



(10) **DE 10 2011 000 298 B4** 2025.06.26

(12) **Patentschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2011 000 298.7**  
(22) Anmeldetag: **24.01.2011**  
(43) Offenlegungstag: **15.12.2011**  
(45) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: **26.06.2025**

(51) Int Cl.: **F02C 9/28 (2006.01)**

Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(30) Unionspriorität:  
**12/704,031 11.02.2010 US**

(73) Patentinhaber:  
**General Electric Technology GmbH, Baden, CH**

(74) Vertreter:  
**Rüger Abel Patent- und Rechtsanwälte, 73728  
Esslingen, DE**

(72) Erfinder:  
**Jiang, Xiaomo, Greenville, S.C., US; Vittal,  
Sameer, Atlanta, US; Bernard, Michael Edward,  
Greenville, S.C., US**

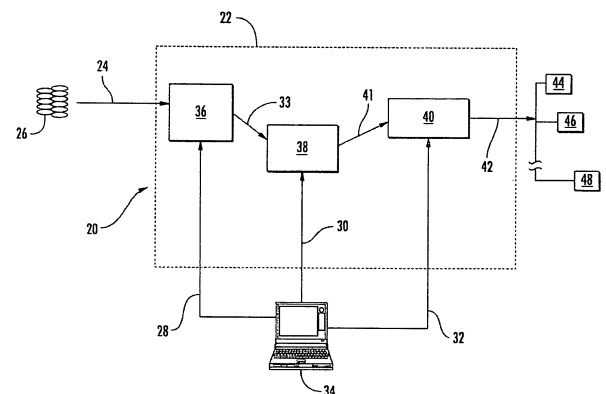
(56) Ermittelter Stand der Technik:  
**US 2006 / 0 265 183 A1**

(54) Bezeichnung: **System und Verfahren zur Überwachung einer Gasturbine**

(57) Hauptanspruch: System (20) zur Überwachung des Verhaltens einer Gasturbine im Einsatz (10), das aufweist: ein Speicherelement, das eine Datenbank (26) mit einem Flottenmodell aufweist, das gesammelte historische Parameterinformationen über den Betrieb, Reparaturen und/oder Wartungsmaßnahmen von vergleichbaren Gasturbinen enthält, wobei das Flottenmodell eingerichtet ist, um Projektionen von Parameterinformationen während künftiger Beanspruchungen unter Verwendung der gesammelten historischen Parameterinformationen zu ermöglichen; eine Eingabevorrichtung (34), wobei die Eingabevorrichtung (34) eingerichtet ist, um ein Einheitsdatensignal (30), das Parameterinformationen von der Gasturbine im Einsatz (10) enthält, und ein Risikosignal (32) zu erzeugen, das einen Risikowert für die Gasturbine im Einsatz (10) enthält; und

einen Prozessor (22) in Kommunikationsverbindung mit dem Speicherelement und der Eingabevorrichtung (34), wobei der Prozessor (22) eingerichtet ist, um das Eingangsdatensignal (30) in die Datenbank (26) mit den gesammelten Parameterinformationen von vergleichbaren Gasturbinen aufzunehmen, um das Flottenmodell unter Verwendung der Parameterinformationen von der Gasturbine im Einsatz (10) zu aktualisieren, um ein Einheitsmodell zu erzeugen, in die Zukunft projizierte Parameterinformationen für die Gasturbine im Einsatz (10) unter Verwendung des Einheitsmodells zu erzeugen und die in die Zukunft projizierten Parameterinformationen aus dem Einheitsmodell mit dem Risikosignal (32) zu kombinieren, um ein konditionales Risiko dafür zu berechnen, dass die in die Zukunft projizierten Parameterinformationen für die Gasturbine im Einsatz (10) eine vorbestimmte Parameter-

grenze erreichen werden; und auf der Basis des berechneten konditionalen Risikos ein Ausgangssignal (42) zu erzeugen, das wenigstens entweder Reparatur- und/oder Wartungsplanungsinformationen enthält.



**Beschreibung****GEBIET DER ERFINDUNG**

**[0001]** Die vorliegende Erfindung umfasst allgemein ein System und Verfahren zur Überwachung des Funktionszustands einer Gasturbine. Insbesondere beschreibt die vorliegende Erfindung ein System und Verfahren, das ein generisches Gasturbinenmodell unter Verwendung tatsächlicher Informationen über eine einzelne Gasturbine anpasst, um Reparatur- und/oder Wartungsintervalle der einzelnen Gasturbine in die Zukunft zu projizieren bzw. zu prognostizieren.

**HINTERGRUND ZU DER ERFINDUNG**

**[0002]** Gasturbinen sind im industriellen und kommerziellen Einsatz weit verbreitet. Wie in **Fig. 1** veranschaulicht, enthält eine typische Gasturbine im Einsatz 10 einen Verdichter 12, insbesondere einen Axialverdichter vorne, eine oder mehrere Brennkammern 14 in etwa in der Mitte und eine Turbine 16 hinten. Der Verdichter 12 enthält mehrere Stufen von rotierenden Laufschaufeln und stationären Leitschaufeln. Umgebungsluft tritt in den Verdichter 12 ein, und die rotierenden Laufschaufeln und stationären Leitschaufeln verleihen dem Arbeitsfluid (der Luft) zunehmend kinetische Energie, um es in einen energiereichen Zustand zu bringen. Das Arbeitsfluid tritt aus dem Verdichter 12 aus und strömt zu den Brennkammern 14, worin es sich mit einem Brennstoff 18 vermischt und entzündet, um Verbrennungsgase zu erzeugen, die eine hohe Temperatur, einen hohen Druck und eine hohe Geschwindigkeit aufweisen. Die Verbrennungsgase verlassen die Brennkammern 14 und strömen zu der Turbine 16, worin sie expandieren, um Arbeit zu verrichten.

**[0003]** Gasturbinen erfordern, wie jede sonstige mechanische Vorrichtung, periodische Reparaturen und Wartung, um eine ordnungsgemäße Funktion sicherzustellen. Als ein allgemeiner Ansatz können frühere Erfahrungen mit der „Flotte“ von Gasturbinen, insbesondere vergleichbaren Gasturbinen ähnlicher Klasse oder Bauart, statistisch analysiert werden, um ein Flottenmodell zu entwickeln, das den erwarteten Verschleiß und die erwartete Beschädigung, die andere Gasturbinen erfahren, in die Zukunft projizieren kann. Auf der Basis des Flottenmodells können Projektionen bzw. Prognosen, Reparaturen und Wartungsmaßnahmen in optimalen Intervallen eingeplant werden, die die Gefahr sowohl ungeplanter Abschaltungen, um Reparaturen durchzuführen, als auch unnötiger Abschaltungen, um eine unnötige vorbeugende Wartung durchzuführen, minimieren.

**[0004]** Das tatsächliche Verhalten einzelner Gasturbinen kann jedoch von dem Flottenmodell abweichen.

Z.B. können einzelne Gasturbinen geringe Unterschiede bei der Konfiguration, den Herstellungstoleranzen und dem Aufbau haben, die im Vergleich zu dem Flottenmodell andere Verschleiß- und Beschädigungsgrade zur Folge haben können. Außerdem können sich die Betriebs-, Reparatur- und Wartungshistorien, die einzelne Gasturbinen tatsächlich aufweisen, von dem Flottendurchschnitt unterscheiden. Z.B. können Gasturbinen, die in feuchten und korrosiven Umgebungen betrieben werden, im Vergleich zu dem Flottenmodell häufigere Reparatur- und Wartungsmaßnahmen erfordern, um Probleme im Zusammenhang mit Korrosion, Lochfraß und Emissionen zu bewältigen. Umgekehrt können andere Gasturbinen, die weniger Start- und Abschaltzyklen erfahren, im Vergleich zu dem Flottenmodell weniger häufige Abschaltungen zur Durchführung vorbeugender Wartungsmaßnahmen im Zusammenhang mit zyklischen Belastungen erfordern. In jedem Beispiel würden Anpassungen an dem Flottenmodell auf der Basis der tatsächlichen Daten, die zu einzelnen Gasturbinen gehören, die Fähigkeit, Reparatur- und Wartungsmaßnahmen optimal zu planen, verbessern.

**[0005]** US 2006 / 0 265 183 A1 beschreibt ein System und Verfahren zur Überwachung des Verhaltens und der Funktionsweise eines Gasturbinentriebwerks eines Flugzeugs im Einsatz. Während eines Flugs werden Echtzeit-Flugparameter mittels Sensoren erfasst, und aus den erfassten Flugparametern werden Schnappschussdaten extrahiert, die die Parameter in bestimmten Flugphasen repräsentieren. Die Schnappschussdaten werden dann verwendet, um den Schwierigkeitsgrad des Flugs zu bewerten. Insbesondere wird für bestimmte Komponenten mit begrenzter Lebensdauer aus den Schnappschussdaten ein K-Faktor bestimmt, der ein Maß für den Schwierigkeitsgrad des Flugs darstellt, d.h. die während des Flugs verbrauchte Lebensdauernutzung der jeweiligen Komponente kennzeichnet. Die K-Faktordaten für jede einzelne Komponente mit begrenzter Lebensdauer werden aufsummiert und mit vorgegebenen Grenzwerten für die Komponente gemäß einer Richtlinie der Bundesluftfahrtbehörde der Vereinigten Staaten verglichen, um festzustellen, wann die jeweilige Komponente mit begrenzter Lebensdauer repariert oder ersetzt werden sollte.

**[0006]** Es wäre weiterhin ein verbessertes System und Verfahren zur Überwachung des Verhaltens und der Funktionsweise einer Gasturbine im Einsatz erwünscht.

**KURZE BESCHREIBUNG DER ERFINDUNG**

**[0007]** Aspekte und Vorteile der Erfindung sind nachstehend in der folgenden Beschreibung angegeben oder können aus der Beschreibung offensicht-

lich sein, oder sie können durch Umsetzung der Erfindung in Praxis erfahren werden.

