

(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
26. Dezember 2019 (26.12.2019)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2019/242876 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

F02D 41/22 (2006.01) *F02M 26/54* (2016.01)
G05B 23/02 (2006.01) *F02D 41/14* (2006.01)
G01M 15/04 (2006.01) *F02D 41/24* (2006.01)
F02M 26/49 (2016.01)

08. März 2019 (08.03.2019) DE

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2019/000177

(22) Internationales Anmeldedatum:
06. Juni 2019 (06.06.2019)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2018 004 805.6
18. Juni 2018 (18.06.2018) DE
10 2019 001 627.0

(71) Anmelder: **DEUTZ AKTIENGESELLSCHAFT**
[DE/DE]; Ottostraße 1, 51149 Köln (DE).

(72) Erfinder: **STEINHAUSEN, Andreas**; Brauweilerstr.
23A, 50859 Köln (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 WEAR DETECTION AND PREDICTIVE WEAR PROGNOSIS OF ELECTROMECHANICAL ACTUATORS IN RELATION TO THE OPERATING TIME OF A MACHINE WITH COMBUSTION ENGINE

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUR VERSCHLEISSERKENNUNG UND PRÄDIKTIVEN VERSCHLEISSPROGNOSE VON ELEKTROMECHANISCHEN AKTUATOREN ZUR BETRIEBSZEIT EINER MASCHINE MIT VERBRENNUNGSMOTOR

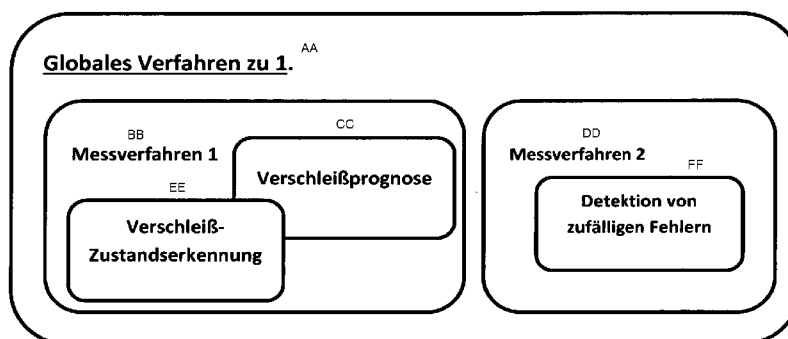


Abbildung 1

AA Global method re. 1.
BB Measuring method 1
CC Wear prognosis
DD Measuring method 2
EE Wear state detection
FF Detection of random errors

(57) Abstract: 1. Method for wear detection and predictive wear prognosis of electromechanical actuators in relation to the operating time of a machine with combustion engine 2. A method for wear detection and predictable wear prognosis of electromechanical actuators (in particular throttle flap, exhaust-gas recirculation valve, exhaust-gas flap and overpressure valve at the turbocharger, or others) in relation to the operating time of a machine with combustion engine with at least one engine control unit, comprising a first measuring method for identifying the actuator wear in the form of movement profiles and the number of different actuator movements within

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

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)

individual movement profiles, wherein the number of different actuator movements is compared with reference data, and a second measuring method which identifies production errors through stimulation of the electromechanical actuators with a step change and measurement and evaluation of the step change response, or the settling time of the actual position in relation to the setpoint position.

(57) Zusammenfassung: 1. Verfahren zur Verschleißerkennung und prädiktiven Verschleißprognose von elektromechanischen Aktuatoren zur Betriebszeit einer Maschine mit Verbrennungsmotor 2. Beschrieben wird ein Verfahren zur Verschleißerkennung und vorhersagbaren Verschleißprognose von elektromechanischen Aktuatoren (vor allem Drosselklappe, Abgasrückführungsventil, Abgasklappe und Überdruckventil am Turbolader oder anderen) zur Betriebszeit einer Maschine mit Verbrennungsmotor mit wenigstens einem Motorsteuergerät, umfassend ein erstes Messverfahren zur Identifizierung des Aktuatorenverschleißes in Form von Bewegungsprofilen und der Anzahl der unterschiedlichen Aktuatorenbewegungen innerhalb einzelner Bewegungsprofile, wobei die Anzahl der unterschiedlichen Aktuatorenbewegungen mit Referenzdaten verglichen wird und eines zweiten Messverfahrens, das Produktionsfehler in der Weise erkennt, dass die elektromechanischen Aktuatoren mit einem Sprung stimuliert werden und die Sprungantwort, bzw. die Einschwingzeit der Ist-Position zur Soll-Position gemessen und bewertet wird.

**Verfahren zur Verschleißerkennung und prädiktiven
Verschleißprognose von elektromechanischen Aktuatoren zur
Betriebszeit einer Maschine mit Verbrennungsmotor**

B E S C H R E I B U N G

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Verschleißerkennung und prädiktiven Verschleißprognose von elektromechanischen Aktuatoren zur Betriebszeit einer Maschine mit Verbrennungsmotor.

5 Aus dem Stand der Technik sind keine Verfahren bekannt, es ist keine Verschleißerkennung möglich, da es kein integriertes Verfahren zur Verschleißerkennung gibt. Somit ist auch keine Verschleißprognose möglich.

10 Die Erfindung hat die Aufgabe, ein Verfahren zur Verschleißerkennung und prädiktiven Verschleißprognose von elektromechanischen Aktuatoren zur Betriebszeit einer Maschine mit Verbrennungsmotor zu schaffen.

15 Diese Aufgabe wird durch die Merkmale des Patentanspruchs 1 gelöst. Weitere erfindungsgemäße Ausgestaltungen und Vorteile gehen aus den Unteransprüchen hervor.

20 Demnach wird ein Verfahren zur Verschleißerkennung und vorhersagbaren Verschleißprognose von elektromechanischen Aktuatoren (vor allem Drosselklappe, Abgasrückführungsventil, Abgasklappe und Überdruckventil am Turbolader oder anderen) zur Betriebszeit einer Maschine mit Verbrennungsmotor mit wenigstens einem Motorsteuergerät, umfassend ein erstes Messverfahren zur Identifizierung des Aktuatorenverschleißes in Form von Bewegungsprofilen und der Anzahl der unterschiedlichen Aktuatorenbewegungen innerhalb einzelner Bewegungsprofile, wobei die Anzahl der unterschiedlichen Aktuatorenbewegungen mit Referenzdaten verglichen wird
25 und eines zweiten Messverfahrens, das Produktionsfehler in der Weise

erkennt, dass die elektromechanischen Aktuatoren mit einem Sprung stimuliert werden und die Sprungantwort, bzw. die Einschwingzeit der Ist-Position zur Soll-Position gemessen und bewertet wird, vorgeschlagen

- 5 Die Erfindung wird anhand der beigefügten Figuren beispielhaft näher erläutert. Es zeigen:

Abbildung 1: Zusammensetzung des globalen Verfahrens als schematische Darstellung

- 10 Abbildung 2: Testzyklus200 entstanden aus realen Felddaten

Abbildung 3: Dauerbelastungstest mit Testzyklus200

Abbildung 4: Visualisierung der Dauerlastlauf-Ergebnisse

Abbildung 5: Systemschaubild Zusammenspiel der Systeme und Komponenten

- 15 Abbildung 6: Beispielhafter elektromechanischer Aktuator, elektrisches Abgasrückführungsventil, 0 % Stellerposition = Ventil vollständig geöffnet, 100 % Stellerposition = Ventil vollständig geschlossen, Zwischenpositionen sind möglich z.B. 33 % = Ventil zu einem Drittel geschlossen

20

Das globale Verfahren kann in zwei unterschiedliche Messverfahren aufgeteilt werden, wie dies in Abbildung 1 dargestellt wird. Messverfahren 1 identifiziert den Aktuatorenverschleiß in Form von Bewegungsprofilen und der Anzahl der unterschiedlichen Aktuatorenbewegungen innerhalb einzelner Bewegungsprofile. Diese Anzahl wird mit Referenzdaten verglichen.

