

(19)



Europäisches Patentamt

European Patent Office

Office européen des brevets



(11)

EP 0 905 500 A2

(12)

### EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:  
31.03.1999 Patentblatt 1999/13

(51) Int. Cl.<sup>6</sup>: G01M 15/00

(21) Anmeldenummer: 98116600.2

(22) Anmeldetag: 02.09.1998

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU  
MC NL PT SE  
Benannte Erstreckungsstaaten:  
AL LT LV MK RO SI

(71) Anmelder:  
DAIMLER-BENZ AKTIENGESELLSCHAFT  
70567 Stuttgart (DE)

(72) Erfinder:  
• Burkhardt, Rainer  
71229 Leonberg (DE)  
• Strobel, Herbert Dr.  
72644 Oberboihingen (DE)

(30) Priorität: 26.09.1997 DE 19742446

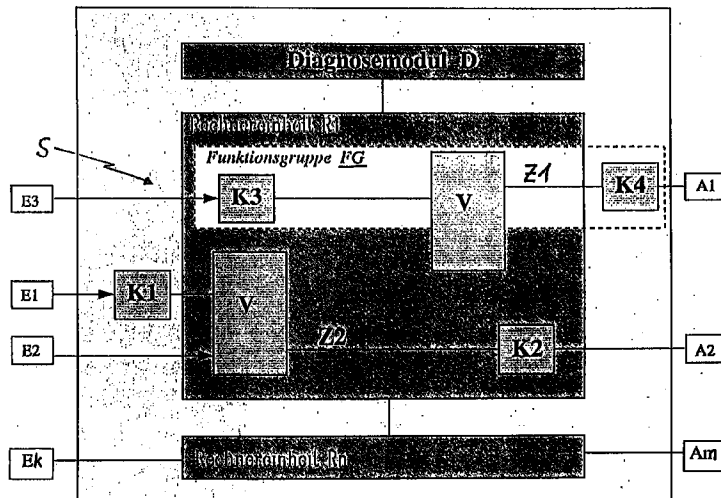
#### (54) Fehlerdiagnoseeinrichtung

(57) Die Erfindung bezieht sich auf eine Fehlerdiagnoseeinrichtung zur Erkennung fehlerhafter Komponenten eines technischen Systems mit fehlerrelevanten Prozeßgrößen.

Erfindungsgemäß beinhaltet die Einrichtung ein Diagnosemodul, das abgespeichert eine Checkliste und eine Zustandstabelle enthält, die vorab durch eine Komponentenfehlersimulation an einem generierten Funktionsmodells des Systems ermittelt werden. Die Checkliste gibt jeweils eine primäre und die von dieser beeinflussten sekundären Prozeßgrößen an, und die Zustandstabelle gibt für jede Kombination fehlerrelevanter Prozeßgrößen die zugehörigen fehlerverdächtigen

Komponenten an. Während des Systembetriebs erfaßt das Diagnosemodul die Zustandswerte der primären Prozeßgrößen und aktiviert bei Auftreten eines Fehlerzustands derselben einen Diagnosevorgang, in welchem es die aktuelle Zustandskombination mit den in der Zustandstabelle abgespeicherten Kombinationen vergleicht und bei Übereinstimmung die zugehörig abgespeicherten fehlerverdächtigen Komponenten feststellt.

Verwendung z.B. zur Kraftfahrzeug-Fehlerdiagnose.



EP 0 905 500 A2

## Beschreibung

[0001] Die Erfindung bezieht sich auf eine Fehlerdiagnoseeinrichtung zur Erkennung fehlerhafter Komponenten eines technischen Systems mit fehlerrelevanten Prozeßgrößen, deren Zustand sich bei Auftreten eines entsprechenden Komponentenfehlers von einem Fehlerfrei-Zustand in einen Fehler-Zustand ändert, indem ihr Zustandswert einen vorgegebenen Toleranzbereich verläßt.

[0002] Fehlerdiagnoseeinrichtungen zur Erkennung einschließlich Identifikation und Anzeige fehlerhafter Komponenten eines technischen Systems, wie einer Produktionsanlage, eines Computersystems, eines Kraftfahrzeuges etc., sind verschiedentlich bekannt. Meist werden dabei die momentanen Zustandswerte der Prozeßgrößen des Systems, die sich aus Eingangsgrößen, Ausgangsgrößen und internen Zustandsgrößen zusammensetzen, erfaßt und mit vorgegebenen Sollwerten verglichen. Weicht der Momentanwert um mehr als ein vorgegebenes Maß vom Sollwert ab, wird dies als Fehler gewertet und angezeigt. Bei elektrischen oder elektronischen Systemen kann die Bewertung meist unmittelbar durch entsprechende elektronische Mittel, wie Komparatoren, Fensterdiskriminatoren etc., erfolgen, bei Systemen mit mechanischem Anteil werden die zugehörigen Prozeßgrößen gegebenenfalls durch einen Meßwandler in ein elektrisches Signal umgewandelt, das dann vergleichend ausgewertet werden kann.

[0003] Eine Schwierigkeit solcher bekannter Einrichtungen besteht darin, daß die Aussage über den Fehlerort bzw. die Fehlerart häufig nicht eindeutig ist, weil die Einrichtung beispielsweise mangels Sensorik einem einzelnen Fehlersignal noch mehrere mögliche Komponentenfehler zuordnet. Es obliegt dann dem Bedienpersonal, eine Bewertung der Fehleranzeige vorzunehmen, um aus mehreren möglichen Fehlern den tatsächlich aufgetretenen Fehler bzw. unter einer Vielzahl von Fehlermeldungen die richtige und eindeutige herauszufinden. Es ist des weiteren bekannt, zur Diagnose die Art und den Ort eines Fehlers durch entsprechenden Aufwand an Sensorik selbsttätig zu ermitteln und die betreffenden Fehlerinformationen codiert oder uncodiert anzuzeigen und erforderlichenfalls für Korrekturen durch Bedien- bzw. Servicepersonal verwendbar zu machen.

[0004] In der Patentschrift DE 41 24 542 C2 ist eine Fehlerdiagnoseeinrichtung zur Bestimmung einer Fehlerursache bei einem geprüften Gerät mit einer Detektierereinrichtung, die Parameter des geprüften Gerätes detektiert, und mit einer Speichereinrichtung beschrieben. In der Speichereinrichtung sind ein Suchbaum mit Knoten, die jeweiligen Untereinheiten des geprüften Gerätes entsprechen, sowie den Knoten jeweils zugeordnete Testtabellen, in denen jeweils wenigstens ein von der Detektierereinrichtung zu detektierender Parameter sowie eine diesbezügliche Testbedingung angege-

ben sind, eine Fehlerwahrscheinlichkeitstabelle entsprechend den Resultaten von Tests gemäß der wenigstens einen Testbedingung und Namen von Tochterknoten vorab abgespeichert, wobei in einer Testtabelle, die einem Knoten mit wenigstens drei Tochterknoten zugeordnet ist, zusätzlich wenigstens zwei zu detektierende Parameter und Testbedingungen angegeben sind. Außerdem ist in der Speichereinrichtung vorab eine Such/Inferenzeinrichtung abgespeichert, die entlang des Suchbaums Knoten auswählt und die zugehörigen Testtabellen auswertet, wobei sie die Knotenauswahl nach dem Ergebnis der Auswertung der Testtabellen vornimmt. Dadurch soll eine zielgerichtete Verknüpfung einzelner Testtabellen durch die Such/Inferenzeinrichtung nach Art eines nicht-binären Suchbaumes realisiert werden. Der Suchbaum hat dabei eine der Hardwareorganisation des geprüften Gerätes entsprechende Suchbaumstruktur. Diese Einrichtung erfordert eine relativ hohe Rechenleistung während der Systemlaufzeit, da viele Entscheidungen zu treffen und gegebenenfalls Tabellen nachzuladen sind.

