

(12) BELGISCHER PATENTANTRAG

(41) Veröffentlichungsdatum : 29/11/2022

(21) Antragsnummer : BE2021/5335

(22) Anmeldetag : 30/04/2021

(62) Teilantrag des früheren Antrags :

(62) Anmeldetag des früheren Antrags :

(51) Internationale Klassifikation : G01R 31/327

(30) Prioritätsangaben :

(71) Anmelder :

PHOENIX CONTACT GmbH & Co. KG
GmbH & Co. KG
32825, BLOMBERG
Deutschland

(72) Erfinder :

SCHAPER Elmar
32676 LÜDGE
Deutschland

SCHOLZ Dr. Peter
33034 BRAKEL
Deutschland

WINKEL Fabian
33098 PADERBORN
Deutschland

(54) Vorrichtung und Verfahren zum Erkennen einer Abnutzung einer elektromechanischen Einrichtung

(57)Die vorliegende Erfindung betrifft eine Vorrichtung (100) zum Erkennen einer Abnutzung einer elektromechanischen Einrichtung (1000), wobei die Vorrichtung (100) umfasst: eine Messeinrichtung (10), welche dazu ausgebildet ist, mindestens einen vorbestimmten Betriebsparameter der elektromechanischen Einrichtung (1000) zu erfassen; und eine Auswerteeinrichtung (20), welche dazu ausgebildet ist, anhand von maschinellen Lernen unter Zuhilfenahme von Massendaten, vorzugsweise in Form von Trainingsdaten, aus dem erfassten vorbestimmten Betriebsparameter der elektromechanischen Einrichtung (1000) einen aktuellen Betriebszustand der elektromechanischen Einrichtung (1000) zu ermitteln.

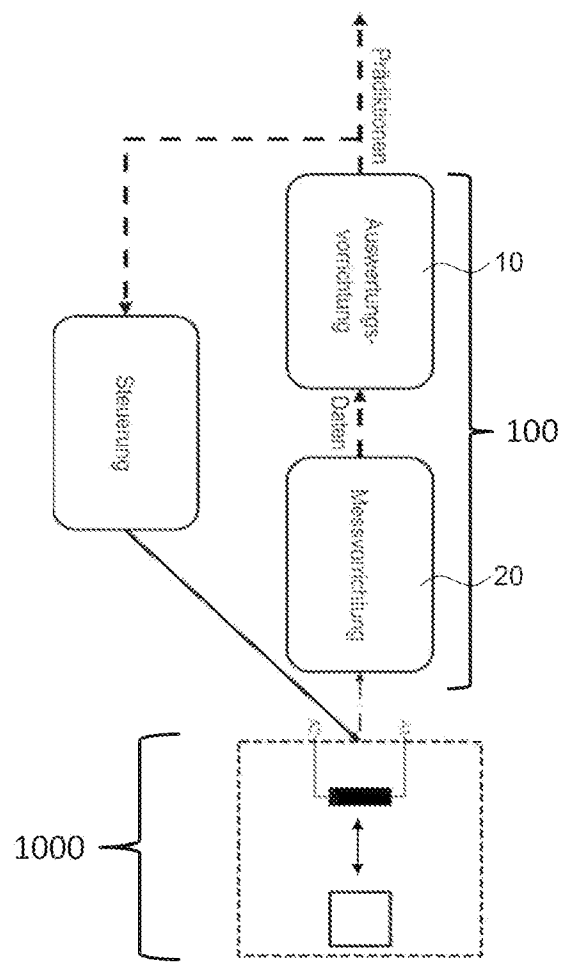


Fig. 1

Vorrichtung und Verfahren zum Erkennen einer Abnutzung einer elektromechanischen Einrichtung

5

Technisches Gebiet

Die vorliegende Erfindung betrifft Systeme für die Überwachung eines Abnutzungsverhaltens.

10

Insbesondere betrifft die vorliegende Erfindung eine Vorrichtung und ein Verfahren zum Erkennen einer Abnutzung einer elektromechanischen Einrichtung.

15 Technischer Hintergrund

Im Zuge der vorausschauenden Wartung ist es wichtig, den Zustand von elektromechanischen Schaltelementen wie elektromechanischen Relais oder Schützen oder elektromechanische Ventile - im Besonderen auch Hydraulik- und oder Pneumatik Aktoren - zu kennen und das gebrauchte oder verschlissene Aktor bzw. Schaltelement schon vor einem möglichen Ausfall auszutauschen um Stillstand oder Ausfallzeiten zu vermeiden.

25

In sicherheitsrelevanten Anwendungen beispielsweise nach den Normen IEC61508 oder ISO13849 kann eine kontinuierliche Zustandsüberwachung von Aktoren bzw. schaltenden Elementen noch deutlich wichtiger sein.

30

Die DE 10 2010 041 998 A1 beschreibt ein Verfahren zur Vorhersage der Einsatzfähigkeit eines Relais oder eines Schützes. Ein durch das Relais oder das Schütz fließender Strom und/oder eine an dem Relais oder dem Schütz anliegende

Spannung wird wiederholt gemessen, und die Messwerte werden an eine Beobachtungseinheit übermittelt. Die Beobachtungseinheit macht auf Grundlage der Messwerte und eines Modells eine Vorhersage über die Einsatzfähigkeit.

5

Die DE 10 2018 114 425 A1 und die DE 10 2010 041 998 A1 beschreiben Systeme, die eine Überwachung der Kontaktseite eines elektromechanischen Relais ermöglichen. Folglich kann mit diesen Systemen lediglich ein fehlerhaftes Verhalten
10 detektiert werden.

Im Rahmen der DE 10 2013 219 243 B4 erfolgt eine Abschätzung der Alterung der Kontakte eines Relais über einen stromabhängigen Zähler. Die Lebensdauer von Relais hängt
15 maßgeblich von der Impedanz der zu schaltenden Last, der anliegenden Spannung und dem Strom ab. Da mit dem Ansatz nur einer der Faktoren betrachtet werden kann, erscheint erfolgreiche Abschätzung der Alterung nur begrenzt
20 möglich.

20

Die US 10,895,608 B2 beschreibt eine Vorrichtung und ein Verfahren zum Erfassen der Bewegung eines Tauchankers des Elektromagneten umfasst das Erfassen einer Spitze in einem an eine Spule des Elektromagneten angelegten Stromsignal. Ein
25 vorbestimmter Schwellenwert wird zu dem an die Spule des Elektromagneten angelegten Stromsignal addiert, um ein pegelverschobenes Signal zu erzeugen. Das pegelverschobene Signal und das Spitzensignal werden verglichen, um die Bewegung eines Stößels des Magneten zu erkennen.

30

Zusammenfassung der Erfindung

Es ist eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine verbesserte Vorrichtung und ein verbessertes Verfahren zur

Erkennung einer Abnutzung eines elektromechanischen Bauteils
breitzustellen.

Diese Aufgabe wird durch die Gegenstände der unabhängigen
5 Patentansprüche gelöst. Weiterbildungen und Ausführungsformen
sind den abhängigen Patentansprüchen, der Beschreibung und den
Figuren der Zeichnungen zu entnehmen.

Der Begriff der „Abnutzung“ des elektromechanischen Bauteils
10 kann dabei eine Anomalie des elektromechanischen Bauteils oder
auch einen normalen oder kontinuierlichen Verschleiß umfassen.
Der Begriff der „Abnutzung“ des elektromechanischen Bauteils
kann dabei auch eine Alterung umfassen. Der Begriff der
„Abnutzung“ kann dabei auch einen unmittelbar bevorstehenden
15 Spontanausfall beinhalten.

Ein erster Aspekt der vorliegenden Erfindung betrifft eine
Vorrichtung zum Erkennen einer Abnutzung einer
elektromechanischen Einrichtung, wobei die Vorrichtung
20 umfasst: eine Messeinrichtung, welche dazu ausgebildet ist,
mindestens einen vorbestimmten Betriebsparameter der
elektromechanischen Einrichtung zu erfassen; und eine
Auswerteeinrichtung, welche dazu ausgebildet ist, anhand von
maschinellen Lernen unter Zuhilfenahme von Massendaten,
25 vorzugsweise in Form von Trainingsdaten, aus dem erfassten
vorbestimmten Betriebsparameter der elektromechanischen
Einrichtung einen aktuellen Betriebszustand der
elektromechanischen Einrichtung zu ermitteln.

30 Die vorliegende Erfindung ermöglicht, den Zustand von
elektromechanischen Aktoren, zu bestimmen und das gebrauchte
oder verschlissene Aktoren schon vor einem drohenden,
möglichen Ausfall auszutauschen, um eine Stillstandzeit zu
minieren oder das Auftreten eines Stillstands zu verhindern
35 oder sonstige Störungen zu vermeiden.

Mit der vorliegenden Erfindung soll die prädiktive Instandhaltung von elektromechanischen Aktoren unter der Zuhilfenahme von maschinellen Lernverfahren

5 ermöglicht werden. Elektromechanische Aktoren finden z.B. in der Form von Relais oder Ventilen Verwendung als Bindeglied zwischen Steuerungs- und Prozessebene und sind daher von kritischer Bedeutung für den Betrieb einer Anlage.

10 Die vorliegende Erfindung ermöglicht, dass eine Alterung von einer elektromechanischen Aktoren mit minimalem Messaufwand zuverlässig bestimmt wird.

Die vorliegende Erfindung ermöglicht durch Methoden der künstlichen Intelligenz, wie maschinelles Lernen oder wie Künstliche neuronale Netze, auch künstliche neuronale Netzwerke, basierend auf in einem Anlernprozess verwendeten Trainingsdaten Prädiktionen und/oder Schätzungen zu aktuellen Messdaten zu treffen.

20

Mit auf Englisch sogenannten „Deep Learning“-Methoden, auf Deutsch etwa „tiefgehendes Lernen“, nachfolgend auch als maschinelles Tiefenlernen-Verfahren“ bezeichnet, wird beispielsweise eine Klasse von Optimierungsmethoden künstlicher neuronaler Netze definiert, die zahlreiche Zwischenlagen - englisch „hidden layers“ - zwischen Eingabeschicht und Ausgabeschicht haben und dadurch eine umfangreiche innere Struktur aufweisen.

30 Dies ermöglicht vorteilhaft, dass keine manuelle Merkmalsextraktion bzw. Festlegung von überwachten Merkmalen benötigt wird. Daher können präzise Vorhersagen getroffen werden, wenn die Modelle mit Massendaten, auf Englisch auch „Big Data“, in der Form von Trainingsdaten trainiert werden, wobei hier auch eine Markierung der Trainingsdaten mit

35

Zustandsdaten der elektromechanischen Schalteinrichtungen erfolgen kann, d.h. referenziert oder gelabelt.

Die vorliegende Erfindung beschreibt eine Vorrichtung zur
5 Überwachung von elektromechanischen
Aktoren, wobei die Vorrichtung eine Messeinrichtung und eine
Auswerteeinrichtung umfasst, mit denen unter Zuhilfenahme
von maschinellen Lernverfahren Rückschlüsse auf den Zustand
des elektromechanischen Aktors gezogen werden.

10

Mit dieser Vorrichtung soll die prädiktive Instandhaltung von
elektromechanischen Aktuatoren ermöglicht werden, um zum einen
die Instandhaltung langfristig zu planen und zum anderen
kurzfristig auf Zustandsänderungen reagieren zu können. Auf
15 diesem Weg kann möglichen Ausfällen der Aktoren
durch Wartung vorgebeugt werden und bspw. die
Anlagenverfügbarkeit erhöht werden.

20

Für den Betreiber einer Anlage ergeben sich somit sowohl ein
ökonomischer als auch ein ökologischer Nutzen.

Letzterer kann durch das Vermeiden von Fehlproduktionen und
die maximale Ausnutzung der Aktoren erzeugt werden. Darüber
hinaus kann durch eine kontinuierliche Überwachung der Aktoren
die Sicherheit von Systemen gesteigert werden.

25

In dem neuronalen Netz wird jedoch kein direkter Vergleich von
den Schaltzyklen miteinander durchgeführt, sondern durch
Optimierungsverfahren im Trainingsprozess hat das Verfahren
selber gelernt bzw. die internen Parameter so optimiert, dass
30 relevante Merkmale, die für den Verschleiß charakteristisch
sind, implizit im neuronalen Netz enthalten sind und somit
Prognosen zu aktuellen unbekanntem Eingangsdaten ausgegeben
werden können.

Das in der Auswerteeinrichtung implementierte neuronale Netz ist in einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung zuvor trainiert worden und ist durch die Auswertung von aktuellen Messungen in der Lage, auf den aktuellen Zustand des aktuell verbauten Aktors, beispielsweise ein Relais, zu schließen, den Verschleißzustand zu ermitteln.

10

Vorteilhafte Ausgestaltungen der vorliegenden Erfindung sind den Unteransprüchen zu entnehmen.

In einer vorteilhaften Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist vorgesehen, dass die Auswerteeinrichtung dazu ausgebildet ist, für das maschinelle Lernen einen Schätzer mit Betriebsdaten zu verschiedenen Abnutzungsgraden zu trainieren und den trainierten Schätzer für das Ermitteln des aktuellen Betriebszustands der elektromechanischen Einrichtung zu verwenden.

20

In einer vorteilhaften Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist vorgesehen, dass der Schätzer als ein Klassifizierungs- und/oder Regressionsschätzer ausgebildet ist.

25

In einer vorteilhaften Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist vorgesehen, dass der Schätzer ein tiefes, neuronales Netz aufweist, das Faltungsschichten und rekurrente Schichten aufweist.

30

In einer vorteilhaften Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist vorgesehen, dass die Auswerteeinrichtung dazu ausgebildet ist, den aktuellen Betriebszustand aus dem erfassten vorbestimmten Betriebsparameter unter Annahme einer multimodalen Ausfallverteilung zu ermitteln, wobei vorzugsweise die Auswerteeinrichtung dazu ausgebildet ist, den aktuellen Betriebszustand aus dem erfassten vorbestimmten

35

Betriebsparameter über eine Mehrzahl von Zielgrößen zu ermitteln, wobei besonders bevorzugt die Mehrzahl von Zielgrößen einer multimodalen Ausfallverteilung entsprechen.

5 In einer vorteilhaften Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist vorgesehen, dass die Auswerteeinrichtung dazu ausgebildet ist, für das maschinelle Lernen einen Klassifizierungs- und Regressionsschätzer mit run-to-failure Daten zu trainieren und der Klassifizierungs- und
10 Regressionsschätzer für das Ermitteln des aktuellen Betriebszustands der elektromechanischen Einrichtung zu verwenden.