25

Das Messverfahren dient der Verschleißerkennung und Verschleißprognose der elektromechanischen Aktuatoren.

30

Das Messverfahren 2 dient dazu, zufällige bzw. Produktionsfehler zu erkennen. Dies erhöht die Robustheit des gesamten Verfahrens, da zufällige Fehler nicht mit dem Messverfahren 1 erkannt werden können. Hierfür wird eine Diagnosefunktion verwendet, die den jeweiligen elektromechanischen Aktuator ansteuert und gleichzeitig die Reaktionszeit des z. B. Stellvor-

gangs aufzeichnet. Die Reaktionszeit wird mit Werten aus der Spezifikation verglichen. Abbildung 1 zeigt die Zusammensetzung des Verfahrens in schematischer Darstellung.

- 5 Nachfolgend wird das Messverfahren 1 beschrieben. Dieses Verfahren kann in die folgenden Phasen gegliedert werden:

10 In Phase 1 erfolgt die Definition des Testzyklus. Zunächst wird ein realer Test / Lastzyklus (Felddaten eines Gabel-Staplers) vermessen, welcher einem Worst-Case-Szenario – also dem schlimmsten Fall, der in Zukunft eintreten kann, entspricht – wie dies in Abbildung 2 gezeigt wird. Dieser Lastzyklus beinhaltet in diesem konkreten Beispiel die Messdaten (z. B. bestehend aus der Abgasrückführungsventil-Position auf der Y-Achse in Prozent und der Zeit auf der X-Achse). Die Daten werden mittels Motor-

15 steuergerät aufgezeichnet. Die relative Ventilposition wird vom Ventil mittels elektrischer Spannung kommuniziert. Diese Spannung wird im Motorsteuergerät mittels Analog- / Digital-Wandler diskretisiert. Eine Bewegung entspricht der relativen Ventilposition über der Zeit. Die Ventilposition kann Werte im Intervall von [0%,100%] annehmen. 0% steht für den gänzlich geöffneten Zustand und 100% steht für den gänzlich geschlossenen Zustand

20 des Ventils (vgl. Abbildung 6). Das Ventil wird in Abhängigkeit des Lastzyklus des Verbrennungsmotors auf die jeweilige Position geregelt. Dabei öffnet bzw. schließt der im Aktuator vorhandene elektrische Stellmotor das Ventil. Das hier beschriebene Verstellen der Ventilposition verursacht über die Betriebszeit des Verbrennungsmotors Verschleiß. Insbesondere Kom-

25 mutator-Verschleiß des elektrischen Stellmotors und mechanischen Verschleiß im Getriebe (Zahnräder) des Ventils. Diese Verschleißarten werden mit dem hier beschriebenen Verfahren prognostiziert. Der Testzyklus wird im Folgenden als Standard Testzyklus200 definiert. Der Testzyklus200 wird

30 im nächsten Schritt skaliert, damit er einer definierten Lebensdauer des Verbrennungsmotors entspricht. Dies wird dadurch erreicht, dass konstante Ventilpositionen (Verharrung des Ventils über längere Zeit, z. B. eine Sekunde in ein und derselben Position) aus den diskretisierten Messdaten gelöscht werden. Sämtliche Bewegungen werden (zeitlich) auf 200 ms Stell-

zeit gestaucht. Durch Verdichtung und vielfache Wiederholung des Zyklus kann die Lebensdauer des Verbrennungsmotors in kurzer Zeit simuliert werden.

- 5 Abbildung 2 offenbart den Testzyklus200, der aus realen Felddaten entsteht.

Ein realer und anwendungsnaher Testzyklus (wie in dieser Beschreibung verwendet) ist einem synthetisierten Zyklus (nicht zusammenhängender
10 bzw. statistischer Bewegungsstimulierung) zu bevorzugen. Denn der reale Testzyklus beinhaltet einen logischen und funktionalen Zusammenhang der verschiedenen Bewegungen. Anders ausgedrückt, bei einer realen Anwendung ist die Information der Bewegungsüberlagerung vorhanden.

- 15 Die Phase 2 stellt den Belastungstest (vgl. Wöhlerversuch) dar. Es wird eine bestimmte Anzahl der betreffenden Aktuatoren (möglichst mehrere desselben Typs, um einen ausreichenden Stichprobenumfang zu erhalten) mit dem Testzyklus200 so lange belastet, bis die Aktuatoren entweder verschleißbedingt ausfallen oder außerhalb ihrer Spezifikation arbeiten. Die
20 Stellerpositionen bzw. Bewegungen aus dem Testzyklus200 werden mittels H-Brücke oder steuerbaren Spannungsquelle in Form einer elektrischen Spannung (die je für eine Position steht) vorgegeben. Das bedeutet, dass der Testzyklus200 als elektr. Spannungsverlauf stimuliert wird. Während des Tests werden die Funktionen der Aktuatoren permanent überwacht und
25 aufgezeichnet, wie dies in Abbildung 3 demonstriert wird. Tabelle 1 zeigt die Anzahl der Bewegungen des Testzyklus200.

Testzyklus200	Laufzeit = 200 ms · 100 Bewegungen =	20,0 [s]
große Bewegung	26	
mittlere Bewegung	37	
kleine Bewegung	37	
Summe	100	

Tabelle 1

In Abbildung 3 wird der Dauerbelastungstest mit dem Testzyklus200 dargestellt. Um dem Anspruch des Worst-Case Szenarios gerecht zu werden, wird die Umgebungstemperatur während des Belastungstests auf 40 °C angehoben. Die Aktuatoren werden am Ende des Tests durch den Hersteller befundet, um den jeweiligen Verschleiß zu bestätigen.

