

Beschreibung

Diagnose von technischen Systemen

5 Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Diagnose eines
technischen Systems, wobei Abweichungen von Werten zu
wenigstens n , mit $n \geq 2$, Variablen zur Beschreibung eines
momentanen Zustands des technischen Systems zu einem
bestimmten Zeitpunkt von vorgegebenen Werten zur Beschreibung
10 eines Normalzustands ermittelt werden, um auf einen Fehler zu
schließen, ein Computerprogrammprodukt und einen Datenträger
sowie eine Vorrichtung.

Ein Ziel von Predictive Maintenance ist die Vorhersage von
15 Komponentenausfällen, wie dem Ausfall eines Lagers oder eines
Kühlsystems. Üblicherweise werden Komponenten identifiziert,
die sich gegenüber anderen Komponenten oder gegenüber ihrer
eigenen Vergangenheit ungewöhnlich verhalten. Ob der großen
Anzahl Sensoren, Komponenten in einem Zug und deren
20 Abhängigkeit vom Fahrverhalten ist es schwierig die
Komponenten automatisch und umfassend zu überwachen und
automatisch Wartungsmaßnahmen zu erzeugen.

Es sind verschiedene Methoden zur Fehlererkennung und/oder
25 Fehlerursachenzuordnung bekannt geworden. So können das
Verhalten gleicher Messgrößen verschiedener Komponenten des
gleichen Typs anhand einfacher Metriken verglichen und
Abweichler als problematisch markiert werden. Auch bekannt
ist, dass eine sogenannte Ingenieurs-Normkurve für den
30 Betrieb einer Komponente erstellt wird, z.B. ein Druckverlauf
in Abhängigkeit von einer Temperatur, beispielsweise
proportional zur Temperatur, und die Abweichung einer Messung
von dieser Beziehung wird überwacht, um die Abweichung dieser
Komponente von ihrem Normalzustand zu erkennen. Eine
35 Zuordnung von Fehlerursachen kann anhand von einfachen Regeln
abgebildet werden, z.B. wenn Temperatur $X >$ Temperatur Y und
Druck $A <$ Druck B , dann liegt Fehler Z vor.

Die EP 3 460 727 A1 oder die EP 3 427 325 A1 offenbaren gattungsgemäße Verfahren zur Überwachung und Fehleridentifizierung von technischen Systemen.

5

Auch die EP 3 142 909 A1 lehrt ein Verfahren zum Ermitteln einer Betriebsbeanspruchung eines Bauteils während des Betriebs des Bauteils. In einer Justierphase werden anhand von Messwerten zu verschiedenen Betriebsmodi des Bauteils eine Berechnungsvorschrift ermittelt, welche in einer anschließenden Betriebsphase zur Ermittlung einer Betriebsbeanspruchung angewandt werden kann.

10

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, die Diagnose eines technischen Systems automatisiert durchführen zu können.

15

Gelöst wird die Aufgabe durch die Gegenstände der unabhängigen Patentansprüche 1 und 10, 11 und 12. Weiterbildungen und Ausgestaltungen der Erfindung finden sich in den Merkmalen der abhängigen Patentansprüche wieder.

20

Ein erfindungsgemäßes Verfahren zur Diagnose eines technischen Systems, insbesondere eines spurgebundenen Fahrzeugs, insbesondere eines Schienenfahrzeugs, wobei Abweichungen von Werten, beispielsweise von erfassten Messwerten, zu wenigstens n , mit $n \geq 2$, voneinander verschiedenen Variablen zur Beschreibung eines momentanen Zustands des technischen Systems, insbesondere wenigstens einer Komponente des technischen Systems, zu einem Zeitpunkt von vorgegebenen Werten zur Beschreibung eines Normalzustands ermittelt werden, um auf einen Fehler zu schließen, umfasst folgende Verfahrensschritte:

25

30

35

- a. Durchführen einer Hauptkomponentenanalyse von vorgegebenen Werten zu den wenigstens n , mit $n \geq 2$, Variablen und Ermitteln wenigstens einer Hauptkomponente der n Variablen;