[0005] In der Patentschrift US 5.099.436 sind ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Durchführung einer Systemfehlerdiagnose beschrieben, das auf einer hybriden Wissensdarstellung des zu diagnostizierenden Systems basiert. Während der Systemlaufzeit erfaßte Daten werden mit einer ereignisbasierten Systemdarstellung verglichen, die eine Vielzahl von vordefinierten Ereignissen umfaßt. Ein Ereignis wird erkannt, wenn die erfaßten Daten mit den kritischen Parametern des Ereignisses übereinstimmen. Das erkannte Ereignis und ein zugehöriger Satz von Mehrdeutigkeits-Gruppeneffekten, welche Komponenten kennzeichnen, die entsprechend einem zugeordneten Sortiereffekt in einer Mehrdeutigkeitsgruppe neu sortiert werden sollen, werden analysiert. Außerdem können ein Symptomfehlermodell und ein Nichtfunktionsmodell analysiert werden, um die Symptomfehlerbeziehungen und die Art der Nichtfunktionen festzustellen, die auf den Systemlauf anwendbar sind. Jede anwendbare Symptomfehlerbeziehung und jede Art der Nichtfunktion wird auch einem Satz von Mehrdeutigkeitsgruppeneffekten zugeordnet, der die Mehrdeutigkeitsgruppe neu sortiert. Beginnend mit denjenigen Komponenten in der Mehrdeutigkeitsgruppe, deren Nichtfunktion am wahrscheinlichsten ist, wird ein Strukturmodell analysiert, und als Ergebnis der Analyse werden Reparaturvorschläge mit am System auszuführenden Tests ausgegeben.

[0006] Diese bekannte Vorgehensweise beinhaltet eine laufende umfangreiche Datenakquisition und ständige Vergleichsoperationen während des Systembetriebs und daher einen erheblichen Rechenaufwand im diagnostizierenden Systemteil. Das Systemmodell beschreibt die Systemkomponenten ereignisstrukturiert mit zusätzlichen Informationen über ihre Ausfallwahrscheinlichkeit, Reparaturfreundlichkeit, Zugänglichkeit

usw. Die Implementierung dieses Diagnosewissens, für die spezielles Wissen und/oder Erfahrungen notwendig sind, ist für einen Einsatz dort nicht geeignet, wo die zu diagnostizierenden Systeme nach Struktur und Ausprägung zeitlich kurzfristigen Änderungen unterliegen, wie dies z.B. bei Kraftfahrzeugen der Fall ist.

**[0007]** Strukturelle Grundzüge einer rechnergestützten Fehlerdiagnoseeinrichtung für ein Kraftfahrzeug sind in den Veröffentlichungen N. Waleschkowski et al., Ein wissensbasiertes Fahrzeug-Diagnosesystem für den Einsatz in der Kfz-Werkstatt, Grundlagen und Anwendungen der künstlichen Intelligenz, Springer-Verlag, 1993, Seite 277 sowie N. Waleschkowski et al., Wissensmodellierung und Wissenserwerb am Beispiel der Fahrzeugdiagnose, Zeitschrift künstliche Intelligenz KI 1/95, Seite 55 beschrieben. Diese Einrichtung enthält eine Diagnoseablaufbereitstellungsstufe mit einer Wissensbasis, die ein Strukturmodell über den hierarchischen Aufbau des technischen Systems aus einzelnen Teilsystemen, ein Wirkungsmodell über die Wirkungsbeziehungen zwischen den einzelnen Teilsystemen und ein den Diagnoseablauf bestimmendes Fehlermodell beinhaltet, das die Zusammenhänge zwischen Fehlerursachen und deren Auswirkungen sowie geeigneten Prüfabläufen und Reparaturen darstellt. Eine Diagnosedurchführungsstufe führt interaktiv Fehlerdiagnosen unter Verwendung des von der Diagnoseablaufbereitstellungsstufe bereitgestellten Diagnoseablaufprogramms durch.

**[0008]** Der Erfindung liegt als technisches Problem die Bereitstellung einer Fehlerdiagnoseeinrichtung der eingangs genannten Art zugrunde, mit der im Systembetrieb mit vergleichsweise geringem Rechenaufwand relativ rasch fehlerverdächtige Systemkomponenten erkannt werden können.

**[0009]** Die Erfindung löst dieses Problem durch die Bereitstellung einer Fehlerdiagnoseeinrichtung mit den Merkmalen des Anspruchs 1. Diese Einrichtung stützt sich auf die Tatsache, daß im Fall der Nichtfunktion einer Systemkomponente, d.h. bei Auftreten eines Komponentenfahlers, bestimmte, als fehlerrelevant bezeichnete Prozeßgrößen des Systems ihren Zustand von einem Fehlerfrei-Zustand in einen Fehler-Zustand ändern, so daß von deren Zustand auf die eine oder mehreren fehlerverdächtigen Komponenten geschlossen werden kann. Diese binäre Zustandsentscheidung für die jeweilige Prozeßgröße erfolgt in Abhängigkeit davon, ob der zugehörige Zustandswert der Prozeßgröße innerhalb oder außerhalb eines für ihn als Toleranzbereich vorgegebenen Wertebereiches liegt. Des weiteren ist die Tatsache nutzbar, daß eine Kenntnis über die Funktion von Ressourcen, die außer von einem fehlerhaften auch noch von einem oder mehreren anderen Signalpfaden genutzt werden, die Zahl der im fehlerhaften Pfad verdächtigen Komponenten wesentlich verringern kann.

**[0010]** Die Prozeßgrößen werden für jeden Komponentenfahler in primäre, den Toleranzbereich verlas-

sende, und davon beeinflusste, den Komponentenfahler präzisierende sekundäre Prozeßgrößen unterschieden, die ihren Toleranzbereich nicht überschreiten, jedoch in ihrer Gesamtheit für den betreffenden Fehler indikativ sind. Im laufenden Systembetrieb können nur die primären Prozeßgrößen, indem sie von ihrem Fehlerfrei-Zustand in ihren Fehler-Zustand wechseln, einen Diagnosevorgang auslösen, wobei die übrigen, sekundären Prozeßgrößen abgefragt werden. Die primären und die jeweils zugehörigen sekundären Prozeßgrößen und ihre komponentenfehlerindikativen Zustandskombinationen lassen sich automatisiert aus vorhandenen Konstruktionsunterlagen vorab modellbasiert durch Simulation ermitteln und in einer Checkliste sowie einer Zustandstabelle abspeichern. Über das Modell läßt sich somit automatisiert und ohne Notwendigkeit der Einbeziehung von Fach- oder Spezialwissen eine detaillierte Zuordnung von Fehlerursachen und Fehlerauswirkungen dokumentieren. Soweit das zu diagnostizierende System unabhängige Funktionsgruppen enthält, läßt es sich für die Modellierung entsprechend aufteilen, was die Zahl der notwendigen Simulationen verringert.