**[0008]** Gemäß einem Aspekt der vorliegenden Erfindung ist ein System zur Überwachung des Verhaltens einer Gasturbine im Einsatz geschaffen. Das System enthält ein Speicherelement, das eine Datenbank mit einem Flottenmodell aufweist, das gesammelte historische Parameterinformationen über den Betrieb, Reparaturen und/oder Wartungsmaßnahmen von vergleichbaren Gasturbinen enthält, wobei das Flottenmodell eingerichtet ist, um Projektionen von Parameterinformationen während künftiger Beanspruchungen unter Verwendung der gesammelten historischen Parameterinformationen zu ermöglichen, und eine Eingabevorrichtung, wobei die Eingabevorrichtung eingerichtet ist, um ein Einheitsdatensignal, das Parameterinformationen von der Gasturbine im Einsatz enthält, und ein Risikosignal zu erzeugen, das einen Risikowert für die Gasturbine im Einsatz enthält. Ein Prozessor, der mit dem Speicherelement und der Eingabevorrichtung in Kommunikationsverbindung steht, ist eingerichtet, um: das Einheitsdatensignal in die Datenbank mit den gesammelten Parameterinformationen von vergleichbaren Gasturbinen aufzunehmen, um das Flottenmodell unter Verwendung der Parameterinformationen von der Gasturbine im Einsatz zu aktualisieren, um ein Einheitsmodell zu erzeugen, in die Zukunft projizierte Parameterinformationen für die Gasturbine im Einsatz unter Verwendung des Einheitsmodells zu erzeugen und die in die Zukunft projizierten Parameterinformationen aus dem Einheitsmodell mit dem Risikosignal zu kombinieren, um ein konditionales Risiko dafür zu berechnen, dass die in die Zukunft projizierten Parameterinformationen für die Gasturbine im Einsatz eine vorbestimmte Parametergrenze erreichen werden. Der Prozessor ist ferner eingerichtet, um auf der Basis des berechneten konditionalen Risikos ein Ausgangssignal zu erzeugen, das wenigstens entweder Reparatur- und/oder Wartungsplanungsinformationen enthält.

**[0009]** Gemäß einem weiteren Aspekt der vorliegenden Erfindung ist ein Verfahren zum Überwachen des Verhaltens einer Gasturbine im Einsatz geschaffen. Das Verfahren enthält: Empfangen von Parameterinformationen von vergleichbaren Gasturbinen aus einem Flottenmodell, das gesammelte historische Parameterinformationen über den Betrieb, Reparaturen und/oder Wartungsmaßnahmen von vergleichbaren Gasturbinen enthält, wobei das Flottenmodell eingerichtet ist, um Projektionen von Parameterinformationen während künftiger Beanspruchungen unter Verwendung der gesammelten historischen Parameterinformationen zu ermöglichen, Empfangen von Parameterinformationen von der Gasturbine im Einsatz und eines Risikosignals, das einen Risikowert für die Gasturbine im Einsatz

enthält, Hinzufügen der Parameterinformationen von der Gasturbine im Einsatz zu den Parameterinformationen von vergleichbaren Gasturbinen, um das Flottenmodell unter Verwendung der Parameterinformationen von der Gasturbine im Einsatz zu aktualisieren, um ein Einheitsmodell zu erzeugen, und Prognostizieren bzw. Projizieren der Parameterinformationen für die Gasturbine im Einsatz in die Zukunft unter Verwendung des Einheitsmodells. Das Verfahren enthält ferner ein Berechnen eines konditionalen Risikos dafür, dass die projizierten Parameterinformationen für die Gasturbine im Einsatz eine vorbestimmte Parametergrenze erreichen werden, unter Kombination der in die Zukunft projizierten Parameterinformationen aus dem Einheitsmodell mit dem Risikosignal, und Erzeugen eines Ausgangssignals, das wenigstens entweder einen Reparatur- und/oder einen Wartungsplan für die Turbine im Einsatz enthält, auf der Basis des berechneten konditionalen Risikos.

**[0010]** Fachleute auf dem Gebiet werden die Merkmale und Aspekte derartiger und weiterer Ausführungsformen nach Durchsicht der Beschreibung besser verstehen.

#### KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

**[0011]** Eine vollständige und eine Umsetzung ermöglichende Offenbarung der vorliegenden Erfindung, einschließlich deren bester Ausführungsart, für Fachleute ist in größeren Einzelheiten in der restlichen Beschreibung angegeben, die eine Bezugnahme auf die beigefügten Figuren enthält, in denen:

**Fig. 1** ein vereinfachtes Blockschaltbild eines typischen Gasturbinensystems veranschaulicht;

**Fig. 2** ein Funktionsblockdiagramm eines Systems zur Überwachung einer Gasturbine im Einsatz gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung veranschaulicht;

**Fig. 3** einen Algorithmus zur Aktualisierung und Validierung eines Flottenmodells veranschaulicht;

**Fig. 4** einen Algorithmus zur Aktualisierung und Validierung eines Einheitsmodells veranschaulicht;

**Fig. 5** einen Algorithmus zur Durchführung einer Einheitsrisikoanalyse veranschaulicht;

**Fig. 6** einen Algorithmus zur Berechnung der restlichen Nutzungslebensdauer für ein Teil oder eine Komponente veranschaulicht;

**Fig. 7** in grafischer Weise hypothetische Schadensverlaufskurven veranschaulicht, die durch eine Einheitsrisikoanalyse gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung erzeugt werden können; und

**Fig. 8** in grafischer Weise hypothetische Nutzungslebensdauerkurven gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung veranschaulicht.

#### DETAILLIERTE BESCHREIBUNG DER ERFINDUNG

**[0012]** Es wird nun im Einzelnen auf die vorliegenden Ausführungsformen der Erfindung Bezug genommen, von der ein oder mehrere Beispiele in den beigefügten Zeichnungen veranschaulicht sind. Die detaillierte Beschreibung verwendet Bezeichnungen mit Zahlen und Buchstaben, um auf Merkmale in den Zeichnungen zu verweisen. Gleiche oder ähnliche Bezugszeichen in den Zeichnungen und der Beschreibung werden verwendet, um gleiche oder ähnliche Teile der Erfindung zu bezeichnen.

**[0013]** Jedes Beispiel ist zur Erläuterung der Erfindung, nicht zur Beschränkung der Erfindung vorgesehen. In der Tat wird es für Fachleute auf dem Gebiet offensichtlich sein, dass Modifikationen und Veränderungen an der vorliegenden Erfindung vorgenommen werden können, ohne von deren Umfang oder Rahmen abzuweichen. Zum Beispiel können Merkmale, die als ein Teil einer Ausführungsform veranschaulicht oder beschrieben sind, bei einer anderen Ausführungsform verwendet werden, um eine noch weitere Ausführungsform zu ergeben. Somit besteht die Absicht, dass die vorliegende Erfindung derartige Modifikationen und Veränderungen mit umfasst, wie sie in den Schutzzumfang der beigefügten Ansprüche und ihrer Äquivalente fallen.

**[0014]** Die hierin erläuterten Systeme und Verfahren nehmen Bezug auf Prozessoren, Server, Speicher, Datenbanken, Softwareanwendungen und/oder andere computerbasierte Systeme sowie auf Maßnahmen, die an derartigen Systemen vorgenommen oder von diesen ergriffen werden, und Informationen, die zu und von derartigen Systemen gesandt werden. Ein Fachmann auf dem Gebiet wird erkennen, dass die inhärente Flexibilität computerbasierter Systeme eine große Vielfalt möglicher Konfigurationen, Kombinationen und Aufteilungen von Aufgaben und Funktionalitäten auf und unter die Komponenten ermöglicht. Zum Beispiel können hierin beschriebene Computer implementierte Prozesse unter Verwendung eines einzigen Servers oder Prozessors oder mehrerer derartiger Elemente, die in Kombination miteinander arbeiten, implementiert werden. Datenbanken und andere Speicher-/Medienelemente und -anwendungen können auf einem einzigen System implementiert oder auf mehrere Systeme verteilt werden. Verteilte Komponenten können sequentiell oder parallel zueinander arbeiten. All derartige Varianten sollen, wie für Fachleute auf dem Gebiet verständlich, in den Rahmen und Umfang des vorliegenden Gegenstandes fallen.

**[0015]** Wenn zwischen einem ersten und einem zweiten Computersystem, einer ersten und einer zweiten Verarbeitungsvorrichtung oder deren Komponenten Daten erhalten werden oder auf Daten zugegriffen wird, können die tatsächlichen Daten direkt oder indirekt zwischen den Systemen ausgetauscht werden. Falls zum Beispiel ein erster Computer auf eine Datei oder Daten von einem zweiten Computer zugreift, kann der Zugriff einen oder mehrere dazwischen geschaltete Computer, Proxies oder dergleichen umfassen. Die tatsächliche Datei oder Daten können zwischen den Computern übermittelt werden, oder ein Computer kann einen Zeiger (Pointer) oder ein Metafile liefern, den bzw. das der zweite Computer verwendet, um auf die tatsächlichen Daten von einem anderen Computer als dem ersten Computer zuzugreifen.

**[0016]** Die verschiedenen Computersysteme, wie sie hierin beschrieben sind, sind nicht auf irgendeine spezielle Hardwarearchitektur oder -konfiguration beschränkt. Ausführungsformen der Verfahren und Systeme, wie sie hierin angegeben sind, können durch eine oder mehrere Universalzweck- oder kundenspezifische Rechenvorrichtungen implementiert sein, die auf irgendeine geeignete Weise eingerichtet sind, um die gewünschte Funktionalität zu ergeben. Die Vorrichtung(en) kann/können eingerichtet sein, um eine zusätzliche Funktionalität bereitzustellen, die entweder zu dem vorliegenden Gegenstand ergänzend ist oder in keinem Zusammenhang zu diesem steht. Zum Beispiel kann/können eine oder mehrere Rechenvorrichtungen eingerichtet sein, um durch einen Zugriff auf Softwareinstruktionen, die in einer Computer lesbaren Form abgefasst sind, die beschriebene Funktionalität zu schaffen. Wenn Software verwendet wird, kann jede beliebige geeignete Programmiersprache, Skriptsprache oder eine sonstige geeignete Sprache oder können Kombinationen von Sprachen verwendet werden, um die hier enthaltenen Lehren zu implementieren. Jedoch muss Software nicht ausschließlich oder überhaupt nicht verwendet werden. Wie für Fachleute auf dem Gebiet verständlich, ohne eine weitere detaillierte Erläuterung zu erfordern, können einige Ausführungsformen der hier angegebenen und offenbarten Verfahren und Systeme auch anhand einer verdrahteten Logik oder sonstiger Schaltungen, einschließlich, jedoch nicht darauf beschränkt, anwendungsspezifischer Schaltungen, implementiert werden. Natürlich können verschiedene Kombinationen von durch einen Computer ausgeführter Software und verdrahteter Logik oder sonstigen Schaltkreisen ebenfalls geeignet sein.

**[0017]** Es ist für Fachleute auf dem Gebiet verständlich, dass Ausführungsformen der hierin offenbarten Verfahren durch eine oder mehrere geeignete Rechenvorrichtungen ausgeführt werden können, die die Vorrichtung(en) funktionsfähig machen, um

derartige Verfahren auszuführen. Wie oben erwähnt, können derartige Vorrichtungen auf ein oder mehrere Computer lesbare Medien zugreifen, die Computer lesbare Instruktionen enthalten, die, wenn sie durch wenigstens einen Computer ausgeführt werden, den wenigstens einen Computer veranlassen, eine oder mehrere Ausführungsformen der Verfahren gemäß dem vorliegenden Gegenstand auszuführen. Es kann jedes beliebige geeignete Computer lesbare Medium oder können Medien verwendet werden, um den vorliegend offenbarten Gegenstand zu implementieren oder auszuführen, wozu einschließlich, jedoch nicht ausschließlich, Disketten, Laufwerke und sonstige magnetisch basierte Speichermedien, optische Speichermedien, einschließlich Scheiben (einschließlich CD-ROMs, DVD-ROMs und Varianten von diesen), Flash-Speicher, RAM-, ROM-Speicher und sonstige Halbleiter-Speichervorrichtungen und dergleichen gehören.