- b. Vorgeben der wenigstens einen Hauptkomponente zur Beschreibung des Normalzustands des technischen Systems;
 - c. Ermitteln der Abweichungen der Werte zu den n Variablen zur Beschreibung des momentanen Zustands des technischen Systems von der wenigstens einen vorgegebenen Hauptkomponente zur Beschreibung des Normalzustands, um auf einen Fehler zu schließen.
- 5
- 10 Bei dem technischen System handelt es sich beispielsweise um ein komplexes System mit mehreren Komponenten. Gemäß einer ersten Weiterbildung der Erfindung betreffen die n Variablen dieselbe physikalische Größe und/oder beschreiben den Zustand derselben Komponente des technischen Systems. Beispielsweise
- 15 betrifft eine erste Variable eine Temperatur T_1 eines Getriebes im Bereich eines Lagers einer Eingangswelle und eine zweite Variable betrifft eine Temperatur T_2 desselben Getriebes im Bereich eines Lagers einer Ausgangswelle. In diesem Beispiel betreffen die $n=2$ Variablen dieselbe
- 20 Messgröße und dieselbe Komponente.

Die Werte zu den n Variablen zur Beschreibung des momentanen Zustands des technischen Systems können, insbesondere als Messwerte, zu einem bestimmten Zeitpunkt erfasst werden. Ein

25 Zeitpunkt ist als ein bezüglich der Rechengenauigkeit hinreichend genaues Zeitmaß hier so zu verstehen, dass die Werte auch innerhalb eines vorgegebenen Zeitraums erfasst werden können. Dieser Zeitraum muss hingegen kurz genug sein, um den Zustand des technischen Systems zu einem Ereignis zum

30 bestimmten Zeitpunkt hinreichend zu beschreiben. Um bei obigem Beispiel zu bleiben T_1 und T_2 wurden zum selben Zeitpunkt erfasst.

Die Werte zu den n Variablen zur Beschreibung des momentanen

35 Zustands des technischen Systems stammen insbesondere aus dem laufenden Betrieb des technischen Systems. Der momentane Zustand des technischen Systems kann somit auch als

Betriebszustand bezeichnet werden. Abweichungen werden ermittelt zwischen den Werten zu den n Variablen zur Beschreibung des Betriebszustands des technischen Systems und den Werten zu denselben n Variablen zur Beschreibung des Normalzustands.

Wie oben bereits ausgeführt, können die Werte zu den n Variablen zur Beschreibung des momentanen Zustands des technischen Systems als Messwerte erfasst werden. Dies geschieht während einer Betriebsphase des technischen Systems, beispielsweise während einer Fahrt des Schienenfahrzeugs. Das Verfahren kann dann entsprechend einen weiteren Verfahrensschritt zur Erfassung der Messwerte zu den n Variablen zur Beschreibung des momentanen Zustands des technischen Systems umfassen. Das technische System kann entsprechend zur Erfassung von Werten zu jeder Variablen eine geeignet ausgebildete Messeinrichtung aufweisen.

Die Werte zu den n Variablen zur Beschreibung des momentanen Zustands können aber auch als vorverarbeitete Werte vorliegen. Dann werden sie beispielsweise aus erfassten Messwerten ermittelt. Die Werte zu den n Variablen zur Beschreibung des Normalzustands können ebenfalls als Messwerte vorliegen, die zu Zeitpunkten erfasst wurden, zu denen sich das technische System bekanntlich in einem Normalzustand befand.

Im Verfahrensschritt a. wird zunächst, insbesondere mittels einer geeignet ausgebildeten Auswerteeinheit, eine Hauptkomponentenanalyse von den vorgegebenen Werten zu den wenigstens n Variablen zur Beschreibung des Normalzustands des technischen Systems durchgeführt. Als Ergebnis werden die Hauptkomponenten der vorgegebenen Werte zu den n Variablen erhalten. Zur Durchführung der Hauptkomponentenanalyse kann bildlich ein Zustandsraum aufgespannt werden, mit den n voneinander verschiedenen Variablen als Dimensionen. Wieder auf das obige Beispiel zurückkommend wird ein

zweidimensionales Diagramm aufgestellt, mit T_1 und T_2 als Achsen. Die Werte zu T_1 und T_2 , die zum selben Zeitpunkt erfasst wurden bzw. die denselben Zeitpunkt repräsentieren, werden als ein Datenpunkt in das Diagramm eingetragen, z.B.
5 bilden T_1 und T_2 , jeweils zum Zeitpunkt t_0 erfasst, einen Datenpunkt. Liegen nun viele Werte zu unterschiedlichen Zeitpunkten $t_0, t_1, t_2 \dots$ vor, entsteht ein Punktdiagramm. Das Durchführen einer Hauptkomponentenanalyse erfolgt nun auf bekannte Art und Weise. Bei zwei Variablen werden zwei
10 Hauptkomponenten erhalten.

