



(12) **Veröffentlichung**

der internationalen Anmeldung mit der
(87) Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2023/127319**
in der deutschen Übersetzung (Art. III § 8 Abs. 2
IntPatÜbkG)
(21) Deutsches Aktenzeichen: **11 2022 006 246.0**
(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/JP2022/041695**
(86) PCT-Anmeldetag: **09.11.2022**
(87) PCT-Veröffentlichungstag: **06.07.2023**
(43) Veröffentlichungstag der PCT Anmeldung
in deutscher Übersetzung: **10.10.2024**

(51) Int Cl.: **G01R 31/392 (2019.01)**
G01R 31/389 (2019.01)

(30) Unionspriorität:
2021-214442 **28.12.2021** **JP**

(71) Anmelder:
DENSO CORPORATION, Kariya-city, Aichi, JP

(74) Vertreter:
TBK, 80336 München, DE

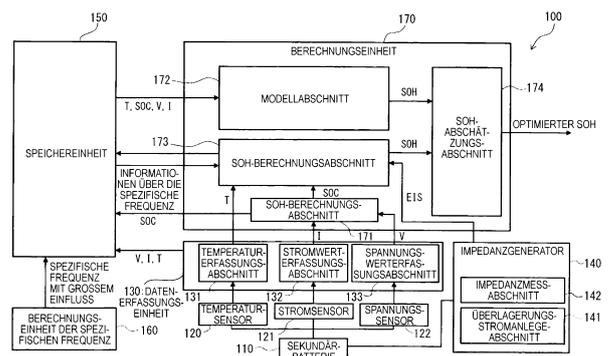
(72) Erfinder:
Shimonishi, Yuta, Kariya-city, Aichi-pref., JP;
Yoshida, Shuhei, Kariya-city, Aichi-pref., JP

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **BATTERIEDIAGNOSESYSTEM**

(57) Zusammenfassung: Ein Batteriediagnosesystem (100), das einen SOH schätzt, der einen Grad der Verschlechterung einer Sekundärbatterie (110) angibt, beinhaltet einen Modellabschnitt (172), einen SOH-Berechnungsabschnitt (173) und einen SOH-Abschätzungsabschnitt (174). Der Modellabschnitt erfasst Nutzungshistoriendaten, die einen Nutzungszustand der Sekundärbatterie angeben, und berechnet den SOH basierend auf den Nutzungshistoriendaten. Der SOH-Berechnungsabschnitt erfasst physikalische Größen, die sich in Abhängigkeit vom Grad der Verschlechterung der Sekundärbatterie ändern, als Erfassungsdaten und berechnet den SOH basierend auf den Erfassungsdaten. Basierend auf dem vom Modellabschnitt berechneten SOH und dem vom SOH-Berechnungsabschnitt berechneten SOH kombiniert der SOH-Abschätzungsabschnitt beide Berechnungsergebnisse, um einen optimalen SOH abzuschätzen.



Beschreibung**QUERVERWEIS AUF ZUGEHÖRIGE ANWENDUNGEN**

[0001] Diese Anmeldung basiert auf der japanischen Patentanmeldung Nr. 2021-214442, die am 28. Dezember 2021 eingereicht wurde und deren Inhalt hier durch Bezugnahme aufgenommen wird.

TECHNISCHES GEBIET

[0002] Die vorliegende Offenbarung betrifft ein Batteriediagnosesystem.

HINTERGRUND DER ERFINDUNG

[0003] Herkömmlicherweise wird ein Verfahren zur Diagnose der Restlebensdauer eines Sekundärbatteriemoduls vorgeschlagen, zum Beispiel in Patentdokument 1. Konkret erfasst eine Restlebensdauerdiagnosevorrichtung Ladeinformationen eines Sekundärbatteriemoduls von einem Ladegerät und berechnet basierend auf den Ladeinformationen einen Grad der Verschlechterung des Sekundärbatteriemoduls als tatsächlichen Wert. Dabei ist der Grad der Verschlechterung eine aktuelle Vollladekapazität relativ zur Kapazität einer neuen Batterie. Der Grad der Verschlechterung ist ein Gesundheitszustand (engl.: „State of Health“, SOH). Ferner erfasst die Restlebensdauerdiagnosevorrichtung Ausgangsinformationen des Sekundärbatteriemoduls und berechnet unter Verwendung einer Vorhersageformel basierend auf den Ausgangsinformationen einen Vorhersagewert für den Grad der Verschlechterung.

[0004] Dann vergleicht die Restlebensdauerdiagnosevorrichtung einen tatsächlichen Messwert mit einem vorhergesagten Wert und berechnet die Restlebensdauer, wenn eine Differenz zwischen dem tatsächlichen Messwert und dem vorhergesagten Wert kleiner oder gleich einem vorbestimmten Wert ist. Wenn die Differenz zwischen dem tatsächlichen Messwert und dem vorhergesagten Wert den vorbestimmten Wert übersteigt, korrigiert die Restlebensdauerdiagnosevorrichtung die Vorhersageformel basierend auf dem tatsächlichen Messwert. Die Restlebensdauerdiagnosevorrichtung berechnet den vorhergesagten Wert erneut unter Verwendung der korrigierten Vorhersageformel und berechnet die Restlebensdauer, wenn die Differenz zwischen dem tatsächlichen Messwert und dem vorhergesagten Wert kleiner als oder gleich dem vorherbestimmten Wert ist.

PATENTLITERATUR

[0005] Patentdokument 1: JP 2020-119658 A

ERFINDUNGSZUSAMMENFASSUNG

[0006] Bei der vorstehend erwähnten herkömmlichen Technologie wird jedoch der tatsächliche Wert als Grad der Verschlechterung des Sekundärbatteriemoduls, der von der Restlebensdauerdiagnosevorrichtung berechnet wird, basierend auf einer Abschnittskapazitätsmessung durch Stromintegration erhalten. Da der tatsächliche Messwert Erfassungsfehler im Ladegerät und logische Fehler im Berechnungsprozess beinhaltet, ist es aus diesem Grund schwierig, die Restlebensdauer mit hoher Genauigkeit vorherzusagen.

[0007] In Anbetracht der vorstehenden Punkte zielt die vorliegende Offenbarung darauf ab, ein Batteriediagnosesystem bereitzustellen, das die Genauigkeit beim Abschätzen des SOH einer Sekundärbatterie verbessern kann.

[0008] Gemäß der ersten und zweiten Ausgestaltung der vorliegenden Offenbarung schätzt das Batteriediagnosesystem den SOH ab, der den Grad der Verschlechterung der Sekundärbatterie angibt.

[0009] In einer ersten Ausgestaltung beinhaltet ein Batteriediagnosesystem einen Modellabschnitt, einen SOH-Berechnungsabschnitt und einen SOH-Abschätzungsabschnitt.

[0010] Der Modellabschnitt erfasst Nutzungshistoriendaten, die einen Nutzungszustand der Sekundärbatterie angeben, und berechnet den SOH basierend auf den Nutzungshistoriendaten. Der SOH-Berechnungsabschnitt erfasst physikalische Größen, die sich in Abhängigkeit vom Grad der Verschlechterung der Sekundärbatterie ändern, als Erfassungsdaten und berechnet den SOH basierend auf den Erfassungsdaten. Basierend auf dem vom Modellabschnitt berechneten SOH und dem vom SOH-Berechnungsabschnitt berechneten SOH kombiniert der SOH-Abschätzungsabschnitt beide Berechnungsergebnisse, um einen optimalen SOH abzuschätzen.

[0011] Gemäß dieser Konfiguration werden sowohl die durch Zellvariationen in der Sekundärbatterie verursachten Fehler, die im Modellabschnitt auftreten, als auch die Erfassungsfehler, die im SOH-Berechnungsabschnitt auftreten, im SOH-Abschätzungsabschnitt optimiert. Daher kann der Einfluss des vom SOH-Berechnungsabschnitt berechneten SOH-Erfassungsfehlers reduziert werden. Somit kann die Genauigkeit der Abschätzung des SOH der Sekundärbatterie verbessert werden.

[0012] In einer zweiten Ausgestaltung beinhaltet das Batteriediagnosesystem eine Datenerfassungseinheit, eine Datenverarbeitungseinheit und eine Berechnungseinheit.

[0013] Die Datenerfassungseinheit erfasst Zeitreihendaten, die den Nutzungszustand der Sekundärbatterie angeben. Die Datenverarbeitungseinheit erfasst Zeitreihendaten von der Datenerfassungseinheit und verarbeitet die Zeitreihendaten als Histogramm Daten.

[0014] Die Berechnungseinheit berechnet den SOH als einen abgeschätzten Wert unter Verwendung entweder der von der Datenerfassungseinheit erfassten Zeitreihendaten oder der von der Datenverarbeitungseinheit erfassten Histogramm Daten basierend auf einem voreingestellten Berechnungsmodell.

[0015] Gemäß dieser Konfiguration wird der SOH entweder unter Verwendung von Zeitreihendaten oder Histogramm Daten der Sekundärbatterie abgeschätzt. Daher kann das Vorhandensein von Fehlern, wie z. B. Erfassungsfehlern, stärker reduziert werden als bei der aktuellen Integrationsmethode. Daher kann die Genauigkeit der Abschätzung des SOH der Sekundärbatterie verbessert werden.