In einer vorteilhaften Ausführungsform der vorliegenden
15 Erfindung ist vorgesehen, dass der Klassifizierungs- und Regressionsschätzer ein tiefes neuronales Netz aufweist, das Faltungsschichten und rekurrente Schichten aufweist.

20 In einer vorteilhaften Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist vorgesehen, dass die Messeinrichtung ferner dazu ausgebildet ist, zum dem erfassten mindestens einen vorbestimmten Betriebsparameter der elektromechanischen
Einrichtung weitere Informationen in der Form eines
25 Zeitstempels oder eines Zählerstands hinzuzufügen.

In einer vorteilhaften Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist vorgesehen, dass die Messeinrichtung ferner dazu ausgebildet ist, den Betriebsparameter der elektromechanischen
30 Einrichtung kontinuierlich zu erfassen oder nur bei einem Schaltereignis der elektromechanischen Einrichtung den Betriebsparameter zu erfassen.

In einer vorteilhaften Ausführungsform der vorliegenden
35 Erfindung ist vorgesehen, dass die Auswerteeinrichtung dazu

ausgebildet ist, ferner Prädiktionen über einen zukünftigen Betriebszustand der elektromechanischen Einrichtung zu ermitteln.

5 In einer vorteilhaften Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist vorgesehen, dass die Auswerteeinrichtung dazu ausgebildet ist, den aktuellen Betriebszustand oder die Prädiktionen über den zukünftigen Betriebszustand der elektromechanischen Einrichtung nach Ablauf einer Zeitspanne
10 oder durch ein Trigger-Ereignis getriggert zu ermitteln.

In einer vorteilhaften Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist vorgesehen, dass als Prädiktionen vorgesehen sind:

- 15 . eine restliche nutzbare Lebensdauer als relativer Anteil an der gesamten Lebensdauer der elektromechanischen Einrichtung;
- . eine restliche nutzbare Lebensdauer als absoluter Anteil an Nutzungszyklen oder -zeit der elektromechanischen Einrichtung;
- . eine Risikowahrscheinlichkeit für einen spontanen Ausfall
20 der elektromechanischen Einrichtung;
- . eine Typisierung der elektromechanischen Einrichtung;
- . ein Koeffizient für eine Belastung oder eine Klassifizierung einer Last der elektromechanischen Einrichtung;
- . eine binär-codierte Fehlermeldung;
- 25 . eine binär-codierte Betriebsbereitschaft; und/oder
- . prozessbezogene Informationen der elektromechanischen Einrichtung.

In einer vorteilhaften Ausführungsform der vorliegenden
30 Erfindung ist vorgesehen, dass die Auswerteeinrichtung dazu ausgebildet ist, in eine Fassungs Vorrichtung für die elektromechanische Einrichtung integriert zu werden.

In einer vorteilhaften Ausführungsform der vorliegenden
35 Erfindung ist vorgesehen, dass die Vorrichtung ferner eine

Anzeigeneinrichtung umfasst, welche vorzugsweise dazu ausgebildet ist, den aktuellen Betriebszustand der elektromechanischen Einrichtung anzuzeigen.

5 In einer vorteilhaften Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist vorgesehen, dass der mindestens eine vorbestimmte Betriebsparameter der elektromechanischen Einrichtung eine Betätigungskraft, oder ein Druckschlag eines Fluid, womit ein anderer Bewegungsvorgang des Ankers ausgelöst
10 wird, eine Gegenkraft, einen Betätigungsweg, einen Überhub, einen Schaltpunkt, einen Lichtimpuls, einen Lichtbogen, ein akustisches Signal, ein Magnetfeld, eine Temperatur, einen Spulenstrom, eine Spulenspannung, einen Kontaktstrom, einen Laststrom oder eine Kontaktspannung umfasst; und/oder
15 wobei die Massendaten beliebige Betriebsparameter umfassen und die beliebigen Betriebsparameter eine Betätigungskraft, eine Gegenkraft, einen Betätigungsweg, einen Überhub, einen Schaltpunkt, einen Lichtimpuls, einen Lichtbogen, ein akustisches Signal, ein Magnetfeld, eine Temperatur, einen
20 Spulenstrom, eine Spulenspannung, einen Kontaktstrom, einen Laststrom oder eine Kontaktspannung der elektromechanischen Einrichtung umfassen.

In einer vorteilhaften Ausführungsform der vorliegenden
25 Erfindung ist vorgesehen, dass die Messeinrichtung dazu ausgebildet ist, die beliebigen Betriebsparameter als Kennlinien basierend auf einer Vorabmessung während einer Initialisierungsphase der elektromechanischen Einrichtung zu erfassen.

30

In einem zweiten Aspekt der vorliegenden Erfindung ist ein Verfahren zum Erkennen einer Abnutzung einer elektromechanischen Einrichtung vorgesehen, wobei das Verfahren folgende Verfahrensschritte umfasst:

35

Als ein erster Verfahrensschritt erfolgt ein Erfassen von mindestens einem vorbestimmten Betriebsparameter der elektromechanischen Einrichtung mittels einer Messeinrichtung.

5 Als ein zweiter Verfahrensschritt erfolgt ein Ermitteln eines aktuellen Betriebszustandes der elektromechanischen Einrichtung anhand eines maschinellen Tiefenlernen-Verfahrens unter Zuhilfenahme von Massendaten, vorzugsweise in Form von Trainingsdaten, aus dem erfassten vorbestimmten
10 Betriebsparameter der elektromechanischen Schalteinrichtung mittels einer Auswerteeinrichtung.

Nach einem dritten Aspekt umfasst die vorliegende Erfindung ein Computerprogramm oder ein Computerprogrammprodukt,
15 umfassend Befehle, die bei der Ausführung des Programms durch einen Computer diesen veranlassen, dass die Schritte des Verfahrens nach dem zweiten Aspekt oder einer beliebigen Ausführungsform des zweiten Aspektes ausgeführt werden.

20 Nach einem vierten Aspekt umfasst die vorliegende Erfindung ein computerlesbares Speichermedium, umfassend Befehle, die bei der Ausführung durch einen Computer diesen veranlassen, die Schritte des Verfahrens nach dem zweiten Aspekt oder einer beliebigen Ausführungsform des zweiten Aspektes ausgeführt
25 werden.

Die beschriebenen Ausgestaltungen und Weiterbildungen lassen sich beliebig miteinander kombinieren.

30 Weitere mögliche Ausgestaltungen, Weiterbildungen und Implementierungen der vorliegenden Erfindung umfassen auch nicht explizit genannte Kombinationen von zuvor oder im Folgenden bezüglich der Ausführungsformen beschriebenen Merkmale der vorliegenden Erfindung.

Die beiliegenden Zeichnungen sollen ein weiteres Verständnis der Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung vermitteln.

Die beiliegenden Zeichnungen veranschaulichen
5 Ausführungsformen und dienen im Zusammenhang mit der Beschreibung der Erklärung von Konzepten der vorliegenden Erfindung.

Andere Ausführungsformen und viele der genannten Vorteile
10 ergeben sich im Hinblick auf die Figuren der Zeichnungen. Die dargestellten Elemente der Figuren der Zeichnungen sind nicht notwendigerweise maßstabsgetreu zueinander gezeigt.

Kurze Beschreibung der Figuren

15

Es zeigen:

Fig. 1: eine schematische Darstellung eines Messaufbaus des erfindungsgemäßen Verfahrens skizziert gemäß einem
20 Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung; und

Fig. 2: eine schematische Darstellung eines Spulenstroms für einen Ein- bzw. Ausschaltvorgang eines elektromechanischen Relais gemäß einem
25 Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung;

Fig. 3: eine schematische Darstellung eines Spulenstroms eines Relais im Ausschaltvorgang exemplarisch über die gesamte Lebensdauer gemäß einem
30 Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung;

Fig. 4: eine schematische Darstellung eines Spulenstroms eines Relais im Ausschaltvorgang exemplarisch über

die gesamte Lebensdauer gemäß einem
Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung;

- 5 Fig. 5: eine schematische Darstellung eines Diagramms, das die Prädiktionen für ein Relais über seine gesamte Lebensdauer gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung enthält;
- 10 Fig. 6: eine schematische Darstellung eines Diagramms, das die Prädiktionen für ein Relais über seine gesamte Lebensdauer gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung enthält;
- 15 Fig. 7: eine schematische Darstellung einer Vorrichtung gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung;
- 20 Fig. 8: eine schematische Darstellung eines Stand-Alone-Relais-Sockel gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung;
- 25 Fig. 9: eine schematische Darstellung einer Abwandlung von dem Relais-Sockel aus Figur 8 gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung;
- 30 Fig. 10: eine schematische Darstellung einer Anordnung, bei der mehrere Relaissockel über einen lokalen Kommunikationsbus miteinander verbunden sind, gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung;
und
- Fig. 11: zeigt die Funktionsweise der Auswertungs Vorrichtung gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung;

Fig. 12: eine schematische Darstellung einer Vorrichtung zum Erkennen einer Abnutzung einer elektromechanischen Einrichtung gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung;

5

Fig. 13: eine schematische Darstellung eines Flussdiagramms eines Verfahrens zum Erkennen einer Abnutzung einer elektromechanischen Einrichtung gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung; und

10

Fig. 14: eine schematische Darstellung einer Fehlerverteilung oder Ausfallverteilung einer Abnutzung einer elektromechanischen Einrichtung gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung.

15

Detaillierte Beschreibung der Ausführungsbeispiele

In den Figuren der Zeichnungen bezeichnen gleiche Bezugszeichen gleiche oder funktionsgleiche Elemente,

20 Bauteile, Komponenten oder Verfahrensschritte, soweit nichts Gegenteiliges angegeben ist.

Der Begriff „Künstliches neuronales Netz“ wie von der vorliegenden Erfindung verwendet umfasst beispielsweise ein
25 Rechnernetz basierend auf einer Sammlung von miteinander verbundenen Einheiten oder Knoten, die als künstliche Neuronen bezeichnet werden und die Neuronen in einem biologischen Gehirn modellieren.

30 Der Begriff „rekurrentes neuronales Netz“ wie von der vorliegenden Erfindung verwendet umfasst beispielsweise ein neuronales Netz, das sich im Gegensatz zu einem normalen, auch als Feedforward-Netz bezeichneten Netz, durch Verbindungen von Neuronen einer Schicht zu Neuronen derselben oder einer

vorangegangenen Schicht auszeichnet, wobei Verbindungen zwischen Knoten einen gerichteten Graphen entlang einer zeitlichen Abfolge bilden.

5 Die Figur 1 zeigt eine schematische Darstellung eines Messaufbaus des erfindungsgemäßen Verfahrens skizziert gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung.

10 In Figur 1 ist der Messaufbau des erfindungsgemäßen Verfahrens skizziert. Ein elektromechanischer Aktor beinhaltet eine Spule, an die über die Kontakte A1 und A2 eine Spannung angelegt werden kann. Sobald eine Spannung an der Spule anliegt, beginnt ein Strom durch die Spule zu fließen und ein Magnetfeld wird aufgebaut.

15

Durch dieses Magnetfeld wird eine Kraft auf ein weiteres Bauteil ausgeübt, womit, je nach Aktor und Anwendung, ein definierter Zustand herbeigeführt wird.

20 Die vorliegende Erfindung weist den Vorteil auf, dass aus den Zustandsgrößen der Spule auf den Zustand des elektromechanischen Aktors geschlossen werden kann, erläutert wird dies anhand des Beispiels eines elektromechanischen Relais. Dazu werden Zustandsgrößen der Spule, wie Spulenstrom
25 und Spulenspannung, über die gesamte Lebensdauer von elektromechanischen Relais erfasst.

Die vorliegende Erfindung weist den Vorteil auf, dass auch nur am Aktor gemessen werden kann, also z.B. nur die
30 Kontaktspannung und/oder den Kontaktstrom.

Daneben können auch andere Kenngrößen wie z.B. die Bestimmung des Schaltzeitpunktes über andere elektrische Schaltungen gemessen werden.

35

Hier kann eine entsprechende Messschaltung verwendet werden, bei der mit einer speziellen Schaltungstechnik jederzeit ermittelt werden kann, welchen Schaltzustand die Kontakte eines Relais aufweisen.

5

Die Annahme ist, dass die Messungen der Messgrößen Informationen enthalten, die auf den Verschleiß des Relais schließen lassen. Die Messgrößen werden von einer oder mehreren Messvorrichtungen digital erfasst, weitere

10 Informationen wie z.B. Zeitstempel oder Zählerstände können zusätzlich hinzugefügt werden.

Die Daten können kontinuierlich vorliegen oder nur bei Schaltereignissen aktualisiert werden. So kann die

15 Kontaktspannung nur dann übermittelt werden, wenn auch ein Schaltereignis vorliegt.

Die aktualisierten Daten werden genutzt, um mit mindestens einem maschinellen Lernverfahren Prädiktionen über den Zustand des elektromechanischen Aktors zu treffen.

20

Die Verarbeitung der Daten kann sowohl nach dem Überschreiten einer Zeitschranke als auch durch Events, wie bspw. das Anlegen einer Spannung, ausgelöst werden.

25

Mögliche Prädiktionen der maschinellen Lernverfahren sind:

. Restliche nutzbare Lebensdauer als relativer Anteil an der gesamten Lebensdauer

. Restliche nutzbare Lebensdauer als absolute Anzahl an

30 Nutzungszyklen oder -zeit

. Risiko für einen spontanen Ausfall in Prozent

. Typisierung des elektromechanischen Aktors

. Koeffizient für die Belastung oder Klassifizierung der Last des Aktors (Speziell Feedback bei Überlastung vom Aktor,

Gründe können sowohl Systemdesignfehler als auch Defekte anderer Systemkomponenten sein)

- . Binäre Fehlermeldung
- . Binäre Betriebsbereitschaft
- 5 . Prozessbezogene Informationen, wie beispielsweise eine Temperatur des Aktors

Die Figur 2 zeigt eine schematische Darstellung eines Spulenstroms für einen Ein- bzw. Ausschaltvorgang eines elektromechanischen Relais gemäß einem Ausführungsbeispiel der
10 vorliegenden Erfindung.

In Figur 2 ist der Spulenstrom für einen Ein- bzw. Ausschaltvorgang eines elektromechanischen Relais beispielhaft
15 dargestellt. In den folgenden Figuren wird diese Zustandsgröße exemplarisch für elektromechanische Relais analysiert.

