



(11) **EP 4 296 496 A2**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:  
**27.12.2023 Patentblatt 2023/52**

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):  
**F02D 41/24<sup>(2006.01)</sup> G01M 15/04<sup>(2006.01)</sup>**

(21) Anmeldenummer: **23180324.8**

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):  
**F02D 41/2432; G01M 15/04; F02D 41/1405; F02D 41/1406**

(22) Anmeldetag: **20.06.2023**

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
**AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC ME MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR**  
Benannte Erstreckungsstaaten:  
**BA**  
Benannte Validierungsstaaten:  
**KH MA MD TN**

(72) Erfinder:  
• **Schmidt, Dennis**  
**38442 Wolfsburg, (DE)**  
• **Kruschel, Christian**  
**38106 Braunschweig (DE)**

(30) Priorität: **20.06.2022 DE 102022115239**

(74) Vertreter: **Fukala, Georg**  
**IAV GmbH**  
**Ingenieurgesellschaft Auto und Verkehr**  
**Entwicklungszentrum Chemnitz/Stollberg**  
**Auer Straße 54**  
**09366 Stollberg (DE)**

(71) Anmelder: **IAV GmbH**  
**Ingenieurgesellschaft Auto und Verkehr**  
**10587 Berlin (DE)**

(54) **VERFAHREN UND SYSTEM ZUR ZIELGRÖSSENOPTIMIERTEN APPLIKATION DER STEUEREINHEIT EINER FAHRZEUGKOMPONENTE**

(57) System zur zielgrößenoptimierten Applikation der Steuereinheit (5) einer Fahrzeugkomponente (3), umfassend eine Vermessungseinrichtung (2), die eingerichtet ist, um wenigstens einen Messpunkt eines ausgewählten Betriebspunktes einer Fahrzeugkomponente (3) zu vermessen, um wenigstens einen Messwert mittels einer Messeinrichtung (7) aufzunehmen und an eine Applikationseinrichtung (8) zu übertragen, sowie eine Applikationseinrichtung (8), umfassend wenigstens je eine Recheneinheit (11), einen elektronischen Speicher (12), eine Eingangs- (9) und Ausgangsschnittstelle (10), die eingerichtet ist, um mittels Recheneinheit (11) wenigstens einen Messpunkt mittels Auswahlmodell (14) auszuwählen, wenigstens einen Zielgrößenwert in Abhängigkeit wenigstens eines vermessenen Messpunktes zu berechnen, wenigstens einen weiteren Zielgrößenwert in Abhängigkeit der bereits vermessenen Messpunkte mittels eines Vorhersagemodells (13) zu modellieren, das Vorhersagemodell (13) in Abhängigkeit der berechneten Zielgrößenwerte zu trainieren, ein Abbruchkriterium, in Abhängigkeit der berechneten Zielgrößenwerte und einer Anzahl der bereits vermessenen Messpunkte, zu überprüfen, eine zielgrößenoptimale Betriebspunkt-kombination, in Abhängigkeit der vermessenen Messpunkte, der für jeden Messpunkt berechneten Zielgrößenwerte sowie von einer oder mehreren Nebenbedingungen, zu bestimmen, sowie wenigstens einen Steuerparameter durch Interpolieren der Kalibrierungswerte auf Stützstellen jenes Steuerparameters, in Abhängigkeit der zielgrößenoptimalen Betriebspunkt-kombination, zu

bedaten.

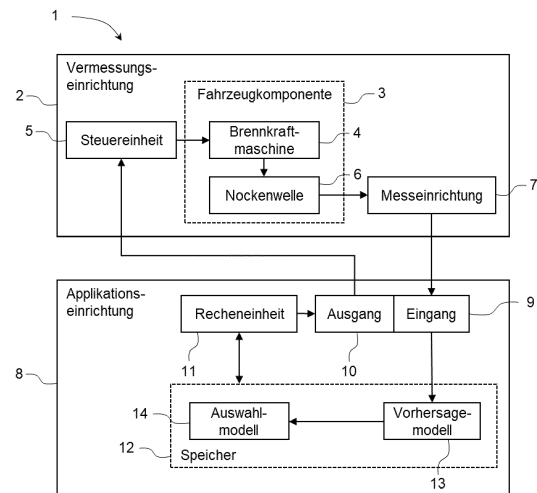


Fig. 1

**EP 4 296 496 A2**

**Beschreibung****Technisches Gebiet**

5 **[0001]** Die Erfindung betrifft die durch maschinelles Lernen gestützte Applikation von Funktionen, welche innerhalb einer Steuereinheit einer Fahrzeugkomponente angeordnet sind.

**Hintergrund**

10 **[0002]** Steuereinheiten von Fahrzeugkomponenten umfassen eine Vielzahl von Funktionen zur Steuerung der Fahrzeugkomponenten. Diese Funktionen sind softwaretechnisch innerhalb der Steuereinheiten der Fahrzeugkomponenten implementiert. Hierbei wird eine Vielzahl der Funktionen unter Anwendung von Kennzahlen, Kennlinien, Kennfeldern oder auch mehrdimensionalen Kennräumen anstelle mittels realer mathematischer Operationen berechnet. Kennzahlen, Kennlinien, Kennfelder und mehrdimensionale Kennräume, im Folgenden als Steuerparameter bezeichnet, enthalten  
 15 somit Zuweisungen von Zahlenwerten, welche entsprechend einer oder mehrerer Eingangsgrößen eine oder mehrere Ausgangsgrößen erzeugen. Um die Zuweisung und somit das Verhalten der einzelnen Funktionen zu beeinflussen, umfassen Steuerparameter Kalibrierungswerte. Um das Verhalten einzelner Funktionen zu verändern, müssen die Kalibrierungswerte angepasst werden. Dieser Vorgang ist auch unter dem Begriff Applikation bekannt. Innerhalb einer Fahrzeugkomponente wird eine Vielzahl von Funktionen, welche beispielsweise das Brennverfahren einer Brennkraftmaschine steuern, stetig angepasst und mit Hinblick auf die durch eine Brennkraftmaschine als die Fahrzeugkomponente erzeugten Abgasemissionen als Zielgröße optimiert. Zur Applikation von Funktionen von Steuereinheiten müssen verschiedene Messparameter vermessen werden, welche ebenfalls Kennzahlen, Kennlinien, Kennfelder sowie mehrdimensionale Kennräume umfassen können. Zur Applikation von Funktionen von Brennkraftmaschinen als Fahrzeugkomponente, bei welchen beispielsweise das Brennverfahren mittels Nockenwellen gesteuert wird, müssen entsprechend  
 20 verschiedene Nockenwellenvariationen als Messparameter für sämtliche interessierende Betriebspunkte des Motorkennfeldes der Brennkraftmaschine vermessen werden. Ein Betriebspunkt des Motorkennfeldes einer Brennkraftmaschine umfasst eine Stützstelle aus Drehzahl ( $n$ ) und Drehmoment ( $M$ ) oder relativer Luftfüllung ( $\rho_l$ ). Eine Nockenwellenvariation, oder mit anderen Worten ein Messpunkt des Messparameters, umfasst Werte für den Gradkurbelwinkel der Kurbelwelle, jeweils für die Einlassnockenwelle, die Auslassnockenwelle sowie den Zündzeitpunkt. Somit ist es erforderlich, für jeden interessierenden Betriebspunkt des Motorkennfeldes, welcher einen potenziellen gewünschten Effekt durch die Applikation erzielen kann, sämtliche Messpunkte zu vermessen. Oft sind jedoch die interessierenden Betriebspunkte, oder mit anderen Worten die Betriebspunkte, die eingerichtet sind, um ein gewünschtes Verhalten der Brennkraftmaschine oder auch der Fahrzeugkomponente zu verändern, nicht bekannt. Diese werden in konventioneller Art und Weise durch Fachwissen manuell festgelegt oder das Motorkennfeld der Brennkraftmaschine wird in ein Raster unterteilt, wobei jeder Betriebspunkt des Rasters der Reihe nach einzeln vermessen werden muss. Nachdem sämtliche Messpunkte für sämtliche Betriebspunkte des Rasters des Motorkennfeldes vermessen wurden, werden diese abschließend hinsichtlich weiterer Nebenbedingungen bewertet und aussortiert, um die gezielte Kombination von Betriebspunkten für das gewünschte Verhalten der Applikation zu identifizieren. Für Applikationsverfahren nach dieser konventionell beschriebenen Art und Weise werden somit viele Betriebspunkte und Betriebspunktkombinationen vermessen, welche  
 30 im späteren Verlauf der Applikation nicht mehr benötigt werden. Somit entsteht hierbei ein Kostentreiber, zeitlich mehr Vermessungsaufwand zu leisten als erforderlich. Um dieser Anforderung zu begegnen, existieren im Stand der Technik Verfahren, um Applikationstätigkeiten zu automatisieren oder sogar Kalibrierungswerte mittels mathematischer Modelle vorherzusagen.

**Stand der Technik**

45 **[0003]** In DE 10 2017 201 632 A1 wird ein System zur Vorhersage von Kalibrierungswerten aufgrund von vorhandenen Kalibrierungen vorgeschlagen, wobei für die Steuerung einer Brennkraftmaschine Trainingsdaten empfangen werden und mit diesen ein Vorhersagemodell automatisiert entwickelt wird. Die Entwicklung des Vorhersagemodells umfasst hierbei das Auswählen einer von mehreren hinterlegten Anwendungen des maschinellen Lernens, aufgrund der Trainingsdaten, welche die Grundlage für das Vorhersagemodell bilden. Im Anschluss an die Entwicklung des Vorhersagemodells werden die erforderlichen Kalibrierungswerte mittels Vorhersagemodell erzeugt und an die entsprechende Steuereinheit übergeben, sodass diese die Brennkraftmaschine steuern kann.

50 **[0004]** In DE 10 2019 008 400 A1 wird ein Verfahren zur Kalibrierung eines Antriebsstranges für ein Fahrzeug vorgeschlagen, wobei der Antriebsstrang, welcher verbrennungsmotorischer, elektrifizierter oder elektrischer Ausgestaltung sein kann, gemäß einem Ablaufplan betrieben wird und, wobei die Kalibrierungswerte mittels verstärkten Lernens ermittelt werden.

**[0005]** In DE10 2013 206 274 A1 wird ein Verfahren zum nachträglichen Anpassen oder auch der Nachapplikation

eines nicht parametrischen Funktionsmodells mittels nachträglich erfasster Trainingsdaten offenbart, wobei nachträglich erfasste Trainingsdaten aus ermittelten Messpunkten bestimmt und durch einen Algorithmus in entsprechende Trainingsdaten umgewandelt sowie zur Anpassung des Funktionsmodells eingesetzt werden.

5 **[0006]** In DE 10 2009 024 544 A1 wird ein Verfahren für eine automatisierte Bedatung eines Steuergerätes eines Fahrzeuges offenbart, wobei beispielsweise eine Kennlinie unter Anwendung von zwei Kennfeldern und zusätzlich ausgewerteten Messdaten einem mathematischen Optimierungsalgorithmus zugeführt werden, um erste Messdaten automatisch in der Kennlinie umzusetzen.

### Kurzdarstellung

10 **[0007]** Den Stand der Technik einen die Umstände, dass zur Automatisierung der Applikationsverfahren entweder auf historische Trainingsdaten zurückgegriffen werden muss, um daraus zunächst ein geeignetes Vorhersagemodell zu entwickeln, wobei jedoch die Validierung mittels realer Messwerte säumig bleibt oder, dass die technische Einrichtung selbst gemäß einem konventionellen Ablaufplan betrieben werden muss, um anhand dieser Abfolge Kalibrierungswerte  
15 mittels Elementen des maschinellen Lernens zu erzeugen.

**[0008]** Dem begegnet die hiermit vorgeschlagene Erfindung, deren Aufgabe es ist, den Applikationsaufwand von Steuereinheiten von Fahrzeugkomponenten insoweit zu reduzieren, als dass mittels Elementen des maschinellen Lernens eine automatisierte Auswahl von zu vermessenden Messpunkten der Betriebspunkte und Betriebspunktombinationen in Abhängigkeit einer gewünschten Zielgröße erzeugt und dazu genutzt wird, um den gesamten Applikationsvorgang zu automatisieren. Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren nach Anspruch 1 sowie ein System nach Anspruch  
20 10 gelöst, wobei durch die abhängigen Unteransprüche weitere Varianten der Erfindung ausgebildet sind. In einem Ausführungsbeispiel, welches gleichermaßen als vorzugsweise Ausführungsform zu verstehen ist, wird die Nockenwellenapplikation einer Brennkraftmaschine durch das erfindungsgemäße Verfahren hinsichtlich optimierter Abgasemissionswerte als zielgrößenoptimierte Applikation, unter Anwendung von Elementen des maschinellen Lernens automatisiert. Die vorzugsweise Ausführungsform der technischen Anwendung der Nockenwellenapplikation ist jedoch lediglich als ein Ausführungsbeispiel für das erfindungsgemäße Verfahren zu verstehen, welches ebenso auf sämtliche weitere Anwendungsfälle übertragbar ist und durch die Anwendung der Nockenwellenapplikation nicht begrenzt sein soll.

**[0009]** Die vorgeschlagene Erfindung umfasst ein Verfahren und ein System zur zielgrößenoptimierten Applikation der Steuereinheit einer Fahrzeugkomponente, wobei die Applikation das Bedaten von wenigstens einem Steuerparameter der Steuereinheit mit Kalibrierungswerten umfasst, umfassend eine zeiteffiziente Betriebspunktvermessung, die  
30 eingerichtet ist, um den Vermessungsaufwand zu reduzieren und hinsichtlich einer Zielgröße zu optimieren, eine zielgrößenoptimierte Betriebspunktombination, die eingerichtet ist, um jene Betriebspunktombination auszuwählen, welche ein bezogen auf die Zielgröße optimiertes Verhalten der Fahrzeugkomponente hervorruft, sowie eine Parameterbedatung, die eingerichtet ist, um aus der zielgrößenoptimierten Betriebspunktombination die Kalibrierungswerte der entsprechenden Steuerparameter zu modellieren.  
35

### Kurzbeschreibung der Zeichnungen

#### [0010]

40 **Fig. 1** zeigt ein Blockschaltbild, das ein System zur zielgrößenoptimierten Applikation der Steuereinheit einer Brennkraftmaschine gemäß einem Ausführungsbeispiel zur Applikation einer Nockenwelle darstellt.

45 **Fig. 2** zeigt einen Prozessablaufplan, der den übergeordneten Prozessablauf des erfindungsgemäßen Verfahrens darstellt.

**Fig. 3** zeigt einen Prozessablaufplan, der den Teilprozess der zeiteffizienten Betriebspunktvermessung darstellt.

50 **Fig. 4A - 4D** zeigen einen beispielhaften Durchlauf der zeiteffizienten Betriebspunktvermessung.

**Fig. 5** zeigt einen Prozessablaufplan, der den Teilprozess der zielgrößenoptimierten Betriebspunktombination darstellt.

55 **Fig. 6A - 6B** zeigen die schematische Darstellung der zielgrößenoptimierten Betriebspunktombination.

**Fig. 7** zeigt das Ergebnis der zielgrößenoptimierten Betriebspunktombination einer beispielhaften Ausführungsform.

Fig. 8 zeigt einen Prozessablaufplan, der den Teilprozess der Parameterbedatung darstellt.

Fig. 9 zeigt die schematische Darstellung der Rohparameterbedatung.

5 Fig. 10 zeigt die Interpolation der Rohparameterbedatung als Ergebnis der zielgrößenoptimierten Applikation einer beispielhaften Ausführungsform.

