



(12)

## Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2011 076 780.0**

(22) Anmeldetag: **31.05.2011**

(43) Offenlegungstag: **06.12.2012**

(51) Int Cl.: **G01M 7/02 (2011.01)**

**G01M 13/00 (2011.01)**

(71) Anmelder:

**Airbus Operations GmbH, 21129, Hamburg, DE**

(74) Vertreter:

**isarpatent GbR Patent- und Rechtsanwälte,  
80801, München, DE**

(72) Erfinder:

**Randerath, Bernhard, 21706, Drochtersen, Assel,  
DE; Gerdes, Mike, 21075, Hamburg, DE; Scholz,  
Dieter, 21629, Neu Wulmstorf, DE**

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
gezogene Druckschriften:

<b>DE</b>	<b>40 12 278</b>	<b>A1</b>
<b>EP</b>	<b>1 755 013</b>	<b>A2</b>
<b>CA</b>	<b>2 524 735</b>	<b>A1</b>

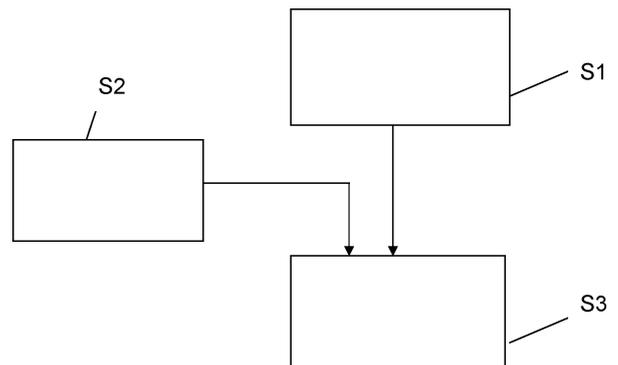
**Klein Ulrich: Schwingungsdiagnostische  
Beurteilung von Maschinen und Anlagen. 2.  
Auflage. Düsseldorf : Stahlisen, 2000. 153 - 169. -  
ISBN 3-514-00663-6**

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

(54) Bezeichnung: **Verfahren und eine Vorrichtung zur Zustandsüberwachung**

(57) Zusammenfassung: Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf ein computerimplementiertes Verfahren und eine Vorrichtung zur Zustandsüberwachung einer Komponente oder eines Systems, insbesondere einer Komponente oder eines System für ein Luft- und Raumfahrzeug, mit den Schritten: Bereitstellen eines optimierten Entscheidungsbaums, dessen Knoten Attribute eines jeweiligen Eingabevektors, dessen Blätter jeweils eine Klassifikationsfunktion beinhalten und dessen Verbindungen zwischen den Knoten des Entscheidungsbaums gewichtet sind; Bereitstellen eines Eingabevektors, der aus einem Datensignal abgeleitet wird; Durchführen einer Zustandsüberwachung, bei dem anhand des Eingabevektors unter Verwendung der gewichteten Entscheidungsbaums der Zustand der Komponente bzw. des System bestimmt wird, indem neben einer Information, welche der Klassifikationsfunktionen des Entscheidungsbaums am besten zu dem Eingangsvektor passt, eine zusätzliche Information, mit welcher Wahrscheinlichkeit die übrigen Klassen des Entscheidungsbaums zu dem zu dem untersuchten Eingangsvektor passen, berechnet und ausgegeben wird. Die vorliegende Erfindung bezieht sich ferner auf ein Computerprogrammprodukt.



**Beschreibung**

## GEBIET DER ERFINDUNG

**[0001]** Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf ein computerimplementiertes Verfahren und eine Vorrichtung zur Zustandsüberwachung einer Komponente oder eines Systems, insbesondere einer Komponente oder eines Systems für ein Luft- und Raumfahrzeug. Die vorliegende Erfindung bezieht sich ferner auf ein Computerprogrammprodukt.

## TECHNISCHER HINTERGRUND

**[0002]** Das Konzept der Zustandsüberwachung, das auch als Condition-Monitoring bezeichnet wird, basiert auf einer regelmäßigen oder permanenten Erfassung des Zustandes einer Maschine. Mit Hilfe der Zustandsüberwachung sollen einerseits die Sicherheit und andererseits die Effizienz erhöht werden. Bei der Überwachung des Zustands eines Systems oder deren Komponenten stellt das Verhalten der Maschinenstruktur die Signalquelle dar. Treten Eigenschaftsänderungen in der Maschinenstruktur auf, z. B. durch Verschleiß von Bauteilen, so stellt dies für die Maschinenüberwachung ein zu detektierendes Ereignis dar. Die Überwachung erfolgt durch Messung und Analyse aussagefähiger physikalischer Größen, wie etwa der Schwingungen, der Temperaturen, etc. Die Zustandsüberwachung setzt sich aus mehreren Teilschritten zusammen:

- Die Zustandserfassung umfasst die Messung und Dokumentation von Systemparametern, die den aktuellen Zustand des jeweiligen Systems bzw. deren Komponenten widerspiegeln.
- Der Zustandsvergleich stellt den Vergleich des Istzustandes mit einem vorgegebenen Referenzwert dar. Dieser Referenzwert kann sowohl ein einzuhaltender Sollwert als auch ein nicht zu überschreitender Grenzwert sein.
- Diagnose: Anhand der Resultate des Zustandsvergleichs können eventuell vorhandene Fehler möglichst früh lokalisiert und deren Ursachen ermittelt werden, um notwendige Instandhaltungsmaßnahmen beizeiten planen zu können.

**[0003]** Obwohl prinzipiell auf beliebige Verfahren zur Zustandsüberwachung anwendbar, wird die vorliegende Erfindung sowie die ihr zugrunde liegende Problematik nachfolgend mit Bezug auf ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Zustandsüberwachung für die Anwendung in einem Luft- und Raumfahrzeug erläutert. Insbesondere wird die vorliegende Erfindung nachfolgend mit Bezug auf die Zustandsüberwachung anhand von gemessenen Schwingungen an einer Komponente oder eines Systems eines Flugzeugs erläutert.

**[0004]** In der DE 10 2006 031 009 B4 ist ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Überwachung des

Zustand von Strukturbauteilen eines Flugzeugs beschrieben. Die dort beschriebene Zustandsüberwachung basiert auf der optischen Untersuchung von Strukturbauteilen und Rechner gestütztem Vergleich des aufgenommenen Abbilds mit einem Referenzbild. Damit lässt sich das äußere Erscheinungsbild der Strukturbauteile überwachen. Die Überwachung der Funktion von Systemen und Komponenten eines Flugzeugs ist durch eine solche optische Überwachung des Zustands nicht möglich.

**[0005]** Bei Flugzeugen, insbesondere bei Passagierflugzeugen, sind allein schon aus Sicherheitsgründen stets fest vorgegebene Instandhaltungsintervalle, innerhalb der Komponenten und Systeme eines Flugzeugs überprüft, gewartet und instandgesetzt werden müssen, einzuhalten. Diese Intervalle werden so festgelegt, dass sichergestellt ist, dass die jeweiligen Komponenten und Systeme bis zum nächsten Instandhaltungsintervall ausreichend sicher und funktionsfähig sind. Daher werden die entsprechenden Instandhaltungsintervalle typischerweise mit einem Zeitpuffer entsprechend großzügig gewählt.

**[0006]** Problematisch ist allerdings, dass bei dieser Vorgehensweise mitunter auch Systeme eines Flugzeugs gewartet werden, obwohl diese beispielsweise noch voll funktionsfähig sind und tatsächlich keinerlei Notwendigkeit für deren Instandhaltung besteht. Es ist daher leicht ersichtlich, dass dadurch aufgrund der nicht erforderlichen Instandhaltung, die aber in Unkenntnis der tatsächlichen Verhältnisse dennoch vorgenommen werden, zusätzliche Kosten entstehen.

**[0007]** Hinzu kommt, dass zum Beispiel bei Passagierflugzeugen die Zeiträume, die für Instandhaltungsarbeiten zur Verfügung stehen, lediglich sehr kurz bemessen sind. Üblicherweise werden diese Arbeiten während der Standzeiten des Flugzeugs zwischen der Ankunft eines Flugzeugs am Terminal und dem erneuten Verlassen des Terminals vorgenommen, wofür meist ein nur kurzer Zeitabschnitt von etwa 90 Minuten zur Verfügung steht. Insofern ist es daher wünschenswert, bereits vorher entsprechende Erkenntnisse über den Zustand eines Systems oder einer Komponenten im Flugzeug zu sammeln.

**[0008]** Der Klimaanlage, die meist auch als HVAC (Heat, Ventilating and Air Conditioning) oder HLK (Heizung, Lüftung, Klimatechnik) bezeichnet wird, kommt in einem Flugzeug sowohl im Hinblick auf die Funktionalität als auch für den Komfort der Passagiere eine besondere Bedeutung zu. Die Klimaanlage soll einerseits die Passagiere in einem Flugzeug mit frischer temperierter Luft versorgen, als auch elektronische Systeme kühlen. Die Klimaanlage verwendet hierzu Rezirkulationslüfter und Filter, um die Kabinenluft zu zirkulieren und damit reinigen zu können. Die verwendeten Filter können allerdings mit der Zeit

verstopfen, entsprechende Zuleitungen können verschmutzen und der Lüfter kann beispielsweise defekt werden, beispielsweise durch Ausfallen der Elektromotoren oder durch Bruch der Lüfterblätter. Problematisch ist nun, dass insbesondere das Verstopfen der Filter sehr schwer vorhersagbar ist, da dies immer von der Umgebung der jeweiligen Filter und dem Anwendungsgebiet abhängt. Dies führt dazu, dass diese Filter daher sehr häufig Vorort überprüft werden, was zusätzliche Überprüfungszeiten während der Standzeiten des Flugzeugs nach sich zieht.

**[0009]** Dies ist ein Zustand, den es verständlicherweise zu vermeiden gilt.

#### ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

**[0010]** Vor diesem Hintergrund liegt der vorliegenden Erfindung die Aufgabe zugrunde, eine bessere Zustandsüberwachung für eine Komponente oder ein System insbesondere bei Anwendung in einem Luft- und Raumfahrzeug machen zu können.