Beim Einschalten ist auszumachen, dass der Strom sich gemäß einer realen Spule verhält und steigt dementsprechend von 1 ms
20 bis etwa 4 ms an. Ab etwa 5 ms nimmt der Strom ab, das ist damit zu begründen, dass ein magnetischer Anker durch das Magnetfeld der Spule bewegt wird und damit wiederum die Remanenz des magnetischen Kreises verändert. Letzteres führt zur beobachtbaren Verringerung des Stromes.

25 Nach wenigen Millisekunden erreicht der Anker seine Endposition, womit die Remanenz nicht mehr geändert wird und der Strom wieder gemäß einer realen Spule ansteigen kann. Das Erreichen der Endposition ist als lokales Minimum auszumachen.

30 Folglich enthält der Spulenstrom beim Einschalten eine Vielzahl von Informationen über den elektromechanischen Aktor u.a. die Bewegungsgeschwindigkeit, Bewegungszeitraum, Temperatur, Ankeraufschlag und ‚Gegenkräfte‘ nach dem
35 Aufschlag.

Für das Ausschalten ist zu erkennen, dass der Strom zunächst gemäß einer realen Spule abfällt. Ab etwa 3 ms ist jedoch ein Anstieg im Strom zu beobachten, hier wird durch die Rückbewegung des Ankers in die Ruheposition ein Strom induziert. Nach dem lokalen Maximum fällt der Strom wieder gemäß einer realen Spule ab. Somit enthält der Spulenstrom auch im Abschalten eine Vielzahl von relevanten Informationen über den elektromechanischen Aktor.

10

Schlussendlich wird mit dieser Betrachtung aufgezeigt, dass der Spulenstrom, der nur eine Zustandsgröße darstellt, viele Informationen enthält, die für den Zustand eines Relais relevant sind.

15

Diese Informationen sollen mit der vorliegenden Erfindung als Black Box Modellierung mittels maschinellen Lernverfahren zur Prädiktion des Zustandes der elektromechanischen Aktoren herangezogen werden.

20

Im Bereich F2A in der Figur 2 ist ein Ankeraufschlag der elektromechanischen Einrichtung 1000 dargestellt.

Im Bereich F2B in der Figur 2 ist dargestellt, dass durch das Magnetfeld der Spule im Aktor ein Anker bewegt wird, der wiederum die Remanenz der Spule und damit den Stromfluss ändert (Einbruch des Stromes).

Im Bereich F2C in der Figur 2 ist dargestellt:

30

Bei konstanter Spannung kann mit dem Spulenstrom auf die Spulentemperatur und damit auf die Aktortemperatur geschlossen werden.

Im Bereich F2D in der Figur 2 ist folgendes dargestellt.

35

Der Anker wird nach Abschalten der Versorgungsspannung in seine Ruheposition bewegt dabei wird ein Strom in der Spule induziert

5

Die Figur 3 zeigt eine schematische Darstellung eines Spulenstroms eines Relais im Ausschaltvorgang exemplarisch über die gesamte Lebensdauer gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung.

10

In Figur 3 ist der Spulenstrom eines Relais im Ausschaltvorgang exemplarisch über die Gesamte Lebensdauer dargestellt. Das Relais wurde unter realistischen Bedingungen in einem vollautomatischen Messaufbau mit einer genormten induktiven Last (DC13) gealtert. Es ist stellvertretend für die Relais, die eine kontinuierliche Degeneration aufweisen, wie sie bereits in anderen Patenten beschrieben wurde. Konkret ist zu erkennen, dass der induzierte Strom mit zunehmender Lebensdauer später und geringer auftritt. Über diese Information wäre dementsprechend eine Schätzung der Restlebensdauer eines elektromechanischen Aktors möglich.

15
20

Die Figur 4 zeigt eine schematische Darstellung eines Spulenstroms eines Relais im Ausschaltvorgang exemplarisch über die gesamte Lebensdauer gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung.

25

In Figur 4 ist der Spulenstrom eines Relais im Ausschaltvorgang exemplarisch über die Gesamte Lebensdauer dargestellt. Das Relais wurde unter realistischen Bedingungen in einem vollautomatischen Messaufbau mit einer genormten Last (DC13) gealtert. Es ist stellvertretend für die Relais, die einen spontanen Ausfall aufweisen.

30

Im Vergleich zu Figur 3 ist zu erkennen, dass der Zeitpunkt, zu dem der Strom induziert wird, zunächst annähernd konstant und nur lokal leichte Abweichungen auszumachen sind. Lediglich kurzfristig vor dem Ausfall des Relais ist eine sprunghafte Änderung des Zeitpunktes zu beobachten. Diese Anomalie in der Form des Stromes ist ein Hinweis auf einen bevorstehenden Ausfall des Relais. Im Kontext dieser Erfindung wäre mit dem Spulenstrom folglich eine Schätzung des Ausfallrisikos eines elektromechanischen Aktors möglich.

10

Im Bereich F4A in der Figur 4 ist dargestellt, dass ein induzierter Strom ohne Trend vorhanden ist.

Im Bereich F4B in der Figur 4 ist dargestellt, dass eine spontane starke Änderung im Spulenstrom, auch als Anomalie zu bezeichnen, vorhanden ist.

Im Bereich F4C in der Figur 4 ist der Beginn des Ausschaltvorgangs dargestellt.

20

Die Figur 5 zeigt eine schematische Darstellung eines Diagramms, das die Prädiktionen für ein Relais über seine gesamte Lebensdauer gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung enthält.

In Figur 5 sind die Prädiktionen für ein Relais über seine gesamte Lebensdauer dargestellt. Es handelt sich um ein Relais, das eine kontinuierliche Degeneration aufweist. Die Prädiktionen sind das Ergebnis eines maschinellen Lernverfahrens, dem die zuvor genannten Zustandsgrößen als Eingabe zugeführt wurden.

Zum einen wird die Restlebensdauer als relativer Anteil der restlichen Schaltzyklen an den gesamten Schaltzyklen

35

geschätzt, mit dieser Größe kann eine langfristige Planung der Instandhaltung durchgeführt werden, da aus den Prädiktionen eine Degenerationsgeschwindigkeit bestimmt werden kann und somit die verbleibende/n Zyklen bzw. Zeit berechnet werden können. Weiterhin wird das Ausfallrisiko geschätzt, dabei werden z.B. kurzfristige anormale Änderungen der Spulenstromform herangezogen.

Diese Zielgröße eignet sich, um kurzfristig Wartungsmaßnahmen einzuleiten, um einen Ausfall des Aktors und damit der Anlage zu verhindern.

Im Bereich F5A in der Figur 5 ist folgendes dargestellt.

Es erfolgt ein Austauschhinweis aufgrund von einem Ausfallrisiko $> 50\%$.

Im Bereich F5B in der Figur 5 ist folgendes dargestellt.

Langfristige Planung der Wartung durch Restlebensdauer (aus den Prädiktionen kann eine Degenerationsgeschwindigkeit berechnet werden, mit der die Zeit oder Zyklen bis zum Ausfall approximiert werden können.

Die Figur 6 zeigt eine schematische Darstellung eines Diagramms, das die Prädiktionen für ein Relais über seine gesamte Lebensdauer gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung enthält.

In Figur 6 sind die Prädiktionen für ein Relais über seine gesamte Lebensdauer dargestellt. Es handelt sich um ein Relais, das einen spontanen Ausfall aufweist. Die Prädiktionen sind das Ergebnis desselben maschinellen Lernverfahrens, das für Figur 5 genutzt wurde. Beide Prädiktionen müssen an dieser Stelle differenziert betrachtet werden.

Die Restlebensdauer wird über die gesamte Lebensdauer mit mehr als 80 % geschätzt. Eine langfristige Planung der Instandhaltung auf Basis dieser Prädiktion ist in diesem Fall nicht möglich. Physikalisch kann diese Beobachtung damit begründet werden, dass das Relais nicht aufgrund von langfristiger Degeneration ausgefallen ist, sondern ein kurzfristiger Effekt, wie beispielsweise ein Verkleben der Kontakte zum Ausfall geführt hat.

10

Ein solcher Effekt kann nicht langfristig erkannt werden und die Prädiktionen der Restlebensdauer sind daher unbrauchbar. An dieser Stelle kann das Ausfallrisiko herangezogen werden, denn vor dem Lebensende des Relais wird diese Zielgröße als besonders hoch eingeschätzt. Eine rechtzeitige Instandhaltung kann auf Basis dieser Größe erfolgen.

15

Im Bereich F6A in der Figur 6 ist folgendes dargestellt.

20

Es erfolgt ein Austauschhinweis für die elektromechanische Einrichtung 1000 aufgrund von einem Ausfallrisiko $> 50\%$ basierend auf dem aktuellen Betriebszustand der elektromechanischen Einrichtung 1000.

25

Die Figur 7 zeigt eine schematische Darstellung einer Vorrichtung gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung.

30

In Figur 7 ist ein Minimalbeispiel eines erfindungsgemäßen Aufbaus skizziert. Hier kommt ein Relais- Sockel zum Einsatz, der den Spulenstrom über einen Messwiderstand (Shunt) in eine Spannung umwandelt, welche über eine Messvorrichtung digital erfasst wird und über eine Schnittstelle (Data+ Data-)

35

weiterleitet wird. Es können zusätzliche Daten hinzugefügt

werden wie z.B. Zeitstempel, Temperaturen etc. Die Hilfsenergie kann entweder von extern (PWR+ PWR-) hinzugefügt werden oder sie wird aus dem Spulenansteuerungssignal an A1 und A2 abgegriffen.

5

Wenn dieser Fall gewählt wird, ist darauf zu achten, dass die Energieversorgung nur dann sichergestellt ist, wenn auch eine Spannung an den Anschlüssen A1 und A2 anliegt. Ggf. müsste über einen Pufferkondensator Energie zwischengespeichert werden, um die Daten auch noch nach einem Messvorgang übertragen zu können.

10

Die Auswertungsvorrichtung wird in diesem Minimalbeispiel extern als Software in einem weiteren Modul oder in der Cloud ausgeführt. Die Eingaben der maschinellen Lernverfahren werden durch die zuvor beschreibende Schnittstelle bezogen.

15

Optional ist ein Rückkanal, um den Zustand visuell am Relaissockel darzustellen oder Eingriffe in die Steuerung zu ermöglichen.

20

Die Figur 8 zeigt schematische Darstellung eines Stand-Alone-Relais-Sockel gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung.

25

In Figur 8 ist ein Stand-Alone-Relais-Sockel skizziert, der sowohl die Messvorrichtung als auch die Auswertungsvorrichtung beinhaltet. Es gibt eine optionale Anzeige, mit der bspw. die folgenden Fälle visualisiert werden:

30

- . Klasse 1: Neues Produkt
- . Klasse 2: Abgenutztes Produkt
- . Klasse 3: Ausfallrisiko hoch

35

Es kann bei dieser Ausführungsform sinnvoll sein, dass das eingesetzte Relais mit dem Relais-Sockel „verheiratet“ wird,

also z.B. bereits direkt nach der Produktion und vor der Auslieferung des Produktes an den Kunden einige Schaltzyklen durchlaufen werden und das neuronale Netz genau für dieses Relais ein „Finetuning“ erhält.

5

Sollte später ein neues Relais in den Sockel eingesetzt werden, könnte das neuronale Netz z.B. kurzfristig auf das neue Relais nachtrainiert werden. Dies kann in einer sogenannten Initialisierungsphase geschehen.

10

In einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung vorgesehen ist ferner vorgesehen, dass Zusatzinformation über das Relais (z.B. Herstellercode) händisch in das Relais-Sockel eingegeben werden, über eine zusätzliche Datenschnittstelle, damit die Prognose des neuronalen Netzes verbessert wird.

15

Der zusätzliche optionale Datenschnittstelle kann sinnvoll sein, um Informationen über den Zustand des Relais in ein übergeordnetes Netzwerk bereitzustellen. Es ist ebenfalls vorstellbar, dass über die Schnittstelle „Updates“ in den Relais-Sockel übertragen werden.

20

Die Figur 9 zeigt eine schematische Darstellung einer Abwandlung von dem Relais-Sockel aus Figur 8 gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung.

25

In Figur 9 ist eine Abwandlung von dem Relais-Sockel aus Figur 8 derart dargestellt, dass gezeigt wird, dass neben dem Spulenstrom auch noch andere Messtechnik in dem Relais-Sockel integriert sein kann. Die Möglichkeiten sind hier vielfältig und kurz in der Figur 9 beschrieben. Dabei kann vorgesehen sein, dass vorteilhaft entsprechende Schaltungstechnik zum Einsatz kommen kann, um Informationen zum Schaltzeitpunkt des Kontaktes zu erhalten, ohne eine aufwändige direkte Messtechnik auf der Kontaktseite durchführen zu müssen.

35

Die Figur 10 zeigt eine schematische Darstellung einer Anordnung, bei der mehrere Relaissockel über einen lokalen Kommunikationsbus miteinander verbunden sind, gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung.

In Figur 10 sind mehrere Relaissockel über einen lokalen Kommunikationsbus miteinander verbunden und die einzelnen Messdaten der Relais-Sockel werden von einem zentralen Kopfmodul verwaltet. In dem Kopfmodul kann die Auswertungsvorrichtung eingebracht werden, sodass mehrere elektromechanische Aktoren eine Auswertungsvorrichtung teilen. Dieses Vorgehen ist besonders Kosteneffizient. Das Kopfmodul kann mit einer weiteren Datenschnittstelle ausgestattet sein, um Daten extern zu kommunizieren.

Weiterhin ist es in einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung vorgesehen, dass vom Kopfmodul die Daten der einzelnen Relais nur gesammelt und/oder vorverarbeitet werden und ein Teil der Auswertungsvorrichtung als Software extern ausgeführt wird.

Die Figur 11 zeigt die Funktionsweise der Auswertungsvorrichtung gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung.

In Figur 11 wird die Funktionsweise der Auswertungsvorrichtung dargestellt. Es handelt sich um drei Subsysteme, die alle als reine Software ausführbar sind und somit auf beliebigen Endgeräten ausgeführt werden können, vom Mikroprozessor über die Server einer Cloud bis zu lokalen Computern sind diverse Systeme für die Ausführung in unterschiedlichen Ausführungsbeispielen der vorliegenden Erfindung vorgesehen.

Der Auswertungseinrichtung werden Daten eingespeist, wie bspw. Zeitreihen von Spulenstrom und -spannung und dazugehörige Metadaten. Diese Daten müssen zunächst in einem dazu eingerichteten Modul, etwa einem Daten-Vorverarbeitungsmodul, vorverarbeitet werden, so dass die Daten standardisiert werden oder Ausreißer eliminiert werden.

