

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
25. April 2019 (25.04.2019)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2019/076501 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

F02D 41/14 (2006.01) F02D 41/26 (2006.01)
F02D 41/24 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2018/069839

(22) Internationales Anmeldedatum:
20. Juli 2018 (20.07.2018)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2017 009 582.5
16. Oktober 2017 (16.10.2017) DE

(71) Anmelder: MTU FRIEDRICHSHAFEN GMBH
[DE/DE]; Maybachplatz 1, 88045 Friedrichshafen (DE).

(72) Erfinder: NIEMEYER, Jens; Oberhofstraße 25, 88045 Friedrichshafen (DE). FLOHR, Andreas; Winkelhofstraße 19, 88693 Deggenhausertal (DE). REMELE, Jörg; Am Sonnenbühl 34, 88709 Hagnau (DE). WOLF, Christian; Haydnstraße 34, 88097 Eriskirch (DE).

(74) Anwalt: KRONTHALER, Wolfgang N.; Kronthaler, Schmidt & Coll., Pfarrstraße 14, 80538 München (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA,

(54) Title: METHOD FOR THE MODEL-BASED CONTROL AND REGULATION OF AN INTERNAL COMBUSTION ENGINE

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUR MODELLBASIERTEN STEUERUNG UND REGELUNG EINER BRENNKRAFTMASCHINE

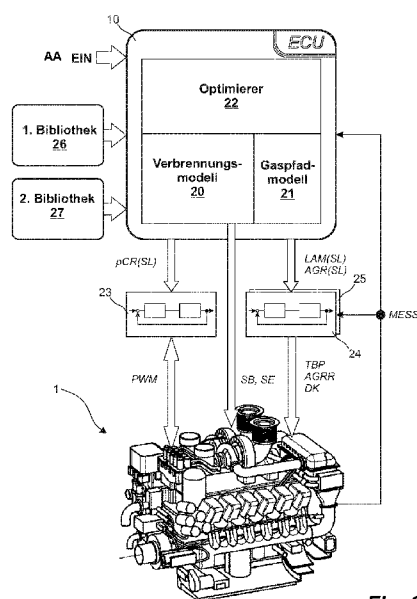


Fig. 2

20 combustion model
21 gas path model
22 optimizer
26 first library
27 second library
AA input

(57) Abstract: The invention relates to a method for the model-based control and regulation of an internal combustion engine (1). An emission class for the operation of the internal combustion engine (1) is read from a first library (26) by an optimizer (22); a maximum mechanical component load is read from a second library (27) by the optimizer (22) using the internal combustion engine type; and the emission class and the component load are set as mandatory for a combustion model (20) and a gas path model (21), wherein injection system target values for actuating the injection system actuators are calculated using the combustion model (20) on the basis of a target torque; gas path target values for actuating the gas path actuators are calculated using the gas path model (21) on the basis of the target torque; a measurement of quality is calculated by the optimizer (22) on the basis of the injection system target values and the gas path target values; the measurement of quality is minimized by the optimizer (22) by changing the injection system target values and the gas path target values within a prediction horizon; and the injection system target values and the gas path target values are set as being decisive to the adjustment of the operating point of the internal combustion engine (1) by the optimizer (22) using the minimized measurement of quality.

(57) Zusammenfassung: Vorgeschlagen wird ein Verfahren zur modellbasierten Steuerung und Regelung einer Brennkraftmaschine (1), bei dem von einem Optimierer (22) aus einer ersten Bibliothek (26) eine Emissionsklasse für den Betrieb der Brennkraftmaschine (1) eingelesen wird, vom Optimierer (22) aus einer zweiten Bibliothek (27) anhand des Brennkraftmaschinentyps eine maximale mechanische Bauteilbelastung ausgelesen wird, die Emissionsklasse und die Bauteilbelastung als verbindlich für ein Verbrennungsmodell (20) und ein Gaspfadmodell (21) gesetzt werden, bei dem in Abhängigkeit eines Sollmoments über das Verbrennungsmodell (20) Einspritzsystem-Sollwerte zur Ansteuerung der Einspritzsystem-Stellglieder und über das Gaspfadmodell (21) Gaspfad-Sollwerte zur Ansteuerung der Gaspfad-Stellglieder berechnet werden, bei dem vom Optimierer (22) ein

SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN,
TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

- (84) Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

- mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

Gütemaß in Abhängigkeit der Einspritzsystem-Sollwerte und der Gaspfad-Sollwerte berechnet wird, vom Optimierer (22) das Gütemaß über Veränderung der Einspritzsystem-Sollwerte und Gaspfad-Sollwerte innerhalb eines Prädiktionshorizonts minimiert wird und bei dem vom Optimierer (22) anhand des minimierten Gütemaßes die Einspritzsystem-Sollwerte und Gaspfad-Sollwerte als maßgeblich zur Einstellung des Betriebspunkts der Brennkraftmaschine (1) gesetzt werden.

Verfahren zur modellbasierten Steuerung und Regelung einer Brennkraftmaschine

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur modellbasierten Steuerung und Regelung einer Brennkraftmaschine, bei dem von einem Optimierer aus einer ersten Bibliothek eine Emissionsklasse für den Betrieb der Brennkraftmaschine eingelesen wird, vom Optimierer aus einer zweiten Bibliothek anhand des Brennkraftmaschinentyps eine maximale mechanische Bauteilbelastung ausgelesen wird, die Emissionsklasse und die maximale Bauteilbelastung als verbindliche für ein Verbrennungsmodell und ein Gaspfadmodell gesetzt werden und bei dem in Abhängigkeit eines Soll-Moments über das Verbrennungsmodell Einspritzsystem-Sollwerte zur Ansteuerung der Einspritzsystem-Stellglieder und über ein Gaspfadmodell Gaspfad-Sollwerte zur Ansteuerung der Gaspfad-Stellglieder berechnet werden.

Das Verhalten einer Brennkraftmaschine wird maßgeblich über ein Motorsteuergerät in Abhängigkeit eines Leistungswunsches bestimmt. Hierzu sind in der heutigen Software des Motorsteuergeräts entsprechende Kennlinien und Kennfelder appliziert. Über diese werden aus dem Leistungswunsch, zum Beispiel einem Soll-Moment, die Stellgrößen der Brennkraftmaschine berechnet, zum Beispiel der Spritzbeginn und ein erforderlicher Raildruck. Mit Daten bestückt werden diese Kennlinien/Kennfelder beim Hersteller der Brennkraftmaschine auf einem Prüfstand. Die Vielzahl dieser Kennlinien/Kennfelder und die Korrelation der Kennlinien/Kennfelder untereinander verursachen allerdings einen hohen Abstimmungsaufwand.

In der Praxis wird daher versucht den Abstimmungsaufwand durch die Verwendung von mathematischen Modellen zu reduzieren. So beschreibt zum Beispiel die DE 10 2006 004 516 B3 ein Bayesnetz mit Wahrscheinlichkeitstabellen zur Festlegung einer Einspritzmenge und die US 2011/0172897 A1 ein Verfahren zur Adaption des Spritzbeginns sowie der Spritzmenge über Verbrennungsmodelle mittels

neuronaler Netze. Kritisch ist hierbei, dass lediglich trainierte Daten abgebildet werden, die erst bei einem Prüfstandslauf gelernt werden müssen.