Verfahrensschritt a. erfolgt insbesondere während einer Lernphase. Auch Verfahrensschritt b. erfolgt insbesondere in der Lernphase: es wird, insbesondere mittels der
15 Auswerteeinheit, wenigstens eine der ermittelten Hauptkomponenten zur Beschreibung des Normalzustands des technischen Systems, insbesondere der wenigstens einer Komponente des technischen Systems, vorgegeben.
Hauptkomponenten umfassen als Geraden die Werte zu den n
20 Variablen zur Beschreibung des Normalzustands des technischen Systems zu denen die Abweichung der Werte zu den n Variablen zur Beschreibung des Betriebszustands ermittelt werden.
Hauptkomponenten werden üblicherweise in Vektorschreibweise dargestellt und werden daher auch als Hauptkomponentenvektor
25 bezeichnet.

Gemäß einer weiteren Weiterbildung werden in Verfahrensschritte b. höchstens x , mit $1 \leq x < n$, Hauptkomponenten der n Variablen zur Beschreibung des
30 Normalzustands vorgegeben. Bei zwei Variablen T_1 und T_2 wird somit nur eine Hauptkomponente zur Beschreibung des Normalzustands des technischen Systems vorgegeben.
Weitergebildet werden ausschließlich die Hauptkomponenten, die zusammen wenigstens 70% (kumulativer Prozentsatz),
35 insbesondere wenigstens 80%, der gesamten Varianz der Werte der n Variablen zur Beschreibung des Normalzustands abdecken, vorgegeben. Eine weitere Weiterbildung sieht vor, dass nur

die dominante Hauptkomponente, also die Hauptkomponente mit dem größten Anteil an der Gesamtvarianz der Daten, vorgegeben wird.

- 5 Mit der Hauptkomponentenanalyse geht eine Datenreduktion einher. Umfangreiche Datensätze werden vereinfacht und strukturiert, da eine Vielzahl von Variablen durch eine geringe Anzahl möglichst aussagekräftiger Hauptkomponenten genähert wird. Die Durchführung einer Hauptkomponentenanalyse
10 und die Vorgabe wenigstens einer Hauptkomponenten zur Beschreibung des Normalzustands des technischen Systems ist zudem automatisiert ausführbar.

- Weitergebildet wird Verfahrensschritt a. für m , mit $m \geq 2$,
15 voneinander verschiedene Betriebsmodi des technischen Systems, insbesondere Fahrmodi des Schienenfahrzeugs, ausgeführt. In Verfahrensschritt b. wird dann die wenigstens eine Hauptkomponente zur Beschreibung des Normalzustands in Abhängigkeit eines momentanen Betriebsmodus Z des technischen
20 Systems aus den m Betriebsmodi, insbesondere in Abhängigkeit des momentanen Fahrmodus des Schienenfahrzeugs aus den m Fahrmodi, ausgewählt und entsprechend zur Beschreibung des Normalzustands vorgegeben.

- 25 Der momentane Betriebsmodus Z , beispielsweise der momentane Fahrmodus, ist der Modus aus den m vorgegebenen Betriebsmodi, in welchem das technische System, beispielsweise das Schienenfahrzeug, momentan betrieben wird und zu welchem die Werte zu den n Variablen zur Beschreibung des momentanen
30 Zustands des technischen Systems, insbesondere wenigstens einer Komponente des technischen Systems, erfasst bzw. ermittelt werden.

- Danach werden in Verfahrensschritten a. und b. jeweils eine
35 Hauptkomponentenanalyse für die m vorgegebenen Betriebsmodi durchgeführt und jeweils wenigstens eine Hauptkomponente zur Beschreibung des Normalzustands des technischen Systems,

insbesondere der wenigstens einer Komponente des technischen Systems, in dem entsprechenden Betriebsmodus Z der m vorgegebenen Betriebsmodi vorgegeben. Die Auswahl der jeweiligen Hauptkomponenten erfolgt in Abhängigkeit des
5 momentanen Betriebsmodus Z.

In Verfahrensschritt c. würden dann entsprechend Abweichungen von der wenigstens einen Hauptkomponente in Abhängigkeit des momentanen Betriebsmodus Z ermittelt werden.
10 Verfahrensschritt c. würde dann entsprechend lauten:
Ermitteln der Abweichungen der Werte zu den n Variablen zur Beschreibung des momentanen Zustands des technischen Systems in einem Betriebsmodus Z aus den m vorgegebenen Betriebsmodi von der wenigstens einen vorgegebenen Hauptkomponente zur
15 Beschreibung des Normalzustands des technischen Systems in demselben Betriebsmodus Z der m vorgegebenen Betriebsmodi, um auf einen Fehler zu schließen.