Anschließend werden maschinellen Lernverfahren verwendet, um die oben genannten Ausgaben zu präzisieren. Dargestellt wird dieser Schritt mit mehreren angereihten Modulen, da für die Ausgaben unterschiedliche maschinelle Lernverfahren notwendig sein können.

Die Prädiktionen werden schlussendlich im Modul Handlungsempfehlung genutzt, um konkrete Handlungsempfehlungen, wie beispielsweise ‚Aktor wechseln‘ zu tätigen.

Die Fig. 12 zeigt eine schematische Darstellung einer Vorrichtung 100 zum Erkennen einer Abnutzung einer elektromechanischen Einrichtung 1000 gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung.

Die Vorrichtung 100 umfasst eine Messeinrichtung 10 und eine Auswerteeinrichtung 20.

Die Messeinrichtung 10 ist dazu ausgebildet, mindestens einen vorbestimmten Betriebsparameter der elektromechanischen Einrichtung 1000 zu erfassen.

Die Auswerteeinrichtung 20 ist dazu ausgebildet, anhand von maschinellen Lernen unter Zuhilfenahme von Massendaten, vorzugsweise in Form von Trainingsdaten, aus dem erfassten vorbestimmten Betriebsparameter der elektromechanischen

Einrichtung einen aktuellen Betriebszustand der elektromechanischen Einrichtung zu ermitteln.

Das vorliegende Verfahren ermöglicht eine Verschleißerkennung, d.h. eine Überwachung einer Abnutzung bzw. des Abnutzungsverhaltens einer elektromechanischen Einrichtung oder eines elektromechanischen Schaltgerätes, bereitzustellen.

Die Messeinrichtung 10 ist beispielsweise als eine Messvorrichtung zum Detektieren eines Betriebsparameters ausgebildet, wie etwa ein Ereignis, d.h. etwa ein Schaltvorgang der elektromechanischen Einrichtung, eine Temperaturerhöhung der elektromechanischen Einrichtung, oder auch eine Entfernung oder ein Ausfall der elektromechanischen Einrichtung in Form des Relais.

Die Messeinrichtung 10 ist beispielsweise als eine Messvorrichtung zur Detektion eines Kurvenverlaufes und/oder einer oder mehrerer charakteristischer Größen des Ereignisses ausgebildet.

Die Auswerteeinrichtung 20 ist beispielsweise dazu ausgebildet, ein Zuordnen von digitalen repräsentativen Daten zu dem aktuellen Ereignis bzw. dem aktuellen Betriebsparameter vorzunehmen.

Es kann ferner ein Einspielen der repräsentativen Daten und/oder der Trainingsdaten und/oder von Zustandsdaten in das künstliche neuronale Netz erfolgen.

Das Ereignis bzw. der Betriebsparameter kann beispielsweise ein Spulenstrom im Einschaltmoment sein, es können auch mehrere elektrische oder physikalische Größen zu einem Betriebsparameter zusammengefasst werden, etwa Spulenstrom und Kontaktspannung. Als Betriebsparameter kann auch ein

berechneter Wert wie beispielsweise ein ermittelter Überhub sein.

Die Fig. 13 zeigt eine schematische Darstellung eines
5 Flussdiagramms eines Verfahrens zum Erkennen einer Abnutzung einer elektromechanischen Einrichtung gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung.

Als ein erster Verfahrensschritt erfolgt ein Erfassen S1 von
10 mindestens einem vorbestimmten Betriebsparameter der elektromechanischen Einrichtung 1000 mittels einer Messeinrichtung 10.

Als ein zweiter Verfahrensschritt erfolgt ein Ermitteln S2
15 eines aktuellen Betriebszustandes der elektromechanischen Einrichtung 1000 anhand eines maschinellen Lernen unter Zuhilfenahme von Massendaten, vorzugsweise in Form von Trainingsdaten, aus dem erfassten vorbestimmten Betriebsparameter der elektromechanischen Schalteinrichtung
20 1000 mittels einer Auswerteeinrichtung.

Weiterhin ist es denkbar eine Steuerungsebene zu nutzen, damit
soll es ermöglicht werden, dass automatisch von einer Steuerung oder manuell von einem Nutzer bedarfsgerecht
25 Informationen bezogen werden können. Denkbar wären auf diesem Weg spezielle Abfragen, wie eine Abschätzung der Belastung oder die Überlebenswahrscheinlichkeit in der nächsten Woche.

Die Fig. 14 zeigt eine schematische Darstellung einer
30 Fehlerverteilung oder Ausfallverteilung für eine Abnutzung einer elektromechanischen Einrichtung gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung.

Aufgrund der in Fig. 14 dargestellten multimodalen
35 Fehlerverteilung bzw. Ausfallverteilung der

elektromechanischen Einrichtung kann der Schätzer gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung im Betrieb konfiguriert werden, so dass die folgenden zwei Zielwerte gewählt werden:

5

- i. Die Restnutzungsdauer, RUL
- ii. Das Ausfallrisiko, FR

Die RUL der elektromechanischen Einrichtung 1000 ist ein
10 typischer Zielwert im Kontext der vorausschauenden
Instandhaltung. Messdaten des Betriebs der elektromechanischen
Einrichtung 1000 werden als Eingabe verwendet und die
Restnutzungsdauer, RUL, und das Ausfallrisiko, FR, der
elektromechanischen Einrichtung 1000 werden als Ausgabe
15 vorhergesagt.

Bei der in Fig. 14 dargestellten multimodalen Fehlerverteilung
bzw. Ausfallverteilung werden eine kontinuierliche
Degeneration der elektromechanischen Einrichtung 1000 und ein
20 spontanes Versagen der elektromechanischen Einrichtung 1000
gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung
dargestellt.

Die dargestellte Ausfallverteilung wird oft als
25 Badewannenkurve bezeichnet und charakterisiert die multimodale
Fehler- bzw. Ausfallverteilung, so dass die
Auswerteeinrichtung 20 dazu ausgebildet ist, den aktuellen
Betriebszustand aus dem erfassten vorbestimmten
Betriebsparameter über eine Mehrzahl von Zielgrößen zu
30 ermitteln, wobei vorzugsweise die Mehrzahl von Zielgrößen
einer multimodalen Ausfallverteilung entsprechen.

Die zugrundeliegenden Daten der in Fig. 14 dargestellten
multimodalen Fehlerverteilung können als Trainings- bzw.
35 Massendaten für das Trainingsverfahren zum Trainieren eines

Schätzers mit Betriebsdaten zu verschiedenen Abnutzungsgraden für eine Vorrichtung zum Erkennen einer Abnutzung einer elektromechanischen Einrichtung verwendet werden.

5 Obwohl die vorliegende Erfindung anhand bevorzugter Ausführungsbeispiele vorstehend beschrieben wurde, ist sie nicht darauf beschränkt, sondern auf vielfältige Art und Weise modifizierbar. Insbesondere lässt sich die Erfindung in mannigfaltiger Weise verändern oder modifizieren, ohne vom
10 Kern der Erfindung abzuweichen.

Ergänzend sei darauf hingewiesen, dass „umfassend“ und „aufweisend“ keine anderen Elemente oder Schritte ausschließt und „eine“ oder „ein“ keine Vielzahl ausschließt.

15

Ferner sei darauf hingewiesen, dass Merkmale oder Schritte, die mit Verweis auf eines der obigen Ausführungsbeispiele beschrieben worden sind, auch in Kombination mit anderen Merkmalen oder Schritten anderer oben beschriebener
20 Ausführungsbeispiele verwendet werden können. Bezugszeichen in den Ansprüchen sind nicht als Einschränkung anzusehen.

Patentansprüche

1. Vorrichtung (100) zum Erkennen einer Abnutzung einer
5 elektromechanischen Einrichtung (1000), wobei die Vorrichtung
(100) umfasst:
- eine Messeinrichtung (10), welche dazu ausgebildet ist,
10 mindestens einen vorbestimmten Betriebsparameter der
elektromechanischen Einrichtung (1000) zu erfassen; und
 - eine Auswerteeinrichtung (20), welche dazu ausgebildet
15 ist, anhand von maschinellen Lernen unter Zuhilfenahme
von Massendaten, vorzugsweise in Form von
Trainingsdaten, aus dem erfassten vorbestimmten
Betriebsparameter der elektromechanischen Einrichtung
(1000) einen aktuellen Betriebszustand der
elektromechanischen Einrichtung (1000) zu ermitteln.
- 20 2. Vorrichtung (100) nach Patentanspruch 1,
wobei die Auswerteeinrichtung (20) dazu ausgebildet ist, für
das maschinelle Lernen einen trainierten Schätzer mit
Betriebsdaten zu verschiedenen Abnutzungsgraden einzusetzen
und den trainierten Schätzer für das Ermitteln des aktuellen
25 Betriebszustands der elektromechanischen Einrichtung (1000) zu
verwenden.
3. Vorrichtung (100) nach Patentanspruch 2,
wobei der Schätzer als ein Klassifizierungs- und/oder
30 Regressionsschätzer ausgebildet ist.
4. Vorrichtung (100) nach Patentanspruch 2 oder 3,
wobei der Schätzer ein tiefes, neuronales Netz aufweist, das
Faltungsschichten und/oder rekurrente Schichten aufweist.

5. Vorrichtung (100) nach einem der vorhergehenden Patentansprüche,
wobei die Auswerteeinrichtung (20) dazu ausgebildet ist, den
5 aktuellen Betriebszustand aus dem erfassten vorbestimmten Betriebsparameter unter Annahme einer multimodalen Ausfallverteilung zu ermitteln;
wobei vorzugsweise die Auswerteeinrichtung (20) dazu ausgebildet ist, den aktuellen Betriebszustand aus dem
10 erfassten vorbestimmten Betriebsparameter über eine Mehrzahl von Zielgrößen zu ermitteln, wobei besonders bevorzugt die Mehrzahl von Zielgrößen einer multimodalen Ausfallverteilung entsprechen.

15 6. Vorrichtung (100) nach einem der vorhergehenden Patentansprüche,
wobei die Messeinrichtung (10) ferner dazu ausgebildet ist, zum dem erfassten mindestens einen vorbestimmten Betriebsparameter der elektromechanischen Einrichtung weitere
20 Informationen in der Form eines Zeitstempels oder eines Zählerstands hinzuzufügen.

7. Vorrichtung (100) nach einem der vorhergehenden Patentansprüche,
25 wobei die Messeinrichtung (10) ferner dazu ausgebildet ist, den Betriebsparameter der elektromechanischen Einrichtung kontinuierlich zu erfassen oder nur bei einem Schaltereignis der elektromechanischen Einrichtung den Betriebsparameter zu erfassen.

30 8. Vorrichtung (100) nach einem der vorhergehenden Patentansprüche,
wobei die Auswerteeinrichtung (20) dazu ausgebildet ist, ferner Prädiktionen über einen zukünftigen Betriebszustand der
35 elektromechanischen Einrichtung (1000) zu ermitteln.

9. Vorrichtung (100) nach einem der vorhergehenden Patentansprüche,
wobei die Auswerteeinrichtung (20) dazu ausgebildet ist, den
5 aktuellen Betriebszustand oder die Prädiktionen über den zukünftigen Betriebszustand der elektromechanischen Einrichtung (1000) nach Ablauf einer Zeitspanne oder durch ein Trigger-Ereignis getriggert zu ermitteln.
- 10 10. Vorrichtung (100) nach Patentanspruch 8 oder 9,
wobei als Prädiktionen vorgesehen sind:
- . eine restliche nutzbare Lebensdauer als relativer Anteil an der gesamten Lebensdauer der elektromechanischen Einrichtung (1000);
 - 15 . eine restliche nutzbare Lebensdauer als absoluter Anteil an Nutzungszyklen oder -zeit der elektromechanischen Einrichtung (1000);
 - . eine Risikowahrscheinlichkeit für einen spontanen Ausfall der elektromechanischen Einrichtung (1000);
 - 20 . eine Typisierung der elektromechanischen Einrichtung (1000);
 - . ein Koeffizient für eine Belastung oder eine Klassifizierung einer Last der elektromechanischen Einrichtung (1000);
 - . eine binär-codierte Fehlermeldung;
 - . eine binär-codierte Betriebsbereitschaft; und/oder
 - 25 . prozessbezogene Informationen der elektromechanischen Einrichtung (1000).
11. Vorrichtung (100) nach einem der vorhergehenden Patentansprüche,
30 wobei die Auswerteeinrichtung (20) dazu ausgebildet ist, in eine Fassungs Vorrichtung für die elektromechanische Einrichtung (1000) integriert zu werden.
12. Vorrichtung (100) nach einem der vorhergehenden
35 Patentansprüche,

wobei die Vorrichtung (100) ferner eine Anzeigeneinrichtung umfasst, welche vorzugsweise dazu ausgebildet ist, den aktuellen Betriebszustand der elektromechanischen Einrichtung (1000) anzuzeigen.

5

13. Vorrichtung (100) nach einem der vorhergehenden Patentansprüche,

wobei der mindestens eine vorbestimmte Betriebsparameter der elektromechanischen Einrichtung (1000) eine Betätigungskraft, eine Gegenkraft, einen Betätigungsweg, einen Überhub, einen Schalterpunkt, einen Lichtimpuls, einen Lichtbogen, ein akustisches Signal, ein Magnetfeld, eine Temperatur, einen Spulenstrom, eine Spulenspannung, einen Kontaktstrom, einen Laststrom oder eine Kontaktspannung umfasst; und/oder

15 wobei die Massendaten beliebige Betriebsparameter umfassen und die beliebigen Betriebsparameter eine Betätigungskraft, eine Gegenkraft, einen Betätigungsweg, einen Überhub, einen Schalterpunkt, einen Lichtimpuls, einen Lichtbogen, ein akustisches Signal, ein Magnetfeld, eine Temperatur, einen

20 Spulenstrom, eine Spulenspannung, einen Kontaktstrom, einen Laststrom oder eine Kontaktspannung der elektromechanischen Einrichtung (1000) umfassen.

14. Vorrichtung (100) nach einem der vorhergehenden Patentansprüche,

wobei die Messeinrichtung (10) dazu ausgebildet ist, die beliebigen Betriebsparameter als Kennlinien basierend auf einer Vorabmessung während einer Initialisierungsphase der elektromechanischen Einrichtung (1000) zu erfassen.