KURZBESCHREIBUNG DER ZEICHNUNG

[0016] Die vorstehenden und andere Ziele, Merkmale und Vorteile der vorliegenden Offenbarung werden aus der nachstehenden detaillierten Beschreibung unter Bezugnahme auf die beigefügte Zeichnung klarer verstanden werden. In der Zeichnung zeigt:

Fig. 1 ein Diagramm, das die Konfiguration eines Batteriediagnosesystems gemäß einem ersten Ausführungsbeispiel zeigt;

Fig. 2 ein Diagramm, das die Vorverarbeitung, um eine spezifische Frequenz im Voraus zu erhalten, und die Verarbeitung zur Berechnung des SOH unter Verwendung der spezifischen Frequenz, zeigt;

Fig. 3 ein Diagramm, das eine Korrelation zwischen einer Beziehung zwischen einer imaginären Komponente Z_{image} einer Impedanz und SOH und einer Frequenz zeigt;

Fig. 4 ein Diagramm, das spezifische Frequenzen in Bezug auf eine Anzahl von Dimensionen zeigt;

Fig. 5 ein Diagramm, das jeden Fehler von Lerndaten, Kreuzvalidierungsdaten und Verifikationsdaten für jede Anzahl von Dimensionen zeigt;

Fig. 6 ein Diagramm, in dem eine reale Komponente Z_{real} und eine imaginäre Komponente Z_{image} der von einem Impedanzgenerator gemessenen Impedanz für jede Frequenz aufgetragen sind;

Fig. 7 ein Diagramm, das einen abgeschätzten Wert des SOH durch einen SOH-Berechnungs-

abschnitt und einen tatsächlichen Messwert des SOH zeigt, wenn eine Temperatur der Sekundärbatterie 45°C beträgt und der Ladezustand (engl.: „State of Charge“, SOC) zwischen 30% und 90% geladen und entladen wird;

Fig. 8 ein Diagramm, das den abgeschätzten Wert des SOH durch den SOH-Berechnungsabschnitt und den tatsächlichen Messwert des SOH zeigt, wenn die Temperatur der Sekundärbatterie 10°C beträgt und der SOC zwischen 10% und 90% geladen und entladen wird;

Fig. 9 ein Diagramm, das die Fehler der Berechnungsergebnisse des SOH-Abschätzungsabschnitts, des SOH-Berechnungsabschnitts und des Modellabschnitts in Bezug auf die tatsächlich gemessenen SOH-Werte für die Verschlechterungsbedingungen A, B und C zeigt;

Fig. 10 ein Diagramm, das die Berechnungsergebnisse des SOH-Abschätzungsabschnitts, des SOH-Berechnungsabschnitts und des Modellabschnitts sowie den tatsächlichen Messwert des SOH für die Verschlechterungsbedingung A zeigt;

Fig. 11 ein Diagramm, das die Berechnungsergebnisse des SOH-Abschätzungsabschnitts, des SOH-Berechnungsabschnitts und des Modellabschnitts sowie den tatsächlichen Messwert des SOH für die Verschlechterungsbedingung B zeigt;

Fig. 12 ein Diagramm, das die Berechnungsergebnisse des SOH-Abschätzungsabschnitts, des SOH-Berechnungsabschnitts und des Modellabschnitts sowie den tatsächlichen Messwert des SOH für die Verschlechterungsbedingung C zeigt;

Fig. 13 ein Diagramm, das den Ablauf einer Vorverarbeitung und Berechnung von Erfassungsdaten gemäß einem zweiten Ausführungsbeispiel zeigt;

Fig. 14 ein Diagramm, das den Ablauf einer Vorverarbeitung und Berechnung von Erfassungsdaten gemäß einem dritten Ausführungsbeispiel zeigt;

Fig. 15 ein Diagramm, das eine Konfiguration eines Batteriediagnosesystems gemäß einem vierten Ausführungsbeispiel zeigt;

Fig. 16 ein Diagramm, das den Ablauf der Berechnung des SOH gemäß dem vierten Ausführungsbeispiel zeigt;

Fig. 17 ein Diagramm, das die Genauigkeit der Berechnungsergebnisse zeigt, wenn das Produkt der Parameter in die Berechnung des SOH einbezogen wird; und

Fig. 18 ein Diagramm, das die Genauigkeit der Berechnungsergebnisse zeigt, wenn das Produkt der Parameter nicht in die Berechnung des SOH einbezogen wird.

DETAILLIERTE BESCHREIBUNG DER AUSFÜHRUNGSBEISPIELE

[0017] Nachstehend sind unter Bezugnahme auf die Zeichnung Ausführungsbeispiele zur Durchführung der vorliegenden Offenbarung beschrieben. In den jeweiligen Ausführungsbeispielen sind Teile, die den bereits in den vorangegangenen Ausführungsbeispielen beschriebenen Gegenständen entsprechen, mit den gleichen Bezugsnummern versehen wie die bereits beschriebenen Gegenstände. Dieselbe Beschreibung wird daher je nach den Umständen weggelassen. Wenn in jedem Ausführungsbeispiel nur ein Teil der Konfiguration beschrieben ist, können die anderen vorstehend beschriebenen Ausführungsbeispiele auf den anderen Teil der Konfiguration angewendet werden. Die vorliegende Offenbarung ist nicht auf Kombinationen von Ausführungsbeispielen beschränkt, die Teile kombinieren, die ausdrücklich als kombinierbar beschrieben sind. Solange es keine Probleme gibt, können die verschiedenen Ausführungsbeispiele teilweise miteinander kombiniert werden, auch wenn sie nicht ausdrücklich beschrieben sind.

(Erstes Ausführungsbeispiel)

[0018] Nachstehend ist ein erstes Ausführungsbeispiel unter Bezugnahme auf die Zeichnung beschrieben. Ein Batteriediagnosesystem gemäß dem vorliegenden Ausführungsbeispiel ist ein System, das einen SOH abschätzt, der einen Grad der Verschlechterung einer Sekundärbatterie angibt.

[0019] Wie in **Fig. 1** dargestellt ist, beinhaltet das Batteriediagnosesystem 100 eine Sekundärbatterie 110, einen Temperatursensor 120, einen Stromsensor 121, einen Spannungssensor 122 und eine Datenerfassungseinheit 130. Das Batteriediagnosesystem 100 beinhaltet auch einen Impedanzgenerator 140, eine Speichereinheit 150, eine Berechnungseinheit der spezifischen Frequenz 160 und eine Berechnungseinheit 170.

[0020] Die Sekundärbatterie 110 ist ein Batteriemodul, in dem eine Vielzahl von Batteriezellen in Reihe geschaltet sind. Jede Batteriezelle ist beispielsweise eine Lithium-Ionen-Sekundärbatterie. Die Sekundärbatterie 110 stellt eine Stromversorgungseinheit eines Elektrofahrzeugs, wie z. B. eines Elektroautos oder eines Hybridautos, dar. Das Batteriemodul kann eine Konfiguration aufweisen, bei der jede Batteriezelle parallel geschaltet ist.

[0021] Der Temperatursensor 120 misst die Temperatur der Sekundärbatterie 110. Der Temperatursensor 120 ist in der Sekundärbatterie 110 eingebaut. Der Stromsensor 121 misst einen Stromwert der Sekundärbatterie 110. Der Stromsensor 121 ist mit der Sekundärbatterie 110 verbunden. Der Spannungssensor 122 misst einen Spannungswert der Sekundärbatterie 110. Der Spannungssensor 122 ist mit der Sekundärbatterie 110 verbunden. Jeder der Sensoren 120 bis 122 gibt zu jeder Zeit ein Erfassungssignal an die Datenerfassungseinheit 130 aus.

[0022] Die Datenerfassungseinheit 130 erfasst periodisch alle Daten der Temperatur, des Stromwertes und des Spannungswertes der Sekundärbatterie 110. Aus diesem Grund beinhaltet die Datenerfassungseinheit 130 einen Temperaturerfassungsabschnitt 131, einen Stromwerterfassungsabschnitt 132 und einen Spannungswert erfassungsabschnitt 133.

[0023] Der Temperaturerfassungsabschnitt 131 erfasst periodisch Informationen über die vom Temperatursensor 120 gemessene Temperatur T der Sekundärbatterie 110. Zum Beispiel berechnet der Temperaturerfassungsabschnitt 131 die Temperatur T aus der über einen bestimmten Zeitraum erfassten Temperaturverteilung der Sekundärbatterie 110. Die Temperatur T kann z. B. ein Durchschnittswert sein, der aus einer über einen bestimmten Zeitraum erfassten Häufigkeitsverteilung der Temperatur der Sekundärbatterie 110 berechnet wird. Der Temperaturerfassungsabschnitt 131 gibt Informationen über die Temperatur T der Sekundärbatterie 110 an die Berechnungseinheit 170 aus.

[0024] Als Temperatur T kann zur Verringerung des Rechenaufwands z. B. auch ein Durchschnittswert der über einen bestimmten Zeitraum erfassten Temperaturen der Sekundärbatterie 110, verwendet werden.

