



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 600 31 615 T2** 2007.08.30

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 1 085 534 B1**

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: **H01F 27/12** (2006.01)

(21) Deutsches Aktenzeichen: **600 31 615.7**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **00 307 930.8**

(96) Europäischer Anmeldetag: **13.09.2000**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **21.03.2001**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **02.11.2006**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **30.08.2007**

(30) Unionspriorität:

**398034 17.09.1999 US**

(73) Patentinhaber:

**General Electric Co., Schenectady, N.Y., US;  
PROLEC-GE, S. de R.L. de C.V., Apodaca, Nuevo  
Leon, MX**

(74) Vertreter:

**Rüger und Kollegen, 73728 Esslingen**

(84) Benannte Vertragsstaaten:

**DE, FR**

(72) Erfinder:

**O'Keeffe, Thomas Gary, Farmington, Connecticut  
06032, US; Azzaro, Steven Hector, Schenectady,  
New York 12306, US; Coulter, Gregory Dennis,  
Unionville, Connecticut 06085, US; Jammu, Vinay  
Bhaskar, Niskayuna, New York 12309, US; Stokes,  
Edward Brittain, Schenectady, New York 12308,  
US; Delgado Cruz, Alfonso M., Guadalupe L.P.  
67174, MX; Crouse, John Charles, Rome, Georgia  
30165, US; Betancourt, Enrique, Monterrey, NL  
64620, MX**

(54) Bezeichnung: **Intelligente Vorrichtung und Verfahren zur Analyse einer flüssigkeitsgefüllten elektrischen Anlage**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

**Beschreibung**

**[0001]** Die Erfindung betrifft im Wesentlichen ein fluidgefülltes elektrisches Gerät. Insbesondere betrifft die Erfindung eine Vorrichtung und ein Verfahren zum Ermitteln des Betriebszustandes, Diagnosezustandes und einer Prognose eines elektrischen Gerätes in Echtzeit.

**[0002]** Ein elektrisches Gerät, insbesondere elektrische Mittelspannungs- oder Hochspannungsgerät erfordert einen hohen Grad an elektrischer oder thermischer Isolation zwischen seinen Komponenten. Demzufolge ist es allgemein bekannt, Komponenten des elektrischen Gerätes, wie z.B. die Spulen eines Transformators in einem Einschlussbehälter einzukapseln, und diesen Einschlussbehälter mit einem Fluid zu füllen. Das Fluid erleichtert die Abführung der durch die Komponenten erzeugten Wärme und kann durch einen Wärmetauscher geleitet werden, um die Betriebstemperatur der Komponenten wirksam abzusenken. Das Fluid dient auch als elektrische Isolation zwischen Komponenten oder zur Ergänzung anderer Formen einer Isolation, die um die Komponenten herum angeordnet ist, wie z.B. Zellulosepapier oder andere Isolationsmaterialien. Jedes Fluid mit den gewünschten elektrischen und thermischen Eigenschaften kann verwendet werden. Typischerweise ist das elektrische Gerät mit einem Öl, wie z.B. Kastoröl, Mineralöl oder Pflanzenöl oder einem synthetischen "Öl" wie z.B. chloriertem Diphenyl, Silikon oder Schwefelhexafluorid gefüllt.

**[0003]** Oft wird das elektrische Gerät in einer aufgabenkritischen Umgebung eingesetzt, in welcher ein Ausfall aufgrund eines Verlustes von elektrischer Energie für kritische Systeme sehr teuer oder sogar katastrophal sein kann. Ferner führt ein Ausfall des elektrischen Gerätes normalerweise zu einem großen Schaden an dem Gerät selbst und an den umgebenden Geräten, und erfordert somit die Ersetzung von teurem Gerät. Ferner kann ein derartiger Ausfall eine Verletzung von Personal aufgrund von elektrischem Schlag, Feuer oder Explosion verursachen. Daher möchte man den Status des elektrischen Gerätes überwachen, um einen möglichen Ausfall des Gerätes aufgrund der Detektion von beginnenden Fehlern vorherzusagen, und um eine Abhilfeaktion durch Reparatur, Ersetzung, oder Einstellung von Betriebsbedingungen des Gerätes zu schaffen. Jedoch verschlechtern sich die Leistung und das Verhalten eines fluidgefüllten elektrischen Gerätes inhärent mit der Zeit. Fehler und beginnende Fehler sollten von einer normalen und zulässigen Verschlechterung unterschieden werden.

**[0004]** Ein bekanntes Verfahren zum Überwachen des Status eines fluidgefüllten elektrischen Gerätes besteht in der Überwachung verschiedener Parameter des Fluids. Beispielsweise ist bekannt, dass die Temperatur des Fluids und das gesamte brennbare Gas (TCG) in dem Fluid den Betriebszustand des fluidgefüllten elektrischen Gerätes anzeigen. Daher kann die Überwachung dieser Parameter des Fluids eine Anzeige für jeden beginnenden Fehler in dem Gerät liefern. Beispielsweise hat es sich herausgestellt, dass Kohlenmonoxid und Kohlendioxid in der Konzentration mit der thermischen Alterung und Verschlechterung der Zelluloseisolation in dem elektrischen Gerät zunehmen. Wasserstoff und verschiedene Kohlenwasserstoffe (und Derivate davon, wie z.B. Azetylen und Ethylen) nehmen in der Konzentration aufgrund von Überhitzungsstellen zu, die durch zirkulierende Ströme und Isolationsdurchschlag, wie z.B. Korona- und Lichtbogenentladung bewirkt werden. Konzentrationen von Sauerstoff und Stickstoff zeigen die Qualität des Gasdrucksystems an, das in einem großen Gerät, wie z.B. bei Transformatoren, verwendet wird. Demzufolge wurde die "Analyse gelöster Gase" (DGA – Dissolved Gas Analysis) ein allgemein akzeptiertes Verfahren zum Unterscheiden beginnender Fehler in einem fluidgefüllten elektrischen Gerät.

**[0005]** Bei herkömmlichen DGA-Verfahren wird ein Anteil des Fluids aus dem Einschlussbehälter des Gerätes über ein Ablaufventil entfernt. Das entfernte Fluid wird dann einer Prüfung auf gelöstes Gas in einem Labor oder durch ein Gerät vor Ort unterworfen. Dieses Testverfahren wird hierin als "offline"-DGA bezeichnet. Da die Gase durch verschiedene bekannte Fehler, wie z.B. Verschlechterung des Isolationsmaterials oder anderer Anteile elektrischer Komponenten in dem Gerät, Windungsschlüsse in den Spulen, Überlastung, lose Verbindungen oder dergleichen erzeugt werden, wurden verschiedenen Diagnosetheorien entwickelt, um die Mengen verschiedener Gase im Fluid mit speziellen Fehlern in einem elektrischen Gerät zu korrelieren, in welchem das Fluid eingeschlossen ist.

**[0006]** Da jedoch herkömmliche Verfahren der offline-DGA die Entnahme von Fluid aus dem elektrischen Gerät erfordern, liefern diese Verfahren 1) keine lokalisierte Positionsinformation bezüglich irgendeines Fehlers in dem Gerät, 2) berücksichtigen keine räumlichen Veränderungen von Gasen in dem Gerät, und 3) liefern keine Echtzeitdaten bezüglich der Fehler. Wenn die Analyse an einem anderen Ort durchgeführt wird, können die Ergebnisse für einige Stunden nicht verfügbar sein. Beginnende Fehler können sich zu einem Ausfall des Gerätes über eine derartige Zeitdauer entwickeln.

**[0007]** MIKROMONITORS, INCJ und SYPROTECJ haben jeweils einen Gassensor entwickelt, welcher in dem Ablaufventil oder an anderen einzelnen Stellen eines Transformators sitzt und einige Einschränkungen der Offline-DGA überwindet. Jedoch sind Ortsdaten bezüglich eines Fehlers mit einem derartigen Gerät nicht unterscheidbar, da es in einer vordefinierten Position angeordnet ist, und keinerlei Anzeige über die Position der Quelle des Gases, d.h., des Fehlers liefert. Das U.S. Patent 4,654,806 offenbart eine Vorrichtung zum Überwachen von Transformatoren, die Sensoren zum Detektieren einer Öltemperatur, von Gas im Öl und einer Schranktemperatur enthalten. Rohdaten aus den Sensoren werden von einem Mikrocomputer gesammelt und periodisch an einen entfernt aufgestellten Host-Computer geladen. Der Mikrocomputer kann verschiedene gemessene Parameter mit vorbestimmten Schwellenwerten vergleichen und kann Alarme oder andere Warnungen aktivieren, wenn die Schwellenwerte überschritten werden. Der entfernt aufgestellte Host-Computer kann ein Kühlsystem des Transformators auf der Basis der Parameter, die periodisch an den entfernt aufgestellten Host-Computer geladen werden, steuern. In ähnlicher Weise offenbart das U.S. Patent 3,855,503 einen fernüberwachten Transformator, in welchem Daten aus Sensoren an einen entfernten Computer geladen und mit vorbestimmten Schwellenwerten verglichen werden. Wenn die Schwellenwerte überschritten werden, kann der Transformator abgeschaltet werden. Das U.S. Patent 4,654,806 offenbart, dass die individuellen Schwellenwerte auf der Basis von anderen Schwellenwerten verändert werden können. Jedoch liefern die in dem U.S. Patent 4,654,806 und dem U.S. Patent 3,855,503 offenbarten Geräte keine zusammenhängende und umfassende Diagnose in Echtzeit, da sie nicht die komplexen Beziehungen zwischen den verschiedenen Betriebsparametern des fluidgefüllten elektrischen Gerätes oder die normale Verschlechterung über der Zeit des fluidgefüllten elektrischen Gerätes berücksichtigen. Der Artikel mit dem Titel "Monitoring the Health of Power Transformer" diskutiert Untersuchungen an Massachusetts of Technology bezüglich eines Modell-basierenden Diagnosesystems.

**[0008]** Bekannte Prozesse und Vorrichtungen liefern keine genaue Echtzeitdiagnose von beginnenden Fehlern in, und eine Prognose von, einem fluidgefüllten elektrischen Gerät, da die komplexe Beziehung zwischen verschiedenen Betriebsparametern von fluidgefüllten elektrischen Geräten nicht vollständig durch die herkömmliche Technik berücksichtigt wird. Beispielsweise kann ein Temperaturanstieg über einen normalen Bereich hinaus auf einer kurzzeitigen Belastungszunahme und nicht auf einem beginnenden Fehler beruhen. Weitere Parameter sind in komplexerer Art verknüpft, die durch die herkömmliche Technik nicht berücksichtigt wird. Ferner berücksichtigen die vorstehend diskutierten Einrichtungen keine dynamische Änderung über der Zeit im Transformatorverhalten.