**[0018]** Zustandsabhängige Wartungssysteme wenden stochastische Analysen von Flottenmodellen, einheitsspezifische Daten und vom Bediener ausgewählte Risikoparameter an, um ein kostengünstiges System und Verfahren zur Optimierung von Reparatur- und/oder Wartungsintervallen hochwertiger Systeme, wie beispielsweise Gasturbinen, zu schaffen. Es kann ein Flottenmodell für jeden spezifischen Fehler- bzw. Schädigungsmechanismus für eine Gasturbine durch Anwendung mehrstufiger stochastischer Modellierungstechniken, wie beispielsweise Bayes-Störung und Markoffketten-Monte-Carlo (MCMC)-Simulation, auf historische Flottendaten entwickelt werden. Die Genauigkeit jedes Flottenmodells kann periodisch verifiziert und/ oder validiert werden, und einheitsspezifische Daten, die von einer bestimmten Gasturbine erhalten werden, können zu jedem Flottenmodell hinzugefügt werden, um das Flottenmodell anzupassen oder zu aktualisieren und ein Einheitsmodell zu erzeugen, das die bestimmte Gasturbine für jeden spezifischen Fehler- bzw. Schädigungsmechanismus genauer modelliert. Die Anwendung vom Bediener ausgewählter Risikoparameter auf das aktualisierte Flottenmodell verbessert die Fähigkeit, Reparatur- und/oder Wartungseinheiten in optimalen Intervallen einzuplanen, die die Einsatzverfügbarkeit steigern, unplanmäßige und unnötige Abschaltungen reduzieren und/oder die Nutzungslebensdauer der bestimmten Gasturbine erhöhen.

**[0019]** Falls als ein Beispiel die einheitsspezifischen Daten für die bestimmte Gasturbine einen geringeren Verschleiß oder eine kleinere Beschädigung im Vergleich zu den durch das Flottenmodell bereitgestellten Zukunftsprojektionen (Prognosen) anzeigen, kann die Verfügbarkeit der bestimmten Gasturbine verbessert werden, indem die Intervalle zwischen Reparatur- und/oder Wartungsereignissen verlängert werden. Falls umgekehrt die einheitsspezifischen

Daten für die bestimmte Gasturbine einen größeren Verschleiß oder eine größere Beschädigung im Vergleich zu den durch das Flottenmodell bereitgestellten Prognosen anzeigen, können die Intervalle zwischen Reparatur- und/oder Wartungseinsätzen verringert werden, was einen planmäßigen Stillstand anstelle des kostspieligeren unplanmäßigen Stillstands ergibt. In jedem Falle verbessert der angepasste Reparatur- und/oder Wartungsplan die Zuverlässigkeit, Funktionssicherheit und Funktionsweise der bestimmten Gasturbine, was eine genauere Nutzung und möglicherweise eine längere Nutzungslebensdauer für die bestimmte Gasturbine zur Folge hat.

**[0020]** Fig. 2 zeigt ein System 20 zur Überwachung einer Gasturbine im Einsatz 10 gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung. Der Ausdruck „Gasturbine im Einsatz“ bezeichnet eine bestimmte oder spezielle Gasturbine im Unterschied zu der Flotte von Gasturbinen. Das System 20 enthält allgemein einen Prozessor 22, der eine Programmierung bzw. Kodierung enthält, um auf ein oder mehrere Speicher-/Medienelemente zuzugreifen. Der Prozessor 22 empfängt ein Flottenmodellsignal 24 von einer Datenbank 26 und ein Flottendatensignal 28, ein Einheitsdatensignal 30 und/oder ein Risikosignal 32 von einer Eingabevorrichtung 34. Der Ausdruck „Signal“ bezieht sich auf jede beliebige elektrische Übertragung von Informationen bzw. Daten. Das Flottenmodellsignal 24 weist Parameterinformationen für vergleichbare Gasturbinen auf, die durch ein in der Datenbank 26 enthaltenes Flottenmodell in die Zukunft projiziert werden. Das System 20 wendet mehrstufige stochastische Modellierungstechniken, Bayes-Störung und MCMC-Simulation, wie sie durch den Block 36 und den in Fig. 3 veranschaulichten Algorithmus dargestellt sind, an, um die in dem Flottenmodellsignal 24 enthaltenen projizierten Parameterinformationen zu verifizieren und zu validieren und ein aktualisiertes Flottenmodellsignal 33 zu erzeugen. Das System 20 fügt Parameterinformationen von der Gasturbine im Einsatz 10, die in dem Einheitsdatensignal 30 enthalten sind, zu dem aktualisierten Flottenmodellsignal 33 hinzu, um ein bevorzugt als ein Einheitsmodell bezeichnetes aktualisiertes Flottenmodell zu erzeugen, das durch den Block 38 und den in Fig. 4 veranschaulichten Algorithmus dargestellt ist. Das Einheitsmodell erzeugt in die Zukunft projizierte Parameterinformationen 41 für die Gasturbine im Einsatz 10. Eine Einheitsrisikoanalyse, die durch den Block 40 in Fig. 2 und den in den Fig. 5 und 6 veranschaulichten Algorithmus dargestellt ist, kombiniert die projizierten Parameterinformationen 41 von dem Einheitsmodell mit dem Risikosignal 32, um ein Ausgangssignal 42 zu erzeugen, das Pläne für Reparatur 44 und/oder Wartung 46 und/oder eine Nutzungslebensdauerprognose 48 für die Gasturbine im Einsatz 10 wiedergibt.

**[0021]** Der hierin erläuterte Prozessor 22 ist nicht auf irgendeine spezielle Hardwarearchitektur oder -konfiguration beschränkt. Vielmehr kann der Prozessor 22 eine Universalzweck- oder kundenspezifische Rechenvorrichtung aufweisen, die eingerichtet ist, um durch Zugriff auf Speichermedien (z.B. die Blöcke 36, 38 und/oder 40 in **Fig. 2**), Datenbanken und weitere Hardware in einer durch Softwareinstruktionen, die in einer Computer lesbaren Form wiedergegeben sind, oder durch eine programmierte Schaltung geführten Weise die beschriebene Funktionalität zu ergeben. Zum Beispiel kann der Prozessor 22 einen einzigen Server, einen einzigen Mikroprozessor, eine verdrahtete Logik, einschließlich, jedoch nicht darauf beschränkt, anwendungsspezifischer Schaltungen, oder mehrere derartige Elemente, die in Kombination miteinander arbeiten, aufweisen.

**[0022]** Die Datenbank 26 enthält historische Parameterinformationen über die „Flotte“ von Gasturbinen, insbesondere vergleichbare Gasturbinen ähnlicher Klasse oder Bauart, die von verfügbaren Quellen gesammelt werden. Die Datenbank 26 kann Speicher-/Medienelemente und Anwendungen enthalten, die auf einem einzigen System implementiert oder über mehrere Systeme hinweg verteilt sind. Falls verteilte Komponenten verwendet werden, können sie sequentiell oder parallel zueinander arbeiten.

**[0023]** Die in der Datenbank 26 enthaltenen historischen Parameterinformationen enthalten Daten, die die Funktionsweise, Reparaturen und/oder Wartungsmaßnahmen der vergleichbaren Gasturbinen widerspiegeln. Die historischen Parameterinformationen können speziell Daten enthalten, die als Beanspruchungsdaten und Schadensdaten bezeichnet werden. Beanspruchungsdaten umfassen jegliche Informationen, die die betriebliche Historie einer vergleichbaren Gasturbine beschreiben und die der Vorhersage eines Fehlermodus oder -mechanismus statistisch zugeordnet werden können. Zum Beispiel können Beanspruchungsdaten Betriebsstunden, Anzahl von Start- und Abschaltzyklen, Feuerungstemperaturen und die Anzahl unplanmäßiger Auslösungen enthalten. Schadensdaten umfassen jegliche Hardwarefehlermechanismen, die aufgetreten sind, mit einer statistischen Signifikanz. Ein Fehlermechanismus umfasst jede Verschlechterung der physischen oder funktionalen Eigenschaften gegenüber den Nominalwerten, die eine Verringerung der Ausgangsleistung, einen Wirkungsgradverlust oder die Unfähigkeit, die vergleichbare Gasturbine zu betreiben, zur Folge hat. Zu Beispielen bekannter Fehlermechanismen gehören Korrosion, Lochfraß, Verformung, Ermüdung, Beschädigung durch Fremdobjekte, Oxidation, Absplitterung der Wärmeschutzbeschichtung (TBC, Thermal Barrier Coating), Verstopfung/Verunreinigung, Bruch, Riss und Verschleiß. Diese Fehlermechanismen können als ein

Ergebnis von verstärkten Boreskop-Inspektionen, Überwachungen vor Ort, Betriebsprotokollen, Reparaturprotokollen, Wartungsprotokollen und dergleichen erfasst oder aufgezeichnet werden.

**[0024]** Die verfügbaren Quellen von historischen Informationen umfassen z.B. Datenbanken mit betrieblichen Erfahrungen, Betriebsaufzeichnungen, Teileinspektionsaufzeichnungen und Inspektionsberichte im Feld. Beispiele für die historischen Informationen, die in diesen Quellen enthalten sind, umfassen Berichte von verstärkten Boreskop-Inspektionen, elektronische Aufzeichnungen, Überwachungs- und Diagnosedaten, Berichte über Stillstandereignisse, Betriebsdauern, Startvorgänge und Auslösungen sowie Wartungswerkstatt- oder Reparaturdaten, ohne jedoch darauf beschränkt zu sein.

**[0025]** Die Sammlung der historischen Informationen, wie beispielsweise der Beanspruchungs- und Schadensdaten, wird statistisch analysiert und normiert, um das Flottenmodell zu entwickeln, das auch als ein Datenakkumulationsmodell bezeichnet wird. Das Flottenmodell projiziert bzw. prognostiziert Parameterinformationen, wie beispielsweise das Wachstum einer Beschädigung, während künftiger Beanspruchungen unter Verwendung der erfassten historischen Informationen, und das Flottenmodell und/oder die projizierten Parameterinformationen werden anhand des Flottenmodellsignals 24 zu dem Prozessor 22 übertragen.