Veranschaulicht wird allgemein in Verfahrensschritt c. analog
20 zu Verfahrensschritt a., insbesondere mittels der Auswerteeinheit, ein Zustandsraums den n Variablen als Dimensionen aufgestellt und die Werte zu den n Variablen zur Beschreibung des momentanen Zustands des technischen Systems, insbesondere im Betrieb, als Datenpunkt(e) eingetragen sowie
25 die entsprechend vorgegebene Hauptkomponente eingetragen. Anschließend werden die Abweichungen der Werte zu den n Variablen zur Beschreibung des momentanen Zustands des technischen Systems zu der vorgegebenen Hauptkomponente ermittelt. Aus den Abweichungen wird auf einen Fehler
30 geschlossen.

Zur Ermittlung der Abweichung wird gemäß einer weiteren Weiterbildung eine Distanz der Werte der n Variablen zur Beschreibung des momentanen Zustands zu der wenigstens einen
35 vorgegebenen Hauptkomponente zur Beschreibung des Normalzustands ermittelt.

Hierzu kann beispielsweise zu jedem Datenpunkt aus den Werten zu den n Variablen zur Beschreibung des momentanen Zustands der kürzeste Distanzvektor zur vorgegebenen Hauptkomponente (zum Hauptkomponentenvektor) errechnet werden. Anschließend
5 wird die Norm des Vektors errechnet. Dies kann eine euklidische Norm sein oder eine abweichende Metrik. Beispielsweise wird die Wurzel aus der Summe der Betragsbiquadrate (4. Potenz) der Komponenten des Vektors als Norm errechnet. Wiederum auf das obige Beispiel
10 zurückkommend: der Distanzvektor D mit den Komponenten D_1 und D_2 des Datenpunkts der Werte T_1 und T_2 zum Zeitpunkt t_0 zur Beschreibung des momentanen Zustands des technischen Systems zum Zeitpunkt t_0 wird zum dominanten Hauptkomponentenvektor errechnet. Anschließend wird das Distanzmaß PR errechnet aus
15 der Summe der Betragsbiquadrate $PR = D_1^4 + D_2^4$.

Weitergebildet kann in einem dem Verfahrensschritt c. nachfolgenden Verfahrensschritt d. in Abhängigkeit des Maßes der Abweichung auf einen vorgegebenen Fehler geschlossen.
20 Voneinander verschiedene Fehler und auch deren Fehlerursachen können bekannt sein und in Abhängigkeit des Distanzmaßes kann ein Fehler erkannt und auf seine Fehlerursache geschlossen werden.

25 Ist der oben errechnete Wert PR beispielsweise kleiner als ein systemabhängiger Grenzwert $E1$, also $PR < E1$, so wird auf einen Fehler in einem der Temperatursensoren zur Erfassung der Temperaturen T_1 und T_2 erkannt, beispielsweise dem Temperatursensor mit dem größten Eintrag im Distanzvektor D .

30 Ist der Wert hingegen größer als ein weiterer systemabhängiger Grenzwert $E2$, also $PR > E2$, so handelt es sich um eine Fahrzustands-erzeugte Abweichung.

Neben diesen und weiteren Distanzmaßen kann auch eine
35 Mustererkennung zur Ermittlung der Abweichung in Verfahrensschritt c. durchgeführt werden.

Verfahrensschritt c. und gegebenenfalls Verfahrensschritt d. werden insbesondere in einer Betriebsphase des Verfahrens ausgeführt.

- 5 Mit dem Verfahren lässt sich eine automatische Fehlertyperkennung mittels Mustererkennung von Abweichungen von betriebszustandsabhängigen Hauptkomponenten ausführen.

10 Gemäß dem Verfahren wird per Hauptkomponentenanalyse die Fahrzustandsabhängig plausibelste Kombination von Sensor-Werten erlernt. Indem diese Kombination mit tatsächlich gemessenen Werten verglichen wird, entstehen Abweichungsmuster, die zur Vorhersage des Fehlertyps der Komponente genutzt werden und der Erzeugung von
15 Wartungsmaßnahmen dienen können.