**[0009]** Das U.S. Patent 5,845,272 offenbart ein System zur Isolation von Fehlern in einer Lokomotive oder einem Prozess mit mehreren Geräten. Das System benutzt Ausgangssignale verschiedener Sensoren als Eingangssignale in einer kausale Netzwerke enthaltenden Wissensbasis. Jedoch befasst sich das U.S. Patent 5,845,272 nicht mit der Diagnose von fluidgefüllten elektrischen Geräten und berücksichtigt somit nicht die komplexen Beziehungen zwischen Parametern von fluidgefüllten elektrischen Geräten und die dynamische Änderung im Verhalten von fluidgefüllten elektrischen Geräten mit der Zeit.

**[0010]** Zusammengefasst berücksichtigen bekannte Prozesse und Verfahren keine analytischen Modelle des Betriebs eines fluidgefüllten elektrischen Gerätes, welche thermische, Fluidströmungs-, elektrische Feld-, Druck/Volumen-, chemische, Ausfallmodus-, Grundfehlerursache- und Gas-in-Öl-Modelle umfassen, welche alle in einer komplexen Weise in Beziehung stehen und sich mit der Zeit verändern. Bekannte Verfahren und Vorrichtungen erkennen und sagen daher Ausfallmodi nicht genau voraus und bewerten den Lebensdauerzyklus eines fluidgefüllten elektrischen Gerätes nicht.

**[0011]** Gemäß einem ersten Aspekt der Erfindung wird eine intelligente Analysevorrichtung für ein fluidgefülltes elektrische Gerät der Bauart mit Komponenten, die von Fluid umgeben sind, geschaffen, wobei die Vorrichtung aufweist: mehrere Sensoren zum Erfassen mehrerer Betriebsparameter des elektrischen Gerätes mit einem zur Aufnahme des Fluids eingerichteten Einschlussbehälter und wenigstens einer in dem Einschlussbehälter angeordneten elektrischen Komponente, wobei die Sensoren dafür eingerichtet sind, Signale auszugeben, die mehrere Betriebsparameter des elektrischen Gerätes anzeigen; und eine mit den Sensoren verbundene Diagnoseeinrichtung, wobei die Diagnoseeinrichtung einen Prozessor enthält, der so arbeitet, dass er Betriebseigenschaften des elektrischen Gerätes auf der Basis wenigstens eines analytischen Modells des elektrischen Gerätes und der von den Sensoren ausgegebenen Signale ermittelt, indem er von dem wenigstens einen analytischen Modell berechnete Betriebsparameter und von den Signalen der Sensoren angezeigte Werte der Betriebsparameter in einem kausalen Netzwerk anwendet, wobei die Diagnoseeinrichtung dafür eingerichtet ist, einen von dem wenigstens einen analytischen Modell berechneten Betriebsparameter mit einem entsprechenden gemessenen Betriebsparameter zu vergleichen, und dafür angepasst ist, das Ergebnis des Vergleichs als einen Indikator in dem kausalen Netzwerk zu verwenden, und wobei ferner die Wahrscheinlich-

keiten des kausalen Netzwerkes dafür angepasst sind auf der Basis der Wahrscheinlichkeit der von dem analytischen Modell erhaltenen Indikatoren oder der erfassten Betriebsparameter aktualisiert zu werden; und wobei ferner die Variablen des wenigstens einem analytischen Modells dafür angepasst sind, dass sie mit der Zeit entsprechend akzeptablen Verhaltensänderungen des elektrischen Geräts über der Zeit angepasst werden.

**[0012]** Gemäß einem zweiten Aspekt der Erfindung wird ein Verfahren zur intelligenten Analyse eines fluidgefüllten elektrischen Gerätes des Bauart, mit von einem Fluid umgebenen Komponenten geschaffen, wobei das Verfahren die Schritte aufweist: Verbinden von Sensoren mit dem elektrischen Gerät mit einem zur Aufnahme von Fluid konfigurierten Aufnahmebehälter und mit wenigstens einer in dem Aufnahmebehälter angeordneten elektrischen Komponente; Erfassen mehrerer Betriebsparameter des elektrischen Gerätes mit den Sensoren; Erzeugen von Signalen, die die in dem Erfassungsschritt erfassten mehreren Betriebsparameter des elektrischen Gerätes anzeigen; und Ermitteln von Betriebskennwerten des elektrischen Gerätes auf der Basis wenigstens eines analytischen Modells des elektrischen Gerätes und der in dem Erzeugungsschritt erzeugten Signale durch Anwenden von Werten von dem wenigstens einem analytischen Modell berechneten Betriebsparametern und Werten von durch das in dem Erzeugungsschritt erzeugten Signal angezeigten Betriebsparametern in einem kausalen Netzwerk; wobei der Bestimmungsschritt die Schritte des Vergleichs eines durch das wenigstens eine analytische Modell berechneten Betriebsparameters mit einem entsprechenden gemessenen Betriebsparameter gemäß Anzeige durch Signale in dem Erzeugungsschritt vergleicht, und das Ergebnis des Vergleichsschritts als einen Indikator in dem kausalen Netzwerk verwendet, und wobei ferner der Bestimmungsschritt ferner die Schritte der Aktualisierung der Wahrscheinlichkeiten des kausalen Netzwerkes auf der Basis der Wahrscheinlichkeit der Indikatoren, die aus dem analytischen Modell erhalten werden, oder der erfassten Betriebsparameter aktualisiert; und wobei der Ermittlungsschritt ferner den Schritt der Anpassung von Variablen des wenigstens einem analytischen Modells über der Zeit in Abhängigkeit von akzeptablen Verhaltensänderungen des elektrischen Gerätes über der Zeit umfasst.

**[0013]** Die vorliegende Erfindung wird mit dem Lesen der nachstehenden detaillierten Beschreibung einer bevorzugten Ausführungsform in Verbindung mit den beigefügten Zeichnungen verständlicher, in welchen:

**[0014]** [Fig. 1](#) eine schematische Darstellung einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung und eines zugeordneten elektrischen Gerätes ist;

**[0015]** [Fig. 2](#) ein Flussdiagramm einer Diagnoseermittlungsroutine der bevorzugten Ausführungsform ist;

**[0016]** [Fig. 3](#) eine grafische Darstellung von möglichen Ausfallmodi der bevorzugten Ausführungsform ist; und

**[0017]** [Fig. 4](#) eine grafische Darstellung eines kausalen Netzwerkes für die Ausfallmodi von [Fig. 3](#) ist.

**[0018]** Eine Ausführungsform der Erfindung verwendet analytische Modelle für den Betrieb eines fluidgefüllten elektrischen Gerätes in Kombination mit kausalen Netzwerken für den Zweck der Ermittlung des Betriebsstatus, der Diagnose und Prognose des fluidgefüllten elektrischen Gerätes. Die analytischen Modelle können Modelle von thermischen Eigenschaften, elektrischen und magnetischen Feldern, Temperatur-Druck-Volumen, Ausfallmodi, der Hauptfehlerursache, Gas-in-Öl und der chemischen Zusammensetzung enthalten. Die analytischen Modelle werden über der Zeit angepasst, um Verhaltensänderungen in dem fluidgefüllten elektrischen Gerät zu berücksichtigen. Ein so genanntes "Belief Network" bzw. Vertrauensnetzwerk wird dazu verwendet, um dynamisch die Parameter des kausalen Netzwerkes anzupassen.

**[0019]** [Fig. 1](#) stellt eine bevorzugte Ausführungsform der Erfindung dar. Das Diagnosesystem **10** weist eine Diagnoseeinrichtung **30** auf, die für einen Anschluss an das elektrische Gerät **20**, einen elektrischen Transformator in der bevorzugten Ausführungsform, angepasst ist. Das elektrische Gerät **20** weist elektrische Komponenten **22** auf, die einen Kern und Spulen/Wicklungen des Transformators, und einen die Komponenten **22** umgebenden Einschlussbehälter **24** umfassen. Der Einschlussbehälter **24** ist dafür eingerichtet, Fluid F, wie z.B. Öl zum Kühlen und Isolieren der Komponenten **22** aufzunehmen. Das Fluid F kann durch den Einschlussbehälter **24** und einen (nicht dargestellten) Radiator mittels einer Pumpe **26** gepumpt werden, die in dem oder in der Nähe des Einschlussbehälters **24** angeordnet ist. Der Radiator dient als ein Wärmetauscher zum Kühlen des Fluids F und um dadurch die Wärme von den Komponenten **22** abzuführen und kann jede beliebige bekannte Form von Rohren, Kanälen, Wärmetauscherflächen, Kühlelementen, Pumpen, Lüftern oder dergleichen aufweisen. Eine Kühlung kann durch Wärmekonvektion, Wärmeleitung, Molekularkonvektion des Fluids F oder in irgendeiner anderen Weise erreicht werden.

**[0020]** Mehrere Sensoren **28a–28f** sind funktionell mit dem elektrischen Gerät **20** in einer geeigneten Weise verbunden. Die Sensoren **28a–28f** können jeder geeignete Typ zum Erfassen eines gewünschten Parameters und zum Erzeugen, d.h., Ausgeben eines Signals sein, das den Wert des gemessenen Parameters anzeigt. In der bevorzugten Ausführungsform ist der Sensor **28a** ein Voltmeter, Amperemeter oder dergleichen, um die elektrische Belastung an dem elektrischen Gerät **20** zu messen, und ist mit Lastanschlüssen **29** des elektrischen Gerätes **20** verbunden, der Sensor **28b** ist ein Temperatursensor, der im Fluid F innerhalb des Einschlussbehälters **24** angeordnet ist, der Sensor **28c** ist ein Drucksensor, der im Fluid F in dem Einschlussbehälter **24** angeordnet ist, der Sensor **28d** ist ein Molekularwasserstoff-Sensor, der im Fluid F in dem Einschlussbehälter **24** angeordnet ist, der Sensor **28e** ist ein Fluid-Zirkulationssensor, und der Sensor **28f** ist ein Fluid-Pegelsensor.