**[0011]** Bei einer nach Anspruch 2 weitergebildeten Fehlerdiagnoseeinrichtung ist das Diagnosemodul so ausgelegt, daß es die während eines Diagnosevorgangs als fehlerverdächtig festgestellten Systemkomponenten geordnet nach ihrer empirisch festgelegten Ausfallwahrscheinlichkeit anzeigt. Damit wird das Bedien- bzw. Servicepersonal in die Lage versetzt, dem aufgetretenen Fehler gezielt zuerst mit der jeweils am wahrscheinlichsten zur Behebung desselben führenden Maßnahme zu begegnen.

**[0012]** Bei einer nach Anspruch 3 weitergebildeten Fehlerdiagnoseeinrichtung speichert das Diagnosemodul für den jeweiligen Diagnosevorgang die Informationen über die auslösende primäre Prozeßgröße, die ermittelte Zustandskombination der fehlerrelevanten Prozeßgrößen und die zugehörigen fehlerverdächtigen Systemkomponenten in einem Diagnoseergebnisspeicher ab, wodurch der aufgetretene Fehler und seine Ursache dokumentiert werden. In einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung nach Anspruch 4 wird dies dazu genutzt, während eines laufenden Diagnosevorgangs bei der Abfrage und anschließenden Auswertung der Zustände der fehlerhaften Prozeßgrößen Informationen hierüber aus vorangegangenen Diagnosevorgängen heranzuziehen, die im Diagnoseergebnisspeicher abgelegt sind. Im Rahmen einer solcher Auswertung können sich dann eventuell mehrere Vorschläge von Sätzen fehlerverdächtiger Systemkomponenten ergeben, von denen der mittels eines entsprechenden, herkömmlichen Algorithmus ermittelte, beste Vorschlag als Ergebnis verwendet wird. Mit dieser Maßnahme lassen sich beispielsweise Fehler, die in der Vergangenheit aufgetreten sind und momentan nicht mehr anliegen, weil der zugehörige Signalpfad gerade nicht aktiv ist, in die Auswertung einbeziehen, wodurch das Diagnoseer-

gebnis gegebenenfalls verbessert werden kann.

**[0013]** Vorteilhafte Ausführungsformen der Erfindung sind in den Zeichnungen veranschaulicht und werden nachfolgend beschrieben. Hierbei zeigen:

- Fig. 1 ein Blockdiagramm eines auf Fehler seiner Komponenten zu diagnostizierenden Systems und eines Diagnosemoduls einer zugehörigen Fehlerdiagnoseeinrichtung,
- Fig. 2 ein detaillierteres Blockdiagramm des Diagnosemoduls von Fig. 1,
- Fig. 3 eine schematische Blockdiagrammdarstellung zur Veranschaulichung der Erstellung eines Funktionsmodells des zu diagnostizierenden Systems zur Gewinnung einer Checkliste und einer Zustandstabelle für das Diagnosemodul von Fig. 2,
- Fig. 4 ein Flußdiagramm des von der Fehlerdiagnoseeinrichtung mit dem Diagnosemodul von Fig. 2 durchführbaren Fehlerdiagnoseverfahrens,
- Fig. 5 ein Blockschaltbild einer konkreten Realisierung einer Funktionsgruppe gemäß Fig. 1 für den Fall eines Kraftfahrzeuges als zu diagnostizierendem System,
- Fig. 6 eine im Diagnosemodul für die Funktionsgruppe von Fig. 5 abgelegte Teil-Checkliste der Checkliste von Fig. 3 und
- Fig. 7 ein zur Funktionsgruppe von Fig. 5 gehöriger Ausschnitt aus der im Diagnosemodul abgelegten Zustandstabelle.

**[0014]** Fig. 1 zeigt allgemein den Aufbau eines zu diagnostizierenden technischen Systems S, das eine beliebige Anzahl n von Rechneinheiten R1, ..., Rn umfaßt, von denen lediglich eine erste Rechneinheit R1 etwas detaillierter wiedergegeben ist. Das System S erzeugt mittels Verarbeitungslogiken V, die in den Rechneinheiten R1, ..., Rn implementiert sind, Zustandsgrößen Z1, Z2 sowie Ausgangsgrößen A1, A2, ..., Am in Abhängigkeit vom jeweiligen Zustand zugeführter Eingangsgrößen E1, ..., Ek. An das System S ist ein Diagnosemodul D als zentraler Bestandteil einer Fehlerdiagnoseeinrichtung angekoppelt, das die Vielzahl von im System S vorhandenen, verschiedenen Komponenten K1 bis K4 auf auftretende Fehler überwacht, wobei die Systemkomponenten innerhalb oder außerhalb der Rechneinheiten R1, ..., Rn angeordnet sein können. Die Gesamtheit der Eingangsgrößen E1, ..., Ek, der Zustandsgrößen Z1, Z2, ... und der Ausgangsgrößen A1, ..., Am bildet den Satz der Prozeßgrößen des Systems S.

**[0015]** Fig. 2 zeigt den Aufbau des Diagnosemoduls D. Das Diagnosemodul D umfaßt eine Checkliste CL, die aus einzelnen Teil-Checklisten CL\_1, ..., CL\_n besteht, welche jeweilige fehlerrelevante Prozeßgrößen für die einzelnen Funktionsgruppen FG enthalten, eine Prozeßgrößen-Zustandstabelle ZT, welche die Zuordnung aufgetretener Zustandsänderungen von Prozeßgrößen zu den jeweils fehlerverdächtigen Systemkomponenten dokumentiert, und eine Ablaufsteuerung AS. Die Checkliste CL und die Zustandstabelle ZT werden vor dem tatsächlichen Systembetrieb vorab in einer Generierphase gewonnen und im Diagnosemodul D abgelegt. Die Ablaufsteuerung AS enthält, wie blockdiagrammatisch veranschaulicht, die zur Fehlerdiagnose benötigten Kommunikations- und Datenbankfunktionen sowie eine Recorderfunktion, mit welcher alle von dem Diagnosemodul D erkannten Nichtfunktionen bzw. Fehler von Systemkomponenten in chronologisch richtiger Reihenfolge in einem als Diagnoseergebnisspeicher fungierenden Fehlerspeicher E abgelegt werden. Zusätzlich enthält das Diagnosemodul D einen Zwischenspeicher ZS.

**[0016]** Insbesondere zum Zwecke einer unten erläuterten Modellierung der Systemfunktionen im Rahmen der Generierphase werden im System S die voneinander unabhängig arbeitenden Funktionspfade als jeweilige Funktionsgruppen FG ermittelt, wie dies in Fig. 1 für den Fall einer Funktionsgruppe FG näher gezeigt ist, die eine die Eingangsgröße E3 empfangende Komponente K3 und eine nachgeschaltete Verarbeitungslogik V, welche eine Zustandsgröße Z1 erzeugt, sowie eine dieser Verarbeitungslogik V außerhalb der zugehörigen Rechneinheit R1 nachgeschaltete Komponente K4 umfaßt, der die Zustandsgröße Z1 zugeführt ist und die daraus die Ausgangsgröße A1 erzeugt.