**[0026]** Die Eingabevorrichtung 34 ermöglicht einem Benutzer, mit dem System 20 zu kommunizieren, und kann jede beliebige Struktur enthalten, um eine Schnittstelle zwischen dem Benutzer und dem System 20 zu schaffen. Zum Beispiel kann die Eingabevorrichtung 34 eine Tastatur, einen Computer, ein Terminal, ein Bandlaufwerk und/oder jede sonstige Vorrichtung zum Empfangen einer Eingabe von einem Benutzer und zur Erzeugung des Flottendatensignals 28, des Einheitsdatensignals 30 und/oder des Risikosignals 32 für das System 20 enthalten.

**[0027]** **Fig. 3** zeigt einen Algorithmus zur Aktualisierung und Validierung des Flottenmodells und/oder des Flottenmodellsignals 24, auf das vorstehend in Form des Blocks 36 nach **Fig. 2** Bezug genommen wurde. In Block 50 importiert der Algorithmus das Flottendatensignal 28, das zum Beispiel neu erfasste Parameterinformationen von vergleichbaren Gasturbinen in der Flotte, beispielsweise Beanspruchungsdaten 52 und Schadensdaten 54, aufweist. Nur zu Veranschaulichungszwecken wird angenommen, dass das Flottendatensignal 28 anzeigt, dass bei einer Betriebsdauer von 10.000 Stunden, bei 20 Start- und Abschaltzyklen und zwei unplanmäßigen Auslösungen Boreskop-Inspektionen in einer bestimmten Komponente Risse der Größen 0,1,

0,2, 0,1, 0,2, 0,3 und 0,2 detektierten. In Block 56 sortiert der Algorithmus die importierten Beanspruchungsdaten 52 und Schadensdaten 54 und organisiert diese zum Beispiel durch Zuweisung einer Variable  $L_n$  zu jedem Inspektionsergebnis in aufsteigender Reihenfolge entsprechend dem Betrag der erfassten Beschädigung, um das folgende Ergebnis zu erzeugen:  $L_1=0,1$ ,  $L_2=0,1$ ,  $L_3=0,2$ ,  $L_4=0,2$ ,  $L_5=0,2$  und  $L_6=0,3$ . In Block 58 gruppiert der Algorithmus die sortierten Beanspruchungsdaten 52 und Schadensdaten 54 z.B. durch Zuweisung einer Variable  $R_n$  zu jedem Inspektionsergebnis mit dem gleichen Betrag, um das folgende Ergebnis zu erzeugen:  $R_1=2/6$ ,  $R_2=2/6$ ,  $R_3=3/6$ ,  $R_4=3/6$ ,  $R_5=3/6$  und  $R_6=1/6$ . In Block 60 vergleicht der Algorithmus die sortierten und gruppierten Daten 52, 54 mit dem Flottenmodellsignal 24, das Verteilungsparameterinformationen, wie beispielsweise die auf dem Flottenmodell basierenden projizierten Schadensergebnisse, umfasst um festzustellen, ob das Flottenmodell statistisch genau ist. Die statistische Genauigkeit kann anhand vieler einzelner oder kombinierter statistischer Kriterien, einschließlich zum Beispiel des Wertes des Bestimmtheitsmaßes ( $R^2$ ) oder der Standardabweichung ( $\sigma$ ), bestimmt werden. Wenn der Vergleich anzeigt, dass das Flottenmodell eine statistisch genaue Projektion der tatsächlichen Beschädigung liefert, Block 62, aktualisiert der Algorithmus anschließend die Datenbank 26 von historischen Parameterinformationen mit den neu erfassten Parameterinformationen von vergleichbaren Gasturbinen in der Flotte und liefert das aktualisierte Flottenmodellsignal 33 zur weiteren Analyse. Das aktualisierte Flottenmodell wird das Einheitsmodell, wenn darauf durch den in **Fig. 4** veranschaulichten Algorithmus zugegriffen wird. Falls der Vergleich anzeigt, dass das Flottenmodell keine statistisch genaue Projektion der tatsächlichen Beschädigung liefert, erzeugt der Algorithmus anschließend im Block 66 einen Flag oder ein sonstiges Signal, das die Notwendigkeit, den Fehler zwischen den Flottenmodellprojektionen und den tatsächlichen Schadensdaten zu untersuchen, anzeigt.

**[0028]** **Fig. 4** zeigt einen Algorithmus zur Aktualisierung und Validierung des Einheitsmodells, auf das vorstehend als der Block 38 in **Fig. 2** Bezug genommen wurde. In Block 68 importiert der Algorithmus das Einheitsdatensignal 30, das zum Beispiel neu erfasste Parameterinformationen von der Gasturbine im Einsatz 10, beispielsweise Beanspruchungsdaten 70 und Schadensdaten 72, aufweist. Lediglich für Veranschauligungszwecke wird erneut angenommen, dass das Einheitsdatensignal 30 anzeigt, dass bei einer Betriebsdauer von 10.000 Stunden, bei 20 Start- und Abschaltzyklen und zwei unplanmäßigen Auslösungen Boreskop-Inspektionen in einer bestimmten Komponente Risse der Größen 0,1, 0,3, 0,1, 0,3, 0,3 und 0,2 detektierten. In Block 74 sortiert der Algorithmus die importierten Einheitsda-

ten 70, 72 und organisiert diese zum Beispiel durch Zuweisung einer Variable  $L_n$  zu jedem Inspektionsergebnis in aufsteigender Reihenfolge entsprechend dem Betrag der erfassten Beschädigung, um das folgende Ergebnis hervorzubringen:  $L_1=0,1$ ,  $L_2=0,1$ ,  $L_3=0,2$ ,  $L_4=0,3$ ,  $L_5=0,3$  und  $L_6=0,3$ . In Block 76 gruppiert der Algorithmus die sortierten Einheitsdaten 70, 72 zum Beispiel durch Zuweisung einer Variable  $R_n$  zu jedem Inspektionsergebnis mit dem gleichen Betrag, um das folgende Ergebnis hervorzubringen:  $R_1=2/6$ ,  $R_2=2/6$ ,  $R_3=1/6$ ,  $R_4=3/6$ ,  $R_5=3/6$  und  $R_6=3/6$ . In Block 78 vergleicht der Algorithmus die sortierten und gruppierten Einheitsdaten 70, 72 mit dem Einheitsmodell, das Verteilungsparameterinformationen, wie beispielsweise die auf dem Einheitsmodell basierenden projizierten Schadensergebnisse enthält, um festzustellen, ob das Einheitsmodell statistisch genau ist. Die statistische Genauigkeit kann durch eine Anzahl von einzelnen oder kombinierten statistischen Kriterien, einschließlich zum Beispiel des Wertes des Bestimmtheitsmaßes ( $R^2$ ) oder der Standardabweichung ( $\sigma$ ), bestimmt werden. Falls der Vergleich anzeigt, dass das Einheitsmodell eine statistisch genaue Projektion der tatsächlichen Beschädigung liefert, Block 80, aktualisiert der Algorithmus anschließend das Einheitsmodell mit den neu erfassten Parameterinformationen von der Gasturbine im Einsatz 10 und erzeugt aktualisierte Parameterinformationen 41 von dem Einheitsmodell zur weiteren Analyse. Falls der Vergleich anzeigt, dass das Einheitsmodell keine statistisch genaue Projektion der tatsächlichen Beschädigung liefert, erzeugt der Algorithmus anschließend einen Flag 84 oder ein sonstiges Signal, das die Notwendigkeit zur Untersuchung des Fehlers zwischen den Projektionen und der tatsächlichen Beschädigung anzeigt.

**[0029]** **Fig. 5** zeigt einen Algorithmus zur Durchführung der Einheitsrisikoanalyse, auf die vorstehend in Form des Blocks 40 in **Fig. 2** Bezug genommen wurde. Die Einheitsrisikoanalyse kombiniert die aktualisierten Parameterinformationen 41 aus dem Einheitsmodell mit dem Risikosignal 32, um das Ausgangssignal 42 zu erzeugen, das die Pläne zur Reparatur 44 und/oder Wartung 46 und/oder die Nutzungslebensdauerprojektion bzw. -prognose 48 für die Gasturbine im Einsatz 10 wiedergibt. In Block 86 importiert der Algorithmus das Risikosignal 32, das zum Beispiel Einheitsbeanspruchungsdaten, zulässige Risikoniveaus für jeden Fehlermechanismus und/oder das nächste Wartungsintervall für die Gasturbine im Einsatz 10 aufweist. In Block 88 importiert der Algorithmus die aktualisierten Parameterinformationen 41 von dem Einheitsmodell, die zum Beispiel die Verteilungseinheitsparameterinformationen, beispielsweise die auf dem Einheitsmodell basierenden projizierten Schadensergebnisse aufweisen. In Block 90 lädt der Algorithmus Risikoanalysegleichungen oder greift auf Risikoanalysegleichungen zu, die zu jedem Fehlermechanismus gehören.

Die Risikoanalysegleichungen können jede beliebige von verschiedenen Techniken verwenden, die in der Technik zur Modellierung der Verteilungskurven von zukünftigen Zuständen auf der Basis bekannter Daten bekannt sind. Zum Beispiel können die Risikoanalysegleichungen ein Weibull-loglineares Modell, ein Weibull-proportionales Schadensmodell oder ein Lognormal-loglinear-Modell verwenden.

**[0030]** In Block 92 berechnet der Algorithmus ein konditionales Risiko im Zusammenhang mit jedem bestimmten Fehlermechanismus unter Verwendung der Risikoanalysegleichungen. Das konditionale Risiko ist die Wahrscheinlichkeit dafür, dass ein Einheitsparameter zu irgendeinem Zeitpunkt in der Zukunft eine vorbestimmte Grenze erreicht oder überschreitet. Die vorbestimmte Parametergrenze kann jeder beliebige Zustand, jede beliebige Metrik, jedes beliebige Maß oder ein sonstiges durch den Benutzer festgelegtes Kriterium sein. Zum Beispiel kann die vorbestimmte Parametergrenze ein betrieblicher Grenzwert, wie beispielsweise eine Rissgröße, eines Teils oder einer Komponente sein, der, wenn er überschritten wird, eine Maßnahme durch den Benutzer, wie beispielsweise eine Durchführung einer zusätzlichen Inspektion, ein Entfernen des Teils oder der Komponente vom Betrieb, eine Reparatur des Teils oder der Komponente oder eine Beschränkung der Leistungsfähigkeit der Gasturbine im Einsatz 10, erfordern kann. Der Zeitpunkt in der Zukunft kann das nächste Inspektionsintervall für die Gasturbine im Einsatz 10, gemessen chronologisch, anhand von Betriebsstunden, Startvorgängen, Abschaltvorgängen, unplanmäßigen Auslösungen oder beliebiger sonstiger Beanspruchungsdaten, die durch den Benutzer geliefert werden und mit dem Fehlermechanismus in Beziehung stehen, sein.