**[0021]** In der bevorzugten Ausführungsform stehen die Sensoren **28b–28f** mit dem Fluid F in Kontakt. Die Erfindung erfordert jedoch nur, dass die Sensoren **28b–28f** in der Lage sind, Parameter des Fluids F zu messen. Demzufolge können die Sensoren abhängig von dem Typ der verwendeten Sensoren wie es nachstehend detaillierter beschrieben wird, mit dem Fluid F in einer kontakt- oder kontaktlosen Beziehung stehen. Beispielsweise können die Sensoren **28b–28f** entfernt von dem Fluid F angeordnet sein und können Erfassungselemente besitzen, die in dem Fluid F angeordnet sind. Alternativ können die Sensoren **28a–28f** vollständig von dem Fluid F entfernt angeordnet sein und können die Parameter in dem Fluid F aus einem Abstand, wie z.B. mittels einer optischen Einrichtung oder dergleichen, überwachen. Die Sensoren **28a–28f** können an jeder Stelle angeordnet sein und können Parameter des elektrischen Gerätes **20** an jeder Stelle, wie sie durch die Bauart, die Größe und die Form des elektrischen Gerätes **20**, die zu erstellende Diagnose und Prognose und irgendwelche anderen Details der praktischen Anwendung vorgegeben sind, erfassen. Beispielsweise kann es erwünscht sein, Werte von Wicklungstemperatur, Überhitzungspunkttemperatur, Kerntemperatur, Laststufenschalter-(OLTC)-Temperatur, Umgebungstemperatur, Gasraumdruck, Fluidpegel, Feuchtigkeit im Fluid, Fluiddurchlagfestigkeit, akustischer Teilentladung, Schalldruck in dem Gerät, Umgebungsschalldruck, verschiedenen Gase in dem Fluid, Fluidströmung, Lüfter/Pumpen-Drehzahl und Ströme, Lastströme, Netzspannung und Schwingung zu erfassen. Alle von diesen Parametern können mittels bekannter Sensoren erfasst werden. Ferner können mehrere Sensoren dazu verwendet werden, denselben Parameter gleichzeitig an mehr als nur einer Stelle zu messen. Natürlich kann eine beliebige Anzahl von Sensoren in Abhängigkeit von den zu messenden Parametern und den gewünschten Messstellen vorhanden sein.

**[0022]** Die Sensoren **28a–28f** können fest an der gewünschten Position auf oder in dem elektrischen Gerät **20** angeordnet sein oder können entfernt an gewünschten Stellen angeordnet sein, indem sie selektiv durch Sensoreingangsanschlüsse oder andere Öffnungen eingeführt werden, die durch Wände des Einschlussbehälters **24** oder andere Abschnitte des elektrischen Gerätes **20** ausgebildet sind. Die Sensoren **28a–28f** können von jeder beliebigen Bauart sein. Beispielsweise kann jeder Sensor **28b–28f** einer oder mehrere von Metall-Isolator-Halbleiter-Diodensensoren, faseroptischen Sonden, akustischen oder optischen Wellenleitern, Bimetallsensoren, Dünnschichtsensoren oder ein beliebiger anderer geeigneter Sensor oder Messwandler zum Messen der hierin angegebenen Parameter sein. Der Sensor **28a** kann irgendeine bekannte Bauart eines Messgerätes für elektrische Last, wie z.B. eines Widerstands- oder Induktionsmessgerät sein. Wenn die Sensoren **28a–28f** elektrischer oder elektronischer Art sind und innerhalb eines Bereichs eines starken EM-Feldes des elektrischen Gerätes **20** angeordnet sind, kann eine geeignete elektrische Abschirmung vorgesehen sein. Optische oder andere Arten von Sensoren müssen unabhängig von ihrer Lage nicht elektrisch geschirmt werden. Die Sensoren **28a–28f** erzeugen Daten oder Signale, die die Betriebsparameter des dadurch gemessenen elektrischen Gerätes **20** anzeigen.

**[0023]** Die Diagnoseeinrichtung **30** ist mit dem elektrischen Gerät **20** zum Ermitteln verschiedener Betriebseigenschaften des elektrischen Gerätes **20** verbunden und weist einen Prozessor **40**, eine Eingangs/Ausgangs-Schnittstelle (I/O) **50**, Benutzerschnittstelle **60**, Datenbus **70** und Energieversorgung **72** auf. Die Sensoren **28a–28f** und die Pumpe **26** sind kommunikativ mit der I/O **50** über einen geeigneten Leitungsmechanismus verbunden. Beispielsweise können sich, wenn die Sensoren **28a–28f** elektronische sind oder elektronische Signale erzeugen, elektrische Leiter von den Sensoren **28a–28f** zu der I/O **50** erstrecken. Die Leiter können irgendeinen geeigneten Anschlussstreifen, Verbinder, oder dergleichen zur Verbindung mit der I/O- **50** enthalten. Eine Kopplung, d.h., Leitung von Signalen zwischen den Sensoren **28a–28f** und der I/O **50** kann durch Drähte, Lichtfaserleiter, Funkfrequenzeinrichtungen, Infraroteinrichtungen oder in irgendeiner anderen bekannten Weise erreicht werden. Die Pumpe **26** kann mit der I/O **50** in einer ähnlichen Weise verbunden sein. Die Diagnoseeinrichtung **30** kann mit Sensoren **28a–28f** und der Pumpe **26** über eine Fernleitungs- oder lokale Kommunikationsverbindung wie z.B. eine Telefonleitung, eine serielle RS232-Verbindung, universelle serielle Bus (USB) Verbindung, Hochfrequenzverbindung, Infrarotverbindung oder dergleichen kommunizieren. Die Energieversorgung **72** ist als ein getrenntes Element dargestellt. Die Energieversorgung kann jedoch in eine

oder mehrere von den anderen Komponenten integriert sein.

**[0024]** Die I/O 50 enthält mehrere Signalkonditionierungsschaltungen **52a–52g**, welche von beliebiger Bauart sein können, die zum Konditionieren der Signale oder der von den Sensoren **28a–28f** und der Pumpe **26** ausgegebenen Daten geeignet ist. Beispielsweise können die Signalkonditionierungsschaltungen **52a–52g** eine Schaltung zum Glätten, Abtasten, Strombegrenzen, Dämpfen, Verstärken, Abschwächen oder andere Funktionen in einer bekannten Weise aufweisen. Man beachte, dass die Pumpe **26** eine Rückkopplungsfähigkeit enthalten kann, um ein Signal oder Daten zu erzeugen, die deren Betriebszustand repräsentieren, wie z.B. eine oder mehrere von einer Drehzahlrückkopplung, Schwingungsrückkopplung oder Lastrückkopplung. Ebenso ist jede von den Signalkonditionierungsschaltungen **52a–52g** in der Lage, Ausgangssignale, die an die Sensoren **28a–28f** und die Pumpe **26** zu senden sind, zu konditionieren. Derartige Signale können die Einstellung von Schwellenwerten, Linearisierungsparameter, Empfindlichkeitsanpassungen, Drehzahlanpassungen (im Falle der Pumpe **26**) und dergleichen betreffen, wie es nachstehend weiter beschrieben wird. Die Signalkonditionierungsschaltungen **52a–52g** sind als getrennte Elemente dargestellt. Jedoch können eine oder mehrere von den Signalkonditionierungsschaltungen in einem Stück mit dem Sensor, dem Prozessor oder anderen Komponenten ausgebildet sein.

**[0025]** Die I/O 50 kann auch einen mehrkanaligen Digital/Analog- und Analog/Digital-Wandler (D/A) **54** enthalten, welcher eine Schnittstelle zwischen den Signalen der Sensoren **28a – 28f** und der Pumpe **26**, welche in der bevorzugten Ausführungsform analog sind, und dem Prozessor **40**, welcher in der bevorzugten Ausführungsform digital ist, bereitstellen. Natürlich kann, wenn die Sensoren **28a–28f**, die Pumpe **26** und der Prozessor **40** alle analog oder alle digital sind, der D/A **54** weggelassen werden. Der D/A **54** ist mit dem Prozessor **40** über einen Datenbus **70** für eine Zweiwegekommunikation verbunden. Der Prozessor **40** enthält eine zentrale Verarbeitungseinheit (CPU) **42** und eine Speichereinrichtung **44**. Die CPU **42** führt ein Steuerprogramm durch, das in der Speichereinrichtung **44** gespeichert ist. Die Speichereinrichtung **44** kann eine standardmäßige Magnetspeichereinrichtung, wie z.B. eine Festplatte zum Speichern des Steuerprogramms und anderer Daten enthalten und umfasst auch einen "Arbeitsraum", wie z.B. einen Arbeitsspeicher (RAM) für die CPU **42**, um Daten temporär zu speichern.

**[0026]** Die Diagnoseeinrichtung **30** kann auch eine Benutzerschnittstelle **60** enthalten, die eine Anzeige **62** und eine Eingabeeinrichtung **64** aufweist. Die Eingabeeinrichtung **64** kann eine beliebige Art einer Tastatur, Maus, eines Schalters oder von mehreren Schaltern oder irgendeine andere Einrichtung sein, um dem Benutzer die Eingabe von Einstellungen, Parametern, Befehlen oder dergleichen in den Prozessor **30** zu ermöglichen. Die Anzeige **62** kann ein beliebiger Typ zur Anzeige des Betriebszustandes sein, wie z.B. eine LCD- oder CRT-Anzeigeeinrichtung, eine Anzeigelampe oder mehrere Anzeigelampen, ein hörbarer Alarm oder dergleichen. Die Energieversorgung **72** liefert Energie an weitere Elemente der Diagnoseeinrichtung **30** und kann ein beliebiger Typ einer bekannten Energieversorgung wie z.B. eine Batterie, eine Brennstoffzelle, ein Gleichrichter zum Erzeugen von DC-Energie aus AC-Energie sein. Die Diagnoseeinrichtung **30** kann eine Mikroprozessor-basierende Einrichtung sein, wie z.B. ein Personal Computer oder eine speicherprogrammierbare Steuerung, eine fest verdrahtete Logikeinrichtung oder irgendeine andere Einrichtung zum Erzielen der nachstehend offenbarten Verarbeitung.

**[0027]** Der Prozessor **40** enthält ein vorprogrammiertes Steuerprogramm, das in der Speichereinrichtung **44** gespeichert ist, um Eigenschaften, wie z.B. Diagnosen, Prognosen, Verhaltenseigenschaften und Lebensdauerbewertungen des elektrischen Gerätes **20** in der nachstehend beschriebenen Weise zu ermitteln. Insbesondere enthält das Steuerprogramm verschiedene analytische Verhaltensmodelle des elektrischen Gerätes **20**, ein kausales Netzwerk und ein Vertrauensnetzwerk. Der Datenbus **70** kann jede geeignete Art von Hardware und/oder Softwareprotokollen zum Übertragen und Empfangen von Daten oder Signalen verwenden. Beispielsweise kann der Datenbus **70** ein Standard-ISA-Bus, DCI-Bus, GPIB-Bus oder dergleichen sein. Daten können an oder von einem entfernt aufgestellten oder lokalen Hostcomputer gesendet oder empfangen werden, um weitere Diagnosen, Prognosen und Steuerungen bereitzustellen, und um die Diagnosen und den Betrieb von mehreren fluidgefüllten elektrischen Geräten zu koordinieren.