**[0011]** Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Patentanspruchs 1 und/oder durch eine Vorrichtung mit den Merkmalen des Patentanspruches 13 und/oder durch ein Computerprogrammprodukt mit den Merkmalen des Patentanspruches 15 gelöst.

**[0012]** Demgemäß ist vorgesehen:

- Ein computerimplementiertes Verfahren zur Zustandsüberwachung einer Komponente oder eines Systems, insbesondere einer Komponente oder eines System für ein Luft- und Raumfahrzeug, mit den Schritten: Bereitstellen eines optimierten Entscheidungsbaums, dessen Knoten Attribute eines jeweiligen Eingabevektors, dessen Blätter jeweils eine Klassifikationsfunktion beinhalten und dessen Verbindungen zwischen den Knoten des Entscheidungsbaums gewichtet sind; Bereitstellen eines Eingabevektors, der aus einem Datensignal abgeleitet wird; Durchführen einer Zustandsüberwachung, bei dem anhand des Eingabevektors unter Verwendung der gewichteten Entscheidungsbaums der Zustand der Komponente bzw. des System bestimmt wird, indem neben einer Information, welche der Klassifikationsfunktionen des Entscheidungsbaums am besten zu dem Eingangsvektor passt, eine zusätzliche Information, mit welcher Wahrscheinlichkeit die übrigen Klassen des Entscheidungsbaums zu dem zu dem untersuchten Eingangsvektor passen, berechnet und ausgegeben wird.
- Eine Vorrichtung zur Zustandsüberwachung einer Komponente oder eines Systems, insbesondere unter Verwendung eines erfindungsgemäßen Verfahrens, mit einer Messeinrichtung, die dazu ausgelegt ist, zur Erzeugung einer zeitabhängige Folge von Datenpunkten eine physikali-

sche Messgröße an der Komponente bzw. dem System zu messen; mit einem Speicher, in welchem zumindest eine zeitabhängige Folge von Datenpunkten ablegbar ist; mit einer Rechen- und Auswerteeinrichtung, die dazu ausgelegt ist, anhand zumindest einer der zeitabhängigen Folgen von Datenpunkten einen optimierten Entscheidungsbaum zu erzeugen und anhand des so erzeugten Entscheidungsbaums eine Zustandsüberwachung vorzunehmen.

– Ein Computerprogrammprodukt, in welchem ein Computerprogramm abgespeichert ist, welches dazu ausgebildet ist, ein erfindungsgemäßes Verfahren auszuführen.

**[0013]** Die der vorliegenden Erfindung zugrunde liegende Erkenntnis besteht darin, dass die meisten Systeme charakteristische, systeminhärente Betriebseigenschaften aufweisen, die Rückschlüsse auf die Eigenschaften und den Zustand der jeweiligen Systeme erlauben. Beispielsweise können Schwingungen an einem System oder einer Komponente oder deren Temperatur in mehr oder weniger regelmäßigen Abständen gemessen werden. Die Idee ist nun, dass die so gesammelten Messdaten ein Maß für den Zustand und die Eigenschaften des untersuchten Systems bzw. der entsprechenden Komponente sind. Bei geeigneter Interpretation dieser Messdaten lassen sich damit Rückschlüsse für die Veränderung der Eigenschaften und des Zustands dieses Systems bzw. der Komponente ableiten. Insbesondere unter der Prämisse, dass der Zustand eines Systems bzw. einer Komponente sich mit zunehmender Betriebsdauer eher verschlechtern wird als verbessern, können unter Heranziehung zusätzlicher Annahmen und bei Verwendung eines geeignet gewonnenen Entscheidungsbaums Schlussfolgerungen über den augenblicklichen Zustands des Systems bzw. der Komponente getroffen werden.

**[0014]** Die vorliegende Erfindung schafft eine Möglichkeit, ohne besondere Kenntnis mathematischer Zusammenhänge eine automatisierte Zustandsüberwachung für zu untersuchende Komponenten und Systeme, insbesondere innerhalb eines Flugzeuges, zu machen. Hierzu werden Messdaten anhand eines Analysemodell analysiert. Für dieses Analysemodell ist es in Weise nicht notwendig, die Natur des zu untersuchenden Gegenstandes genau zu kennen, beispielsweise dessen physikalische Eigenschaften, Konstruktion und dergleichen. Für die Zustandsüberwachung wird ein geeignet gewählter Entscheidungsbaum verwendet, der für die Klassifikation der für die Analyse und Auswertung erforderlichen Daten vorgesehen ist. Mittels eines geeigneten Lern- oder Trainingskonzepts, welches auf den Entscheidungsbaum angewendet wird, lassen sich dann optimierte Daten bereitstellen. Damit ist es möglich, eine angepasste Zustandsüberwachung vorzunehmen, die bereits das dynamische Verhalten des zu untersuchenden Sys-

tems bzw. der zu untersuchenden Komponente berücksichtigt.

**[0015]** Mittels des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Zustandsüberwachung ist es in vorteilhafter Weise möglich, Instandhaltungsintervalle so festzulegen, dass diese an die jeweiligen tatsächlichen Gegebenheiten des untersuchten Systems bzw. der untersuchten Komponente angepasst sind. Insbesondere wird dadurch verhindert, dass Wartungsarbeiten durchgeführt werden, obwohl diese nicht notwendig gewesen wären, was zu signifikanten Kosteneinsparungen führt. Umgekehrt wird dadurch auch verhindert, dass Wartungsarbeiten nicht durchgeführt werden, obwohl diese notwendig wären. Dies steigert den entsprechenden Komfort bei den Fluggästen.

**[0016]** Wesentlicher Bestandteil der Erfindung sind geeignet gewählte Entscheidungsbäume. Entscheidungsbäume sind geordnete, gerichtete Bäume, die der Darstellung von Entscheidungsregeln dienen. Sie veranschaulichen hierarchisch, aufeinanderfolgende Entscheidungen und sind eine Methode zur automatischen Klassifikation von Datenobjekten und damit zur Lösung von Entscheidungsproblemen. Ein Entscheidungsbaum besteht immer aus einem Wurzelknoten (root node), der als Eingabeknoten für einen Eingangsvektor dient, beliebig vielen inneren Knoten sowie mindestens zwei Blättern. Dabei repräsentiert jeder Knoten eine logische Regel, die als Attribut bezeichnet wird. Unter einem Attribut wird eine einem jeweiligen Knoten des Entscheidungsbaums zugeordnete Eigenschaft zugewiesen, die somit im Allgemeinen als Merkmal, Kennzeichen oder Informationsdetail des Knotens fungiert. Ein Blatt entspricht der Klassifikation. Jedes Blatt enthält eine Antwort auf ein komplexes Entscheidungsproblem, welche auch als Klassifikation bezeichnet wird. Den Blättern sind damit mehr oder weniger komplexe Klassifikationsfunktionen zugeordnet. Ein großer Vorteil von Entscheidungsbäumen ist, dass sie gut erklärbar und nachvollziehbar sind. Dies erlaubt dem Benutzer, das Ergebnis auszuwerten und Schlüsselattribute zu erkennen. Das ist vor allem nützlich, wenn grundlegende Eigenschaften der Daten von vornherein nicht bekannt sind. Damit ist die Induktion von Entscheidungsbäumen auch eine wichtige Technik des Data Mining. Unter Data Mining versteht man die systematische Anwendung von Methoden, die meist statistisch-mathematisch begründet sind, auf einen Datenbestand mit dem Ziel, daraus Muster oder Trends zu erkennen.

**[0017]** Um eine Klassifikation eines einzelnen Datenobjektes am Entscheidungsbaum abzulesen, geht man vom Wurzelknoten entlang des Entscheidungsbaums abwärts. Bei jedem Knoten wird ein Attribut abgefragt und eine Entscheidung über die Auswahl des folgenden Knoten getroffen. Diese Prozedur wird so lange fortgesetzt, bis ein Blatt erreicht

ist. Der besondere Vorteil der vorliegenden Erfindung besteht nun darin, dass neben der bloßen Abfrage auch eine Gewichtung der jeweiligen Antworten vorgenommen wird. Auf diese Weise erhält man am Ausgang, also an den Blättern, des Entscheidungsbaums mehrere Ergebnisse, also mehrere Klassifikationen, die im Unterschied zu bisherigen Entscheidungsbäumen auch die Wahrscheinlichkeiten der verschiedenen möglichen Ergebnisse angeben. Konkret werden als Ergebnis eines Entscheidungsbaums auf ein Eingangsvektor Wahrscheinlichkeiten von verschiedenen möglichen Ergebnissen ausgegeben.

**[0018]** Auf diese Weise ist eine Zustandsüberwachung der Klimaanlage implementierbar, bei der gewissermaßen auch eine Verlässlichkeit des Ergebnisses ausgegeben wird. Neben einem reinen Ergebnis, ob die Klimaanlage noch funktionsfähig ist oder nicht, ergibt sich auch eine Beziehung dieses Ergebnis mit anderen möglichen Ergebnissen des Entscheidungsbaums.

**[0019]** Vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen der Erfindung ergeben sich aus den weiteren Unteransprüchen sowie aus der Beschreibung unter Bezugnahme auf die Figuren der Zeichnung.

**[0020]** In einer typischen Ausgestaltung wird die Gewichtung der Verbindungen zwischen den Knoten des Entscheidungsbaums derart definiert, dass diese ein Maß für den Abstand des Werts eines jeweiligen Attributs von dem Eingabevektor bezeichnen.