### Detaillierte Beschreibung

10 **[0011]** Einige Ausführungsformen der hier beschriebenen Systeme und Verfahren beziehen sich auf die Applikation von Steuereinheiten einer Brennkraftmaschine als eine Fahrzeugkomponente, insbesondere auf die Applikation einer oder mehrerer Nockenwellenkennfelder als Steuerparameter, welche innerhalb der Steuereinheit softwaretechnisch implementiert sind. Die beschriebenen Systeme und Verfahren können jedoch ebenso dazu verwendet werden, um Steuereinheiten weiterer Fahrzeugkomponenten zielgrößenoptimiert zu applizieren und sollen nicht durch die hier be-

15 schriebenen Ausführungsformen begrenzt sein. Sämtliche dargestellte Systeme, Teilsysteme und Komponenten können sowohl als Hardware als auch als Software implementiert sein, ein oder mehrere Module sowie eine oder mehrere Übertragungsschnittstellen umfassen, welche nicht einzeln dargestellt sind.  
**[0012]** Fig. 1 zeigt ein Blockschaltbild, das ein System (1) zur zielgrößenoptimierten Applikation der Steuereinheit (5) einer Fahrzeugkomponente (3) gemäß einem Ausführungsbeispiel zur Applikation einer Nockenwelle (6) einer Brennkraftmaschine (4) darstellt, umfassend eine Vermessungseinrichtung (2), die im Wesentlichen dazu eingerichtet ist, um Messwerte für die zu vermessenden Messpunkte zu erzeugen und eine Applikationseinrichtung (8), die im Wesentlichen dazu eingerichtet ist, um eine erfindungsgemäße Applikation ausgewählter Steuerparameter der Steuereinheit (5) durchzuführen. Die Vermessungseinrichtung (2) ist als die Gesamtheit an einzelnen technischen Komponenten und Einrichtungen zu verstehen, welche erforderlich sind, um Messwerte für die Kalibrierungswerte der Steuerparameter der Steuereinheit (5) der Fahrzeugkomponente (3) zu erzeugen. Generell umfasst die Vermessungseinrichtung (2) wenigstens

20 je eine Steuereinheit (5), eine Fahrzeugkomponente (3) sowie eine Messeinrichtung (7).  
**[0013]** Die Fahrzeugkomponente (3) ist zu verstehen als jenes technische System oder Teilsystem, dessen Steuerung mittels Anpassung der Kalibrierungswerte der Steuerparameter innerhalb der zugehörigen Steuereinheit (5) durch das erfindungsgemäße Verfahren appliziert wird und kann entsprechend die Steuereinheit (5) selbst sowie innerhalb einer vorzugsweisen Ausführungsform eine Brennkraftmaschine (4) oder Nockenwellen (6) oder jegliche weitere Fahrzeugkomponenten (3) betreffen. Die Steuereinheit (5) ist zu verstehen als jenes technische System oder Teilsystem, welches die Fahrzeugkomponente (3) steuert, indem es Steuerungsbefehle übermittelt. Die Messeinrichtung (7) ist als jenes technische System oder Teilsystem zu verstehen, welches den aktuellen Betriebszustand der Fahrzeugkomponente (3) erfasst, wie beispielsweise durch Aufnahme von Messwerten. In einer Ausführungsform ist die Vermessungseinrichtung (2) ein Fahrzeug, die zu kalibrierende Fahrzeugkomponente (3) eine Antriebseinheit des Fahrzeuges, die Steuereinheit (5) ein Antriebssteuergerät für die Antriebseinheit und die Messeinrichtung (7) ein Computer, umfassend wenigstens eine Datenschnittstelle, um Daten von der Antriebseinheit und/oder dem Antriebssteuergerät zu erfassen. Die beschriebene Ausführungsform soll das erfindungsgemäße System hierbei weder beschränken noch auf jene Ausgestaltung festlegen. Vielmehr sollen hierdurch der funktionelle Aufbau sowie die qualitativen, aufgabenbezogenen Verhältnisse der einzelnen Komponenten der Vermessungseinrichtung (2), wie Steuereinheit (5), Fahrzeugkomponente (3) und Messeinrichtung (7) zueinander offenbart werden.

30 **[0014]** In einer vorzugsweisen Ausführungsform des erfindungsgemäßen Systems (1) ist die Vermessungseinrichtung (2) ein Prüfstand, insbesondere ein Antriebsstrangprüfstand für ein Fahrzeug, vorzugsweise ein Komponentenprüfstand, wobei die Fahrzeugkomponente (3) eine Brennkraftmaschine (4), insbesondere eine oder mehrere Nockenwellen (6), die Steuereinheit (5) ein Antriebssteuergerät, welches eingerichtet ist, um die Brennkraftmaschine (4) zu steuern, sowie die Messeinrichtung (7) Prüfstandmesstechnik, die wenigstens eingerichtet ist, um die Drehzahl, das Drehmoment, die relative Luftfüllung sowie je den Gradkurbelwinkel der Einlassnockenwelle, Auslassnockenwelle und des Zündzeitpunktes messtechnisch zu erfassen, umfassen.

35 **[0015]** In einigen Ausführungsformen umfasst die Steuereinheit (5) je eine oder mehrere elektrische und elektronische Komponenten, wie eine eigene elektronische Recheneinheit, wie einen Mikroprozessor oder anders geartete elektronische Prozessoren, nichtflüchtige Speicher, Eingangs- und Ausgangsschnittstellen sowie Steuerungs- und Datenbusse. Auf der Steuereinheit (5) oder auf deren elektronischen Speichern sind Steuerparameter angeordnet, um die Fahrzeugkomponente (3) zu steuern. Innerhalb der Steuerparameter sind die Kalibrierungswerte angeordnet, welche beispielsweise tabellarische Zuweisungen, aber auch Parameter für Rechenoperationen und weitere Steuerungsfunktionen umfassen, sodass eine Veränderung der Kalibrierungswerte entsprechend ein verändertes Steuerungsverhalten der Fahrzeugkomponente (3) hervorruft. In einer vorzugsweisen Ausführungsform umfassen die Steuerparameter wenigstens je ein Betriebskennfeld für die Einlassnockenwelle (ENW), Auslassnockenwelle (ANW) sowie den Zündzeitpunkt (ZZP), wobei die Einträge der einzelnen Stützstellen jener Betriebskennfelder Kalibrierungswerten der Steuereinheit (5) der

Brennkraftmaschine (4) entsprechen.

**[0016]** Bezugnehmend auf **Fig. 1** umfasst die Applikationseinrichtung (8) entsprechend wenigstens je eine Eingangsschnittstelle (9) und Ausgangsschnittstelle (10), die eingerichtet sind, um Kommunikationsverbindungen mit weiteren Komponenten aufzubauen und Daten zu übertragen. Die Applikationseinrichtung (8) umfasst weiterhin wenigstens je eine Recheneinheit (11) und wenigstens einen elektronischen Speicher (12). Die Recheneinheit (11) kann hierbei eine elektronische Verarbeitungseinrichtung, wie einen Mikroprozessor oder auch anders geartete Prozessoren umfassen. Der elektronische Speicher (12) ist wenigstens dazu eingerichtet, um wenigstens je ein softwareimplementiertes Vorhersagemodell (13) sowie ein Auswahlmodell (14) zu speichern. Das Vorhersagemodell (13) ist im Wesentlichen dazu eingerichtet, um ein datenbasiertes Verfahren, vorzugsweise ein Verfahren des maschinellen Lernens, insbesondere vorzugsweise ein neuronales Netz, zu trainieren, das Verhalten einer Zielgröße zu erlernen und die Zielgröße für veränderliche Eingangsgrößen vorherzusagen. Das Auswahlmodell (14) ist im Wesentlichen dazu eingerichtet, um in jeder Iteration des erfindungsgemäßen Verfahrens einen oder mehrere zu vermessende Messpunkte auszuwählen. Die beschriebenen Ausführungsformen sollen das erfindungsgemäße System (1) hierbei weder beschränken noch auf jene Ausgestaltung festlegen. Vielmehr sollen hierdurch der funktionelle Aufbau sowie die qualitativen, aufgabenbezogenen Verhältnisse der einzelnen Komponenten der Applikationseinrichtung (8), wie Eingangs- (9) und Ausgangsschnittstellen (10), Recheneinheit (11), Speicher (12), Vorhersagemodell (13) sowie Auswahlmodell (14) zueinander offenbart werden. In einer vorzugsweisen Ausführungsform umfasst die Applikationseinrichtung (8) einen Computer, wobei Eingangs- (9) und Ausgangsschnittstellen (10), Recheneinheit (11) und Speicher (12) hardwareimplementiert sowie Vorhersagemodell (13) und Auswahlmodell (14) softwareimplementiert sind.

**[0017]** **Fig. 2** zeigt einen Prozessablaufplan, der den übergeordneten Prozessablauf für das erfindungsgemäße Verfahren zur zielgrößenoptimierten Applikation der Steuereinheit (5) einer Fahrzeugkomponente (3) gemäß einigen Ausführungsformen der Erfindung darstellt. In einem ersten Schritt (S10) erfolgt eine zeiteffiziente Betriebspunktvermessung, die eingerichtet ist, um den Vermessungsaufwand zu reduzieren und hinsichtlich einer Zielgröße zu optimieren. In einem zweiten Schritt (S20) erfolgt eine zielgrößenoptimierte Betriebspunktombination, die eingerichtet ist, um jene Betriebspunktombination auszuwählen, welche ein bezogen auf die Zielgröße optimiertes Verhalten der Fahrzeugkomponente (3) hervorruft. In einem dritten Schritt (S30) erfolgt eine Parameterbedatung, die eingerichtet ist, um aus der optimalen Betriebspunktombination die Kalibrierungswerte der entsprechenden Steuerparameter zu modellieren.

**[0018]** **Fig. 3** zeigt den Prozessablaufplan, der den Teilprozess der zeiteffizienten Betriebspunktvermessung nach dem ersten Schritt (S10) des übergeordneten Prozessablaufes darstellt. In einem ersten Schritt (S11) erfolgt die Auswahl eines oder mehrerer Betriebspunkte der Fahrzeugkomponente (3), für welche im weiteren Prozessablauf mehrere Messpunkte vermessen werden. In einer Ausführungsform sind die einzelnen Betriebspunkte durch Fachwissen und / oder Erfahrungswerte auswählbar. Hierbei sind die Betriebspunkte nach charakteristischen Eigenschaften der Steuerparameter wählbar, wie beispielsweise Extremstellen von zweidimensionalen Kennlinien oder von dreidimensionalen Kennfeldern, Eckpunkten von Kennfeldern oder mehrdimensionalen Kennräumen mit bekanntem physikalischen Verhalten oder aus Erfahrungswerten bekannte interessierende Betriebspunkte. In einer vorzugsweisen Ausführungsform, in welcher das erfindungsgemäße Verfahren zur Applikation einer Brennkraftmaschine (4) als Fahrzeugkomponente (3) angewendet wird, sind die charakteristischen Eckpunkte des Drehzahl-Drehmomenten-Kennfeldes wählbar, wobei die einzelnen Betriebspunkte im Prozessablauf der zeiteffizienten Betriebspunktvermessung der Reihe nach vermessen werden.

**[0019]** **Fig. 4A - 4D** zeigen einen Durchlauf der zeiteffizienten Betriebspunktvermessung nach dem ersten Schritt (S10) des übergeordneten Prozessablaufes des erfindungsgemäßen Verfahrens gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorzugsweisen Ausführungsform der Nockenwellenapplikation einer Brennkraftmaschine (4) als Fahrzeugkomponente (3). Hierbei bilden jeweils die oberen drei Diagramme Ausschnitte der Nockenwellenvariationen als Messparameter für ausgewählte Werte des Gradkurbelwinkels der Einlassnockenwelle, jeweils für 22°KW, 12°KW sowie 2°KW in Abhängigkeit der Gradkurbelwinkel der Auslassnockenwelle und des Zündzeitpunktes. Weißgefüllte Punkte der oberen Diagramme zeigen jeweils die bereits vermessenen Messpunkte der jeweiligen Nockenwellenvariationen als Messparameter. Durch die mittels unterschiedliche Buchstaben referenzierten Flächen in den oberen Diagrammen werden die modellierten Werte für eine gelernte Zielgröße visualisiert. Die Modellierung der Zielgröße erfolgt hierbei durch das Vorhersagemodell (13) an festgelegten Stützstellen der Nockenwellenvariationen als Messparameter und / oder folgt einem festen Muster oder Raster von nach einem Messablaufplan vorgegebenen Messpunkten des Messparameters. Die Zielgröße wird hierbei von a nach h im berechneten Wert aufsteigend abgebildet, wobei Bereiche in Richtung h gegenüber Bereichen in Richtung a einen höheren Wert der Zielgröße aufweisen. Das untere Diagramm zeigt jeweils die berechneten Werte der Zielgröße für jeden vermessenen Messpunkt als Verlauf über die bisher erfolgten Iterationsschritte der zeiteffizienten Betriebspunktvermessung. Weißgefüllte Punkte stellen hierbei validierte Messpunkte mit gültigen Nebenbedingungen und schwarzgefüllte Punkte Messpunkte mit ungültigen Nebenbedingungen dar.

**[0020]** Wieder Bezugnehmend auf **Fig. 3** erfolgt in einem zweiten Schritt (S12) die Bestimmung der Auswahlstrategie für die Auswahl des zu vermessenden Messpunktes durch das Auswahlmodell (14). Das Auswahlmodell (14) umfasst hierbei Algorithmen, um potenziell zu vermessende Messpunkte des Messparameters bestmöglich mittels Raumabde-

ckungsverfahren oder in Abhängigkeit der durch das Vorhersagemodell (13) berechneten Zielgröße auszuwählen. Im erstmaligen Durchlauf des Prozessablaufplans des erfindungsgemäßen Verfahrens ist jedoch die Auswahl von einem oder mehreren initialen Startmesspunkten erforderlich, von welchen aus das Auswahlmodell (14) den oder die weiteren Messpunkte, innerhalb einer oder mehrerer weiterer Iterationen des Prozessablaufes, auswählt. Die initiale Vermessung von Messpunkten umfasst die Vermessung von wenigstens einem Startmesspunkt für die sich im Folgenden anschließenden Verfahrensschritte. Im konventionellen Applikationsverfahren sind die Rahmenbedingungen über die zu kalibrierende Fahrzeugkomponente (3) zumeist bereits qualitativ, ferner auch quantitativ bekannt und/oder werden anhand der technischen Ausgestaltung der Fahrzeugkomponente (3) physikalisch definiert. Das Drehzahl-Drehmoment-Kennfeld einer Brennkraftmaschine (4) als Fahrzeugkomponente (3) weist beispielsweise ein charakteristisches Erscheinungsbild auf, wobei die Betriebspunkte eines Steuerparameters aufgrund der technischen Ausgestaltung und der damit verbundenen physikalischen Eigenschaften der Brennkraftmaschine (4) auswählbar sind. Zur Applikation entsprechender Fahrzeugkomponenten (3) nach konventionellen Verfahren werden weiterhin aus Erfahrungswerten oder rein statistischer Ausprägung Raster innerhalb der Steuer- und Messparameter festgelegt, wobei jeder einzelne Messpunkt eines ausgewählten Betriebspunktes des Rasters vermessen werden muss. Diesem Raster oder auch den charakteristischen Eigenschaften können jedoch für die initiale Vermessung zumindest charakteristische Messpunkte, wie beispielsweise Eckpunkte von Drehmoment-Kennfeldern oder physikalische Grenzen von Kennlinien sowie Maxima und Minima von Kennwerten entnommen und als zu vermessende (Start-)Messpunkte festgelegt werden. Die Auswahl der Anzahl und Eigenschaften der Startmesspunkte kann hierbei insofern einen Einfluss auf das erfindungsgemäße Applikationsverfahren haben, als dass die Bestimmung der Kalibrierungswerte der Steuerparameter mit einer höheren Anzahl von Startmesspunkten genauer und/oder schneller konvergieren kann. Jedoch besteht die Intention des erfindungsgemäßen Verfahrens in vorteilhafter Art und Weise darin, die Anzahl an zu vermessenden Messpunkten zu reduzieren, wodurch ein anwendungsspezifischer Trade-Off zwischen der Anzahl an zu vermessenden Startmesspunkten und Reduzierung der Gesamtanzahl an zu vermessenden Messpunkten entsteht.

**[0021]** In einem dritten Schritt (S13) erfolgt die Auswahl eines zu vermessenden Messpunktes innerhalb eines Messparameters für einen ausgewählten Betriebspunkt durch das Auswahlmodell (14). In einer Ausführungsform, in welcher die zu applizierende Fahrzeugkomponente (3) eine Brennkraftmaschine (4) umfasst, bei welcher eine Nockenwellenapplikation vorgenommen wird, werden im dritten Schritt (S13) ein oder mehrere Messpunkte ausgewählt, welche den qualitativ charakteristischen Eckpunkten der Nockenwellenvariationen der Brennkraftmaschine (4) entsprechen. Die Nockenwellenvariationen ergeben sich aus der Kombination der Gradkurbelwinkel für die Einlassnockenwelle, die Auslassnockenwelle und den Zündzeitpunkt, sodass hierbei ein dreidimensionaler Kennraum als Messparameter entsteht. Innerhalb dieses Kennraumes existieren charakteristische Eckpunkte, welche durch Fachwissen und / oder Erfahrungswerte bekannt sind. Alternativ ist die initiale Auswahl von mehr oder weniger Startmesspunkten möglich und hängt typischer Weise von Art und Aufbau der zu applizierenden Fahrzeugkomponente (3) ab. Beispielsweise sind bei Drehzahl-Drehmoment-Kennfeldern von elektrischen Maschinen durchaus 6 Startmesspunkte erforderlich, um die Eckpunkte jenes Drehzahl-Drehmoment-Kennfeldes abzudecken. Entsprechend der anwendungsspezifischen Abhängigkeit der Anzahl der zu vermessenden Startmesspunkte wird im dritten Schritt (S13) und innerhalb des ersten Durchlaufes des erfindungsgemäßen Verfahrens wenigstens ein Messpunkt mittels Auswahlmodell (14) oder manuell ausgewählt.