**[0017]** In dieser Generierphase wird von jeder der Funktionsgruppen FG des Systems S, unterstützt durch entsprechende Softwarewerkzeuge, ein Funktionsmodell erstellt, das die Hard- und Softwarestruktur der Funktionsgruppe FG nachbildet. Dazu werden insbesondere zugehörige Schaltplan-Eingaben und Daten über Aktuatoren, Sensoren und dergleichen aus einer Modellbibliothek benutzt. Automatische Generierungsverfahren dieser Art sind an sich bekannt und bedürfen daher hier keiner näheren Erläuterung. An dem so erhaltenen Modell M werden dann Permutationen der relevanten Eingangsgrößen E1, ... simuliert und dabei der Reihe nach alle beteiligten Systemkomponenten als fehlerhaft eingesetzt. Zu einem jeden solchen Komponentenfehler werden dann die zugehörigen Prozeßgrößen des Systems S ermittelt, deren Zustandswerte durch den simulierten Komponentenfehler einen vorgegebenen Toleranzbereich verlassen. Dies wird als binäre Zustandsänderung in Form eines Übergangs vom Fehlerfrei-Zustand zum Fehler-Zustand der betreffenden Prozeßgröße interpretiert. Diese Prozeßgrößen werden für den jeweiligen Komponentenfehler als fehlerrelevant bezeichnet. Des weiteren werden in diesem

Simulationsschritt SS die fehlerrelevanten Prozeßgrößen jedes Komponentenfehlers in primäre und sekundäre Prozeßgrößen unterschieden, wobei als primäre Prozeßgrößen diejenigen bezeichnet werden, die durch Toleranzüberschreitung konkrete Hinweise auf fehlerhafte Systemkomponenten liefern, während die übrigen, von den primären Prozeßgrößen beeinflussten Prozeßgrößen als sekundär bezeichnet werden und nur in ihrer Gesamtheit zu einer Fehleraussage führen. Sekundäre Prozeßgrößen können zunächst fehlerverdächtige Komponenten durch Präzisierung des Fehlerbildes aufgrund der Verbindungsstrukturen entlasten.

[0018] Im anschließenden Checklisten-Generierungsabschnitt CG werden dann für den jeweiligen simulierten Komponentenfehler die zu einer primären Prozeßgröße gehörigen sekundären Prozeßgrößen in einer entsprechenden Teil-Checkliste aufgelistet. Alle auf diese Weise erhaltenen Teil-Checklisten CL\_1 bis CL\_n werden dann unter Bildung der Checkliste CL zusammengefaßt und im Diagnosemodul D abgespeichert. Dann wird als abschließender Schritt der Generierphase die Prozeßgrößen-Zustandstabelle ZT erstellt. In dieser Zustandstabelle ZT sind jeder Kombination der binärwertigen Zustände der fehlerrelevanten Prozeßgrößen die eine oder mehreren entsprechenden fehlerverdächtigen Systemkomponenten zugeordnet. Die auf diese Weise gewonnene Zustandstabelle ZT wird dann im Diagnosemodul D abgelegt.

[0019] Mit dem solchermaßen vorbereiteten Diagnosemodul D überwacht dann die Fehlerdiagnoseeinrichtung das System S auf das Vorliegen fehlerhafter Komponenten entsprechend dem in Fig. 4 gezeigten Verfahren. Mit dem jeweiligen Systemstart 1 erfaßt das Diagnosemodul D laufend die primären Prozeßgrößen, d.h. diejenigen Prozeßgrößen des Systems S, die für wenigstens einen Komponentenfehler eine primäre Prozeßgröße darstellen. Die erfaßten momentanen Zustandswerte der primären Prozeßgrößen werden vom Diagnosemodul D daraufhin ausgewertet, ob sie ihren vorgegebenen Toleranzbereich, der dem Fehlerfrei-Zustand der Prozeßgröße entspricht, verlassen haben und sich folglich der Zustand der Prozeßgröße in den Fehler-Zustand geändert hat. Erst wenn im betreffenden Abfrageschritt 2 vom Diagnosemodul D erkannt wird, daß sich der Zustand einer fehlerrelevanten primären Prozeßgröße in den Fehler-Zustand geändert hat, löst dies einen weitergehenden Diagnosevorgang aus, bei dem in einem nächsten Schritt 3 vom Diagnosemodul D anhand der Checkliste CL diejenige Teil-Checkliste ermittelt wird, die derjenigen primären Prozeßgröße zugeordnet ist, die sich in den Fehler-Zustand verändert hat. Der ermittelten Teil-Checkliste entnimmt das Diagnosemodul D die zugehörigen anderen fehlerrelevanten, sekundären Prozeßgrößen der betreffenden Funktionsgruppe FG. Daraufhin fragt das Diagnosemodul D vom System S die aktuellen Zustandswerte dieser sekundären Prozeßgrößen ab und ermittelt dadurch, ob sich die jeweilige sekundäre Prozeßgröße im Fehlerfrei-

Zustand oder im Fehler-Zustand befindet (Schritt 4).

[0020] Im nächsten Schritt 5 vergleicht das Diagnosemodul D die durch die Systemabfrage ermittelte aktuelle Zustandskombination der primären Prozeßgröße, welche den Diagnosevorgang ausgelöst hat, und der zu dieser gehörigen, in ihrer Teil-Checkliste aufgeführten sekundären Prozeßgrößen mit den in der Zustandstabelle ZT gespeicherten Zustandskombinationen. Bei Übereinstimmung der aktuellen, im Systembetrieb abgefragten Zustandskombination mit der in einer bestimmten Zeile der Zustandstabelle ZT gespeicherten Zustandskombination werden die in dieser Zeile der Zustandstabelle ZT als fehlerverdächtig angegebenen Systemkomponenten vom Diagnosemodul D ausgelesen und dem Nutzer als fehlerverdächtig zur Anzeige gebracht (Schritt 6). Zusätzlich speichert das Diagnosemodul D anschließend die wesentlichen Informationen über den Diagnosevorgang und das Diagnoseergebnis, d.h. Daten über die primäre Prozeßgröße, welche den Diagnosevorgang ausgelöst hat, sowie die vom System abgefragte, aktuelle Zustandskombination dieser Prozeßgröße und der über die betreffende Teil-Checkliste zugehörigen sekundären Prozeßgrößen im Fehlerpeicher E. Durch die Anzeige der fehlerverdächtigten Komponenten kann das Service- bzw. Diagnosepersonal das oder die fehlerverdächtigten Systemkomponenten reparieren oder austauschen oder zuvor noch detailliertere Tests an der oder den fehlerverdächtigten Komponenten vornehmen. Die Anzeige der fehlerverdächtigten Systemkomponenten erfolgt vorzugsweise in einer Reihenfolge mit absteigender Fehlerwahrscheinlichkeit, wozu für jede Systemkomponente eine empirisch festgelegte Fehlerwahrscheinlichkeit vorgegeben wird.

[0021] In einer bevorzugten Ausführungsform werden die im Ergebnisspeicher E gespeicherten Daten über die Ergebnisse vorhergehender Diagnosevorgänge für die Auswertung eines laufenden Diagnosevorgangs genutzt. Insbesondere erlauben die dort gespeicherten Zustandskombinationen von früher aufgetretenen Komponentenfehlern zu einem späteren Zeitpunkt eine Reproduktion des Systemszustands. Wenn nämlich jene primären Prozeßgrößen, die zu einem früheren Zeitpunkt bereits einmal im Fehler-Zustand waren und einen Diagnosevorgang ausgelöst hatten, selbst als eine der sekundären Prozeßgrößen, die zu derjenigen primären Prozeßgröße gehören, welche durch einen aktuellen Komponentenfehler in den Fehler-Zustand gelangt ist und den laufenden Diagnosevorgang ausgelöst hat, bezüglich ihres aktuellen Zustands abgefragt werden, kann jener Zustand zur Auswertung herangezogen werden, den diese Prozeßgrößen zum Zeitpunkt der durch sie initiierten Diagnoseabfrage eingenommen hatten, einschließlich der damit verbundenen Zustände der zugehörigen sekundären Prozeßgrößen. Es können dann durch diese Auswertung gegebenenfalls mehrere Vorschläge über Kombinationen fehlerverdächtigter Systemkomponenten vorliegen, wovon ein von einem entsprechenden Algorithmus als bester bewerteter Vor-

schlag als Ergebnis verwendet wird. Derartige Bewertungsalgorithmen sind dem Fachmann geläufig und bedürfen hier keiner näheren Erläuterung. Mit dieser Vorgehensweise lassen sich Fehler, die in der Vergangenheit aufgetreten sind und momentan beispielsweise deshalb nicht mehr vorliegen, weil der zugehörige Pfad gerade nicht aktiv ist, in die Auswertung einbeziehen, wodurch das Diagnoseergebnis in vielen Fällen verbessert werden kann.