[0025] Der Stromwerterfassungsabschnitt 132 erfasst periodisch Informationen über den vom Stromsensor 121 gemessenen Strom I der Sekundärbatterie 110. Beispielsweise berechnet der Stromwerterfassungsabschnitt 132 den Strom I aus der über einen bestimmten Zeitraum erfassten Verteilung des Stroms der Sekundärbatterie 110. Der Strom I kann zum Beispiel ein Durchschnittswert sein, der aus der Häufigkeitsverteilung des über einen bestimmten Zeitraum erfassten Stroms der Sekundärbatterie 110 berechnet wird. Der Stromwerterfassungsabschnitt 132 gibt Informationen über den Strom I der Sekundärbatterie 110 an die Berechnungseinheit 170 aus.

[0026] Als Strom I kann zur Verringerung des Rechenaufwands z. B. auch ein über einen bestimm-

ten Zeitraum erfasster Durchschnittswert des Stroms der Sekundärbatterie 110 verwendet werden.

[0027] Der Spannungswerterfassungsabschnitt 133 erfasst periodisch Informationen über die vom Spannungssensor 122 gemessene Spannung V der Sekundärbatterie 110. Die Spannung V kann zum Beispiel ein Durchschnittswert sein, der aus einer Häufigkeitsverteilung der über einen bestimmten Zeitraum erfassten Spannungswerte der Sekundärbatterie 110 berechnet wird. Der Spannungswerterfassungsabschnitt 133 gibt Informationen über die Spannung V der Sekundärbatterie 110 an die Berechnungseinheit 170 aus.

[0028] Als Spannung V kann zur Verringerung des Berechnungsaufwands z. B. auch ein über einen bestimmten Zeitraum erfasster Durchschnittswert der Spannung der Sekundärbatterie 110 verwendet werden. Darüber hinaus speichert die Datenerfassungseinheit 130 auch Informationen über die Temperatur T , die von dem Temperaturerfassungsabschnitt 131 erfasst wird, Informationen über den Strom I , der von dem Stromwerterfassungsabschnitt 132 erfasst wird, und Informationen über die Spannung V , die von der Spannungswerterfassungsabschnittseinheit 133 erfasst wird, in der Speichereinheit 150 als Nutzungshistoriendaten, die den Nutzungsstatus der Sekundärbatterie 110 angeben.

[0029] Die Nutzungshistoriendaten beinhalten Zeitreihendaten und Histogrammdaten. Zu den Zeitreihendaten gehören Daten über die Temperatur T , den SOC, die Spannung V und den Strom I der Sekundärbatterie 110. Die Histogrammdaten sind Daten, die durch Verarbeitung von Zeitreihendaten in ein Histogramm erhalten werden. Der SOC wird von der Berechnungseinheit 170 erfasst, was nachstehend beschrieben ist.

[0030] Der Impedanzgenerator 140 ist eine Vorrichtung, die die Impedanz der Sekundärbatterie 110 durch elektrochemische Impedanzspektroskopie (engl.: „electrochemical impedance spectroscopy“, EIS) erhält. Die Impedanz ist eine physikalische Größe, die sich in Abhängigkeit vom Grad der Verschlechterung der Sekundärbatterie 110 ändert. Bei den Impedanzdaten EIS handelt es sich um Erfassungsdaten, die vom Impedanzgenerator 140 gemessen werden. Der Impedanzgenerator 140 beinhaltet einen Überlagerungsstromanlegeabschnitt 141 und einen Impedanzmessabschnitt 142.

[0031] Der Überlagerungsstromanlegeabschnitt 141 legt an die Sekundärbatterie 110 einen überlagerten Strom an, bei dem eine Vielzahl von Frequenzkomponenten überlagert werden. Unter Verwendung des überlagerten Stroms ist es möglich, die Batteriespannung kollektiv zu erfassen, wenn

Ströme mit einer Vielzahl von Frequenzen an die Sekundärbatterie 110 angelegt werden.

[0032] Als überlagerter Strom können beispielsweise mehrere Sinuswellen verwendet werden. Als überlagerter Strom kann auch eine Rechteckwelle, eine Sägezahnwelle oder eine Dreieckswelle verwendet werden. Bei einer harmonischen Welle mit einer Grundfrequenz als Überlagerungsfrequenz nimmt der Stromwert bei jeder Erhöhung der Ordnung stark ab, während der Stromwert bei mehreren Sinuswellen nicht abnimmt. Durch die Verwendung mehrerer Sinuswellen als überlagerter Strom kann daher eine hohe Genauigkeit der Messung gewährleistet werden. Bei mehreren Sinuswellen ist die zu überlagernde Frequenz nicht besonders eingeschränkt und kann beliebig eingestellt werden.

[0033] Der Impedanzmessabschnitt 142 erhält den Stromwert des überlagerten Stroms, der durch den Überlagerungsstromanlegeabschnitt 141 an die Sekundärbatterie 110 angelegt wird. Außerdem erfasst der Impedanzmessabschnitt 142 eine Ansprechspannung, wenn der überlagerte Strom an die Sekundärbatterie 110 angelegt wird. Daher ist die Impedanz ein Wert, der durch Division der Ansprechspannung durch einen Wechselstrom als komplexe Zahl mit Informationen über einen Absolutwert und eine Phase berechnet wird, nachdem die Ansprechspannung entsprechend dem an die Sekundärbatterie 110 angelegten Wechselstrom gemessen wurde. Das heißt, die Impedanz umfasst eine reale Komponente Z_{real} und eine imaginäre Komponente Z_{im} .

[0034] Konkret berechnet der Impedanzmessabschnitt 142 die Impedanz der Sekundärbatterie 110 für jede der Vielzahl von Frequenzkomponenten unter Verwendung einer diskreten Fourier-Transformation. Als Stromwert und Spannungswert zum Zeitpunkt des Anlegens des überlagerten Stroms können Erfassungswerte des Stromsensors 121 und des Spannungssensors 122 verwendet werden. Als diskrete Fourier-Transformation kann eine schnelle diskrete Fourier-Transformation (FFT) verwendet werden.

[0035] Der Impedanzgenerator 140 gibt die berechnete Impedanz für jede der Vielzahl von Frequenzkomponenten an die Berechnungseinheit 170 aus. Der Impedanzgenerator 140 kann die Impedanzdaten in der Speichereinheit 150 speichern.

[0036] Der Impedanzgenerator 140 kann beispielsweise unter Verwendung einer Leistungsumwandlungsvorrichtung konfiguriert werden, die eine Leistungssteuereinheit im Fahrzeug darstellt. Dadurch muss der Impedanzgenerator 140 einschließlich des Überlagerungsstromgenerators nicht separat bereitgestellt werden. Es kann ein großer überlager-

ter Strom erzeugt werden. Damit kann eine für die On-Board-Diagnose der Sekundärbatterie 110 für den Fahrzeugeinbau geeignete Konfiguration der Vorrichtung erreicht werden. Alternativ kann die Überlagerungsstromerzeugungseinheit in einer nicht dargestellten fahrzeuginternen Ladevorrichtung oder einer außerhalb bereitgestellten Ladevorrichtung angeordnet sein.

[0037] Die Berechnungseinheit der spezifischen Frequenz 160 ist eine Vorrichtung, die durch die elektrochemische Impedanzspektroskopie im Voraus Informationen über eine spezifische Frequenz erhält, die für die Berechnung des optimalen SOH der Sekundärbatterie 110 erforderlich ist. Die Berechnungseinheit der spezifischen Frequenz 160 kann im Fahrzeug installiert sein oder auch nicht.

[0038] Das heißt, die spezifische Frequenz ist eine Frequenz, die durch maschinelles Lernen unter Verwendung der im Voraus erfassten Impedanzdaten EIS der Sekundärbatterie 110 bestimmt wird. Außerdem ist die spezifische Frequenz eine Frequenz, die einen großen Einfluss auf den SOH der Sekundärbatterie 110 hat.

[0039] Der optimale SOH ist der schließlich von der Berechnungseinheit 170 abgeschätzte SOH. Der Grad des Einflusses der Sekundärbatterie 110 auf den SOH entspricht der Stärke der Korrelation zwischen der imaginären Komponente Zimage der Impedanz und dem SOH. Die spezifische Frequenz ist z.B. eine spezifische Frequenz in einem Frequenzbereich größer als 1 Hz, vorzugsweise größer als 10 Hz.

[0040] Der Aufbau der Sekundärbatterie 110 unterscheidet sich je nach dem Elektrofahrzeug, in das sie eingebaut ist. Die Eigenschaften der Sekundärbatterie 110 unterscheiden sich z. B. je nach Fahrzeugtyp. Daher unterscheidet sich die spezifische Frequenz je nach der Konfiguration der Sekundärbatterie 110. Die Berechnungseinheit der spezifischen Frequenz 160 wird verwendet, um eine spezifische Frequenz zu erhalten, die der im Elektrofahrzeug montierten Sekundärbatterie 110 entspricht. Das Verfahren zum Erhalten der spezifischen Frequenz ist nachstehend erläutert.

[0041] Die Speichereinheit 150 ist beispielsweise ein wiederbeschreibbarer nichtflüchtiger Speicher. Die Speichereinheit 150 speichert Programme zum Steuern der Datenerfassungseinheit 130, des Impedanzgenerators 140 und der Berechnungseinheit 170. Darüber hinaus speichert die Speichereinheit 150 die von der Datenerfassungseinheit 130 und der Berechnungseinheit 170 eingegebenen Nutzungshistoriendaten nach Bedarf.