**[0031]** In Block 94 berechnet der Algorithmus die Betriebssicherheit bzw. Zuverlässigkeit bei dem derzeitigen Zustand in der Gasturbine im Einsatz 10. Die berechnete Zuverlässigkeit ist die Wahrscheinlichkeit, dass ein Teil oder eine Komponente in der Lage sein wird, die vorgesehene(n) Funktion(en) bei den bemessenen Grenzen wenigstens bis zu einem gewissen Zeitpunkt in der Zukunft erfolgreich zu erfüllen. Anders gesagt, ist die berechnete Zuverlässigkeit die Wahrscheinlichkeit dafür, dass ein Teil oder eine Komponente infolge eines identifizierten Fehlermechanismus vor einem gewissen Zeitpunkt in der Zukunft nicht ausfallen wird. Wie bei der Berechnung des konditionalen Risikos kann der Zeitpunkt in der Zukunft das nächste Inspektionsintervall für die Gasturbine im Einsatz 10 sein, wie es chronologisch, anhand von Betriebsstunden, Startvorgängen, Abschaltvorgängen, unplanmäßigen Auslösungen oder beliebigen sonstigen Beanspruchungsdaten gemessen wird, die durch den Benutzer bereitgestellt werden und mit dem Fehlermechanismus im Zusammenhang stehen.

**[0032]** In Block 96 berechnet der Algorithmus die restliche Nutzungslebensdauer für das Teil oder die Komponente, und **Fig. 6** zeigt einen Algorithmus zur Durchführung dieser Berechnung. In den Blöcken 98 und 100 importiert der Algorithmus das Risikosignal 32 bzw. die aktualisierten Parameterinformationen 41, wie dies vorstehend im Zusammenhang mit den Blöcken 86 und 88 in **Fig. 5** erläutert ist. In Block 102 berechnet der Algorithmus den mittleren Schadenswert für jeden bestimmten Fehlermechanismus für die Gasturbine im Einsatz 10. In Block 104 berechnet der Algorithmus die Wahrscheinlichkeit dafür, dass das Teil oder die Komponente eine vorbestimmte betriebliche Grenze an verschiedenen künftigen Beanspruchungszeitpunkten (z.B. Betriebsstunden, Startvorgängen, Abschaltvorgängen, unplanmäßigen Auslösungen, etc.) erreicht oder überschreitet. In Block 106 berechnet der Algorithmus den am meisten beschränkenden Beanspruchungszeitpunkt auf der Basis des zulässigen Risikoniveaus, wie es durch den Benutzer für jeden Fehlermechanismus bereitgestellt wird. Falls unter Verwendung der in den vorherigen Beispielen zur Veranschaulichung dargebotenen Daten der Benutzer ein zulässiges Risikoniveau von 5% für die Rissgröße bereitstellt und der vorbestimmte betriebliche Grenzwert für die Rissgröße 0,5 beträgt, berechnet der Block 106 des Algorithmus den Beanspruchungszeitpunkt, an dem das konditionale Risiko, dass eine Rissgröße von 0,5 vorliegen wird, 5% beträgt. In Block 108 berechnet der Algorithmus die restliche Nutzungslebensdauer des Teils oder der Komponente auf der Basis der Differenz zwischen dem momentanen Beanspruchungszeitpunkt und dem in Block 106 berechneten am meisten beschränkenden Beanspruchungszeitpunkt.

**[0033]** Zurückkehrend zu **Fig. 5** erzeugt der Einheitsrisikoanalysealgorithmus das Ausgangssignal 42, das die Ergebnisse der Einheitsrisikoanalyse wiedergibt. Z.B. kann das Ausgangssignal 42 Reparaturpläne 44 und/oder Wartungspläne 46 und/oder eine Nutzungslebensdauerprojektion für die Gasturbine im Einsatz 10 oder eine Komponente in dieser enthalten.

**[0034]** **Fig. 7** veranschaulicht in grafischer Weise hypothetische Schadensverlaufskurven, die durch den Einheitsrisikoanalysealgorithmus gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung erzeugt werden können. Die horizontale Achse repräsentiert das Beanspruchungsintervall (z.B. die Betriebsstunden, Startvorgänge, Abschaltvorgänge, unplanmäßige Auslösungen oder beliebige sonstige Beanspruchungsdaten im Zusammenhang mit einem Fehlermechanismus) zwischen Stillständen zur Reparatur und/oder Wartung, und die vertikale Achse repräsentiert das Maß der Beschädigung an einem Teil oder einer Komponente in der Gasturbine im Einsatz 10. Eine horizontale Linie über der Grafik



repräsentiert die vorbestimmte Parametergrenze 110 oder betriebliche Grenze eines Teils oder einer Komponente, wie durch den Benutzer festgelegt.

**[0035]** Jede Kurve auf der Grafik in **Fig. 7** repräsentiert eine hypothetische Schadensverlaufskurve. Z.B. spiegelt die mit 112 bezeichnete Kurve gemäß dem Flottenmodell ein Risiko von 5% dafür wieder, dass ein Teil oder eine Komponente, die keine detektierte Beschädigung aufweist, vor dem mit 114 bezeichneten Beanspruchungsintervall die vorbestimmte Parametergrenze 110 überschreiten wird. Die mit 116 bezeichnete Kurve spiegelt ein Risiko gemäß dem Flottenmodell von 95% dafür wieder, dass ein Teil oder eine Komponente ohne eine detektierte Beschädigung vor dem mit 118 bezeichneten Beanspruchungsintervall die vorbestimmte Parametergrenze 110 überschreiten wird. Die mit 120 bezeichnete Kurve spiegelt ein Risiko gemäß dem aktualisierten Flottenmodell oder Einheitsmodell von 5% dafür wieder, dass ein Teil oder eine Komponente ohne eine detektierte Beschädigung vor dem mit 122 bezeichneten Beanspruchungsintervall die vorbestimmte Parametergrenze 110 überschreiten wird. Die mit 124 bezeichnete Kurve spiegelt ein Risiko gemäß dem aktualisierten Flottenmodell oder Einheitsmodell von 95% dafür wieder, dass ein Teil oder eine Komponente ohne eine detektierte Beschädigung vor dem mit 126 bezeichneten Beanspruchungsintervall die vorbestimmte Parametergrenze 110 überschreiten wird. Die verschiedenen Datenpunkte, die mit 128 bezeichnet sind, repräsentieren tatsächliche Inspektionsergebnisse, die vorstehend verschiedentlich als Einheitsparameterinformationen oder Schadensdaten 72 bezeichnet wurden und die anhand des Einheitsdatensignals 30 zu dem Prozessor 22 übermittelt werden. Erneut bezugnehmend auf **Fig. 2** werden diese Schadensdaten 72 in Block 38 zu dem Einheitsmodell hinzugefügt, um die aktualisierten Parameterinformationen 41 zu erzeugen. Die Einheitsrisikoanalyse kombiniert die aktualisierten Parameterinformationen 41 mit Informationen in dem Risikosignal 32, um die tatsächliche Risikokurve für die Gasturbine im Einsatz 10 zu bestimmen.

**[0036]** **Fig. 8** veranschaulicht in grafischer Weise hypothetische Nutzungslebensdauerkurven, die durch den Algorithmus erzeugt werden, wie er vorstehend im Zusammenhang mit **Fig. 6** erläutert ist. In dieser Darstellung repräsentiert die horizontale Achse die Beanspruchungsgrenze in Betriebsstunden, und die vertikale Achse repräsentiert die Beanspruchungsgrenze für Startvorgänge. Es können andere Beanspruchungsgrenzen in Abhängigkeit von verschiedenen Faktoren, wie beispielsweise dem Fehlermechanismus, dem speziellen Teil oder der speziellen Komponente, den Beanspruchungsdaten für die Gasturbine im Einsatz 10, etc. anwendbar sein. Die mit 130 bezeichnete Kurve repräsentiert

eine hypothetische Nutzungslebensdauerkurve für ein Teil oder eine Komponente für einen bestimmten Fehlermechanismus. Der Punkt 132 repräsentiert eine vorgesehene Nutzungslebensdauer für ein Teil oder eine Komponenten für eine gegebene Kombination von Startvorgängen und Betriebsstunden. Die mit 134 bezeichnete Kurve repräsentiert eine neue Nutzungslebensdauerkurve für das Teil oder die Komponente, wie sie durch die Blöcke 106 und 108 in **Fig. 6** berechnet wird. Wie veranschaulicht, zeigt die neue Nutzungslebensdauerkurve 134 die erhöhte Anzahl von Startvorgängen und Betriebsstunden, die das Teil oder die Komponente aufweisen kann, bevor der Fehlermechanismus eintritt.

**[0037]** Diese Beschreibung verwendet Beispiele, um die Erfindung, einschließlich der besten Ausführungsart, zu offenbaren und auch um jedem Fachmann auf dem Gebiet zu ermöglichen, die Erfindung umzusetzen, wozu die Schaffung und Verwendung jeglicher Vorrichtungen oder Systeme und die Durchführung jeglicher enthaltener Verfahren gehören. Der patentierbare Umfang der Erfindung ist durch die Ansprüche definiert und kann weitere Beispiele enthalten, die Fachleuten auf dem Gebiet einfallen. Derartige weitere Beispiele sollen in dem Schutzzumfang der Ansprüche liegen, wenn sie strukturelle Elemente enthalten, die sich von dem Wortsinn der Ansprüche nicht unterscheiden, oder wenn sie äquivalente strukturelle Elemente mit gegenüber dem Wortsinn der Ansprüche unwesentlichen Unterschieden enthalten.

**[0038]** Ein System 20 zur Überwachung einer Gasturbine im Einsatz 10 enthält eine Datenbank 26, die Informationen von vergleichbaren Gasturbinen enthält, und eine Eingabevorrichtung 34, die ein Einheitsdatensignal 30 und ein Risikosignal 32 erzeugt. Ein Prozessor 22, der mit dem Speicher und der Eingabevorrichtung 34 in Kommunikationsverbindung steht, nimmt das Einheitsdatensignal 30 in die Datenbank 26 auf, projiziert Informationen für die Gasturbine im Einsatz 10 in die Zukunft und berechnet ein konditionales Risiko dafür, dass die Gasturbine im Einsatz 10 eine Grenze erreichen wird. Ein Ausgangssignal 42 enthält Reparatur- oder Wartungszeitpläne. Ein Verfahren zum Überwachen einer Gasturbine im Einsatz 10 enthält ein Empfangen von Informationen von vergleichbaren Gasturbinen, Hinzufügen von Informationen von der Gasturbine im Einsatz 10 zu den Informationen von vergleichbaren Gasturbinen und Projizieren von Informationen für die Gasturbine im Einsatz 10 in die Zukunft. Das Verfahren enthält ferner ein Berechnen eines konditionalen Risikos dafür, dass die Gasturbine im Einsatz 10 eine Grenze erreichen wird, und Erzeugen eines Ausgangssignals 42, das Reparatur- oder Wartungszeitpläne enthält.

