das Luftsteuermodul **228** kann die Optimalwertparameter (FF-Parameter) ermitteln, die das Phasensteller-Zeitplanungsmodul **252** selektiv verwendet, um die Einlass- und/oder Auslassnockenwellen-Phasenstellerposition während des Gangwechsels zu steuern. Speziell erzeugt das Phasensteller-Zeitplanungsmodul **252** die angewiesene (n) Phasenstellerposition(en) basierend auf den FF-Parametern während der Trägheitsphase des Gangwechsels. Das Phasensteller-Aktuatoremodul **158** steuert die Einlass- und die Auslassnocken-Phasenstellerpositionen basierend auf der angewiesenen Phasenstellerposition bzw. den angewiesenen Phasenstellerpositionen.

**[0106]** Die FF-Parameter können vorausgesagten Werten der jeweiligen Parameter entsprechen, wenn die Trägheitsphase des Gangwechsels endet und der nächste Gang eingelegt wird. Lediglich beispielhaft können die FF-Parameter eine Optimalwert-APC (FF-APC) und eine Optimalwert-RPM (FF-RPM) umfassen. Die FF-APC kann einem vorausgesagten Wert der Ziel-APC entsprechen, wenn die Trägheitsphase endet und der nächste Gang eingelegt wird, und die FF-RPM kann einem vorausgesagten Wert der RPM entsprechen, wenn die Trägheitsphase endet und der nächste Gang eingelegt wird. Das Luftsteuermodul **228** liefert die FF-APC und die FF-RPM an das Phasensteller-Zeitplanungsmodul **252** für die Trägheitsphase des Gangwechsels.

**[0107]** Auf diese Weise steuert das Phasensteller-Zeitplanungsmodul **252** die Einlass- und/oder die Auslassnockenwellen-Phasenstellerposition während der Trägheitsphase des Gangwechsels in einer Optimalwert-Konfiguration basierend auf den vorausgesagten Werten der Ziel-APC und der RPM, wenn die Trägheitsphase endet. Die Optimalwertsteuerung der Einlass- und/oder der Auslassnockenwellen-Phasenstellerposition ermöglicht, dass das Motorsystem **100** eine vorbestimmte Beschleunigung erreicht, wenn die Trägheitsphase endet und der nächste Gang eingelegt wird. Die Optimalwertsteuerung der Einlass- und/oder der Auslassnockenwellen-Phasenstellerposition kann auch eine größere Kraftstoffwirtschaftlichkeit und/oder ein besseres Gefühl in dem Fahrgastraum liefern.

**[0108]** Nun auf **Fig. 3** Bezug nehmend, ist ein Funktionsblockdiagramm einer beispielhaften Implementierung des Luftsteuermoduls **228** dargestellt. Das Luftsteuermodul **228** kann ein Gangermittlungsmodul **302**, ein Trägheitsdetektionsmodul **306**, ein Wechseldetektionsmodul **310**, ein Wechseltimermodul **314** und ein Trägheitsphasen-Detektionsmodul **322** umfassen. Das Luftsteuermodul **228** kann auch ein Ziel-APC-Modul **330**, ein Optimalwert-APC-Modul (FF-APC-Modul) **334**, ein Optimalwert-Motordrehzahlmodul (FF-Motordrehzahlmodul) **338** und ein Umwandlungsmodul **342** umfassen.

**[0109]** Das Gangermittlungsmodul **302** ermittelt, welcher Gang (oder welches Übersetzungsverhältnis) in dem Getriebe eingelegt ist. Mit anderen Worten ermittelt das Gangermittlungsmodul **302** den momentanen Gang. Das Gangermittlungsmodul **302** kann den momentanen Gang basierend auf einem Verhältnis der Getriebe-Eingangswellendrehzahl zu der Fahrzeuggeschwindigkeit ermitteln. Bei verschiedenen Implementierungen kann das Gangermittlungsmodul **302** den momentanen Gang basierend auf anderen Drehzahlen oder Drehzahlverhältnissen ermitteln. Lediglich beispielhaft kann das Gangermittlungsmodul **302** eine Getriebe-Ausgangswellendrehzahl, eine Raddrehzahl oder eine andere geeignete Drehzahl anstelle der Fahrzeuggeschwindigkeit verwenden, und/oder es kann eine Drehmomentwandler-Ausgangsdrehzahl (z. B. eine Turbinen-Ausgangsdrehzahl) oder eine andere geeignete Drehzahl anstelle der Getriebe-Eingangswellendrehzahl verwenden.

**[0110]** Das Trägheitsdetektionsmodul **306** empfängt den momentanen Gang von dem Gangermittlungsmodul **302**. Das Trägheitsdetektionsmodul **306** vergleicht den momentanen Gang mit einem letzten momentanen Gang. Der letzte momentane Gang kann der momentane Gang sein, der durch das Trägheitsdetektionsmodul **306** ermittelt und der während der letzten Steuerschleife an das Trägheitsdetektionsmodul **306** geliefert wurde.

**[0111]** Das Trägheitsdetektionsmodul **306** erzeugt ein erstes Trägheitsphasensignal basierend auf einem Vergleich des momentanen Gangs und des letzten momentanen Gangs. Lediglich beispielhaft kann das Trägheitsdetektionsmodul **306** das erste Trägheitsphasensignal auf einem aktiven Zustand (z. B. auf 5 V) setzen, wenn der momentane Gang und der letzte momentane Gang nicht gleich sind. Das Trägheitsdetektionsmodul **306** kann das erste Trägheitsphasensignal auch auf einem inaktiven Zustand (z. B. auf 0 V) setzen, wenn der momentane und der letzte momentane Gang gleich sind. Wenn der momentane Gang während der Drehmomentphase des Gangwechsels derselbe bleibt, gibt eine Änderung in dem momentanen Gang (d. h. eine Differenz zwischen dem letzten momentanen Gang und dem momentanen Gang) an, dass die Trägheitsphase des Gangwechsels auftritt. Das Trägheitsdetektionsmodul **306** liefert das erste Trägheitsphasensignal an das Trägheitsphasen-Detektionsmodul **322**.

**[0112]** Das Wechseldetektionsmodul vergleicht den momentanen Gang mit einem angewiesenen Gang. Das ECM **114** kann den angewiesenen Gang von dem TCM **114** empfangen. Das Wechseldetektionsmodul **310** erzeugt ein Gangwechselsignal basierend auf dem Vergleich des momentanen Gangs und des angewiesenen Gangs. Lediglich beispielhaft kann das Wechseldetektionsmodul **310** das Gangwechselsignal auf einen aktiven Zustand (z. B. auf 5 V) setzen, wenn der momentane Gang und der angewiesene Gang nicht gleich sind. Das Wechseldetektionsmodul **310** kann das Gangwechselsignal auch auf einen inaktiven Zustand (z. B. 0 V) setzen, wenn der momentane und der angewiesene Gang gleich sind. Auf diese Weise gibt das Setzen des Gangwechselsignals auf den aktiven Zustand an, dass das TCM **194** die Drehmomentphase eines Gangwechsels ausgelöst hat. Das Wechseldetektionsmodul **310** liefert das Gangwechselsignal an das Trägheitsphasen-Detektionsmodul **322**.

**[0113]** Das Wechseltimermodul **314** empfängt auch das Gangwechselsignal und initialisiert einen Wechseltimer, wenn das Gangwechselsignal von dem inaktiven Zustand in den aktiven Zustand übergeht. Mit anderen Worten initialisiert das Wechseltimermodul **314** den Wechseltimer, wenn das TCM **194** die Drehmomentphase des Gangwechsels auslöst. Lediglich beispielhaft kann das Wechseltimermodul **314** den Wechseltimer initialisieren, indem der Wechseltimer auf einen vorbestimmten Rückstellwert (z. B. Null) gesetzt wird und das Hochzählen des Wechseltimers gestartet wird. Der Wechseltimer verfolgt daher die Zeitdauer, die vergangen ist, seit die Drehmomentphase des Gangwechsels begonnen hat.

**[0114]** Das Wechseltimermodul **314** erzeugt ein zweites Trägheitsphasensignal basierend auf dem Wechseltimer. Lediglich beispielhaft kann das Wech-

seltimermodul **314** das zweite Trägheitsphasensignal auf einen aktiven Zustand (z. B. auf 5 V) setzen, wenn der Wechseltimer größer als eine vorbestimmte Dauer ist. Das Wechseltimermodul **314** kann das zweite Trägheitsphasensignal auch auf einen inaktiven Zustand (z. B. auf 0 V) setzen, wenn der Wechseltimer kleiner als die vorbestimmte Dauer ist.

**[0115]** Die vorbestimmte Dauer kann einer erwarteten Länge (Dauer) der Trägheitsphase des Gangwechsels entsprechen. Die vorbestimmte Dauer kann basierend auf dem Gangwechsel variabel sein. Lediglich beispielhaft kann die vorbestimmte Dauer für Gangwechsel zwischen höheren Gängen (z. B. von dem fünften in den sechsten, dem vierten in den fünften oder umgekehrt) kürzer als für Gangwechsel zwischen niedrigeren Gängen sein (z. B. von dem ersten in den zweiten, dem zweiten in den dritten oder umgekehrt). Lediglich beispielhaft kann die vorbestimmte Dauer für einen Gangwechsel mit einer kürzesten Drehmomentphase ungefähr 100 ms betragen. Das Wechseltimermodul **314** liefert das zweite Trägheitsphasensignal an das Trägheitsphasen-Detektionsmodul **322**.