Aus der US 2016/0025020 A1 ist ein modellbasiertes Regelverfahren für den Gaspfad einer Brennkraftmaschine bekannt. Der Gaspfad umfasst sowohl die Luftseite als auch die Abgasseite nebst einer Abgas-Rückführung. In einem ersten Schritt des Verfahrens wird aus den Messgrößen des Gaspfads, zum Beispiel der Ladelufttemperatur oder der NO_x-Konzentration, die aktuelle Betriebssituation der Brennkraftmaschine festgestellt. In einem zweiten Schritt wird dann ebenfalls aus den Messgrößen über ein physikalisches Modell des Gaspfads ein Gütemaß innerhalb eines Prädiktionshorizonts berechnet. Aus dem Gütemaß und der Betriebssituation wiederum werden dann in einem dritten Schritt die Ansteuersignale für die Stellglieder des Gaspfads festgelegt. Das angegebene Verfahren bezieht sich ausschließlich auf den Gaspfad und basiert auf einem linearisierten Gaspfadmodell. Durch die Linearisierung bedingt ist ein Informationsverlust unvermeidbar.

Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur modellbasierten Steuerung und Regelung der ganzen Brennkraftmaschine bei hoher Güte zu entwickeln.

Gelöst wird diese Aufgabe durch die Merkmale von Anspruch 1. Die Ausgestaltungen sind in den Unteransprüchen dargestellt.

Das Verfahren besteht darin, dass von einem Optimierer aus einer ersten Bibliothek eine Emissionsklasse für den Betrieb der Brennkraftmaschine eingelesen wird, vom Optimierer aus einer zweiten Bibliothek anhand des Brennkraftmaschinentyps eine maximale mechanische Bauteilbelastung ausgelesen wird und die Emissionsklasse und die maximale Bauteilbelastung als verbindlich für ein Verbrennungsmodell und ein Gaspfadmodell gesetzt werden. Ferner besteht das Verfahren darin, dass in Abhängigkeit eines Sollmoments über das Verbrennungsmodell Einspritzsystem-Sollwerte zur Ansteuerung der Einspritzsystem-Stellglieder und über das Gaspfadmodell Gaspfad-Sollwerte zur Ansteuerung der Gaspfad-Stellglieder berechnet werden und dass vom Optimierer ein Gütemaß in Abhängigkeit der Einspritzsystem-Sollwerte und der Gaspfad-Sollwerte berechnet wird. Ergänzt wird das Verfahren dadurch, dass vom Optimierer das Gütemaß über Veränderung der Einspritzsystem-Sollwerte und Gaspfad-Sollwerte innerhalb eines Prädiktionshorizonts minimiert wird und vom Optimierer anhand des

minimierten Gütemaßes die Einspritzsystem-Sollwerte und Gaspfad-Sollwerte als maßgeblich zur Einstellung des Betriebspunkts der Brennkraftmaschine gesetzt werden.

In der ersten Bibliothek sind die unterschiedlichen gesetzlichen Emissionsklassen entsprechend dem globalen Anwendungsbereich, zum Beispiel IMO oder Tier 4f, abgelegt. Dadurch sind unterschiedliche Emissionsziele für ein und denselben Brennkraftmaschinentyp darstellbar. Von Vorteil sind der reduzierte Abstimmungsaufwand und eine größere Flexibilität hinsichtlich des Einsatzortes. Über die zweite Bibliothek mit der maximalen mechanischen Bauteilbelastung kann in einer vorgesehenen Option der Betreiber das Wartungsintervall beeinflussen. Zum Beispiel bedeutet ein reduzierter Verbrennungsspitzenruck eine längere Nutzungsdauer bis zum nächsten Wartungstermin. Von Vorteil ist hier also die Wahlfreiheit. Selbstverständlich lässt sich eine einmal abgestimmte Bibliothek auf eine Brennkraftmaschine desselben Typs aber mit geänderter Zylinderzahl problemlos übertragen.

Bestimmt wird das minimierte Gütemaß, indem vom Optimierer zu einem ersten Zeitpunkt ein erstes Gütemaß berechnet wird, zu einem zweiten Zeitpunkt ein zweites Gütemaß innerhalb des Prädiktionshorizonts prognostiziert wird und anschließend eine Abweichung der beiden Gütemaße bestimmt wird. Ist die Abweichung kleiner als ein Grenzwert, so wird vom Optimierer das zweite Gütemaß als minimiertes Gütemaß gesetzt. Die Grenzwertbetrachtung ist insofern ein Abbruchkriterium, da eine weitere Minimierung zu keiner noch präziseren Anpassung führen würde. Anstelle der Grenzwertbetrachtung kann auch eine vorgebbare Anzahl von Neuberechnungen als Abbruchkriterium gesetzt werden.

Anhand des minimierten Gütemaßes werden dann vom Optimierer als Einspritzsystem-Sollwert mittelbar ein Raildruck-Sollwert für einen unterlagerten Raildruck-Regelkreis und unmittelbar ein Spritzbeginn sowie ein Spritzende zur Ansteuerung eines Injektors vorgegeben. Ergänzend werden dann vom Optimierer mittelbar die Gaspfad-Sollwerte, zum Beispiel ein Lambda-Sollwert für einen unterlagerten Lambda-Regelkreis und ein AGR-Sollwert für einen unterlagerten AGR-Regelkreis, vorgegeben.

Sowohl das Verbrennungsmodell als auch das Gaspfadmodell bilden das Systemverhalten der Brennkraftmaschine als mathematische Gleichungen ab. Bestimmt werden diese einmalig anhand einer Referenz-Brennkraftmaschine bei einem

Prüfstandslauf, dem sogenannten DoE-Prüfstandslauf (DoE: Design of Experiments) oder aus Simulationsversuchen. Eine Unterscheidung in einen stationären und einen transienten Betrieb, zum Beispiel bei einer Lastaufschaltung im Generatorbetrieb, ist nicht mehr erforderlich. Zudem wird das Sollmoment unter Einhaltung der Emissionsgrenzwerte präzise eingestellt. Die Modelle sind einzeln abstimmbar, wobei die Modelle in der Summe die Brennkraftmaschine abbilden. Die bisher erforderlichen Kennlinien und Kennfelder können somit entfallen. Die bekannten Vorteile einer programm-basierten Lösung wie Nachrüstbarkeit oder Anpassung an gesetzliche Vorgaben sind auch hier gegeben.

In den Figuren ist ein bevorzugtes Ausführungsbeispiel dargestellt. Es zeigen:

- Figur 1 ein Systemschaubild,
- Figur 2 ein modellbasiertes Systemschaubild,
- Figur 3 einen Programm-Ablaufplan,
- Figur 4 Zeitdiagramme, Abstimmung 1 und
- Figur 5 Zeitdiagramme, Abstimmung 2.

Die Figur 1 zeigt ein Systemschaubild einer elektronisch gesteuerten Brennkraftmaschine 1 mit einem Common-Railsystem. Das Common-Railsystem umfasst folgende mechanische Komponenten: eine Niederdruckpumpe 3 zur Förderung von Kraftstoff aus einem Kraftstofftank 2, eine veränderbare Saugdrossel 4 zur Beeinflussung des durchströmenden Kraftstoff-Volumenstroms, eine Hochdruckpumpe 5 zur Förderung des Kraftstoffs unter Druckerhöhung, ein Rail 6 zum Speichern des Kraftstoffs und Injektoren 7 zum Einspritzen des Kraftstoffs in die Brennräume der Brennkraftmaschine 1. Optional kann das Common-Railsystem auch mit Einzelspeichern ausgeführt sein, wobei dann zum Beispiel im Injektor 7 ein Einzelspeicher 8 als zusätzliches Puffervolumen integriert ist. Die weitere Funktionalität des Common-Railsystems wird als bekannt vorausgesetzt.