In Phase 3 werden Referenzdaten wie folgt erzeugt: Es werden mehrere Bewegungsprofile definiert (Anzahl bzw. Granularität der Profile kann in Abhängigkeit zum Testzyklus variieren). Bewegungsprofil 1 große Bewegungen (z. B. > 30 %), Bewegungsprofil 2 mittlere Bewegungen (z. B. ≤ 30 % und > 10 %), Bewegungsprofil 3 kleine Bewegungen (z. B. ≤ 10 %) (vgl. Tabelle 3). Anhand der Bewegungsprofile können nun die maximal getätigten Bewegungen innerhalb des Dauerlaufs bzw. Belastungstests absolut bestimmt werden (vgl. Tabelle 1). Beispiel: Aktuator 4 massiver Verschleiß nach 830 Betriebsstunden (vgl. Abbildung 4). Von allen Aktuatoren hat dieser die geringste Betriebszeit. Folglich wird als erste Approximation - Worst-Case-Betrachtung - die Zeitschwelle von 800 Betriebsstunden definiert (vgl. Tabelle 2). Nachfolgend kann die maximale Bewegungsanzahl je Profil (Referenzwerte) nach Formel 1 errechnet werden (vgl. Tabelle 3):

$$n_{maxpx} = \frac{n_{px} \cdot t_{max} \cdot c_t}{T_{Cycl}} \quad (\text{Formel 1})$$

n_{maxpx} = Maximale Bewegungsanzahl je Profil

n_{px} = Anzahl Bewegungen pro Profil

t_{max} = Zeitschwelle [h]

c_t = Zeitkonstante = 3600

T_{Cycl} = Dauer des Testzyklus200 [s]

In Tabelle 2 wird das Ergebnis des Dauerbelastungstests mit Testzyklus200 aufgezeigt.

Laufzeittest max 1400 Betriebsstunden	Aktuator 1	Aktuator 2	Aktuator 3	Aktuator 4	Aktuator 5	Aktuator 6
Erreichte Betriebsstunden [h] bis Auffälligkeit	1245	1189	1007	830	960	932
Zeitschwelle [h]	800	800	800	800	800	800

Tabelle 2

Tabelle 3 stellt die kalibrierbare Schwellen der maximalen Bewegungsanzahl pro Bewegungsprofil (rechte Spalte) nach Formel 1 dar.

5

Maximale Bewegungsschwelle für <u>große Bewegungen</u>	Profil 1	3.744.000
Maximale Bewegungsschwelle für <u>mittlere Bewegungen</u>	Profil 2	5.328.000
Maximale Bewegungsschwelle für <u>kleine Bewegungen</u>	Profil 3	5.328.000

Tabelle 3

Abbildung 4 zeigt die Visualisierung der Dauerlastlauf-Ergebnisse.

Laufzeittest max 1400 Betriebsstunden	Aktuator 1	Aktuator 2	Aktuator 3	Aktuator 4	Aktuator 5	Aktuator 6
Erreichte Betriebsstunden [h] bis Auffälligkeit	1245	1189	1007	830	960	932
Zeitschwelle [h]	800	800	800	800	800	800
Abweichung [%]	20	20	21	27	21	22

Tabelle 4

- 5 In Phase 4 erfolgt die Kalibrierung und Berechnung der Vorhersagen. Die Referenzwerte werden nun in das Motorsteuergerät kalibriert. Das Steuergerät berechnet während der Betriebslaufzeit den aktuellen Zustand (verbleibende Bewegungen je Aktuator je Bewegungsprofil) und prognostiziert, nach wie vielen weiteren Betriebsstunden die maximale Bewegungsanzahl je Aktuator erreicht sein wird. Diese Informationen werden über eine Schnittstelle (z. B. CAN Bus) kommuniziert. Für die Prognose wird das Verfahren der Zeitreihenanalyse in Kombination mit dem Verfahren der Exponentiellen Glättung verwendet, welche nachfolgend erläutert werden:
- 10
- 15 Der hier erschaffene Prozess (Reduktion der Profilbewegungen durch den Lastzyklus des Verbrennungsmotors) ist stetig und monoton fallend. Dies ist eine Folge aus der Unterabtastung (Abtastung bzw. Berechnung in Vielfachen des Beobachtungsintervalls). Die stark glättende Wirkung führt zu einem linearen Trend(-modell) (Geradengleichung). Der Prozess setzt sich aus Betriebszeit des Verbrennungsmotors und der verbleibenden Bewegungen je Aktuator je Profil zusammen. Zur periodischen Vorhersage der verbleibenden Bewegungen je Profil wird die Exponentielle Glättung verwendet (die Nummerierung bzw. Reihenfolge der Formeln entspricht der Berechnungsreihenfolge im Motorsteuergerät):
- 20

Berechnung 1. Ordnung als Zwischenwert:

$Z1_t$ [%] = Zwischenwert der Exponentiellen Glättung 1. Ordnung

5 α = Glättungskonstante für Exponentiellen Glättung 1. Ordnung

O_{bsrv} [%] = derzeitiger gemessener/berechneter Ist-Wert der verbleibenden Bewegungen

$Z1_{t-1}$ [%] = vorheriger Zwischenwert

10
$$Z1_t = \alpha \cdot o_{bsrv} + (1 - \alpha) \cdot Z1_{t-1} \quad (\text{Formel 2})$$

Berechnung 2. Ordnung:

$Z2_t$ [%] = Zwischenwert der Exponentiellen Glättung 2. Ordnung

15 β = Glättungskonstante für Exponentiellen Glättung 2. Ordnung

$Z1_t$ [%] = Zwischenwert der Exponentiellen Glättung 1. Ordnung

$Z2_{t-1}$ [%] = vorheriger Zwischenwert

20
$$Z2_t = \beta \cdot Z1_t + (1 - \beta) \cdot Z2_{t-1} \quad (\text{Formel 3})$$

Die Glättungskonstanten (α und β) können mittels Felddaten und Simulation des Prozesses oder mit Hilfe eines Optimierungsverfahrens ermittelt werden.

25 Nachdem die Exponentielle Glättung berechnet wurde (für den gesamten Forecast Horizont), wird Formel 4 angewandt. Die aktuellen Glättungsfaktoren zum Zeitpunkt des Forecast Horizonts werden wiederum geglättet und mit dem Forecast Horizont multipliziert. Dazu wird der Y-Achsenabschnitt addiert und das Ergebnis ist der Forecast (verbleibende Restbewegungen) zum Zeitpunkt FCH (beispielsweise nach weiteren 100 Betriebsstunden wird der jeweilige Aktuator 70% seiner Gesamtbewegungen erreicht haben).

(Formel 4)

$$Forecast_{FCH} = (2 \cdot Z1_{t+FCH}) - Z2_{t+FCH} + FCH \cdot \alpha \cdot (Z1_{t+FCH} - Z2_{t+FCH})$$

Berechnung des Ausfallzeitpunktes:

Eine weitere Möglichkeit besteht darin, den Zeitpunkt des vollkommenen Verschleißes zu berechnen. Anders ausgedrückt, wann bzw. zu welchem Zeitpunkt wird das jeweilige Bauteil die maximale Bewegungsanzahl erreicht haben. Dies gelingt durch Anwendung der Formeln 5 bis 7. Es wird die Steigung m (mittlere Steigung) über den gesamten Forecast Horizont und der Y-Achsenabschnitt berechnet. Dann wird die Geradengleichung nach der (Rest-) Betriebszeit aufgelöst. $O_{bsrvMin}$ entspricht in diesem Fall 0 % Restbewegungen.