**[0116]** Das Trägheitsphasen-Detektionsmodul **322** erzeugt ein Trägheitssignal basierend auf dem ersten Trägheitsphasensignal, dem zweiten Trägheitsphasensignal und dem Gangwechselsignal. Lediglich beispielhaft kann das Trägheitsphasen-Detektionsmodul **322** das Trägheitssignal auf einen ersten Zustand (z. B. auf 5 V) setzen, wenn sich das erste und das zweite Trägheitsphasensignal in dem aktiven Zustand befinden und sich das Gangwechselsignal in dem aktiven Zustand befindet. Das Trägheitsphasen-Detektionsmodul **322** kann das Trägheitssignal auf einen zweiten Zustand (z. B. auf 0 V) setzen, wenn sich eines oder mehrere von dem Gangwechselsignal und dem ersten sowie dem zweiten Trägheitsphasensignal in dem inaktiven Zustand befinden. Auf diese Weise leitet das Trägheitsphasen-Detektionsmodul **322** das Trägheitssignal in den ersten Zustand über, wenn die Trägheitsphase des Gangwechsels beginnt, und es hält das Trägheitssignal in dem ersten Zustand, bis die Trägheitsphase des Gangwechsels endet und der Gangwechsel abgeschlossen ist.

**[0117]** Das Trägheitsphasen-Detektionsmodul **322** kann das Trägheitssignal ferner basierend auf einem Wechsel-Drehmomentmanagementsignal (oder Zündfunken-Drehmomentmanagementsignal) (STM-Signal) erzeugen, das durch das TCM **194** geliefert wird. Das TCM **194** kann anfordern, dass das Betätigungsmodul **224** die Zündfunken-Drehmomentanforderung derart erzeugt, dass das Zündfunkensteuermodul **232** den Zündfunkenzeitpunkt während des Gangwechsels nach spät verstellt. Das TCM **194** kann das STM-Signal auf einen aktiven Zustand (z. B. auf 5 V) setzen, wenn das TCM **194** die Verstellung des Zündfunkenzeitpunkts nach spät

für den Gangwechsel anfordert. Lediglich beispielhaft kann das Trägheitsphasen-Detektionsmodul **322** anfordern, dass sich das STM-Signal in dem aktiven Zustand befindet, bevor das Trägheitssignal auf den ersten Zustand gesetzt wird.

**[0118]** Das Trägheitsphasen-Detektionsmodul **322** liefert das Trägheitssignal an das Phasensteller-Zeitplanungsmodul **252**. Das Phasensteller-Zeitplanungsmodul **252** wählt die Ziel-APC oder die FF-APC basierend auf dem Zustand des Trägheitssignals aus. Spezieller wählt das Phasensteller-Zeitplanungsmodul **252** das FF-APC-Modul aus, wenn sich das Trägheitssignal in dem ersten Zustand befindet. Das Phasensteller-Zeitplanungsmodul **252** steuert die Phasenstellerpositionen basierend auf der ausgewählten von der Ziel- und der FF-APC, wie nachstehend in Verbindung mit der beispielhaften Ausführungsform von **Fig. 4** diskutiert wird. Auf diese Weise steuert das Phasensteller-Zeitplanungsmodul **252** die Phasenstellerpositionen basierend auf der FF-APC während der Trägheitsphase des Gangwechsels.

**[0119]** Das Ziel-APC-Modul **330** ermittelt die Ziel-APC für den normalen Betrieb. In dem Zusammenhang der vorliegenden Offenbarung kann sich der normale Betrieb auf Zeiten außerhalb der Trägheitsphase eines Gangwechsels beziehen. Das Ziel-APC-Modul **330** kann die Ziel-APC basierend auf einem oder mehreren geeigneten Parametern ermitteln, wie beispielsweise der Luftdrehmomentanforderung. Das Ziel-APC-Modul **330** liefert die Ziel-APC an das Phasensteller-Zeitplanungsmodul **252**, um diese bei dem Steuern der Phasenstellerpositionen während des normalen Betriebs zu verwenden.

**[0120]** Das FF-APC-Modul **334** ermittelt die FF-APC für das Phasensteller-Zeitplanungsmodul **252**, um diese bei dem Steuern der Phasenstellerposition während der Trägheitsphase des Gangwechsels zu verwenden. Das FF-APC-Modul **334** ermittelt die FF-APC basierend auf der FF-RPM. Das FF-Motordrehzahlmodul **338** ermittelt die FF-RPM.

**[0121]** Das FF-Motordrehzahlmodul **338** kann die FF-RPM basierend auf der Fahrzeuggeschwindigkeit, dem angewiesenen Gang, dem momentanen Gang vor dem Beginn der Drehmomentphase des Gangwechsels und dem momentanen Gang ermitteln. Lediglich beispielhaft kann das FF-Motordrehzahlmodul **338** die FF-RPM unter Verwendung der Gleichung ermitteln:

$$\text{FF RPM} = \frac{\text{TISS} \cdot \text{GCommanded}}{\text{VS} \cdot \text{GBeforeShift}} \cdot \text{VS} + \text{Slip}, \quad (3)$$

wobei TISS die Getriebe-Eingangswellendrehzahl ist, VS die Fahrzeuggeschwindigkeit ist, GCommanded der angewiesene Gang ist, GBeforeShift der momentane Gang zu Beginn der Trägheitsphase des Gang-

wechsels ist und Slip ein Drehmomentwandlerschlupf ist. Der Drehmomentwandlerschlupf kann sich auf eine Differenz zwischen der RPM (oder einer Pumpenradgeschwindigkeit eines Drehmomentwandlers) und der Getriebe-Eingangswellendrehzahl (oder einer Turbinendrehzahl) beziehen. Die FF-RPM entspricht einem vorausgesagten Wert der RPM, wenn die Trägheitsphase des Gangwechsels endet und der angewiesene Gang in dem Getriebe eingelegt wird. Der Quotient der TISS über der VS kann konstant gehalten werden, bis der Gangwechsel abgeschlossen ist.

**[0122]** Das FF-Motordrehzahlmodul **338** liefert die FF-RPM an das Phasensteller-Zeitplanungsmodul **252**, um diese bei dem Steuern der Phasenstellerpositionen während der Trägheitsphase des Gangwechsels zu verwenden, wie nachstehend in Verbindung mit der beispielhaften Ausführungsform von **Fig. 4** diskutiert wird. Das FF-Motordrehzahlmodul **338** liefert die FF-RPM auch an das Umwandlungsmodul **342**.

**[0123]** Das Umwandlungsmodul **342** kann die FF-RPM basierend auf der Fahrerdrehmomentanforderung in die Drehmomentdomäne umwandeln. Mit anderen Worten ermittelt das Umwandlungsmodul **342** ein Optimalwert-Drehmoment (FF-Drehmoment) basierend auf der FF-RPM und der Fahrerdrehmomentanforderung. Das FF-Drehmoment kann der Motordrehmomentabgabe entsprechen, die notwendig ist, um die FF-RPM und die Fahrerdrehmomentanforderung zu erreichen, wenn die Trägheitsphase des Gangwechsels endet.

**[0124]** Das FF-APC-Modul **334** kann die FF-APC basierend auf dem FF-Drehmoment ermitteln. Lediglich beispielhaft kann eine Drehmomentbeziehung invertiert werden, um diese nach der FF-APC aufzulösen. Lediglich beispielhaft kann die FF-APC für ein gegebenes FF-Drehmoment ( $T_{FF}$ ) basierend auf der Beziehung ermittelt werden:

$$\text{FF APC} = T^{-1}(T_{FF}, S, I, E, AF, OT, \#). \quad (4)$$

**[0125]** Diese Beziehung kann durch eine Gleichung und/oder durch eine Nachschlagetabelle verkörpert werden.

**[0126]** Nun auf **Fig. 4** Bezug nehmend, ist ein Funktionsblockdiagramm einer beispielhaften Ausführungsform des Phasensteller-Zeitplanungsmodul **252** dargestellt. Das Phasensteller-Zeitplanungsmodul **252** kann ein Ziel-Phasenstellerpositionsmodul **404**, ein Optimalwert-Phasenstellerpositionsmodul (FF-Phasenstellerpositionsmodul) **408** und ein Phasensteller-Steuermodul **420** umfassen. Das Phasensteller-Zeitplanungsmodul **252** kann auch ein Schleifenanzahl-Ermittlungsmodul **424** und ein Ratengrenzen-Ermittlungsmodul **428** umfassen.