30

15. Verfahren zum Erkennen einer Abnutzung einer elektromechanischen Einrichtung (1000), wobei das Verfahren folgende Verfahrensschritte umfasst:

- Erfassen (S1) von mindestens einem vorbestimmten Betriebsparameter der elektromechanischen Einrichtung (1000) mittels einer Messeinrichtung (10); und
- 5 - Ermitteln (S2) eines aktuellen Betriebszustandes der elektromechanischen Einrichtung (1000) anhand eines maschinellen Lernen unter Zuhilfenahme von Massendaten, vorzugsweise in Form von Trainingsdaten, aus dem erfassten vorbestimmten Betriebsparameter der
- 10 elektromechanischen Schalteinrichtung (1000) mittels einer Auswerteeinrichtung (20).

16. Verfahren nach Anspruch 15, wobei für das maschinelle Lernen ein mit Betriebsdaten zu

15 verschiedenen Abnutzungsgraden trainierter Schätzer eingesetzt wird und der trainierte Schätzer für das Ermitteln des aktuellen Betriebszustands der elektromechanischen Einrichtung (1000) verwendet wird.

20 17. Verfahren nach Anspruch 15, wobei der Schätzer als ein Klassifizierungs- und/oder Regressionsschätzer ausgebildet wird.

18. Trainingsverfahren zum Trainieren eines Schätzers mit

25 Betriebsdaten zu verschiedenen Abnutzungsgraden für eine Vorrichtung zum Erkennen einer Abnutzung einer elektromechanischen Einrichtung nach einem der vorhergehenden Patentansprüche 1 bis 14.