Der dargestellte Gaspfad umfasst sowohl die Luftzuführung als auch die Abgasabführung. Angeordnet sind in der Luftzuführung der Verdichter eines Abgasturboladers 11, ein Ladeluftkühler 12, eine Drosselklappe 13, eine Einmündungsstelle 14 zur Zusammenführung der Ladeluft mit dem rückgeführten Abgas und das Einlassventil 15. In der Abgasabführung angeordnet sind ein

Auslassventil 16, die Turbine des Abgasturboladers 11 und ein Turbinen-Bypassventil 19. Aus der Abgasabführung zweigt ein Abgasrückführungspfad ab, in welchem ein AGR-Stellglied 17 zur Einstellung der AGR-Rate und der AGR-Kühler 18 angeordnet sind.

Die Betriebsweise der Brennkraftmaschine 1 wird durch ein elektronisches Steuergerät 10 (ECU) bestimmt. Das elektronische Steuergerät 10 beinhaltet die üblichen Bestandteile eines Mikrocomputersystems, beispielsweise einen Mikroprozessor, I/O-Bausteine, Puffer und Speicherbausteine (EEPROM, RAM). In den Speicherbausteinen sind die für den Betrieb der Brennkraftmaschine 1 relevanten Betriebsdaten als Modelle appliziert. Über diese berechnet das elektronische Steuergerät 10 aus den Eingangsgrößen die Ausgangsgrößen. Die maßgebliche Eingangsgröße ist ein Sollmoment $M(SOLL)$, welches von einem Bediener als Leistungswunsch vorgegeben wird. Die auf das Common-Railsystem bezogenen Eingangsgrößen des Steuergeräts 10 sind der Raildruck p_{CR} , der mittels eines Rail-Drucksensors 9 gemessen wird, und optional der Einzelspeicherdruck p_{ES} . Die auf den Luftpfad bezogenen Eingangsgrößen des elektronischen Steuergeräts 10 sind ein Öffnungswinkel $W1$ der Drosselklappe 13, die Motordrehzahl n_{IST} , der Ladeluftdruck p_{LL} , die Ladelufttemperatur T_{LL} und die Feuchte ϕ der Ladeluft. Die auf den Abgaspfad bezogenen Eingangsgrößen des elektronischen Steuergeräts 10 sind ein Öffnungswinkel $W2$ des AGR-Stellglieds 17, die Abgastemperatur T_{Abgas} , das Luft-Kraftstoffverhältnis λ und der NO_x -Istwert stromab der Turbine des Abgasturboladers 11. Die weiteren nicht dargestellten Eingangsgrößen des elektronischen Steuergeräts 10 sind mit Bezugszeichen EIN zusammengefasst, beispielsweise die Kühlmitteltemperaturen oder ein variabler Ventiltrieb.

In Figur 1 sind als Ausgangsgrößen des elektronischen Steuergeräts 10 dargestellt: ein Signal PWM zur Ansteuerung der Saugdrossel 4, ein Signal ve zur Ansteuerung des Injektors 7 (Spritzbeginn/ Spritzende), ein Stellsignal DK zur Ansteuerung der Drosselklappe 13, ein Stellsignal AGR zur Ansteuerung des AGR-Stellglieds 17, ein Stellsignal TBP zur Ansteuerung des Turbinen-Bypassventils 19 und eine Ausgangsgröße AUS. Die Ausgangsgröße AUS steht stellvertretend für die weiteren Stellsignale zur Steuerung und Regelung der Brennkraftmaschine 1, beispielsweise für ein Stellsignal zur Aktivierung eines zweiten Abgasturboladers bei einer Registeraufladung.

Die Figur 2 zeigt ein modellbasiertes Systemschaubild. Bei dieser Darstellung sind innerhalb des elektronischen Steuergeräts 10 ein Verbrennungsmodell 20, ein Gaspfadmodell 21 und ein Optimierer 22 aufgeführt. Sowohl das Verbrennungsmodell 20 als auch das Gaspfadmodell 21 bilden das Systemverhalten der Brennkraftmaschine als mathematische Gleichungen ab. Das Verbrennungsmodell 20 bildet statisch die Vorgänge bei der Verbrennung ab. Im Unterschied hierzu bildet das Gaspfadmodell 21 auch das dynamische Verhalten der Luftführung und der Abgasführung ab. Das Verbrennungsmodell 20 beinhaltet Einzelmodelle, zum Beispiel für die NO_x- und Rußentstehung, für die Abgastemperatur, für den Abgasmassenstrom und für den Spitzendruck. Diese Einzelmodelle wiederum hängen ab von den Randbedingungen im Zylinder und den Parametern der Einspritzung. Bestimmt wird das Verbrennungsmodell 20 bei einer Referenz-Brennkraftmaschine in einem Prüfstandslauf, dem sogenannte DoE-Prüfstandslauf (DoE: Design of Experiments). Beim DoE-Prüfstandslauf werden systematisch Betriebsparameter und Stellgröße mit dem Ziel variiert, das Gesamtverhalten der Brennkraftmaschine in Abhängigkeit von motorischen Größen und Umweltrandbedingungen abzubilden. Ergänzend sind eine erste Bibliothek 26 und eine zweite Bibliothek 27 dargestellt. Die beiden Bibliotheken können im elektronischen Steuergerät 10 oder in einem übergeordneten Anlagenregler, zum Beispiel bei einem Schiff, integriert sein.

In einem ersten Schritt liest der Optimierer 22 aus der ersten Bibliothek 26 die Emissionsklasse ein. Unter Emissionsklasse ist zum Beispiel ein Betrieb der Brennkraftmaschine entsprechend dem MARPOL (Marine Pollution) der IMO oder EU IV / Tier 4 final zu verstehen. In einem zweiten Schritt werden aus der zweiten Bibliothek 27 anhand des Brennkraftmaschinentyps eine maximale mechanische Bauteilbelastung, zum Beispiel der Verbrennungsspitzenruck oder die maximale Drehzahl des Abgasturboladers, eingelesen. In einer Option ist vorgesehen, dass der Bediener Maximalwerte in Richtung geringerer Werte verändern kann, wodurch sich das Wartungsintervall verlängern lässt. Die ausgewählte Emissionsklasse und die ausgewählten maximalen Werte der mechanischen Bauteilbelastung werden dann als verbindlich für die weitere Berechnung innerhalb des Verbrennungsmodells und des Gaspfadmodells gesetzt. Danach wertet der Optimierer 22 das Verbrennungsmodell 20 aus und zwar hinsichtlich des Sollmoments $M(SOLL)$, der Emissionsgrenzwerte, der Umweltrandbedingungen, zum Beispiel die Feuchte ϕ

der Ladeluft, und der Betriebssituation der Brennkraftmaschine. Definiert wird die Betriebssituation durch die Motordrehzahl n_{IST} , die Ladelufttemperatur T_{LL} , den Ladeluftdruck p_{LL} usw. Die Funktion des Optimierers 22 besteht nun darin, die Einspritzsystem-Sollwerte zur Ansteuerung der Einspritzsystem-Stellglieder und die Gaspfad-Sollwerte zur Ansteuerung der Gaspfad-Stellglieder zu bewerten. Hierbei wählt der Optimierer 22 diejenige Lösung aus, bei der ein Gütemaß minimiert wird. Berechnet wird das Gütemaß zum Beispiel als Integral der quadratischen Soll-Istabweichungen innerhalb des Prädiktionshorizonts. Beispielsweise in der Form:

$$(1) \quad J = \int [w_1(\text{NO}_x(\text{SOLL}) - \text{NO}_x(\text{IST}))^2 + [w_2(M(\text{SOLL}) - M(\text{IST}))^2 + [w_3(\dots)] + \dots$$

Hierin bedeuten w_1 , w_2 und w_3 einen entsprechenden Gewichtungsfaktor. Bekanntermaßen ergibt sich die Stickoxidemission aus der Feuchte ϕ der Ladeluft, der Ladelufttemperatur, dem Spritzbeginn SB und dem Raildruck p_{CR} .