[0042] Außerdem speichert die Speichereinheit 150 Informationen über eine Vielzahl spezifischer Frequenzen innerhalb des Frequenzbereichs, der bei den Messungen der elektrochemischen Impedanzspektroskopie im Impedanzgenerator 140 verwendet wird. Die Informationen über eine Vielzahl spezifischer Frequenzen werden im Voraus von der Berechnungseinheit der spezifischen Frequenz 160 eingegeben.

[0043] Die Berechnungseinheit 170 schätzt den optimalen SOH der Sekundärbatterie 110 ab. Die Berechnungseinheit 170 ist durch eine Vorrichtung wie z. B. einen Prozessor dazu eingerichtet. Die Berechnungseinheit 170 beinhaltet einen SOC-Berechnungsabschnitt 171, einen Modellabschnitt 172, einen SOH-Berechnungsabschnitt 173 und einen SOH-Abschätzungsabschnitt 174.

[0044] Der SOC-Berechnungsabschnitt 171 berechnet eine Laderate, die die verbleibende Batteriekapazität der Sekundärbatterie 110 angibt. Die Laderate der Sekundärbatterie 110 wird als Prozentsatz der verbleibenden Kapazität zur vollständig geladenen Kapazität der Sekundärbatterie 110 ausgedrückt. Die Laderate der Sekundärbatterie 110 ist der SOC (State Of Charge).

[0045] Beispielsweise berechnet der SOC-Berechnungsabschnitt 171 den integrierten Wert des vom Stromwerterfassungsabschnitt 132 erfassten Stromwerts der Sekundärbatterie 110 und berechnet basierend auf dem integrierten Wert die Laderate der Sekundärbatterie 110. Die von dem SOC-Berechnungsabschnitt 171 berechneten SOC-Informationen werden in der Speichereinheit 150 gespeichert und an den SOH-Berechnungsabschnitt 173 ausgegeben.

[0046] Der Modellabschnitt 172 erfasst die Nutzungshistoriendaten der Sekundärbatterie 110 von der Speichereinheit 150. Außerdem berechnet der Modellabschnitt 172 den SOH durch Anwenden der Nutzungshistoriendaten auf eine theoretische Formel, die ein voreingestelltes Berechnungsmodell ist. Der Modellabschnitt 172 gibt den berechneten SOH an den SOH-Abschätzungsabschnitt 174 aus.

[0047] Der SOH-Berechnungsabschnitt 173 erfasst Impedanzdaten EIS vom Impedanzgenerator 140 als Erfassungsdaten. Der SOH-Berechnungsabschnitt 173 wandelt die Impedanzdaten EIS unter Verwendung eines Temperaturumwandlungsmodells und eines SOC-Umwandlungsmodells in Daten bei einer voreingestellten Temperatur und einem voreingestellten SOC um. Die vorgegebene Temperatur beträgt beispielsweise 25°C. Der vorgegebene SOC-Wert beträgt beispielsweise 50 %. Dadurch ist es möglich, den SOH, der nicht von der Umgebung, in der sich die Sekundärbatterie 110 befindet, oder

dem Zustand der Sekundärbatterie 110 abhängt, zu berechnen.

[0048] Der SOH-Berechnungsabschnitt 173 verwendet nicht alle Impedanzdaten EIS, die der Messfrequenz entsprechen, sondern verwendet die Impedanzdaten EIS, die einer Vielzahl spezifischer Frequenzen entsprechen, die in der Speichereinheit 150 gespeichert ist. Das heißt, der SOH-Berechnungsabschnitt 173 berechnet den SOH basierend auf dem maschinellen Lernen unter Verwendung der Imaginärkomponente Z_{image} der Impedanz, die einer Vielzahl spezifischer Frequenzen unter den Impedanzdaten EIS entspricht, als Eingabe. Dadurch kann die Anzahl der vom SOH-Berechnungsabschnitt 173 verwendeten Eingabedaten reduziert werden. Daher kann die Berechnungslast des SOH-Berechnungsabschnitts 173 verringert werden.

[0049] Im Einzelnen berechnet der SOH-Berechnungsabschnitt 173 den SOH mit Hilfe der Gaußschen Prozessregression (GPR) unter Verwendung der Impedanzdaten EIS als Eingabe in Form eines maschinellen Lernverfahrens. Die GPR ist eines der Modelle, das einen vorhergesagten Wert unter Verwendung aktueller und vergangener Zustände als Eingangswerte abschätzt. Indem die reale Komponente Z_{real} der Impedanz mit einem großen Messfehler nicht verwendet wird, wird die Genauigkeit der Abschätzung des SOH, die vom SOH-Berechnungsabschnitt 173 berechnet wird, verbessert. Da ein maschinelles Lernverfahren verwendet wird, verbessert sich außerdem die Genauigkeit der SOH-Abschätzung im Vergleich zur derzeitigen Integrationsmethode. Der SOH-Berechnungsabschnitt 173 gibt den berechneten SOH an den SOH-Abschätzungsabschnitt 174 aus.

[0050] Basierend auf dem vom Modellabschnitt 172 berechneten SOH und dem vom SOH-Berechnungsabschnitt 173 berechneten SOH kombiniert der SOH-Abschätzungsabschnitt 174 beide Berechnungsergebnisse, um einen optimalen SOH abzuschätzen. Im Einzelnen korrigiert der SOH-Abschätzungsabschnitt 174 den vom Modellabschnitt 172 berechneten SOH mit dem vom SOH-Berechnungsabschnitt 173 berechneten SOH. Der SOH-Abschätzungsabschnitt 174 berechnet den Grad der Korrektur basierend auf der vom Modellabschnitt 172 berechneten SOH-Abweichung und der Rauschabweichung des SOH-Berechnungsabschnitts 173 und schätzt einen endgültigen SOH ab.

[0051] Der SOH-Abschätzungsabschnitt 174 erhält das Abschätzungsergebnis des optimalen SOH z. B. mehrmals täglich oder einmal täglich. Natürlich ist die Abschätzungshäufigkeit des optimalen SOH nicht auf diese Häufigkeiten beschränkt, und eine notwendige Häufigkeit wird nach Bedarf eingestellt.

[0052] Insbesondere schätzt der SOH-Abschätzungsabschnitt 174 den optimalen SOH unter Verwendung eines nichtlinearen Kalman-Filters ab. Der nichtlineare Kalman-Filter ist vorzugsweise ein erweiterter Kalman-Filter. Die vorstehende Beschreibung bezieht sich auf eine Gesamtkonfiguration des Batteriediagnosesystems 100 gemäß dem vorliegenden Ausführungsbeispiel.

[0053] Als Nächstes ist die Funktionsweise der Berechnungseinheit 170 erläutert. Zunächst berechnet der Modellabschnitt 172 den SOH basierend auf den in der Speichereinheit 150 gespeicherten Nutzungshistoriendaten und gibt den berechneten SOH an den SOH-Abschätzungsabschnitt 174 aus.

[0054] Ferner berechnet der SOH-Berechnungsabschnitt 173 den SOH basierend auf der Impedanzeingabe des Impedanzgenerators 140. Dabei berechnet der SOH-Berechnungsabschnitt 173 den SOH unter Verwendung von Informationen über eine Vielzahl spezifischer Frequenzen, die in der Speichereinheit 150 gespeichert sind. Wie in **Fig. 2** gezeigt ist, werden die Informationen über eine Vielzahl spezifischer Frequenzen im Voraus bei der Vorverarbeitung erhalten.

[0055] Es wird beispielsweise angenommen, dass die Sekundärbatterie 110 eine Kapazität von 50 Ah und eine NCM622/Gr-Konfiguration hat. Die Konfiguration der Sekundärbatterie 110, die bei der Erfassung spezifischer Frequenzinformationen in der Vorverarbeitung verwendet wird, ist dieselbe wie die Konfiguration der Sekundärbatterie 110, die im Batteriediagnosesystem 100 verwendet wird.

[0056] In einer ersten Verarbeitung wird die Korrelation zwischen dem SOH jeder spezifischen Frequenz in N Dimensionen und der imaginären Komponente Z_{image} der Impedanz berechnet. Zu diesem Zweck wird die Sekundärbatterie 110 im Voraus unter verschiedenen Bedingungen degradiert. Zu den Verschlechterungsbedingungen gehören beispielsweise die Lagerung bei unterschiedlichen Temperaturen und SOC's sowie das wiederholte Laden und Entladen bei unterschiedlichen Temperaturen, mittleren SOC's und Δ DOD's.

[0057] Außerdem wird ein Übergang des SOH und der imaginären Komponente Z_{image} der Impedanz bis zum Ende der Lebensdauer der Sekundärbatterie 110 als Daten erfasst.

[0058] DOD („Depth Of Discharge“) gibt die Entladungstiefe der Sekundärbatterie 110 an. Δ DOD wird z. B. aus der Differenz zwischen dem SOC zu Beginn des Ladens und Entladens und dem SOC am Ende des Ladens und Entladens berechnet.

[0059] Als Ergebnis erhält man, wie in **Fig. 3** dargestellt ist, eine Korrelation zwischen der Beziehung zwischen der imaginären Komponente Z_{image} der Impedanz und dem SOH und einem bestimmten Frequenzbereich. Die horizontale Achse in **Fig. 3** ist auf einer logarithmischen Skala dargestellt. Je größer der Wert ist, der die Beziehung zwischen der imaginären Komponente Z_{image} der Impedanz und dem SOH angibt, desto größer ist die Bedeutung.