**[0127]** Das Ziel-Phasenstellerpositionsmodul **404** ermittelt eine Ziel-Phasenstellerposition zum Steuern der Einlass- und/oder der Auslassnockenwellen-Phasenstellerposition während des normalen Betriebs. Das Ziel-Phasenstellerpositionsmodul **404** kann die Ziel-Phasenstellerposition beispielsweise basierend auf der Ziel-APC und der RPM ermitteln. Das Ziel-Phasenstellerpositionsmodul **404** liefert die Ziel-Phasenstellerposition an das Phasensteller-Steuermodul **420**.

**[0128]** Das FF-Phasenstellerpositionsmodul **408** ermittelt eine Optimalwert-Phasenstellerposition (FF-Phasenstellerposition) zum Steuern der Einlass- und/oder der Auslassnockenwellen-Phasenstellerposition während der Trägheitsphase des Gangwechsels. Das FF-Phasenstellerpositionsmodul **408** liefert die FF-Phasenstellerposition an das Phasensteller-Steuermodul **420**.

**[0129]** Das Phasensteller-Steuermodul **420** steuert die Einlass- und/oder die Auslassnockenwellen-Phasenstellerposition mittels des Phasensteller-Aktuatoremoduls **158**. Speziell liefert das Phasensteller-Steuermodul **420** die angewiesene Phasenstellerposition an das Phasensteller-Aktuatoremodul **158**. Das Phasensteller-Aktuatoremodul **158** steuert den Einlass- und den Auslass-Nockenphasensteller **148** und **150** basierend auf der angewiesenen Phasenstellerposition. Auf diese Weise steuert das Phasensteller-Steuermodul **420** die Einlass- und/oder die Auslassnockenwellen-Phasenstellerposition basierend auf der FF-Phasenstellerposition.

**[0130]** Das Phasensteller-Steuermodul **420** erzeugt die angewiesene Phasenstellerposition basierend auf der Ziel-Phasenstellerposition, wenn sich das Trägheitssignal in dem zweiten Zustand befindet (d. h. während des normalen Betriebs). Wenn sich das Trägheitssignal in dem ersten Zustand befindet (d. h. während der Trägheitsphase des Gangwechsels), erzeugt das Phasensteller-Steuermodul **420** die angewiesene Phasenstellerposition basierend auf der FF-Phasenstellerposition. In Motorsystemen, in denen die Einlass- und die Auslassnockenwellen-Phasenstellerposition unabhängig gesteuert werden, kann das Phasensteller-Steuermodul **420** eine angewiesene Phasenstellerposition für jede von der Einlass- und der Auslassnockenwellen-Phasenstellerposition erzeugen.

**[0131]** Wenn das Trägheitssignal von dem zweiten Zustand in den ersten Zustand übergeht, ermittelt das Phasensteller-Steuermodul **420** eine Rampenrate für das Überleiten der angewiesenen Phasenstellerposition von der Ziel-Phasenstellerposition zu der FF-Phasenstellerposition. Lediglich beispielhaft kann das Phasensteller-Steuermodul **420** eine Differenz zwischen der FF-Phasenstellerposition und der Ziel-Phasenstellerposition ermitteln, wenn das Träg-

heitssignal von dem zweiten Zustand in den ersten Zustand übergeht, und es kann die Rampenrate basierend auf einem Quotienten der Differenz über einer Trägheitsphasendauer ermitteln. Die Trägheitsphasendauer entspricht einer vorbestimmten Dauer, in der die Trägheitsphase des Gangwechsels ausgeführt wird.

**[0132]** Bei verschiedenen Implementierungen kann das Phasensteller-Steuermodul **420** die angewiesene Phasenstellerposition während der Trägheitsphase des Gangwechsels in einer Anzahl von Stufen eines Betrages von der Ziel-Phasenstellerposition auf die FF-Phasenstellerposition rampenartig anpassen. Die Anzahl der Stufen kann einen Quotienten der Trägheitsphasendauer über einer Schleifenrate des Phasensteller-Zeitplanungsmoduls **252** entsprechen. Lediglich beispielhaft kann die Schleifenrate des Phasensteller-Zeitplanungsmoduls **252** ungefähr 25 ms betragen.

**[0133]** Das Schleifenanzahl-Ermittlungsmodul **424** kann die Anzahl von Stufen (d. h. die Anzahl von Steuerschleifen in der Trägheitsphase des Gangwechsels) als den Quotienten der Trägheitsphasendauer über der Schleifenrate des Phasensteller-Zeitplanungsmoduls **252** ermitteln und diese auf die nächste ganze Zahl abrunden. Das Phasensteller-Steuermodul **420** kann den Betrag für jede der Stufen basierend auf einem Quotienten einer Differenz zwischen der Ziel- und der FF-Phasenstellerposition über der Anzahl der Stufen ermitteln. Das Phasensteller-Steuermodul **420** kann die angewiesene Phasenstellerposition während jeder Steuerschleife um eine Stufe in Richtung der FF-Phasenstellerposition anpassen. Auf diese Weise erreicht die angewiesene Phasenstellerposition die FF-Phasenstellerposition vor dem Ende der Trägheitsphase des Gangwechsels, liegt aber möglichst nahe bei diesem.

**[0134]** Das Phasensteller-Steuermodul **420** begrenzt die Änderungsrate in der angewiesenen Phasenstellerposition. Die Ratengrenze kann variabel sein. Das Ratengrenzen-Ermittlungsmodul **428** ermittelt die Ratengrenze und liefert die Ratengrenze an das Phasensteller-Steuermodul **420**. Das Phasensteller-Steuermodul **420** kann die Änderungsrate in der angewiesenen Phasenstellerposition basierend auf der Ratengrenze begrenzen, die durch das Ratengrenzen-Ermittlungsmodul **428** geliefert wird.

**[0135]** Das Ratengrenzen-Ermittlungsmodul **428** kann die Ratengrenze gleich einer ersten Ratengrenze setzen, wenn sich das Trägheitssignal in dem zweiten Zustand befindet. Lediglich beispielhaft kann die erste Ratengrenze ungefähr  $0,3^\circ$  der Nockenwinkelgrade pro Steuerschleife betragen. In Einheiten der Kurbelwinkelgrade (CAD) kann die erste Ratengrenze ungefähr  $0,6$  CAD pro Steuerschleife betragen.

**[0136]** Wenn sich das Trägheitssignal in dem ersten Zustand befindet (d. h. während der Trägheitsphase des Gangwechsels), kann das Ratengrenzen-Ermittlungsmodul **428** die Ratengrenze gleich einer zweiten Ratengrenze setzen. Relativ zu der ersten Ratengrenze ermöglicht die zweite Ratengrenze für eine Steuerschleife größere Änderungen in der angewiesenen Phasenstellerposition. Lediglich beispielhaft kann die zweite Ratengrenze ungefähr  $1,2^\circ$  der Nockenwinkelgrade pro Steuerschleife oder ungefähr 2,4 CAD pro Steuerschleife betragen. Die zweite Ratengrenze kann auf den Betrag der Stufen eines Gangwechsels mit einer kürzesten Trägheitsphasendauer (relativ zu den anderen Gangwechseln) und daher mit dem größten Stufenbetrag gesetzt werden oder auf diesem basieren. Auf diese Weise ermöglicht das Phasensteller-Steuermodul **420** während der Trägheitsphase des Gangwechsels größere Änderungen in der angewiesenen Phasenstellerposition.

**[0137]** Nun auf **Fig. 5** Bezug nehmend, ist eine Grafik der Motordrehzahl (in RPM), der angewiesenen Phasenstellerposition, der Ist-Phasenstellerposition und der Beschleunigung als eine Funktion der Zeit dargestellt. Die Trägheitsphase des Gangwechsels beginnt ungefähr zu der Zeit T1 und endet ungefähr zu der Zeit T2 in der beispielhaften Ausführungsform von **Fig. 5**. In der beispielhaften Ausführungsform von **Fig. 5** ist der Gangwechsel ein Hochschalten, wie beispielsweise ein Schalten von einem zweiten Gang in einen dritten Gang, von dem dritten Gang in einen vierten Gang oder ein anderes geeignetes Hochschalten. Obgleich der Gangwechsel als ein Hochschalten gezeigt und diskutiert wird, ist die vorliegende Offenbarung ebenso auf Herunterschaltungen anwendbar, wie beispielsweise ein Schalten von dem vierten Gang in den dritten Gang, von dem dritten Gang in den zweiten Gang oder ein anderes geeignetes Herunterschalten.

**[0138]** Die gestrichelte Kurve **502** folgt der FF-RPM, und die Kurve **506** folgt der RPM, die durch den RPM-Sensor **180** gemessen wird. Die gestrichelte Kurve **510** folgt der angewiesenen Phasenstellerposition, wenn die angewiesene Phasenstellerposition während der Trägheitsphase des Gangwechsels basierend auf der FF-Phasenstellerposition erzeugt wird. Die Kurve **514** folgt der angewiesenen Phasenstellerposition, wenn die angewiesene Phasenstellerposition während der Trägheitsphase des Gangwechsels basierend auf der Ziel-Phasenstellerposition erzeugt wird.