**[0028]** Im Betrieb ist der Einschlussbehälter **24** vollständig oder teilweise mit Fluid F, wie z.B. Öl, gefüllt. In diesem Zustand stehen die Sensoren **28b**, **28c**, **28d**, **28e** und **28f** in Kontakt mit dem Fluid F oder können anderweitig Parameter darin erfassen. In der bevorzugten Ausführungsform erfasst der Sensor **28b** die Temperatur des Fluids F, der Sensor **28c** erfasst den Druck in dem Fluid F, der Sensor **28d** erfasst den Anteil von molekularem Wasserstoff im Fluid F, der Sensor **28e** erfasst die Zirkulation des Fluids F und der Sensor **28f** erfasst den Pegel des Fluids F. Weitere erfasste Parameter können den Anteil verschiedener Gase (wie z.B. Azetylen, Kohlenstoffmonoxid und Ethylen), die Wicklungstemperatur, Überhitzungspunkttemperatur, Kern-

temperatur, Stufenschalter- (OLTC)-Maximaltemperatur, Umgebungstemperatur, Gasraumtemperatur, Fluidpegel, Feuchtigkeit im Fluid, Fluiddurchschlagfestigkeit, akustische Teilentladung, Schalldruck, Umgebungsschalldruck, Gasanteil, Fluidströmung, Pumpendrehzahl und Schwingung umfassen, sind jedoch nicht darauf beschränkt. Natürlich kann jeder Parameter, welcher für die Ermittlung des Betriebszustandes hilfreich ist und/oder in einem analytischen Modell des elektrischen Gerätes **20** berücksichtigt wird, gemessen werden.

**[0029]** **Fig. 2** ist ein Flussdiagramm einer Diagnoseermittlungsroutine gemäß einer bevorzugten Ausführungsform. Die Routine kann in der Form einer in der Speichereinrichtung **44** gespeicherten Software vorliegen und in jeder geeigneten Sprache oder Code geschrieben sein, der von der CPU **42** gelesen werden kann. Beispielsweise kann die Softwareroutine in Basic, C++ oder dergleichen geschrieben sein.

**[0030]** Ausgangssignale, d.h., Sensordaten aus dem D/A **54** repräsentieren Parameter des Gerätes **20** und werden über den Bus **70** in den Prozessor **40** eingegeben. Die Sensordaten werden zuerst einem Validierungsschritt **100** unterworfen, um zu ermitteln, ob die entsprechenden Sensoren korrekt arbeiten. Beispielsweise kann der Validierungsschritt **100** einen Vergleichsschritt der Sensordaten mit vorbestimmten minimalen und maximalen Schwellenwerten, die möglichen (obwohl nicht notwendigerweise erwünschten) Werten der von den Sensoren **28a–28f** erfassten Parameter entsprechen, enthalten. Beispielsweise kann, wenn die dem Sensor **28b** (ein Temperatursensor) entsprechenden Sensordaten eine Temperatur höher oder niedriger als eine mögliche Öltemperatur, beispielsweise niedriger als eine Umgebungstemperatur oder wesentlich höher als die Temperaturbegrenzung von Komponenten **22** anzeigt, angenommen werden, dass der Sensor **28a** nicht korrekt arbeitet. Ferner kann der Validierungsschritt **100** einen Prüfschritt hinsichtlich unmöglicher Schwankungen in dem von den Sensordaten angezeigten Wert enthalten, welche ein Unterbrechungsproblem im Sensor **28a** anzeigen. Der Validierungsschritt **100** wird in einer ähnlichen Weise für jeden von den Sensoren **28a–28f** ausgeführt. Wenn in dem Validierungsschritt **100** angezeigt wird, dass einer von den Sensoren **28a–28f** nicht korrekt funktioniert, wird eine entsprechende Fehlermeldung auf einer Anzeige **62** oder auf einer entfernt angeordneten Anzeige angezeigt oder anderweitig aufgezeichnet oder an eine Bedienungsperson oder einen entfernt angeordneten Computer oder dergleichen übertragen. Daten aus einem defekten Sensor können ignoriert werden bis der Sensor repariert oder ersetzt ist. Alternativ kann der von dem defekten Sensor gemessene Parameter durch eines der Modelle in der nachstehend beschriebenen Weise berechnet werden.

**[0031]** Die Routine geht dann zu dem Berechnungsschritt **110** über, in welchem die verschiedenen Parameter auf der Basis anderer gemessener Parameter gemäß Modellen berechnet werden, die für den speziellen Parameter in dem Gerät **20** entwickelt wurden. Beispielsweise ist ein Sauerstoffmodell ein Algorithmus, der den theoretischen Wert des molekularen Wasserstoffs ( $H_2$ ) im Fluid F des Gerätes **20** auf der Basis einer Gerätekonfigurationsinformation, d.h., der Größe, der relativen Abmessungen, Komponenten, Art des Fluids usw. des Gerätes **20** berechnet. Die bevorzugte Ausführungsform enthält ein Wasserstoffmodell **112**, Temperaturmodell **114** und Druckmodell **116**. Jedes von den verschiedenen bekannten Modellen kann für jeden Parameter verwendet werden. Beispielsweise kann das an dem Massachusetts Institute of Technology entwickelte "MIT Hydrogen Model" als Wasserstoffmodell **112** verwendet werden. Das MIT-Wasserstoffmodell verwendet die nachstehende Gleichung:

$$H_2[k] = \alpha + \beta \times T_{\text{topoil}}[k] + \gamma \times (T_{\text{topoil}}[k])^2,$$

wobei:

k	ein Zeitmessindex ist,
$H_2[k]$	ein berechneter Wert des molekularen Wasserstoffs bei jedem Indexintervall ist;
$T_{\text{topoil}}[k]$	eine gemessene maximale Öltemperatur bei jedem Index ist;
$\alpha$	eine Konstante des molekularen Wasserstoffs ist;
$\beta$	ein Koeffizient erster Ordnung des molekularen Wasserstoffs ist; und
$\gamma$	ein Koeffizient zweiter Ordnung des molekularen Wasserstoffs ist.

**[0032]** In ähnlicher Weise kann das "MIT Temperature Model" als ein Temperaturmodell **114** unter Verwendung der nachstehenden Gleichung verwendet werden:

$$\Theta_{\text{top}}[k] = \frac{T_0}{T_0 + \Delta t} \Theta_{\text{top}}[k-1] + \frac{\Delta t}{T_0 + \Delta t} (\Theta_{\text{amb}}[k] + \Theta_u[k])$$

wobei:



k	ein Zeitmessindex ist,
$\Theta_{\text{top}}[\text{k}]$	eine berechnete Spitzenöltemperatur bei jedem Indexintervall ist;
$\Theta_{\text{amb}}[\text{k}]$	eine gemessene Umgebungstemperatur bei jedem Indexintervall ist;
$\Delta t$	eine Abtastfrequenz ist;
$\Theta_{\text{u}}[\text{k}]$	eine ultimative Spitzenöltemperaturanstieg für eine Strombelastung L bei jedem Indexintervall ist; und
$T_{\text{o}}$	eine Öl-Zeitkonstante ist, die aus verschiedenen physikalischen Eigenschaften des Transformators berechnet wird.

**[0033]** Jedes von verschiedenen bekannten Druckmodellen kann verwendet werden. Diese Modelle werden gemäß den speziellen physikalischen Eigenschaften des elektrischen Gerätes **20** konfiguriert (d.h., die Konstanten und Komponenten werden berechnet). Beispielsweise können die Nennlast, der durchschnittliche Leitetemperaturanstieg über dem oberen Öl, der Anstieg des oberen Öls, das Lastverlustverhältnis, die Kühleigenschaften, der Verlust, die Wärmekapazität, das Gewicht der Komponenten **22**, das Gewicht des Einschlussbehälters **24** und die Fluidfassungsvermögen des elektrischen Gerätes **20** in einer bekannten Weise berücksichtigt werden, um die geeigneten Modelle zu entwickeln.

**[0034]** Sobald die verschiedenen Werte für jeden Parameter durch den Prozessor **40** gemäß den Modellen im Schritt **110** berechnet worden sind, werden die berechneten Werte jedes Parameters mit den gemessenen Werten, d.h., mit den Sensordaten des entsprechenden Parameters in einem Anomalie-Detektionsschritt **120** verglichen. Wenn die gemessenen Werte innerhalb einer vorgeschriebenen Toleranz oder eines Bereichs des berechneten Wertes liegen, wird keine Anomalie für diesen Parameter detektiert und kein Alarm ausgegeben. Andererseits kann, wenn der gemessene Wert des speziellen Parameters nicht innerhalb der vorgeschriebenen Toleranz oder dem Bereich liegt, ein Alarm an der Anzeige **62**, einer getrennten Alarmeinrichtung, einer entfernt aufgestellten Anzeige oder dergleichen ausgegeben oder anderweitig aufgezeichnet oder übertragen werden, um somit eine vorläufige Statusanzeige zu erzeugen.

**[0035]** Im Schritt **130** werden die Unterschiede zwischen den gemessenen und den berechneten Parameterwerten als Indikatoren eines kausalen Netzwerkes angewendet. Das kausale Netzwerk ist Teil der Routine und kann somit in der Speichereinrichtung **44** gespeichert sein. Das kausale Netzwerk kann im Voraus in der nachstehend beschriebenen Weise entwickelt werden. Jedes kausale Netzwerk hat eine Ursache/Wirkungs-Beziehung zwischen mehreren Knoten, wobei einige von den Knoten Hauptursachen in Verbindung mit Ausfällen in dem elektrischen Gerät **20**, d.h., Ausfallmodi repräsentieren und einige von den Knoten beobachtbare Manifestationen der Ausfallmodi repräsentieren. Jeder von den Ausfallmodi in den kausalen Netzwerken hat eine vorrangige Möglichkeit, die die Wahrscheinlichkeit des speziellen Ausfalls anzeigt.

**[0036]** Jeder von den Knoten in dem kausalen Netzwerk besitzt auch eine Information einer bedingten Möglichkeit, welche die Festigkeit der Beziehungen des Manifestationsknotens zu seinem Ausfallmodus repräsentiert, d.h., die Ursache/Wirkungs-Beziehungen zwischen Ausfällen und beobachtbaren Symptomen für das elektrische Gerät **20**. Somit muss zur Entwicklung des kausalen Netzwerkes die Kenntnis, wie jede Komponente in dem fluidgefüllten elektrischen Gerät arbeitet, und der beobachtbaren Symptome jedes Ausfallmodus vorhanden sein. Einige von den möglichen Ausfallmodi, denen das elektrische Gerät **20** unterworfen sein kann, sind ein Ausfall der Pumpe **26** (einschließlich des Ausfalls des Motors und einer Beschädigung der Pumpschaufel), ein Leck des Einschlussbehälters **24**, ein Ausfall der Komponente **22**, ein Ausfall der Isolation an der Komponente **22**, ein Überlastzustand, ein Isolationsdurchschlag des Fluids F und ein Radiatorleck.