[0060] Werden hier alle Frequenzen innerhalb eines bestimmten Bereichs zum Abschätzen des SOH verwendet, kann es zu einer Überanpassung kommen. Daher nimmt der Fehler im Extrapolationsbereich zu. Eine größere Anzahl von Frequenzen, d. h. Anzahl von Dimensionen, ist daher nicht unbedingt besser. Daher wird unter Verwendung der in **Fig. 3** dargestellten Daten SISSO, eine Art des maschinellen Lernens, verwendet, um Kombinationen bestimmter Frequenzen bis zu N Dimensionen zu berechnen. Mit anderen Worten, es wird bestimmt, welche Frequenz innerhalb eines bestimmten Frequenzbereichs für die SOH-Abschätzung verwendet werden soll. Die daraus ermittelte Frequenz wird die spezifische Frequenz. Durch Spezifizieren mehrerer Frequenzen, die für die SOH-Abschätzung verwendet werden sollen, kann die Vielseitigkeit der spezifischen Frequenzen erhöht werden.

[0061] Durch das vorstehende maschinelle Lernen wird eine Kombination aus der Anzahl der Dimensionen und der spezifischen Frequenz abgeleitet, wie in **Fig. 4** dargestellt ist. Im Falle von zwei Dimensionen werden zwei spezifische Frequenzen, f_{21} und f_{22} , bestimmt. Die beiden Frequenzen entsprechen zwei Frequenzen der in **Fig. 3** dargestellten Korrelationslinien. In ähnlicher Weise werden im Fall von drei Dimensionen drei Frequenzen, f_{31} , f_{32} und f_{33} , bestimmt, die drei Frequenzen unter den in **Fig. 3** dargestellten Korrelationslinien entsprechen. Eine Vielzahl von Frequenzen wird in ähnlicher Weise im Fall von vier Dimensionen und im Fall von fünf Dimensionen bestimmt.

[0062] Anschließend wird, wie in **Fig. 2** gezeigt, die Genauigkeit des SOH berechnet, wenn die imaginäre Komponente Z_{image} der Impedanz, die jeder spezifischen Frequenz entspricht, eingegeben wird. Die Ergebnisse sind in **Fig. 5** dargestellt.

[0063] In **Fig. 5** sind die Lerndaten Daten, die tatsächlich für maschinelles Lernen verwendet werden. Kreuzvalidierungsdaten sind beispielsweise Daten, die als Lerndaten verwendet werden, indem Daten für eine Art von Verschlechterungsbedingung aus allen Daten für eine Vielzahl von Arten von Verschlechterungsbedingungen ausgeschlossen werden, und die dem maschinellen Lernen unterzogen wurden, indem eine Art von Daten, die entfernt wurde, als Verifizierungsdaten verwendet wird und

alle der mehreren Arten von Daten der Reihe nach in Verifizierungsdaten geändert werden. Verifikationsdaten sind unbekannte Daten, die nicht für das maschinelle Lernen verwendet werden. RMSE gibt den mittleren quadratischen Fehler (%) der einzelnen Daten in Bezug auf den SOH des tatsächlichen Messwerts an.

[0064] Der tatsächliche Messwert des SOH wird nach der Formel (aktuelle Batteriekapazität / anfängliche Batteriekapazität) \times 100 (%) berechnet, wenn die Temperatur der Sekundärbatterie 110 25° C beträgt, der SOC der Sekundärbatterie 110 zwischen 0 % und 100 % geladen und entladen wird und der Strom der Sekundärbatterie 110 C/3 beträgt.

[0065] Dann wird die Anzahl der Dimensionen berechnet, die den Fehler der einzelnen Daten in Bezug auf den tatsächlichen Messwert von SOH minimiert. In dem in **Fig. 5** gezeigten Beispiel wird der Fehler im Falle von vier Dimensionen minimiert. In diesem Fall gibt es vier spezifische Frequenzen. Auf diese Weise bestimmt die Berechnungseinheit der spezifischen Frequenzen 160 die Anzahl und die Frequenz der spezifischen Frequenzen. Anschließend speichert die Berechnungseinheit der spezifischen Frequenzen 160 die Information über die Anzahl und Frequenz der spezifischen Frequenzen in der Speichereinheit 150. Die Vorverarbeitung ist damit abgeschlossen.

[0066] Der SOH-Berechnungsabschnitt 173 führt den in **Fig. 2** gezeigten Berechnungsablauf unter Verwendung der im Voraus erfassten Informationen über die vier spezifischen Frequenzen aus, wie vorstehend beschrieben ist. Aus diesem Grund erfasst der SOH-Berechnungsabschnitt 173 zunächst die vom Impedanzgenerator 140 gemessenen Impedanzdaten EIS. Wie in **Fig. 6** gezeigt ist, hat die Impedanz eine reale Komponente Z_{real} und eine imaginäre Komponente Z_{image} , die sich in Abhängigkeit von der Frequenz ändern.

[0067] Der SOH-Berechnungsabschnitt 173 wandelt die Impedanzdaten EIS in Daten bei einer Temperatur von 25° C und einem SOC von 50 % um, z. B. unter Verwendung eines Temperaturumwandlungsmodells und eines SOC-Umwandlungsmodells. Daher ist es möglich, den SOH bei jeder Temperatur und jedem SOC zu berechnen.

[0068] Anschließend fordert der SOH-Berechnungsabschnitt 173 die Informationen über die vier spezifischen Frequenzen von der Speichereinheit 150 an und erfasst die Informationen über die vier spezifischen Frequenzen von der Speichereinheit 150. Ferner extrahiert der SOH-Berechnungsabschnitt 173 als Eingabe die imaginären Komponenten Z_{image} , die vier spezifischen Frequenzen ent-

sprechen, aus der in **Fig. 6** gezeigten Gruppe von Impedanzdaten.

[0069] Danach berechnet der SOH-Berechnungsabschnitt 173 den SOH unter Verwendung der GPR mit vier imaginären Komponenten der Impedanz Zimage als Eingabe. Der SOH-Berechnungsabschnitt 173 gibt den berechneten SOH an den SOH-Abschätzungsabschnitt 174 aus.

[0070] Die Erfinder berechneten den SOH des SOH-Berechnungsabschnitts 173, wenn die Temperatur der Sekundärbatterie 110 auf 45 °C eingestellt war und eine Vielzahl von Lade- und Entladezyklen der Batterie unter der Bedingung des SOC zwischen 30 % und 90 % wiederholt wurden. Die Ergebnisse sind in **Fig. 7** dargestellt. Die horizontale Achse von **Fig. 7** ist die Anzahl der Tage. Wie in **Fig. 7** gezeigt ist, lag der abgeschätzte Wert des SOH unter Verwendung der GPR nahe am tatsächlichen Messwert des SOH.

[0071] Die Erfinder berechneten den SOH des SOH-Berechnungsabschnitts 173, wenn die Temperatur der Sekundärbatterie 110 auf 10° C eingestellt war und eine Vielzahl von Lade- und Entladezyklen der Batterie unter der Bedingung des SOC zwischen 10 % und 90 % wiederholt wurden. Die Ergebnisse sind in **Fig. 8** dargestellt. Die horizontale Achse von **Fig. 8** ist die Anzahl der Tage. Wie in **Fig. 8** gezeigt ist, wich der unter Verwendung der GPR abgeschätzte Wert des SOH nicht wesentlich vom tatsächlichen Messwert des SOH ab, selbst wenn die Sekundärbatterie 110 in einer kalten Umgebung platziert war.

[0072] Der SOH-Abschätzungsabschnitt 174 verwendet den vom Modellabschnitt 172 berechneten SOH und den vom SOH-Berechnungsabschnitt 173 berechneten SOH wie vorstehend beschrieben ist, um den optimalen SOH mit Hilfe eines erweiterten Kalman-Filters abzuschätzen. Nachstehend ist der optimale SOH als optimierter SOH bezeichnet. Der SOH-Abschätzungsabschnitt 174 gibt den optimierten SOH an eine externe Vorrichtung aus. Die externe Vorrichtung wird zur Anzeige des erhaltenen optimierten SOH für einen Benutzer, zur Steuerung des Ladens und Entladens der Sekundärbatterie 110 und dergleichen verwendet.

[0073] Die Erfinder haben die vom Modellabschnitt 172 berechneten Berechnungsergebnisse, die vom SOH-Berechnungsabschnitt 173 berechneten Berechnungsergebnisse und die vom SOH-Abschätzungsabschnitt 174 berechneten Berechnungsergebnisse unter einer Vielzahl von Verschlechterungsbedingungen mit dem tatsächlichen Messwert des SOH verglichen. Die Ergebnisse sind in **Fig. 9** dargestellt.