$Forecast_{time} [h]$ = Betriebszeit in Stunden bis Erreichen der unteren Schwelle $O_{bsrvMin}$

$O_{bsrvMin} [\%]$ = untere Schwelle des Verschleißes, hier: 0% Restbewegungen

m = Steigung

$b [\%]$ = Y-Achsenabschnitt

$Z1_{t+FCH} [\%]$ = Zwischenwert der Exp. Glättung 1. Ordnung zum Zeitpunkt FCH

$FCH [h]$ = Forecast Horizont (z. B. $10 \cdot 5$ (Beobachtungsintervall))
= 50 = FCH

$Z2_{t+FCH-1} [\%]$ = Zwischenwert der Exp. Glättung 2. Ordnung zum Zeitpunkt $FCH - 1$

$Forecast_{vec} [\%]$ = Forecast Vektor der Länge FCH

$T_{observ} [h]$ = Beobachtungsintervall, eine Forecast Berechnung je T_{observ}

$$Forecast_{time} = \left| \frac{(O_{bsrvMin} - b)}{m} \right| \quad (\text{Formel 5})$$

Mit:

Y-Achsenabschnitt b : (Formel 6)

$$b = (2 \cdot Z1_{t+FCH}) - Z2_{t+FCH-1}$$

Steigung m:

$$m = \frac{\text{Forecast}_{\text{vec}} [\text{end}] - \text{Forecast}_{\text{vec}} [\text{start}]}{T_{\text{observ}} \cdot \text{length}(\text{Forecast}_{\text{vec}})} \quad (\text{Formel 7})$$

Das Vorhersageergebnis wird während der Laufzeit permanent überwacht. Dazu wird der Prognosefehler (MAPE, Mean Absolut Percentage Error, siehe Formel 4) periodisch bestimmt. Zeichnet sich eine zu hohe Abweichung über mehrere Perioden ab, werden die Glättungskoeffizienten der Exponentiellen Glättung stärker angepasst, ist die Abweichung gering, werden die Glättungsfaktoren gering bis nicht angepasst.

M = MAPE [%]

n = Anzahl der Prognosen

A_t = aktuell bestimmter Wert der verbleibenden Bewegungen [%]

F_t = prognostizierter Wert der verbleibenden Bewegungen [%]

$$M = \frac{100}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{A_t - F_t}{A_t} \right| \quad (\text{Formel 8})$$

Die Prognose der verbleibenden Bewegungen bzw. der restlichen Betriebszeit wird mit dem Regelwartungsintervall des Verbrennungsmotors abgeglichen. Kann ein Regelwartungsintervall zeitlich nicht erreicht werden, da die verbleibende Betriebszeit geringer ist als die Differenz aus Zeitpunkt des Regelwartungsintervalls und verbleibende Betriebszeit, wird der einzuhaltende Zeitpunkt der elektromechanischen Aktuatoren Wartung kommuniziert. Kann das Regelwartungsintervall zeitlich erreicht werden, wird der Status kommuniziert, dass die elektromechanischen Aktuatoren bei der nächsten Regelwartung getauscht werden sollten. Wird keine rechtzeitige Wartung der elektromechanischen Aktuatoren durchgeführt, wird ein Diagnosestatus aktiviert.

In Abbildung 5 wird das Systemschaubild bzw. das Zusammenspiel der Systeme und Komponenten dargestellt. Z. B. Aktuator 1 = Drosselklappe, Aktuator 2 = Abgasrückführungsventil, Aktuator 3 = Abgasklappe, Aktuator

4 = Überdruckventil am Turbolader. Die Aktuatoren 1 – 4 sind geregelte Komponenten des Verbrennungsmotors. Die Positionen bzw. Bewegungen der Aktuatoren werden über das Motorsteuergerät in Abhängigkeit der angeforderten Lastkollektive (z. B. durch den Fahrer einer Maschine) geregelt. Das Motorsteuergerät identifiziert die einzelnen Bewegungen in den jeweiligen Profilen und berechnet die Prognose mittels Formeln 2 bis 8. Der berechnete Prognosewert wird z. B. via CAN-Bus (J1939) Telegramm anderen Systemen zur Verfügung gestellt (Signalisierung).

Nachfolgend wird das Messverfahren 2 beschrieben. Um die Robustheit des globalen Verfahrens zu erhöhen, wird zusätzlich zu den Bewegungsprofilen (Messverfahren 1) die Ansteuerreaktionszeit der elektromechanischen Aktuatoren geprüft (Messverfahren 2). Die Bewegungsprofile machen den Verschleiß und die Verschleißprognose sichtbar bzw. messbar. Zufällige bzw. Produktionsfehler im Antrieb des elektromechanischen Aktuators können so jedoch nicht detektiert werden. Darum wird nun ein weiteres Messverfahren beschrieben, um zufällige Fehler im Antrieb des Aktuators erkennen zu können und somit das globale Verfahren hinsichtlich zufälliger Fehler robuster zu gestalten. Funktionsweise des Messverfahrens 2: Zu einem definierten und günstigen Zeitpunkt, z. B. nach (Nachlaufzeit) oder vor der Betriebszeit des Verbrennungsmotors, werden die elektromechanischen Aktuatoren mit einem Sprung (von 0 % = geschlossen auf 100 % = komplett geöffnet) stimuliert. Die Sprungantwort, genauer gesagt die Einschwingzeit der Ist-Position zur Soll-Position, wird gemessen und evaluiert. Die benötigte Stellzeit bzw. Einschwingzeit der Aktuatoren im Neuzustand ist der Spezifikation des Herstellers zu entnehmen. Der Toleranzbereich (oder Serienstreuung) der Einschwingzeit beträgt laut Spezifikation 19 %. Tabelle 4 zeigt die verschleißbedingten Abweichungen der verwendeten Aktuatoren aus dem Messverfahren 1. Man erkennt, dass der Toleranzbereich der Einschwingzeit von 19 % überschritten wurde. Die Einschwingzeit ist eines der Merkmale, die dazu verwendet wird, Auffälligkeiten der einzelnen Aktuatoren zu identifizieren. Weitere sind z. B. Innenwiderstand des Aktuators, Drehmoment, Drehzahl usw. Die Einschwingzeit ist die einzige, die während des Betriebes des Verbrennungsmotors automati-

siert gemessen werden kann (aus Sicht des Motorsteuergeräts speziell auch für nicht intelligente elektromechanische Aktuatoren wie z. B. H-Brücken Aktuatoren). Die Einschwingzeit ohne die weiteren genannten Merkmale ist allein betrachtet zu ungenau, um genaue Prognosen oder den genauen Verschleiß darzustellen. Darum wird sie bei diesem Verfahren für die Verschleißidentifikation als weitere Information, aber vor allem zur Detektion von zufälligen Fehlern des Antriebs verwendet. Dafür wird eine Schwelle (in Absprache mit dem Hersteller statt 19 %, 33 %) definiert, ab wann eine signifikante Abweichung der Einschwingzeit vom Neuzustand aber auch vom gewöhnlichen Verschleiß (wie in Tabelle 4 dargestellt) zu erkennen ist.