**[0139]** Die gestrichelte Kurve **518** folgt der Ist-Phasenstellerposition, wenn die angewiesene Phasenstellerposition während der Trägheitsphase eines Gangwechsels basierend auf der FF-Phasenstellerposition erzeugt wird, und die Kurve **522** folgt der Ist-Phasenstellerposition, wenn die angewiesene Pha-

senstellerposition während der Trägheitsphase des Gangwechsels basierend auf der Ziel-Phasenstellerposition erzeugt wird. Die Kurve **526** folgt der Beschleunigung, wenn das Phasensteller-Aktuormodul **158** während der Trägheitsphase des Gangwechsels basierend auf der FF-Phasenstellerposition gesteuert wird, und die Kurve **530** folgt der Beschleunigung, wenn das Phasensteller-Aktuormodul **158** während der Trägheitsphase des Gangwechsels basierend auf der Ziel-Phasenstellerposition gesteuert wird.

**[0140]** Wie durch die RPM **506** dargestellt ist, nimmt die RPM **506** von einem ersten RPM-Niveau **540**, bei dem der momentane Gang eingelegt ist, auf ein zweites RPM-Niveau **544** ab, bei dem der nächste Gang eingelegt ist. Die Trägheit des Fahrzeugs zieht die RPM **506** während der Trägheitsphase des Hochschaltens auf das zweite RPM-Niveau **544** herunter, wie es durch die negative Steigung der RPM **506** zwischen den Zeiten T1 und T2 dargestellt ist. Wenn die Trägheitsphase des Gangwechsels ungefähr zu der Zeit T1 beginnt, nimmt die FF-RPM **502** auf den vorausgesagten Wert der RPM **506** ab, wenn der nächste Gang eingelegt wird und die Trägheitsphase des Hochschaltens endet. Mit anderen Worten nimmt die FF-RPM **502** ungefähr zu der Zeit T1 ungefähr auf das zweite RPM-Niveau **544** ab.

**[0141]** Die Ziel-Phasenstellerposition **514** wird während der Trägheitsphase des Hochschaltens im Wesentlichen aufrechterhalten und nimmt in der Nähe der Zeit T2 ab, wenn sich das Ende der Trägheitsphase nähert. Das Phasensteller-Steuermodul **420** wendet die erste vorbestimmte Ratengrenze bei dem Anpassen der Ist-Phasenstellerposition **522** in Richtung der Ziel-Phasenstellerposition **514** in Ansprechen auf die Abnahme der Ziel-Phasenstellerposition **514** in der Nähe der Zeit T2 an. Dementsprechend erreicht die Ist-Phasenstellerposition **522** schließlich die Ziel-Phasenstellerposition **514** einige Zeit nach dem Ende der Trägheitsphase, wie es durch **548** dargestellt ist.

**[0142]** Diese Verzögerung in dem Erreichen der Ziel-Phasenstellerposition **514** durch die Ist-Phasenstellerposition **522** kann der Beschleunigung **530** eine Grenze auferlegen und bewirken, dass die Beschleunigung **530** kleiner als eine vorbestimmte Beschleunigung ist. Diese Grenzbeschleunigung ist durch die Steigung der Beschleunigung **530** zwischen **552** und **556** dargestellt. Eine andere beispielhafte Darstellung des Steuerns der Nockenphasenstellerpositionen basierend auf der Ziel-Phasenstellerposition während der Trägheitsphase eines Hochschaltens ist auch in der beispielhaften Ausführungsform von **Fig. 6** gezeigt.

**[0143]** Im Gegensatz zu der Ziel-Phasenstellerposition **514** nimmt die FF-Phasenstellerposition **510** ungefähr zu der Zeit T1 ungefähr bei dem Beginn der

Trägheitsphase des Hochschaltens schnell ab. Die FF-Phasenstellerposition **510** nimmt ungefähr auf die angewiesene Phasenstellerposition nach dem Ende der Trägheitsphase und dem Abschließen des Hochschaltens ab.

**[0144]** Das Phasensteller-Steuermodul **420** wendet die zweite vorbestimmte Ratengrenze bei dem Anpassen der Ist-Phasenstellerposition **518** in Richtung der FF-Phasenstellerposition **510** in Ansprechen auf die Abnahme in der FF-Phasenstellerposition **510** in der Nähe der Zeit T1 an. Dementsprechend erreicht die Ist-Phasenstellerposition **518** die FF-Phasenstellerposition **510**, bevor die Trägheitsphase endet, wie es durch **560** dargestellt ist.

**[0145]** Obgleich die Ist-Phasenstellerposition **518** derart dargestellt ist, dass sie die FF-Phasenstellerposition **510** kurz nach der Zeit T1 erreicht, kann die zweite vorbestimmte Ratengrenze derart eingestellt sein, dass die Ist-Phasenstellerposition **518** die FF-Phasenstellerposition **510** bei oder in der Nähe der Zeit T2 erreicht (aber vor dieser), zu der die Trägheitsphase endet. Das Anpassen der Ist-Phasenstellerposition **518** an die FF-Phasenstellerposition **510** bei oder vor dem Ende der Trägheitsphase ermöglicht, dass die Beschleunigung **526** größer die Beschleunigung **530** ist, wenn die Trägheitsphase endet. Diese größere Beschleunigung ist dadurch dargestellt, dass die Steigung der Beschleunigung **526** größer als die Steigung der Beschleunigung **530** ist. Eine beispielhafte Darstellung des Steuerns der Nockenphasenstellerpositionen basierend auf der FF-Phasenstellerposition während der Trägheitsphase eines Hochschaltens ist auch in der beispielhaften Ausführungsform von **Fig. 7** gezeigt.

**[0146]** Nun auf **Fig. 8** Bezug nehmend, ist ein Flussdiagramm dargestellt, das beispielhafte Schritte zeigt, die durch ein Verfahren **800** ausgeführt werden. Die Steuerung kann mit **804** beginnen, wo die Steuerung ermitteln kann, ob der angewiesene Gang gleich dem momentanen Gang ist. Wenn ja, kann die Steuerung mit **808** fortfahren; wenn nein, kann die Steuerung enden. Auf diese Weise ermittelt die Steuerung, ob das TCM **194** den Gangwechsel ausgelöst hat.

**[0147]** Die Steuerung initialisiert den Wechseltimer bei **808**. Lediglich beispielhaft kann die Steuerung bei **808** den Wechseltimer auf den vorbestimmten Rückstellwert zurücksetzen und das Hochzählen des Wechseltimers beginnen lassen. Auf diese Weise verfolgt der Wechseltimer die Dauer der Zeit, die vergangen ist, seit das TCM **194** den Gangwechsel ausgelöst hat. Die Steuerung ermittelt bei **812**, ob die Trägheitsphase des Gangwechsels begonnen hat. Wenn ja, kann die Steuerung mit **816** fortfahren; wenn nein, kann die Steuerung enden. Lediglich beispielhaft kann die Steuerung ermitteln, dass die Trägheitsphase begonnen hat, wenn der Wechselti-

mer größer als die vorbestimmte Dauer ist, wenn die momentane Gang nicht gleich dem letzten momentanen Gang ist und wenn das TCM **194** die Anforderung für eine Verstellung des Zündfunkenzeitpunkts nach spät erzeugt hat (was durch das Empfangen des STM-Signals angegeben wird).

**[0148]** Bei **816** ermittelt die Steuerung die FF-RPM. Lediglich beispielhaft kann die Steuerung die FF-RPM unter Verwendung der Gleichung (3) ermitteln, wie vorstehend beschrieben wurde. Die Steuerung ermittelt bei **820** das FF-Drehmoment. Lediglich beispielhaft kann die Steuerung das FF-Drehmoment basierend auf der FF-RPM und der Fahrer Drehmomentanforderung ermitteln. Die Steuerung ermittelt die FF-APC bei **824**. Lediglich beispielhaft kann die Steuerung die FF-APC basierend auf dem FF-Drehmoment und der Beziehung (4) ermitteln, wie vorstehend beschrieben ist.

**[0149]** Die Steuerung ermittelt die FF-Phasenstellerposition bei **828**. Die Steuerung ermittelt die FF-Phasenstellerposition basierend auf der FF-RPM und der FF-APC. Lediglich beispielhaft kann die Steuerung die FF-Phasenstellerposition unter Verwendung einer Funktion, welche die FF-RPM und die FF-APC mit der FF-Phasenstellerposition in Beziehung setzt, oder unter Verwendung einer oder mehrerer Abbildungen ermitteln, welche die FF-RPM und die FF-APC mit der FF-Phasenstellerposition in Beziehung setzen.

**[0150]** Die Steuerung ermittelt bei **832** die Anzahl von Steuerschleifen innerhalb der Trägheitsphase des Gangwechsels. Lediglich beispielhaft kann die Steuerung die Anzahl von Schleifen basierend auf dem Quotienten der Trägheitsphasendauer über der Schleifenrate des Phasensteller-Zeitplanungsmoduls **252** ermitteln. Die Steuerung kann die Trägheitsphasendauer (d. h. die Zeitdauer der Trägheitsphase) basierend auf dem Gangwechsel ermitteln. Beispielsweise können Gangwechsel zwischen relativ hohen Gängen (z. B. von dem fünften in den sechsten oder umgekehrt) kürzere Trägheitsphasendauern als Gangwechsel zwischen relativ niedrigen Gängen aufweisen (z. B. vom ersten in den zweiten oder umgekehrt).