**[0022]** Die vorzugsweise Ausführungsform der Applikation der Nockenwellen einer Brennkraftmaschine (4) umfasst jedoch einen Spezialfall, wobei Messparameter verschachtelt vorliegen, nämlich zunächst das Drehzahl-Drehmomenten-Kennfeld, von dessen Stützstellen jeweils interessierende Betriebspunkte ausgewählt werden und anschließend mehrere Nockenwellenvariationen pro Betriebspunkt, die als Messpunkte ausgewählt werden. In alternativen Anwendungsfällen, wie beispielsweise für elektrische Maschinen werden lediglich einzelne Betriebspunkte des Drehzahl-Drehmomenten-Kennfeldes als Messpunkte ausgewählt und vermessen. Entsprechend dieser Ausführungen können in einer alternativen Ausführungsform die ersten beiden Schritte (S11, S12) der zeiteffizienten Betriebspunktvermessung nach dem ersten Schritt (S10) des übergeordneten Prozessablaufes zusammenfallen, sodass manuell und basierend auf Fachwissen oder durch das Auswahlmodell (14) ein oder mehrere Betriebspunkte eines Steuerparameters als (Start-) Messpunkte ausgewählt werden.

**[0023]** In einem vierten Schritt (S14) erfolgt das Vermessen des Messpunktes innerhalb einer Vermessungseinrichtung (2) durch das Aufnehmen von Messwerten der Fahrzeugkomponente (3) mittels einer Messeinrichtung (7). Entsprechend der anwendungsspezifischen Abhängigkeit der Anzahl der zu vermessenden Startmesspunkte wird im vierten Schritt (S14) des erfindungsgemäßen Verfahrens wenigstens ein Messpunkt mittels Vermessungseinrichtung (2) vermessen, um wenigstens einen Messwert zu erhalten. Die Vermessung von Messpunkten umfasst die Aufnahme von Messwerten durch die Messeinrichtung (7) über ausgewählte Betriebsparameter der zu applizierenden Fahrzeugkomponente (3) zu einem oder mehreren definiert eingestellten Messpunkten. Die Vermessung von Messpunkten gemäß dem vierten Schritt (S14) des erfindungsgemäßen Verfahrens umfasst weiterhin die Übertragung der erzeugten Messwerte an die Applikationseinrichtung (8). Die Übertragung von Messwerten kann über eine elektronische Datenverbindung, wie Datenbusse, drahtlose Kommunikationsverbindungen oder sämtliche weitere bekannte Übertragungsmethoden erfolgen. Die Art und Weise oder Ausgestaltung der Datenübertragung ist nicht Gegenstand der Erfindung, vielmehr soll die Kommu-

nikation zwischen Vermessungseinrichtung (2) und Applikationseinrichtung (8) verdeutlicht werden. Generell versteht sich für den Fachmann, dass Komponenten der Vermessungseinrichtung (2), wie beispielsweise Teile der Messeinrichtung (7) mit Komponenten der Applikationseinrichtung (8) unmittelbar in elektronischer Verbindung stehen, aber auch software- und/oder hardwaretechnisch implementierte Module desselben computerimplementierten Systems sein können. In einer Ausführungsform umfasst die Aufnahme von Messwerten das Erfassen der Gradkurbelwinkel für Einlassnockenwelle, Auslassnockenwelle, Zündzeitpunkt sowie Drehzahl, Drehmoment und die relative Luftfüllung der Brennkraftmaschine (4), aber auch von weiteren physikalischen Größen.

**[0024]** Bezugnehmend auf **Fig. 3** erfolgt in einem fünften Schritt (S15) der zeiteffizienten Betriebspunktvermessung (S10) das Berechnen einer Zielgröße für den vermessenen Messpunkt mittels einer Applikationseinrichtung (8) und das Modellieren der Zielgröße für eine oder mehrere Stützstellen des Messparameters, in Abhängigkeit des vermessenen Messpunktes, durch das neuronale Netz des Vorhersagemodells (13) der Applikationseinrichtung (8). In einer Ausführungsform erfolgt die Berechnung eines Wertes der Zielgröße, oder mit anderen Worten eines Zielgrößenwertes, für den aktuellen Messpunkt aus den aufgenommenen Messwerten. In einer vorzugsweisen Ausführungsform erfolgt die Berechnung des Zielgrößenwertes für den aktuellen Messpunkt aus einer oder mehrerer der physikalischen Größen des Gradkurbelwinkels für Einlassnockenwelle, Auslassnockenwelle, Zündzeitpunkt sowie Drehzahl (n), Drehmoment (M) und die relative Luftfüllung (rl) der Brennkraftmaschine (4) sowie wenigstens einer weiteren physikalischen Größe. Die Zielgröße ist als eine quantitativ bestimmbare charakteristische Eigenschaft zu verstehen, an welcher die Funktionsweise der applizierten Fahrzeugkomponente (3) bewertet werden kann. In einer vorzugsweisen Ausführungsform umfasst die Zielgröße eine physikalische Größe, wie erzeugte Abgasemissionen einer Brennkraftmaschine (4). Alternativ sind jede weitere quantitativ bestimmbare und aus den entsprechend vorhandenen und / oder vermessenen Messwerten der Messpunkte berechenbare Zahlenwerte als Zielgrößen anwendbar. In einer vorzugsweisen Ausführungsform, in welcher die Abgasemissionen einer Brennkraftmaschine (4) als Fahrzeugkomponente (3) als charakteristische Eigenschaft für die Zielgröße angewendet wird, werden aus den aufgenommenen Messwerten Emissionswerte als Zielgrößenwerte berechnet, welche die ausgestoßenen Abgasemissionen jener Brennkraftmaschine (4) repräsentieren.

**[0025]** Mittels nach solcherart vermessenen Messwerten, in Kombination mit der berechneten Zielgröße für den aktuellen Messpunkt werden erfindungsgemäß durch das Vorhersagemodell (13) Zielgrößenwerte für weitere Stützstellen des Messparameters modelliert. Die Modellierung von Zielgrößenwerten für Stützstellen des Messparameters umfasst das Bestimmen von Werten der Zielgröße an sämtlichen Stützstellen des Messparameters, für welche noch keine Messwerte vorhanden sind, oder mit anderen Worten an sämtlichen weiteren Messpunkten, welche noch nicht vermessen worden sind. In einer vorzugsweisen Ausführungsform umfasst das Bestimmen von Zielgrößenwerten an sämtlichen Stützstellen des Messparameters durch das Vorhersagemodell (13) das Bestimmen der Zielgröße für jede Stützstelle oder jeden potenziellen Messpunkt eines Rasters sämtlicher Nockenwellenvariationen des aktuellen Betriebspunktes einer Brennkraftmaschine (4). In einigen Ausführungsformen umfasst das Vorhersagemodell (13) Elemente des maschinellen Lernens, wobei das maschinelle Lernen mithilfe von verschiedenen Arten von Verfahren ausgeführt werden kann, wobei das Vorhersagemodell (13) neuronale Netze, logistische Regression, Stützvektormaschinen, Bayes'sche Netzwerke und weitere, sowie unterschiedliche Ausführungsformen davon umfassen kann. Der detaillierte Aufbau des Vorhersagemodells (13) soll hierbei nicht durch die aufgezählten Ausführungsformen beschränkt sein. Vielmehr sei angedeutet, dass das Vorhersagemodell (13) mathematische Operationen ausführt und mindestens dazu eingerichtet ist, um unter Berücksichtigung der Stützstellen oder auch eines Rasters potenzieller Messpunkte eines Messparameters und unter Einbezug der aufgenommenen Messwerte bereits vermessener Messpunkte sowie in Abhängigkeit der für die bereits vermessenen Messpunkte berechneten Zielgrößen weitere Zielgrößenwerte zu modellieren, oder mit anderen Worten vorherzusagen. Hierbei ist das Vorhersagemodell (13) selbst nicht Gegenstand der Erfindung und kann eine anwendungsspezifische Ausgestaltung annehmen.

**[0026]** Bezugnehmend auf **Fig. 4D** werden erfindungsgemäß für jeden, gemäß beispielsweise einem vorhandenen Raster oder einem Messablaufplan, vorgegebenen Messpunkt Zielgrößenwerte durch das Vorhersagemodell (13) modelliert. Das Ergebnis der Modellierung ist beispielsweise eine Zuweisung von modellierten Werten der Zielgröße zu Stützstellen des Messparameters. Erfindungsgemäß vorteilhaft werden in einer Ausführungsform durch das Vorhersagemodell (13) auch modellierte Zielgrößenwerte für die bereits vermessenen Messpunkte einer vorangegangenen Iteration erzeugt. In einer vorzugsweisen Ausführungsform werden die berechneten Zielgrößenwerte innerhalb des Rasters der Messpunkte interpoliert, sodass die modellierten Zielgrößenwerte gemäß **Fig. 4A - 4D** nach der alphabetischen Abstufung darstellbar sind, wobei diese hierbei über den Kennraum der Nockenwellenvariationen in der vierten Dimension qualitativ und beispielhaft aufgetragen sind und, wobei Bereiche in Richtung a qualitativ für einen niedrigen sowie Bereiche in Richtung h für einen hohen Wert stehen. In der abgebildeten beispielhaften Ausführungsform für die Nockenwellenapplikation einer Brennkraftmaschine (4) existieren Bereiche mit hohem interpolierten Wert der modellierten Zielgröße, welche sich insbesondere um vermessene Messpunkte mit hohen berechneten Zielgrößenwerten ausbilden und Bereiche mit niedrigem interpolierten Wert der modellierten Zielgröße, welche sich insbesondere um vermessene Messpunkte mit niedrigen berechneten Zielgrößenwerten ausbilden oder an Bereichen, an denen noch keine Messpunkte vermessen worden sind.

**[0027]** Bezugnehmend auf **Fig. 3** erfolgt in einem sechsten Schritt (S16) das Training des Vorhersagemodells (13) in Abhängigkeit der berechneten Zielgrößenwerte und mit dem Ziel, den in der kommenden Iteration des erfindungsgemäßen Verfahrens zu vermessenden Messpunkt in der Art auszuwählen, dass der durch den neuen Messpunkt berechnete Zielgrößenwert maximiert wird. In einigen Ausführungsformen umfasst das Vorhersagemodell (13) ein oder mehrere neuronale Netze. In einer vorteilhaften Ausführungsform umfasst das Vorhersagemodell (13) ein oder mehrere Elemente des maschinellen Lernens, vorzugsweise Elemente des verstärkenden Lernens, oder mit anderen Worten "Reinforcement Learning". Das verstärkende Lernen ist dem Fachmann als eine Methode des maschinellen Lernens bekannt, wobei das neuronale Netz selbstständig und ohne die Verwendung von Trainingsdaten aus einem bestehenden Prozessablauf heraus eine Strategie erlernt, um wenigstens eine oder mehrere Belohnungen zu maximieren. Das Lernen des neuronalen Netzes bezieht sich hierbei insbesondere auf das Verändern oder Parametrieren der einzelnen Gewichte des Netzes, sodass auf der Grundlage der gleichen Eingangsgrößen veränderte Ausgangsgrößen erzeugt werden. Aufbau und Funktionsweise des im Einzelfall angewendeten neuronalen Netzes sind nicht Gegenstand der Erfindung, insbesondere, da diese Ausgestaltung rein mathematischer Natur ist. Vielmehr soll verdeutlicht werden, dass das neuronale Netz und somit das Vorhersagemodell (13) generell dazu eingerichtet ist, um berechnete Zielgrößenwerte als Belohnungskriterium dazu zu verwenden, um sich selbst zu lernen, den neuen Messpunkt in der Art auszuwählen, dass dessen Vermessung den auf diesen Informationen aufbauend berechneten Wert der Zielgröße maximiert.

**[0028]** In einigen Ausführungsformen werden zusätzlich Nebenbedingungen aufgestellt, deren Verletzung im Verlauf des Modelltrainings nach dem sechsten Schritt (S16) zu Bestrafungen während des Reinforcement-Learning führen. Sind die Nebenbedingungen quantitativ mittels Zahlenwerten darstellbar, so ist beispielsweise stets eine Abweichung der durch den aktuellen Messpunkt erzeugten Messwerte zu den Zahlenwerten der Nebenbedingungen bestimmbar, sodass je betragsmäßig größer die Abweichung ist, umso größer kann die Bestrafung im Reinforcement-Learning erfolgen, um mittels Trainings des neuronalen Netzes die Messpunktauswahl durch das Auswahlmodell (14) zu optimieren. In einer Ausführungsform betrifft die Anwendung von Reinforcement-Learning das Herabsetzen des berechneten Zielgrößenwertes eines Messpunktes als Bestrafung, wenn dieser Nebenbedingungen verletzt. Hierbei wird der betreffende Messpunkt mit einem verschlechterten Zielgrößenwert weitergelernt, wobei das neuronale Netz diesen Bereich aufgrund des geringeren Zielgrößenwertes umso stärker meiden wird, je stärker die Nebenbedingungen verletzt sind.

**[0029]** Um nun eine Messpunktreduktion zu erzielen, wobei nicht sämtliche aufgestellten Messpunkte eines vorgegebenen Rasters oder ein vollständiger Messablaufplan vermessen werden müssen, wird in einem siebten Schritt (S17) nach jeder Iteration der vorangegangenen Schritte (S12 - S16) ein Abbruchkriterium geprüft. Ziel der zeiteffizienten Betriebspunktvermessung (S10) ist es, Messpunkte zu identifizieren, deren vermessene Messwerte zu einem gewünschten Verhalten der Fahrzeugkomponente (3) führen. In einer vorzugsweisen Ausführungsform wird das gewünschte Verhalten am Zahlenwert der definierten Zielgröße bemessen. Dementsprechend soll durch das erfindungsgemäße Verfahren für jeden ausgewählten Betriebspunkt des zu applizierenden Steuerparameters der Fahrzeugkomponente (3) wenigstens ein Messpunkt identifiziert werden, der die Zielgröße optimiert. In einigen Ausführungsformen, insbesondere beispielsweise in welchen, in denen die Steuerparameter und / oder die Messparameter in drei- oder höherdimensionalen Parameterräumen darstellbar sind, können mehrere Messpunkte aufgestellte Gütekriterien bezüglich der Zielgröße, wie besonders hohe Zielgrößenwerte, erreichen.

**[0030]** Dadurch, dass sich die Verhaltensweise des zu applizierenden Steuerparameters der Fahrzeugkomponente (3) letztendlich aus der Kombination der einzelnen Messpunkte verschiedener Betriebspunkte ergibt, ist es oftmals nicht zulässig, lediglich für jeden Betriebspunkt jenen Messpunkt zu verwenden, der den quantitativ höchsten Zahlenwert der Zielgröße erzeugt, wenn diese Kombination der einzelnen Messpunkte die Nebenbedingungen verletzt. Vielmehr muss eine Vielzahl an Kombinationen unterschiedlicher Messpunkte für einzelne Betriebspunkte in deren Kombination betrachtet werden. Aus diesem Grund soll in einer vorzugsweisen Ausführungsform ein Abbruchkriterium aufgestellt werden, welches mehrere Messpunkte pro Betriebspunkt zulässt, die die Nebenbedingungen erfüllen und, welche in Kombination mehrerer Betriebspunkte potenziell zu einer zielgrößenoptimierten Applikation des gesamten Steuerparameters führen können.