**[0021]** In einer bevorzugten Ausgestaltung wird das Datensignal durch zeitkontinuierliches oder zeitdiskretes Messen einer physikalischen Größe an der Komponente bzw. dem System ermittelt. Das gemessene Datensignal kann dabei durch Messen einer Schwingung, etwa einer mechanischen Schwingung (Vibration) oder einer akustischen Schwingung (Geräusch), ermittelt werden. Besonders bevorzugt ist das erfindungsgemäße Verfahren bei einem als Klimaanlage in einem Luft- und Raumfahrzeug ausgebildeten System anwendbar, bei dem als untersuchter physikalischer Parameter zum Beispiel eine von der Klimaanlage erzeugte Schwingung (Vibration oder Geräusch) gemessen wird. Dies ist insbesondere vorteilhaft, da solche Schwingungen sich zum Beispiel im Falle eines sich zunehmend verschmutzenden Rezirkulationsfilters typischerweise nur sehr langsam verändert. Diese Veränderung lässt sich durch eine in regelmäßigen Abständen durchgeführte Zustandsüberwachung einfach und verlässlich erkennen. Ist beispielsweise ein Element der Klimaanlage, wie etwa der Rezirkulationsfilter oder der Lüfter defekt, äußert sich dies beispielsweise in Form einer Erhöhung der Vibration, die somit als Maß für den Zustand dieses Systems gemessen und ausgewertet werden kann. Die Erfindung sei allerdings nicht auf die Messung und Auswertung eines als

Schwingungen ausgebildeten physikalischen Parameters beschränkt, sondern lässt sich beispielsweise auch auf andere physikalische Parameter, wie beispielsweise die Temperatur, das Gewicht, EMV-Abstrahlung, elektrische Ströme und Spannungen, etc. erweitert.

**[0022]** In einer bevorzugten Ausgestaltung wird für die Erzeugung des Eingangsvektors eine Vorverarbeitung des Datensignals vorgenommen. Bei dieser Vorverarbeitung können zum Beispiel das Datensignal in vorgegebene Zeitabschnitte unterteilt werden. Ferner können aus dem Datensignal beispielsweise durch Abtastung eine zeitkontinuierliche Folge zeitdiskreter Datenpunkte ermittelt werden. Dieser Maßnahme liegt die Erkenntnis zugrunde, dass zur Erzeugung eines Eingangsvektors nicht notwendigerweise das komplette Datensignal herangezogen werden muss, sondern es reicht häufig aus, lediglich einen vorgegebenen Zeitabschnitt und beispielsweise innerhalb dieses vorgegebenen Zeitabschnitts lediglich einzelne zeitdiskrete Datenpunkte zu verwenden. Dies reduziert den Aufwand zur Analyse und Auswertung des Datensignals und damit zur Generierung des Eingangsvektors signifikant. Typischerweise ist einem gemessenen Datensignal je nach Messmethode oder Signalquelle ein mehr oder weniger starkes Rauschsignal überlagert. Im Rahmen der Vorverarbeitung wäre es zusätzlich vorteilhaft, dass dieses überlagerte Rauschsignal zumindest reduziert und im Idealfall auch gänzlich eliminiert wird. Diese Rauschreduzierung ist beispielsweise auf sehr einfache Weise dadurch möglich, dass das Datensignal in den Frequenzbereich transformiert wird, beispielsweise durch eine FFT-Transformation, und im Frequenzbereich die das Rauschen repräsentierenden Frequenzbänder herausgefiltert werden. Durch Reduzierung bzw. Eliminierung des dem Datensignal überlagerten Rauschsignals ergibt sich eine bessere Qualität des erzeugten Eingangsvektors und damit auch eine verbesserte Qualität der Zustandsüberwachung. Schließlich wäre auch denkbar, dass das gemessene Datensignal beispielsweise durch FFT-Transformation in den Frequenzbereich transformiert wird, um dort weiter analysiert zu werden. Im Frequenzbereich können gewisse Charakteristiken des Datensignals ermittelt werden und für die Erzeugung des Eingangsvektors herangezogen werden, die zum Beispiel aus dem im Zeitbereich analysierten Datensignal nicht erkennbar sind.

**[0023]** In einer typischen Ausgestaltung werden bei der Vorverarbeitung des Datensignals im Zeitbereich für das gesamte Datensignal und/oder für zumindest einen vorgegebenen Zeitabschnitt des Datensignals Mittelwerte, Maximalwerte, Minimalwerte, Steigungen und/oder Wendepunkte des Datensignals ermittelt. Auf diese Weise werden zusätzliche Informationen, die dem gemessenen Datensignal inhärent sind und die insbesondere das Datensignal und so-

mit die zu ermittelnde physikalische Größe charakterisieren, gewonnen.

**[0024]** In einer ebenfalls besonders bevorzugten Ausgestaltung wird bei der Vorverarbeitung des Datensignals im Frequenzbereich für das gesamte Frequenzsignal und/oder lediglich für vorgegebene Frequenzblöcke des Frequenzsignals eine mittlere Frequenz, eine maximale Frequenz, eine minimale Frequenz und/oder eine Anzahl an Frequenzpeaks ermittelt. Die Anzahl der Frequenzpeaks kann für einen oder mehrere Frequenzblöcke oder etwa auch für das gesamte Frequenzsignal gemessen werden.

**[0025]** Durch die eben genannte Auswertung des Datensignals im Zeitbereich und/oder im Frequenzbereich lassen sich aus dem Datensignal zusätzliche Informationen generieren, die ein Maß für das gemessene Datensignal und damit für die zu untersuchende physikalische Größe sind. Der vorliegenden Erfindung liegt nun die Erkenntnis zugrunde, dass für die Zustandsüberwachung einer Komponente bzw. eines Systems nicht notwendigerweise das gesamte gemessene Datensignal und gegebenenfalls daraus gewonnene zusätzliche Informationen herangezogen werden müssen. Vielmehr reicht es oftmals aus, einige wenige, beispielsweise charakteristische Eigenschaften der zu untersuchenden Komponente bzw. des Systems heranzuziehen. Aus diesem Grund wird in einer besonders bevorzugten Ausgestaltung bei der Vorverarbeitung des Datensignals eine Reduzierung dessen Dateninhalts vorgenommen. Eine aus dieser Reduzierung des Dateninhalts gewonnene datenreduzierte Folge von Datenpunkten und/oder bei der Vorverarbeitung des Datensignals gewonnene sonstige Dateninformationen können dann zur Generierung des Eingangsvektors für den Entscheidungsbaum herangezogen werden. Dies reduziert insgesamt den Aufwand für die Analyse und Auswertung der Daten und damit den Aufwand für die Zustandsüberwachung.

**[0026]** In einer typischen Ausgestaltung wird für die Bereitstellung eines optimierten Entscheidungsbaums zunächst ein Merkmalsvektor berechnet. Für die Berechnung des Merkmalsvektors sind Trainingsdaten und ein Parametersatz vorgesehen.

**[0027]** Vorzugsweise enthält der Parametersatz solche Parameter, die für die Erstellung des Merkmalsvektors erforderlich sind, insbesondere zumindest einen der folgenden Parameter:

- Anzahl der Maximal-, Minimal- und/oder Mittelwerte des gemessenen Datensignals im Zeitbereich und/oder im Frequenzbereich;
- Länge eines für die Analyse verwendeten Datenabschnitts;
- Anzahl der durch Abtastung gewonnenen Datenpunkte innerhalb eines Datenabschnitts;

- Anzahl und Breite der Frequenzblöcke für einen vorgegebenen Zeitabschnitt des gemessenen Datensignals;
- Anzahl der Frequenzpeaks (i. e. Frequenzen, die einen vorgegebenen Grenzwert überschreiten) innerhalb eines Frequenzblocks oder des gesamten Frequenzsignals;
- Umfang der Rauschunterdrückung.

**[0028]** Zusätzlich oder alternativ wäre natürlich auch denkbar, andere Parameter für den vorgegebenen Parametersatz zu verwenden, wie etwa Wendepunkte und Steigungen eines vorgegebenen Abschnitts eines gemessenen Datensignals, ein sich bei der Berechnung ergebender zulässiger Fehler, Korrekturwerte und dergleichen.

**[0029]** In einer bevorzugten Ausgestaltung werden für die Bereitstellung der Trainingsdaten eine physikalische Größe der zu untersuchenden Komponente bzw. des Systems gemessen. Aus dem so ermittelten Datenmesssignal können dann beispielsweise für einen vorgegebenen Zeitabschnitt durch Abtastung eine vorgegebene Anzahl an Datenpunkten erzeugt werden. Durch Selektion einer vorgegebenen Anzahl an Datenpunkten aus diesen abgetasteten Datenpunkten kann dann die zeitabhängige Folge von Datenpunkten gebildet werden, welche die zur Erzeugung des Merkmalsvektors erforderliche zeitabhängige Folge von Datenpunkten bilden.

**[0030]** Vorzugsweise werden anfangs, das heißt zu Beginn der Ermittlung des Merkmalsvektors, der zur Erzeugung eines Entscheidungsbaums vorgesehen ist, Zufallswerte als Parametersatz festgelegt. Unter Verwendung der Trainingsdaten und des Parametersatzes wird anschließend ausgehend von den Zufallswerten iterativ ein zunehmend optimierter Entscheidungsbaum solange berechnet, bis ein Fehler des Entscheidungsbaums unter einen vorgegebenen Schwellenwert fällt. Insbesondere wird also solange ein Parametersatz optimiert, bis sich ein stabiler Wert ergibt. Ein stabiler Wert kann dann vorliegen, wenn sich beispielsweise der Parametersatz nicht mehr ändert. Man geht dann davon aus, dass dieser ermittelte und damit optimierte Parametersatz bezogen auf den Entscheidungsbaum und die verwendeten Trainingsdaten optimiert ist. Der Parametersatz ändert sich typischerweise bei jeder Iteration der Optimierung, wobei typischerweise die Änderung mit zunehmender Iteration immer geringer wird. Das Abbruchkriterium, bei dem die Iteration zur Ermittlung des optimierten Parametersatzes abgeschlossen wird, hängt von den jeweils gewählten Abbruchkriterien ab. Beispielsweise kann als Abbruchkriterium auch eine höchste Genauigkeit bei dem verwendeten Optimierungsalgorithmus vorgesehen sein. Typischerweise, jedoch nicht notwendigerweise, wird als Optimierungsalgorithmus ein genetischer Algorithmus verwendet. Die-

ser ist sehr einfach implementierbar und zeigt vergleichsweise sehr gute Ergebnisse.