**[0151]** Die Steuerung wendet bei **836** die zweite Ratengrenze bei dem Anpassen der angewiesenen Phasenstellerposition in Richtung der FF-Phasenstellerposition an. Die zweite Ratengrenze ist größer als die erste Ratengrenze, die verwendet wird, um die Änderungsraten bei dem Anpassen der angewiesenen Phasenstellerposition in Richtung der Ziel-Phasenstellerposition zu begrenzen. Die Steuerung erzeugt bei **840** die angewiesene Phasenstellerposition basierend auf der ratenbegrenzten FF-Phasenstellerposition. Die Steuerung steuert den Einlass- und/oder den Auslass-Nockenphasensteller **148** und **150** ba-

sierend auf der angewiesenen Phasenstellerposition. Die Steuerung kann anschließend enden. Es ist einzusehen, dass das Verfahren **800** eine Steuerschleife darstellt und dass die Steuerung zu **804** zurückkehren kann, anstatt zu enden.

#### Bezugszeichenliste

#### LEGENDE ZU Fig. 1

<b>104</b>	Fahrereingabemodul
<b>114</b>	Motorsteuermodul
<b>116</b>	Drossel-Aktuatormodul
<b>120</b>	Zylinder-Aktuatormodul
<b>124</b>	Kraftstoff Aktuatormodul
<b>126</b>	Zündfunken-Aktuatormodul
<b>158</b>	Phasensteller-Aktuatormodul
<b>164</b>	Ladedruck-Aktuatormodul
<b>172</b>	AGR-Aktuatormodul
<b>194</b>	Getriebesteuermodul
<b>196</b>	Hybridsteuermodul
<b>198</b>	Elektromotor

#### LEGENDE ZU Fig. 2

<b>114</b>	Motorsteuermodul
<b>116</b>	Drossel-Aktuatormodul
<b>120</b>	Zylinder-Aktuatormodul
<b>124</b>	Kraftstoff-Aktuatormodul
<b>126</b>	Zündfunken-Aktuatormodul
<b>158</b>	Phasensteller-Aktuatormodul
<b>164</b>	Ladedruck-Aktuatormodul
<b>196</b>	Hybridsteuermodul
<b>202</b>	Fahrerdrehmomentmodul
<b>204</b>	Achsendrehmoment-Vermittlungsmodul
<b>206</b>	Antriebsdrehmoment-Vermittlungsmodul
<b>208</b>	Hybridoptimierungsmodul
<b>220</b>	Reserven/Lastenmodul
<b>224</b>	Betätigungsmodul
<b>228</b>	Luftsteuermodul
<b>232</b>	Zündfunkensteuermodul
<b>236</b>	Zylindersteuermodul
<b>240</b>	Kraftstoffsteuermodul
<b>244</b>	Drehmomentschätzmodul
<b>248</b>	Ladedruck-Zeitplanungsmodul
<b>252</b>	Phasensteller-Zeitplanungsmodul

#### LEGENDE ZU Fig. 3

<b>228</b>	Luftsteuermodul
<b>302</b>	Gangermittlungsmodul
<b>306</b>	Trägheitsdetektionsmodul
<b>310</b>	Wechseldetektionsmodul
<b>314</b>	Wechseltimermodul
<b>322</b>	Trägheitsphasen-Detektionsmodul
<b>330</b>	Ziel-APC-Modul
<b>334</b>	FF-APC-Modul
<b>338</b>	FF-Motordrehzahlmodul
<b>342</b>	Umwandlungsmodul

#### LEGENDE ZU Fig. 4

<b>158</b>	Phasensteller-Aktuatormodul
<b>252</b>	Phasensteller-Zeitplanungsmodul
<b>404</b>	Ziel-Phasenstellerpositionsmodul
<b>408</b>	FF-Phasenstellerpositionsmodul
<b>420</b>	Phasensteller-Steuermodul
<b>424</b>	Schleifenanzahl-Ermittlungsmodul
<b>428</b>	Ratengrenzen-Ermittlungsmodul

#### LEGENDE ZU Fig. 8

<b>804</b>	Angewiesener Gang = Momentaner Gang?
<b>808</b>	Initialisiere Wechseltimer
<b>812</b>	Trägheitsphase?
<b>816</b>	Ermittle FF-RPM
<b>820</b>	Ermittle FF-Drehmoment
<b>824</b>	Ermittle FF-APC
<b>828</b>	Ermittle FF-Phasenstellerposition
<b>832</b>	Ermittle Schleifen für Trägheitsphase
<b>836</b>	Wende FF-Ratengrenze an
<b>840</b>	Erzeuge angewiesene Phasenstellerposition

#### Patentansprüche

1. Motorsteuersystem, das umfasst:  
 ein Trägheitsphasen-Detektionsmodul (**322**), das ermittelt, wann eine Trägheitsphase eines Gangwechsels in einem Getriebe auftritt;  
 ein Optimalwert-Motordrehzahlmodul (FF-Motordrehzahlmodul) (**338**), das eine Motordrehzahl für eine zukünftige Zeit voraussagt, zu der die Trägheitsphase endet;  
 ein FF-APC-Modul (**334**), das eine Luft pro Zylinder (APC) für die zukünftige Zeit basierend auf der Motordrehzahl voraussagt;  
 ein FF-Phasenstellerpositionsmodul (**408**), das eine FF-Phasenstellerposition basierend auf der Motordrehzahl und der APC ermittelt;  
 ein Phasensteller-Steuermodul (**420**), das eine Nockenwellen-Phasenstellerposition während der Trägheitsphase des Gangwechsels basierend auf der FF-Phasenstellerposition steuert;  
 ein Ziel-Phasenstellerpositionsmodul (**404**), das eine Ziel-Phasenstellerposition ermittelt, wobei das Phasensteller-Steuermodul (**420**) die Nockenwellen-Phasenstellerposition basierend auf der Ziel-Phasenstellerposition steuert, bevor die Trägheitsphase beginnt und nachdem die Trägheitsphase endet; und  
 ein Phasensteller-Aktuatormodul (**158**), das die Nockenwellen-Phasenstellerposition basierend auf einer angewiesenen Phasenstellerposition steuert, wobei das Phasensteller-Steuermodul (**420**) die angewiesene Phasenstellerposition während der Trägheitsphase des Gangwechsels von der Ziel-Phasenstellerposition rampenartig auf die FF-Phasenstellerposition anpasst;

wobei das Phasensteller-Steuermodul (**420**) eine Anzahl von Stufen basierend auf einer Dauer der Trägheitsphase des Gangwechsels ermittelt, einen Betrag für jede der Stufen basierend auf einer Differenz zwischen der Ziel-Phasenstellerposition und der FF-Phasenstellerposition ermittelt und die angewiesene Phasenstellerposition während der Trägheitsphase unter Verwendung der Anzahl der Stufen des Betrags von der Ziel-Phasenstellerposition rampenartig auf die FF-Phasenstellerposition anpasst.

momentanen Gang verschieden ist, eine von einem Wechseltimer verfolgte Zeitdauer länger als eine vorbestimmte Dauer ist und der momentane Gang zu der momentanen Zeit von dem momentanen Gang zu einer vorhergehenden Zeit verschieden ist, und wobei der Wechseltimer eine Zeitdauer zwischen einem Zeitpunkt, zu welchem das Gangwechselsignal von dem inaktiven in den aktiven Zustand übergeht, und der momentanen Zeit verfolgt.

Es folgen 8 Seiten Zeichnungen

2. Motorsteuersystem nach Anspruch 1, wobei das Ziel-Phasenstellerpositionsmodul (**404**) die Ziel-Phasenstellerposition basierend auf einer zweiten Motordrehzahl, die durch einen Motordrehzahlsensor (**180**) gemessen wird, und einer Ziel-APC ermittelt.

3. Motorsteuersystem nach Anspruch 1, das ferner ein Ratengrenzen-Ermittlungsmodul (**428**) umfasst, das eine Ratengrenze basierend darauf festlegt, ob die Trägheitsphase auftritt, wobei das Phasensteller-Steuermodul (**420**) die Ratengrenze bei dem Steuern der Nockenwellen-Phasenstellerposition anwendet.