**[0031]** In einigen Ausführungsformen werden die berechneten Zielgrößenwerte der bereits vermessenen Messpunkte eines Betriebspunktes in ein Zielgrößenranking absteigend und beginnend mit dem aktuell höchsten berechneten Zahlenwert der Zielgröße eingeordnet. In einer Ausführungsform wird über das Abbruchkriterium entschieden, ob genügend Messpunkte vermessen wurden, sodass eine ausreichende Anzahl an Messpunkten mit hohen berechneten Zielgrößenwerten vorhanden ist. Hintergrund hierzu ist jener, dass wenn während der einzelnen Iterationen des zeiteffizienten Betriebspunktverfahrens für die jeweiligen Betriebspunkte gemäß den einzelnen Schritten (S12 - S16) jene Messpunkte mit den höchsten Zahlenwerten der Zielgröße vermessen und somit die Bereiche für potenziell optimale Zielgrößenwerte bereits identifiziert wurden, durch weitere Iterationsschleifen nur noch Messpunkte vermessen werden, welche zu niedrigeren Zahlenwerten der Zielgröße führen. In einer Ausführungsform wird eine Anzahl an favorisierten Messpunkten  $N_{fMP}$  festgelegt, bei deren Erreichen das Abbruchkriterium erfüllt ist, sodass wenigstens eine Anzahl  $N_{fMP}$  an Messpunkten in den bereits vermessenen Messpunkten vorhanden ist, welche einen hohen Zielgrößenwert aufweist. Hierzu ist beispielsweise ein Schwellwert für den Zielgrößenwert definierbar, welchen ein vermessener Messpunkt erreichen

muss, um als favorisierter Messpunkt zu gelten. In einer vorzugsweisen Ausführungsform wird eine Anzahl von aufeinanderfolgenden Messpunkten  $N_{RMP}$  festgelegt, innerhalb welcher wenigstens ein Messpunkt vorhanden sein muss, der zu den besten Messpunkten des Zielgrößenrankings gehört. In einer alternativen vorzugsweisen Ausführungsform wird das Abbruchkriterium erfüllt, wenn nicht innerhalb einer Anzahl von  $N_{RMP}$  der letzten aufeinanderfolgenden vermessenen Messpunkte wenigstens ein Messpunkt vorhanden ist, dessen berechneter Zielgrößenwert zu den obersten  $N_{fMP}$  favorisierten Messpunkten des aktuellen Zielgrößenrankings gehört. Durch die Definition der Anzahl der favorisierten Messpunkte  $N_{fMP}$  sowie der zugehörigen Länge der Messreihe, dargestellt durch die Anzahl  $N_{RMP}$  der aufeinanderfolgenden Messungen, ist die erfindungsgemäße zeiteffiziente Betriebspunktvermessung anwendungsgerecht auslegbar. Somit ist bei niedrigeren Werten der entsprechenden Anzahlen ( $N_{fMP}$ ,  $N_{RMP}$ ) eine höhere Messpunktreduktion und somit eine höhere Zeitersparnis erzielbar, wobei jedoch das erreichbare Maximum des Zahlenwertes der Zielgröße niedriger ausfallen könnte, da eventuell zielgrößenoptimierte Messpunkte nicht vermessen werden. Hingegen ist bei entsprechend hohen Anzahlen ( $N_{fMP}$ ,  $N_{RMP}$ ) die Wahrscheinlichkeit entsprechend höher, sämtliche Messpunkte mit hohen Zahlenwerten der Zielgröße zu erfassen, wobei die erreichbare Messpunktreduktion niedriger ausfällt, was in diesem Zug zu einer geringeren Zeitersparnis führt. Begrenzt wird das erfindungsgemäße Verfahren somit zwischen dem Vermessen von lediglich einem Messpunkt auf der einen Seite und sämtlichen potenziellen Messpunkten, welche durch ein Raster oder einen festen Messablaufplan vorgegeben sein können, auf der anderen Seite.

**[0032]** Wird nun bezugnehmend auf **Fig. 3** im siebten Schritt (S17), beispielsweise nach der ersten Iteration des Prozessablaufes, festgestellt, dass das Abbruchkriterium nicht erfüllt wird, springt der Prozessablauf zum zweiten Schritt (S12), wobei gemäß dem Prozessablauf erneut die Auswahlstrategie für die Auswahl des neuen Messpunktes durch ein Auswahlmodell (14) bestimmt und eine weitere Iteration eingeleitet wird. In einigen Ausführungsformen wird das Vorhersagemodell (13) darauf trainiert, die Auswahl der Messpunkte durch das Auswahlmodell (14) in der Art zu treffen, dass die dadurch erzeugbaren Zielgrößenwerte maximiert werden. Wird bezugnehmend auf **Fig. 4A** beispielsweise innerhalb des Ausführungsbeispiels der Nockenwellenapplikation einer Brennkraftmaschine (4) als Fahrzeugkomponente (3) in einer aktuellen Iteration der zeiteffizienten Betriebspunktvermessung der Messpunkt MP1 eines vorgegebenen Rasters der Nockenwellenvariationen als Messparameter als aktueller Messpunkt vermessen, so könnten gemäß dem fünften Schritt (S15) die modellierten Zielgrößenwerte entsprechend der alphabetisch abgestuften Darstellung abgebildet und interpoliert werden. Entsprechend der Darstellung bilden sich nunmehr für den gesamten Kennraum der Nockenwellenvariationen Bereiche mit höheren und niedrigeren modellierten Zielgrößenwerten heraus. Das Vorhersagemodell (13) wird nun in der aktuellen Iteration des Prozessablaufes gemäß dem sechsten Schritt (S16) darauf trainiert werden, einen neuen Messpunkt in der Art auszuwählen, um den berechneten Zielgrößenwert durch den neuen Messpunkt zu maximieren, wobei das Auswahlmodell (14) entsprechend dem Training und in Abhängigkeit der modellierten Zielgrößenwerte beispielsweise einen neuen Messpunkt MP2' auswählen wird, welcher sich bereits in einem Bereich in Richtung h des Kennraums befindet, um weitere Bereiche mit hohen Zahlenwerten der Zielgröße zu identifizieren. Das Trainieren eines neuronalen Netzes für das Vorhersagemodell (13) mittels Reinforcement Learning eröffnet erfindungsgemäß den Vorteil, dass neue Messpunkte potenziell an den Stellen ausgewählt werden, an denen die höchsten Zielgrößenwerte erreichbar sind, oder mit anderen Worten das größte Optimierungspotential des Vorhersagemodells (13) vorhanden ist, sodass die Identifizierung der zielgrößenoptimalen Messpunkte verhältnismäßig schnell konvergiert, obgleich die gleichmäßige Vermessung des gesamten Kennraumes ungewiss ist.

**[0033]** In einer alternativen Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens wird innerhalb des Auswahlmodells (14) anstelle des mittels Reinforcement Learning trainierten neuronalen Netzes des Vorhersagemodells (13) zur Berücksichtigung der Zielgröße ein Raumabdeckungsverfahren, oder mit anderen Worten ein "Space filling Design", angewendet. Raumabdeckungsverfahren sind dem Fachmann bekannt als Methoden, um Punkte in einem Raum zu generieren, um den Raum bestmöglich abzudecken. In einer vorteilhaften Ausführungsform wird innerhalb des Auswahlmodells (14) die Methode der Halton-Sequenz als Methode der Raumabdeckungsverfahren angewendet. Alternativ ist jedes weitere bekannte Raumabdeckungsverfahren anwendbar, insofern, als dass eine homogene Befüllung durch die Auswahl entsprechender Messpunkte eines Steuer- und / oder Messparameters der Messwerte der zu applizierenden Fahrzeugkomponente (3) erreichbar ist. Die Anwendung von Raumabdeckungsverfahren innerhalb des Auswahlmodells (14) eröffnet den Vorteil, dass eine gleichmäßige Abtastung des vorgegebenen Rasters oder Messablaufplans durch die Auswahl und Vermessung entsprechender Messpunkte erfolgt. Im Ausführungsbeispiel der Nockenwellenapplikation einer Brennkraftmaschine (4) als Fahrzeugkomponente (3), welche eine vorzugsweise Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens darstellt, wobei bezugnehmend auf **Fig. 4A** der Messpunkt MP1 als aktueller Messpunkt vermessen wurde, kann beispielsweise der Messpunkt MP2" als neuer Messpunkt mittels Raumabdeckungsverfahren ausgewählt werden, anstelle des Messpunktes MP2' durch das neuronale Netz des Vorhersagemodells (13). Darauf aufbauend ist es ebenso möglich, dass in der nächsten Iteration der Messpunkt MP3 durch das neuronale Netz des Vorhersagemodells (13) oder auch durch das Raumabdeckungsverfahren ausgewählt wird.

**[0034]** Bezugnehmend auf **Fig. 3** erfolgt im dritten Schritt (S13) der aktuellen Iteration in einigen Ausführungsformen die Auswahl des neuen Messpunktes durch das Auswahlmodell (14), durch eine Kombination von einem mittels Reinforcement-Learning trainierten neuronalen Netz, welches die modellierten Zielgrößenwerte der vorangegangenen Ite-

ration, und mit einem Raumabdeckungsverfahren, welches die homogene Füllung des vorgegebenen Rasters oder Messablaufplanes berücksichtigt. In einer Ausführungsform liegt der Auswahl des neu zu vermessenden Messpunktes in jeder Iteration erneut eine Entscheidung zugrunde, ob der aktuell neu auszuwählende Messpunkt mittels neuronalen Netzes unter Berücksichtigung der Zielgröße oder mittels Raumabdeckungsverfahren bestimmt wird. Hierzu kann eine Zufallsziehung zwischen beiden Auswahlmöglichkeiten hinzugezogen werden, wobei den beiden Auswahlmöglichkeiten jeweils eine Wahrscheinlichkeit zugeordnet wird, mit welcher die zugehörige Auswahlmöglichkeit ausgeführt wird. Entsprechend ergibt die Summe aus beiden Wahrscheinlichkeiten 1. In einer vorteilhaften Ausführungsform wird sowohl der Auswahl mittels neuronalen Netzes als auch der Auswahl mittels Raumabdeckungsverfahren eine Wahrscheinlichkeit von 0,5 zugeordnet, sodass jede der beiden Varianten innerhalb einer Iteration mit einer Wahrscheinlichkeit von 50% ausgeführt wird. Alternativ ist jede weitere Aufteilung anwendbar, sodass in vorteilhafter Art und Weise durch den Anwender des erfindungsgemäßen Verfahrens die anwendungsgerechte Aufteilung erfolgen kann. Dies impliziert gleichsam die Zuweisung einer Wahrscheinlichkeit von 1 oder 0. Im Ausführungsbeispiel der Nockenwellenapplikation einer Brennkraftmaschine (4) als Fahrzeugkomponente (3), welche eine vorzugsweise Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens darstellt, erfolgt die Auswahl des neuen Messpunktes durch das Auswahlmodell (14) ausschließlich durch das neuronale Netz des Vorhersagemodells (13) und somit in Abhängigkeit von der Zielgröße.

**[0035]** Gemäß dem Ausführungsbeispiel der Nockenwellenapplikation einer Brennkraftmaschine (4) als Fahrzeugkomponente (3) umfasst die Zielgröße, nach der die Nockenwellenapplikation, oder mit anderen Worten auch die Messpunktauswahl, optimiert werden soll, in einigen Ausführungsformen ein gelerntes Emissionsranking, welches berechnete Emissionswerte als Zielgrößenwerte, die der zahlenwertigen Größe nachgeordnet sind, umfasst. Die Emissionswerte werden hierbei für jeden vermessenen Messpunkt und unter Verwendung der hierfür aufgenommenen Messwerte und / oder weiterer physikalischer Größen berechnet, welche sich in dem jeweiligen Betriebszustand der Brennkraftmaschine (4) als Fahrzeugkomponente (3) durch den aktuellen Messpunkt als eingestellte Nockenwellenvariation für den jeweiligen Betriebspunkt des Drehzahl-Drehmomenten-Kennfeldes als Steuerparameter ergeben. Emissionswerte sind hierbei als fiktive Zahlenwerte zu verstehen. In einigen Ausführungsformen umfasst ein Emissionswert das Verhältnis von emittierten Zielabgasemissionen zu durch die Brennkraftmaschine (4) und / oder den gesamten Antriebstrang, inklusive möglicher Abgasnachbehandlungssysteme, erzeugten Abgasemissionen. In einer vorzugsweisen Ausführungsform ist der Emissionswert  $E_w$  als Verhältnis von Abgasmassenströmen, insbesondere einzelner Emissionsspezies, wie nach Gleichung 1 darstellbar.

$$E_w = \frac{\dot{m}_{Abg,Ziel}}{\dot{m}_{Abg}} \quad (\text{Gl. 1})$$

**[0036]** Somit entspricht der Emissionswert  $E_w$  dem Verhältnis aus einem Zielabgasmassenstrom ( $\dot{m}_{Abg,Ziel}$ ) zu einem aktuell vorhandenen Abgasmassenstrom ( $\dot{m}_{Abg}$ ) einzelner Emissionsspezies oder der Gesamtheit der Emissionsspezies. In diesem Zusammenhang bedeuten Werte des Emissionswertes größer oder gleich 1, dass weniger Abgasemissionen emittiert werden als erforderlich oder festgelegt. Wo hingegen Werte des Emissionswertes kleiner als 1 höhere Abgasemissionen als erforderlich oder festgelegt betreffen. Die detaillierte Ausführung und Berechnung eines solchen Emissionswertes ist nicht Gegenstand der Erfindung und obliegt dem Endanwender des erfindungsgemäßen Verfahrens. Vielmehr soll hierdurch die praktische Umsetzung einer möglichen Zielgröße für das vorzugsweise Ausführungsbeispiel der Nockenwellenapplikation einer Brennkraftmaschine (4) als Fahrzeugkomponente (3) verdeutlicht werden. Alternativ sind sämtliche weitere Zielgrößen anwendbar, insofern sich diese für jeden Messpunkt quantitativ berechnen und zahlenwertig darstellen lassen.

**[0037]** Gemäß dem Ausführungsbeispiel der Nockenwellenapplikation einer Brennkraftmaschine (4) als Fahrzeugkomponente (3) als vorzugsweise Ausführungsform werden zusätzlich zur Berechnung des Emissionswertes als Zielgrößenwert bei jeder Vermessung von Messpunkten ebenso eine oder mehrere aufstellbare Nebenbedingungen geprüft, wie bezugnehmend auf die **Fig. 4A - 4D** in den unteren Diagrammen für die einzelnen Iterationen der zeiteffizienten Betriebspunktvermessung veranschaulicht. In einigen Ausführungsformen umfassen Nebenbedingungen physikalische Größen, welche sich ebenfalls auf das gewünschte Betriebsverhalten der Fahrzeugkomponente (3) auswirken, jedoch beispielsweise nicht durch die vermessenen Messwerte des erfindungsgemäßen Verfahrens abgedeckt werden. In einer Ausführungsform umfassen die Nebenbedingungen eine oder mehrere der physikalischen Größen des induzierten Zylinderinnendruckes der Brennkraftmaschine (4), als deren lafruhkekennzeichnende Eigenschaft, der Abgastemperatur an der Position direkt am Ausgang der Brennkraftmaschine (4) und / oder stromaufwärts einer ersten Abgasnachbehandlungseinrichtung, als weitere charakteristische Größe für die Abgasemissionen des gesamten Antriebstranges sowie verschiedene Gradienten innerhalb der Betriebskennfelder als Steuerparameter der Brennkraftmaschine (4), um zu großen Sprüngen in den Kalibrierungswerten benachbarter Stützstellen innerhalb der Steuerparameter vorzubeugen. In dem Ausführungsbeispiel der Nockenwellenapplikation einer Brennkraftmaschine (4) als Fahrzeugkomponente (3) als vorzugsweise Ausführungsform gelten beispielhaft folgende Nebenbedingungen für die Einlassnockenwelle nach

Gleichung 2.

$$P_{IOs} < \rho_{IOs} [\text{bar}]$$

$$T_{AbgvK} > \tau_{AbgvK} [^{\circ}\text{C}]$$
(Gl. 2)

[0038] Hierbei entspricht  $P_{IOs}$  dem induzierten Zylinderinnendruck und  $T_{AbgvKat}$  der Abgastemperatur stromaufwärts einer ersten Abgasnachbehandlungseinrichtung. Die Nebenbedingungen werden durch die Konstanten  $\rho_{IOs}$  und  $\tau_{AbgvK}$  definiert, welche in einer Ausführungsform konstante Zahlenwerte abbilden. Die quantitative Bedatung der entsprechenden Konstanten obliegt dem Anwender und ist beispielsweise mittels Fachwissens oder anhand von Erfahrungswerten für die spezifische technische Endanwendung auslegbar.

[0039] In Fig. 4A wurden nunmehr bereits 11 Iterationen der zeiteffizienten Betriebspunktvermessung durchlaufen, wobei die einzelnen vermessenen Messpunkte in den Ausschnitten des Kennraums der Nockenwellenvariationen, veranschaulicht durch die oberen Diagramme, sowie als Verlauf der einzelnen Durchläufe und in Abhängigkeit der dazugehörigen berechneten Emissionswerte als Zielgrößenwerte eingetragen sind. Alle 11 vermessenen Messpunkte weisen gültige Nebenbedingungen auf, was durch weißgefüllte Punkte im unteren Diagramm gekennzeichnet ist, und schwanken in einem engen Bereich um einen Emissionswert. Bezugnehmend auf Fig. 3 und entsprechend der bereits vermessenen Messpunkte nach dem vierten Schritt (S14), der Modellierung der Zielgröße nach dem fünften Schritt (S15) sowie des Trainings des Vorhersagemodells (13) nach dem sechsten Schritt (S16) werden durch das neuronale Netz des Vorhersagemodells (13) die gelernten Emissionswerte als modellierte Zielgrößenwerte auf den gesamten Kennraum der Nockenwellenvariation interpoliert, wobei sich ein Bereich c um die bereits vermessenen Messpunkte, mit gültigen Nebenbedingungen und mittleren Emissionswerten bildet.

[0040] In Fig. 4B ist der Prozessablauf der zeiteffizienten Betriebspunktvermessung (S10) bereits 75 Iterationen durchlaufen, wobei während dem Training des Vorhersagemodells (13) mittels Reinforcement-Learning auf die Emissionswerte einige Messpunkte mit hohem, aber auch niedrigem Emissionswert als Zielgröße erzeugt wurden und, wobei auch einige Messpunkte ungültige Nebenbedingungen aufweisen. Den höchsten Emissionswert weist hierbei der Messpunkt MP48, der 48ten Iteration auf, wobei das Vorhersagemodell (13) um diesen Messpunkt herum Bereiche mit den höchsten erzielbaren Emissionswerten als modellierte Zielgrößenwerte interpoliert. Gleichzeitig weist der Messpunkt MP48 jedoch ungültige Nebenbedingungen auf. Dennoch lernt das neuronale Netz des Vorhersagemodells (13) erfindungsgemäß vorteilhaft auch in diese Richtung weiter, da sich im von dem Messpunkt MP48 umliegenden Bereich weitere Messpunkte befinden können, welche ähnlich hohe Emissionswerte erzielen und dabei gültige Nebenbedingungen umfassen können.