Verfahren zur Verschleißerkennung und prädiktiven Verschleißprognose von elektromechanischen Aktuatoren zur Betriebszeit einer Maschine mit Verbrennungsmotor

A N S P R Ü C H E

1. Verfahren zur Verschleißerkennung und vorhersagbaren Verschleißprognose von elektromechanischen Aktuatoren zur Betriebszeit einer Maschine mit Verbrennungsmotor mit wenigstens einem Motorsteuergerät, umfassend ein erstes Messverfahren zur Identifizierung des Aktuatorenverschleißes (vor allem Drosselklappe, Abgasrückführungsventil, Abgasklappe und Überdruckventil am Turbolader oder anderen) in Form von Bewegungsprofilen und der Anzahl der unterschiedlichen Aktuatorenbewegungen innerhalb einzelner Bewegungsprofile, wobei die Anzahl der unterschiedlichen Aktuatorenbewegungen mit Referenzdaten verglichen wird, und eines zweiten Messverfahrens, das Produktionsfehler in der Weise erkennt, dass die elektromechanischen Aktuatoren mit einem Sprung stimuliert werden und die Sprungantwort, bzw. die Einschwingzeit der Ist-Position zur Soll-Position gemessen und bewertet wird.
2. Verfahren zur Verschleißerkennung und vorhersagbaren Verschleißprognose von elektromechanischen Aktuatoren zur Betriebszeit einer Maschine mit Verbrennungsmotor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass ein realer Test- bzw. Lastzyklus vermessen wird.
3. Verfahren zur Verschleißerkennung und vorhersagbaren Verschleißprognose von elektromechanischen Aktuatoren zur Betriebszeit einer Maschine mit Verbrennungsmotor nach einem oder mehreren der vorgenannten Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet, dass der reale Test- bzw. Lastzyklus digitalisiert und skaliert wird, damit er einer definierten Lebensdauer des Verbrennungsmotors entspricht.

- 5 4. Verfahren zur Verschleißerkennung und vorhersagbaren Verschleißprognose von elektromechanischen Aktuatoren zur Betriebszeit einer Maschine mit Verbrennungsmotor nach einem oder mehreren der vorgenannten Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass die betreffenden Aktuatoren (möglichst
10 mehrere desselben Typs, um einen ausreichenden Stichprobenumfang zu erhalten) mit dem Test bzw. Lastzyklus so lange belastet werden, bis die Aktuatoren entweder verschleißbedingt ausfallen oder außerhalb ihrer Spezifikation arbeiten.
- 15 5. Verfahren zur Verschleißerkennung und vorhersagbaren Verschleißprognose von elektromechanischen Aktuatoren zur Betriebszeit einer Maschine mit Verbrennungsmotor nach einem oder mehreren der vorgenannten Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass während des Tests die Funktionen der Ak-
20 tuatoren permanent überwacht und aufgezeichnet werden.
- 25 6. Verfahren zur Verschleißerkennung und vorhersagbaren Verschleißprognose von elektromechanischen Aktuatoren zur Betriebszeit einer Maschine mit Verbrennungsmotor nach einem oder mehreren der vorgenannten Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass zum Erzeugen von Referenzdaten mehrere Bewegungsprofile definiert werden.
- 30 7. Verfahren zur Verschleißerkennung und vorhersagbaren Verschleißprognose von elektromechanischen Aktuatoren zur Betriebszeit einer Maschine mit Verbrennungsmotor nach einem oder mehreren der vorgenannten Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass die Referenzdaten in das Motorsteuergerät kalibriert werden.

8. Verfahren zur Verschleißerkennung und vorhersagbaren Verschleißprognose von elektromechanischen Aktuatoren zur Betriebszeit einer Maschine mit Verbrennungsmotor nach einem oder mehreren der vorgenannten Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet, dass das Steuergerät während der Betriebslaufzeit den aktuellen Zustand bzw. die verbleibenden Bewegungen pro Aktuator und pro Bewegungsprofil berechnet und prognostiziert, nach wie vielen weiteren Betriebsstunden die maximale Bewegungsanzahl je Aktuator erreicht sein wird.

9. Verfahren zur Verschleißerkennung und vorhersagbaren Verschleißprognose von elektromechanischen Aktuatoren zur Betriebszeit einer Maschine mit Verbrennungsmotor nach einem oder mehreren der vorgenannten Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet, dass für die Verschleißprognose das Verfahren der Zeitreihenanalyse in Kombination mit dem Verfahren der Exponentiellen Glättung verwendet wird.

10. Verfahren zur Verschleißerkennung und vorhersagbaren Verschleißprognose von elektromechanischen Aktuatoren zur Betriebszeit einer Maschine mit Verbrennungsmotor nach einem oder mehreren der vorgenannten Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet, dass die Prognose der verbleibenden Bewegungen bzw. der restlichen Betriebszeit mit dem Regelwartungsintervall des Verbrennungsmotors abgeglichen wird. Kann ein Regelwartungsintervall zeitlich nicht erreicht werden, da die verbleibende Betriebszeit geringer ist als die Differenz aus Zeitpunkt des Regelwartungsintervalls und die verbleibende Betriebszeit, so wird der einzuhaltende Zeitpunkt der elektromechanischen Aktuatoren mit einem rechtzeitigen Wartungshinweis kommuniziert. Kann das Regelwartungsintervall zeitlich erreicht werden, so wird der Status kommuniziert, dass die elektromechanischen Aktuatoren bei der nächsten Regelwartung ausgetauscht werden sollten. Sollte keine rechtzei-

tige Wartung der elektromechanischen Aktuatoren durchgeführt werden, so wird ein Diagnosestatus aktiviert und kommuniziert.

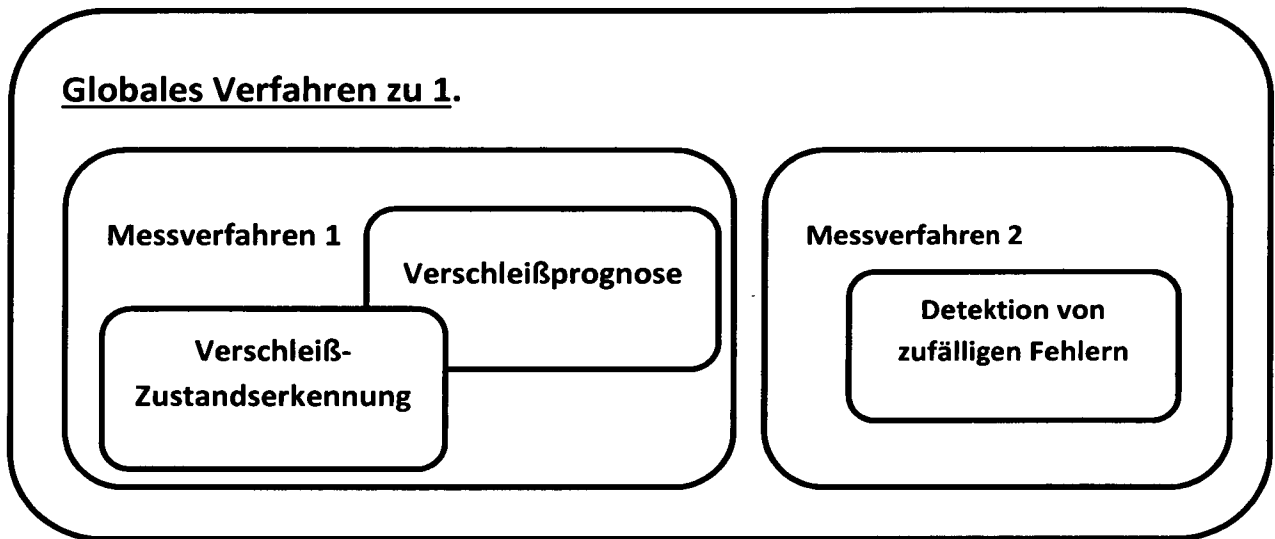
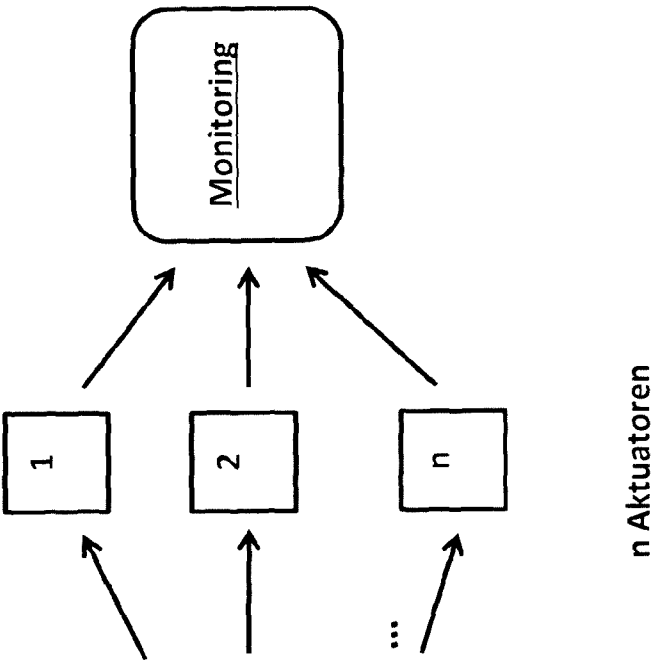