[0074] Eine Verschlechterungsbedingung A ist ein Fall, bei dem die Temperatur der Sekundärbatterie 110 45° C beträgt und eine Vielzahl von Lade- und Entladezyklen der Batterie unter der Bedingung des SOC zwischen 0% und 100% wiederholt werden. Verschlechterungsbedingung B ist ein Fall, bei dem die Temperatur der Sekundärbatterie 110 45° C beträgt und eine Vielzahl von Lade- und der Batterie unter der Bedingung des SOC zwischen 30% und 90% wiederholt werden. Verschlechterungsbedingung C ist ein Fall, bei dem die Temperatur der Sekundärbatterie 110 10° C beträgt und eine Vielzahl von Lade- und Entladezyklen der Batterie unter der Bedingung des SOC zwischen 10% und 90% wiederholt werden. Der Strom während des Ladens unter jeder Verschlechterungsbedingung A, B und C beträgt 0,3 C, und der Strom während des Entladens beträgt 1 C. Außerdem ist das Verfahren zur Messung des tatsächlichen Werts des SOH dasselbe wie vorstehend beschrieben.

[0075] Wie in **Fig. 9** und **10** gezeigt ist, betrug der Fehler im SOH-Berechnungsergebnis des Modellabschnitts 172 unter der Verschlechterungsbedingung A 0,7 % und der maximale Fehler lag bei 2,6 %. Der Fehler im SOH-Berechnungsergebnis des SOH-Berechnungsabschnitts 173 betrug 1,2 % und der maximale Fehler lag bei 4,5 %.

[0076] Das Berechnungsergebnis des optimierten SOH des SOH-Abschätzungsabschnitts 174 wies dagegen einen Fehler von 0,3 % auf und der maximale Fehler betrug 1,2 %. Offensichtlich liegt der optimierte SOH des SOH-Abschätzungsabschnitts 174 näher an dem tatsächlichen Messwert des SOH als die Berechnungsergebnisse des Modellabschnitts 172 und des SOH-Berechnungsabschnitts 173.

[0077] Bei der Verschlechterungsbedingung B, wie in **Fig. 9** und **11** gezeigt, wurde der optimierte SOH durch den SOH-Abschätzungsabschnitt 174 zu einem Wert, der näher am tatsächlichen Messwert des SOH liegt, obwohl die Fehler in jedem Berechnungsergebnis ursprünglich gering waren.

[0078] Bei der Verschlechterungsbedingung C, wie in **Fig. 9** und **12** gezeigt ist, wurde die Differenz zwischen dem Fehler des optimierten SOH durch den SOH-Abschätzungsabschnitt 174 und dem Fehler jedes Berechnungsergebnisses durch den Modellabschnitt 172 und den SOH-Berechnungsabschnitt 173 groß.

[0079] Bei der Verschlechterungsbedingung C wird davon ausgegangen, dass sie auf eine anormale Verschlechterung zurückzuführen ist, die durch Lithiumausfällung in der Sekundärbatterie 110 nach Ablauf von 400 Tagen verursacht wird. Daher nimmt der SOH der Sekundärbatterie 110 schnell ab. Die

Berechnungsergebnisse des Modellabschnitts 172 können der schnellen Abnahme des SOH nicht folgen. Da jedoch der SOH-Berechnungsabschnitt 173 den SOH unter Verwendung der imaginären Komponente Zimage der Impedanz berechnet, bei der es sich um die Erfassungsdaten handelt, konnte das Berechnungsergebnis des SOH-Berechnungsabschnitts 173 der schnellen Abnahme des SOH folgen. Mit anderen Worten kann gesagt werden, dass die Genauigkeit des abgeschätzten SOH-Wertes unter Verwendung des SOH-Berechnungsabschnitts 173 verbessert werden kann.

[0080] Wie vorstehend erläutert ist, werden im vorliegenden Ausführungsbeispiel die Berechnungsergebnisse des Modellabschnitts 172 und die Berechnungsergebnisse des SOH-Berechnungsabschnitts 173 im SOH-Abschätzungsabschnitt 174 kombiniert und optimiert. Insbesondere korrigiert der SOH-Abschätzungsabschnitt 174 basierend auf dem vom Modellabschnitt 172 berechneten SOH den SOH des Modellabschnitts 172 mit dem vom SOH-Berechnungsabschnitt 173 berechneten SOH als tatsächlichen Wert und schätzt den endgültigen SOH ab.

[0081] Gemäß dieser Konfiguration werden sowohl Fehler, die durch Zellvariationen in der Sekundärbatterie 110 verursacht werden und im Modellabschnitt 172 auftreten, als auch Erfassungsfehler, die im SOH-Berechnungsabschnitt 173 auftreten, im SOH-Abschätzungsabschnitt 174 optimiert. Daher kann der Einfluss des vom SOH-Berechnungsabschnitt 173 berechneten SOH-Erfassungsfehlers reduziert werden. Daher kann die Genauigkeit der Abschätzung des SOH der Sekundärbatterie 110 verbessert werden.

[0082] Als Modifikation kann das Batteriediagnosesystem 100 nur das Berechnungsergebnis des SOH-Berechnungsabschnitts 173 als abgeschätzten Wert des SOH verwenden. Der SOH-Berechnungsabschnitt 173 erfasst physikalische Größen, die sich in Abhängigkeit vom Grad der Verschlechterung der Sekundärbatterie 110 ändern, als Erfassungsdaten und berechnet den SOH basierend auf den Erfassungsdaten. Daher kann das Vorhandensein von Fehlern, wie z.B. Erfassungsfehlern, stärker reduziert werden als bei der derzeitigen Integrationsmethode. Daher kann die Genauigkeit beim Abschätzen des SOH der Sekundärbatterie 110 verbessert werden.

(Zweites Ausführungsbeispiel)

[0083] Beim vorliegenden Ausführungsbeispiel werden hauptsächlich die Konfigurationen beschrieben, die sich von denen des ersten Ausführungsbeispiels unterscheiden. Im vorliegenden Ausführungsbeispiel berechnet der SOH-Berechnungsabschnitt 173 den SOH unter Verwendung einer Spannungsänderung

während des Ladens der Sekundärbatterie 110 als Erfassungsdaten.

[0084] Aus diesem Grund wird die Sekundärbatterie 110, wie in **Fig. 13** gezeigt ist, in der Vorverarbeitung unter verschiedenen Verschlechterungsbedingungen im Voraus degradiert, und es wird ein Übergang des SOH bis zur Lebensdauer der Sekundärbatterie 110 erhalten. Darüber hinaus werden Spannungsänderungen während des Ladens unter Verschlechterungsbedingungen erfasst und in der Speichereinheit 150 im Voraus gespeichert.

[0085] Die Spannungsänderung ist z. B. die Änderung des Spannungswertes in einem Bereich von 3,6 V bis 3,7 V. Der Spannungsbereich von 3,6 V bis 3,7 V ist ein Bereich, in dem sich der Spannungswert bei Verschlechterung der Sekundärbatterie 110 signifikant ändert. Die Erfinder haben durch umfangreiche Untersuchungen geklärt, dass es in diesem Spannungsbereich eine Korrelation zwischen der Spannungsänderung und dem SOH gibt. Mit anderen Worten, der Spannungswert ist eine physikalische Größe, die sich je nach dem Grad der Verschlechterung der Sekundärbatterie 110 ändert.

[0086] In einem Zustand, in dem die vorstehende Vorverarbeitung abgeschlossen ist, wird die Sekundärbatterie 110 beispielsweise an einer Ladestation aufgeladen. Der SOH-Berechnungsabschnitt 173 erfasst die Spannungsänderung der Sekundärbatterie 110, die von der Datenerfassungseinheit 130 über die Speichereinheit 150 erfasst wird.

[0087] Ferner extrahiert der SOH-Berechnungsabschnitt 173 die Spannungsänderung von 3,6 V bis 3,7 V aus der von der Datenerfassungseinheit 130 erfassten Spannungsänderung. Dann berechnet der SOH-Berechnungsabschnitt 173 den SOH unter Verwendung der GPR mit der Spannungsänderung von 3,6 V bis 3,7 V als Eingabe. Auf diese Weise kann der SOH auch unter Verwendung der Spannungsänderung während des Ladens der Sekundärbatterie 110 als Erfassungsdaten berechnet werden.

[0088] Als Modifikation kann die Spannungsänderung eine Änderung des Spannungswertes in einem Bereich von 4,0 V bis 4,1 V sein. Die Genauigkeit der SOH-Abschätzung kann auch in diesem Spannungsbereich verbessert werden. Natürlich ist dieser Bereich nicht auf den Bereich von 3,6 V bis 3,7 V und den Bereich von 4,0 V bis 4,1 V beschränkt und es können auch andere Spannungsbereiche eingestellt werden.

(Drittes Ausführungsbeispiel)

[0089] Beim vorliegenden Ausführungsbeispiel werden hauptsächlich Teile beschrieben, die sich von denen des ersten und zweiten Ausführungsbeispiels

unterscheiden. Im vorliegenden Ausführungsbeispiel berechnet der SOH-Berechnungsabschnitt 173 den SOH unter Verwendung des Betrags der Spannungsänderung bei der Relaxation der Ladespannung als Erfassungsdaten.

[0090] Aus diesem Grund wird die Sekundärbatterie 110, wie in **Fig. 14** gezeigt ist, in der Vorverarbeitung unter verschiedenen Verschlechterungsbedingungen im Voraus degradiert, und es wird ein Übergang der SOH bis zur Lebensdauer der Sekundärbatterie 110 erhalten. Ferner wird das Relaxationsverhalten der Spannung nach dem Laden unter der Verschlechterungsbedingung erfasst und im Voraus in der Speichereinheit 150 gespeichert.