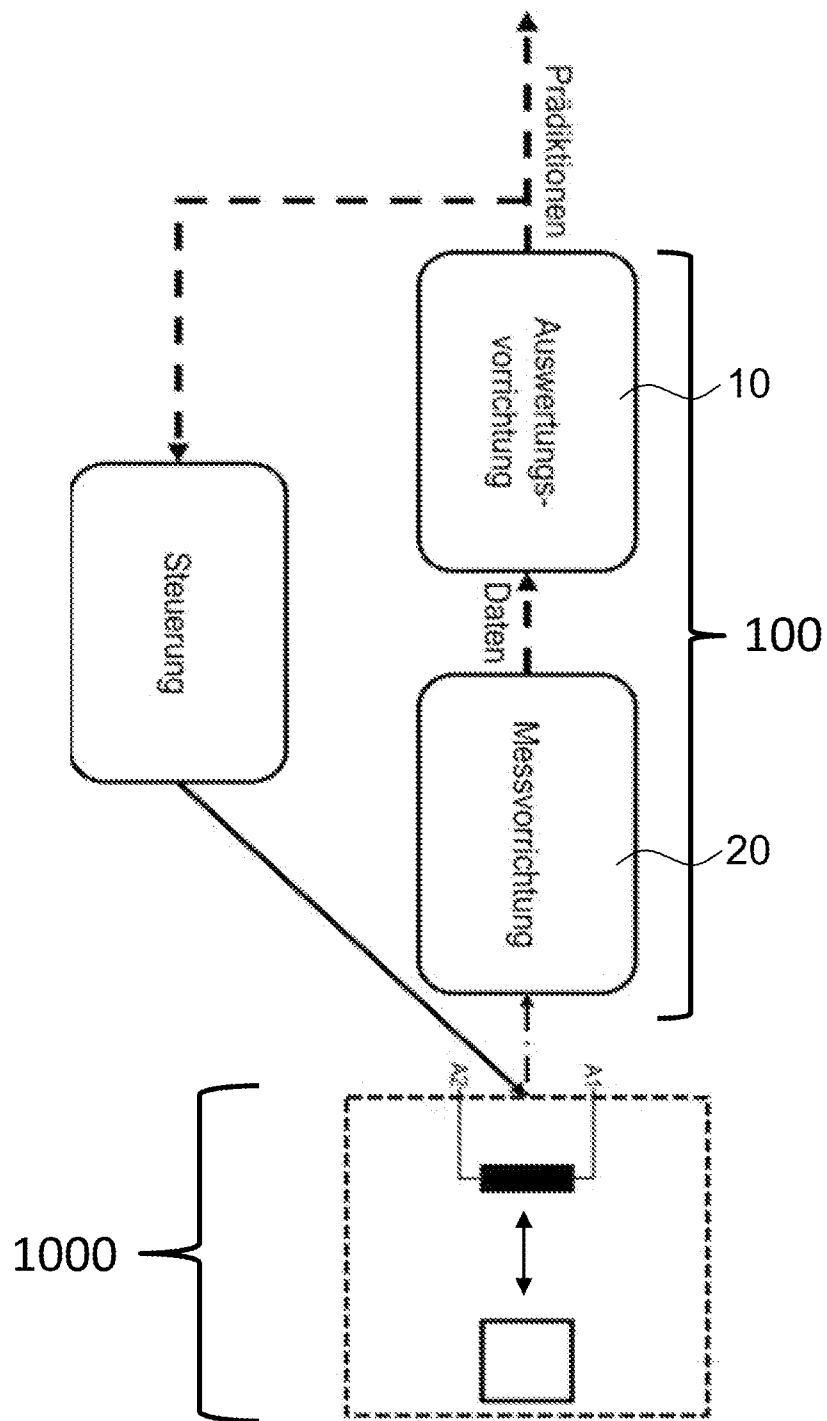


Fig. 1

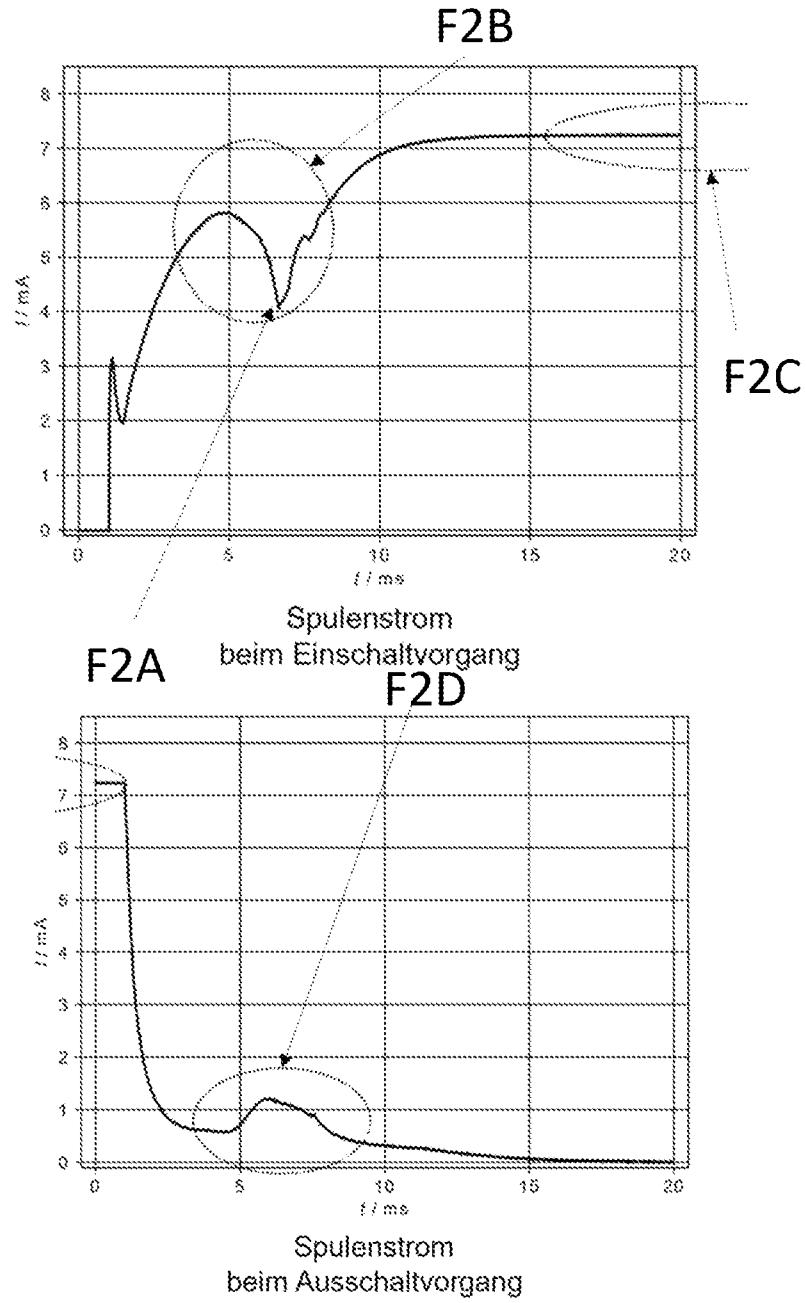


Fig. 2

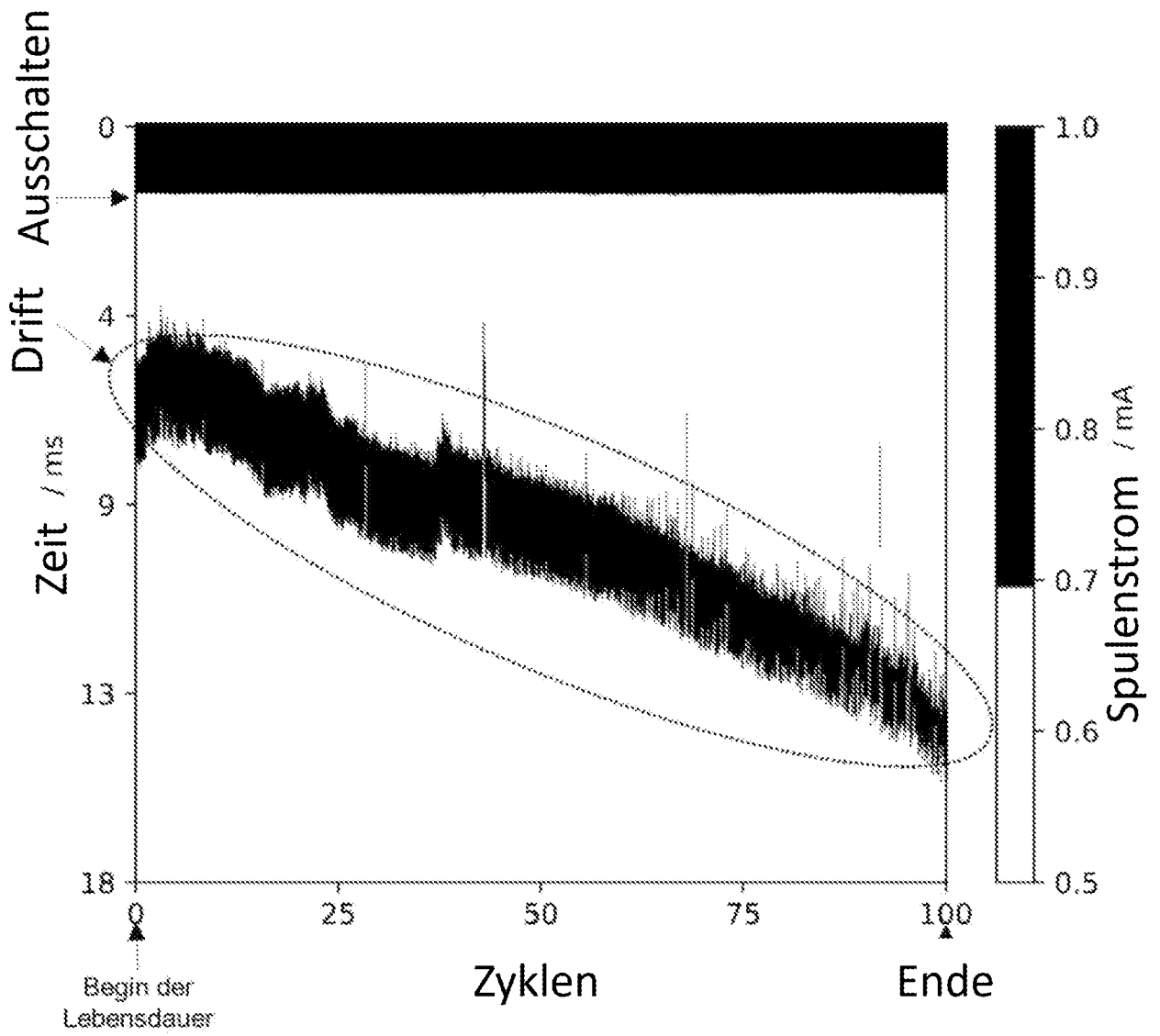


Fig. 3

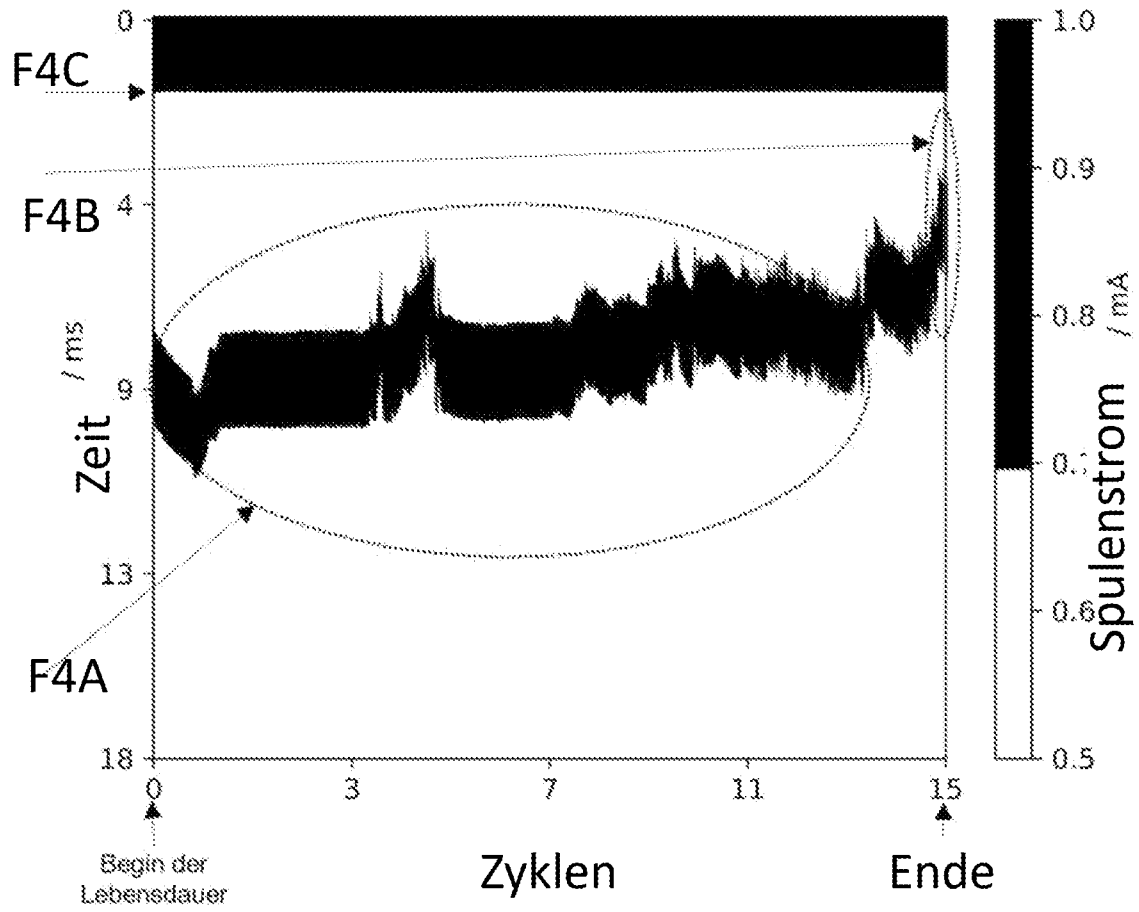


Fig. 4

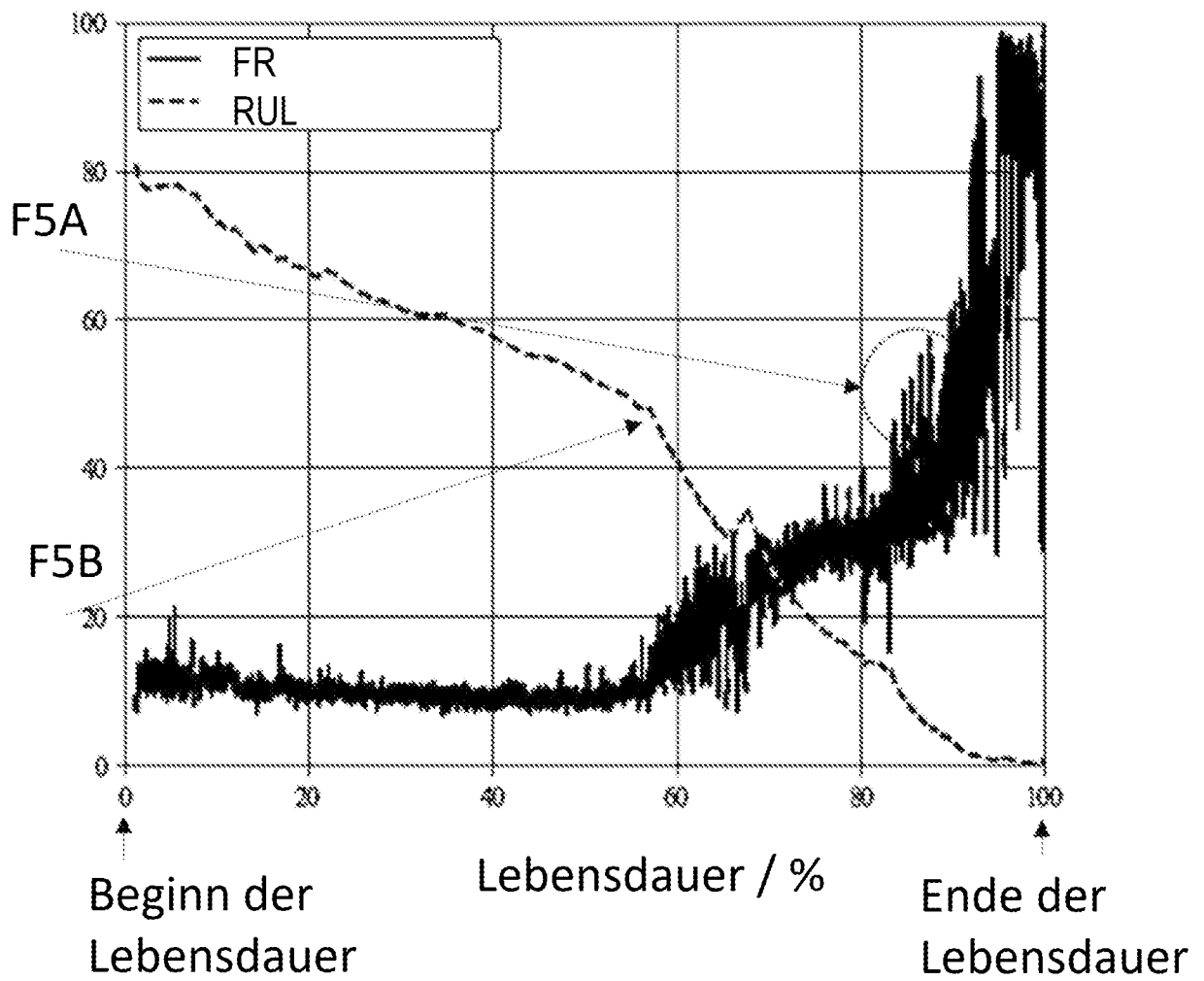


Fig. 5

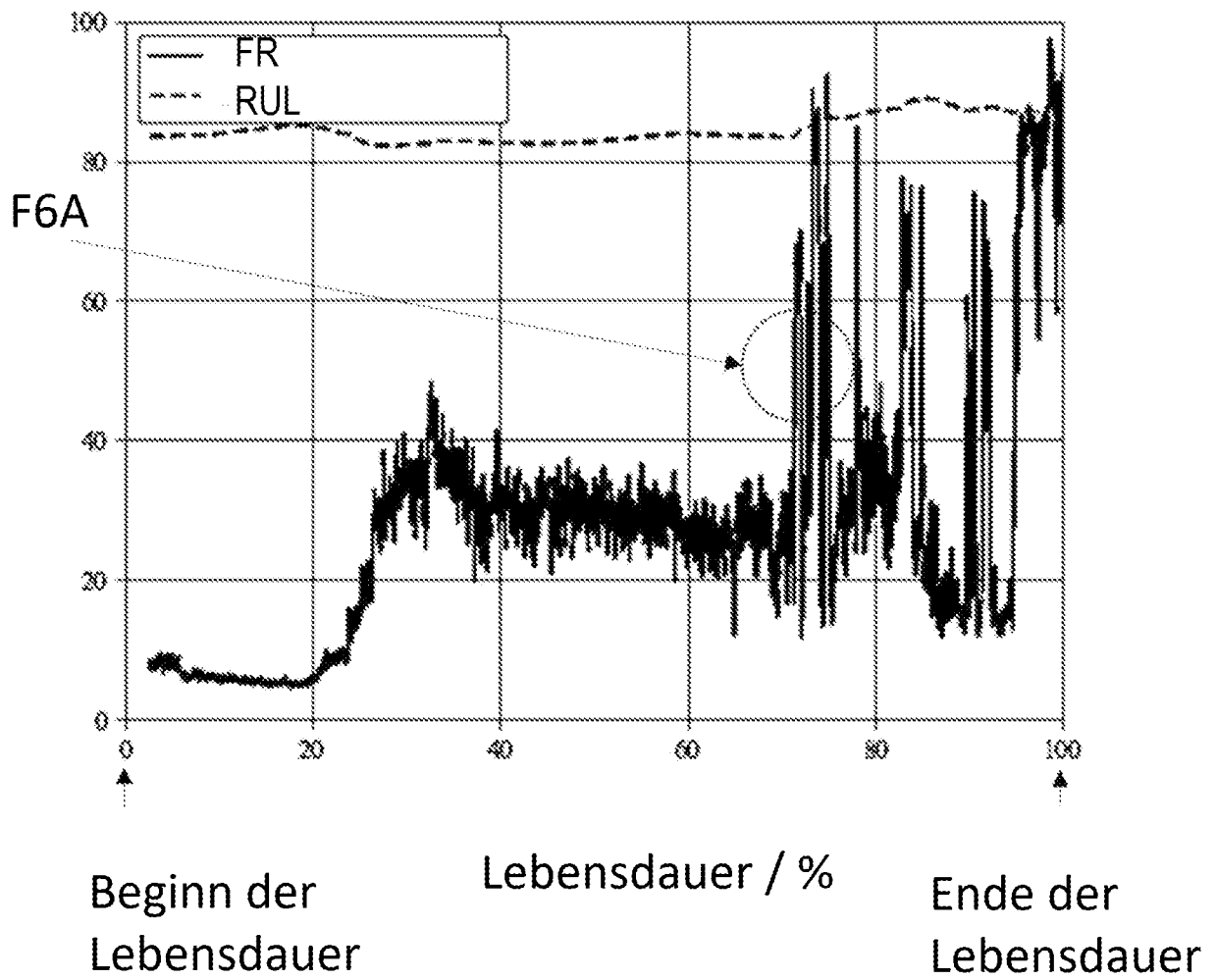


Fig. 6

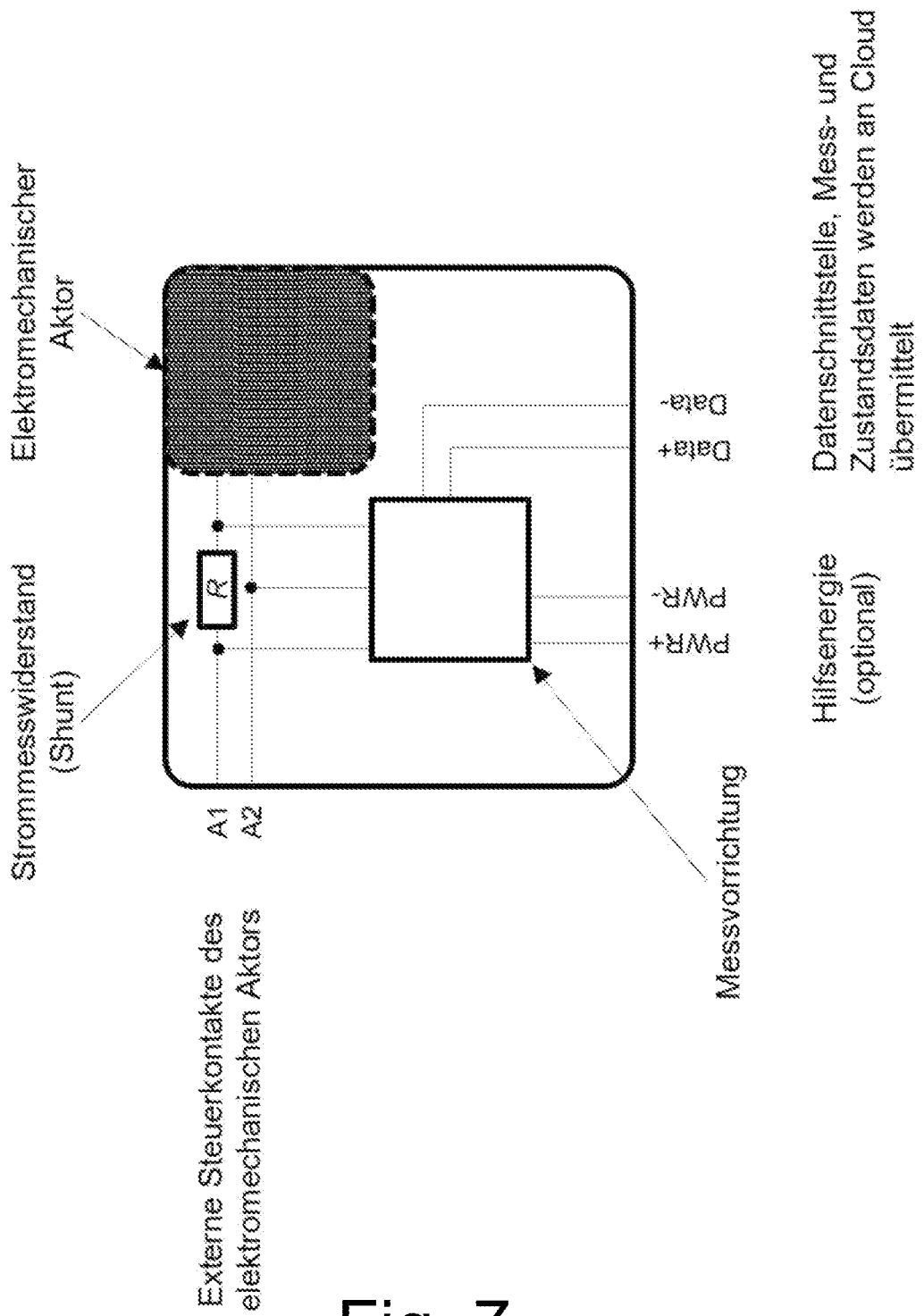


Fig. 7

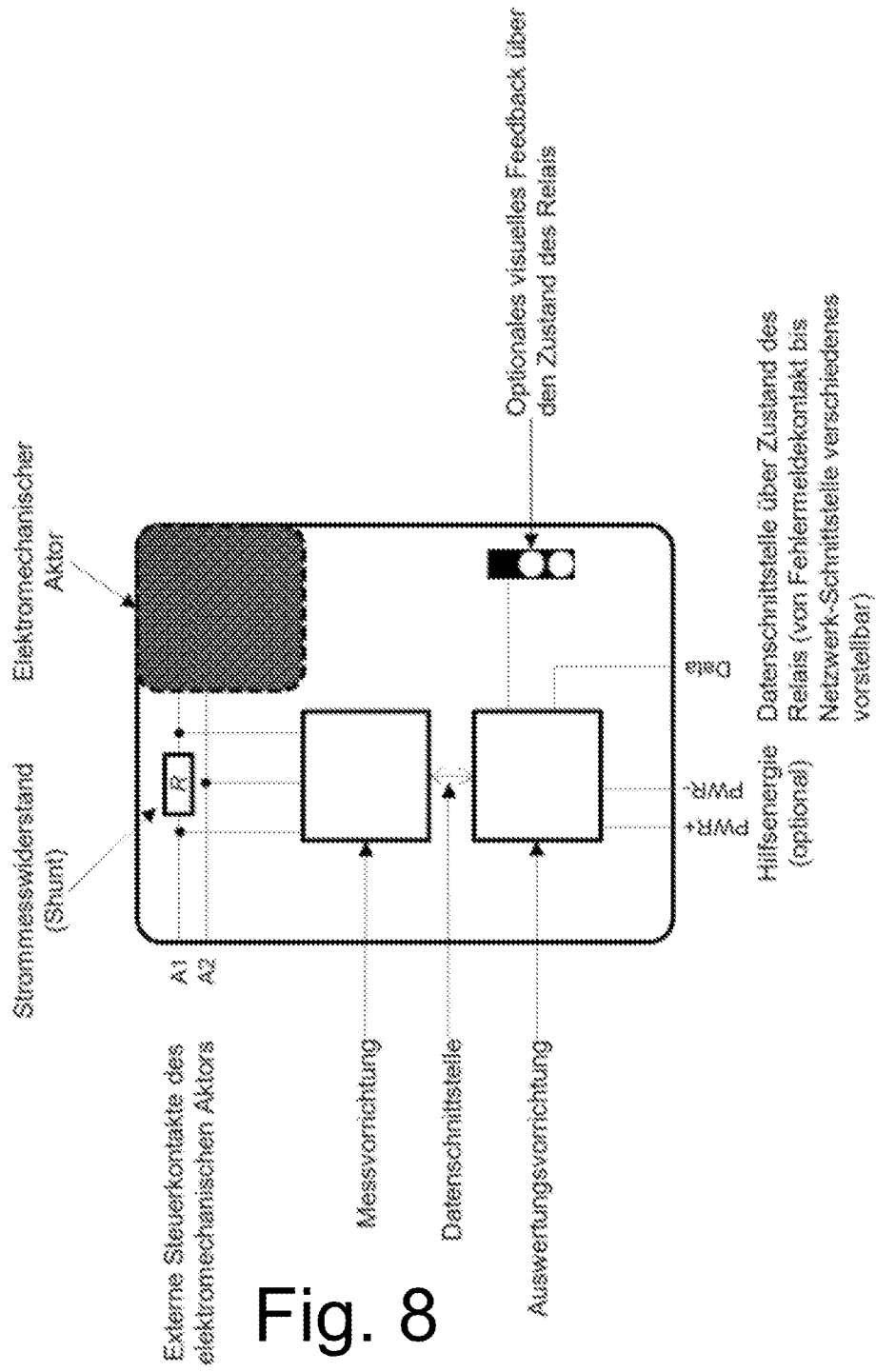


Fig. 8

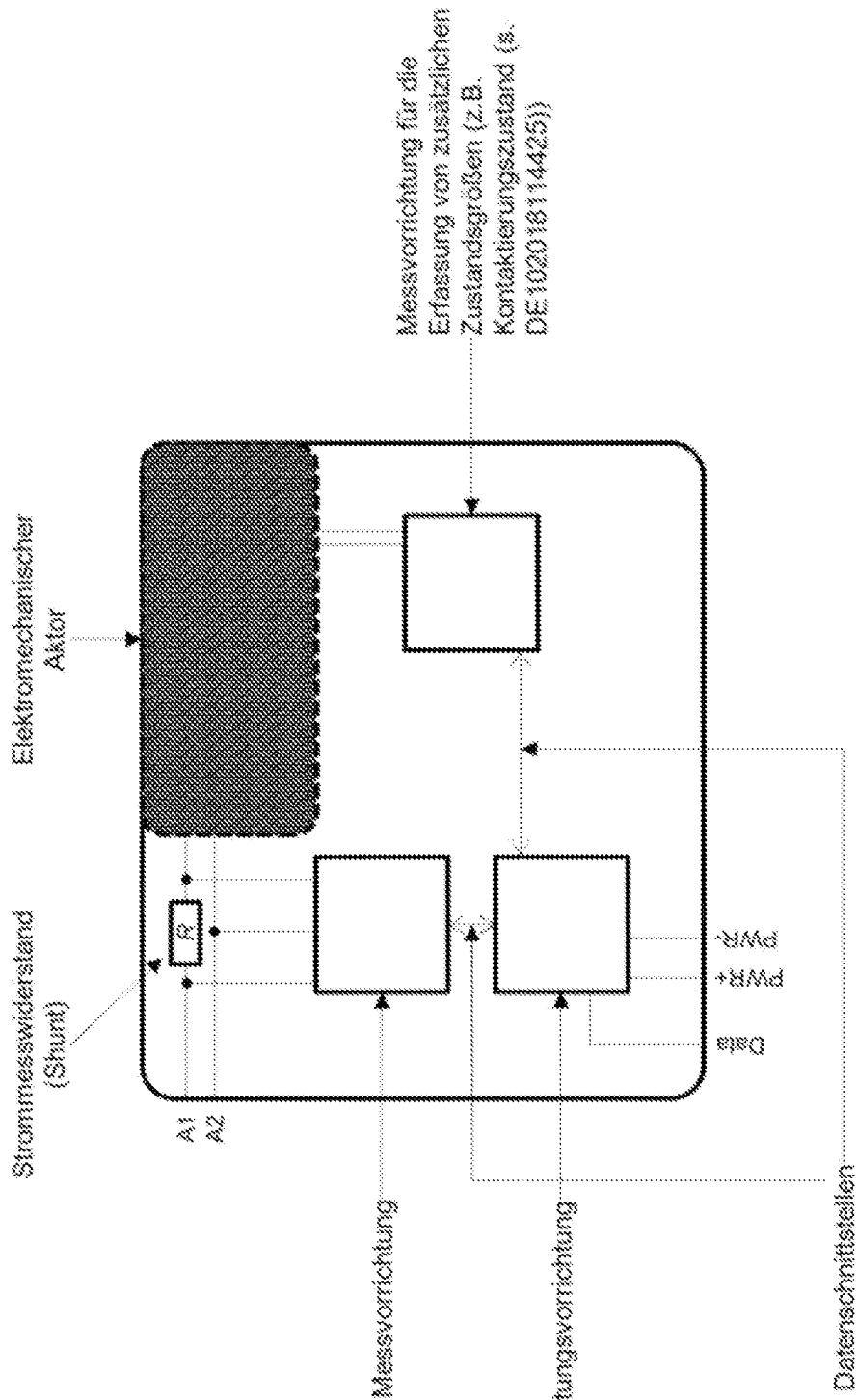


Fig. 9

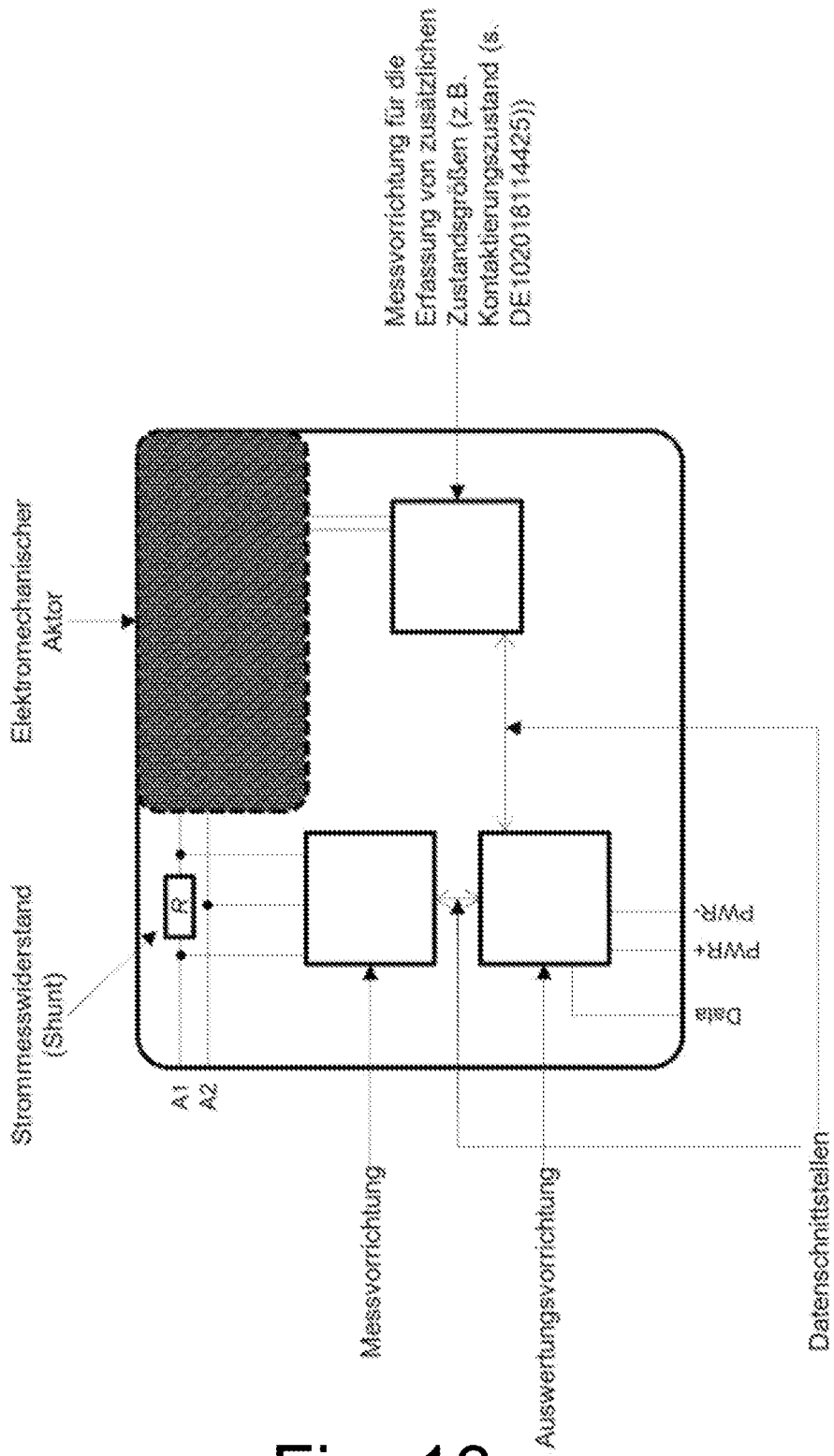


Fig. 10

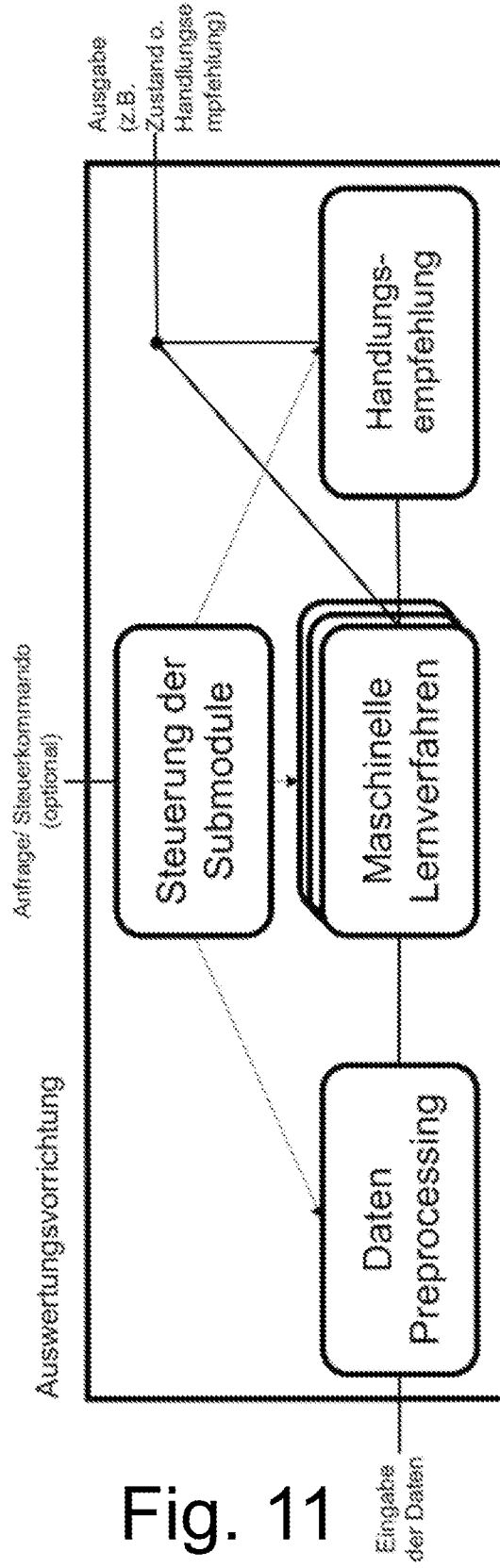


Fig. 11

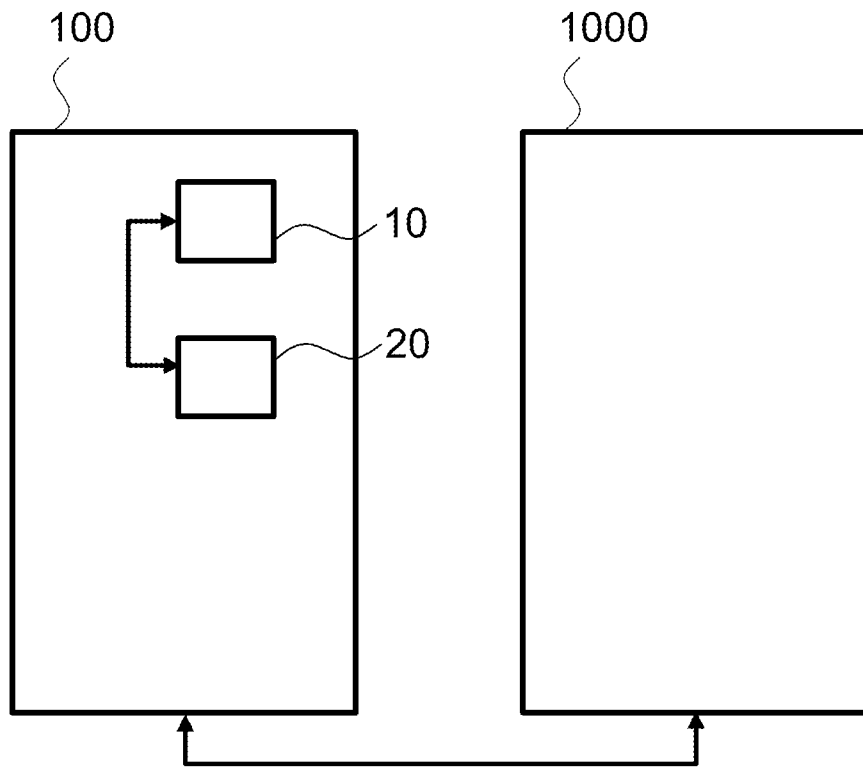


Fig. 12

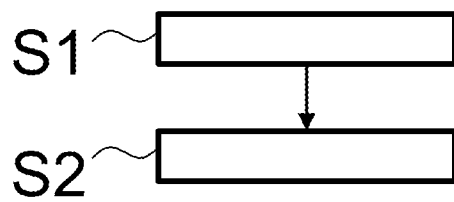


Fig. 13

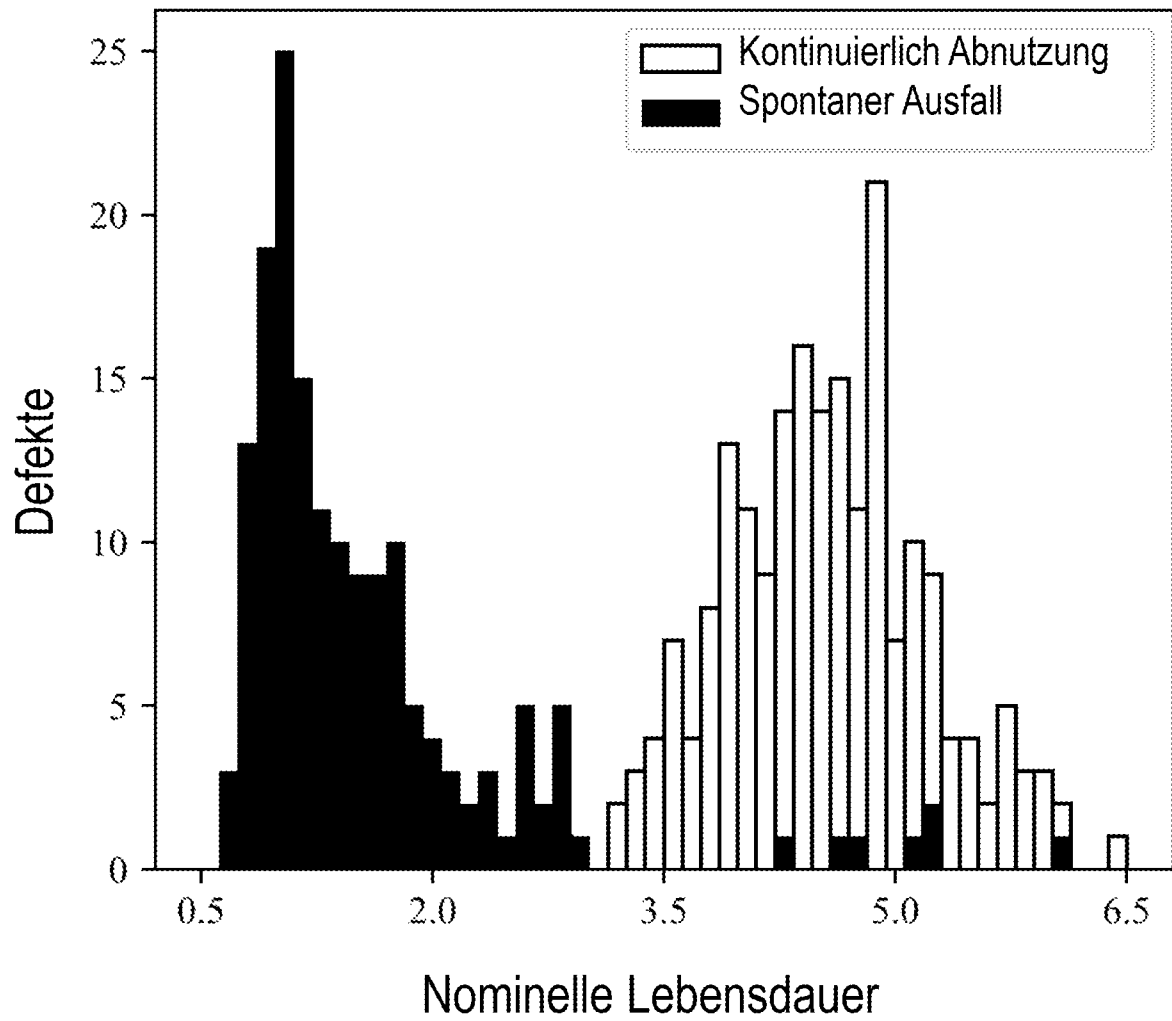


Fig. 14



RECHERCHENBERICHT
nach Artikel XI.23., §2 und §3
des belgischen Wirtschaftsgesetzbuches

BO 12258
BE 202105335

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE				
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)	
X	DE 10 2018 221270 A1 (PHOENIX CONTACT GMBH & CO [DE]) 10. Juni 2020 (2020-06-10) * Absätze [0017], [0057], [0036], [0014], [0076], [0077], [0023], [0086], [0030], [0031]; Ansprüche 1-15; Abbildungen 1-3 *	1-18	INV. G01R31/327	
X	WO 2020/115313 A1 (PHOENIX CONTACT GMBH & CO [DE]) 11. Juni 2020 (2020-06-11) * Ansprüche 1-15; Abbildungen 1-3 *	1-18		
A	US 2021/117787 A1 (STAL RAINER [DE] ET AL) 22. April 2021 (2021-04-22) * Absätze [0112] - [0123]; Abbildungen 1,2 *	1-18		
A	EP 3 745 229 A1 (PHOENIX CONTACT GMBH & CO [DE]) 2. Dezember 2020 (2020-12-02) * Ansprüche 1-4; Abbildungen 1-5 *	1-18		
A	CN 111 310 314 A (BEIJING RAINFE TECH CO LTD) 19. Juni 2020 (2020-06-19) * das ganze Dokument *	1-18		RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
A	US 2019/272479 A1 (MARS JASON [US] ET AL) 5. September 2019 (2019-09-05) * Ansprüche 1-11; Abbildungen 1,2 *	1-18		G01R
		Abschlußdatum der Recherche 25. Januar 2022	Prüfer O'Callaghan, D	
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument		
X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur				

1

**ANHANG ZUM RECHERCHENBERICHT
ÜBER DIE BELGISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

BO 12258
BE 202105335

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten Recherchenbericht angeführten Patentdokumente angegeben.

Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

25-01-2022

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 102018221270 A1	10-06-2020	KEINE	

WO 2020115313 A1	11-06-2020	BE 1026844 A1	01-07-2020
		CN 113167832 A	23-07-2021
		EP 3891518 A1	13-10-2021
		WO 2020115313 A1	11-06-2020

US 2021117787 A1	22-04-2021	CN 112668602 A	16-04-2021
		DE 102019215902 A1	20-05-2021
		US 2021117787 A1	22-04-2021

EP 3745229 A1	02-12-2020	CN 112016238 A	01-12-2020
		DE 102019114211 A1	03-12-2020
		EP 3745229 A1	02-12-2020

CN 111310314 A	19-06-2020	KEINE	

US 2019272479 A1	05-09-2019	US 10296848 B1	21-05-2019
		US 2019272479 A1	05-09-2019
		WO 2019172868 A1	12-09-2019