[0041] In Fig. 4C ist der Prozessablauf der zeiteffizienten Betriebspunktvermessung (S10) bereits 150 Iterationen durchlaufen, wobei zunehmend tendenziell nur noch Messpunkte mit niedrigem Emissionswert und ungültigen Nebenbedingungen vermessen werden. Zusätzlich scheint der Raum um die hohen Emissionswerte bereits ausreichend durch vermessene Messpunkte erschöpft zu sein, sodass sich die noch freien Räume des Kennraums der Nockenwellenvariationen eher in Bereichen befinden, für welche das Vorhersagemodell (13) geringe erzielbare Emissionswerte als Zielgröße modelliert. Prinzipiell könnte die zeiteffiziente Betriebspunktvermessung an dieser Stelle bereits abgebrochen sein, da wohl keine weiteren Messpunkte der noch nicht vermessenen Stützstellen eines Rasters oder Messablaufplanes hohe Emissionswerte erzielen werden und gleichzeitig gültige Nebenbedingungen aufweisen. Außerdem wurden bei dieser Anzahl von Durchläufen bereits mehrere geeignete Messpunkte vermessen und das ausgemachte Ziel des erfindungsgemäßen Verfahrens ist eine Messpunktreduktion.

[0042] In Fig. 4D ist der Prozessablauf der zeiteffizienten Betriebspunktvermessung nunmehr 215 Iterationen durchlaufen, wodurch bestätigt ist, dass keine besseren Messpunkte in diesem Betriebspunkt vermessen wurden. Hierbei geht gleichsam hervor, dass im Vergleich zu konventionellen Verfahren, wobei sämtliche Messpunkte eines Rasters oder Messablaufplanes vermessen werden, es innerhalb dieses Ausführungsbeispiels ausreichend gewesen wäre, nach den ersten 100 Iterationen abzurechnen. Innerhalb der ersten 100 Messpunkte würden somit nur jene Messpunkte vermessen werden, welche in den gestrichelt-umrandeten Bereichen innerhalb des Kennraums der Nockenwellenvariationen liegen. Somit wäre also bereits an dieser Stelle eine Messpunktreduktion um mehr als 50% möglich. Funktionsbedingt steht im Vorhinein nicht fest, wie viele Durchläufe des Prozessablaufes der zeiteffizienten Betriebspunktvermessung erforderlich sind. In einer vorzugsweisen Ausführungsform ist die Anzahl an favorisierten Messpunkten  $N_{fMP}$  auf 5 sowie die Anzahl der aufeinanderfolgenden Messungen  $N_{RMP}$  auf 21 festgelegt, sodass das Abbruchkriterium nach dem siebten Schritt (S17) dann erfüllt ist, wenn innerhalb von  $N_{RMP} = 21$  aufeinanderfolgenden Durchläufen der zeiteffizienten Betriebspunktvermessung keine Messpunkte nach dem Emissionswert als Zielgröße zu den  $N_{fMP} = 5$  besten Messpunkten des aktuellen Emissionsrankings zählen, welche die Nebenbedingungen erfüllen. In dieser Konfiguration konnte bereits eine Messpunktreduktion um über 75% erreicht werden. Ist das Abbruchkriterium erfüllt, wird im letzten Schritt (S18) überprüft, ob sämtliche vorbestimmte Betriebspunkte vermessen wurden, wobei der Prozess-

ablauf bei noch ausstehenden zu vermessenden Betriebspunkten zum ersten Schritt (S11) springt und andernfalls die zeiteffiziente Betriebspunktvermessung beendet ist.

**[0043]** Bezugnehmend auf **Fig. 2** umfasst das Ergebnis der zeiteffizienten Betriebspunktvermessung einen oder mehrere festgelegte Betriebspunkte mit vermessenen Messpunkten, für welche Messwerte aufgenommen, Emissionswerte als Zielgröße berechnet und modelliert sowie das Emissionsranking berechnet wurden, wobei die einzelnen Messpunkte wiederum aufgestellte Nebenbedingungen erfüllen oder auch nicht erfüllen, in einer Anzahl von durchaus 100 oder mehr Messpunkten pro Betriebspunkt. Im zweiten Schritt (S20) des übergeordneten Prozessablaufes erfolgt nunmehr die zielgrößenoptimierte Betriebspunktkombination mit dem Ziel, eine auf die Zielgröße und unter Berücksichtigung der Nebenbedingungen optimale Kombination der Messpunkte der einzelnen Betriebspunkte zu identifizieren. Der Prozessschritt der zielgrößenoptimierten Betriebspunktkombination umfasst das Bestimmen einer zielgrößenoptimierten Betriebspunktkombination, in Abhängigkeit der vermessenen Messpunkte, der für jeden Messpunkt berechneten Zielgröße sowie von einer oder mehreren Nebenbedingungen, wobei die zielgrößenoptimierte Betriebspunktkombination je einen identifizierten Messpunkt für jeden ausgewählten Betriebspunkt umfasst, der sämtliche Nebenbedingungen erfüllt und, wobei die Summe der berechneten Zielgrößen der identifizierten Messpunkte maximal ist. In **Fig. 5** ist hierzu der Prozessablauf der zielgrößenoptimierten Betriebspunktkombination dargestellt, umfassend die Auflistung der einzelnen Betriebspunkte in einem ersten Schritt (S21), dem Festlegen von Nebenbedingungen in einem zweiten Schritt (S22) sowie dem Lösen des kombinatorischen Optimierungsproblems in einem dritten Schritt (S23).

**[0044]** **Fig. 6A** zeigt die schematische Auflistung der einzelnen Messpunkte  $MP_x(BP_y) \in [MP_1(BP_1), \dots, MP_z(BP_z)]$  für jeden Betriebspunkt  $BP_y \in [BP_1, \dots, BP_z]$ , entsprechend einer Matrixschreibweise, nach dem ersten Schritt (S21). In einer vorzugsweisen Ausführungsform sind sämtliche Messpunkte ( $MP_x$ ) eines Betriebspunktes ( $BP_y$ ) in Abhängigkeit von ihrem für die Zielgröße berechneten Zahlenwert in absteigender Reihenfolge sortiert. In einer vorzugsweisen Ausführungsform sind die einzelnen Messpunkte ( $MP_x$ ) der Betriebspunkte ( $BP_y$ ) in Abhängigkeit ihres berechneten Emissionswertes für das Emissionsranking als Zielgröße in absteigender Reihenfolge aufgelistet. Während der zielgrößenoptimierten Betriebspunktkombination soll nunmehr die Kombination von je einem vorhandenen Messpunkt ( $MP_x$ ) pro Betriebspunkt ( $BP_y$ ) gefunden werden, die die höchste Summe der einzelnen Zahlenwerte des Emissionsrankings der entsprechenden Messpunkte ( $MP_x(BP_y)$ ), unter Erfüllung aufgestellter Nebenbedingungen, aufweist.

**[0045]** Bezugnehmend auf **Fig. 6B** erfolgt nunmehr nach dem zweiten Schritt (S22) das Festlegen von weiteren Nebenbedingungen, welche während der zielgrößenoptimierten Betriebspunktkombination (S20) berücksichtigt werden sollen. In einer beispielhaften Ausführungsform sind weitere Nebenbedingungen für das Ausführungsbeispiel des Messparameters des Einlassnockenwellenkennfeldes aufgestellt, nach Gleichung 3.

$$\left| \frac{\Delta ENW}{\Delta r_l} \right| < \chi_1 \tag{Gl. 3}$$

$$\left| \frac{\Delta ENW}{\Delta n} \right| < \chi_2$$

**[0046]** In einigen Ausführungsformen umfassen die Nebenbedingungen die dargestellten Nockenwellengradienten, jeweils umfassend Gradienten der Gradkurbelwinkelwerte der Einlassnockenwelle zur relativen Luftfüllung ( $r_l$ ) und zur Drehzahl ( $n$ ). Die Nebenbedingungen werden durch die Konstanten  $\chi_1$  und  $\chi_2$  definiert, welche in einer Ausführungsform konstante Zahlenwerte abbilden. Die quantitative Bedatung der entsprechenden Konstanten obliegt dem Anwender und ist beispielsweise mittels Fachwissens oder anhand von Erfahrungswerten für die spezifische technische Endanwendung auslegbar. In einer alternativen Ausführungsform werden diese Nebenbedingungen bereits während der zeiteffizienten Betriebspunktvermessung berücksichtigt. In einer alternativen Ausführungsform umfassen die Nebenbedingungen zusätzlich weitere aufstellbare Nebenbedingungen. In dem Ausführungsbeispiel der Nockenwellenapplikation einer Brennkraftmaschine (4) als Fahrzeugkomponente (3) als vorzugsweise Ausführungsform gelten für die Nebenbedingungen aus dem zweiten Schritt (S22) der zielgrößenoptimierten Betriebspunktkombination ebenfalls die Nebenbedingungen nach Gleichung 2. Durch den Einbezug von Nebenbedingungen ist es möglich, dass nicht für jeden Betriebspunkt ( $BP_y$ ) jeweils die ersten Messpunkte ( $MP_1(BP_1), \dots, MP_z(BP_z)$ ), oder mit anderen Worten jene Einträge mit dem höchsten Emissionswert als Zielgröße auch zur optimalen Betriebspunktkombination führen, welche sämtliche Nebenbedingungen erfüllt. Vielmehr müssen sämtliche mögliche Kombinationen von jedem Messpunkt eines Betriebspunktes mit jedem Messpunkt der weiteren Betriebspunkte bewertet werden. Dieser Umstand sei durch unterschiedliche angedeutete Betriebspunktkombinationen in **Fig. 6A** durch die jeweils durchgezogene, gestrichelte sowie gepunktete Linie veranschaulicht. Innerhalb des Ausführungsbeispiels der Nockenwellenapplikation einer Brennkraftmaschine (4) als Fahrzeugkomponente (3) können demnach bis zu 100 und mehr Messpunkte pro Betriebspunkt entstehen, wodurch sich mit zunehmender Anzahl an festgelegten und zu vermessenden Betriebspunkten eine entsprechend hohe Anzahl an möglichen Betriebspunktombinationen ergibt. Während einer durchgeführten Validierung des erfindungsgemäßen Verfahrens entstand eine Anzahl möglicher Betriebspunktombinationen in Größenordnungen von ca.  $2,7 \cdot 10^{30}$ .

**[0047]** Bezugnehmend auf **Fig. 5** gilt es nunmehr, in einem dritten Schritt (S23) der zielgrößenoptimierten Betriebspunktkombination das hieraus hervorgehende kombinatorische Optimierungsproblem zu lösen. In einer Ausführungsform umfasst die Lösung des kombinatorischen Optimierungsproblems den Ansatz des "Branch-and-Bound"-Konzeptes, welches dem Fachmann als eine mathematische Behandlungsmethode bekannt ist, um ganzzahlige kombinatorische Optimierungsprobleme zu lösen. Hierbei wird der Suchraum stetig in relevante und irrelevante Bereiche aufgeteilt, wobei die irrelevanten Bereiche nicht weiter beachtet werden. In einer vorzugsweisen Ausführungsform werden sämtliche Kombinationen, deren Zielfunktionswert geringer als jener der Kombination mit dem bisher größten Zielfunktionswert ist und welche die aufgestellten Nebenbedingungen verletzen, nicht weiter getestet. Auf diese Art und Weise entfällt erfindungsgemäß vorteilhaft ein Großteil an irrelevanten Betriebspunktombinationen, was bezugnehmend auf **Fig. 6B** durch die gestrichelten Linien angedeutet ist. Innerhalb des Ausführungsbeispiels der Nockenwellenapplikation einer Brennkraftmaschine (4) als Fahrzeugkomponente (3) wurde die Anzahl an analysierten Betriebspunktombinationen von ca.  $2,7 \cdot 10^{30}$ , mittels "Branch-and-Bound"-Ansatz auf ca.  $16 \cdot 10^6$  reduziert, wobei von diesen für ca.  $2,6 \cdot 10^6$  Kombinationen die Nebenbedingungen überprüft wurden. Die Anwendung des "Branch-and-Bound"-Ansatzes zur Lösung des kombinatorischen Optimierungsproblems bietet somit das Potential, in Anbetracht der verfügbaren Rechenkapazitäten, ein solches kombinatorisches Optimierungsproblem überhaupt in einer wirtschaftlichen Zeit zu lösen. In alternativen Ausführungsformen sind sämtliche weitere mathematische Ansätze anwendbar, welche der Lösung von kombinatorischen Optimierungsproblemen dienen, in der Art, dass gemessen an der Zielgröße und unter Berücksichtigung der Nebenbedingungen eine bezüglich der Summe der einzelnen berechneten Zielgrößenwerte der Messpunkte optimale Kombination ausgewählt wird.

**[0048]** Das Ergebnis der zielgrößenoptimierten Betriebspunktombination umfasst demnach eine Kombination aus Messpunkten für jeden Betriebspunkt, umfassend deren aufgenommene Messwerte sowie optional weitere berechnete Größen. Bezugnehmend auf **Fig. 7** umfasst das Ergebnis der zielgrößenoptimierten Betriebspunktombination für das Ausführungsbeispiel der Nockenwellenapplikation einer Brennkraftmaschine (4) als Fahrzeugkomponente (3) eine Betriebspunktombination, die ebenfalls tabellarisch darstellbar ist. Die hierbei ausgewiesenen Zahlenwerte sind fiktiver Natur und dem bisherig beschriebenen Ausführungsbeispiel als zugehörig zu verstehen. So wurden hierbei beispielsweise 14 Betriebspunkte vermessen, welche mittels dem Indexwert aus der ersten Spalte nummeriert sind. Die weiter dazugehörigen aufgenommenen Messwerte umfassen den jeweiligen Betriebspunkt charakterisierende Größen, wie das Drehmoment (M) und die Drehzahl (n), die mittels Messpunktes identifizierte Nockenwellenvariation, umfassend die Gradkurbelwinkel für die Einlassnockenwelle (ENW), Auslassnockenwelle (ANW) sowie den Zündzeitpunkt (ZZP), optional weitere aufgenommene Messwerte, wie die relative Luftfüllung (rl) und die jeweils berechneten Emissionswerte (EW) als Zielgröße. Die Summe der einzelnen Emissionswerte für das Emissionsranking ergeben hierbei einen Wert, welcher stellvertretend für den Gesamtwert der Zielgröße für die entsprechende Betriebspunktombination steht. Wiederholt sei darauf hingewiesen, dass das erfindungsgemäß angewendete Emissionsranking lediglich eine vorzugsweise Ausführungsform widerspiegelt, wobei auch jegliche andere Art von Zielgröße durch die dargestellten Prinzipien Anwendung finden kann.

**[0049]** Die zielgrößenoptimierte Betriebspunktombination umfasst demnach bereits eine Steuerparameterbedatung für ausgewählte Stützstellen der Steuerparameter, in Ausgestaltung der vermessenen und als, bezogen auf die Zielgröße sowie weitere Nebenbedingungen, optimal identifizierte Messpunkte der festgelegten Betriebspunkte. Darauf aufbauend erfolgt nunmehr in einem weiteren Schritt (S30) die Steuerparameterbedatung, entsprechend dem vorzugsweisen Ausführungsbeispiel also die Bedatung der Kennfelder der Nockenwellenvariationen. Die Steuerparameterbedatung umfasst die Bedatung von wenigstens einem Steuerparameter durch Interpolieren der Kalibrierungswerte auf Stützstellen jenes Steuerparameters, in Abhängigkeit der zielgrößenoptimierten Betriebspunktombination. Bezugnehmend auf **Fig. 8** umfasst der Prozessablauf der Steuerparameterbedatung die Schritte Aufstellung der Rohparameter (S31), Modellierung des Optimierungsproblems (S32) sowie Interpolation durch Lösung des Optimierungsproblems (S33).