Weitere Vorteile des Verfahrens sind darin zu sehen, dass es eine automatische Erkennung von ungewöhnlichem Komponentenverhalten sowie eine automatische Erkennung von
20 Sensor und Komponentenfehlern ermöglicht. Auch ermöglicht es eine gleichzeitige Bewertung der Funktion einer Komponente anhand von eigenem Verhalten und dem Verhalten äquivalenter anderer Komponenten ohne visuelle Inspektion. Wartungsanforderungen können zudem automatisch erzeugt
25 werden.

Das erfindungsgemäße Computerprogrammprodukt oder auch Softwareprogramm oder nur kurz „App“ genannt, ist auf geeignet ausgebildeten Auswerteeinheit implementierbar bzw.
30 implementiert, wobei diese Auswerteeinheit ein Computer ist bzw. als solcher wirkt, wodurch es sich beim erfindungsgemäßen Verfahren um ein sogenanntes computerimplementiertes Verfahren, also von den der Auswerteeinheit ausführbares bzw. ausgeführtes Verfahren
35 handelt.

Das Computerprogrammprodukt umfasst Befehle umfasst, die bei der Ausführung des Programms durch die Auswerteeinheit, auf welchem es installiert ist, diese veranlassen, die entsprechenden Schritte des erfindungsgemäßen Verfahrens auszuführen.

Es kann auch auf einem Datenträger gespeichert, der somit seinerseits Befehle umfasst, die bei der Ausführung durch einen geeigneten, insbesondere handelsüblichen, Computer, diesen veranlassen, die Schritte des erfindungsgemäßen Verfahrens auszuführen. Der Datenträger kann dabei jedes beliebige computerlesbare Speichermedium umfassen.

Die erfindungsgemäße Vorrichtung umfasst das technische System und eine Auswerteeinheit, wobei die Auswerteeinheit eingerichtet ist zur Ausführung des erfindungsgemäßen Verfahrens. Es ist geeignet ausgebildet zur:

- Durchführung einer Hauptkomponentenanalyse von vorgegebenen Werten zu n , mit $n \geq 2$, Variablen zur Beschreibung eines Normalzustands des technischen Systems und Ermittlung wenigstens einer Hauptkomponente der n Variablen;
- Vorgabe der wenigstens einen Hauptkomponente zur Beschreibung des Normalzustands des technischen Systems;
- Ermittlung von Abweichungen von Werten zu den n Variablen zur Beschreibung eines momentanen Zustands des technischen Systems von der wenigstens einen vorgegebenen Hauptkomponente zur Beschreibung des Normalzustands, um auf einen Fehler zu schließen.

Das technische System kann darüber hinaus geeignete Mittel zur Erfassung von Messwerten zur Beschreibung des momentanen Zustands des Systems aufweisen. Bei dem technischen System

handelt es sich insbesondere um ein Schienenfahrzeug. Die Auswerteeinheit kann landseitig, beispielsweise in einer zentralen Auswerteeinrichtung, angeordnet sein, wobei dann das Schienenfahrzeug eine geeignete Sendeeinheit zur
5 Übertragung der Messwerte an Land aufweist.

Die Werte zur Beschreibung des momentanen Zustands werden entsprechend auf dem fahrenden Fahrzeug erfasst oder ermittelt und an Land zur Durchführung des Verfahrensschritts
10 c. und gegebenenfalls weiterer, nachfolgender Verfahrensschritte übermittelt. Verfahrensschritt c. wird an Land in der zentralen Auswerteeinrichtung durchgeführt. Das Ergebnis oder eine daraus gefolgerte Maßnahme kann, insbesondere wenn ein Eingriff in den Betrieb des technischen
15 Systems, insbesondere des Schienenfahrzeugs, erforderlich ist, beispielsweise ein sofortiger Halt, wieder auf das Fahrzeug rückübertragen werden. In der Regel wird aus dem Ergebnis jedoch eine Wartungsmaßnahme abgeleitet, die in der Wartungsplanung des Fahrzeugs berücksichtigt wird. Die
20 landseitige Auswerteeinrichtung umfasst neben der Auswerteeinheit eine entsprechend geeignete Empfangseinheit zum Empfang und zur Weiterverarbeitung der übermittelten Daten.

25 Die Erfindung lässt zahlreiche Ausführungsformen zu. Sie wird anhand der nachfolgenden Figuren näher erläutert, in denen jeweils ein Ausgestaltungsbeispiel dargestellt ist. Gleiche Elemente in den Figuren sind mit gleichen Bezugszeichen versehen.