**[0031]** In einer vorteilhaften Ausgestaltung wird der Entscheidungsbaum unter Verwendung eines ID3 (Iterative Dichotomiser 3) Algorithmus oder C4.5 Algorithmus berechnet, wobei als Eingabevektor der im Rahmen der Optimierung des Parametersatzes berechnete optimierte Merkmalsvektor vorgesehen ist. Neben diesen Algorithmen wäre es auch denkbar, einen CART (Classification and Regression Trees) Algorithmus oder CHAID (Chisquare Automatic Interaction Detectors) Algorithmus zu verwenden. Der ID3 Algorithmus wird verwendet, wenn bei großer Datenmenge viele verschiedene Attribute von Bedeutung sind und deshalb ein Entscheidungsbaum ohne große Berechnungen generiert werden soll. Die aus einem ID3 Algorithmus erzeugten Entscheidungsbäume sind meist sehr einfach in deren Aufbau. Bei einem CART-Algorithmus können nur binäre Entscheidungsbäume erzeugt werden, das heißt, an jeder Verzweigung sind immer genau zwei Äste vorhanden. Das zentrale Element des CART-Algorithmus ist also das Finden einer optimalen binären Trennung. Der C4.5 Algorithmus verhält sich sehr ähnlich zum CART-Algorithmus, wobei beim C4.5 Algorithmus keine binäre Aufteilung erfolgen muss, sondern eine beliebige Anzahl von Verzweigungen eingebaut werden können, was für viele Anwendungen sehr vorteilhaft ist. Der Entscheidungsbaum des C4.5 Algorithmus wird dadurch breiter, er ist aber auch meist weniger tief. Dafür werden nach der ersten Klassifizierung die nachfolgenden Aufsplittungen weniger bedeutungsvoll. Im Unterschied zu anderen Algorithmen wird bei dem CHAID-Algorithmus ein Wachsen des Entscheidungsbaumes gestoppt, bevor der Baum zu groß geworden ist.

**[0032]** Vorzugsweise wird der Entscheidungsbaum nach dessen Erzeugung anhand von eigens dafür vorgesehenen Lerndaten durch Iteration trainiert. Diese Lern- bzw. Trainingsphase des Entscheidungsbaums ist nicht notwendiger Weise vorgesehen, jedoch vorteilhaft. Die Lerndaten können grundsätzlich eine entsprechende Syntax wie die Trainingsdaten aufweisen, das heißt als Lerndaten können ebenfalls eine Anzahl von Datenpunkten verwendet werden, die beispielsweise durch Messung oder auch auf andere Weise ermittelt wurden und die eine zeitabhängige Folge von Datenpunkten enthalten.

**[0033]** In einer bevorzugten Ausgestaltung ist die erfindungsgemäße Vorrichtung als elektronische Messbox und insbesondere als Temperatur- und/oder Schwingungsmessbox ausgebildet. Diese elektronische Messbox weist eine Schnittstelle auf, über welche die Messbox an der zu untersuchenden Komponente bzw. dem System anbringbar ist. Über die elektronische Messbox lassen sich somit die jeweils für die Trendvorhersage benötigten Daten und damit

die entsprechende physikalische Messgröße durch direkte oder indirekte Messung ermitteln. Im Falle einer Temperaturmessung weist die elektronische Messbox beispielsweise einen als Temperatursensor ausgebildeten Sensor auf, der die Temperatur der zu untersuchenden Komponente bzw. dem System erfasst. Im Falle einer Vibration oder einer sonstigen Schwingung sind entsprechende Vibrations- bzw. Schwingungssensoren vorgesehen.

**[0034]** Die obigen Ausgestaltungen und Weiterbildungen lassen sich, sofern sinnvoll, beliebig miteinander kombinieren. Weitere mögliche Ausgestaltungen, Weiterbildungen und Implementierungen der Erfindung umfassen auch nicht explizit genannte Kombinationen von zuvor oder im Folgenden bezüglich der Ausführungsbeispiele beschriebenen Merkmale der Erfindung. Insbesondere wird dabei der Fachmann auch Einzelaspekte als Verbesserungen oder Ergänzungen zu der jeweiligen Grundform der vorliegenden Erfindung hinzufügen.

#### INHALTSANGABE DER ZEICHNUNG

**[0035]** Die vorliegende Erfindung wird nachfolgend anhand der in den schematischen Figuren der Zeichnungen angegebenen Ausführungsbeispiele näher erläutert. Es zeigen dabei:

**[0036]** [Fig. 1](#) ein Ablaufdiagramm zur Darstellung des Ablaufs eines ersten, allgemeinen Ausführungsbeispiels des erfindungsgemäßen Verfahrens;

**[0037]** [Fig. 2](#) ein Ablaufdiagramm zur Darstellung des Ablaufs eines zweiten, bevorzugten Ausführungsbeispiels des erfindungsgemäßen Verfahrens;

**[0038]** [Fig. 3](#) ein Blockschaltbild einer erfindungsgemäßen Vorrichtung.

**[0039]** Die beiliegenden Zeichnungen sollen ein weiteres Verständnis der Ausführungsformen der Erfindung vermitteln. Sie veranschaulichen Ausführungsformen und dienen im Zusammenhang mit der Beschreibung der Erklärung von Prinzipien und Konzepten der Erfindung. Andere Ausführungsformen und viele der genannten Vorteile ergeben sich im Hinblick auf die Zeichnungen. Die Elemente der Zeichnungen sind nicht notwendigerweise maßstabsgetreu zueinander gezeigt.

**[0040]** In den Figuren der Zeichnung sind gleiche, funktionsgleiche und gleich wirkende Elemente, Merkmale und Komponenten – sofern nichts Anderes ausführt ist – jeweils mit denselben Bezugszeichen versehen.

#### BESCHREIBUNG VON AUSFÜHRUNGSBEISPIELEN

**[0041]** [Fig. 1](#) zeigt ein Ablaufdiagramm zur Darstellung des Ablaufs eines ersten, allgemeinen Ausführungsbeispiels des erfindungsgemäßen Verfahrens.

**[0042]** Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren handelt es sich um ein computerimplementiertes Verfahren zur Zustandsüberwachung einer Komponente oder eines Systems. Es sei angenommen, dass es sich bei dem System um eine Klimaanlage in einem Flugzeug handelt. Der Zustand der Klimaanlage soll anhand einer von der Klimaanlage erzeugten Schwingungsvibration, die gemessen und entsprechend ausgewertet wird, abgeleitet werden.

**[0043]** In einem ersten Schritt S1 wird zunächst ein optimierter Entscheidungsbaum bereitgestellt. Die Erzeugung des optimierten Entscheidungsbaums wird nachfolgend mit Bezug auf [Fig. 2](#) noch detailliert erläutert. In den Eingabe- oder Wurzelknoten wird ein geeignet gewählter Eingabevektor, der aus einem gemessenen Datensignal abgeleitet ist und der verschiedene das Eingangssignal charakterisierende, diskrete Datenpunkte aufweist, eingegeben. Die Knoten des Entscheidungsbaum bezeichnen die Attribute des Eingabeknotens, beispielsweise die Datenpunkte eines jeweiligen Eingabevektors. Die Blätter repräsentieren jeweils eine Klassifikation. Die Besonderheit des verwendeten optimierten Entscheidungsbaums besteht darin, dass hier zusätzlich die Verbindungen zwischen den Knoten des Entscheidungsbaums gewichtet sind.

**[0044]** Ein besonders wesentlicher Aspekt bei dem optimierten und gewichteten Entscheidungsbaum besteht darin, dass hier sämtliche Verbindungen (oder etwa auch lediglich die Verbindungen der obersten Hierarchiestufe) zwischen den Knoten des Entscheidungsbaums den Abstand des Werts eines Attributs eines Knotens des Entscheidungsbaums von dem Eingabevektor bezeichnet. Auf diese Weise können im Unterschied zu bisherigen Lösungen, bei denen lediglich binäre Aussagen beim Durchlaufen des Entscheidungsbaums getroffen wurden, Wahrscheinlichkeiten in dem durchlaufenden Pfad des Entscheidungsbaums vorgesehen sein. Dadurch wird das ausgegebene Ergebnis verlässlicher.

**[0045]** In Schritt S2 wird zunächst ein Eingabevektor bereitgestellt. Der Eingabevektor wird aus einem gemessenen oder möglicherweise auch auf andere Weise bereitgestellten Datensignal abgeleitet. Es sei angenommen, dass das Datensignal eine an der Klimaanlage gemessene Vibration darstellt. Dabei können die Eingabedaten für den Entscheidungsbaum aus dem Datensignal abgeleitete Datenpunkte sein, wie sie beispielsweise auch für die Erzeugung des Merkmalsvektors zur Erzeugung des Entscheidungs-

baums verwendet wurden. Die Eingangsdaten für den Entscheidungsbaum können auch in geeigneter Weise vorverarbeitet werden, beispielsweise indem lediglich einige wenige, das gemessene Datensignal kennzeichnende Werte verwendet werden. Die Erzeugung des Eingabevektors wird ebenfalls nachfolgend mit Bezug auf [Fig. 2](#) noch detailliert erläutert.

**[0046]** Im Schritt S3 erfolgt dann die eigentliche Zustandsüberwachung. Bei der Zustandsüberwachung wird unter Verwendung des gewichteten und optimierten Entscheidungsbaums der Zustand der Klimaanlage auf der Basis des gemessenen Vibrationsignals bestimmt. Hierzu wird der im Schritt S2 ermittelte Eingabevektor in den Entscheidungsbaum eingegeben. Mittels des gewichteten Entscheidungsbaums ist es nun möglich, neben einer Information, welche der Klassifikationsfunktionen des Entscheidungsbaums am besten zu dem eingegebenen Eingangsvektor passt, noch eine zusätzliche Information ermittelt. Diese zusätzliche Information zeigt des Weiteren an, mit welcher Wahrscheinlichkeit die übrigen Klassifikationsfunktionen des Entscheidungsbaums zu dem Eingangsvektor passen. Am Ausgang des Entscheidungsbaums sind diese Informationen über die jeweiligen Wahrscheinlichkeiten ablesbar. Auf diese Weise lässt sich eine deutlich verlässlichere und vor allem informationsoptimierte Zustandsüberwachung der Klimaanlage realisieren. Diese Berechnung erfolgt vollautomatisch.