In der Gleichung (1) werden eine Begrenzung der Stellgrößen SG und eine Begrenzungsfunktion BF berücksichtigt. Hierfür gilt:

$$(2) \quad SG(\min) \leq SG \leq SG(\max) \text{ und}$$

$$(3) \quad BF \leq \text{Max}$$

Stellgrößen sind zum Beispiel der Spritzbeginn und das Spritzende. Eine Begrenzungsfunktion ist zum Beispiel der maximale Verbrennungsdruck, eine maximale Drehzahl des Abgasturboladers oder eine maximale Abgastemperatur.

Minimiert wird das Gütemaß, indem vom Optimierer 22 zu einem ersten Zeitpunkt über die Gleichung (1) ein erstes Gütemaß berechnet wird. Danach werden die Einspritzsystem-Sollwerte sowie die Gaspfad-Sollwerte variiert und über die Gleichung (1) wird ein zweites Gütemaß innerhalb des Prädiktionshorizonts prognostiziert. Anhand der Abweichung der beiden Gütemaße zueinander legt dann der Optimierer 22 die Stellgrößen für ein minimales Gütemaß fest und setzt dieses als maßgeblich für die Brennkraftmaschine. Für das in der Figur dargestellte Beispiel sind dies für das Einspritzsystem der Soll-Raildruck $p_{CR}(SL)$ und der Spritzbeginn SB sowie das Spritzende SE . Der Soll-Raildruck $p_{CR}(SL)$ ist die Führungsgröße für den unterlagerten Raildruck-Regelkreis 23. Die Stellgröße des Raildruck-Regelkreises 23 entspricht dem

PWM-Signal zu Beaufschlagung der Saugdrossel. Mit dem Spritzbeginn SB und dem Spritzende SE wird der Injektor (Fig. 1: 7) unmittelbar beaufschlagt. Für den Gaspfad bestimmt der Optimierer 22 mittelbar die Gaspfad-Sollwerte. Bei dem dargestellten Beispiel sind dies ein Lambda-Sollwert $LAM(SL)$ und ein AGR-Sollwert $AGR(SL)$ zur Vorgabe für den Lambda-Regelkreis 24 und den AGR-Regelkreis 25. Die rückgeführten Messgrößen MESS werden vom elektronischen Steuergerät 10 eingelesen. Unter den Messgrößen MESS sind sowohl unmittelbar gemessene physikalische Größen als auch daraus berechnete Hilfsgrößen zu verstehen. Bei dem dargestellten Beispiel werden der Lambda-Istwert $LAM(IST)$ und der AGR-Istwert $AGR(IST)$ eingelesen.

In der Figur 3 ist das Verfahren in einem Programm-Ablaufplan dargestellt, wobei in der Figur 3A ein Unterprogramm dargestellt ist. Nach der Initialisierung bei S1 wird bei S2 geprüft, ob der Startvorgang beendet ist. Läuft dieser noch, Abfrageergebnis S2: nein, wird zum Punkt A zurückverzweigt. Ist der Startvorgang beendet, so wird bei S3 das vom Bediener vorgebbare Sollmoment $M(SOLL)$ eingelesen. Im Anschluss daran wird bei S4 die Betriebssituation der Brennkraftmaschine erfasst. Definiert wird die Betriebssituation über die Messgrößen, insbesondere über die Motordrehzahl n_{IST} , die Ladelufttemperatur TLL, den Ladeluftdruck p_{LL} , die Feuchte ϕ der Ladeluft usw.. Bei S5 wird das Unterprogramm Optimierer der Figur 3A aufgerufen. In diesem Unterprogramm wird bei S5A aus der ersten Bibliothek eine anwendungsortspezifische Emissionsklasse, zum Beispiel IMO oder Tier 4 final, eingelesen. Danach wird bei S6A aus der zweiten Bibliothek die maximale mechanische Bauteilbelastung eingelesen, zum Beispiel ein maximaler Verbrennungsspitzenruck von 200 bar. Im Anschluss wird in das Hauptprogramm der Figur 3 zu Schritt S5 zurückgekehrt.

Bei S6 werden dann die Anfangswerte erzeugt, zum Beispiel der Spritzbeginn SB. Ein erstes Gütemaß J_1 wird anhand der Gleichung (1) bei S7 berechnet und bei S8 eine Laufvariable i auf null gesetzt. Danach werden bei S9 die Anfangswerte verändert und als neue Sollwerte für die Stellgrößen berechnet. Bei S10 wird die Laufvariable i um eins erhöht. Anhand der neuen Sollwerte wird dann bei S11 ein zweites Gütemaß J_2 innerhalb des Prädiktionshorizonts, zum Beispiel für die nächsten 8 Sekunden, prognostiziert. Bei S12 wiederum wird das zweite Gütemaß J_2 vom ersten Gütemaß J_1 subtrahiert und mit einem Grenzwert GW verglichen. Über die Differenzbildung der beiden Gütemaße wird der weitere Fortschritt des

Gütemaßes abgeprüft. Alternativ wird anhand des Vergleichs der Laufvariablen i mit einem Grenzwert i_{GW} geprüft wie oft bereits eine Optimierung durchlaufen wurde. Die beiden Grenzwertbetrachtungen sind insofern ein Abbruchkriterium für eine weitere Optimierung. Ist eine weitere Optimierung möglich, Abfrageergebnis S12: nein, so wird zum Punkt C zurückverzweigt. Anderenfalls wird bei S13 vom Optimierer das zweite Gütemaß J_2 als minimales Gütemaß $J(\min)$ gesetzt. Aus dem minimalen Gütemaß $J(\min)$ resultieren dann die Einspritzsystem-Sollwerte und die Gaspfad-Sollwerte zur Vorgabe für die entsprechenden Stellglieder. Im Anschluss daran wird bei S14 geprüft, ob ein Motorstopp initiiert wurde. Ist dies nicht der Fall, Abfrageergebnis S14: nein, wird zum Punkt B zurückverzweigt. Anderenfalls ist der Programm-Ablaufplan beendet.

In der Figur 4 ist eine erste Abstimmung der Brennkraftmaschine gemäß IMO3 dargestellt. Die Figur 4 umfasst die Figuren 4A bis 4D. Hierbei zeigen jeweils über der Zeit die Figur 4A einen Momentenverlauf, die Figur 4B die Stickoxid-Emission NO_x , die Figur 4C den Spritzbeginn SB in Grad Kurbelwellenwinkel vor dem oberen Totpunkt (OT) und die Figur 4D den Verlauf des Spitzendrucks P_{Max} . In der Figur 5 ist eine zweite Abstimmung der Brennkraftmaschine gemäß Tier 4 final dargestellt. Die Figur 5 umfasst die Figuren 5A bis 5D, welche dieselben Größen über der Zeit zeigen wie die Figuren 4A bis 4D. Der Zeitbereich vor t_0 entspricht der Vergangenheit. Der Prädiktionshorizont, zum Beispiel 8s, entspricht dem Zeitbereich t_0 bis $t_0 + t_p$. Mit t_s ist eine Berechnungszeit bezeichnet, bei der ein neuer Sollwert, zum Beispiel der Spritzbeginn SB, vom elektronischen Steuergerät ausgegeben wird.

Zunächst wird der Ablauf nach der Figur 4 erklärt. Vom Bediener wurde eine Betriebsweise ausgewählt, bei welcher die volle Leistung der Brennkraftmaschine ausgeschöpft werden soll. Nachdem der Startvorgang abgeschlossen ist, wird vom Optimierer aus der ersten Bibliothek die Emissionsklasse für den Betrieb der Brennkraftmaschine eingelesen, hier also die Emissionsklasse gemäß IMO3. Danach wird vom Optimierer aus der zweiten Bibliothek anhand des Brennkraftmaschinentyps die maximale mechanische Bauteilbelastung ausgelesen, zum Beispiel der maximale Verbrennungsdruck von $P_{Max}=200$ bar (Figur 4D).