SCHRIFTLICHER BESCHEID

Dossier Nr. BO12258	Anmeldedatum (Tag/Monat/Jahr) 30.04.2021	Prioritätsdatum (Tag/Monat/Jahr)	Anmeldung Nr. BE202105335
Internationale Patentklassifikation (IPK) INV. G01R31/327			
Anmelder PHOENIX CONTACT GmbH & Co. KG			

Dieser Bescheid enthält Angaben und entsprechende Seiten zu folgenden Punkten:

- Feld Nr. I Grundlage des Bescheids
- Feld Nr. II Priorität
- Feld Nr. III Keine Erstellung eines Gutachtens über Neuheit, erfinderische Tätigkeit und gewerbliche Anwendbarkeit
- Feld Nr. IV Mangelnde Einheitlichkeit der Erfindung
- Feld Nr. V Begründete Feststellung hinsichtlich der Neuheit, der erfinderischen Tätigkeit und der gewerblichen Anwendbarkeit; Unterlagen und Erklärungen zur Stützung dieser Feststellung
- Feld Nr. VI Bestimmte angeführte Unterlagen
- Feld Nr. VII Bestimmte Mängel der Anmeldung
- Feld Nr. VIII Bestimmte Bemerkungen zur Anmeldung

	Prüfer O'Callaghan, D
--	--------------------------

SCHRIFTLICHER BESCHEID

Anmeldung Nr.
BE202105335

Feld Nr. I Grundlage des Bescheids

1. Dieser Bescheid wurde auf der Grundlage des vor dem Beginn der Recherche eingereichten Satzes von Ansprüchen erstellt.
2. Hinsichtlich der **Nucleotid- und/oder Aminosäuresequenz**, die in der Anmeldung offenbart wurde, ist der Bescheid auf folgender Grundlage erstellt worden:
 - a. Art des Materials:
 - Sequenzprotokoll
 - Tabelle(n) zum Sequenzprotokoll
 - b. Form des Materials:
 - in Papierform
 - in elektronischer Form
 - c. Zeitpunkt der Einreichung:
 - in der eingereichten Anmeldung enthalten
 - zusammen mit der Anmeldung in elektronischer Form eingereicht
 - nachträglich eingereicht
3. Wurden mehr als eine Version oder Kopie eines Sequenzprotokolls und/oder einer dazugehörigen Tabelle eingereicht, so sind zusätzlich die erforderlichen Erklärungen, dass die Information in den nachgereichten oder zusätzlichen Kopien mit der Information in der Anmeldung in der eingereichten Fassung übereinstimmt bzw. nicht über sie hinausgeht, vorgelegt worden.
4. Zusätzliche Bemerkungen:

Feld Nr. V Begründete Feststellung hinsichtlich der Neuheit, der erfinderischen Tätigkeit und der gewerblichen Anwendbarkeit; Unterlagen und Erklärungen zur Stützung dieser Feststellung

1. Feststellung

Neuheit	Ja: Ansprüche 3-7, 10, 17 Nein: Ansprüche 1, 2, 8, 9, 11-16, 18
Erfinderische Tätigkeit	Ja: Ansprüche Nein: Ansprüche 1-18
Gewerbliche Anwendbarkeit	Ja: Ansprüche: 1-18 Nein: Ansprüche:

2. Unterlagen und Erklärungen:

siehe Beiblatt

Feld Nr. VII Bestimmte Mängel der Anmeldung

Es wurde festgestellt, dass die Anmeldung nach Form oder Inhalt folgende Mängel aufweist:

siehe Beiblatt

Punkt V

- 1 Es wird auf die folgenden Dokumente verwiesen:
 - D1 DE 10 2018 221270 A1 (PHOENIX CONTACT GMBH & CO [DE]) 10. Juni 2020 (2020-06-10)
 - D2 WO 2020/115313 A1 (PHOENIX CONTACT GMBH & CO [DE]) 11. Juni 2020 (2020-06-11)
 - D3 US 2021/117787 A1 (STAL RAINER [DE] ET AL) 22. April 2021 (2021-04-22)