**[0047]** Die Überwachung des Zustands einer Komponente oder eines Systems im Flugzeug kann in situ, das heißt während des Betriebs des Flugzeuges, sowie kontinuierlich erfolgen. Allerdings ist dies nicht notwendiger Weise erforderlich, da sich die Zustände der entsprechenden Systeme und Komponenten, beispielsweise der Klimaanlage im Flugzeug, typischerweise nicht sehr dynamisch ändern und darüber hinaus auch während des Fluges meist keine entsprechenden Instandhaltungsmaßnahmen getroffen werden können. Aus diesem Grunde ist es sinnvoll, diese Zustandsüberwachung lediglich in regelmäßigen Zeitabständen vorzunehmen. Beispielsweise kann vorgesehen sein, dass diese Zustandsüberwachung lediglich zu Beginn eines Fluges und/oder während eines Fluges vorgenommen wird. Ergibt diese Zustandsüberwachung, dass der Zustand z. B. der untersuchten Klimaanlage nicht mehr ausreichend ist, kann unmittelbar nach Beendigung des Fluges die entsprechende Instandhaltungsmaßnahmen vorgenommen werden. Der besondere Vorteil besteht darin, dass diese Erkenntnis bereits vor Antritt des nächsten Fluges bzw. während des Fluges bekannt ist, sodass die Notwendigkeit für die erforderlichen Instandhaltungsarbeiten bereits im Vorhinein für die nächste Standzeit angekündigt werden kann. Insbesondere wäre hier denkbar, dass die entsprechende Vorrichtung zur Zustandsüberwachung über eine eigens dafür vorgesehene Funkschnittstelle verfügt,

mit welcher eine zentrale Einrichtung des Flugzeugbetreibers von der Information, dass eine Instandhaltung geboten ist, informiert wird. Der Flugzeugbetreiber kann dann bereits im Vorhinein, das heißt vor der Landung des Flugzeuges, die entsprechenden Maßnahmen einleiten, beispielsweise die für die Instandhaltung benötigten Reparaturwerkzeuge und Ersatzteile bereitstellen. Aufwändige Analyseverfahren während der lediglich kurzen Standzeit des Flugzeuges zwischen Landung und Start entfallen damit.

**[0048]** [Fig. 2](#) zeigt ein Ablaufdiagramm zur Darstellung des Ablaufs eines zweiten, bevorzugten Ausführungsbeispiels des erfindungsgemäßen Verfahrens.

**[0049]** In einem ersten Schritt S11 wird zunächst ein Startparametersatz erzeugt, der zur Analyse des gemessenen Datensignals oder davon abgeleiteter Daten vorgesehen ist. Für den Startparametersatz können verschiedene Parameter verwendet werden, die einen Einfluss auf die Erzeugung des Entscheidungsbaums haben können. Typischerweise werden diese Parameter von dem Anwender festgelegt. Die dem Parametersatz zugeordneten Parameter können beispielsweise sein:

- Mittelwerte oder Maximalwerte des gemessenen Datensignals im Zeit- und/oder Frequenzbereich;
- Der für die Rauschunterdrückung vorgesehene Faktor, das heißt der Umfang der auf das gemessene Datensignal angewendete Rauschunterdrückung;
- Schwellen für die Detektion von Frequenzpeaks des in den Frequenzbereich transformierten Datensignals;
- Anzahl der Frequenzpeaks (i. e. Grenzwertüberschreitungen) des Datensignals im Frequenzbereich;
- Anzahl und Länge der Frequenzblöcke des in den Frequenzbereich transformierten Datensignals.

**[0050]** Neben den eben genannten Parametern können natürlich auch weitere Parameter, wie etwa die Anzahl der für das Training des Entscheidungsbaums vorgesehenen Datenpunkte einer Folge von Daten, die Anzahl und Art der im Entscheidungsbaum zur Klassifizierung verwendeten Klassifikationsfunktionen und dergleichen.

**[0051]** Im ersten Schritt S11 können die Anfangswerte der Parameter des Startparametersatzes zunächst beliebig gewählt werden, beispielsweise durch zufälliges Setzen der Werte der jeweiligen Parameter. Diese Parameterwerte werden in einem anschließenden, noch zu erläuternden Prozess unter Verwendung eines geeigneten Optimierungsalgorithmus stetig optimiert.

**[0052]** In einem nächsten Schritt S12 werden zunächst eine oder mehrere Folgen von Datenpunkten

bereitgestellt. Die Folge von Datenpunkten können beispielsweise durch Messung einer physikalischen Messgröße, im vorliegenden Fall beispielsweise der Vibration, erzeugt werden. Liegt das gemessene Datensignal in Form eines zeitkontinuierlichen analogen Datenmesssignals vor, können die verschiedenen Datenpunkte zur Erzeugung der zeitabhängigen Folge von Datenpunkten beispielsweise durch Abtastung des Datenmesssignals erzeugt werden. Die so gewonnenen Datenpunkte liegen somit in diskreter Form vor.

**[0053]** In einem nachfolgenden Schritt S13 werden die so erzeugten zeitkontinuierlichen Datenpunkte zusammen mit dem aus dem Schritt S11 bereitgestellten Parametersatz mit den anfänglichen zufälligen Parameterwerten einer Datenanalyse unterzogen. Im Rahmen dieser Datenanalyse können basierend auf den gewählten (ggfs. optimierten) Parametersatz eine oder mehrere der folgenden Analyse-schritte vorgenommen werden:

- Für die Folge der Datenpunkte können die Maximal-, Minimal- und/oder Mittelwerte berechnet werden.
- Die Folge der Datenpunkte kann mittels Fourier Transformation in den Frequenzbereich transformiert werden. Für die so transformierte Datenreihe können dann ebenfalls die Maximal-, Minimal- und/oder Mittelwerte berechnet werden.
- Desweiteren besteht die Möglichkeit, die Datenreihe im Frequenzbereich in Teilabschnitte (so genannte Frequenzblöcke) aufzuteilen. Für diese Teilabschnitte können ebenfalls die jeweiligen Maximal-, Minimal- und/oder Mittelwerte berechnet werden.
- Sofern die Datenreihe im Frequenzbereich in Teilabschnitt aufgeteilt wurde, besteht zusätzlich die Möglichkeit, diese Teilabschnitte wieder in den Zeitbereich zurück zu transformieren. Für die rücktransformierten Teilabschnitte können nun die Maximal-, Minimal- und/oder Mittelwerte im Zeitbereich ermittelt werden.
- Zusätzlich zu den Maximal-, Minimal- und Mittelwerten können im Frequenzbereich auch noch die Frequenzpeaks für die gesamte Datenreihe oder lediglich für einen, mehrere oder alle Teilabschnitte berechnet werden. Unter Frequenzpeaks versteht man die Anzahl der Werte im Frequenzbereich, die einen bestimmten Grenzwert überschreiten. Dieser Grenzwert wird zum Beispiel durch den verwendeten Parametersatz bestimmt.

**[0054]** Anhand der so ermittelten Folge an Merkmalen wird in einem nachfolgenden Schritt S14 der zugrundeliegende Parametersatz optimiert. Bei dieser Optimierung können bekannte Optimierungsalgorithmen, beispielsweise ein genetischer Algorithmus, verwendet werden.

**[0055]** Solche genetische Algorithmen bezeichnen Algorithmen, die auch nicht analytisch lösbare Probleme behandeln können, indem sie wiederholt verschiedene Lösungsvorschläge generieren.

**[0056]** Bei diesen wiederholten Lösungsvorschlägen, das heißt den Optimierungsschritten, verändern diese die jeweiligen Eingangsdaten und kombinieren diese miteinander, um eine Auslese zu erzielen. Als Ausgangsdaten werden Lösungsvorschläge für die nachfolgend verwendeten Eingangsdaten ermittelt, die mit zunehmender Iteration und Optimierung den gestellten Anforderungen immer besser entsprechen. Solche genetische Algorithmen sind heuristische Optimierungsverfahren und gehören zu den evolutionären Algorithmen. Sie werden vor allem für solche Problemstellungen eingesetzt, für die eine geschlossene Lösung nicht oder nicht effizient berechnet werden kann. Statt genetischer Algorithmen wäre auch ein memetischer Algorithmus zur Optimierung denkbar. Allerdings sind genetische Algorithmen die einfachsten evolutionären Optimierungsverfahren, die auch sehr schnell zu implementieren sind und auf neue Probleme anpassbar sind.

**[0057]** Bei jeder Iteration wird ein so genannter Merkmalsvektor erzeugt, der bezogen auf die Datenpunkte eine Klassifikationsinformation sowie entsprechende optimierte Parameterwerte des Parametersatzes enthalten. Dieser Merkmalsvektor ändert sich typischerweise bei jeder Iteration und damit bei jedem Optimierungsschritt. Mit zunehmender Iteration und damit mit zunehmendem Durchlaufen der Optimierung S14 ergeben sich für die eingangs gewählten Datenpunkte innerhalb des Datenabschnitts optimierte Klassifikationsinformationen, das heißt eine optimierte Klassifikation, sowie optimierte Parameterwerte des Parametersatzes.

**[0058]** Dieser Optimierungsalgorithmus S14 wird solange durchgeführt, bis ein Abbruchkriterium erreicht ist. Als Abbruchkriterium im Schritt S15 kann beispielsweise vorgesehen sein, dass die durch Optimierung erzeugten Parameter des Parametersatzes sowie die ermittelte Klassifikation einen stabilen Wert erreicht haben, die beispielsweise ihren Wert nicht mehr ändert. Denkbar wäre auch, wenn ein berechneter Fehler unter einen bestimmten vorgegebenen Wert fällt. Typischerweise hängt das Abbruchkriterium auch von dem verwendeten Optimierungsalgorithmus ab. Beispielsweise kann innerhalb des Optimierungsalgorithmus vorgesehen sein, dass eine maximale Genauigkeit angestrebt ist. Ist diese maximale Genauigkeit bei der Optimierung erreicht, kann der Abbruch der Optimierung festgelegt sein.