Die Eingangsgröße ist ein vom Bediener vorgebbares Sollmoment $M(SOLL)$, hier: der Endwert M_2 . Zum Anfangswert M_1 des Sollmoments korrespondieren zum Zeitpunkt

t_0 ein NO_x -Sollwert NO_x1 (Fig. 4B) und ein Spritzbeginn SB1 (Fig. 4C). Ebenfalls zum Zeitpunkt t_0 werden das Istmoment $M(\text{IST})$ und der NO_x -Istwert $\text{NO}_x(\text{IST})$ eingelesen. Berechnet wird der NO_x -Istwert in Abhängigkeit der gemessenen Luftdrücke im Luftpfad und des Spritzbeginns SB , hier: SB1 (Fig. 4C). In den Figuren 4A ist die Abweichung des Ist-Moments $M(\text{IST})$ zum Sollmoment $M(\text{SOLL})$ als schraffierte Fläche dargestellt. In der Figur 4 B ist die Abweichung des NO_x -Istwerts $\text{NO}_x(\text{IST})$ zum NO_x -Sollwert $\text{NO}_x(\text{SL})$ als schraffierte Fläche dargestellt. Zum Zeitpunkt t_0 berechnet der Optimierer über die Gleichung (1) ein erstes Gütemaß. Anschließend verändert der Optimierer die mittelbaren und unmittelbaren Stellgrößen und berechnet über die Gleichung (1) die Stellgrößen für ein zweites Gütemaß. Die mittelbaren und unmittelbaren Stellgrößen sind in der Figur 2 dargestellt. In der Figur 4C ist als exemplarische Stellgröße der Spritzbeginn SB dargestellt. Mit anderen Worten: der Optimierer bestimmt zum Zeitpunkt t_0 wie sich eine Veränderung zum Beispiel des Spritzbeginns SB vom Anfangswert SB1 auf den Endwert SB2 innerhalb des Prädiktionshorizonts auswirkt. Über Differenzbildung des zweiten Gütemaßes zum ersten Gütemaß und Grenzwertbetrachtung wird das Gütemaß minimiert, das heißt, es wird geprüft, ob eine weitere Optimierung erfolgversprechend ist. Aus den Figuren 4A und 4B wird ersichtlich, dass zum Zeitpunkt t_0+t_P eine weitere Verbesserung des zweiten Gütemaßes nicht mehr erfolgversprechend ist, da hier die Istwerte den Sollwerten entsprechen.

Der Figur 5 ist eine Emissionsklasse gemäß Tier 4 final zugrunde gelegt und eine Betriebsart vom Betreiber ausgewählt, bei der der Verbrennungsdruck stets deutlich kleiner sein soll als der maximale Verbrennungsdruck P_{Max} , woraus eine verlängerte Betriebsdauer resultiert. Vom Bediener wird das Sollmoment vom Anfangswert $M1$ auf den Endwert $M3$ erhöht. Die Berechnung des ersten und des zweiten Gütemaßes über die Gleichung (1) entspricht der Beschreibung der Figur 4. Aus dem Vergleich der Figuren 4 und 5 wird der Einfluss der beiden Bibliotheken deutlich. So ist der NO_x -Sollwert $\text{NO}_x(\text{SL})$ in der Figur 5B deutlich zu geringeren Werten ausgerichtet und aufgrund des Verlaufs des Verbrennungsdrucks an der maximalen Grenze P_{Max} kann zu einem wesentlich früheren Zeitpunkt ein höheres Ist-Moment $M(\text{IST})$ erreicht werden.

Bezugszeichen

1	Brennkraftmaschine
2	Kraftstofftank
3	Niederdruckpumpe
4	Saugdrossel
5	Hochdruckpumpe
6	Rail
7	Injektor
8	Einzel Speicher
9	Rail-Drucksensor
10	Elektronisches Steuergerät
11	Abgasturbolader
12	Ladeluftkühler
13	Drosselklappe
14	Einmündungsstelle
15	Einlassventil
16	Auslassventil
17	AGR-Stellglied (AGR: Abgasrückführung)
18	AGR-Kühler
19	Turbinen-Bypassventil
20	Verbrennungsmodell
21	Gaspfadmodell
22	Optimierer
23	Raildruck-Regelkreis
24	Lambda-Regelkreis
25	AGR-Regelkreis
26	Erste Bibliothek
27	Zweite Bibliothek

Patentansprüche

1. Verfahren zur modellbasierten Steuerung und Regelung einer Brennkraftmaschine (1), bei dem von einem Optimierer (22) aus einer ersten Bibliothek (26) eine Emissionsklasse für den Betrieb der Brennkraftmaschine (1) eingelesen wird, vom Optimierer (22) aus einer zweiten Bibliothek (27) anhand des Brennkraftmaschinentyps eine maximale mechanische Bauteilbelastung ausgelesen wird, die Emissionsklasse und die Bauteilbelastung als verbindlich für ein Verbrennungsmodell (20) und ein Gaspfadmodell (21) gesetzt werden, bei dem in Abhängigkeit eines Sollmoments ($M(\text{SOLL})$) über das Verbrennungsmodell (20) Einspritzsystem-Sollwerte zur Ansteuerung der Einspritzsystem-Stellglieder und über das Gaspfadmodell (21) Gaspfad-Sollwerte zur Ansteuerung der Gaspfad-Stellglieder berechnet werden, bei dem vom Optimierer (22) ein Gütemaß (J) in Abhängigkeit der Einspritzsystem-Sollwerte und der Gaspfad-Sollwerte berechnet wird, vom Optimierer (22) das Gütemaß (J) über Veränderung der Einspritzsystem-Sollwerte und Gaspfad-Sollwerte innerhalb eines Prädiktionshorizonts minimiert wird und bei dem vom Optimierer (22) anhand des minimierten Gütemaßes ($J(\min)$) die Einspritzsystem-Sollwerte und Gaspfad-Sollwerte als maßgeblich zur Einstellung des Betriebspunkts der Brennkraftmaschine (1) gesetzt werden.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass in der ersten Bibliothek (26) gesetzliche Emissionsklassen entsprechend dem globalen Anwendungsbereich abgelegt werden.
3. Verfahren nach Anspruch 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, dass das Gütemaß (J) minimiert wird, indem vom Optimierer (22) zu einem ersten Zeitpunkt ein erstes Gütemaß (J_1) berechnet wird, zu einem zweiten Zeitpunkt ein zweites Gütemaß (J_2) innerhalb des Prädiktionshorizonts prognostiziert wird, eine Abweichung aus

erstem (J1) und zweitem Gütemaß (J2) bestimmt wird und vom Optimierer (22) das zweite Gütemaß (J2) als minimiertes Gütemaß (J(min)) gesetzt wird, bei dem die Abweichung kleiner als ein Grenzwert (GW) wird.

4. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Gütemaß (J) minimiert wird, indem vom Optimierer (22) zu einem ersten Zeitpunkt ein erstes Gütemaß (J1) berechnet wird, zu einem zweiten Zeitpunkt ein zweites Gütemaß (J2) innerhalb des Prädiktionshorizonts prognostiziert wird und vom Optimierer (22) das zweite Gütemaß (J2) als minimiertes Gütemaß (J(min)) nach Durchlaufen einer vorgebbaren Anzahl (i) von Neuberechnungen gesetzt wird.
5. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass vom Optimierer (22) als Einspritzsystem-Sollwert mittelbar ein Raildruck-Sollwert (pCR(SL)) für einen unterlagerten Raildruck-Regelkreis (23) vorgegeben wird.
6. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass vom Optimierer (22) als Einspritzsystem-Sollwert unmittelbar ein Spritzbeginn (SB) und ein Spritzende (SE) zur Ansteuerung eines Injektors (7) vorgegeben werden.
7. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass vom Optimierer (22) mittelbar Gaspfad-Sollwerte für unterlagerte Gaspfad-Regelkreise (24, 25) vorgegeben werden.