[0022] Anhand der Fig. 5 bis 7 werden nachfolgend anhand eines Beispiels für eine Funktionsgruppe FG eines Kraftfahrzeugs als zu diagnostizierendem System einige der wesentlichen, oben allgemein beschriebenen Aspekte der erfindungsgemäßen Fehlerdiagnoseeinrichtung entsprechend den Fig. 1 bis 4 konkretisiert erläutert. Das gesamte, zu diagnostizierende Fahrzeug beinhaltet eine Reihe von elektronischen Baugruppen sowie mit ihnen verbundene elektrische und mechanische Bauteile bzw. periphere Baugruppen, wobei die elektrischen Komponenten, wie z.B. Glühlampen, gegebenenfalls über geeignete Treiberstufen von der Elektronik direkt und die mechanischen Komponenten über elektromechanische Betätigungsglieder, wie Elektromotoren, Magnetventile, Relais und ähnliche Aktuatoren, betätigt werden können. Die Zustandswerte der Prozeßgrößen dieses Systems, insbesondere der elektrischen und mechanischen Komponenten, und die Ausführungen von Betätigungen werden mindestens teilweise mit Hilfe von Sensoren an die elektronischen Komponenten rückgemeldet. Des weiteren werden die elektronischen Baugruppen ebenfalls in die Diagnose einbezogen.

[0023] In Fig. 5 ist eine Funktionsgruppe dieses Systems gezeigt, die zwei Strompfade umfaßt. Ein erster Strompfad beinhaltet eine Eingangsgröße A, die weiteren Prozeßgrößen-Spannung  $U_a$  und Stromstärke  $I_a$ , eine beiden Pfaden gemeinsame Systemkomponente in Form einer ersten Steckverbindung S1, eine Leitungsverbindung  $c_a$ , eine zweite gemeinsame Systemkomponente in Form einer zweiten Steckverbindung S2, eine Komponente in Form einer ersten Lampe La und eine Masseverbindung M, die ebenfalls beiden Pfaden gemeinsam ist. Der andere Strompfad beinhaltet eine Eingangsgröße B, die weiteren Prozeßgrößen-Spannung  $U_b$  und Stromstärke  $I_b$ , eine Leitungsverbindung  $c_b$  als weitere Systemkomponente, die Steckverbindungen S1 und S2, eine zweite Lampe Lb und die gemeinsame Masseverbindung M.

[0024] Fig. 6 zeigt eine zu dieser Funktionsgruppe gehörige Teil-Checkliste, die zu dem angenommenen Fall gehört, daß die Stromstärke  $I_a$  als eine primäre Prozeßgröße vom Fehlerfrei-Zustand in den Fehler-Zustand gewechselt hat. Dies zeigt sich in einer Unterbrechung des ersten Strompfades, so daß dort kein Stromfluß mehr meßbar ist und die zugehörige Lampe La nicht brennt. Die Teil-Checkliste gemäß Fig. 6 umfaßt neben der für diesen Komponentenfehler als primäre Prozeßgröße agierenden Stromstärke  $I_a$  des

ersten Strompfades die beiden Eingangsgrößen A, B, die beiden Spannungen  $U_a$ ,  $U_b$  und die Stromstärke  $I_b$  im anderen Strompfad.

[0025] Fig. 7 veranschaulicht einen den vorliegend angenommenen Fehlerfall enthaltenden Ausschnitt aus der zugehörigen Zustandstabelle ZT, der die Auswertung für diesen Fehlerfall veranschaulicht. Dabei sind, wie Fig. 5 zu entnehmen ist, die beiden Strompfade über die gemeinsamen Steckverbindungen S1, S2 und die gemeinsame Masseverbindung M fehlerrelevant miteinander verknüpft.

[0026] Die in Fig. 7 gezeigte erste Zeile der Zustandstabelle ZT gibt an, daß die Eingangsgröße A aktiv, die Eingangsgröße B inaktiv, die Spannung  $U_a$  aktiv, d.h. meßbar, und die Stromstärke  $I_a$  inaktiv, d.h. nicht meßbar, sind, wobei die Lampe La nicht brennt. Des weiteren sind die zugehörige Spannung  $U_b$  und die zugehörige Stromstärke  $I_b$  inaktiv. Die Betrachtung dieser Prozeßgrößen-Zustandskombination ergibt, wie in der rechten Hälfte der ersten Zeile der Zustandstabelle ZT von Fig. 7 angegeben, daß als fehlerverdächtig alle Komponenten des ersten Strompfades, d.h. die beiden Steckverbindungen S1, S2, die Leitungsverbindung  $c_a$ , die Lampe La und die Masseverbindung M, in Betracht kommen. Über den Zustand der Leitungsverbindung  $c_b$  und der Lampe Lb im anderen Strompfad wird keine Aussage gemacht, da sie für den aufgetretenen Fehler nicht relevant sind. Die Fehleraussage ist daher relativ vage.

[0027] Die zweite Zeile der Zustandstabelle ZT von Fig. 7 gibt an, daß die Eingangsgröße A aktiv, die Eingangsgröße B inaktiv, die Spannung  $U_a$  aktiv und die Stromstärke  $I_a$  inaktiv, d.h. nicht meßbar, sind, wobei wiederum die Lampe La nicht brennt. In diesem Fall ist nun jedoch die Spannung  $U_b$  im anderen Strompfad aktiv, d.h. vorhanden, während die zugehörige Stromstärke  $I_b$  als inaktiv gemessen wird. Die Betrachtung dieser Prozeßgrößen-Zustandskombination ergibt, daß dieser Fehler nur auftreten kann, wenn die gemeinsame Masseverbindung M unterbrochen ist, da die Spannung  $U_b$  als aktiv gemessen wird, während die Eingangsgröße B inaktiv ist. Dies ist somit eine eindeutige Fehleraussage, und es erscheint in der rechten Hälfte dieser zweiten Zeile nur die Masseverbindung M als fehlerverdächtige Systemkomponente.

[0028] Im Beispielfall von Zeile 3 der Zustandstabelle ZT von Fig. 7 sind beide Eingangsgrößen A, B und beide Spannungen  $U_a$ ,  $U_b$  aktiv, während die Stromstärke  $I_a$  im einen Strompfad inaktiv und die Stromstärke  $I_b$  im anderen Strompfad aktiv ist, d.h. die Lampe Lb brennt, die Lampe La jedoch nicht. Die Betrachtung dieser Prozeßgrößen-Zustandskombination ergibt, daß wegen der aktiven Stromstärke  $I_b$  und dem Brennen der Lampe Lb eine Unterbrechung an der gemeinsamen Masseverbindung M und mit großer Wahrscheinlichkeit auch an den beiden Steckverbindungen S1, S2 nicht vorliegt. Nicht in die Beurteilung einbezogen wird der Fall, daß an den Steckverbindungen S1, S2 nur ein Teil

der Kontakte Verbindung hat, weil beispielsweise der Stecker nicht richtig in der zugehörigen Kupplung sitzt. Als mögliche Fehlerursachen bleiben dann nur eine Unterbrechung der Verbindungsleitung ca oder eine defekte Lampe La, wie dies in der rechten Hälfte der dritten Zeile der Zustandstabelle ZT von Fig. 7 angegeben ist. Mit entsprechend höherem Aufwand kann auch der Fall nur teilweiser Kontaktierungen der jeweiligen Steckverbindung S1, S2 berücksichtigt werden.