	Teilleiste:	86	Eingabeblock der Einheitsrisikoanalyse
10	Gasturbine im Einsatz	88	Importblock der Einheitsrisikoanalyse
12	Verdichter	90	Risikoanalysegleichungsladeblock der Einheitsrisikoanalyse
14	Brennkammer	92	Konditionalrisikoberechnungsblock der Einheitsrisikoanalyse
16	Turbine	94	Zuverlässigkeitsberechnungsblock der Einheitsrisikoanalyse
20	System	96	Nutzungslebensdauerberechnungsblock der Einheitsrisikoanalyse
22	Prozessor	98	Eingabeblock für die Nutzungslebensdauerberechnung
24	Flottenmodellsignal	100	Importblock für die Nutzungslebensdauerberechnung
26	Datenbank	102	Schadensmittelwertberechnungsblock für die Nutzungslebensdauerberechnung
28	Flottendatensignal	104	Fehlerwahrscheinlichkeitsberechnungsblock für die Nutzungslebensdauerberechnung
30	Einheitsdatensignal	106	Berechnung der Ausfallzeit beim Risiko für die Nutzungslebensdauerberechnung
32	Risikosignal	108	Berechnung der restlichen Nutzungslebensdauer für die Nutzungslebensdauerberechnung
33	aktualisiertes Flottenmodellsignal	110	betriebliche Grenze
34	Eingabevorrichtung	112	5%-Flottenkurve
36	Flottenmodellverifikationsblock	114	5%-Flottengrenze
38	Einheitsmodellerzeugungsblock	116	95%-Flottenkurve
40	Einheitsrisikoanalyseblock	118	95%-Flottengrenze
41	Parameterinformationen vom Einheitsmodell	120	5%-Einheitskurve
42	Ausgangssignal	122	5%-Einheitsgrenze
44	Reparaturplan	124	95%-Einheitskurve
46	Wartungsplan	126	95%-Einheitsgrenze
48	Nutzungslebensdauerprojektion/-prognose	128	Inspektionsergebnisse
50	Flottendatenimportblock	130	hypothetische Nutzungslebensdauerkurve
52	Flottenbeanspruchungsdaten	132	Punkt
54	Flottenschadensdaten	134	neue Nutzungslebensdauerkurve
56	Flottendatensortierungsblock		
58	Flottendatengruppierungsblock		
60	Flottenvergleichsblock		
62	Flottenaktualisierungsblock		
66	Flottenflagblock		
68	Einheitsdatenimportblock		
70	Einheitsbeanspruchungsdaten		
72	Einheitsschadensdaten		
74	Einheitsdatensortierungsblock		
76	Einheitsdatengruppierungsblock		
78	Einheitsvergleichsblock		
80	Einheitsaktualisierungsblock		
84	Einheitsflagblock		

#### Patentansprüche

1. System (20) zur Überwachung des Verhaltens einer Gasturbine im Einsatz (10), das aufweist: ein Speicherelement, das eine Datenbank (26) mit einem Flottenmodell aufweist, das gesammelte his-

torische Parameterinformationen über den Betrieb, Reparaturen und/oder Wartungsmaßnahmen von vergleichbaren Gasturbinen enthält, wobei das Flottenmodell eingerichtet ist, um Projektionen von Parameterinformationen während künftiger Beanspruchungen unter Verwendung der gesammelten historischen Parameterinformationen zu ermöglichen;

eine Eingabevorrichtung (34), wobei die Eingabevorrichtung (34) eingerichtet ist, um ein Einheitsdatensignal (30), das Parameterinformationen von der Gasturbine im Einsatz (10) enthält, und ein Risikosignal (32) zu erzeugen, das einen Risikowert für die Gasturbine im Einsatz (10) enthält; und

einen Prozessor (22) in Kommunikationsverbindung mit dem Speicherelement und der Eingabevorrichtung (34), wobei der Prozessor (22) eingerichtet ist, um das Eingangssignal (30) in die Datenbank (26) mit den gesammelten Parameterinformationen von vergleichbaren Gasturbinen aufzunehmen, um das Flottenmodell unter Verwendung der Parameterinformationen von der Gasturbine im Einsatz (10) zu aktualisieren, um ein Einheitsmodell zu erzeugen, in die Zukunft projizierte Parameterinformationen für die Gasturbine im Einsatz (10) unter Verwendung des Einheitsmodells zu erzeugen und die in die Zukunft projizierten Parameterinformationen aus dem Einheitsmodell mit dem Risikosignal (32) zu kombinieren, um ein konditionales Risiko dafür zu berechnen, dass die in die Zukunft projizierten Parameterinformationen für die Gasturbine im Einsatz (10) eine vorbestimmte Parametergrenze erreichen werden; und auf der Basis des berechneten konditionalen Risikos ein Ausgangssignal (42) zu erzeugen, das wenigstens entweder Reparatur- und/oder Wartungsplanungsinformationen enthält.

2. System (20) nach Anspruch 1, das ferner ein Flottenmodellsignal (24) zwischen der Datenbank (26) und dem Prozessor (22) aufweist, das Flottenmodellsignal (24) die Parameterinformationen von vergleichbaren Gasturbinen enthält.

3. System (20) nach einem beliebigen der Ansprüche 1-2, wobei das Einheitsdatensignal (30) Daten enthält, die wenigstens entweder den Betrieb und/oder Reparaturen und/oder die Wartung der Gasturbine im Einsatz (10) wiedergeben.

4. System (20) nach einem beliebigen der Ansprüche 1-3, wobei der Prozessor (22) eingerichtet ist, um das Ausgangssignal (42) auf der Basis eines Vergleichs des berechneten konditionalen Risikos mit dem Risikowert zu erzeugen.

5. System (20) nach einem beliebigen der Ansprüche 1-4, wobei das Ausgangssignal (42) eine projizierte Nutzungslebensdauer einer Komponente in der Gasturbine im Einsatz (10) enthält.

6. Verfahren zum Überwachen des Verhaltens einer Gasturbine im Einsatz (10), das aufweist:

- a) Empfangen von Parameterinformationen von vergleichbaren Gasturbinen aus einem Flottenmodell, das gesammelte historische Parameterinformationen über den Betrieb, Reparaturen und/oder Wartungsmaßnahmen von vergleichbaren Gasturbinen enthält, wobei das Flottenmodell eingerichtet ist, um Projektionen von Parameterinformationen während künftiger Beanspruchungen unter Verwendung der gesammelten historischen Parameterinformationen zu ermöglichen;
- b) Empfangen von Parameterinformationen von der Gasturbine im Einsatz (10) und eines Risikosignals (32), das einen Risikowert für die Gasturbine im Einsatz (10) enthält;
- c) Hinzufügen der Parameterinformationen von der Gasturbine im Einsatz (10) zu den Parameterinformationen von vergleichbaren Gasturbinen, um das Flottenmodell unter Verwendung der Parameterinformationen von der Gasturbine im Einsatz (10) zu aktualisieren, um ein Einheitsmodell zu erzeugen;
- d) Projizieren der Parameterinformationen für die Gasturbine im Einsatz (10) in die Zukunft unter Verwendung des Einheitsmodells;
- e) Berechnen eines konditionalen Risikos dafür, dass die projizierten Parameterinformationen für die Gasturbine im Einsatz (10) eine vorbestimmte Parametergrenze erreichen werden, unter Kombination der in die Zukunft projizierten Parameterinformationen aus dem Einheitsmodell mit dem Risikosignal (32); und
- f) Erzeugen eines Ausgangssignals (42), das wenigstens entweder einen Reparaturplan und/oder einen Wartungsplan für die Gasturbine im Einsatz (10) enthält, auf der Basis des berechneten konditionalen Risikos.

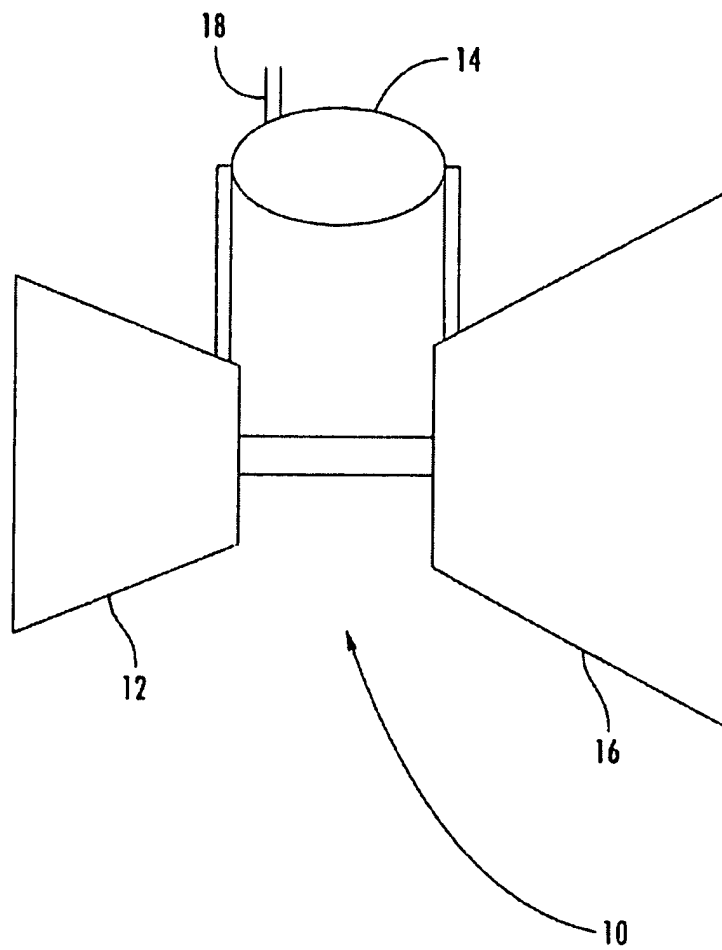
7. Verfahren nach Anspruch 6, das ferner ein Vergleichen des konditionalen Risikos mit einem vorbestimmten Risikowert aufweist.

8. Verfahren nach Anspruch 7, das ferner ein Hinauszögern einer Reparatur oder Wartung enthält, falls das konditionale Risiko kleiner ist als der vorbestimmte Risikowert.

9. Verfahren nach Anspruch 7, das ferner ein Vorziehen einer Reparatur oder Wartung enthält, falls das konditionale Risiko nicht kleiner ist als der vorbestimmte Risikowert.