30

Fig. 1 zeigt ein Diagramm zu einer Hauptkomponentenanalyse zu zwei Variablen,

Fig. 2 zeigt eine Antriebskomponente eines Schienenfahrzeugs mit mehreren Sensoren.

35

In Fig. 1 ist eine Hauptkomponentenanalyse graphisch in einem Diagramm dargestellt. In diesem Ausführungsbeispiel sind nur

Werte zu zwei Variablen derselben physikalischen Größe berücksichtigt, um eine einfache Darstellung zu gewährleisten und eine multidimensionale Darstellung mehrerer Variablen zu vermeiden.

5

Das Diagramm in Fig. 1 weist zwei Koordinatenachsen T_1 und T_2 auf, um den funktionellen Zusammenhang zwischen den zwei Variablen T_1 und T_2 zu veranschaulichen. Die Datenpunkte Y_j , $j = 1, 2, 3...$, mit den, dieselben Zeitpunkte t_j repräsentierenden Werte (T_{1Yj}, T_{2Yj}) , sind für einen bekannten Betriebsmodus des technischen Systems vorgegeben und charakterisieren den Normalzustand des technischen Systems in dem vorgegebenen Betriebsmodus. Die vorgegebenen Werte können auch Messwerte zu den zwei Variablen T_1 und T_2 sein - hier also Temperatur-Messwerte verschiedener Temperatur-Sensoren. Dann sind die Messwerte zu jedem Datenpunkt zum selben Zeitpunkt erfasst worden. Sie können auch betreffend die gleiche Komponente des technischen Systems erfasst worden sein.

20

Während einer Lernphase wird nun eine betriebsmodusabhängige Normalkurve erlernt, indem für jeden Betriebsmodus, beispielsweise „beschleunigend“, „bremsend“, „Schnellfahrt“, „Tunnelfahrt“, „Werkstatt“, etc., unabhängig voneinander die Hauptkomponente der multivariaten Verteilung $(T_1, T_2, ...)$ der zur Überwachung und Diagnose vorgegebenen Variablen $T_1, T_2, ...$ berechnet werden. In anderen Worten wird der dominante Eigenvektor der Kovarianzmatrix dieser Sensorsignale berechnet.

30

Die Kurve H ist nun eine eindimensionale Repräsentation der plausibelsten Sensor-Wert-Kombinationen für den jeweils zugrundeliegenden Fahrmodus. Die Kurve H ist die Hauptkomponente der vorgegebenen Werte zu den Variablen T_1 und T_2 zur Beschreibung des Normalzustands des technischen Systems in dem vorgegebenen Betriebsmodus.

35

H kann in Vektorschreibweise dargestellt werden als $H = (m_1, m_2, m_3, \dots) + a \cdot (v_1, v_2, v_3, \dots)$, wobei m_1 den Median des ersten Sensorsignals, m_2 den Median des zweiten Sensorsignals, m_3 den Median des dritten Sensorsignals usw. und $v_1, v_2, v_3, \dots$ den Hauptkomponentenvektor angibt.

In den aufgespannten Zustandsraum mit den zwei Variablen als Dimensionen zur Beschreibung des Normalzustands werden nun auch Datenpunkte aus Werten zu den zwei Variablen zur Beschreibung eines momentanen Betriebszustands eingetragen. Jeder Datenpunkt repräsentiert die während des Betriebs zu einem Zeitpunkt $t_0, t_1, t_2 \dots$ erfassten Werte zu den zwei Variablen. Die Werte T_{1s0} und T_{2s0} des Datenpunkt S_0 sind zu einem Zeitpunkt t_0 während des Betriebs des technischen Systems von den Temperatursensoren erfasst worden.

Für diese Datenpunkte wird die Abweichung von der erlernten Normalkurve ermittelt. Hierzu wird für jeden Datenpunkt der Vektor $D = (D_1, D_2, \dots)$ mit der kürzesten Distanz von der entsprechenden betriebsmodusabhängigen Normalkurve berechnet – veranschaulicht als $D_{s0} = (D_{1s0}, D_{2s0})$. Jeder Eintrag D_i gibt darin an, wie weit der Wert des Sensors i vom im Gesamtbild plausibelsten Wert abweicht.

Anhand der Norm des Vektors D wird anschließend zunächst entschieden, ob dieser einen Normalzustand beschreibt. Falls nicht, wird in einem zweiten Schritt anhand des Musters von Abweichungen (der Einträge im Distanzvektor D) ein Fehlerbild zugeordnet.