**[0037]** Nachdem alle von den möglichen Ausfallmodi für das elektrische Gerät **20** identifiziert worden sind, wird das kausale Netzwerk für das elektrische Gerät **20** entwickelt. [Fig. 3](#) stellt die vorstehend identifizierten Ausfallmodi für das elektrische Gerät **20** dar. Diese Ausfallmodi sollen nur exemplarisch sein, und die Liste umfasst nicht alle. Jeder von den Ausfallmodi wird als ein Ausfallmodusknoten, oder eine Ursache, bezeichnet und wird als ein Kasten mit abgerundeten Ecken dargestellt. Jede Ursache hat eine bestimmte Auswirkung auf höhere Ebene auf das elektrische Gerät. Es ist auch möglich, dass mehrere Ursachen dieselbe Auswirkung haben können. An einem bestimmten Punkt manifestiert sich eine Auswirkung selbst so, dass sie gemessen oder beobachtet werden kann. Wenn der Zustand eines einzigen beobachtbaren Symptoms oder der Zustand mehrerer beobachtbarer Symptome für nur eine Ursache einzigartig ist, ist es möglich, das Problem unzweideutig zu identifizieren.

**[0038]** [Fig. 4](#) stellt ein Beispiel der Ursache/Wirkungs-Beziehungen für jeden der in [Fig. 3](#) identifizierten Ausfallmodi, d.h., ein kausales Netzwerk für das elektrische Gerät **20** dar. Der Begriff "kausales Netzwerk", so wie er hierin verwendet wird, bezieht sich auf ein Netzwerk, einen Algorithmus, oder dergleichen, die einen mögli-



chen Ausfall anzeigen, und deren Möglichkeitsbeziehung zu verschiedenen Manifestationen. Die Ursache/Wirkungs-Beziehung zwischen jedem Knoten (Ausfallmodi und beobachtbaren Manifestationen) ist mit einem Pfeil dargestellt, der in die Richtung der Kausalität zeigt. In [Fig. 4](#) ist dargestellt, dass die Ausfallmodi des Pumpenmotorausfalls und des Pumpenflügelausfalls eine Auswirkung haben, die durch eine beobachtbare Manifestation einer niedrigen Fluidzirkulation gekennzeichnet ist. Der Knoten der geringen Zirkulation ist mit einem Indikatorknoten, geringe Zirkulation, gekoppelt, der anzeigt, ob die durch den Sensor **28e** gemessene Zirkulation gering ist. Der Indikatorknoten ist ein Knoten, der immer eine Auswirkung ist, die direkt den Wert eines gemessenen Parameters, eines berechneten Wertes des Parameters oder der Differenz zwischen dem gemessenen Parameter und dem berechneten Wert davon darstellt und durch einen Kreis repräsentiert wird.

**[0039]** Der Pumpenschaufel-Ausfallknoten und der Pumpenmotor-Ausfallknoten sind jeweils mit einer Auswirkung dargestellt, die durch eine geringe Fluidzirkulation durch den Einschlussbehälter **24** gekennzeichnet ist, wie sie durch die Daten aus dem Sensor **28e** im Vergleich zu Werten dargestellt wird, die durch das Druckmodell **116** (im vorstehenden Schritt **110**) berechnet werden. Der Einschlussbehälter-Leckknoten ist mit einer Auswirkung dargestellt, dass der Fluidpegel wie durch den Fluidpegelsensor **28f** im Einschlussbehälter **24** dargestellt niedrig ist. Zusätzlich ist der Pumpenmotor-Ausfallmodus mit einem Indikatorknoten gekoppelt, der der Rückkopplung wie z.B. eines Tachometers aus der Pumpe **26** entspricht. Auf einer höheren Ebene haben die Auswirkungen der geringen Fluidzirkulation und des geringen Fluidpegels eine Auswirkung auf das elektrische Gerät **20**, die durch eine unzureichende Kühlkapazität gekennzeichnet ist, da das Fluid nicht korrekt durch einen Radiator gekühlt wird. Dieser Effekt ist mit einem Indikator gekoppelt, der prüft, ob die Fluidtemperatur über der normalen Temperatur liegt, wie sie durch die Differenz zwischen dem durch das Modell **114** (im vorstehend beschriebenen Schritt **110**) berechneten Temperatur und der durch den Temperatursensor **28b** gemessenen Temperatur angezeigt wird.

**[0040]** Für jeden Ausfallmodus in dem kausalen Netzwerk wird eine anfängliche bedingte Wahrscheinlichkeit, die die Wahrscheinlichkeit eines Ausfalls anzeigt, zugewiesen. Die bedingten Wahrscheinlichkeiten sind Faktoren, die jedem Ausfallmodus zugewiesen sind, die die relative Wahrscheinlichkeit anzeigen, dass die Ursache vorhanden ist. [Fig. 4](#) stellt ein Beispiel bedingter Wahrscheinlichkeiten dar, die jedem einzelnen Ausfallmodus für das elektrische Gerät **20** zugewiesen sind. Die bedingten Wahrscheinlichkeiten sind als Dezimalzahlen unter dem entsprechenden Ausfallmodusknoden aufgelistet. Man beachte, dass in Fällen, in welchen eine Komponente mehrere Ausfallmodi hat, die bedingte Ausfallwahrscheinlichkeit des Fehlers aufgrund jedes Ausfallmodus erforderlich ist. Man beachte ferner, dass die Größen bedingter Wahrscheinlichkeiten von miteinander gruppierten Ausfallmodusknoden die relative Wahrscheinlichkeit bestimmen, dass ein spezieller Ausfallmodus das Problem ist. Beispielsweise würde gemäß dem kausalen Netzwerk von [Fig. 4](#), wenn eine geringe Zirkulation des Fluids F vorliegen würde, dann vorhergesagt werden, dass ein Pumpenmotorausfall (bedingte Wahrscheinlichkeit von 0,1) zehnmal wahrscheinlicher die Ursache einer geringen Fluidzirkulation als ein Pumpenschaufelausfall (bedingte Wahrscheinlichkeit von 0,001) wäre.

**[0041]** Nachdem jedem Ausfallmodus eine bedingte Wahrscheinlichkeit zugewiesen wurde, wird eine die Stärke der Beziehung zwischen dem Ausfallmodus und einer Manifestation der nächsten Ebene abschätzende Randwahrscheinlichkeit für jede Beziehung zugewiesen. Die Randwahrscheinlichkeiten sind in Abhängigkeit von der Linie aufgelistet, welche die Ausfallmodusknoden mit dem Manifestationsknoden verbindet und repräsentieren die Wahrscheinlichkeit, dass die Manifestationen existieren, vorausgesetzt, dass die Existenz des Ausfallmodus bereits bekannt ist. Wenn alle Ausfallmodi unabhängig sind, und wenn alle Ausfallmodi nicht existieren, existiert auch die Manifestation nicht. In der bevorzugten Ausführungsform wird nur ein Parameter zwischen 0 und 1 als eine Randwahrscheinlichkeit verwendet, um die Stärke der Beziehung zu repräsentieren (wobei 1 eine direkte Beziehung oder eine "Eins-zu-Eins"-Beziehung anzeigt), wobei jedoch jede beliebige Anzeige, welche die Beziehung zwischen dem Ausfallmodusknoden und dem Manifestationsknoden repräsentiert, verwendet werden kann.

**[0042]** Beispielsweise führt ein Leck in dem Einschlussbehälter **24** zu einer detektierten Auswirkung eines niedrigen Pegels des Fluids F in 90% der Zeit, wie es durch die Randwahrscheinlichkeit von 0,9 angezeigt wird. In den weiteren 10% der Zeit ist das Leck zu gering, um den Fluidpegel signifikant zu beeinflussen. Man beachte, dass die bedingte Wahrscheinlichkeitsinformation aus der Randwahrscheinlichkeitsinformation abgeleitet wird. Diese Information kann experimentell oder mathematisch ermittelt werden.

**[0043]** Das vorstehend beschriebene kausale Netzwerk wird im Schritt **130** von [Fig. 2](#) angewendet und dazu genutzt, um den Betriebszustand des elektrischen Gerätes **20** zu ermitteln. Die Indikatoren des kausalen Netzwerkes, d.h., die von den Sensoren **28a–28f** gemessenen Parameter und die Unterschiede zwischen diesen Parametern und deren berechneten Werten, die durch die Modelle **112**, **114** und **116** geliefert werden, werden

in Abhängigkeit von der bedingten Wahrscheinlichkeitsinformation und der Randwahrscheinlichkeitsinformation bewertet. Der Prozessor **40** berechnet die Wahrscheinlichkeiten der kausalen Netzwerke in Abhängigkeit von dem Status der angegebenen Indikatoren gemäß Anzeige durch die Sensoren **28a–28f** und die entsprechenden Modelle kontinuierlich neu. Insbesondere werden die Wahrscheinlichkeiten im Schritt **140** unter Verwendung eines bekannten Vertrauensnetzwerk-Lösungsalgorithmus wie z.B. eines "Bayesian Belief Network" neu berechnet, und in das kausale Netzwerk des Schrittes **130** rückgekoppelt. Beispielsweise werden, wenn eine durch den Sensor **28e** detektierte geringe Fluidzirkulation vorliegt, und der Tachometer der Pumpe **26** einen normalen Pumpenmotorstatus anzeigt, die Wahrscheinlichkeiten angepasst, um die Wahrscheinlichkeit zu erhöhen, dass ein Pumpenschaufelausfall vorliegt. Der Prozessor **40** bewertet dann die neu berechneten Wahrscheinlichkeiten in dem kausalen Netzwerk. Zusätzlich kann der Prozessor **40** eine Liste der wahrscheinlichsten Ursachen für jede Anormalität erzeugen, sowie eine Liste von Korrekturaktionen, die zum Korrigieren oder Vermeiden des Ausfalls zu unternehmen sind. Die Wahrscheinlichkeiten werden durch das Vertrauensnetzwerk auf der Basis von Information neu berechnet, die aus dem kausalen Netzwerk unter Verwendung der vorherigen Wahrscheinlichkeiten gelernt werden. Die Neuberechnungen können auf bekannten Interferenztechniken, Beeinflussungstechniken, oder den Bayes-Theorem basieren.

**[0044]** Die in [Fig. 2](#) dargestellt Routine wird im Wesentlichen in einer kontinuierlichen Weise in der bevorzugten Ausführungsform durchgeführt. Jedoch kann der Prozess in einer periodischen Weise automatisch oder nach Anforderung durch eine Bedienungsperson durchgeführt werden. Die verschiedenen Konstanten und Koeffizienten der Modelle werden über der Zeit angepasst, um normale Verhaltensänderungen in dem elektrischen Gerät **20** über der Zeit zu kompensieren. Die Konstanten und Koeffizienten können mathematisch oder experimentell in einer bekannten Weise ermittelt werden. Das Ausgangssignal des kausalen Netzwerkes kann in einer beliebigen Weise zur Diagnose, Prognose oder dergleichen verarbeitet werden. Beispielsweise können Statusberichte bezüglich der Betriebseigenschaften des elektrischen Gerätes erzeugt, Alarme ausgelöst oder der Betrieb des Gerätes angepasst werden.