Abbildung 1



Abbildung 2



Testzyklus200 für 1400 Stunden

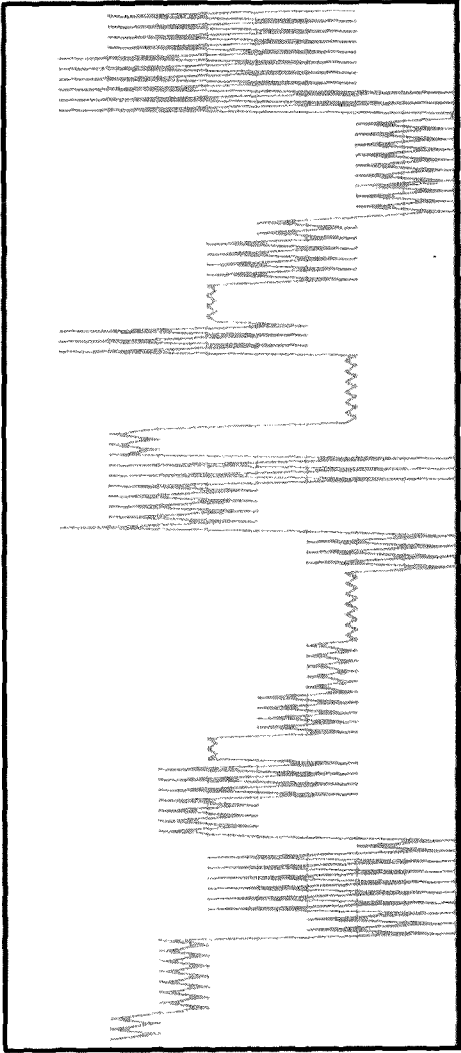


Abbildung 3

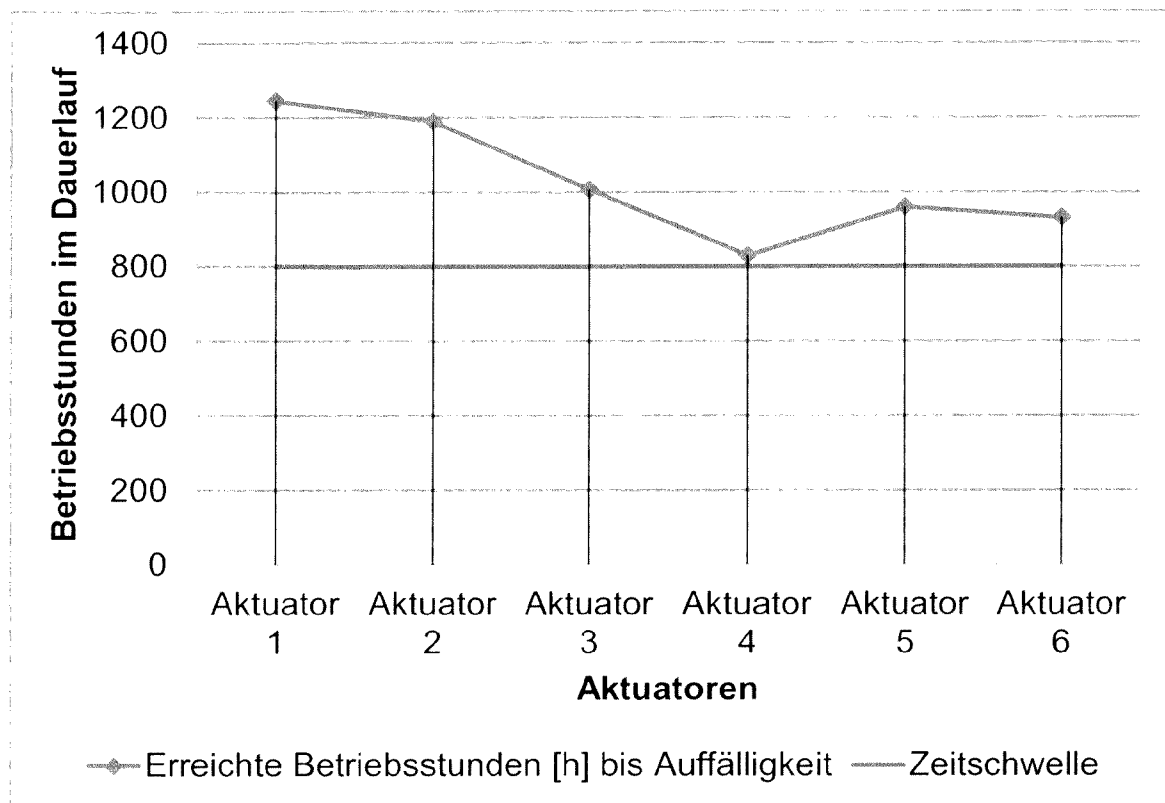


Abbildung 4

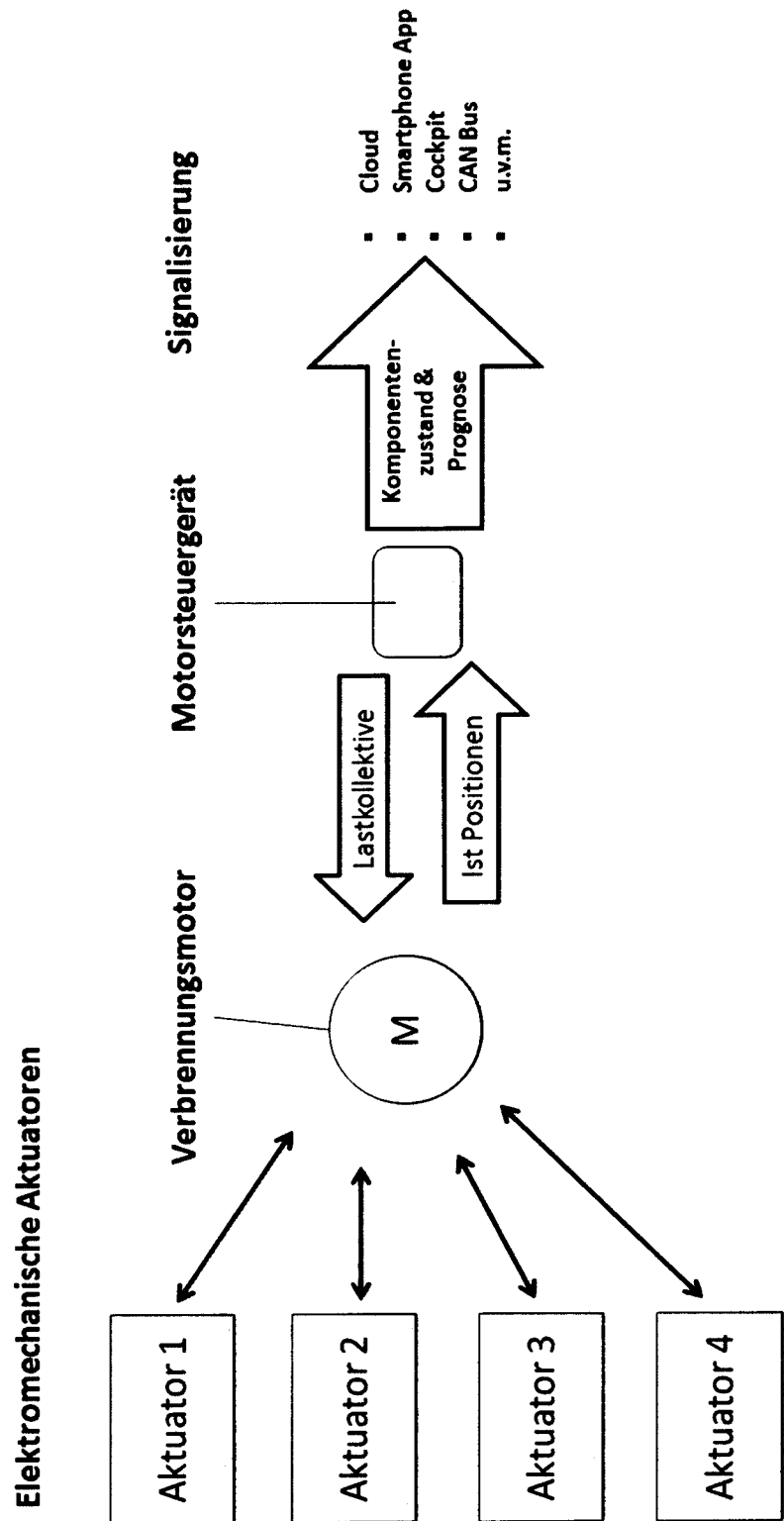
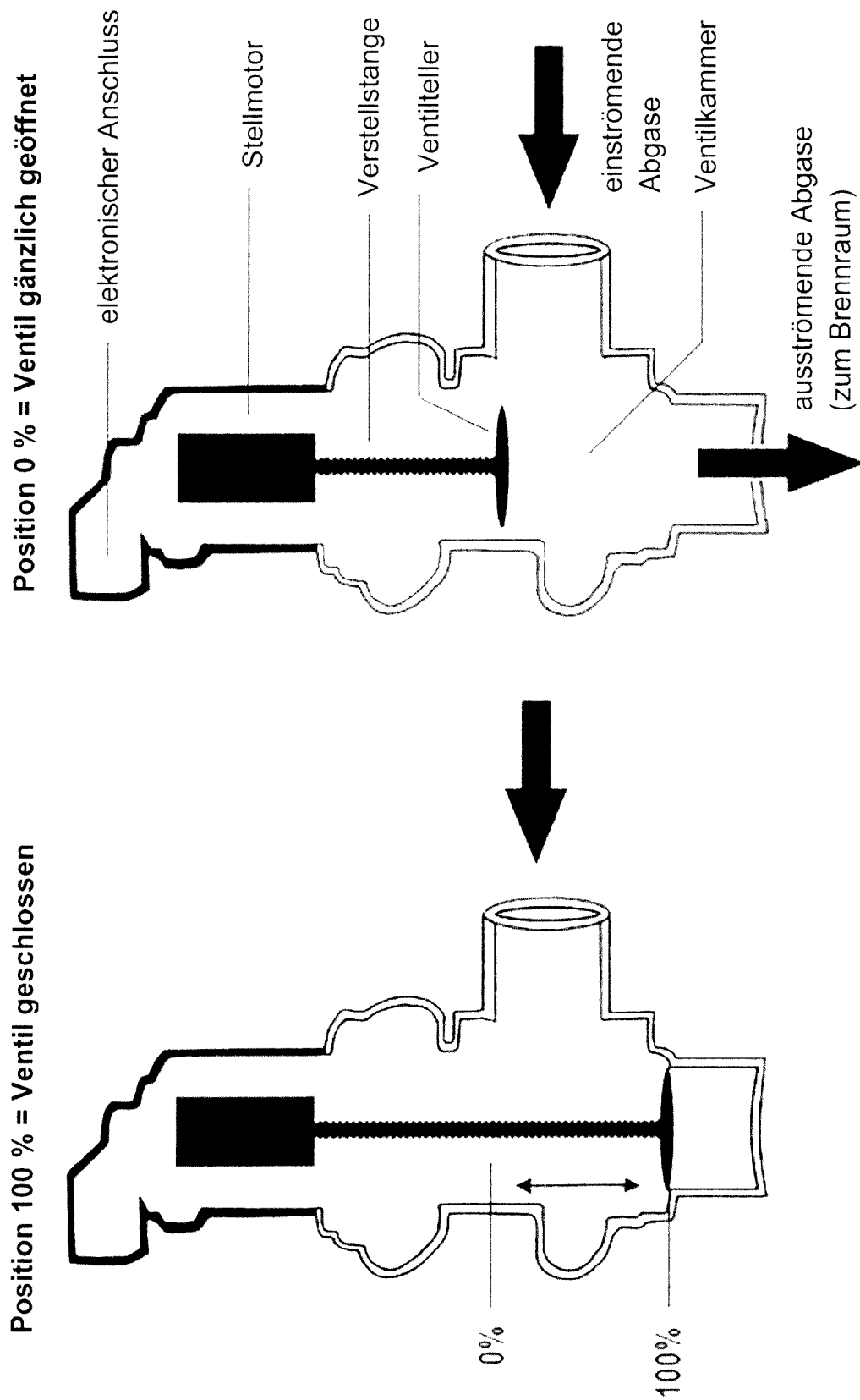


Abbildung 5

Prinzipieller Aufbau eines elektrischen Abgasrückführventils



Diese Grafik unterliegt der GNU Lizenz für freie Dokumentation

Sven Mildner, Freiberg

Ventil geschlossen

Abbildung 6

Ventil geöffnet

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2019/000177

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

INV. F02D41/22 G05B23/02 G01M15/04
ADD. F02M26/49 F02M26/54 F02D41/14 F02D41/24

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 G01M F02N B60W F02M H01F F01M F02B F01L G05B B64D