Es folgen 7 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen



**FIGUR 1**

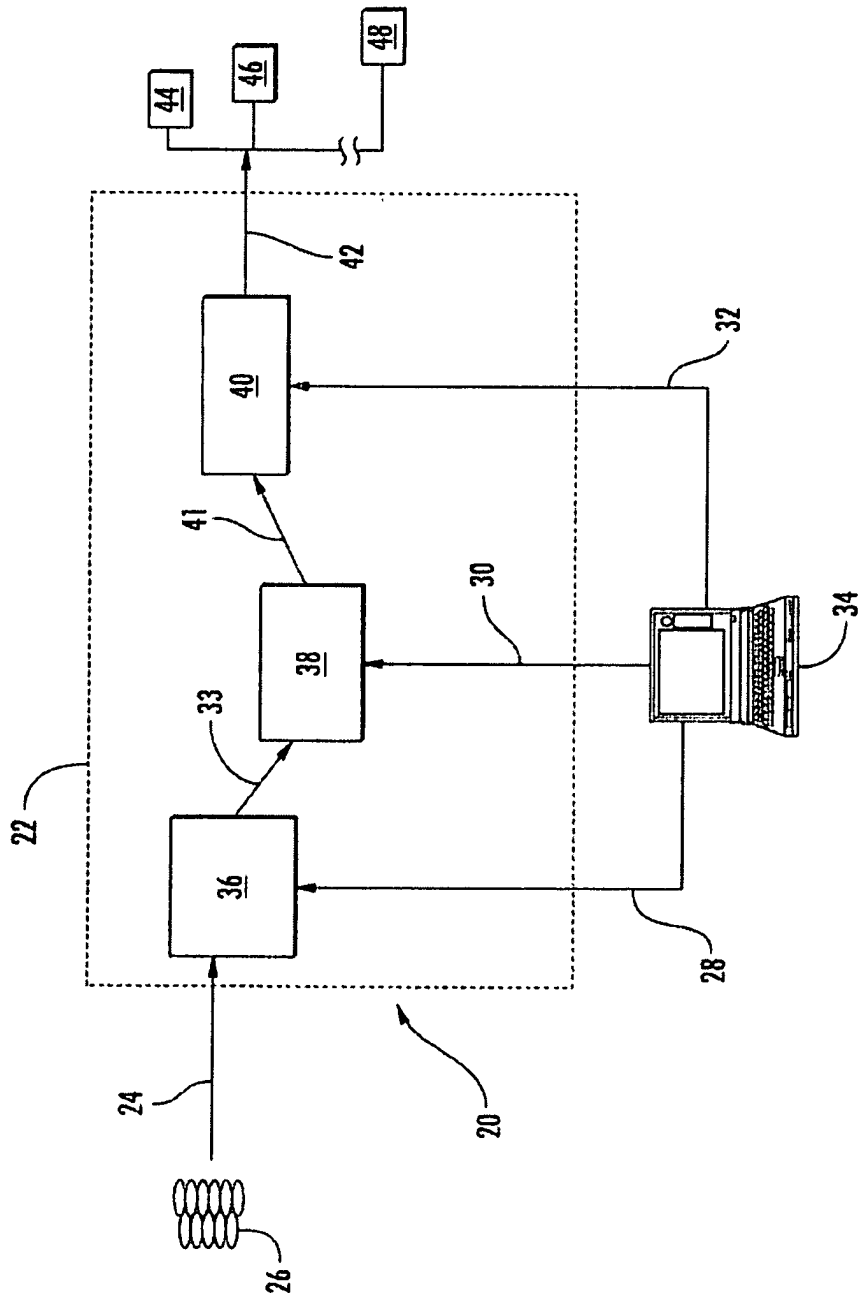
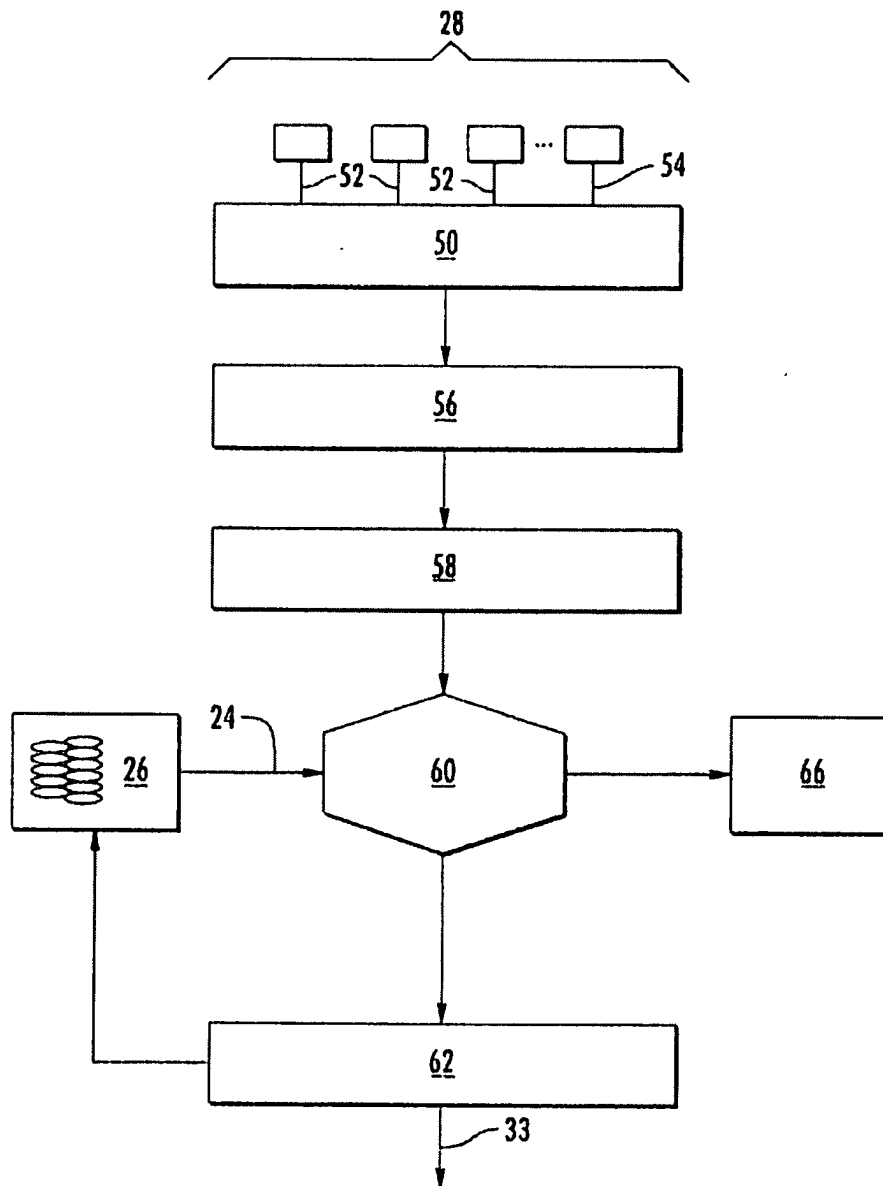
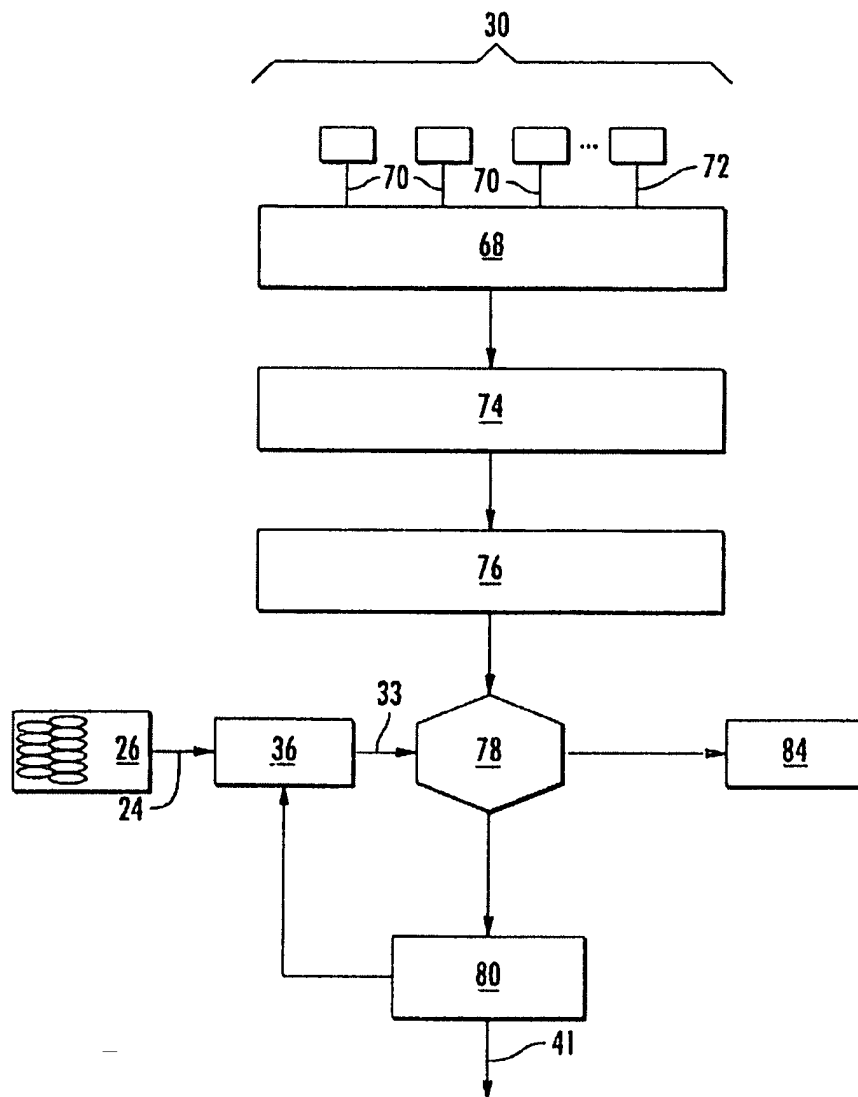