[0029] Durch analoge Betrachtungen, wie sie oben für eine ausgewählte Funktionsgruppe anhand der Fig. 5 bis 7 beschrieben sind, lassen sich alle übrigen unabhängigen Funktionsgruppen eines zu diagnostizierenden technischen Systems auf das Auftreten von Fehlern in einer oder mehreren Systemkomponenten überwachen. Das Beispiel der Fig. 5 bis 7 zeigt auch, wie durch die Heranziehung einer zusätzlichen Prozeßgröße für die Beurteilung weitere, z.B. drei, mögliche Fehlerquellen ausgeschlossen werden können. Die erfindungsgemäße Diagnoseeinrichtung ist mit ihrem Diagnosemodul in der Lage, verhältnismäßig rasch einen auftretenden Systemfehler und die diesen verursachende, fehlerhafte Systemkomponente mit relativ geringem Aufwand zu erkennen. Von Vorteil ist dabei unter anderem die Strukturierung der fehlerrelevanten Prozeßgrößen für einen jeweiligen Komponentenfehler in die unmittelbar mit diesem verknüpfte, meßbare primäre Prozeßgröße und die davon abhängigen sekundären Prozeßgrößen, auf die sich der Komponentenfehler indirekt auswirkt. Diese Strukturierung der Prozeßgrößen erlaubt es, nur die primären Prozeßgrößen am System laufend zu überwachen. Erst nach Auftreten eines Fehler-Zustands einer primären Prozeßgröße werden die Zustände der zugehörigen sekundären Prozeßgrößen am System abgefragt und ausgewertet. Durch die Vorabermittlung und Speicherung der Checkliste und der Zustandstabelle können dann im laufenden Systembetrieb anhand der ermittelten Zustandskombination für die primäre und die zugehörigen sekundären Prozeßgrößen die fehlerverdächtigen Systemkomponenten vom Diagnosemodul mit relativ geringer Rechenleistung schnell bestimmt und angezeigt werden.

#### Patentansprüche

1. Fehlerdiagnoseeinrichtung zur Erkennung fehlerhafter Komponenten eines technischen Systems (S) mit fehlerrelevanten Prozeßgrößen, deren Zustand sich bei Auftreten eines jeweiligen Komponentenfehlers von einem Fehlerfrei-Zustand in einen Fehler-Zustand ändert, indem ihr Zustandswert einen vorgegebenen Toleranzbereich verläßt, **gekennzeichnet durch** ein Diagnosemodul (D) mit folgenden Merkmalen:

- es enthält abgespeichert eine Checkliste (CL) und eine Zustandstabelle (ZT), die vorab durch

eine Komponentenfehlersimulation an einem generierten Funktionsmodell des Systems ermittelt werden, während der die fehlerrelevanten Prozeßgrößen für die jeweilige fehlerhafte Systemkomponente getrennt nach direkt komponentenfehlerindikativem, primären Prozeßgrößen, die durch das Auftreten des Fehlers in der betreffenden Systemkomponente einen vorgegebenen Toleranzbereich verlassen, und davon beeinflussten, sekundären Prozeßgrößen bestimmt werden, wobei die Checkliste in einer jeweiligen Teil-Checkliste (CL\_1, ..., CL\_n) für jede primäre Prozeßgröße die von dieser beeinflussten sekundären Prozeßgrößen angibt und die Zustandstabelle für jede Zustandskombination der fehlerrelevanten Prozeßgrößen die zugehörigen fehlerverdächtigen Systemkomponenten angibt; und

- es erfaßt während des Systembetriebs laufend die Zustandswerte jener Prozeßgrößen, die als primäre Prozeßgrößen auftreten können, ermittelt daraus deren Zustand und aktiviert, sobald es den Fehler-Zustand für eine dieser Prozeßgrößen feststellt, einen Diagnosevorgang, in welchem es der Checkliste die zu der im Fehler-Zustand befindlichen, primären Prozeßgröße gehörigen sekundären Prozeßgrößen entnimmt, deren Zustandswerte vom System (S) abfragt, daraus deren Zustand bestimmt, die so ermittelte Zustandskombination der fehlerrelevanten Prozeßgrößen mit den in der Zustandstabelle (ZT) abgespeicherten Zustandskombinationen vergleicht und bei Übereinstimmung mit einer der abgespeicherten Zustandskombinationen die in der Zustandstabelle zugehörig abgespeicherten fehlerverdächtigen Systemkomponenten feststellt.

2. Fehlerdiagnoseeinrichtung nach Anspruch 1, weiter

**dadurch gekennzeichnet, daß**

das Diagnosemodul (D) die im jeweiligen Diagnosevorgang als fehlerverdächtig festgestellten Systemkomponenten nach einer für jede Systemkomponente empirisch festgelegten Fehlerwahrscheinlichkeit geordnet anzeigt.

3. Fehlerdiagnoseeinrichtung nach Anspruch 1 oder 2, weiter

**dadurch gekennzeichnet, daß**

das Diagnosemodul (D) die Ergebnisinformationen des jeweiligen Diagnosevorgangs über die auslösende primäre Prozeßgröße, die hierzu ermittelte Zustandskombination der fehlerrelevanten Prozeßgrößen und die zugehörigen fehlerverdächtigsten Systemkomponenten in einem Diagnoseergebnisspeicher (E) abspeichert.

4. Fehlerdiagnoseeinrichtung nach Anspruch 3, weiter

**dadurch gekennzeichnet, daß**

das Diagnosemodul (D) während eines laufenden Diagnosevorgangs die im Diagnoseergebnisspeicher (E) abgespeicherten Informationen vorangegangener Diagnosevorgänge bei der Abfrage und anschließenden Auswertung der Zustände der beteiligten fehlerrelevanten Prozeßgrößen heranzieht.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