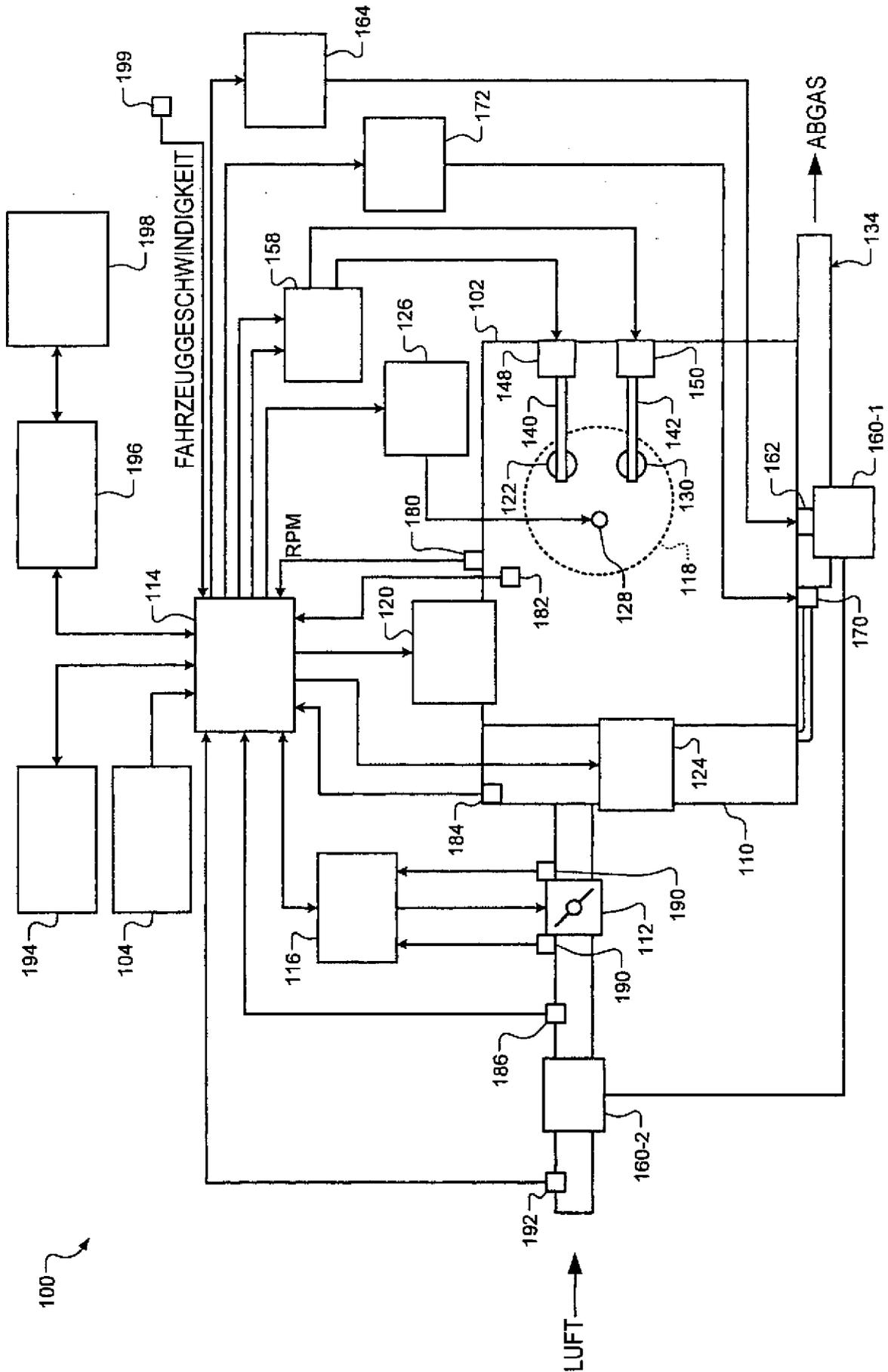
4. Motorsteuersystem nach Anspruch 3, wobei das Ratengrenzen-Ermittlungsmodul (**428**) die Ratengrenze während der Trägheitsphase des Gangwechsels auf eine erste Ratengrenze festlegt und die Ratengrenze vor und nach der Trägheitsphase auf eine zweite Ratengrenze festlegt und wobei die erste Ratengrenze größer als die zweite Ratengrenze ist.

5. Motorsteuersystem nach Anspruch 1, wobei das Phasensteller-Steuermodul (**420**) den Betrag für jede der Stufen basierend auf einem Quotienten der Differenz über der Anzahl der Stufen ermittelt.

6. Motorsteuersystem nach Anspruch 1, das ferner ein FF-Drehmomentmodul (**342**) umfasst, das ein FF-Drehmoment für die zukünftige Zeit basierend auf der Motordrehzahl und einer Fahrerdrehmomentanforderung ermittelt, wobei das FF-APC-Modul (**334**) die FF-APC basierend auf dem FF-Drehmoment ermittelt.

7. Motorsteuersystem nach Anspruch 1, das ferner ein Wechseldetektionsmodul (**310**) umfasst, das ein Gangwechselsignal basierend auf einem Vergleich eines momentanen Gangs, der in dem Getriebe ausgewählt ist, und eines von einem Getriebe-Steuermodul (**194**) angewiesenen Gangs erzeugt, wobei das Wechseldetektionsmodul (**310**) das Gangwechselsignal auf einen aktiven Zustand setzt, wenn der momentane Gang und der angewiesene Gang verschieden sind, und das Gangwechselsignal auf einen inaktiven Zustand setzt, wenn der momentane Gang und der angewiesene Gang gleich sind, wobei das Trägheitsphasen-Detektionsmodul (**322**) ermittelt, dass die Trägheitsphase des Gangwechsels auftritt, wenn der angewiesene Gang von dem