[0091] Das Relaxationsverhalten der Spannung ist z. B. der Betrag der Spannungsänderung über 10 Minuten. Die Erfinder der vorliegenden Offenbarung haben nach umfangreichen Untersuchungen festgestellt, dass das Relaxationsverhalten der Spannung nach dem Aufladen mit dem SOH korreliert.

[0092] Mit anderen Worten, der Betrag der Spannungsänderung im Relaxationsverhalten der Spannung ist eine physikalische Größe, die sich in Abhängigkeit vom Grad der Verschlechterung der Sekundärbatterie 110 ändert.

[0093] In einem Zustand, in dem die vorstehende Vorverarbeitung abgeschlossen ist, wird die Sekundärbatterie 110 beispielsweise an einer Ladestation aufgeladen und für 10 Minuten oder länger stehen gelassen. Der SOH-Berechnungsabschnitt 173 erfasst den Betrag der Spannungsänderung der Sekundärbatterie 110, der von der Datenerfassungseinheit 130 über die Speichereinheit 150 erfasst wird.

[0094] Darüber hinaus extrahiert der SOH-Berechnungsabschnitt 173 den Betrag der Spannungsänderung über 10 Minuten aus den Spannungsänderungen, die von der Datenerfassungseinheit 130 erfasst wurden. Dann berechnet der SOH-Berechnungsabschnitt 173 den SOH unter Verwendung der GPR mit dem Betrag der Spannungsänderung für 10 Minuten als Eingabe. Auf diese Weise kann der SOH auch unter Verwendung des Betrags der Spannungsänderung während des Ladens der Sekundärbatterie 110 als Erfassungsdaten berechnet werden.

(Viertes Ausführungsbeispiel)

[0095] Beim vorliegenden Ausführungsbeispiel werden die Konfigurationen beschrieben, die sich von den jeweiligen vorstehenden beschriebenen Ausführungsbeispielen unterscheiden. Wie in **Fig. 15** gezeigt ist, beinhaltet das Batteriediagnosesystem 100 gemäß dem vorliegenden Ausführungsbeispiel die Sekundärbatterie 110, die Datenerfassungseinheit 130, eine Datenverarbeitungseinheit 180, die

Speichereinheit 150 und die Berechnungseinheit 170.

[0096] Die Datenverarbeitungseinheit 180 erfasst Zeitreihendaten von der Datenerfassungseinheit 130 und verarbeitet die Zeitreihendaten als Histogramm Daten. Die Histogramm Daten können von der Datenerfassungseinheit 130 verarbeitet werden.

[0097] Die Datenverarbeitungseinheit 180 beinhaltet einen SOC-Berechnungsabschnitt 181 und einen Parameterberechnungsabschnitt 182. Der SOC-Berechnungsabschnitt 181 hat dieselben Funktionen wie der im ersten Ausführungsbeispiel gezeigte SOC-Berechnungsabschnitt 171.

[0098] Der Parameterberechnungsabschnitt 182 empfängt die Zeitreihendaten der Sekundärbatterie 110 und verarbeitet die Zeitreihendaten als Histogramm Daten.

[0099] Die Histogramm Daten beinhalten Parameter wie SOC, Temperatur T, Strom I und ΔDOD der Sekundärbatterie 110.

[0100] Außerdem berechnet der Parameterberechnungsabschnitt 182 das voreingestellte Produkt der Parameter. Das Produkt der Parameter beinhaltet wenigstens $SOC \times T$, $\Delta DOD \times T$ oder $I \times \Delta DOD$. Der Parameterberechnungsabschnitt 182 speichert das Produkt der Parameter in der Speichereinheit 150. Bei Verwendung von Histogramm Daten zum Abschätzen des SOH erübrigt sich die Aufzeichnung von Zeitreihendaten.

[0101] Nach umfangreichen Untersuchungen haben die Erfinder herausgefunden, dass durch die Einbeziehung von $SOC \times T$, $\Delta DOD \times T$ und $I \times \Delta DOD$ in das Berechnungsmodell des Modellabschnitts 172 der SOH mit hoher Genauigkeit vorhergesagt werden kann, selbst wenn Histogramm Daten als Eingabe verwendet werden. Anstelle des Stroms I kann auch die C-Rate verwendet werden.

[0102] Die Berechnungseinheit 170 verfügt über den Modellabschnitt 172. Der Modellabschnitt 172 berechnet den SOH als abgeschätzten Wert unter Verwendung entweder der Zeitreihendaten oder der Histogramm Daten basierend auf einem voreingestellten Berechnungsmodell. Bei Verwendung der Histogramm Daten berechnet die Berechnungseinheit 170 den SOH unter Verwendung jedes Parameters und des Produkts aus zwei oder mehreren der Parameter. Das Vorstehende ist die Konfiguration des Batteriediagnosesystems 100 gemäß dem vorliegenden Ausführungsbeispiel.

[0103] Als Nächstes ist ein Ablauf des Abschätzens des SOH unter Verwendung der Histogramm Daten erläutert. Wie in **Fig. 16** gezeigt ist, erfasst die Daten-

erfassungseinheit 130 zunächst Fahrzeugdaten wie Zeitreihendaten. Anschließend berechnet die Datenverarbeitungseinheit 180 das Produkt der Parameter in dem Parameterberechnungsabschnitt 182. Danach speichert der Parameterberechnungsabschnitt 182 das berechnete Produkt der Parameter in der Speichereinheit 150.

[0104] Dann berechnet der Modellabschnitt 172 der Berechnungseinheit 170 den SOH unter Verwendung eines im Voraus eingestellten Modells und unter Verwendung der in der Speichereinheit 150 gespeicherten Histogramm Daten als Eingabe. Das heißt, der Modellabschnitt 172 berechnet den SOH durch Berechnung von $f\{T, SOC, I, \Delta DOD, SOC \times T, \Delta DOD \times T, I \times \Delta DOD\}$ unter Verwendung des Parameters und des Produkts der Parameter. f ist eine vor-eingestellte Berechnungsformel.

[0105] Bei der Berechnung des SOH unter verschiedenen Verschlechterungsbedingungen verglichen die Erfinder Fälle, bei denen das Produkt der Parameter einbezogen wurde, und Fälle, bei denen das Produkt der Parameter nicht einbezogen wurde, mit Fällen, bei denen der SOH unter Verwendung der Zeitreihendaten berechnet wurde. Die Ergebnisse sind in **Fig. 17** und **18** dargestellt. Die verschiedenen Verschlechterungsbedingungen sind dieselben wie bei der ersten Verarbeitung in **Fig. 2**.

[0106] Wie in **Fig. 17** gezeigt ist, wiesen die SOH-Berechnungsergebnisse unter Verwendung von Zeitreihendaten und die SOH-Berechnungsergebnisse unter Verwendung von Histogramm Daten einen Fehler von 0,8 % in Bezug auf den tatsächlichen SOH-Wert auf, wenn das Produkt der Parameter in die SOH-Berechnung einbezogen wurde. Mit anderen Worten, durch die Einbeziehung des Parameterprodukts in das Modell wurde die Genauigkeit der SOH-Abschätzung verbessert, unabhängig davon, ob Zeitreihendaten oder Histogramm Daten verwendet wurden.

[0107] Andererseits wiesen die SOH-Berechnungsergebnisse unter Verwendung von Zeitreihendaten und die SOH-Berechnungsergebnisse unter Verwendung von Histogramm Daten einen Fehler von 4,3 % in Bezug auf den tatsächlichen SOH-Wert auf, wenn das Produkt der Parameter nicht in die SOH-Berechnung einbezogen wurde (siehe **Fig. 18**). Daraus ist ersichtlich, dass die Genauigkeit der SOH-Abschätzung durch die Einbeziehung des Parameterprodukts in das Modell verbessert werden kann.

[0108] Wie vorstehend beschrieben ist, kann der SOH entweder unter Verwendung der Zeitreihendaten oder der Histogramm Daten der Sekundärbatterie 110 abgeschätzt werden. Da zu diesem Zeitpunkt Zeitreihendaten oder Histogramm Daten verwendet werden, kann das Vorhandensein von Fehlern wie

Erfassungsfehlern stärker reduziert werden als bei der aktuellen Integrationsmethode. Daher kann die Genauigkeit beim Abschätzen des SOH der Sekundärbatterie 110 verbessert werden.

[0109] Die vorliegende Offenbarung ist nicht auf die vorstehend genannten Ausführungsbeispiele beschränkt, und es können verschiedene Änderungen daran vorgenommen werden, wie nachstehend beschrieben ist, ohne vom Grundgedanken der vorliegenden Offenbarung abzuweichen.

[0110] Die Sekundärbatterie 110 ist beispielsweise nicht auf den Fall beschränkt, dass sie an einem Elektrofahrzeug angebracht wird, sondern kann auch an einem vorbestimmten Ort installiert werden. Außerdem ist der SOH der Sekundärbatterie 110 nicht auf den SOH der gesamten Sekundärbatterie 110 beschränkt, sondern kann der SOH einer einzelnen Batteriezelle oder einer Vielzahl von SOHs der Batteriezellen, die die Sekundärbatterie 110 darstellt, sein.