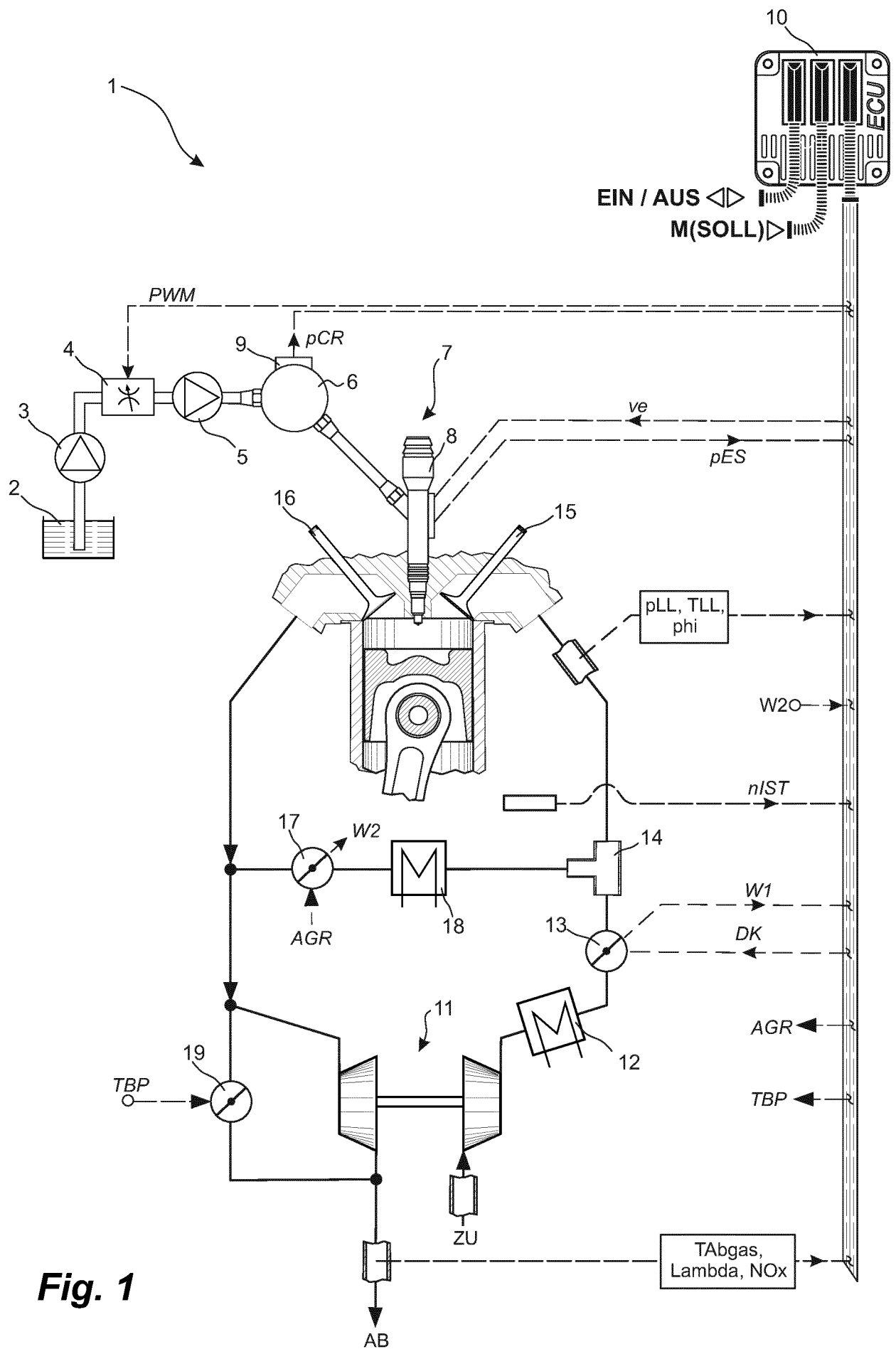


Fig. 1

2 / 4

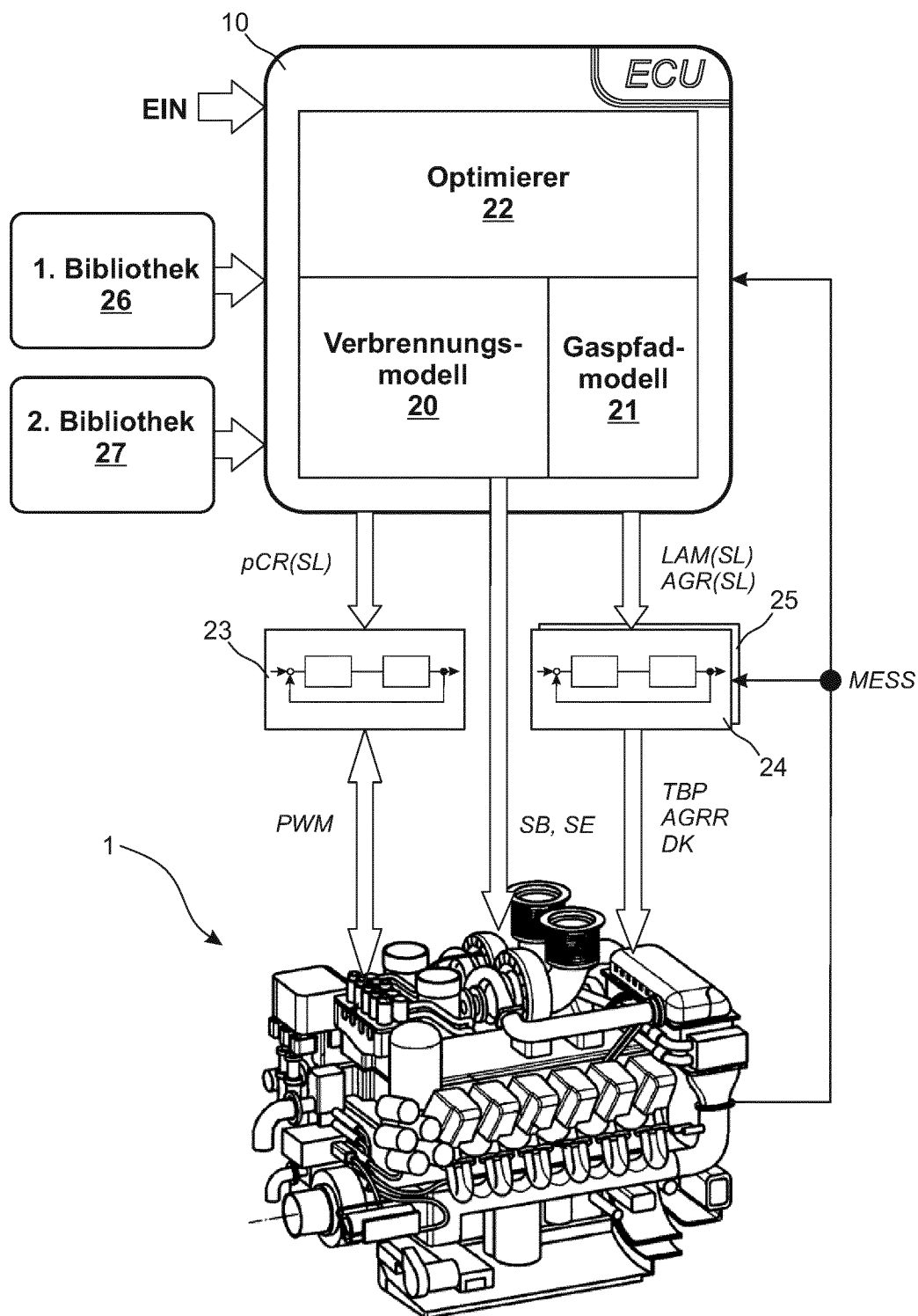


Fig. 2

3 / 4

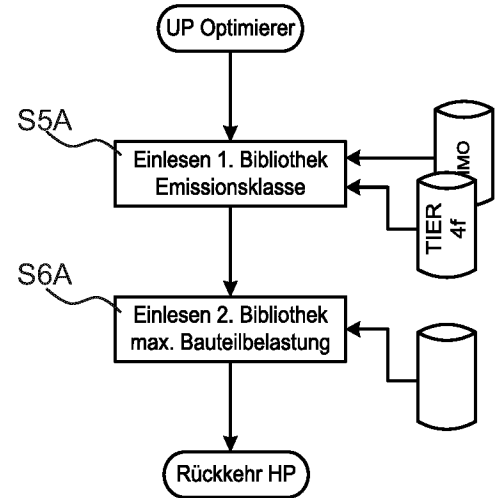
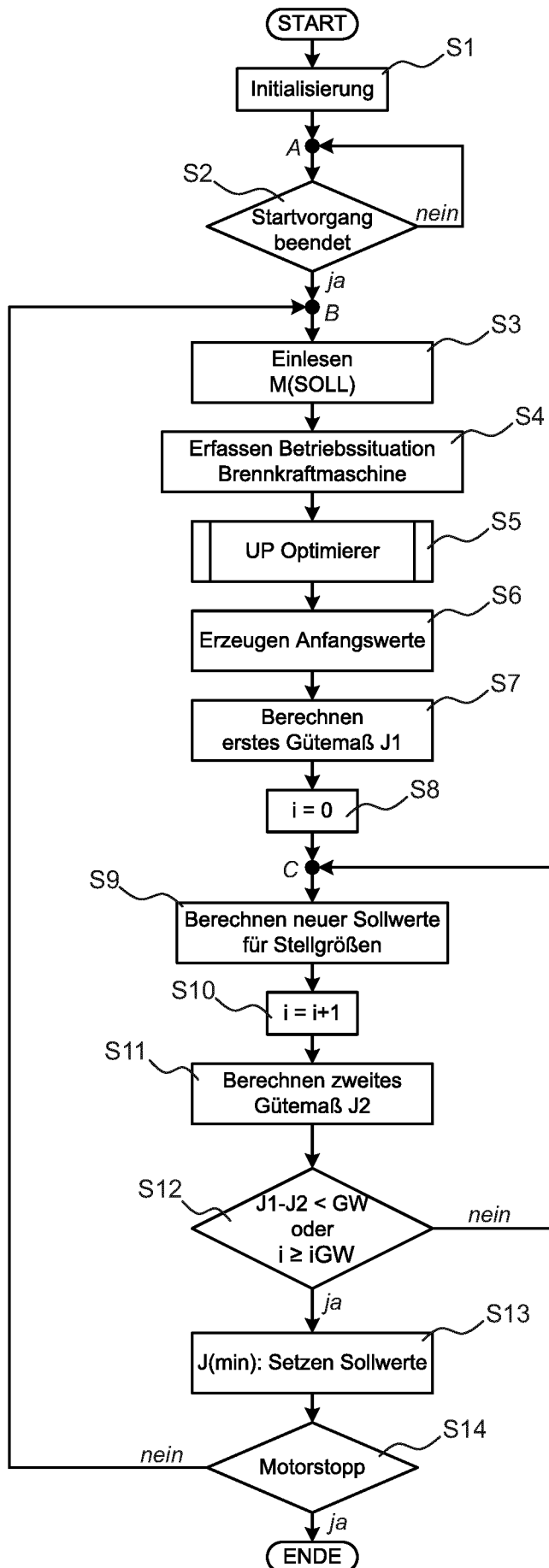
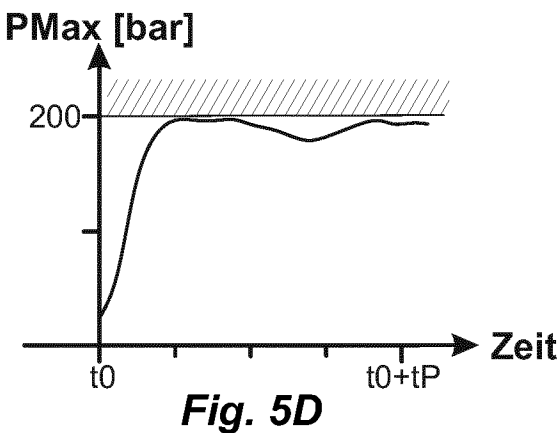
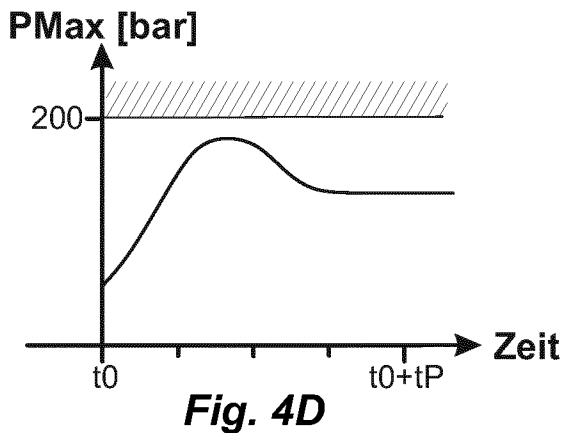