**[0045]** Die Erfindung kann auf jedes fluidgefüllte elektrische Gerät angewendet werden. Jeder gewünschte Parameter kann detektiert werden. Sensordaten oder Signale können in einer beliebigen Weise verarbeitet werden, um eine Prognoseanzeige eines beginnenden Fehlers, eine Lebensdauerbewertung, Wartungspläne, Fehlerhauptursachenidentifikation oder einen anderen Zustand des elektrischen Gerätes auf der Basis experimenteller oder mathematischer Modelle zu liefern. Zusätzlich kann die Erfindung Verhaltenseigenschaftsbewertungen, wie z.B. Nutzungsfaktoren, Lastplanung, Wirkungsgrad, Energieverlust, Leistungsfaktor, Oberwellen und Stufenschalterverhalten liefern.

**[0046]** Das Diagnosegerät kann lokal sein, d.h., nahe in Bezug auf das elektrische Gerät angeordnet sein oder sich entfernt, d.h., an einer entfernten Stelle in Bezug auf das elektrische Gerät befinden. Zeitliche Verläufe der verschiedenen gemessenen und berechneten Parameter können zusammengefasst werden, um bei der Ausfallermittlung weiter zu unterstützen. Die verschiedenen Sensoren können in regelmäßigen Intervallen abgefragt werden und die Intervalle können zu Zeitpunkten einer starken Belastung des Gerätes oder bei Anzeige eines anormalen Zustandes des Gerätes verringert werden.

**[0047]** Zur Vervollständigung werden verschiedene Aspekte der Erfindung in den nachstehend aufgezählten Absätzen beschrieben:

1. Eine intelligente Analysevorrichtung (**10**) für ein fluidgefülltes elektrische Gerät (**20**) der Bauart mit Komponenten (**22**), die von Fluid (F) umgeben sind, wobei die Vorrichtung aufweist: mehrere Sensoren (**28a–e**), die zum Verbinden mit dem elektrischen Gerät (**20**) eingerichtet sind, das einen zur Aufnahme des Fluids (F) eingerichteten Einschlussbehälter (**24**) und wenigstens einer in dem Einschlussbehälter angeordneten elektrischen Komponente aufweist, wobei die Sensoren (**28a–e**) dafür eingerichtet sind, Signale auszugeben, die mehrere Betriebsparameter des elektrischen Gerätes anzeigen; und eine mit den Sensoren (**28a–e**) verbundene Diagnoseeinrichtung (**30**), wobei die Diagnoseeinrichtung (**30**) einen Prozessor (**40**) enthält, der so arbeitet, dass er Betriebseigenschaften des elektrischen Gerätes (**20**) auf der Basis wenigstens eines analytischen Modells (**112**, **114**, **116**) des elektrischen Gerätes und der von den Sensoren ausgegebenen Signale ermittelt, indem er von dem wenigstens einen analytischen Modell (**112**, **114**, **116**) berechnete Betriebsparameter und von den Signalen der Sensoren (**28a–e**) angezeigte Werte der Betriebsparameter in einem kausalen Netzwerk anwendet.
2. Vorrichtung gemäß Absatz 1, wobei die Diagnoseeinrichtung (**30**) einen von dem wenigstens einem analytischen Modell (**112**, **114**, **116**) berechneten Parameter mit einem entsprechenden gemessenen Parameter vergleicht und ein Ergebnis des Vergleichs als einen Indikator in dem kausalen Netzwerk verwendet.
3. Vorrichtung gemäß Absatz 2, wobei Wahrscheinlichkeiten des kausalen Netzwerkes auf Basis der Wahr-

- scheinlichkeit der von den analytischen Modell (112, 114, 116) erhaltenen Indikatoren (130) oder der gemessenen Parameter aktualisiert werden.
4. Vorrichtung gemäß Absatz 3, wobei die Variablen des wenigstens einen analytischen Modells (112, 114, 116) über der Zeit entsprechend akzeptablen Verhaltensänderungen des elektrischen Gerätes (20) über der Zeit angepasst werden.
  5. Vorrichtung gemäß Absatz 4, wobei die Sensoren (28a–e) einen Temperatursensor (28b), der zur Ausgabe eines Signals konfiguriert ist, das eine Temperatur des Fluids (F) innerhalb des Aufnahmebehälters (24) anzeigt, einen Gassensor (28d), der dafür konfiguriert ist, ein Signal auszugeben, das einen Gasanteil des Fluids (F) innerhalb des Aufnahmebehälters (24) anzeigt, einen Lastsensor (28a), der dafür konfiguriert ist, ein Signal auszugeben, das eine elektrische Belastung des elektrischen Gerätes (20) anzeigt, und einen Drucksensor (28c), der dafür konfiguriert ist, ein Signal auszugeben, das einen Druck in dem Aufnahmebehälter (24) anzeigt, umfassen.
  6. Vorrichtung gemäß Absatz 5, wobei der Gassensor (28d) dafür Ausgabe konfiguriert ist, ein Signal auszugeben, das einen Wasserstoffanteil des Fluids (F) in dem Aufnahmebehälter (24) anzeigt.
  7. Vorrichtung gemäß Absatz 6, wobei das wenigstens eine analytische Modell (112, 114, 116) ein Temperaturmodell (114) und ein Wasserstoffmodell (112) aufweist.
  8. Vorrichtung gemäß Absatz 4, wobei die Sensoren (28a–28e) für eine Anordnung in dem Einschlussbehälter (24) angepasst sind, wobei die Vorrichtung ferner eine Einrichtung aufweist, um die Signale von den Sensoren (28a–28e) an den Prozessor zu führen.
  9. Vorrichtung gemäß Absatz 4, wobei das Diagnosegerät (30) ferner ein Benutzerschnittstellenmodul (60) mit einer Anzeigeeinrichtung (62) aufweist, um eine Anzeige der Betriebskennwerte des elektrischen Gerätes (20) darzustellen, und eine Eingabeeinrichtung (64), um einem Benutzer zu ermöglichen, wenigstens eines von Daten und Befehlen in das Diagnosegerät (30) einzugeben.
  10. Vorrichtung gemäß Absatz 5, wobei der Gassensor (28d) dafür eingerichtet ist, ein Signal auszugeben, das wenigstens ein Gas von Wasserstoff, Kohlenmonoxid, Kohlendioxid, Sauerstoff, Stickstoff, Kohlenwasserstoff und Kohlenwasserstoffderivate anzeigt.
  11. Vorrichtung gemäß Absatz 4, wobei der Prozessor (40) einen Computer mit einer CPU (42) und einer Speichereinrichtung (44) aufweist.
  12. Vorrichtung gemäß Absatz 4, wobei das elektrische Gerät (20) ein Transformator (20) ist.
  13. Eine intelligente Analysevorrichtung (10) für fluidgefüllte Transformatoren (20), wobei die Vorrichtung aufweist:  
mehrere Sensoren (28a–e), die zum Verbinden mit einem Transformator (20) eingerichtet sind, der einen Einschlussbehälter (24) aufweist, der zur Aufnahme eines Fluids (F) und eines Kerns und einer in Einschlussbehälter (24) angeordneten Spule (22) eingerichtet ist, wobei die Sensoren (28a–e) dafür eingerichtet sind, Signale auszugeben, die mehrere Betriebsparameter des Transformators (20) anzeigen; und  
eine mit den Sensoren (28a–e) verbundene Diagnoseeinrichtung (30), wobei die Diagnoseeinrichtung (30) einen Prozessor (40) enthält, der so arbeitet, dass er Betriebseigenschaften des Transformators (20) auf der Basis wenigstens eines analytischen Modells (112, 114, 116) des Transformators (20) und der von den Sensoren (28a–e) ausgegebenen Signale ermittelt, indem er von dem wenigstens einen analytischen Modell (112, 114, 116) berechnete Betriebsparameter und von den Signalen der Sensoren (28a–e) angezeigte Werte der Betriebsparameter in einem kausalen Netzwerk anwendet.
  14. Vorrichtung gemäß Absatz 13, wobei die Diagnoseeinrichtung (30) einen von dem wenigstens einem analytischen Modell (112, 114, 116) berechneten Parameter mit einem entsprechenden gemessenen Parameter vergleicht und ein Ergebnis des Vergleichs als einen Indikator in dem kausalen Netzwerk verwendet.
  15. Vorrichtung gemäß Absatz 14, wobei Wahrscheinlichkeiten des kausalen Netzwerkes auf Basis der Wahrscheinlichkeit der von den analytischen Modell (112, 114, 116) erhaltenen Indikatoren (130) oder der gemessenen Parameter aktualisiert werden.
  16. Vorrichtung gemäß Absatz 15, wobei das wenigstens eine analytische Modell (112, 114, 116) über der Zeit entsprechend akzeptablen Verhaltensänderungen des Transformators (20) über der Zeit angepasst wird.
  17. Vorrichtung gemäß Absatz 16, wobei die Sensoren (28a–e) einen Temperatursensor (28b), der zur Ausgabe eines Signals konfiguriert ist, das eine Temperatur des Fluids (F) innerhalb des Aufnahmebehälters (24) anzeigt, einen Gassensor (28d), der dafür konfiguriert ist, ein Signal auszugeben, das einen Gasanteil des Fluids (F) innerhalb des Aufnahmebehälters (24) anzeigt, einen Lastsensor (28a), der dafür konfiguriert ist, ein Signal auszugeben, das eine elektrische Belastung des Transformators (20) anzeigt, und einen Drucksensor (28c), der dafür konfiguriert ist, ein Signal auszugeben, das einen Druck in dem Aufnahmebehälter (24) anzeigt, umfassen.
  18. Vorrichtung gemäß Absatz 17, wobei der Gassensor (28d) dafür eingerichtet ist, einen Wasserstoffanteil des Fluids (F) in dem Einschlussbehälter (24) anzeigendes Signal auszugeben.