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	DE 10 2016 218278 A1 (ROBERT BOSCH GMBH) 22 March 2018 (2018-03-22) abstract; figures paragraphs [0003], [0006], [0016], [0030] - [0042]	1-10
Y	JP H03 210058 A (HITACHI LTD) 13 September 1991 (1991-09-13) abstract; figure 11	1-10
A	JP H06 264827 A (NISSAN MOTOR CO LTD) 20 September 1994 (1994-09-20) abstract; figures paragraphs [0004], [0006]	1-10
	----- -/-	



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

5 September 2019

Date of mailing of the international search report

12/09/2019

Name and mailing address of the ISA/

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Döring, Marcus

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2019/000177

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	DE 10 2017 111977 A1 (GM GLOBAL TECHNOLOGY OPERATIONS, LLC) 7 December 2017 (2017-12-07) abstract; figures paragraphs [0003] - [0005], [0025] - [0051] -----	1-10
A	GB 2 534 201 A (CATERPILLAR INC) 20 July 2016 (2016-07-20) abstract; figures page 1, line 4 - page 2, line 29 page 3, lines 14-17 page 6, line 30 - page 18, last line -----	1-10
A	WO 00/70562 A1 (ALLIED SIGNAL INC; LARUE GERALD DUANE; BAKER DONALD ERVIN) 23 November 2000 (2000-11-23) abstract; figures page 1, line 22 - page 2, line 18 page 3, lines 3-13 page 3, line 32 - page 8, line 16 -----	1-10
A	DE 10 2015 009248 A1 (MTU FRIEDRICHSHAFEN GMBH) 19 January 2017 (2017-01-19) abstract; figures paragraphs [0008] - [0014], [0032] - [0044] -----	1-10
A	DE 102 57 793 A1 (DAIMLERCHRYSLER AG) 22 July 2004 (2004-07-22) abstract; figures paragraphs [0033] - [0160] -----	1-10

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2019/000177

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
DE 102016218278 A1	22-03-2018	CN 109790784 A	21-05-2019
		DE 102016218278 A1	22-03-2018
		EP 3516191 A1	31-07-2019
		KR 20190054127 A	21-05-2019
		WO 2018054594 A1	29-03-2018

JP H03210058 A	13-09-1991	NONE	

JP H06264827 A	20-09-1994	NONE	

DE 102017111977 A1	07-12-2017	CN 107448313 A	08-12-2017
		DE 102017111977 A1	07-12-2017
		US 2017350340 A1	07-12-2017

GB 2534201 A	20-07-2016	NONE	

WO 0070562 A1	23-11-2000	AT 310292 T	15-12-2005
		AU 5017500 A	05-12-2000
		BR 0010549 A	02-07-2002
		CN 1360714 A	24-07-2002
		DE 60024076 T2	27-07-2006
		EP 1179205 A1	13-02-2002
		JP 2002544443 A	24-12-2002
		US 6209390 B1	03-04-2001
		WO 0070562 A1	23-11-2000

DE 102015009248 A1	19-01-2017	CN 107850035 A	27-03-2018
		DE 102015009248 A1	19-01-2017
		EP 3325799 A1	30-05-2018
		US 2018187620 A1	05-07-2018
		WO 2017012695 A1	26-01-2017

DE 10257793 A1	22-07-2004	NONE	

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES INV. F02D41/22 G05B23/02 G01M15/04 ADD. F02M26/49 F02M26/54 F02D41/14 F02D41/24		
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC		
B. RECHERCHIERTE GEBIETE Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole) F02D G01M F02N B60W F02M H01F F01M F02B F01L G05B B64D		
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	DE 10 2016 218278 A1 (ROBERT BOSCH GMBH) 22. März 2018 (2018-03-22) Zusammenfassung; Abbildungen Absätze [0003], [0006], [0016], [0030] - [0042]	1-10
Y	JP H03 210058 A (HITACHI LTD) 13. September 1991 (1991-09-13) Zusammenfassung; Abbildung 11	1-10
A	JP H06 264827 A (NISSAN MOTOR CO LTD) 20. September 1994 (1994-09-20) Zusammenfassung; Abbildungen Absätze [0004], [0006]	1-10
	----- -/-	
☒ 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
5. September 2019		12/09/2019
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 Döring, Marcus

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	DE 10 2017 111977 A1 (GM GLOBAL TECHNOLOGY OPERATIONS, LLC) 7. Dezember 2017 (2017-12-07) Zusammenfassung; Abbildungen Absätze [0003] - [0005], [0025] - [0051] -----	1-10
A	GB 2 534 201 A (CATERPILLAR INC) 20. Juli 2016 (2016-07-20) Zusammenfassung; Abbildungen Seite 1, Zeile 4 - Seite 2, Zeile 29 Seite 3, Zeilen 14-17 Seite 6, Zeile 30 - Seite 18, letzter Zeile -----	1-10
A	WO 00/70562 A1 (ALLIED SIGNAL INC; LARUE GERALD DUANE; BAKER DONALD ERVIN) 23. November 2000 (2000-11-23) Zusammenfassung; Abbildungen Seite 1, Zeile 22 - Seite 2, Zeile 18 Seite 3, Zeilen 3-13 Seite 3, Zeile 32 - Seite 8, Zeile 16 -----	1-10
A	DE 10 2015 009248 A1 (MTU FRIEDRICHSHAFEN GMBH) 19. Januar 2017 (2017-01-19) Zusammenfassung; Abbildungen Absätze [0008] - [0014], [0032] - [0044] -----	1-10
A	DE 102 57 793 A1 (DAIMLERCHRYSLER AG) 22. Juli 2004 (2004-07-22) Zusammenfassung; Abbildungen Absätze [0033] - [0160] -----	1-10

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2019/000177

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 102016218278 A1	22-03-2018	CN 109790784 A	21-05-2019
		DE 102016218278 A1	22-03-2018
		EP 3516191 A1	31-07-2019
		KR 20190054127 A	21-05-2019
		WO 2018054594 A1	29-03-2018

JP H03210058 A	13-09-1991	KEINE	

JP H06264827 A	20-09-1994	KEINE	

DE 102017111977 A1	07-12-2017	CN 107448313 A	08-12-2017
		DE 102017111977 A1	07-12-2017
		US 2017350340 A1	07-12-2017

GB 2534201 A	20-07-2016	KEINE	

WO 0070562 A1	23-11-2000	AT 310292 T	15-12-2005
		AU 5017500 A	05-12-2000
		BR 0010549 A	02-07-2002
		CN 1360714 A	24-07-2002
		DE 60024076 T2	27-07-2006
		EP 1179205 A1	13-02-2002
		JP 2002544443 A	24-12-2002
		US 6209390 B1	03-04-2001
		WO 0070562 A1	23-11-2000

DE 102015009248 A1	19-01-2017	CN 107850035 A	27-03-2018
		DE 102015009248 A1	19-01-2017
		EP 3325799 A1	30-05-2018
		US 2018187620 A1	05-07-2018
		WO 2017012695 A1	26-01-2017

DE 10257793 A1	22-07-2004	KEINE	