**[0050]** **Fig. 9** zeigt die schematische Darstellung der Rohparameterbedatung nach dem ersten Schritt (S31) für das Ausführungsbeispiel des Kennfeldes (KF) der Einlassnockenwelle als Steuerparameter. In einigen Ausführungsformen erfolgt hierbei zunächst die Aufstellung des Rohkennfeldes, umfassend das Festlegen von Stützstellen. Im Ausführungsbeispiel der Nockenwellenapplikation einer Brennkraftmaschine (4) als Fahrzeugkomponente (3) umfasst das Kennfeld (KF) der Einlassnockenwelle als beispielhaften Steuerparameter die Gradkurbelwinkel der Einlassnockenwelle als Kalibrierungswerte (Funktionswerte) über die Drehzahl (n) in der x-Achse und die relative Luftfüllung (rl) in der y-Achse. Die aufgestellten Stützstellen entsprechen hierbei der gewünschten Ausgestaltung des Endanwenders, in der Form, wie diese als Steuerparameter schlussendlich auch auf der Steuereinheit (5) implementiert werden. In der dargestellten beispielhaften Ausführungsform ist zudem der Wert von  $22^\circ$  Kurbelwinkel als zusätzliche Nebenbedingung am Rand des Kennfeldes (KF) angegeben. Zur Veranschaulichung sind die bisherigen zielgrößenoptimierten Betriebspunkte aus der optimalen Betriebspunktombination nach **Fig. 7** in die nächstgelegenen Stützstellen eingetragen. In einem zweiten Schritt (S32) erfolgt nunmehr die Modellierung des Optimierungsproblems, um die weiteren aufgestellten Stützstellen zu bedaten. In einigen Ausführungsformen umfasst die Modellierung des Optimierungsproblems einen nichtlinearen Optimierungsansatz mit linearen Nebenbedingungen. Generell sind derartig modellierte Optimierungsprobleme mit aus

dem Stand der Technik bekannten Verfahren lösbar. In einer vorzugsweisen Ausführungsform umfasst die Modellierung des Optimierungsproblems einen Optimierungsansatz nach Gleichung 4, zusammen mit aufstellbaren Nebenbedingungen nach Gl. 5.

$$\min_{ENW} \beta \cdot \sum_{BP} (KF(n, rl) - ENW_{Mess})^2 + \sum_{St} \left( \frac{1}{\chi_1} \cdot \frac{\Delta ENW}{\Delta rl} \right)^2 + \sum_{St} \left( \frac{1}{\chi_2} \cdot \frac{\Delta ENW}{\Delta n} \right)^2 \quad (Gl. 4)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \left| \frac{\Delta ENW}{\Delta rl} \right| < \chi_1 \forall St \\ \left| \frac{\Delta ENW}{\Delta n} \right| < \chi_2 \forall St \\ \left| \frac{\Delta ENW}{\Delta rl} \right| < \chi_1 \forall BP, \text{jeweils zu den 4 benachbarten St} \\ \left| \frac{\Delta ENW}{\Delta n} \right| < \chi_2 \forall BP, \text{jeweils zu den 4 benachbarten St} \end{array} \right. \quad (Gl. 5)$$

**[0051]** Das Ziel der Optimierung ist eine Interpolation der Stützstellen des Steuerparameters, basierend auf der bereits identifizierten Betriebspunktkombination, wobei einerseits sämtliche bisherige vermessene Messwerte der Betriebspunktombination mit möglichst hoher Übereinstimmung getroffen werden sollen. Dies wird mit dem ersten Term aus Gleichung 4 dadurch erreicht, dass über die aufsummierten quadrierten Differenzen ein Einlassnockenwellenwert (KF(n,rl)), abhängig von Drehzahl (n) und relativer Luftfüllung (rl), gefunden wird, der ähnlich zu den vermessenen Werten ist. Generell ist dieser Term dem Fachmann als Metrik bekannt, um Abstände zwischen zwei Werten zu ermitteln. Zusätzlich soll ein möglichst sprunghafter Übergang zwischen benachbarten Stützstellen erzeugt werden, wobei die beiden weiteren Summenterme jeweils die Nockenwellengradienten der Einlassnockenwelle (ENW) über die Drehzahl (n) und die relative Luftfüllung (rl) abbilden und über die benachbarten Stützstellen (St) aufsummiert werden. Durch einen Gewichtungsfaktor ( $\beta > 0$ ) kann der Einfluss beider Terme auf die Zielfunktion angepasst werden, wobei mit einem Anstieg des Gewichtungsfaktors eine höhere Übereinstimmung der modellierten Einlassnockenwellenwerte (KF(n, rl)) mit den Messwerten ( $ENW_{Mess}$ ) erreicht wird. Die beiden hinteren Terme werden zusätzlich mit den Konstanten  $\chi_1$  und  $\chi_2$ , bekannt aus den Nebenbedingungen nach Gleichung 3, gewichtet und finden zusätzlich in den Nebenbedingungen nach Gleichung 5 Anwendung.

**[0052]** Bezugnehmend auf Fig. 10 erfolgt in einem dritten Schritt (S33) die Interpolation auf das Rohkennfeld durch Lösung des Optimierungsproblems, wobei hier die entsprechenden Stützstellen für das Ausführungsbeispiel des Einlassnockenwellenkennfeldes als Steuerparameter beispielhaft dargestellt sind. Innerhalb des Ausführungsbeispiels der Nockenwellenvariation einer Brennkraftmaschine (4) als Fahrzeugkomponente (3) als vorzugsweise Ausführungsform werden entsprechend dieser Vorgehensweise ebenso die Kennfelder (KF) der Auslassnockenwelle und des Zündzeitpunktes bedatet. Abschließend werden die nach solcherart zielgrößenoptimierten Steuerparameter auf die Steuereinheit (5) übertragen, sodass diese die Brennkraftmaschine (4), stellvertretend als Fahrzeugkomponente (3) mittels der applizierten Steuerparameter steuern kann.

**[0053]** Die Vorteile des erfindungsgemäßen Verfahrens ergeben sich wie folgt dazu, dass durch die zeiteffiziente Betriebspunktvermessung (S10) der Vermessungsaufwand gegenüber konventionellen Verfahren, wobei jeder Messpunkt eines Rasters vermessen werden muss, deutlich reduziert werden kann. Dies wird erfindungsgemäß vorteilhaft dadurch erzielt, dass ein neuronales Netz auf das Verhalten einer Zielgröße trainiert wird, um in Abhängigkeit von der gelernten Zielgröße nacheinander gezielt Messpunkte auszuwählen, welche den Zahlenwert der Zielgröße optimieren. Durch das erfindungsgemäße Abbruchkriterium ist das Verfahren flexibel auf die Anzahl der zu vermessenden Messpunkte anpassbar und somit in seinen Eigenschaften anwendungsgerecht auslegbar. Durch die sich daran anschließende zielgrößenoptimierte Betriebspunktombination kann pro Betriebspunkt wenigstens ein potenziell, bezogen auf die Zielgröße, optimaler Messpunkt und somit auch wenigstens eine optimale Betriebspunktombination identifiziert und gleichzeitig der Rechenaufwand durch die effektive Reduktion möglicher Kombinationen verringert werden. Durch die Parameterbedatung mittels Interpolation und Berücksichtigung von Nebenbedingungen, ausgehend von den identifizierten Messpunkten der optimalen Betriebspunktombination, ist eine zeit- und ressourceneffiziente Befüllung der entsprechenden Steuerparameter mit Kalibrierungswerten abbildbar, die mit den vermessenen Messpunkten korrelieren.

## Bezugszeichenliste

**[0054]**

1	System
2	Vermessungseinrichtung
3	Fahrzeugkomponente
4	Brennkraftmaschine
5	5 Steuereinheit
6	Nockenwelle
7	Messeinrichtung
8	Applikationseinrichtung
9	Eingangsschnittstelle
10	10 Ausgangsschnittstelle
11	Recheneinheit
12	Elektronischer Speicher
13	Vorhersagemodell
14	Auswahlmodell
15	ANW Auslassnockenwelle
	BPy Betriebspunkt
	ENW Einlassnockenwelle
	ENW <sub>Mess</sub> Messwert
	ER Emissionsranking
20	EW Emissionswert
	I Index
	KF Kennfeld
	M Drehmoment
	MPx Messpunkt
25	n Drehzahl
	N <sub>fMP</sub> Anzahl favorisierter Messpunkte
	N <sub>RMP</sub> Anzahl aufeinanderfolgender Messpunkte
	P <sub>IOs</sub> induzierter Zylinderinnendruck
	rl Relative Luftfüllung
30	Stst Stützstelle
	T <sub>AbgvKat</sub> Temperatur vor Abgaskatalysator
	ZZP Zündzeitpunkt
	β Gewichtungsfaktor
35	$\chi_1, \chi_2, \rho_{IOs}, \tau_{AbgvK}$ Konstanten

### Patentansprüche

1. Computerimplementiertes Verfahren zur zielgrößenoptimierten Applikation der Steuereinheit (5) einer Fahrzeugkomponente (3), wobei die Applikation das Bedaten von wenigstens einem Steuerparameter der Steuereinheit (5) mit Kalibrierungswerten umfasst, **gekennzeichnet durch** das Ausführen der Schritte
- (S11) Auswählen eines oder mehrerer Betriebspunkte der Fahrzeugkomponente (3),
  - (S13) Auswählen eines zu vermessenden Messpunktes innerhalb eines Messparameters für einen der ausgewählten Betriebspunkte, durch ein Auswahlmodell (14) einer Applikationseinrichtung (8),
  - (S14) Vermessen des Messpunktes innerhalb einer Vermessungseinrichtung (2), durch das Aufnehmen von Messwerten der Fahrzeugkomponente (3) mittels einer Messeinrichtung (7),
  - (S15) Berechnen wenigstens eines Zielgrößenwertes für den vermessenen Messpunkt mittels einer Applikationseinrichtung (8) und Modellieren wenigstens eines Zielgrößenwertes für eine oder mehrere Stützstellen des Messparameters, in Abhängigkeit des vermessenen Messpunktes, durch ein Vorhersagemodell (13) der Applikationseinrichtung (8),
  - (S16) Trainieren des Vorhersagemodells (13), in Abhängigkeit des wenigstens einen berechneten Zielgrößenwertes,
  - (S17) Überprüfen eines Abbruchkriteriums, in Abhängigkeit des berechneten Zielgrößenwertes und einer Anzahl bereits vermessener Messpunkte des ausgewählten Betriebspunktes, wobei das Verfahren bei Nichterfüllung des Abbruchkriteriums, beginnend mit (S13) dem Auswählen eines zu vermessenden Messpunktes für den ausgewählten Betriebspunkt, erneut durchlaufen wird und, wobei bei Erfüllung des Abbruchkriteriums überprüft wird, ob für sämtliche ausgewählte Betriebspunkte ein oder mehrere Messpunkte gemäß den vorher-

rigen Schritten vermessen wurden, wobei das Verfahren, beginnend mit (S11) der Auswahl eines weiteren Betriebspunktes der Fahrzeugkomponente (3), erneut durchlaufen wird, wenn nicht für sämtliche ausgewählte Betriebspunkte ein oder mehrere Messpunkte vermessen wurden und, wobei andernfalls die weiteren Schritte ausgeführt werden, umfassend

- 5 • (S20) das Bestimmen einer zielgrößenoptimalen Betriebspunktkombination, in Abhängigkeit der vermessenen Messpunkte, des einen oder der mehreren für jeden Messpunkt berechneten Zielgrößenwerte sowie von einer oder mehreren Nebenbedingungen, wobei die zielgrößenoptimale Betriebspunktombination je einen identifizierten Messpunkt für jeden ausgewählten Betriebspunkt umfasst, wobei sämtliche Nebenbedingungen erfüllt sind und, wobei die Summe der berechneten Zielgrößenwerte der identifizierten Messpunkte maximal ist sowie
- 10 • (S30) die Bedatung von wenigstens einem Steuerparameter durch Interpolieren der Kalibrierungswerte auf Stützstellen jenes Steuerparameters, in Abhängigkeit der zielgrößenoptimierten Betriebspunktombination.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** (S13) das Auswählen eines zu vermessenden Messpunktes innerhalb eines Messparameters für einen der ausgewählten Betriebspunkte, durch ein Auswahlmodell (14), in Abhängigkeit von einem oder mehreren der modellierten Zielgrößenwerte und eines durch das Vorhersagemodell (13) trainierten neuronalen Netzes, erfolgt.

3. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das (S15) Modellieren wenigstens eines Zielgrößenwertes für eine oder mehrere Stützstellen des Messparameters, das Interpolieren über sämtliche berechnete Zielgrößenwerte der bereits vermessenen Messpunkte des ausgewählten Betriebspunktes umfasst.

4. Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** das (S16) Trainieren des Vorhersagemodells (13), das Trainieren des neuronalen Netzes mittels Reinforcement-Learning und in Abhängigkeit der berechneten Zielgrößenwerte der bereits vermessenen Messpunkte des ausgewählten Betriebspunktes umfasst.

5. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Erfüllung des Abbruchkriteriums das Überprüfen, ob innerhalb einer vorgegebenen Anzahl von aufeinanderfolgenden vermessenen Messpunkten  $N_{RMP}$  zu einem aktuellen ausgewählten Betriebspunkt kein Messpunkt zu einer Anzahl  $N_{FMP}$  favorisierter Messpunkte eines Zielgrößenrankings zuordenbar ist, wobei das Zielgrößenranking eine nach den berechneten Zielgrößenwerten absteigend sortierte Auflistung der bereits vermessenen Messpunkte darstellt, umfasst.

6. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das (S20) Bestimmen der zielgrößenoptimalen Betriebspunktombination das Lösen eines kombinatorischen Optimierungsproblems mittels Branch-and-Bound-Ansatz, sowie, dass die (S30) Bedatung der Steuerparameter das Modellieren und Lösen eines nichtlinearen Optimierungsproblems mit linearen Nebenbedingungen umfasst.

7. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass**

- 40 • die Fahrzeugkomponente (3) eine Brennkraftmaschine (4) ist, wobei die auswählbaren Betriebspunkte Stützstellen des Motorkennfeldes, umfassend eine Drehzahl ( $n$ ) und ein Drehmoment ( $M$ ), umfassen,
- die Messparameter Nockenwellenvariationen sind, umfassend einen Kennraum aus den physikalischen Größen für den Gradkurbelwinkel jeweils der Einlassnockenwelle, Auslassnockenwelle und dem Zündzeitpunkt, wobei ein Messpunkt die Stützstelle einer Nockenwellenvariation eines Betriebspunktes umfasst,
- 45 • sowie, dass die Steuerparameter ein oder mehrere Einlassnockenwellenkennfelder, Auslassnockenwellenkennfelder und / oder Zündzeitpunktkennfelder umfassen, wobei die einzelnen Steuerparameter jeweils Kalibrierungswerte als Werte des Gradkurbelwinkels für jeweils die Einlassnockenwelle, Auslassnockenwelle und Zündzeitpunkt umfassen.

8. Verfahren nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** der berechnete Zielgrößenwert einen Emissionswert umfasst, der für jeden vermessenen Messpunkt mittels der aufgenommenen Messwerte und / oder weiterer physikalischer Größen berechenbar ist, wobei das Zielgrößenranking als ein Emissionsranking darstellbar ist.

9. Verfahren nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** die aufstellbaren Nebenbedingungen ein oder mehrere der nachfolgenden Größen einer Abgastemperatur ( $T_{AbgvKat}$ ), einem induzierten Zylinderinnendruck ( $P_{IOs}$ ) sowie der Gradienten der Werte des Gradkurbelwinkels der Einlassnockenwelle und der Auslassnockenwelle, jeweils zur Drehzahl ( $n$ ) und zur relativen Luftmenge ( $rl$ ) umfassen.

10. System zur zielgrößenoptimierten Applikation der Steuereinheit (5) einer Fahrzeugkomponente (3), das eingerichtet ist, um ein Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche auszuführen, umfassend eine Vermessungseinrichtung (2), die eingerichtet ist, um wenigstens einen Messpunkt eines ausgewählten Betriebspunktes einer Fahrzeugkomponente (3) zu vermessen, um wenigstens einen Messwert mittels einer Messeinrichtung (7) aufzunehmen und an  
5 eine Applikationseinrichtung (8) zu übertragen, sowie eine Applikationseinrichtung (8), umfassend wenigstens je eine Recheneinheit (11), einen elektronischen Speicher (12), eine Eingangs- (9) und Ausgangsschnittstelle (10), die eingerichtet ist, um mittels Recheneinheit (11)

- wenigstens einen Messpunkt mittels Auswahlmodell (14) auszuwählen,
- wenigstens einen Zielgrößenwert in Abhängigkeit wenigstens eines vermessenen Messpunktes zu berechnen,
- wenigstens einen weiteren Zielgrößenwert in Abhängigkeit der bereits vermessenen Messpunkte mittels eines Vorhersagemodells (13) zu modellieren,
- das Vorhersagemodell (13) in Abhängigkeit des wenigstens einen berechneten Zielgrößenwertes zu trainieren,
- ein Abbruchkriterium, in Abhängigkeit des wenigstens einen berechneten Zielgrößenwertes und einer Anzahl  
15 der bereits vermessenen Messpunkte, zu überprüfen,
- eine zielgrößenoptimale Betriebspunktkombination, in Abhängigkeit der vermessenen Messpunkte, der für jeden Messpunkt berechneten Zielgrößenwerte sowie von einer oder mehreren Nebenbedingungen, zu bestimmen,
- sowie wenigstens einen Steuerparameter durch Interpolieren der Kalibrierungswerte auf Stützstellen jenes  
20 Steuerparameters, in Abhängigkeit der zielgrößenoptimalen Betriebspunktombination, zu bedaten.