19. Vorrichtung gemäß Absatz 18, wobei das wenigstens eine analytische Modell (**112**, **114**, **116**) ein Temperaturmodell (**114**) und ein Wasserstoffmodell (**112**) umfasst.
20. Vorrichtung gemäß Absatz 16, wobei der Prozessor (**40**) außerhalb des Einschlussbehälters (**24**) angeordnet ist und die Sensoren (**28a–28e**) innerhalb des Einschlussbehälters (**24**) angeordnet sind, wobei das System ferner eine Einrichtung aufweist, um die Signale aus den Sensoren (**28a–28b**) an den Prozessor zu leiten.
21. Vorrichtung gemäß Absatz 16, wobei das Diagnosegerät (**30**) ferner ein Benutzerschnittstellenmodul (**60**) mit einer Anzeigeeinrichtung (**62**) aufweist, um eine Anzeige der Betriebskennwerte des elektrischen Gerätes (**20**) darzustellen, und eine Eingabeeinrichtung (**64**), um einem Benutzer zu ermöglichen, wenigstens eines von Daten und Befehlen in das Diagnosegerät (**30**) einzugeben.
22. Vorrichtung gemäß Absatz 17, wobei der Gassensor (**28d**) dafür eingerichtet ist, ein Signal auszugeben, das wenigstens ein Gas von Wasserstoff, Kohlenmonoxid, Kohlendioxid, Sauerstoff, Stickstoff, Kohlenwasserstoffen und Kohlenwasserstoffderivaten anzeigt.
23. Vorrichtung gemäß Absatz 16, wobei der Prozessor (**40**) einen Computer mit einer CPU (**42**) und einer Speichereinrichtung (**44**) aufweist.
24. Intelligente Analysevorrichtung (**10**) für ein fluidgefülltes elektrisches Gerät (**20**) der Bauart mit Komponenten (**22**), die von Fluid (F) umgeben sind, wobei die Vorrichtung aufweist:  
eine Messeinrichtung (**28a–28e**) zum Messen mehrerer Betriebsparameter des elektrischen Gerätes (**20**) mit einem Einschlussbehälter (**24**), der dafür eingerichtet ist, das Fluid (F) und wenigstens eine in dem Einschlussbehälter (**24**) angeordnete elektrische Komponente (**22**) aufzunehmen, und zum Ausgeben von Signalen, die die mehreren Betriebsparameter des elektrischen Gerätes (**20**) anzeigen; und  
eine Diagnoseeinrichtung (**30**) zum Ermitteln von Betriebseigenschaften des elektrischen Gerätes (**20**) auf der Basis wenigstens eines analytischen Modells (**112**, **114**, **116**) des elektrischen Gerätes (**20**) und der von der Messeinrichtung (**28a–28e**) ausgegebenen Signale, indem Werte von Parametern, die durch wenigstens ein analytisches Modell (**112**, **114**, **116**) berechnet werden und Werte von Parametern, wie sie durch die Signale der Messeinrichtung (**28e**) angezeigt werden, in einem kausalen Netzwerk angewendet werden.
25. Vorrichtung gemäß Absatz 24, wobei die Diagnoseeinrichtung (**30**) eine Einrichtung aufweist, um einen durch wenigstens ein analytisches Modell (**112**, **114**, **116**) berechneten Parameter mit einem entsprechenden gemessenen Parameter zu vergleichen, und eine Einrichtung, um ein Vergleichsergebnis als einen Indikator in dem kausalen Netzwerk zu verwenden.
26. Vorrichtung gemäß Absatz 25, wobei die Diagnoseeinrichtung (**30**) eine Einrichtung zum Einstellen von Wahrscheinlichkeiten des kausalen Netzwerkes auf der Basis der Wahrscheinlichkeit der Indikatoren (**130**) aufweist, die aus den analytischen Modellen (**112**, **114**, **116**) oder gemessenen Parametern erhalten wird.
27. Vorrichtung gemäß Absatz 26, wobei die Diagnoseeinrichtung (**30**) eine Einrichtung zum Einstellen von Variablen des wenigstens einen analytischen Modells (**112**, **114**, **116**) über der Zeit in Abhängigkeit von akzeptablen Verhaltensänderungen des elektrischen Gerätes (**20**) über der Zeit aufweist.
28. Vorrichtung gemäß Absatz 27, wobei die Messeinrichtung (**28a–e**) eine Temperaturmesseinrichtung (**28b**), zum Ausgeben eines eine Temperatur des Fluids (F) innerhalb des Aufnahmebehälters (**24**) anzeigenden Signals, eine Gasmesseinrichtung (**28d**) zum Ausgeben eines einen Gasanteil des Fluids (F) innerhalb des Aufnahmebehälters (**24**) anzeigenden Signals, eine Lastmesseinrichtung (**28a**), zum Ausgeben eines eine elektrische Belastung des Transformators (**20**) anzeigenden Signals, und einen Druckmesseinrichtung (**28c**) zum Ausgeben eines einen Druck in dem Aufnahmebehälter (**24**) anzeigenden Signals aufweist.
29. Vorrichtung gemäß Absatz 28, wobei die Gasmesseinrichtung (**28d**) eine Einrichtung aufweist, um einen Wasserstoffanteil des Fluids (F) in dem Einschlussbehälter (**24**) anzeigendes Signal auszugeben.
30. Vorrichtung gemäß Absatz 29, wobei das wenigstens eine analytische Modell (**112**, **114**, **116**) ein Temperaturmodell (**114**) und ein Wasserstoffmodell (**112**) umfasst.
31. Vorrichtung gemäß Absatz 27, welche ferner eine Einrichtung aufweist, um Signale aus der Sensoreinrichtung an den Prozessor zu leiten.
32. Vorrichtung gemäß Absatz 32, wobei die Diagnoseeinrichtung (**30**) ferner ein Benutzerschnittstelleneinrichtung (**60**) aufweist, um eine Anzeige der Betriebskennwerte des elektrischen Gerätes (**20**) darzustellen, und eine Eingabeeinrichtung (**64**), um einem Benutzer zu ermöglichen, wenigstens eines von Daten und Befehlen in die Diagnoseeinrichtung (**30**) einzugeben.
33. Vorrichtung gemäß Absatz 28, wobei die Gasmesseinrichtung (**28d**) eine Einrichtung aufweist, um einen Anteil von wenigstens einem Gas von Wasserstoff, Kohlenmonoxid, Kohlendioxid, Sauerstoff, Stickstoff, Kohlenwasserstoffen und Kohlenwasserstoffderivate anzeigendes Signal auszugeben.
34. Vorrichtung gemäß Absatz 27, wobei die Diagnoseeinrichtung (**30**) einen Computer mit einer CPU (**42**) und einer Speichereinrichtung (**44**) aufweist.
35. Vorrichtung gemäß Absatz 27, wobei das elektrische Gerät (**20**) einen Transformator (**20**) aufweist.

36. Verfahren zur intelligenten Analyse eines fluidgefüllten elektrischen Gerätes (20) der Bauart, mit von Fluid (F) umgebenen Komponenten (22), wobei das Verfahren die Schritte aufweist:  
Verbinden von Sensoren (28a–e) mit dem elektrischen Gerät (20) mit einem zur Aufnahme von Fluid (F) konfigurierten Aufnahmebehälter (24), und mit wenigstens einer in dem Aufnahmebehälter (24) angeordneten elektrischen Komponente (22);  
Erfassen mehrerer Betriebsparameter des elektrischen Gerätes (20) mit den Sensoren (28a–e);  
Erzeugen von Signalen, die die in dem Erfassungsschritt erfassten mehreren Betriebsparameter des elektrischen Gerätes (20) anzeigen; und  
Ermitteln von Betriebskennwerten des elektrischen Gerätes auf der Basis wenigstens eines analytischen Modells (112, 114, 116) des elektrischen Gerätes (20) und der in dem Erzeugungsschritt erzeugten Signale durch Anwenden von Werten von durch das wenigstens eine analytische Modell (112, 114, 116) berechneten Betriebsparametern und Werten von durch das in dem Erzeugungsschritt erzeugten Signal angezeigten Betriebsparametern in einem kausalen Netzwerk;
37. Verfahren gemäß Absatz 36, wobei der Ermittlungsschritt den Schritt des Vergleichs eines durch das wenigstens eine analytische Modell (112, 114, 116) berechneten Parameters mit einem durch Signale in dem Erzeugungsschritt angezeigten entsprechenden gemessenen Parameter und der Verwendung eines Ergebnisses des Vergleichsschrittes als ein Indikator in dem kausalen Netzwerk umfasst.
38. Verfahren gemäß Absatz 37, wobei der Ermittlungsschritt den Schritt der Anpassung der Wahrscheinlichkeiten des kausalen Netzwerkes auf der Basis der Wahrscheinlichkeit der aus dem analytischen Modell (112, 114, 116) oder gemessenen Parametern erhaltenen Indikatoren (130) umfasst.
39. Verfahren gemäß Absatz 38, wobei der Ermittlungsschritt den Schritt der Anpassung von Variablen des wenigstens einen analytischen Modells (112, 114, 116) über der Zeit entsprechend akzeptablen Verhaltensänderungen des elektrischen Gerätes (20) über der Zeit umfasst.
40. Verfahren gemäß Absatz 39, wobei der Erfassungsschritt die Schritte der Messung der Temperatur in dem Einschlussbehälter (24), der Messung des Gasanteils des Fluids (F) in dem Einschlussbehälter (24), der Messung der elektrischen Belastung an dem elektrischen Gerät (20) und der Messung des Drucks in dem Einschlussbehälter (24) umfasst.
41. Verfahren gemäß Absatz 40, wobei der Schritt der Messung des Gasanteils die Messung eines Wasserstoffanteils des Fluids (F) in dem Einschlussbehälter (24) umfasst.
42. Verfahren gemäß Absatz 41, wobei das wenigstens eine in dem Ermittlungsschritt verwendete analytische Modell (112, 114, 116) ein Temperaturmodell (114) und ein Wasserstoffmodell (112) umfasst.
43. Verfahren gemäß Absatz 39, welches ferner die Schritte der Darstellung einer Anzeige der Betriebseigenschaften des elektrischen Gerätes (20) und der Eingabe wenigstens eines von Daten und Befehlen umfasst.
44. Verfahren gemäß Absatz 40, wobei der Schritt der Messung des Gasanteils die Messung von wenigstens einem von Wasserstoff, Kohlenmonoxid, Kohlendioxid, Sauerstoff, Stickstoff, Kohlenwasserstoffen und Kohlenwasserderivaten umfasst.
45. Vorrichtung gemäß Absatz 7, wobei das wenigstens eine analytische Modell (112, 114, 116) ferner ein Druckmodell (116) aufweist.
46. Vorrichtung gemäß Absatz 19, wobei das wenigstens eine analytische Modell (112, 114, 116) ein Druckmodell (116) aufweist.
47. Vorrichtung gemäß Absatz 30, wobei das wenigstens eine analytische Modell (112, 114, 116) ein Druckmodell (116) aufweist.
48. Verfahren gemäß Absatz 42, wobei das wenigstens eine analytische Modell (112, 114, 116) ein Druckmodell (116) aufweist.