Konkret kann der Wert $PR = (D_1^4 + D_2^4 + \dots)$ berechnet werden. Ist dieser Wert kleiner als ein systemabhängiger Grenzwert E_1 , also $PR < E_1 < 2$, so handelt es sich um einen Sensor-Fehler im Sensor mit dem größten Eintrag in D . Ist der Wert größer als ein systemabhängiger Grenzwert E_2 , also $N > PR > E_2 > N/2$, so handelt es sich um eine betriebsmoduserzeugte Abweichung. Werden weiterhin K Komponenten mit jeweils L

ähnlichen Sensoren im gleichen Fahrzeug bewertet, so gilt, dass $3 \cdot L/2 > PR > L/2$ für einen Fehler in der Komponente, zu der der Sensor mit dem größten Eintrag D gehört, während ein Wert von PR nahe K ebenfalls auf einen noch nicht erfassten

5 Fahrmodus hinweisen kann.

Ein mehrfach hintereinander auftretendes und auf einen Komponenten-Ausfall hinweisendes Muster kann genutzt werden, um Wartungsanforderungen zu erzeugen.

10

Das Verfahren dient dazu automatisierte Normkurven zu erstellen, die Auffälligkeiten in der Operation von Komponenten detektieren und aus dem Muster jeder Auffälligkeit den vorliegenden Fehler abzuleiten.

15

In Fig. 2 ist eine Antriebskomponente eines Schienenfahrzeugs skizziert. Es umfasst zwei Räder einer Achse, einen Antriebsmotor oder auch Fahrmotor genannt sowie ein Getriebe zur Kraftübertragung von einer Antriebswelle auf die Achse.

20

Zur Unterscheidung von Sensor-, Lüfter- und Lagerschäden im Antrieb von Hochgeschwindigkeitszügen werden neben der Außentemperatur und der Fahrgeschwindigkeit, die für alle Antriebskomponenten eines Schienenfahrzeugs identisch sind, für jede baugleiche oder bauähnliche Antriebskomponente die Zeitreihen der Sensoren erfasst. Im vorliegenden Beispiel sind das:

- L_1 misst die Temperatur eines ersten Fahrmotorlagers,
- L_2 misst die Temperatur eines Ständerblechpakets,
- 30 L_3 misst die Temperatur eines zweiten Fahrmotorlagers,
- L_4 misst die Temperatur eines ersten Getriebelagers eines kleinen Ritzels,
- L_5 misst die Temperatur eines zweiten Getriebelagers des kleinen Ritzels,
- 35 L_6 misst die Temperatur eines ersten Getriebelagers eines großen Getrieberads,

L₇ misst die Temperatur eines zweiten Getriebelagers des großen Getrieberads.

5 Darüber hinaus können noch Radsatz-Innenlager-Temperaturen und Radsatz-Außenlager-Temperaturen erfasst werden.

10 Aus technischer Sicht besteht die Kopplung der Temperaturen T_{L1} bis T_{L7} durch die Lüftung. Die Kühlluft wird bei L₁ angesaugt, erwärmt sich im Fahrmotor (L₂) und wird dann durch die restlichen Komponenten L₃ bis L₇ abgeführt.

15 Anhand der Temperaturen der Antriebskomponente, die an verschiedenen Stellen, jedoch jeweils zum selben Zeitpunkt erfasst werden, soll die Funktion der Antriebskomponente überwacht werden. Da die Komponententemperaturen sich gegenseitig beeinflussen, aber Ingenieurmodell nicht vorliegt, wird zunächst statistisch die normale Operationskennlinie des Motors (typische Verteilung der Sensor-Werte) bestimmt. Große Abweichungen einer Messung von
20 dieser Kennlinie werden anschließend zur Erkennung eines kritischen Zustands genutzt.

25 Als Eingangsgrößen werden die genannten Temperaturen jeder der baugleichen Antriebskomponenten des Schienenfahrzeugs verwendet und daraus ihre Normalverteilung erstellt. Ergibt eine Hauptkomponentenanalyse eines Testdatensatzes über einen längeren Zeitraum beispielsweise, dass über 80% der Variation im Datensatz durch die erste Komponente erklärt wird, wird
30 zunächst diese dominante Hauptkomponente als Kennlinie für die normale Antriebsoperation verwendet.