25

30

35

40

45

50

55

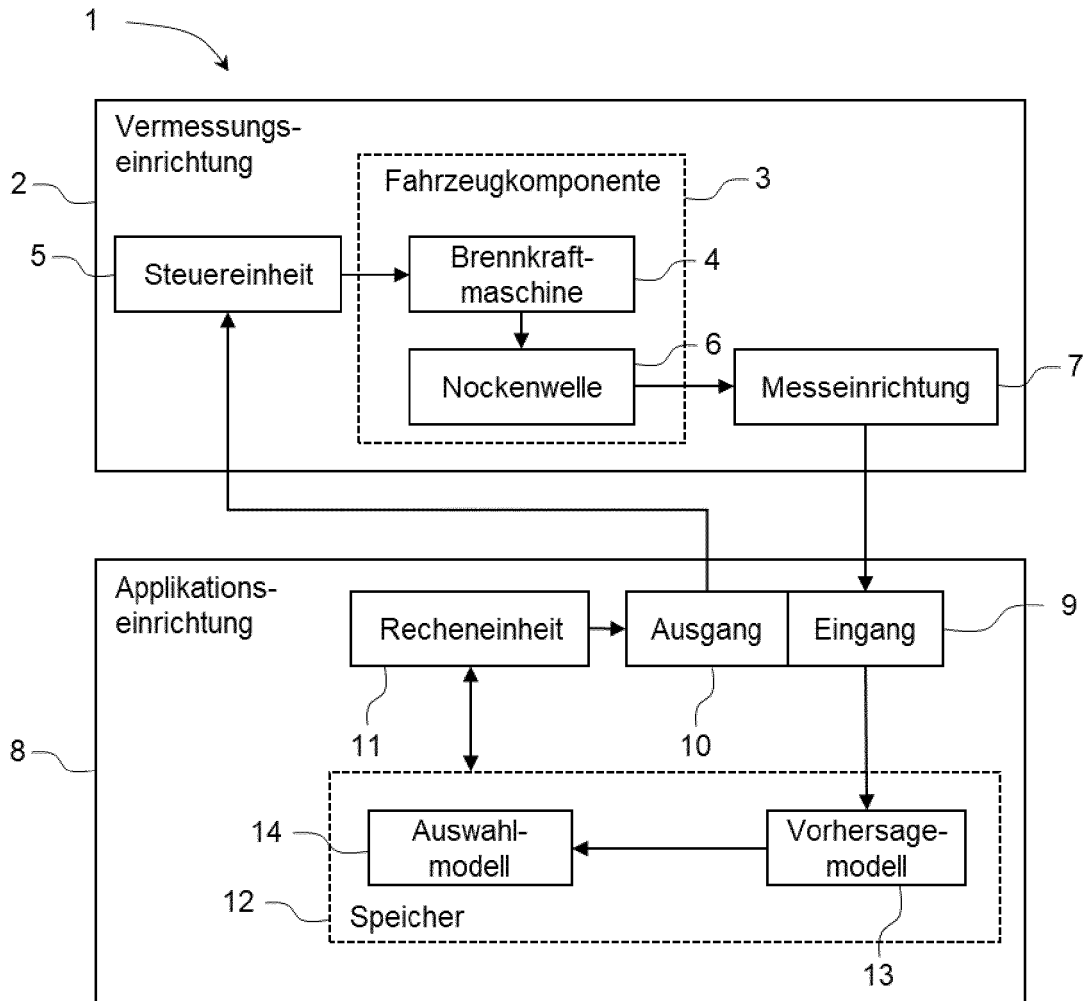


Fig. 1

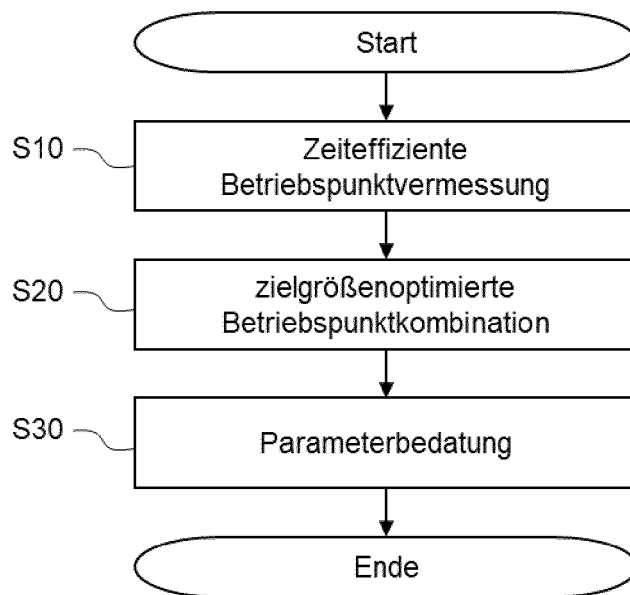


Fig. 2

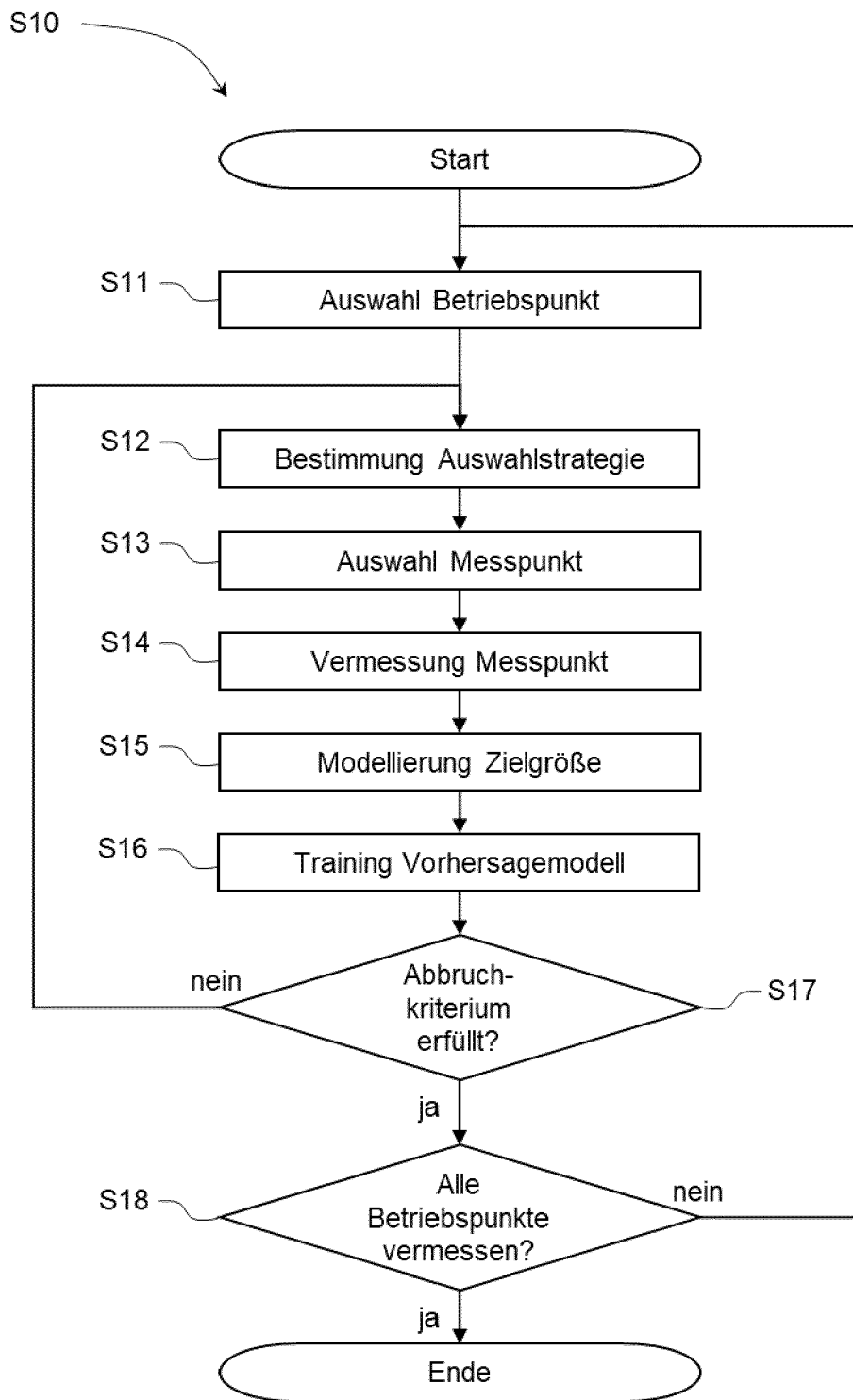


Fig. 3

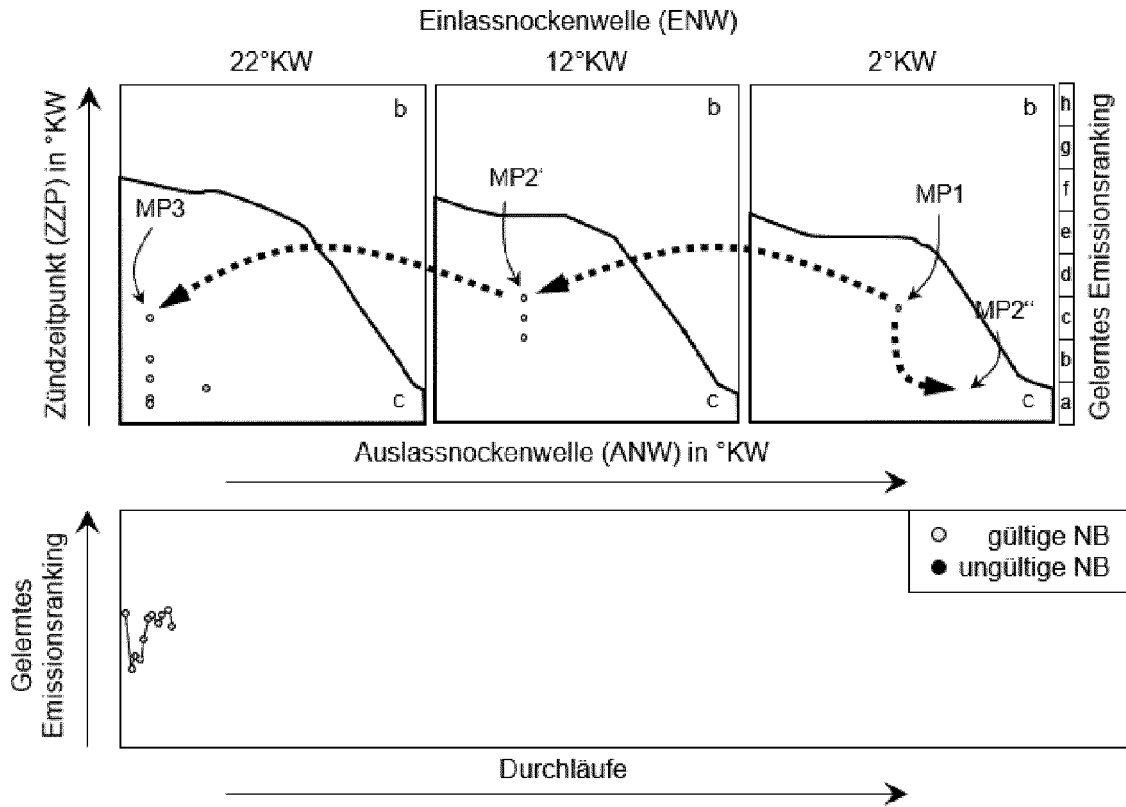


Fig. 4A

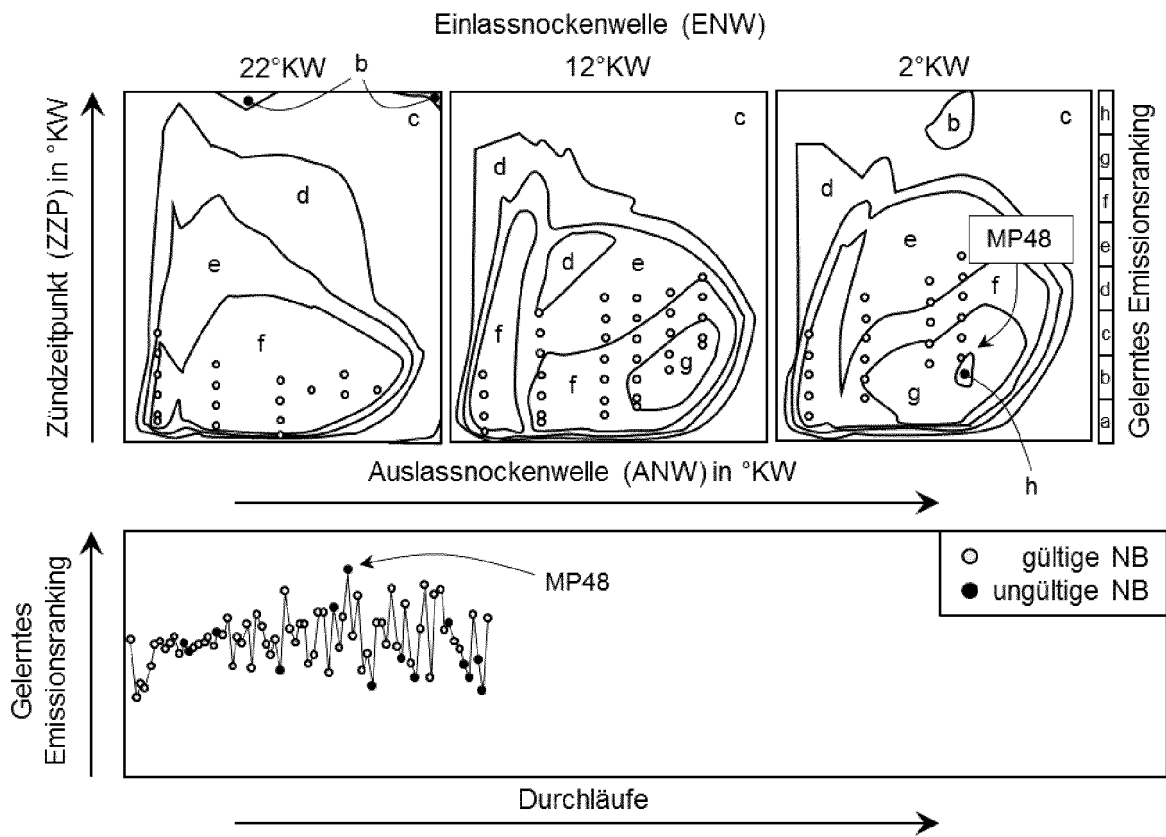


Fig. 4B

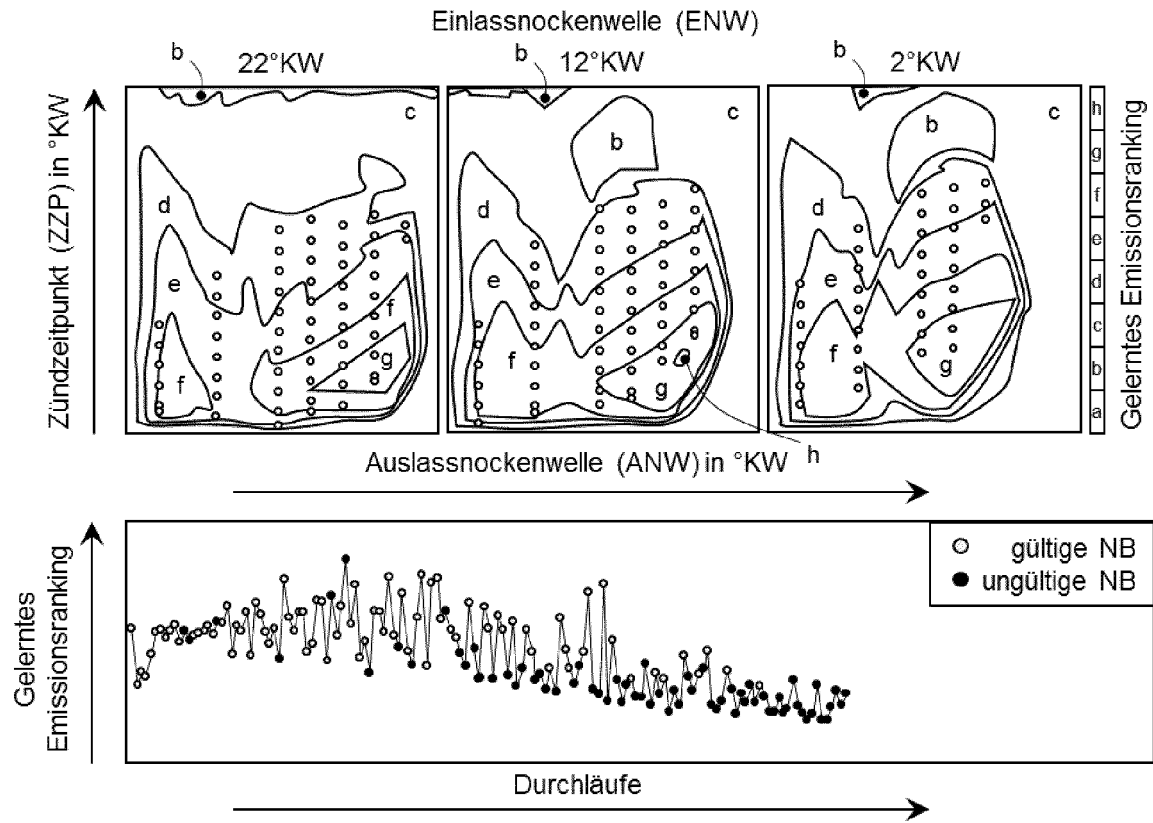


Fig. 4C

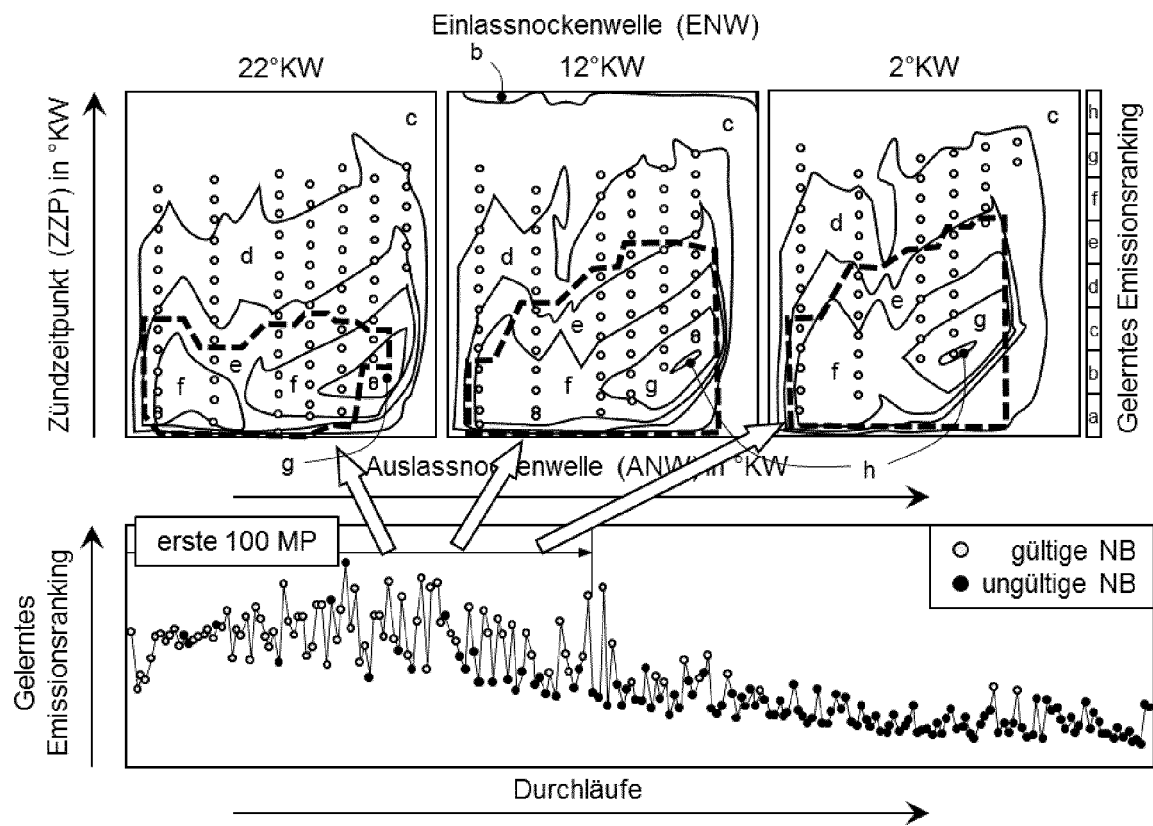


Fig. 4D

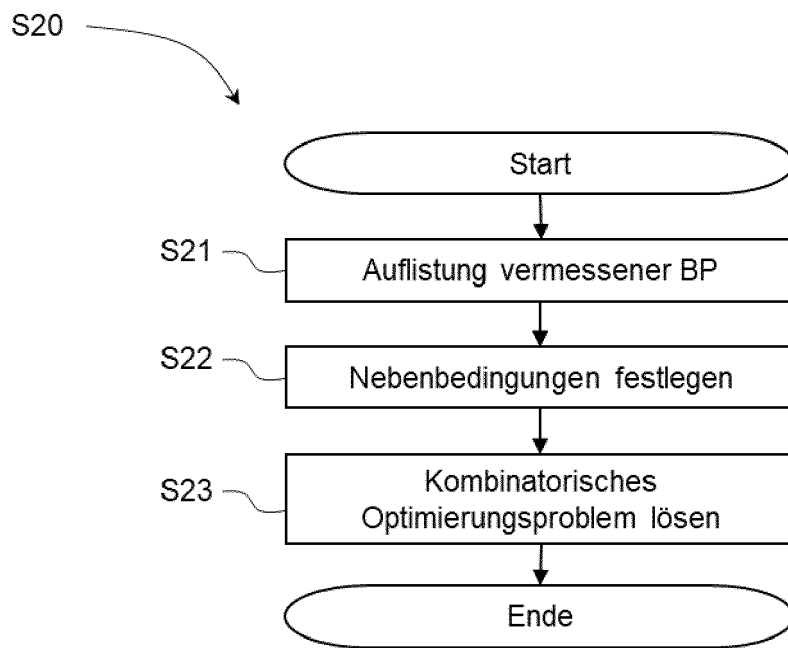


Fig. 5

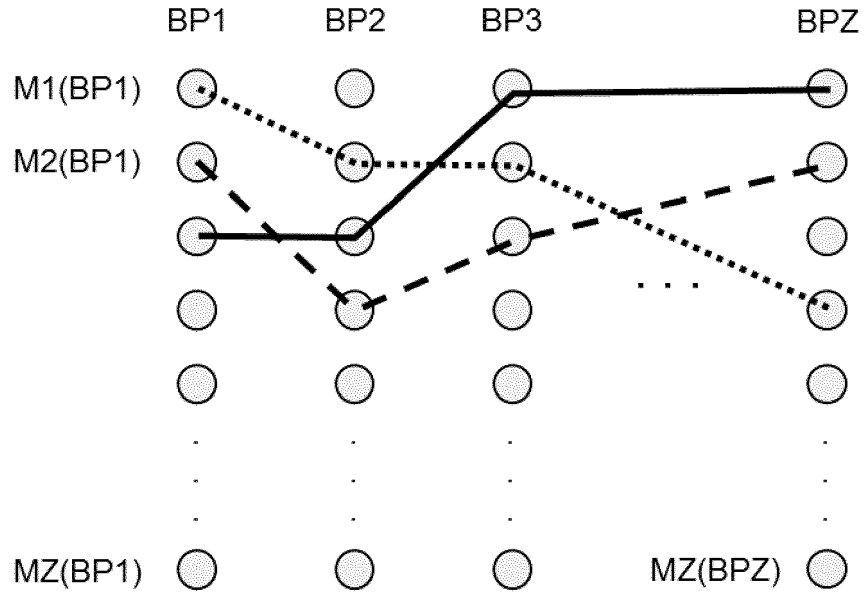


Fig. 6A

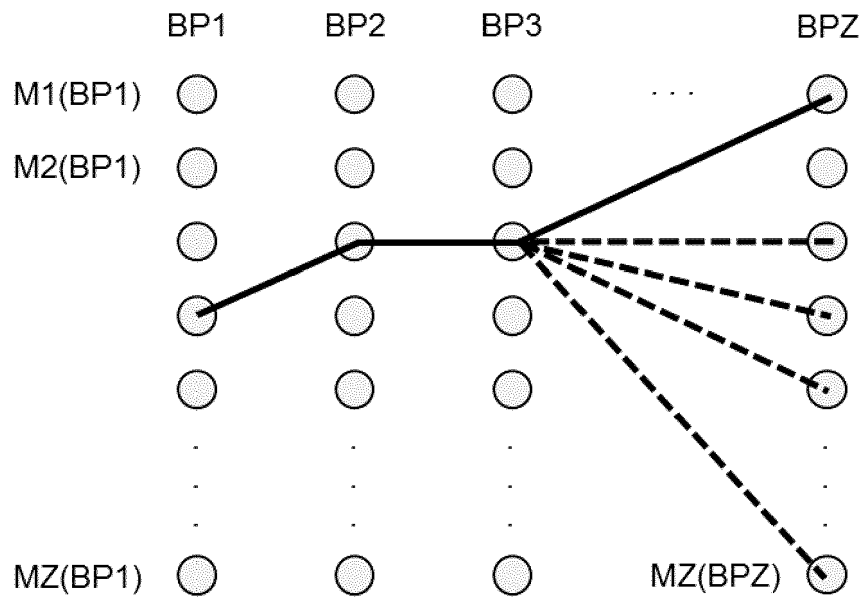


Fig. 6B

l	rl [%]	n [rpm]	ENW [°KW]	ANW [°KW]	ZZP [°KW]	M [NM]	EW [-]
0	60	1400	5	-10	-10	60,1	2,3
1	75	2000	15	10	-10	88,3	1,8
2	50	2000	-10	0	-15	56,4	3,5
3	80	1600	-8	-20	-5	95,3	1,4
4	60	2200	13	-20	-15	50,2	3,6