### Patentansprüche

1. Intelligente Analysevorrichtung (10) für ein fluidgefülltes elektrisches Gerät (20) der Bauart mit Komponenten (22), die von Fluid (F) umgeben sind, wobei die Vorrichtung aufweist:  
mehrere Sensoren (28a–f) zum Erfassen mehrerer Betriebsparameter des elektrischen Gerätes (20) mit einem zur Aufnahme eines Fluids (F) konfigurierten Einschlussbehälter (24) und wenigstens einer in dem Einschlussbehälter (24) angeordneten elektrischen Komponente (22), wobei die Sensoren (28a–f) dafür eingerichtet sind, Signale auszugeben, die mehrere Betriebsparameter des elektrischen Gerätes (20) anzeigen; und  
eine mit den Sensoren (28a–f) verbundene Diagnoseeinrichtung (30), wobei die Diagnoseeinrichtung (30) einen Prozessor (40) enthält, der so arbeitet, dass er Betriebseigenschaften des elektrischen Gerätes (20) auf der Basis wenigstens eines analytischen Modells (112, 114, 116) des elektrischen Gerätes (20) und der von den Sensoren (28a–f) ausgegebenen Signale ermittelt, indem er von dem wenigstens einen analytischen Modell (112, 114, 116) berechnete Betriebsparameter und von den Signalen der Sensoren (28a–f) angezeigte Werte von Betriebsparametern in einem kausalen Netzwerk anwendet,

wobei die Diagnoseeinrichtung (30) dafür eingerichtet ist, einen von dem wenigstens einen analytischen Modell (112, 114, 116) berechneten Betriebsparameter mit einem entsprechenden gemessenen Betriebsparameter zu vergleichen, und dafür angepasst ist, das Ergebnis des Vergleichs als einen Indikator in dem kausalen Netzwerk zu verwenden, und wobei ferner die Wahrscheinlichkeiten des kausalen Netzwerkes dafür angepasst sind, auf der Basis der Wahrscheinlichkeit des von dem analytischen Modell (112, 114, 116) erhaltenen Indikators (130) oder der erfassten Betriebsparameter aktualisiert zu werden; und wobei ferner die Variablen des wenigstens einem analytischen Modells dafür angepasst sind, dass sie mit der Zeit entsprechend akzeptablen Verhaltensänderungen des elektrischen Gerätes über der Zeit angepasst werden.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, wobei das fluidgefüllte elektrische Gerät (20) ein fluidgefüllter Transformator ist.

3. Vorrichtung nach Anspruch 1, wobei die mehreren Sensoren (28a–f) mit dem elektrischen Gerät (20) verbunden sind.

4. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei die Sensoren (28a–f) einen Temperatursensor (28b), der zur Ausgabe eines Signals konfiguriert ist, das eine Temperatur des Fluids (F) innerhalb des Einschlussbehälters (24) anzeigt, einen Gassensor (28d), der dafür konfiguriert ist, ein Signal auszugeben, das einen Gasanteil des Fluids (F) innerhalb des Einschlussbehälters (24) anzeigt, einen Lastsensor (28a), der dafür konfiguriert ist, ein Signal auszugeben, das eine elektrische Belastung des elektrischen Gerätes (20) anzeigt, und einen Drucksensor (28c), der dafür konfiguriert ist, ein Signal auszugeben, das einen Druck in dem Einschlussbehälter (24) anzeigt, umfassen.

5. Vorrichtung nach Anspruch 4, wobei der Gassensor (28d) dafür konfiguriert ist, ein Signal auszugeben, das einen Wasserstoffanteil des Fluids (F) in dem Einschlussbehälter (24) anzeigt.

6. Vorrichtung nach Anspruch 5, wobei das wenigstens eine analytische Modell (112, 114, 116) ein Temperaturmodell (114) und ein Wasserstoffmodell (112) umfasst.

7. Vorrichtung nach Anspruch 6, wobei das wenigstens eine analytische Modell (112, 114, 116) ein Druckmodell (116) umfasst.

8. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei der Prozessor (40) außerhalb des Einschlussbehälters (24) angeordnet ist und die Sensoren (28a–f) innerhalb des Einschlussbehälters (24) angeordnet sind, wobei die Vorrichtung ferner Mittel enthält, um Signale aus den Sensoren (28a–f) zu dem Prozessor (40) zu leiten.

9. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei die Diagnoseeinrichtung ferner ein Benutzerschnittstellenmodul (60) mit einer Anzeigeeinrichtung (62) aufweist, um eine Anzeige der Betriebskennwerte des elektrischen Gerätes (20) darzustellen, und eine Eingabevorrichtung (64), um einem Benutzer zu ermöglichen, wenigstens eines von Daten und Befehlen in das Diagnoseeinrichtung (30) einzugeben.

10. Verfahren zur intelligenten Analyse eines fluidgefüllten elektrischen Gerätes (20) des Typs, mit von Fluid (F) umgebenen Komponenten (22), wobei das Verfahren die Schritte aufweist:

Verbinden von Sensoren (28a–f) mit dem elektrischen Gerät (20) mit einem zur Aufnahme von Fluid (F) konfigurierten Einschlussbehälter (24), und mit wenigstens einer in dem Einschlussbehälter (24) angeordneten elektrischen Komponente (22);

Erfassen mehrerer Betriebsparameter des elektrischen Gerätes (20) mit den Sensoren;

Erzeugen von Signalen, die die in dem Erfassungsschritt erfassten mehreren Betriebsparameter des elektrischen Gerätes (20) anzeigen; und

Ermitteln von Betriebskennwerten des elektrischen Gerätes auf der Basis wenigstens eines analytischen Modells (112, 114, 116) des elektrischen Gerätes (20) und der in dem Erzeugungsschritt erzeugten Signale durch Anwenden von Werten von aus dem wenigstens einem analytischen Modell (112, 114, 116) berechneten Betriebsparametern und Werten von durch das in dem Erzeugungsschritt erzeugten Signal angezeigten Betriebsparametern in einem kausal<sup>en</sup> Netzwerk;

wobei der Bestimmungsschritt die Schritte des Vergleichs eines durch das wenigstens eine analytische Modell (112, 114, 116) berechneten Betriebsparameters mit einem entsprechenden gemessenen Betriebsparameter gemäß Anzeige durch Signale in dem Erzeugungsschritt vergleicht, und das Ergebnis des Vergleichsschritts als einen Indikator in dem kausalen Netzwerk verwendet, und

wobei der Bestimmungsschritt ferner die Schritte der Aktualisierung der Wahrscheinlichkeiten des kausalen

Netzwerkes auf der Basis der Wahrscheinlichkeit der Indikatoren (**130**), die aus dem analytischen Modell (**112**, **114**, **116**) erhalten werden, oder der erfassten Betriebsparameter aktualisiert; und wobei der Ermittlungsschritt ferner den Schritt der Anpassung von Variablen des wenigstens einem analytischen Modells über der Zeit in Abhängigkeit von akzeptablen Verhaltensänderungen des elektrischen Gerätes (**20**) über der Zeit umfasst.

Es folgen 4 Blatt Zeichnungen



FIG. 1

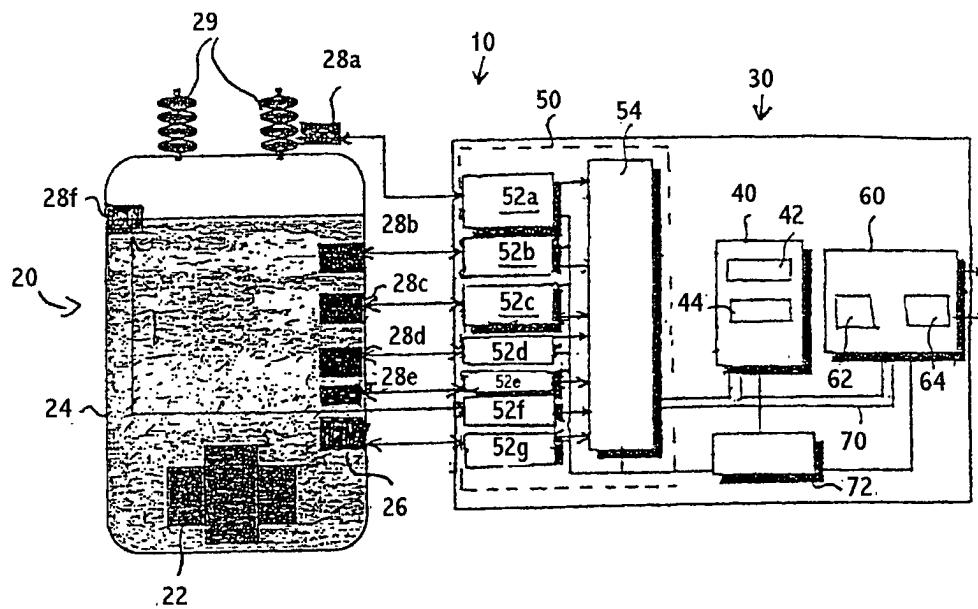


FIG. 2

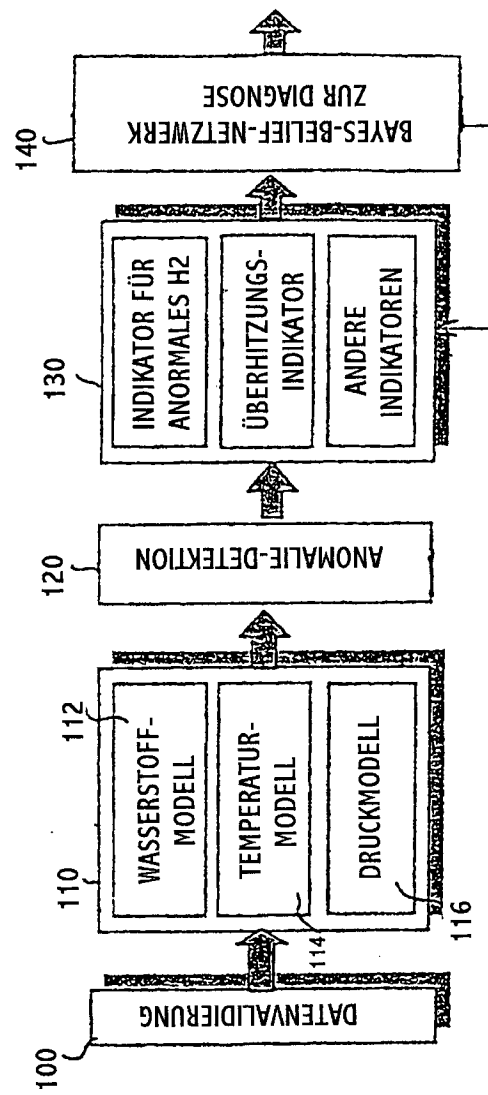


FIG. 3

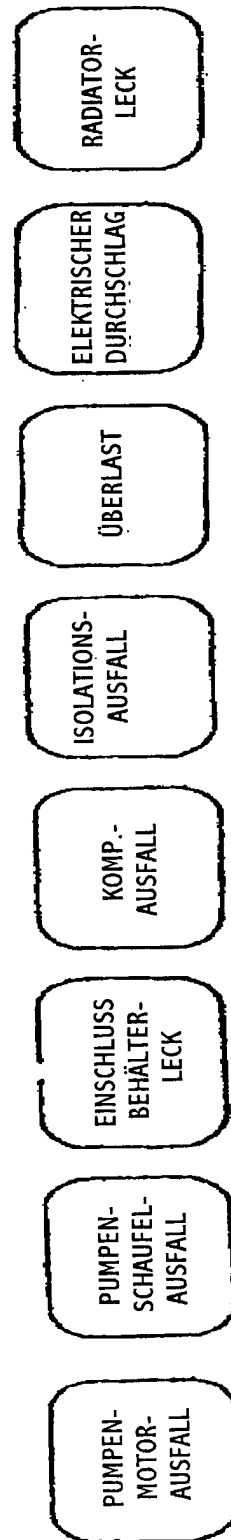


FIG. 4