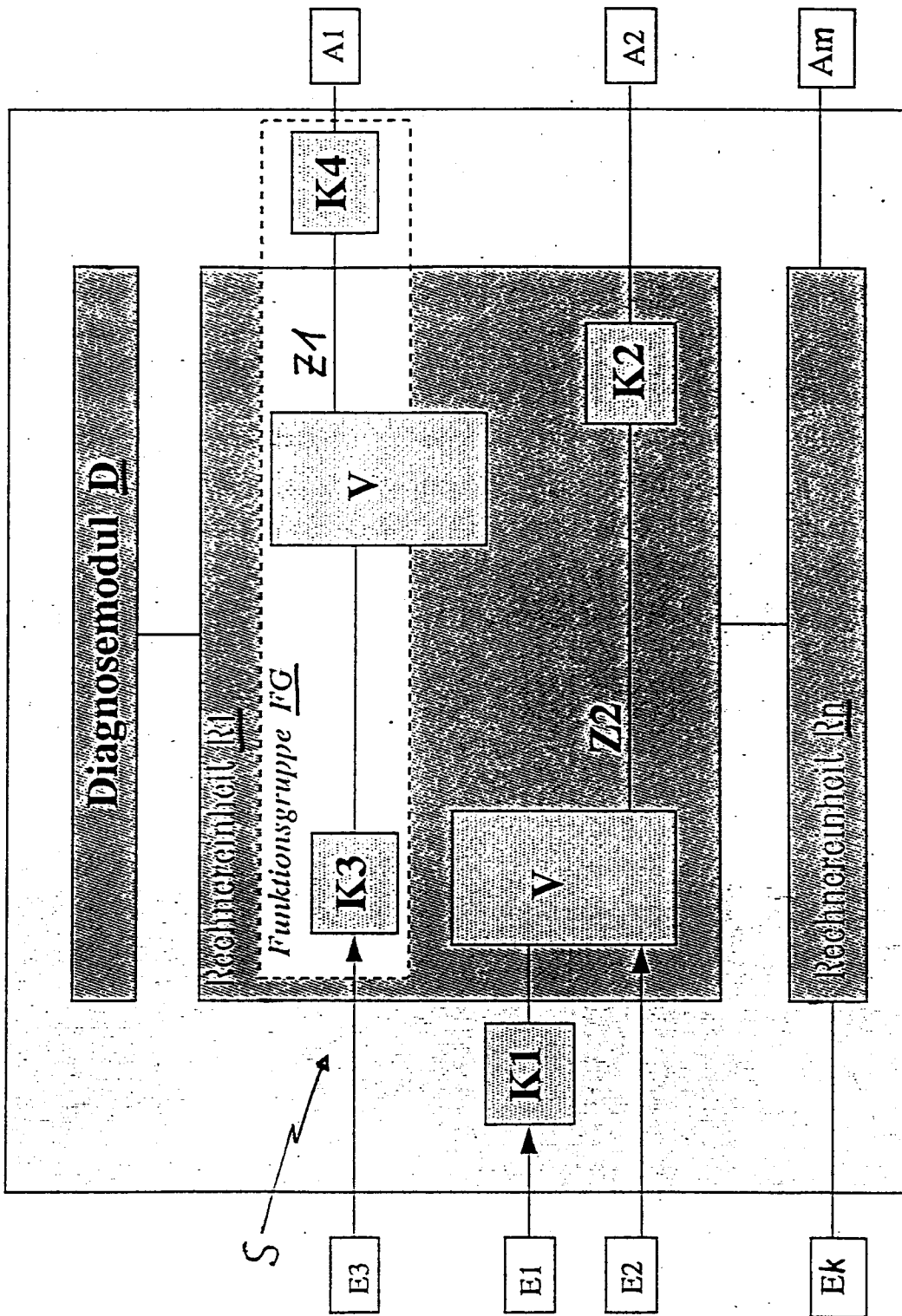


Fig. 1

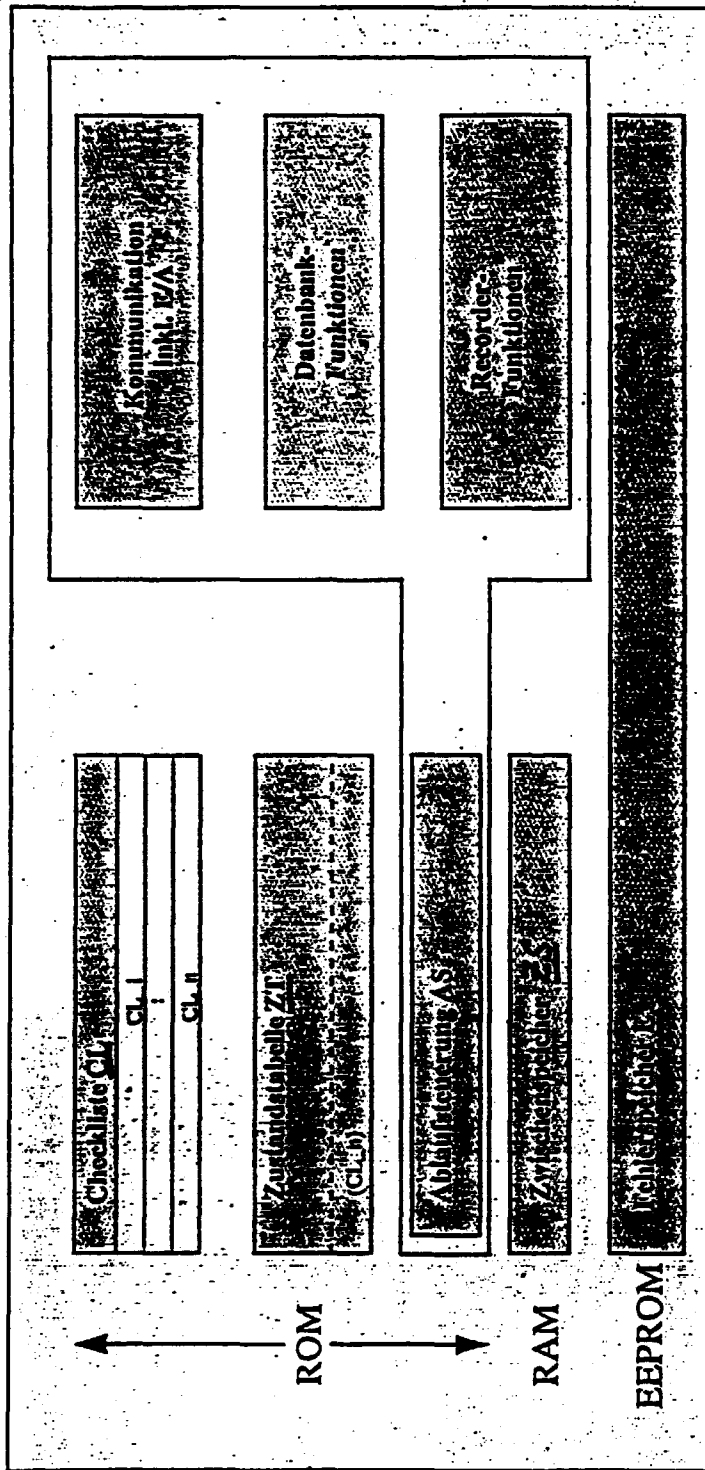


Fig. 2

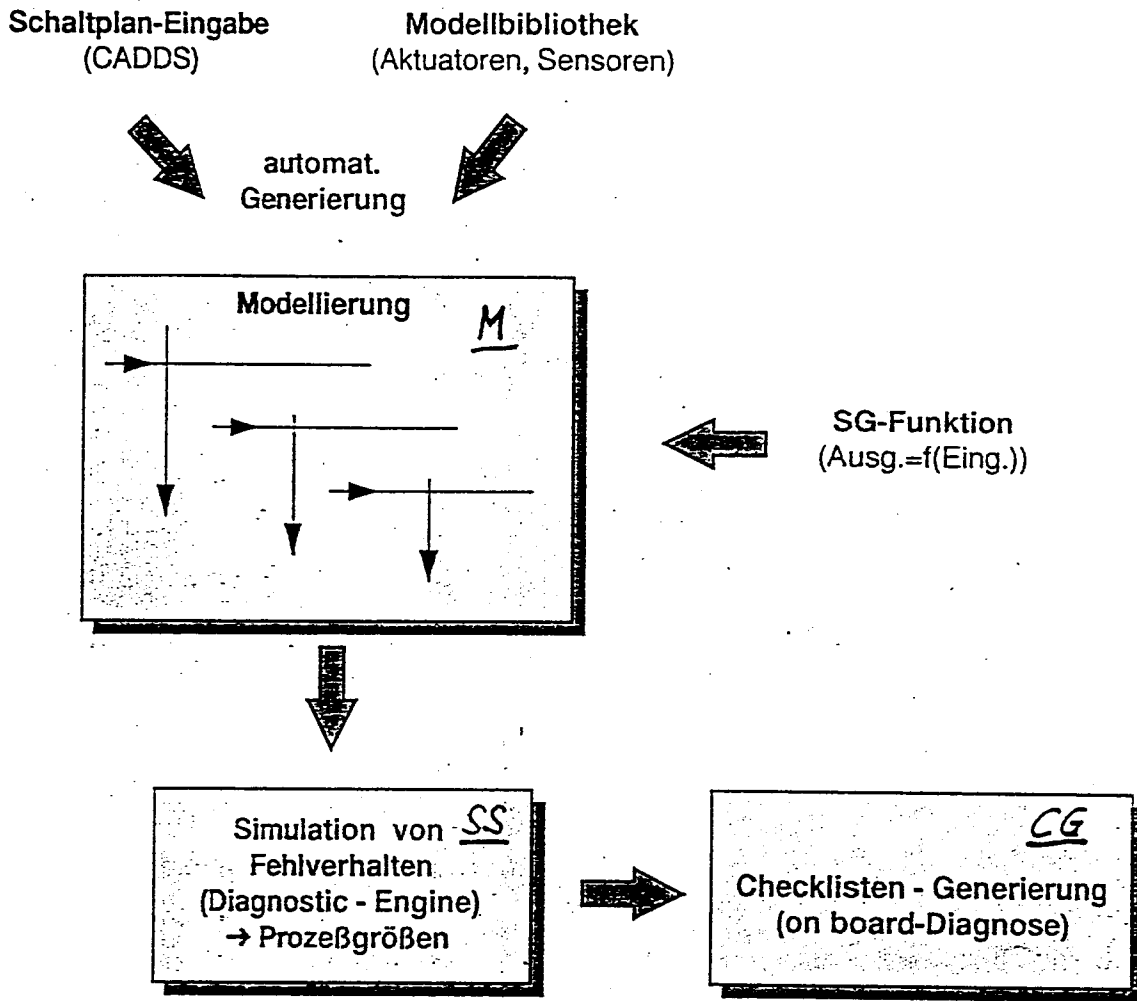


Fig. 3

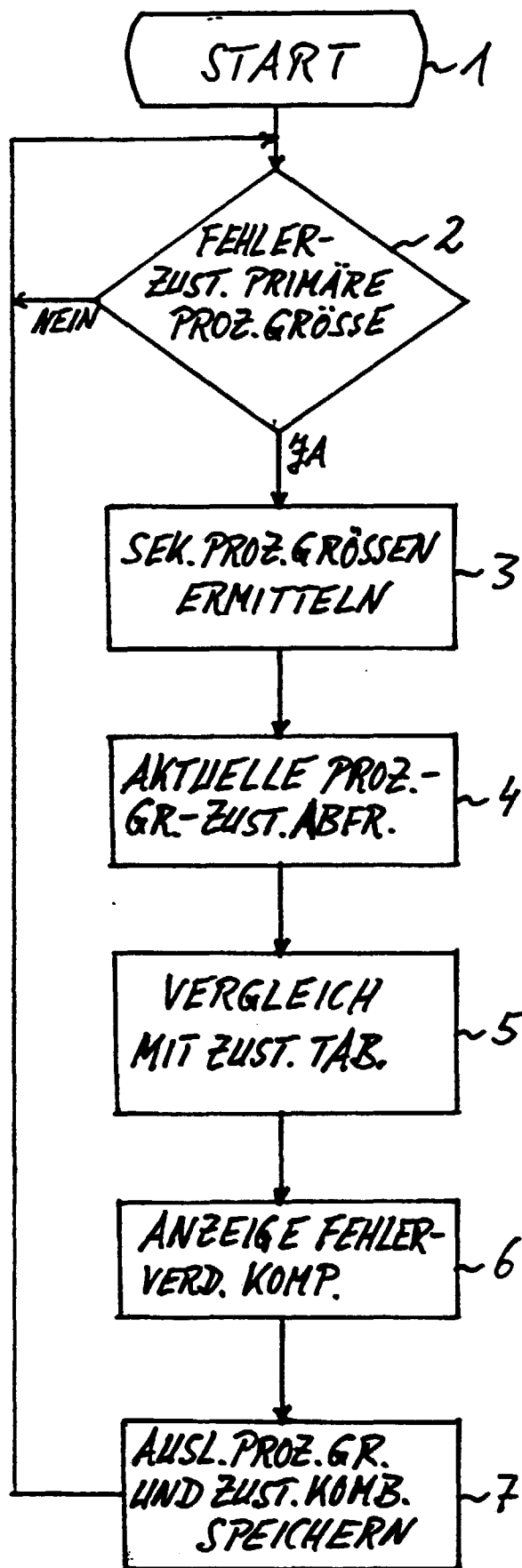


Fig. 4

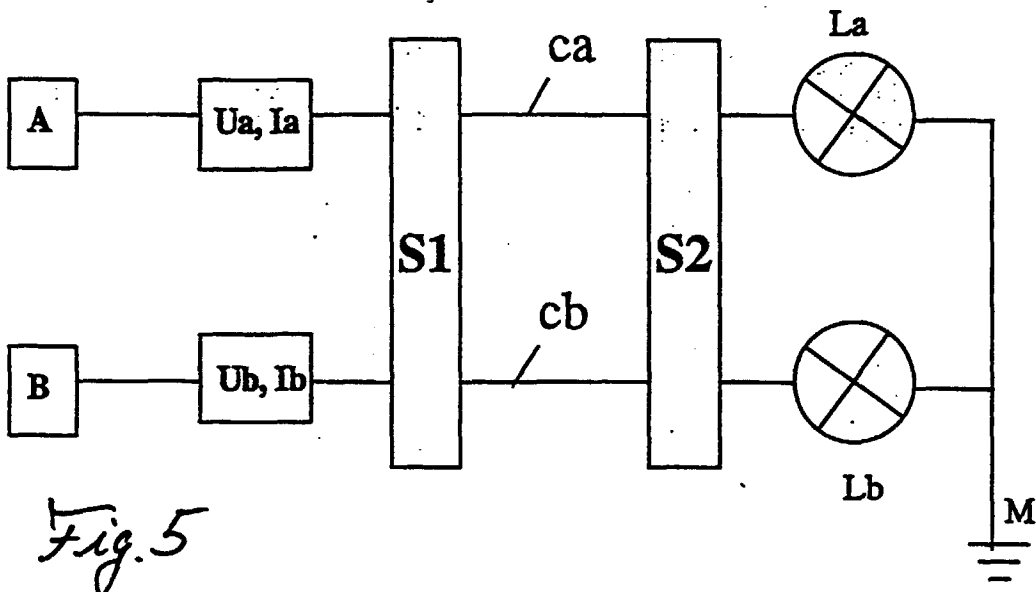


Fig. 5

CL_1	A
CL_1	Ua
CL_1	Ia
CL_1	B
CL_1	Ub
CL_1	Ib

Fig. 6

Teil-Checklisten	A	B	Ua	Ia	Ub	Ib						
:												
CL_1	1	0	1	0	0	0	S1	S2	ca		La	M
CL_1	1	0	1	0	1	0						M
CL_1	1	1	1	0	1	1			ca		La	
:												

Fig. 7

ZT