Anhängende Zeichnungen



**FIG. 1**

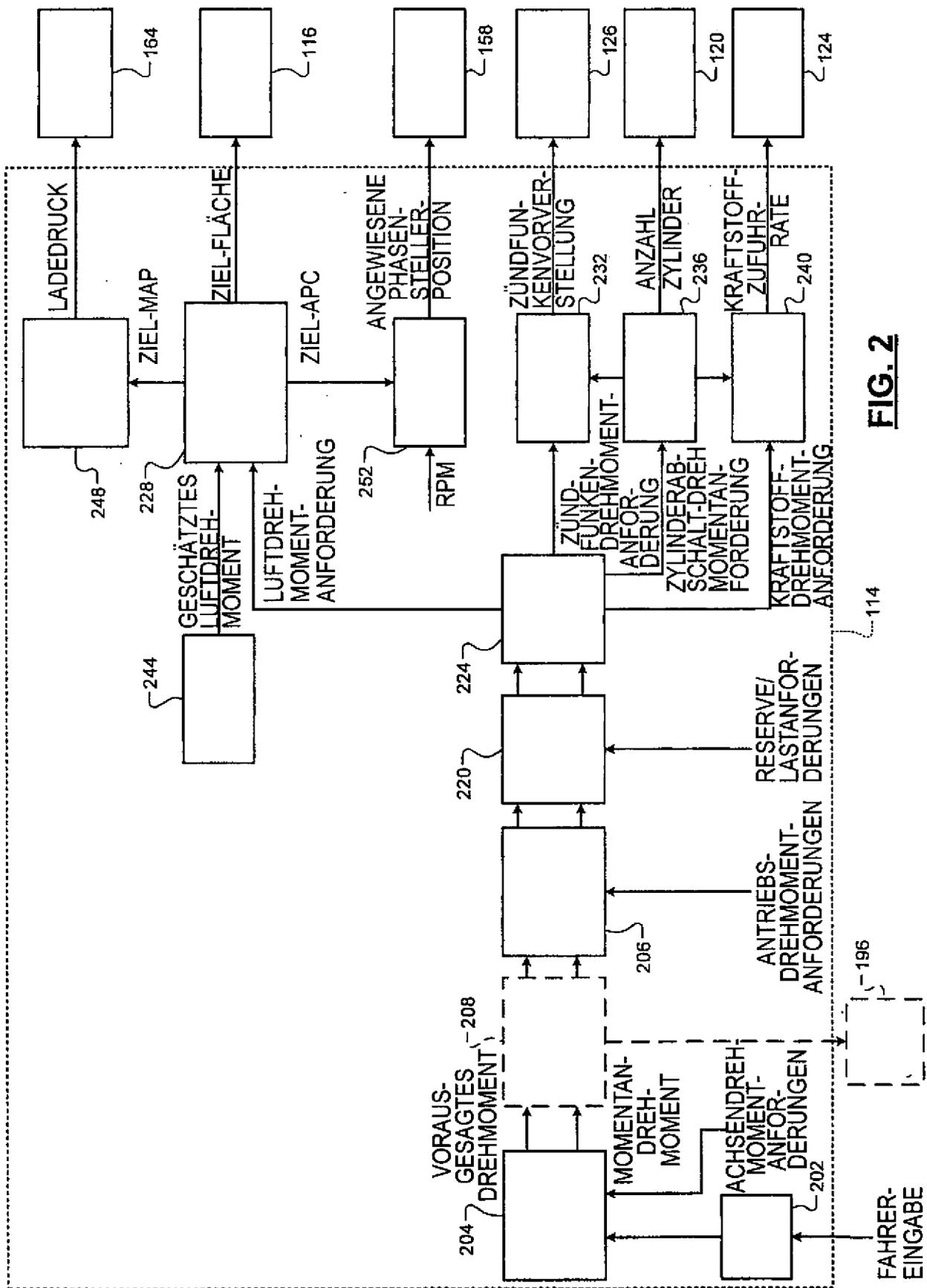
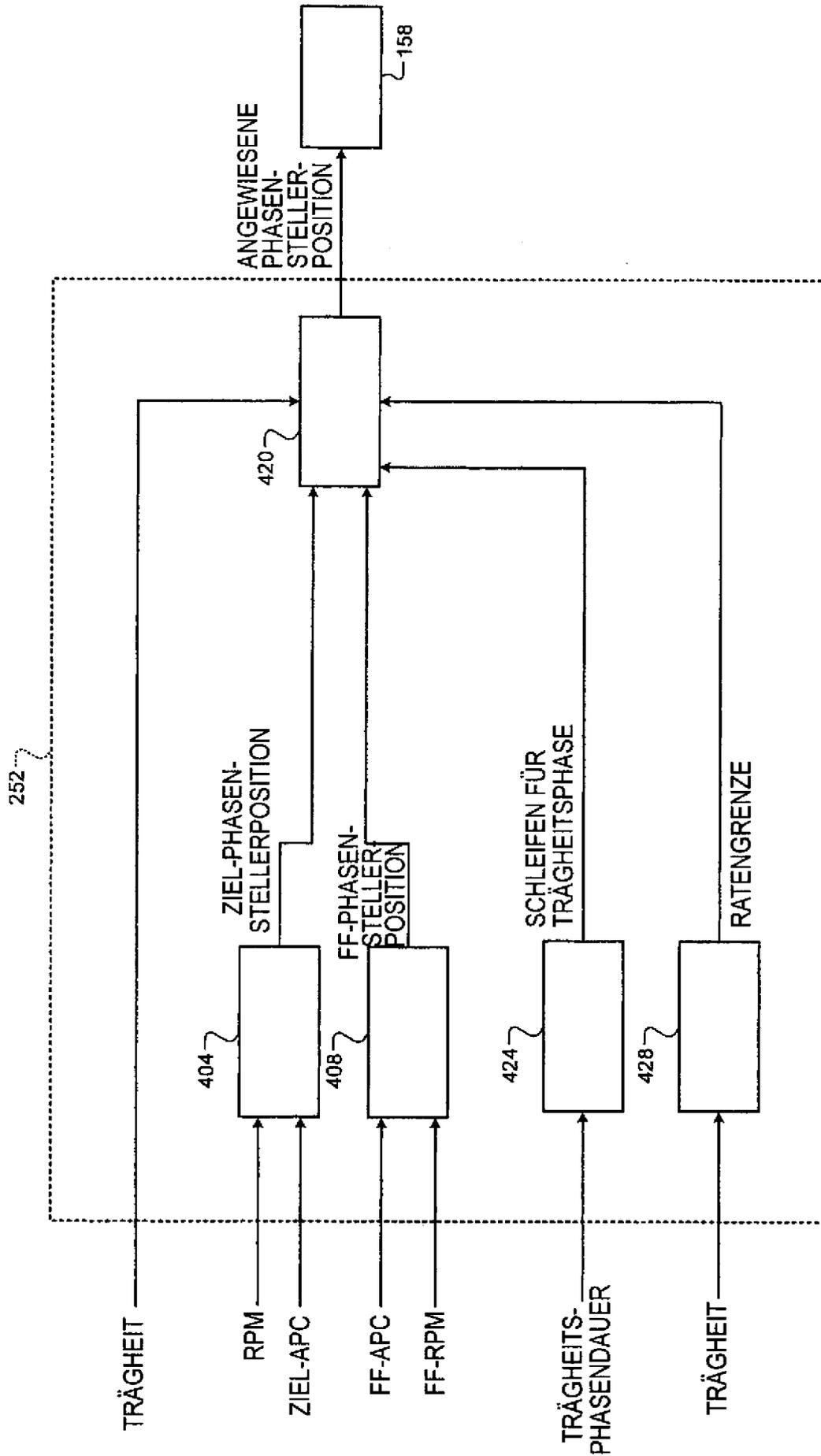
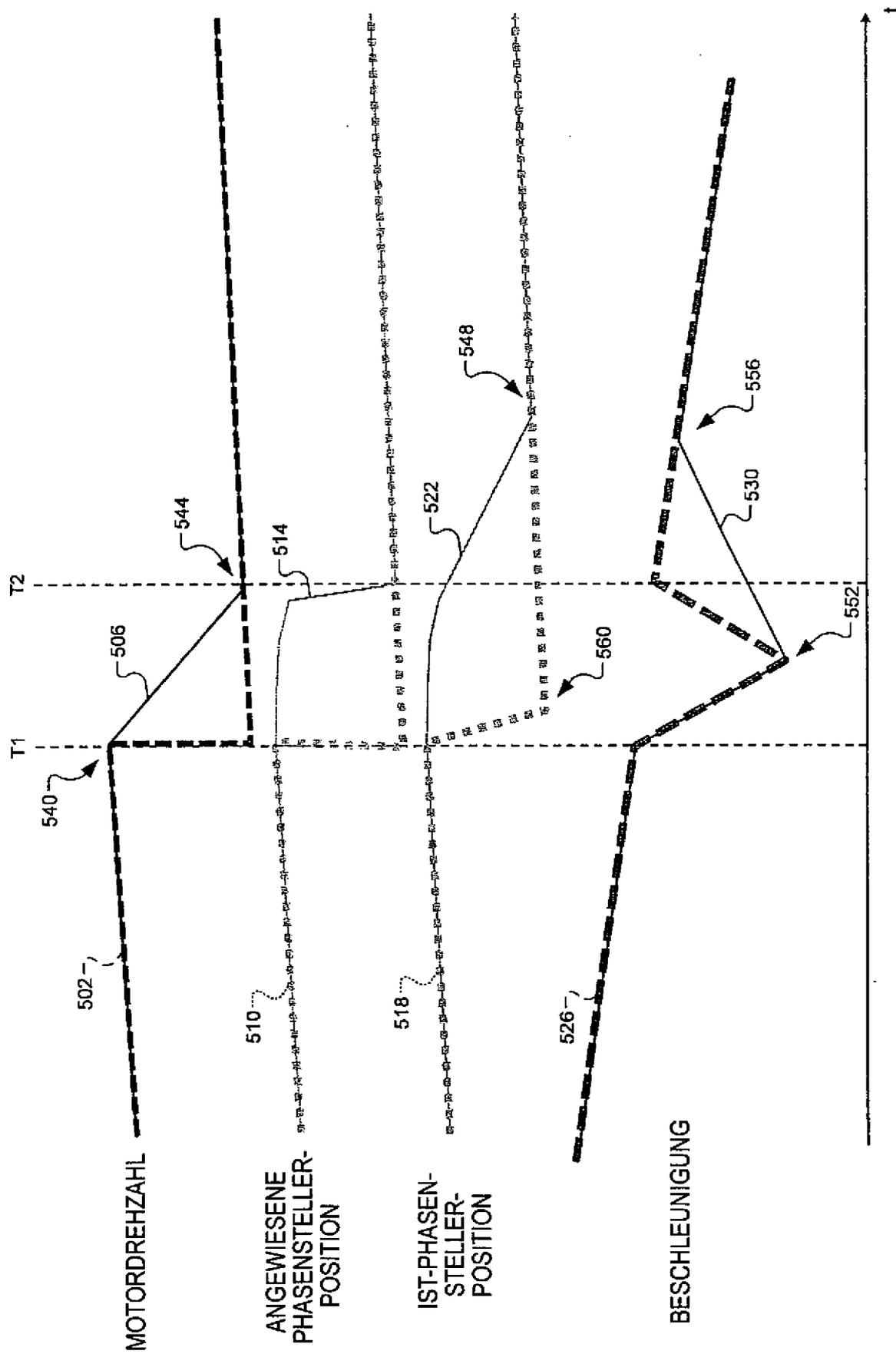