 - D4 EP 3 745 229 A1 (PHOENIX CONTACT GMBH & CO [DE]) 2. Dezember 2020 (2020-12-02)
 - D5 CN 111 310 314 A (BEIJING RAINFE TECH CO LTD) 19. Juni 2020 (2020-06-19)
 - D6 US 2019/272479 A1 (MARS JASON [US] ET AL) 5. September 2019 (2019-09-05)

- 2 Die vorliegende Anmeldung erfüllt nicht die Erfordernisse der Patentierbarkeit, weil der jeweilige Gegenstand der Ansprüche 1, 15 und 18 nicht neu ist.

- 3 Anspruch 1: D1 (Anspr. 1, Fig. 1-3) offenbart eine:

Vorrichtung (100) zum Erkennen einer Abnutzung einer elektromechanischen Einrichtung (Abs. 0058), wobei die Vorrichtung umfasst:

 - eine Messeinrichtung (10), welche dazu ausgebildet ist, mindestens einen vorbestimmten Betriebsparameter der elektromechanischen Einrichtung zu erfassen; und
 - eine Auswerteeinrichtung (20), welche dazu ausgebildet ist, anhand von maschinellen Lernen unter Zuhilfenahme von Massendaten, vorzugsweise

in Form von Trainingsdaten (Abs. 0057), aus dem erfassten vorbestimmten Betriebsparameter der elektromechanischen Einrichtung einen aktuellen Betriebszustand der elektromechanischen Einrichtung zu ermitteln (Abs. 0057 - *Da der Betriebszustand den Grad der Abnutzung oder Verschleiß widerspiegelt, wird im vorliegenden Zusammenhang "Verschleißzustand" als Synonym für "Betriebszustand" betrachtet.*)

- 4 Da D1 alle Merkmale des Anspruchs 1 umfasst, ist der Gegenstand des Anspruchs 1 nicht neu. Diese Analyse gilt mutatis mutandis den Ansprüchen 15 und 18.
- 5 Die Ansprüche 2-14 und 16,17 scheinen keine zusätzlichen Merkmale zu enthalten, die in Kombination mit den Merkmalen irgendeines Anspruchs, auf den sie sich beziehen, die Erfordernisse in Bezug auf Neuheit bzw. erfinderische Tätigkeit erfüllen. Die Gründe dafür sind die folgenden: die hierin enthaltenden Merkmale scheinen entweder durch die Entgegenhaltungen nahegelegt zu sein oder liegen im Bereich der dem Fachmann geläufigen Überlegungen:
- Anspr.2,16: D1, Abs. 0017 - "in der Vergangenheit aufgenommenen Daten ..., etwa Grad der Alterung von 0% bis 100%, versehen und als Trainingsdaten verwendet werden".
- Anspr. 3,4,17: - Der Einsatz von solchen tiefen neuronal Netzen ist im diesem Zusammenhang bekannt (siehe z.B. D1, Abs. 0036, 0014).
- Anspr. 5: Der Einsatz von multimodalen Daten ist bei neuronalen Netzen bekannt (siehe z.B. D3, Fig. 1, Abs. 0047,0112-0117).
- Anspr. 6,7: Die hier enthaltenden Merkmale betreffen übliche Messungsmassnahmen (siehe z.B. D1, Abs. 0076,0077).
- Anspr. 8,9: D1, Abs. 0023.
- Anspr. 10: Die hier enthaltenden Merkmale betreffen übliche Überlegungen (siehe z.B. D1, Abs. 0086).
- Anspr. 11: D1, Abs. 0030.
- Anspr. 12: D1, Abs. 0031.
- Anspr. 13: D1, Anspr. 9.
- Anspr. 14: D1, Anspr. 10.

Punkt VII

- 6 In der Beschreibung wird weder der in D1 offenbarte einschlägige Stand der Technik noch das Dokument selbst angegeben.

- 7 Die unabhängigen Ansprüche sind nicht in der zweiteiligen Form abgefaßt.