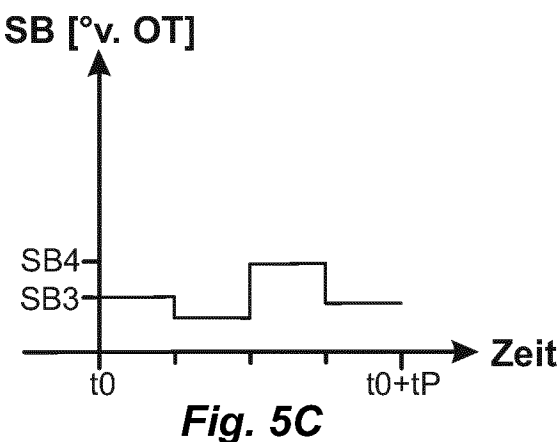
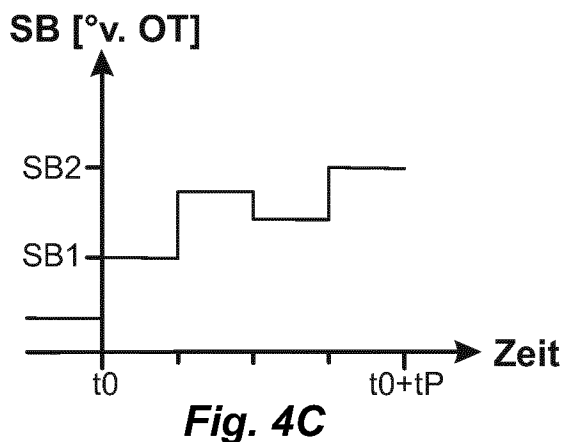
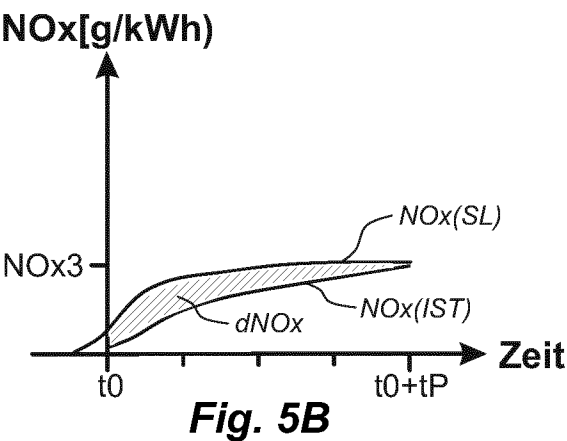
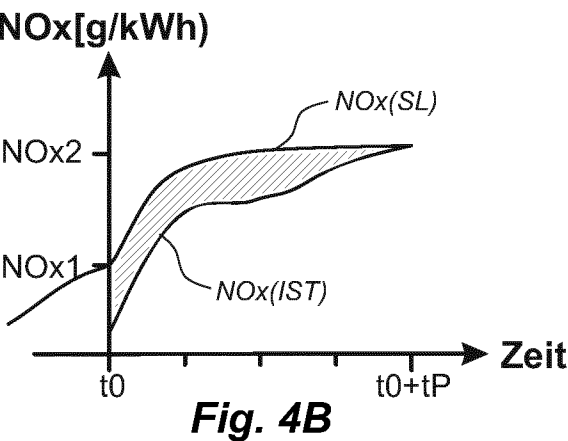
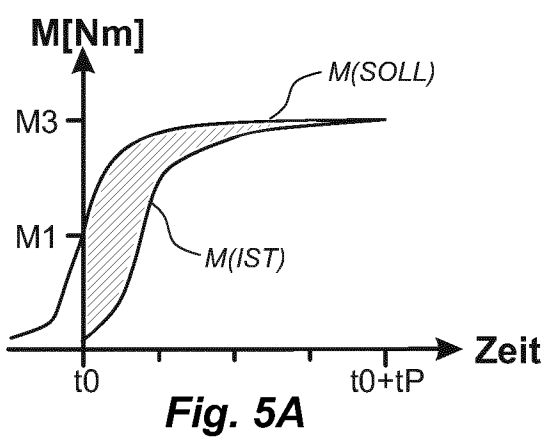
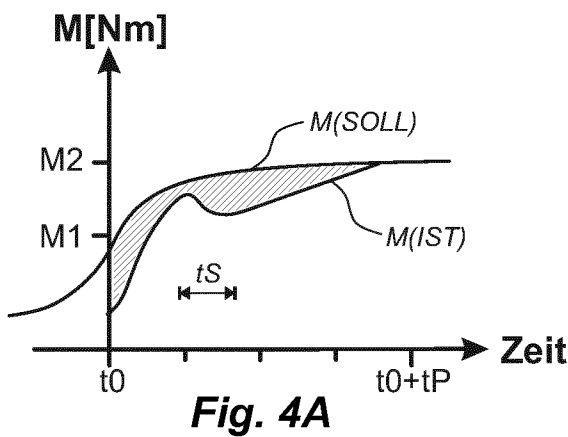