35 Dann wird die Distanz zu dieser Normalverteilung für neue Messwerte berechnet. Anhand der Fehlermuster wird erkannt, ob es sich um einen Sensor-Fehler, Probleme eines Lüfters, betriebsmodusabhängige Fehler oder um Kommunikationsprobleme handelt. Aus den Auffälligkeiten werden Störmeldungen erstellt.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Diagnose eines technischen Systems, wobei
Abweichungen von Werten zu wenigstens n , mit $n \geq 2$,
5 Variablen zur Beschreibung eines momentanen Zustands
des technischen Systems zu einem bestimmten Zeitpunkt
von vorgegebenen Werten zur Beschreibung eines
Normalzustands ermittelt werden, um auf einen Fehler zu
schließen, gekennzeichnet durch folgende
10 Verfahrensschritte:
 - a. Durchführen einer Hauptkomponentenanalyse von
vorgegebenen Werten zu den wenigstens n , mit $n \geq 2$,
Variablen zur Beschreibung des Normalzustands des
15 technischen Systems und Ermitteln wenigstens einer
Hauptkomponente der n Variablen;
 - b. Vorgeben der wenigstens einen Hauptkomponente zur
Beschreibung des Normalzustands des technischen
Systems;
 - c. Ermitteln der Abweichungen der Werte zu den n
20 Variablen zur Beschreibung des momentanen Zustands
des technischen Systems von der wenigstens einen
vorgegebenen Hauptkomponente zur Beschreibung des
Normalzustands, um auf einen Fehler zu schließen.
- 25 2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass
die Verfahrensschritte a. und b. während einer
Lernphase ausgeführt werden und Verfahrensschritt c
während einer Betriebsphase.
- 30 3. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 oder 2, dadurch
gekennzeichnet, dass Verfahrensschritt a. jeweils für
 m , mit $m \geq 2$, voneinander verschiedenen Betriebsmodi
ausgeführt wird, wobei in Verfahrensschritt b. die
wenigstens eine Hauptkomponente zur Beschreibung des
35 Normalzustands in Abhängigkeit eines momentanen
Betriebsmodus vorgegeben wird.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass die n Variablen dieselbe physikalische Größe beschreiben und/oder, dass die Werte der n Variablen den Zustand derselben Komponente des technischen Systems beschreiben.
5
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass in Verfahrensschritte b. höchstens x, mit $1 \leq x < n$, Hauptkomponenten der n Variablen zur Beschreibung des Normalzustands vorgegeben werden.
10
6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass nur die Hauptkomponenten, die zusammen wenigstens 70% der gesamten Varianz der Werte der n Variablen zur Beschreibung des Normalzustands abdecken, vorgegeben werden.
15
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass in Verfahrensschritt b. nur die dominante Hauptkomponente vorgegeben wird.
20
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass in einem dem Verfahrensschritt c. folgenden Verfahrensschritt d. in Abhängigkeit des Maßes der Abweichung auf einen vorgegebenen Fehler geschlossen wird.
25
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass in Verfahrensschritt c. zur Ermittlung der Abweichung eine Distanz der Werte der n Variablen zur Beschreibung des momentanen Zustands zu der wenigstens einen vorgegebenen Hauptkomponente zur Beschreibung des Normalzustands ermittelt wird.
30
10. Computerprogrammprodukt umfassend Befehle, die bei der Ausführung des Programms durch ein geeignetes mobiles
35

Endgerät dieses veranlassen, das Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9 auszuführen.

5 11.Datenträger, auf dem das Computerprogrammprodukt nach Anspruch 10 gespeichert ist.

12.Vorrichtung umfassend ein technisches System und eine Auswerteeinheit, wobei die Auswerteeinheit geeignet ausgebildet ist zur:

10 - Durchführung einer Hauptkomponentenanalyse von vorgegebenen Werten zu n , mit $n \geq 2$, Variablen zur Beschreibung eines Normalzustands des technischen Systems und Ermittlung wenigstens einer Hauptkomponente

15 der n Variablen;

- Vorgabe der wenigstens einen Hauptkomponente zur Beschreibung des Normalzustands des technischen Systems;

20 - Ermittlung von Abweichungen von Werten zu den n Variablen zur Beschreibung eines momentanen Zustands des technischen Systems von der wenigstens einen vorgegebenen Hauptkomponente zur Beschreibung des Normalzustands, um auf einen Fehler zu

25 schließen.

13.Vorrichtung nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass das technische System ein Schienenfahrzeug ist.