5	45	1500	-8	-30	-20	30,3	3,8
6	65	1600	-15	-10	-5	64,1	2,5
7	130	2500	15	-10	0	200,3	1
8	45	1200	3	-5	-20	30,2	2,5
9	65	1200	-10	-15	-25	40,1	2,9
10	110	2000	20	10	-10	150,6	1,3
11	110	1400	20	-10	-15	122,3	1,2
12	60	1800	-10	15	-5	67,9	2,4
13	100	1700	20	-15	-10	120,5	1,6

$\Sigma = 31,8$

Fig. 7

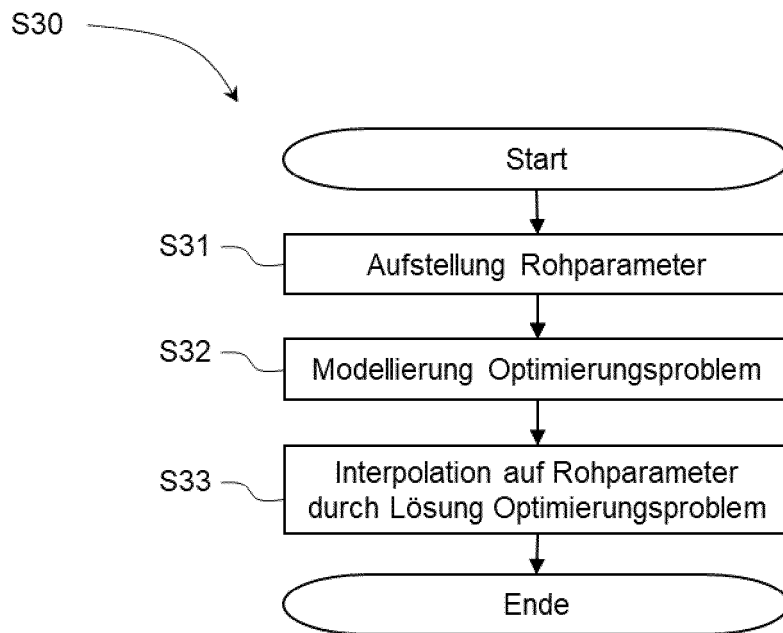


Fig. 8

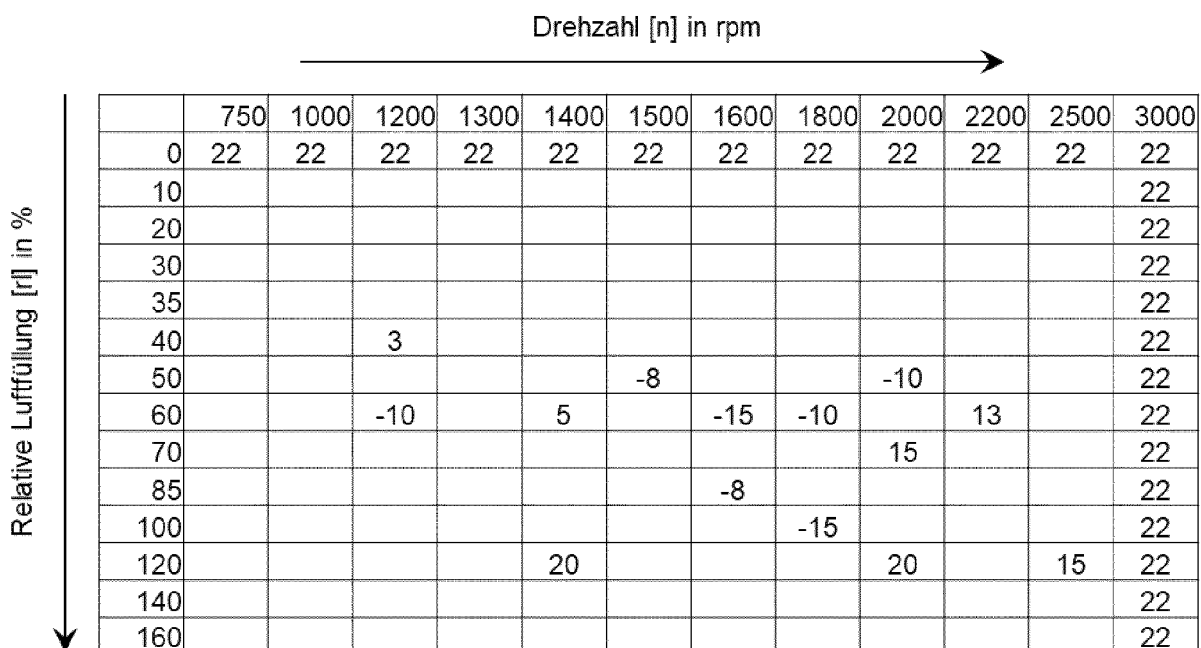


Fig. 9

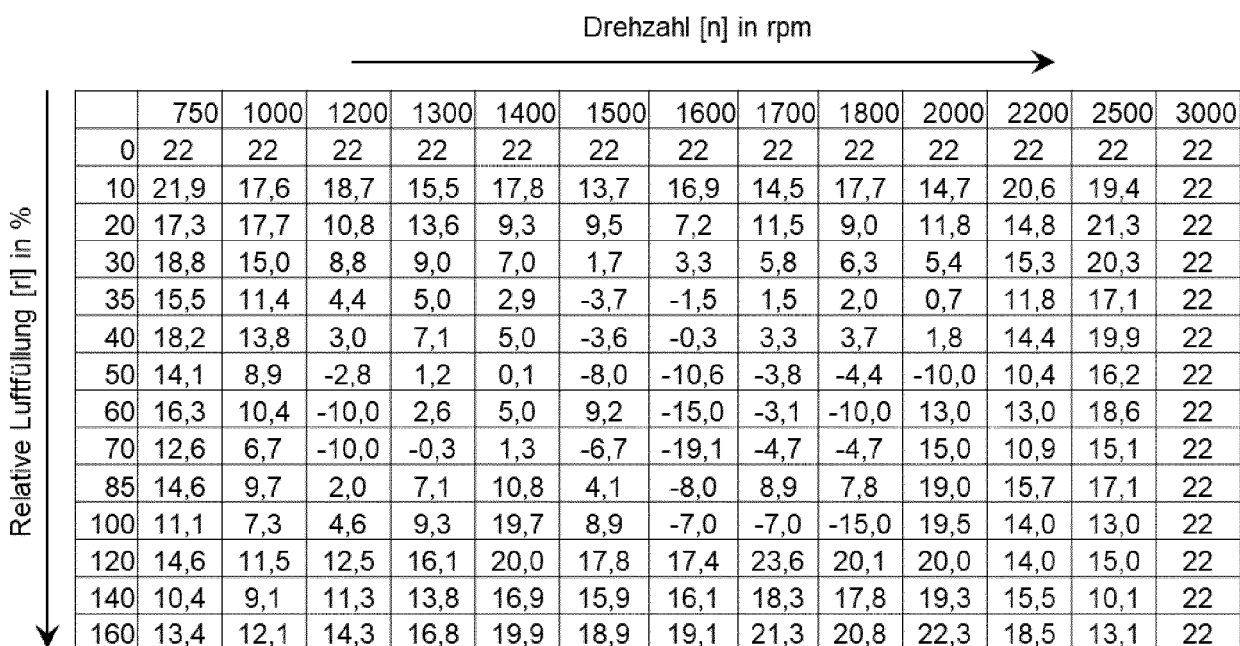


Fig. 10

**IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE**

*Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.*

**In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente**

- DE 102017201632 A1 **[0003]**
- DE 102019008400 A1 **[0004]**
- DE 102013206274 A1 **[0005]**
- DE 102009024544 A1 **[0006]**