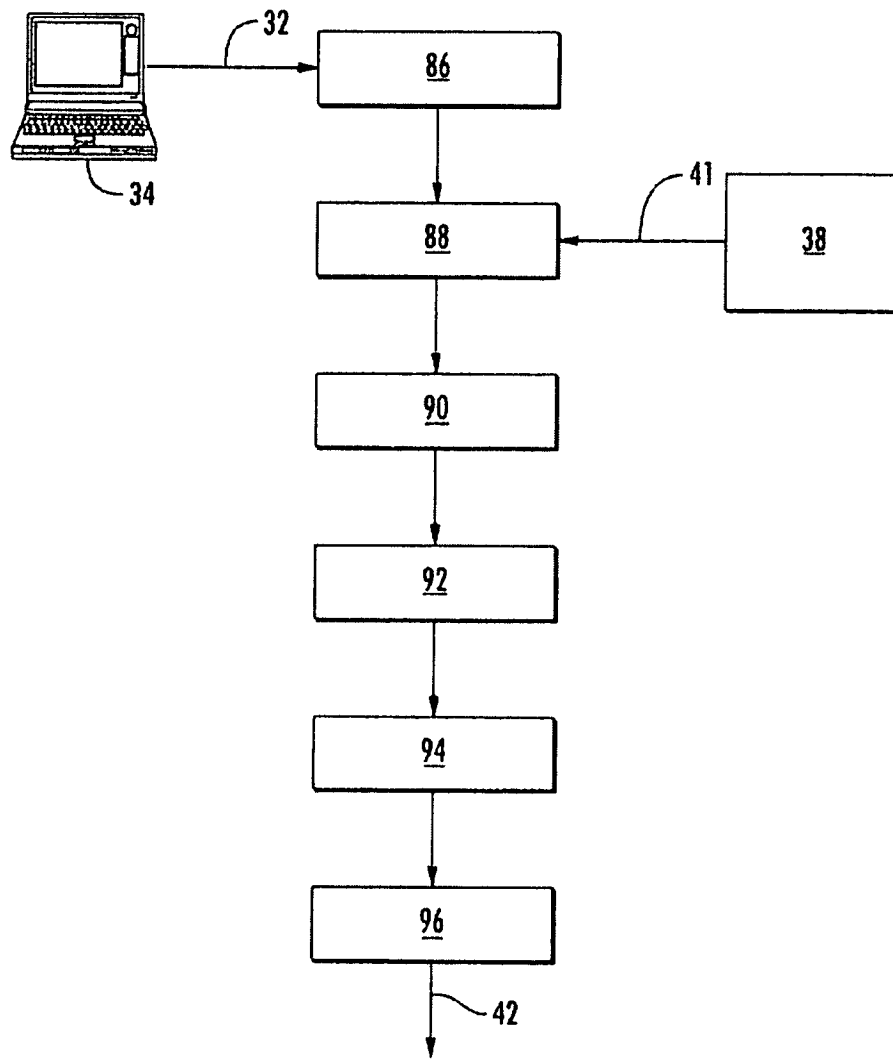
FIGURE 2



**FIGUR 3**

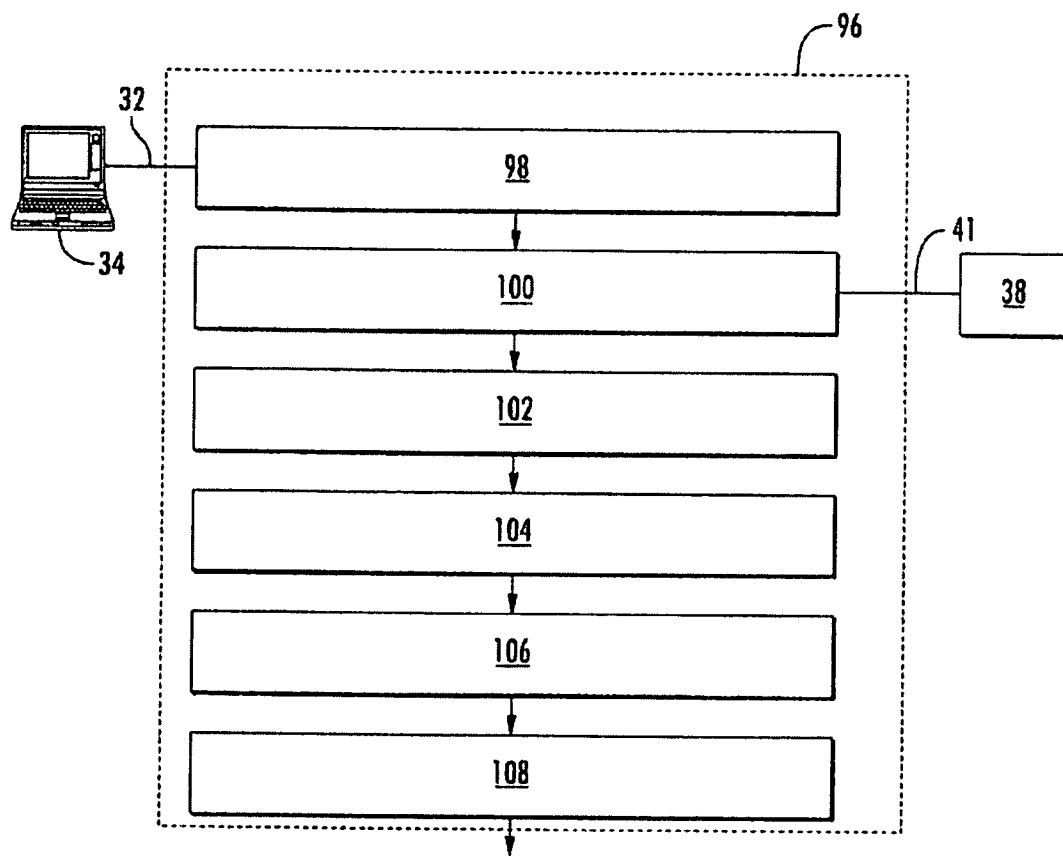


FIGUR 4

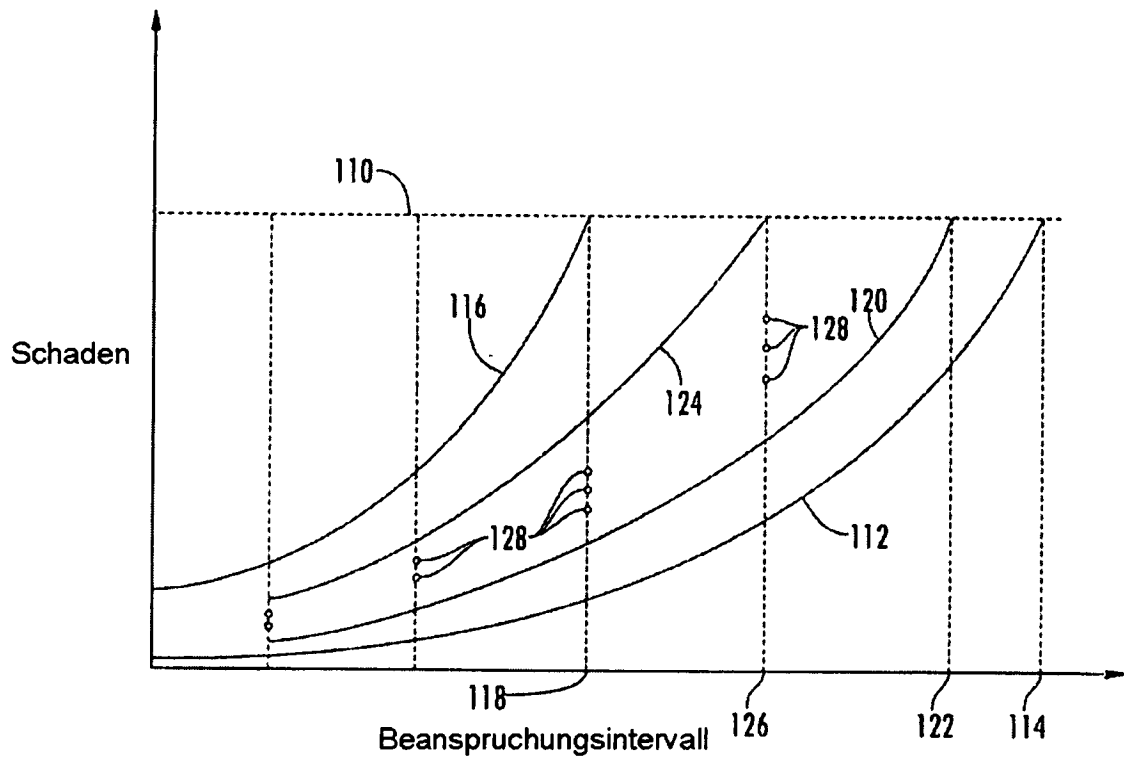


**FIGUR 5**

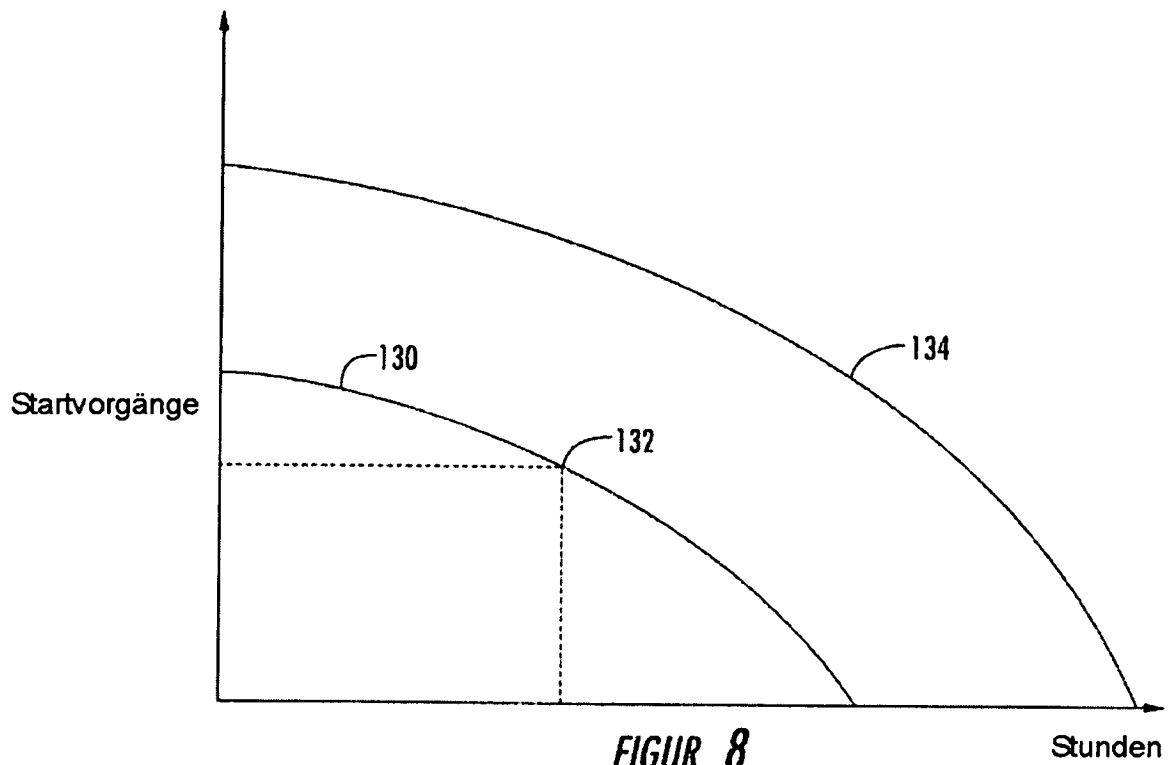




**FIGUR 6**



**FIGUR 7**



**FIGUR 8**