**[0059]** Anschließend wird im Schritt S16 in bekannter Weise der Entscheidungsbaum generiert. Für die Erzeugung des Entscheidungsbaums wird ein an sich bekannter Algorithmus, wie beispielsweise der ID3-

Algorithmus oder C4.5-Algorithmus, verwendet. Zur Erzeugung des Entscheidungsbaums wird der im Schritt S14 erzeugte optimierte Merkmalsvektor verwendet, der also für die eingangs verwendete Folge von Datenpunkten eine jeweilige Klassifikationsinformation und einen entsprechend optimierten Parametersatz enthält. Es wird so ein Entscheidungsbaum erzeugt, dessen Blätter eine Klassifikationsfunktion beinhalten. Die Knoten des Entscheidungsbaums beinhalten die Attribute des Merkmalsvektors, also die von den Datenpunkten des zu untersuchenden Datenabschnitts abgeleitete Information.

**[0060]** In einem nachfolgenden Verfahrensschritt S17 kann der so generierte Entscheidungsbaum anhand von Lern- oder Testdaten trainiert werden. Auf diese Weise kann der erzeugte Entscheidungsbaum weiter verfeinert und optimiert werden.

**[0061]** Im Anschluss daran wird der so optimierte Entscheidungsbaum im Schritt S18 geeignet gewichtet. Bei der Gewichtung des Entscheidungsbaums werden die Verbindungen zwischen den verschiedenen Knoten des Entscheidungsbaums mit einem Gewichtungsfaktor versehen. Dadurch erhält der Entscheidungsbaum neben den Attributen, die den verschiedenen Knoten zugeordnet sind, und den jeweiligen in den Blättern hinterlegten Klassifikationen eine zusätzliche Information, die eine Aussage macht, wie weit der eingeschlagene Weg in der Verbindung von der getroffenen Entscheidung abweicht. Auf diese Weise wird ein so genanntes Fuzzy-Klassifikationsverfahren bereitgestellt, welches auf der Theorie der unscharfen Mengen, das heißt auf einer Fuzzy-Logik, basiert. Mittels eines solchen gewichteten Entscheidungsbaums ist es somit möglich, statt einem einzigen Ergebnis, welches die beste Übereinstimmung mit einer ausgangsseitigen Klassifikation aufweist, eine Menge verschiedener Ergebnisse auszugeben. Jedes einer jeweiligen des Entscheidungsbaums zugeordnete Ergebnis beinhaltet dabei eine zusätzliche Information, mit welcher Wahrscheinlichkeit das ausgegebene Ergebnis der zugeordneten Klassifikation entspricht.

**[0062]** Im vorliegenden Ausführungsbeispiel wurde diese Gewichtung des Entscheidungsbaums nach der Generierung des Entscheidungsbaums, der Optimierung des Entscheidungsbaums sowie dem fakultativen Lernprozess des Entscheidungsbaums vorgenommen. Denkbar wäre allerdings auch, wenn die Gewichtung bereits in der Entstehungsphase des Entscheidungsbaums vorgenommen wird, beispielsweise während des Schrittes S16.

**[0063]** Anschließend wird die eigentliche Zustandsüberwachung S19 der Klimaanlage durchgeführt. Bei dieser Zustandsüberwachung wird ein optimierter und gewichteter Entscheidungsbaum, wie er beispielsweise im Schritt S18 ermittelt wurde, verwen-

det. Als Eingangsvektor für den Entscheidungsbaum wird hier eine Folge von Datenpunkten, die einen Datenabschnitt bilden, bereitgestellt.

**[0064]** Der für die Zustandsüberwachung verwendete Datenabschnitt wird in einem vorherigen Verfahrensschritt S20 ermittelt. Hierzu wird eine physikalische Messgröße gemessen, beispielsweise eine Vibration der Klimaanlage des Flugzeugs. Dieses gemessene Datensignal wird abgetastet, um daraus Datenmesspunkte zu ermitteln, die für die Zustandsüberwachung verwendet werden. Eine vorgegebene Anzahl von derart ermittelten Datenpunkten bilden den Eingangsvektor, der im Schritt S19 zum Zwecke der Zustandsüberwachung in den optimierten und gewichteten Entscheidungsbaum eingegeben wird.

**[0065]** Zusätzlich kann auch eine weitergehende Datenvorverarbeitung S21 vorgesehen sein. Anhand dieser weiteren Vorverarbeitung können aus dem gemessenen Datensignal weitere Zusatzinformationen gewonnen werden. Diese Zusatzinformationen können zusätzlich oder alternativ zu dem Datenmesssignal für die Ermittlung des Eingangsvektors für den Entscheidungsbaum verwendet werden.

**[0066]** Bei der Vorverarbeitung S21 des Datenmesssignals wird typischerweise ein Verfahren zur Rauschreduzierung und idealer Weise zur Rauschunterdrückung verwendet, um ein dem gemessenen Datensignal überlagertes Rauschsignal zumindest zu reduzieren. Zusätzlich können weitere Informationen aus dem Datensignal ermittelt werden, wie etwa im Zeitbereich die Ermittlung eines Mittelwertes, Minimalwerte, Maximalwerte, Steigungen, Wendepunkte und dergleichen. Zusätzlich wäre es auch möglich, das Datenmesssignal in mehrere Zeitabschnitte vorgegebener Zeitdauer zu unterteilen und die eben genannten Informationen lediglich innerhalb eines solchen Zeitabschnitts zu ermitteln.

**[0067]** Zusätzlich kann das gemessene Datensignal bei der Vorverarbeitung S21 auch in den Frequenzbereich transformiert werden, beispielsweise unter Verwendung einer FFT, um daraus entsprechende Frequenzpeaks, Mittelwerte, Maximalwerte, Minimalwerte der Frequenz und dergleichen abzuleiten. Ferner kann das in den Frequenzbereich transformierte Datensignal auch in entsprechende Frequenzblöcke gleicher oder unterschiedlicher Länge unterteilt werden, um die entsprechenden Frequenzinformationen lediglich innerhalb der Frequenzblöcke zu ermitteln. Insgesamt lassen sich im Rahmen der Vorverarbeitung zusätzliche, dem Datensignal inhärente Eigenschaften und Kennwerte ermitteln, die für das Datensignal charakteristisch sind.

**[0068]** Für die Bereitstellung des Eingangsvektors wird das gemessene Datensignal abgetastet, um entsprechende Datenpunkte zu ermitteln. Aus die-

sen Datenpunkten kann der Eingangsvektor, der in den optimierten und gewichteten Entscheidungsbaum eingegeben wird, generiert werden. Dieser Eingangsvektor kann zusätzlich oder alternativ auch durch die eben genannten zusätzlichen Informationen, die aus dem gemessenen Datensignal abgeleitet wurden, gebildet werden. Es hat sich als besonders vorteilhaft herausgestellt, wenn zur Generierung des Eingangsvektors lediglich solche Werte verwendet werden, die besonders charakteristisch für das gemessene Eingangssignal sind. Dies sind nicht notwendigerweise die durch Abtastung gewonnenen Datenpunkte, sondern vielmehr sehr häufig die entsprechenden Maximal- und Minimal- und Mittelwerte bzw. entsprechende Steigungen. Diese Daten repräsentieren die Eigenschaft des Eingangssignals und damit die zu überwachende Klimaanlage sehr gut.

**[0069]** Bei der Zustandsüberwachung im Schritt S19 wird der in den Schritten S20 und/oder S21 gewonnene Eingangsvektor in den optimierten und gewichteten Entscheidungsbaum eingekoppelt. Ausgehend davon ermittelt der Entscheidungsbaum an seinem Ausgang für jedes Blatt des Entscheidungsbaums, das heißt für jede Klassifikation, eine Wahrscheinlichkeit. Somit wird am Ausgang des Entscheidungsbaums ein Ergebnis ausgegeben, welches eine Wahrscheinlichkeit angibt, mit welcher das Ergebnis mit der jeweiligen Klassifikation übereinstimmt. Bei bisherigen, ungewichteten Entscheidungsbäumen wurden lediglich ein einziges Ergebnis ausgegeben, welches lediglich einer einzigen Klassifikation zugeordnet ist. Bei dem erfindungsgemäßen, gewichteten Entscheidungsbaum werden nun zusätzlich auch Wahrscheinlichkeiten für alle möglichen Ergebnisse angegeben sind. Dies ist insbesondere dann von Vorteil, wenn mehrere wahrscheinliche Ergebnisse vorhanden sind. Bei bisherigen Lösungen lässt sich nicht ermitteln, ob und inwieweit es weitere wahrscheinliche Ergebnisse gibt. Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren ist dies nunmehr möglich.

**[0070]** In einem anschließenden Schritt S22 erfolgt eine Auswertung der anhand des gewichteten Entscheidungsbaums ermittelten Ergebnisse, das heißt die den verschiedenen Klassifikationen zugeordnete Ergebnisse samt deren Wahrscheinlichkeiten. Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren können damit Rückschlüsse über den Zustand der Klimaanlage getroffen werden.

**[0071]** Im konkreten Fall kann beispielsweise vorgesehen sein, dass die ermittelten Vibrationswerte der gemessenen Schwingung mit einer vorgegebenen Vibrationsschwelle verglichen werden. Zusätzlich wird mit dem erfindungsgemäßen Verfahren auch der Wahrheitsgehalt des Ergebnisses verifiziert. Überschreitet die durch Zustandsüberwachung ermittelte Vibration z. B. eine anwendungsbezogene vorgegebene Vibrationsschwelle, kann man auf ein

Defekt der Klimaanlage, beispielsweise aufgrund eines defekten Rezirkulationsfilters oder eines defekten Lüfters, oder zumindest auf einen zunehmend schlechteren Zustand dieser Bauteile geschlossen werden. Da nun als zusätzliche Information auch bekannt ist, inwieweit die ermittelten Messdaten zutreffend sind, was aufgrund der durch Gewichtung des Entscheidungsbaum ermittelten Wahrscheinlichkeiten möglich ist, kann daraus auch eine Information gewonnen werden, ob, inwieweit und möglicherweise zu welchem Zeitpunkt die Klimaanlage einer nächsten Instandhaltung unterzogen werden muss. Auf diese Weise ist es in sehr vorteilhafter Weise möglich, die Notwendigkeit von anstehenden Instandhaltungsarbeiten bereits sehr frühzeitig zu erkennen und damit bereits sehr frühzeitig die entsprechenden Schritte einzuleiten. Insbesondere lässt sich dadurch bereits sehr frühzeitig, beispielsweise noch vor Antritt eines nächsten Abflugs des Flugzeugs oder gegebenenfalls bereits während des Flugs, vorzugsweise aber bereits einige Tage vorher, bestimmen, wann die nächste Instandhaltung erforderlich ist. Dies verkürzt insbesondere die für die Wartung und Instandhaltung erforderliche Zeitdauer, da auf die zeitaufwändige Vorortanalysen verzichtet werden kann. Diese Analyse ist durch die erfindungsgemäße Zustandsüberwachung bereits vorher auf einfache Weise und vollautomatisch abgeschlossen, so dass während der Standzeiten eines Flugzeugs lediglich die bloße Instandhaltung vorgenommen werden muss, nicht aber die entsprechende Analyse.