FIG. 2

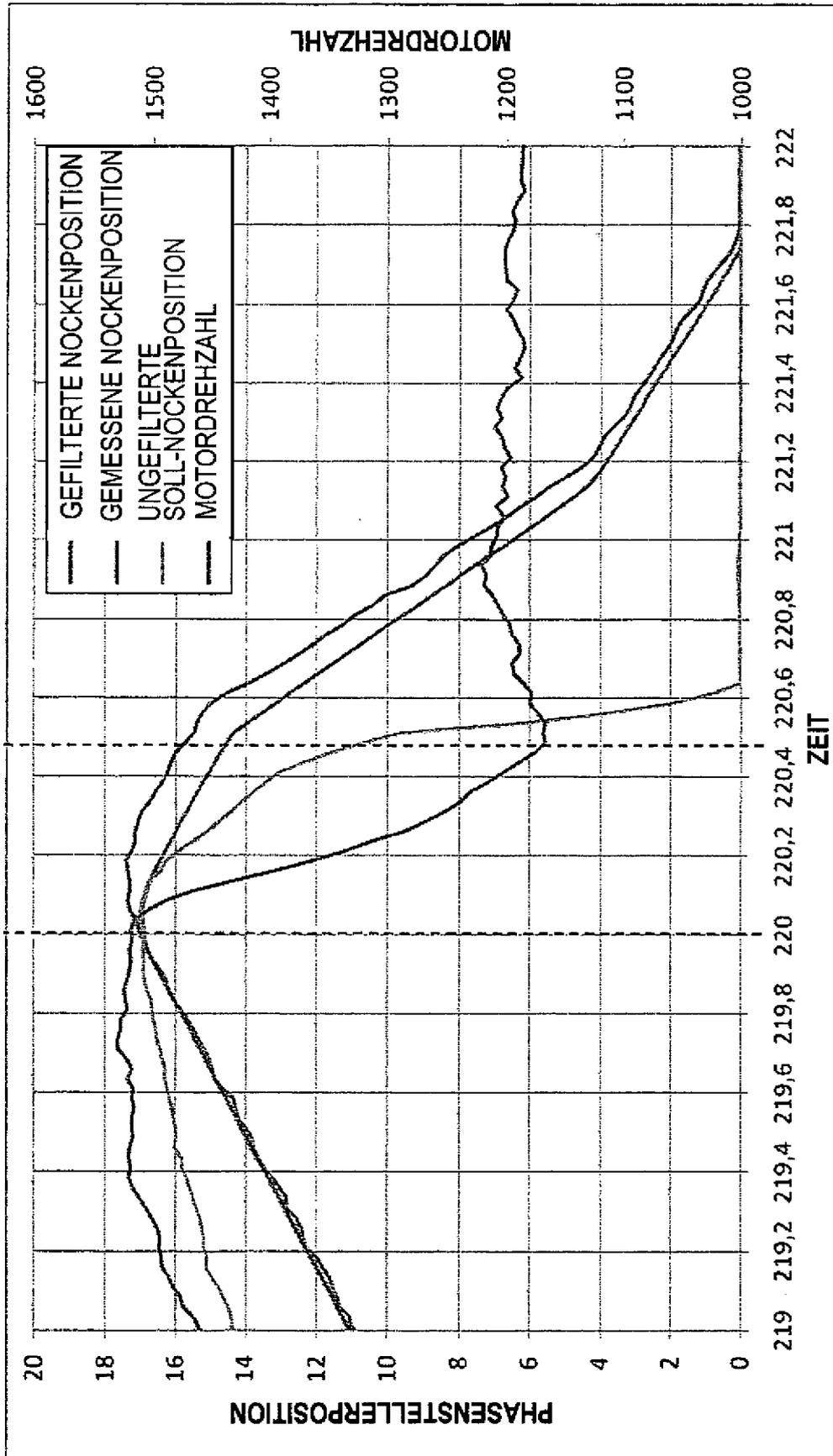




**FIG. 4**

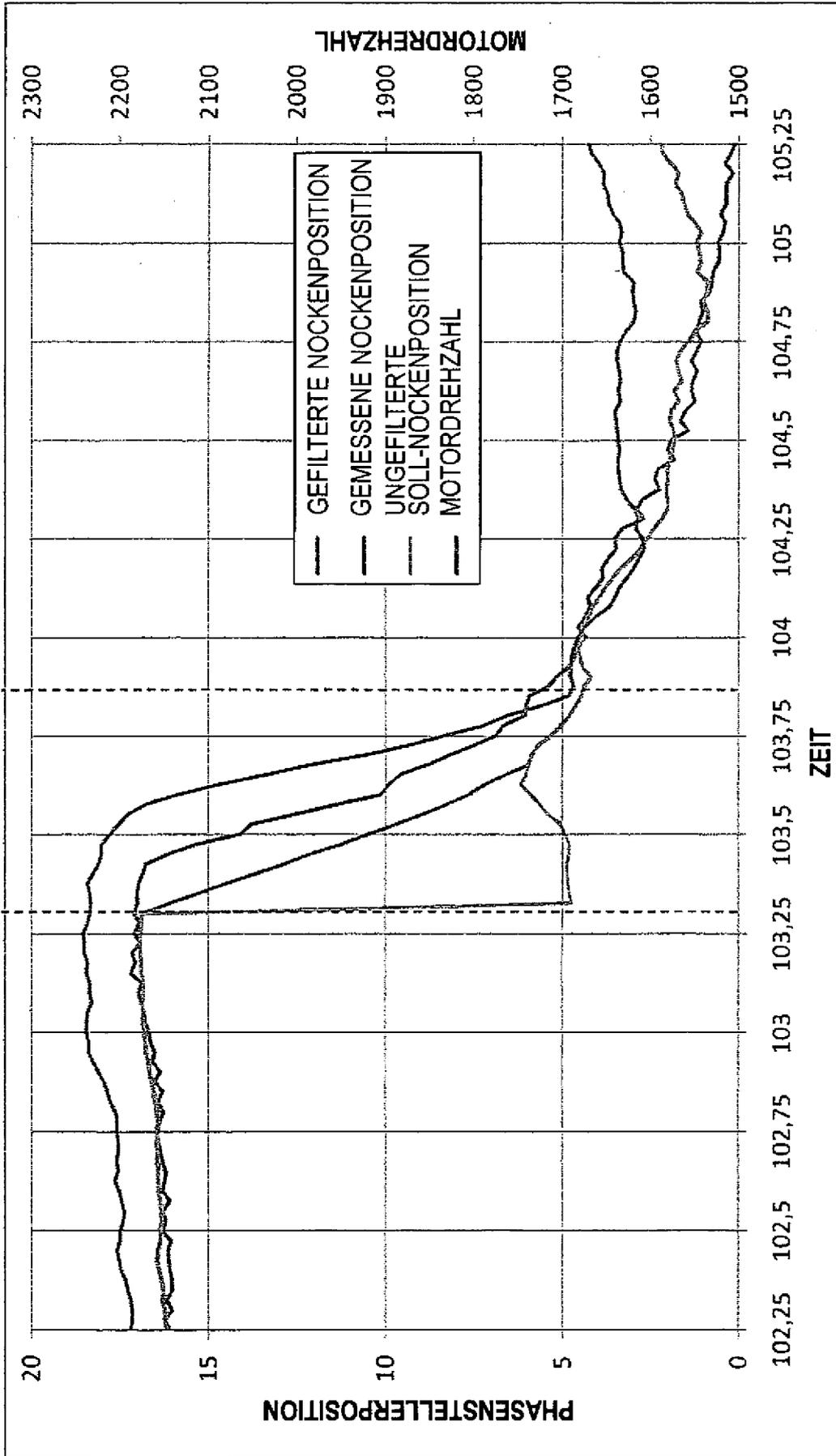


**FIG. 5**

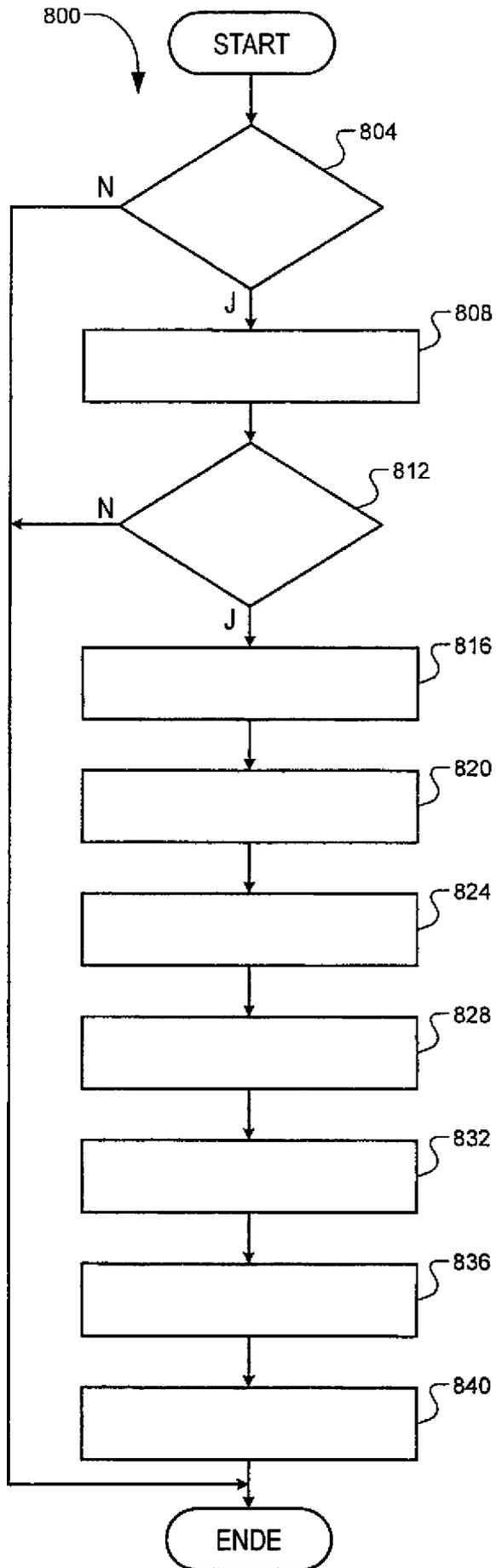


TRÄGHEITSPHASE

**FIG. 6**



**FIG. 7**



**FIG. 8**