Fig. 3A

Fig. 3



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2018/069839

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**F02D 41/14**(2006.01)i; **F02D 41/24**(2006.01)i; **F02D 41/26**(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

F02D

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	HARDER KARSTEN ET AL. "Nonlinear MPC with emission control for a real-world off-highway diesel engine" <i>2017 IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON ADVANCED INTELLIGENT MECHATRONICS (AIM)</i> , IEEE, 03 July 2017 (2017-07-03), pages 1768-1773, [retrieved on 2017-08-21] DOI: 10.1109/AIM.2017.8014274 XP033144574 the whole document	1-7
Y	EP 2977575 A1 (YANMAR CO LTD [JP]) 27 January 2016 (2016-01-27) paragraph [0016] paragraphs [0051] - [0059]	1-7
A	DE 10101311 A1 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 01 August 2002 (2002-08-01) abstract; claim 1	1
A	WO 2017102039 A1 (MTU FRIEDRICHSHAFEN GMBH [DE]) 22 June 2017 (2017-06-22) abstract; figures 1-6 page 11, line 28 - page 18, line 27	1-7

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

17 September 2018

Date of mailing of the international search report

25 September 2018

Name and mailing address of the ISA/EP

European Patent Office
p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk
Netherlands

Telephone No. (+31-70)340-2040

Facsimile No. (+31-70)340-3016

Authorized officer

Röttger, Klaus

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2018/069839

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 2017005337 A1 (MTU FRIEDRICHSHAFEN GMBH [DE]) 12 January 2017 (2017-01-12) page 18, line 13 - page 29, line 5	1-7

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/EP2018/069839

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
EP	2977575	A1	27 January 2016	EP	2977575	A1	27 January 2016
				US	2016032802	A1	04 February 2016
				WO	2014148256	A1	25 September 2014
DE	10101311	A1	01 August 2002	DE	10101311	A1	01 August 2002
				FR	2819595	A1	19 July 2002
				US	2002111719	A1	15 August 2002
WO	2017102039	A1	22 June 2017	DE	102015225279	A1	22 June 2017
				US	2018216558	A1	02 August 2018
				WO	2017102039	A1	22 June 2017
WO	2017005337	A1	12 January 2017	DE	102015212709	A1	12 January 2017
				WO	2017005337	A1	12 January 2017

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES INV. F02D41/14 F02D41/24 F02D41/26 ADD.		
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC		
B. RECHERCHIERTE GEBIETE Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole) F02D		
Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen		
Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe) EPO-Internal, WPI Data		
C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	HARDER KARSTEN ET AL: "Nonlinear MPC with emission control for a real-world off-highway diesel engine", 2017 IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON ADVANCED INTELLIGENT MECHATRONICS (AIM), IEEE, 3. Juli 2017 (2017-07-03), Seiten 1768-1773, XP033144574, DOI: 10.1109/AIM.2017.8014274 ISBN: 978-1-5090-5998-0 [gefunden am 2017-08-21] das ganze Dokument	1-7
Y	----- EP 2 977 575 A1 (YANMAR CO LTD [JP]) 27. Januar 2016 (2016-01-27) Absatz [0016] Absätze [0051] - [0059] ----- -/--	1-7
☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen ☒ Siehe Anhang Patentfamilie		
* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen : "A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist "E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist "L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt) "O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht "P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist "T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist "X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden "Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist "&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist		
Datum des Abschlusses der internationalen Recherche		Absendedatum des internationalen Recherchenberichts
17. September 2018		25/09/2018
Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Bevollmächtigter Bediensteter Röttger, Klaus

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	DE 101 01 311 A1 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 1. August 2002 (2002-08-01) Zusammenfassung; Anspruch 1 -----	1
A	WO 2017/102039 A1 (MTU FRIEDRICHSHAFEN GMBH [DE]) 22. Juni 2017 (2017-06-22) Zusammenfassung; Abbildungen 1-6 Seite 11, Zeile 28 - Seite 18, Zeile 27 -----	1-7
A	WO 2017/005337 A1 (MTU FRIEDRICHSHAFEN GMBH [DE]) 12. Januar 2017 (2017-01-12) Seite 18, Zeile 13 - Seite 29, Zeile 5 -----	1-7

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2018/069839

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
EP 2977575 A1	27-01-2016	EP 2977575 A1	27-01-2016
		US 2016032802 A1	04-02-2016
		WO 2014148256 A1	25-09-2014

DE 10101311 A1	01-08-2002	DE 10101311 A1	01-08-2002
		FR 2819595 A1	19-07-2002
		US 2002111719 A1	15-08-2002

WO 2017102039 A1	22-06-2017	DE 102015225279 A1	22-06-2017
		US 2018216558 A1	02-08-2018
		WO 2017102039 A1	22-06-2017

WO 2017005337 A1	12-01-2017	DE 102015212709 A1	12-01-2017
		WO 2017005337 A1	12-01-2017