**[0072]** [Fig. 3](#) zeigt ein Blockschaltbild einer erfindungsgemäßen Vorrichtung. Die erfindungsgemäße Vorrichtung, die hier mit Bezugszeichen **10** bezeichnet ist, sei eine Messbox zur Ermittlung und Auswertung der Vibrationsschwingungen einer Komponente oder eines Systems eines Flugzeugs. Bei diesem System handelt es sich im vorliegenden Ausführungsbeispiel um die Klimaanlage **11** eines Flugzeugs.

**[0073]** Im gezeigten Beispiel ist die erfindungsgemäße Messbox **10** in direktem Kontakt mit der Klimaanlage **11** und hier insbesondere mit einem vibrationsrelevanten Bereich der Klimaanlage **11** angeordnet. Die erfindungsgemäße Messbox **10** weist eine Messeinrichtung **12**, einen Speicher **13** sowie eine Rechen- und Auswerteeinrichtung **14** auf. Die Messeinrichtung **12** ist im gezeigten Beispiel als Vibrationssensor ausgebildet. Dieser Vibrationssensor **12** ist dazu ausgelegt, im vibrationsrelevanten Bereich der Klimaanlage **11** eine Vibrationsschwingung zu messen, um daraus in bereits vorher erläuteter Weise eine zeitabhängige Folge von Datenpunkten zu ermitteln. Diese zeitabhängige Folge von Datenpunkten kann zunächst in einem Speicher abgelegt werden. Mittels der Rechen- und Auswerteeinrichtung **14** wird beispielsweise unter Verwendung eines anhand der [Fig. 1](#) und [Fig. 2](#) beschriebenen Verfahrens

ein optimierter und gewichteter Entscheidungsbaum erzeugt. Ferner kann mittels der Rechen- und Auswerteeinrichtung **14** und anhand des so erzeugten Entscheidungsbaums eine Zustandsüberwachung im Hinblick auf die von der Messeinrichtung **12** ermittelten zeitabhängigen Folge von Datenpunkten vorgenommen werden.

**[0074]** Obwohl die vorliegende Erfindung vorstehend anhand bevorzugter Ausführungsbeispiele vollständig beschrieben wurde, ist sie darauf nicht beschränkt, sondern auf vielfältige Art und Weise modifizierbar.

**[0075]** So soll die vorliegende Erfindung nicht notwendiger Weise auf die Anwendung in einem Luft- und Raumfahrzeug beschränkt sein, wengleich die Erfindung besonders bevorzugt bei Passagierflugzeugen eingesetzt wird. Insbesondere ist sie dort besonders vorteilhaft, um die kurzen Standzeiten zwischen Landung und Start effektiv für Instandhaltungsarbeiten nutzen zu können. Allerdings versteht es sich von selbst, dass die vorliegende Erfindung natürlich auch für andere Anwendungen, beispielsweise bei Schiffen, Bussen, Eisenbahnen und dergleichen, anwendbar ist. Insbesondere auch bei Anwendung in der Kraftfahrzeugtechnik wäre die vorliegende Erfindung besonders bevorzugt.

**[0076]** Auch sei die Erfindung nicht notwendiger Weise für die Zustandsüberwachung von aus der Vibrationsmessung ermittelten Datenpunkten einsetzbar. Neben der Vibration bzw. den entsprechenden Schwingungen als physikalische Größe für die Zustandsüberwachung wären auch andere Messparameter, wie etwa akustische Schwingungen (Geräusche), die Temperatur und dergleichen, verwendbar.

**[0077]** Neben den erwähnten Algorithmen zur Erzeugung des Entscheidungsbaums bzw. zur Datenoptimierung wären selbstverständlich auch andere Algorithmen vorteilhaft einsetzbar.

**[0078]** Es versteht sich darüber hinaus von selbst, dass die angegebenen Zahlenangaben lediglich der besseren Anschaulichkeit dienen, jedoch die Erfindung nicht dahingehend einschränken sollen.

**[0079]** Auch versteht es sich von selbst, dass in den vorstehenden Ausführungsbeispielen lediglich bevorzugte Ausführungsbeispiele erläutert wurden, die allerdings auf mannigfaltige Art und Weise verändert oder modifiziert werden können. Beispielsweise wäre bei dem bevorzugten Verfahren zur Zustandsüberwachung, welches oben anhand der [Fig. 2](#) erläutert wurde, auch denkbar, auf diverse Verfahrensschritte zu verzichten, wie etwa auf Abbruchbedingungen oder Abbruchschritte, Lern- oder Trainingsschritte und dergleichen. Ebenfalls denkbar wäre, weitere

Verfahrensschritte einzufügen oder Verfahrensschritte in deren Reihenfolge umzustellen.

#### Bezugszeichenliste

<b>10</b>	erfindungsgemäße Vorrichtung, Vibrationsmessbox
<b>11</b>	zu untersuchende Komponente oder System, Klimaanlage
<b>12</b>	Messeinrichtung, Vibrationssensor
<b>13</b>	Speicher
<b>14</b>	Rechen- und Auswerteeinrichtung
<b>S1–S3</b>	Verfahrensschritte
<b>S11–S22</b>	Verfahrensschritte

**ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG**

*Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.*

**Zitierte Patentliteratur**

- DE 102006031009 B4 [[0004](#)]

## Patentansprüche

1. Computerimplementiertes Verfahren zur Zustandsüberwachung einer Komponente oder eines Systems, insbesondere einer Komponente oder eines System (11) für ein Luft- und Raumfahrzeug, mit den Schritten:

Bereitstellen (S1) eines optimierten Entscheidungsbaums, dessen Knoten Attribute eines jeweiligen Eingabevektors, dessen Blätter jeweils eine Klassifikationsfunktion beinhalten und dessen Verbindungen zwischen den Knoten des Entscheidungsbaums gewichtet sind;

Bereitstellen (S2) eines Eingabevektors, der aus einem Datensignal abgeleitet wird,

Durchführen (S3) einer Zustandsüberwachung, bei dem anhand des Eingabevektors unter Verwendung der gewichteten Entscheidungsbaums der Zustand der Komponente bzw. des System bestimmt wird, indem neben einer Information, welche der Klassifikationsfunktionen des Entscheidungsbaums am besten zu dem Eingangsvektor passt, eine zusätzliche Information, mit welcher Wahrscheinlichkeit die übrigen Klassifikationsfunktionen des Entscheidungsbaums zu dem zu dem untersuchten Eingangsvektor passen, berechnet und ausgegeben wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass eine Gewichtung der Verbindungen zwischen den Knoten des Entscheidungsbaums den Abstand des Werts eines Attributs von dem Eingabevektor bezeichnet.

3. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Datensignal durch zeitkontinuierliches oder zeitdiskretes Messen einer physikalischen Größe an der Komponente bzw. dem System, insbesondere einer akustischen oder mechanischen Schwingung, ermittelt wird.

4. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass für die Erzeugung des Eingangsvektors eine Vorverarbeitung des Datensignals vorgenommen wird, bei dem das Datensignal in vorgegebene Zeitabschnitte unterteilt wird, aus dem Datensignal durch Abtastung zeitdiskrete Datenpunkte ermittelt werden, ein dem Datensignal überlagertes Rauschsignal reduziert wird und/oder das gemessene Datensignal durch Transformation in den Frequenzbereich transformiert wird.

5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass bei der Vorverarbeitung des Datensignals im Zeitbereich für das gesamte Datensignal und/oder für zumindest einen Zeitabschnitt des Datensignals Mittelwerte, Maximalwerte, Minimalwerte, Steigungen und/oder Wendepunkte des Datensignals ermittelt werden.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, dass bei der Vorverarbeitung des Datensignals im Frequenzbereich für das gesamte Frequenzsignal und/oder für vorgegebene Frequenzblöcke eine mittlere Frequenz, eine maximale Frequenz, eine minimale Frequenz und/oder eine Anzahl der Frequenzpeaks ermittelt werden.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 4 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass bei der Vorverarbeitung des Datensignals eine Reduzierung des Dateninhalts vorgenommen wird und dass als Eingangsvektor für den Entscheidungsbaum eine daraus gewonnene datenreduzierte Folge von Datenpunkten und/oder bei der Vorverarbeitung gewonnene sonstige Dateninformationen verwendet werden.

8. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass für die Bereitstellung (S1) eines optimierten Entscheidungsbaums zunächst ein Merkmalsvektor berechnet wird, der aus Trainingsdaten und einem Parametersatz ermittelt wird.

9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass der Parametersatz solche Parameter beinhaltet, die für die Erstellung des Merkmalsvektors erforderlich sind und die insbesondere zumindest einen der folgenden Parameter umfassen:

- Anzahl der Maximal-, Minimal- und/oder Mittelwerte des gemessenen Datensignals im Zeitbereich und/oder im Frequenzbereich;
- Länge eines für die Analyse verwendeten Datenabschnitts;
- Anzahl der durch Abtastung gewonnenen Datenpunkte innerhalb eines Datenabschnitts;
- Anzahl und Breite der Frequenzblöcke für einen vorgegebenen Zeitabschnitt des gemessenen Datensignals;
- Anzahl der verwendeten Frequenzpeaks innerhalb eines Frequenzblocks;
- Umfang der Rauschunterdrückung.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 8 oder 9, dadurch gekennzeichnet, dass für die Bereitstellung der Trainingsdaten eine physikalische Größe der zu untersuchenden Komponente bzw. des Systems gemessen wird und aus dem so ermittelten Datenmesssignal für einen vorgegebenen Zeitabschnitt durch Abtastung eine vorgegebene Anzahl an Datenpunkten erzeugt wird, welche die zur Erzeugung des Merkmalsvektors erforderliche zeitabhängige Folge von Datenpunkten bilden.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 8 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass für den Parametersatz anfangs Zufallswerte festgelegt werden und dass unter Verwendung der Trainingsdaten und des Parametersatzes iterativ ein zunehmend optimierter

Merkmalsvektor solange berechnet wird, bis ein Fehler des optimierten Entscheidungsbaums unter einen vorgegeben Schwellenwert fällt.

12. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Entscheidungsbaum unter Verwendung eines ID3 Algorithmus oder C4.5 Algorithmus berechnet wird, wobei als Eingabevektor zur Ermittlung des Entscheidungsbaums der im Rahmen der Optimierung des Parametersatzes berechnete und optimierte Merkmalsvektor verwendet wird ist.

13. Vorrichtung (**10**) zur Zustandsüberwachung einer Komponente oder eines Systems (**11**), insbesondere unter Verwendung eines Verfahrens nach einem der vorherigen Ansprüche, mit einer Messeinrichtung (**12**), die dazu ausgelegt ist, zur Erzeugung einer zeitabhängige Folge von Datenpunkten eine physikalische Messgröße an der Komponente bzw. dem System zu messen; mit einem Speicher (**13**), in welchem zumindest eine zeitabhängige Folge von Datenpunkten ablegbar ist; mit einer Rechen- und Auswerteeinrichtung (**14**), die dazu ausgelegt ist, anhand zumindest einer der zeitabhängigen Folgen von Datenpunkten einen optimierten Entscheidungsbaum zu erzeugen und anhand des so erzeugten Entscheidungsbaums eine Zustandsüberwachung vorzunehmen.

14. Vorrichtung nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass die Vorrichtung als elektronische Schwingungsmessbox ausgebildet ist, welche eine Schnittstelle aufweist, über welche die Schwingungsmessbox an der zu untersuchenden Komponente oder dem System anbringbar ist, und welche ferner dazu ausgelegt ist, von der Komponente oder dem System auf die Schwingungsmessbox übertragene Schwingungen mittels der Messeinrichtung aufzunehmen und mittels der Rechen- und Auswerteeinrichtung auszuwerten.

15. Computerprogrammprodukt, in welchem ein Computerprogramm abgespeichert ist, welches dazu ausgebildet ist, ein Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 12 auszuführen.

Es folgen 2 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

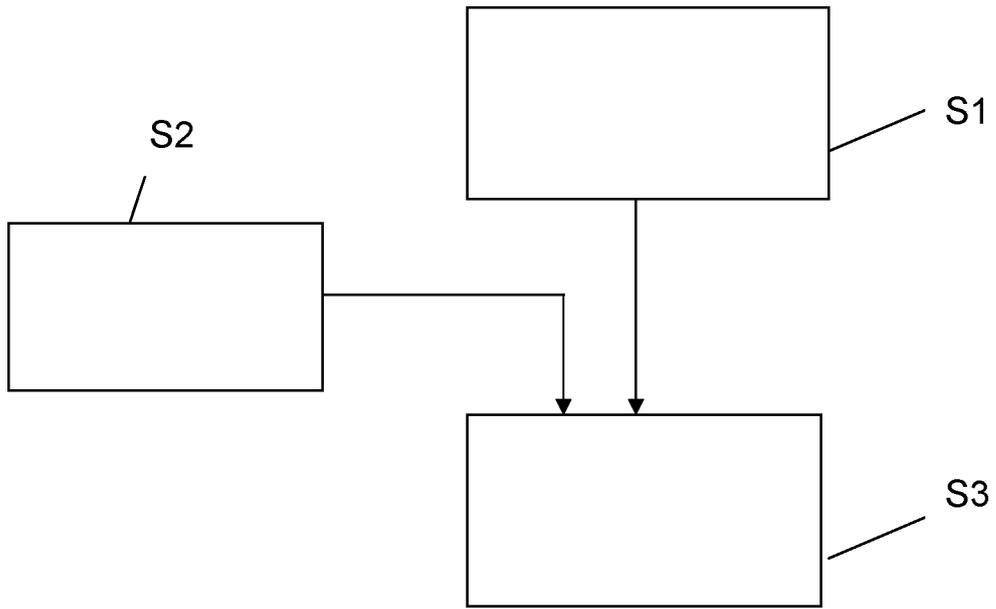


FIG. 1

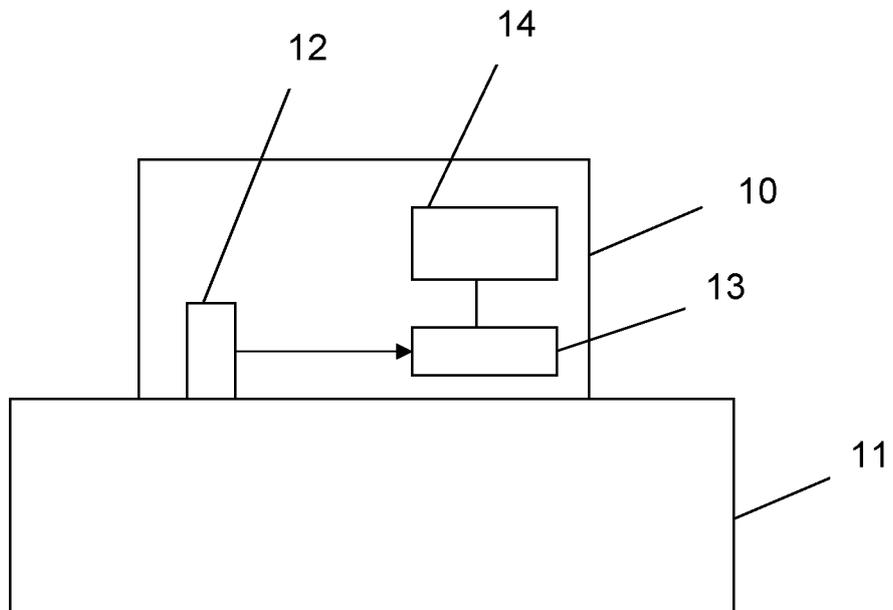
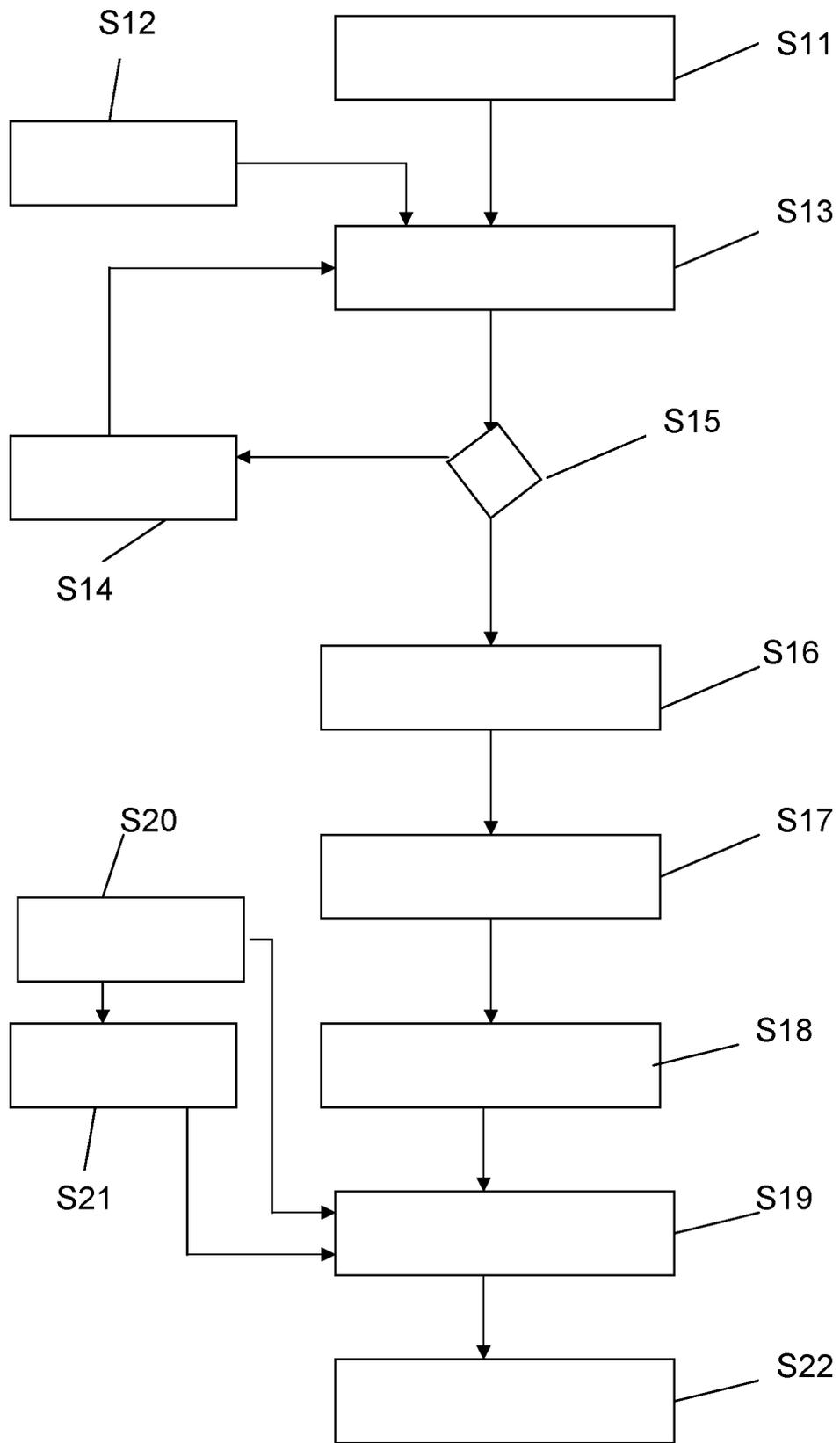


FIG. 3



**FIG. 2**