[0111] Obwohl die vorliegende Offenbarung anhand von Beispielen beschrieben wurde, ist die vorliegende Offenbarung nicht auf die vorstehend genannten Beispiele oder Strukturen beschränkt. Die vorliegende Offenbarung umfasst verschiedene Änderungen und Variationen im Rahmen von Äquivalenten. Darüber hinaus fallen verschiedene Kombinationen und Formen sowie andere Kombinationen und Formen, die nur ein Element, mehr oder weniger, davon, auch in den Anwendungsbereich und den Grundgedanken der vorliegenden Offenbarung.

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

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

Zitierte Patentliteratur

- JP 2021214442 [0001]
- JP 2020119658 A [0005]

Patentansprüche

1. Batteriediagnosesystem zum Abschätzen eines SOH, der einen Grad der Verschlechterung einer Sekundärbatterie (110) angibt, umfassend: einen Modellabschnitt (172), der dazu eingerichtet ist, Nutzungshistoriendaten zu erfassen, die einen Nutzungszustand der Sekundärbatterie angeben, und den SOH basierend auf den Nutzungshistoriendaten zu berechnen; einen SOH-Berechnungsabschnitt (173), der dazu eingerichtet ist, physikalische Größen, die sich in Abhängigkeit vom Grad der Verschlechterung der Sekundärbatterie ändern, als Erfassungsdaten zu erfassen und den SOH basierend auf den Erfassungsdaten zu berechnen; und basierend auf dem vom Modellabschnitt berechneten SOH und dem vom SOH-Berechnungsabschnitt berechneten SOH, einen SOH-Abschätzungsabschnitt (174), der dazu eingerichtet ist, beide Berechnungsergebnisse zu kombinieren, um einen optimalen SOH abzuschätzen.

2. Batteriediagnosesystem nach Anspruch 1, wobei die Erfassungsdaten Impedanzdaten der Sekundärbatterie sind, die durch eine elektrochemische Impedanzspektroskopie erhalten werden, und der SOH-Berechnungsabschnitt den SOH durch eine Gaußsche Prozessregression unter Verwendung der Impedanzdaten als Eingabe berechnet.

3. Batteriediagnosesystem nach Anspruch 2, ferner umfassend, eine Speichereinheit (150), in der Informationen über eine spezifische Frequenz innerhalb eines Frequenzbereichs, der bei der elektrochemischen Impedanzspektroskopie verwendet wird, im Voraus gespeichert sind, wobei der SOH-Berechnungsabschnitt den SOH unter Verwendung einer imaginären Komponente einer Impedanz, die der in der Speichereinheit gespeicherten spezifischen Frequenz entspricht, aus den Impedanzdaten berechnet.

4. Batteriediagnosesystem nach Anspruch 3, wobei die durch die elektrochemische Impedanzspektroskopie erhaltene Impedanz ein Wert ist, der durch Division einer Ansprechspannung durch einen Wechselstrom als komplexe Zahl mit einem Absolutwert und Phaseninformationen nach Messung der Ansprechspannung, die einem an die Sekundärbatterie angelegten Wechselstrom entspricht, berechnet wird.

5. Batteriediagnosesystem nach Anspruch 3 oder 4, wobei die spezifische Frequenz eine Frequenz, die basierend auf maschinellem Lernen unter Verwendung von Impedanzdaten der Sekundärbatterie, die im Voraus durch die elektrochemi-

sche Impedanzspektroskopie erhalten wurden, bestimmt wird, und eine Frequenz, die einen großen Einfluss auf den SOH der Sekundärbatterie hat, ist.

6. Batteriediagnosesystem nach Anspruch 1, wobei die Erfassungsdaten Daten über Spannungsänderungen während des Ladens der Sekundärbatterie sind, und der SOH-Berechnungsabschnitt den SOH durch Gaußsche Prozessregression unter Verwendung von Daten über Spannungsänderungen während des Ladens der Sekundärbatterie als Eingabe berechnet.

7. Batteriediagnosesystem nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei der SOH-Abschätzungsabschnitt den SOH unter Verwendung eines nichtlinearen Kalman-Filters abschätzt.

8. Batteriediagnosesystem zum Abschätzen eines SOH, der den Grad der Verschlechterung einer Sekundärbatterie (110) angibt, umfassend: eine Datenerfassungseinheit (130), die dazu eingerichtet ist, Zeitreihendaten zu erfassen, die einen Nutzungszustand der Sekundärbatterie angeben; eine Datenverarbeitungseinheit (180), die dazu eingerichtet ist, die Zeitreihendaten von der Datenerfassungseinheit zu erfassen und die Zeitreihendaten als Histogrammdaten zu verarbeiten; eine Berechnungseinheit (170), die dazu eingerichtet ist, den SOH als einen abgeschätzten Wert unter Verwendung entweder der von der Datenerfassungseinheit erfassten Zeitreihendaten oder der von der Datenverarbeitungseinheit erfassten Histogrammdaten basierend auf einem voreingestellten Berechnungsmodell zu berechnen.

9. Batteriediagnosesystem nach Anspruch 8, wobei die Histogrammdaten Parameter wie einen SOC, eine Temperatur, einen Strom und ΔDOD der Sekundärbatterie beinhalten, und die Berechnungseinheit den SOH unter Verwendung jedes der Parameter und eines Produkts aus zwei oder mehreren der Parameter berechnet.

10. Batteriediagnosesystem nach Anspruch 9, wobei das Produkt der Parameter wenigstens $SOC \times T$, $\Delta DOD \times T$ oder $I \times \Delta DOD$ beinhaltet, und die Temperatur als T und der Strom als I definiert ist.

Es folgen 17 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

FIG. 1

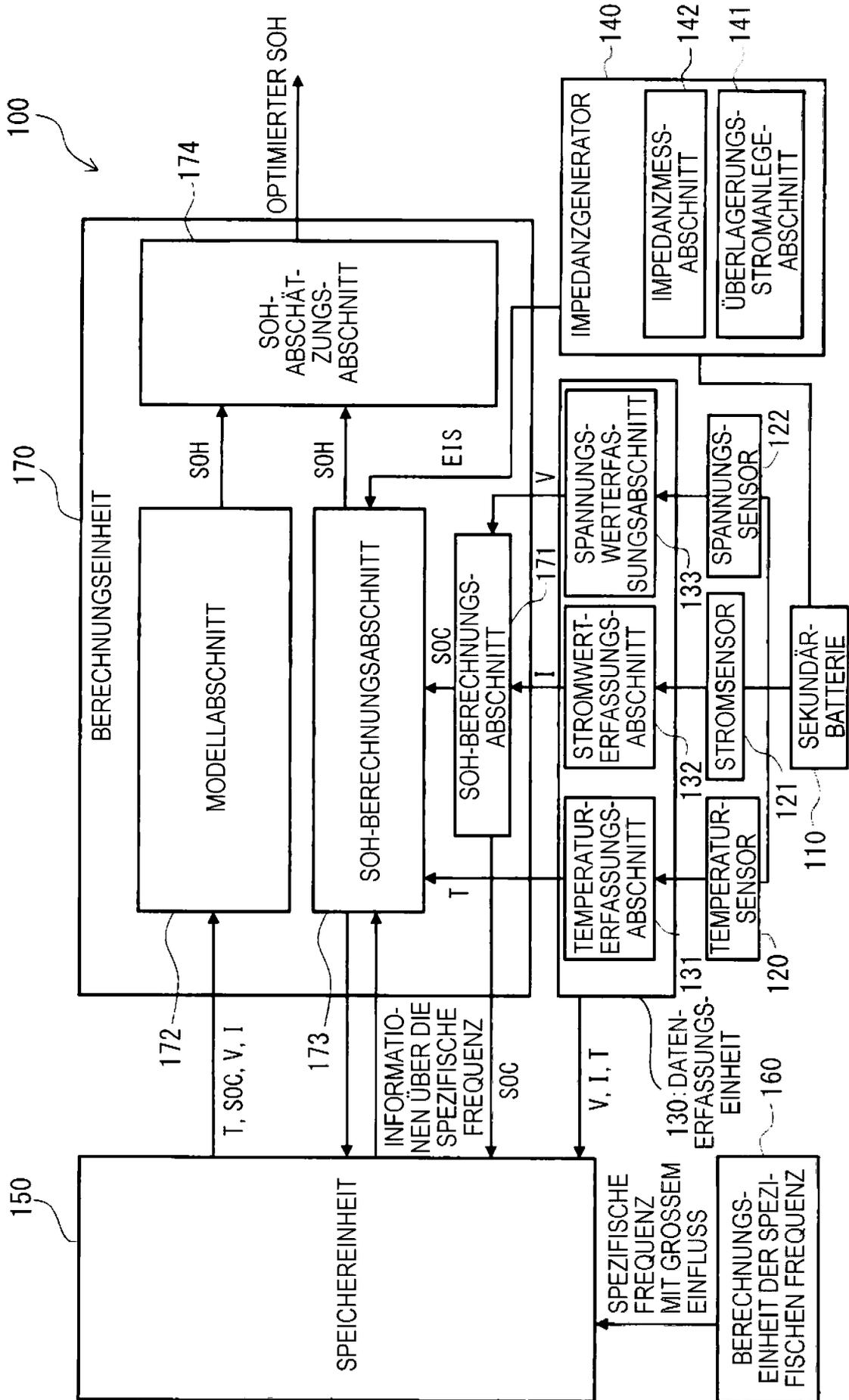


FIG. 2

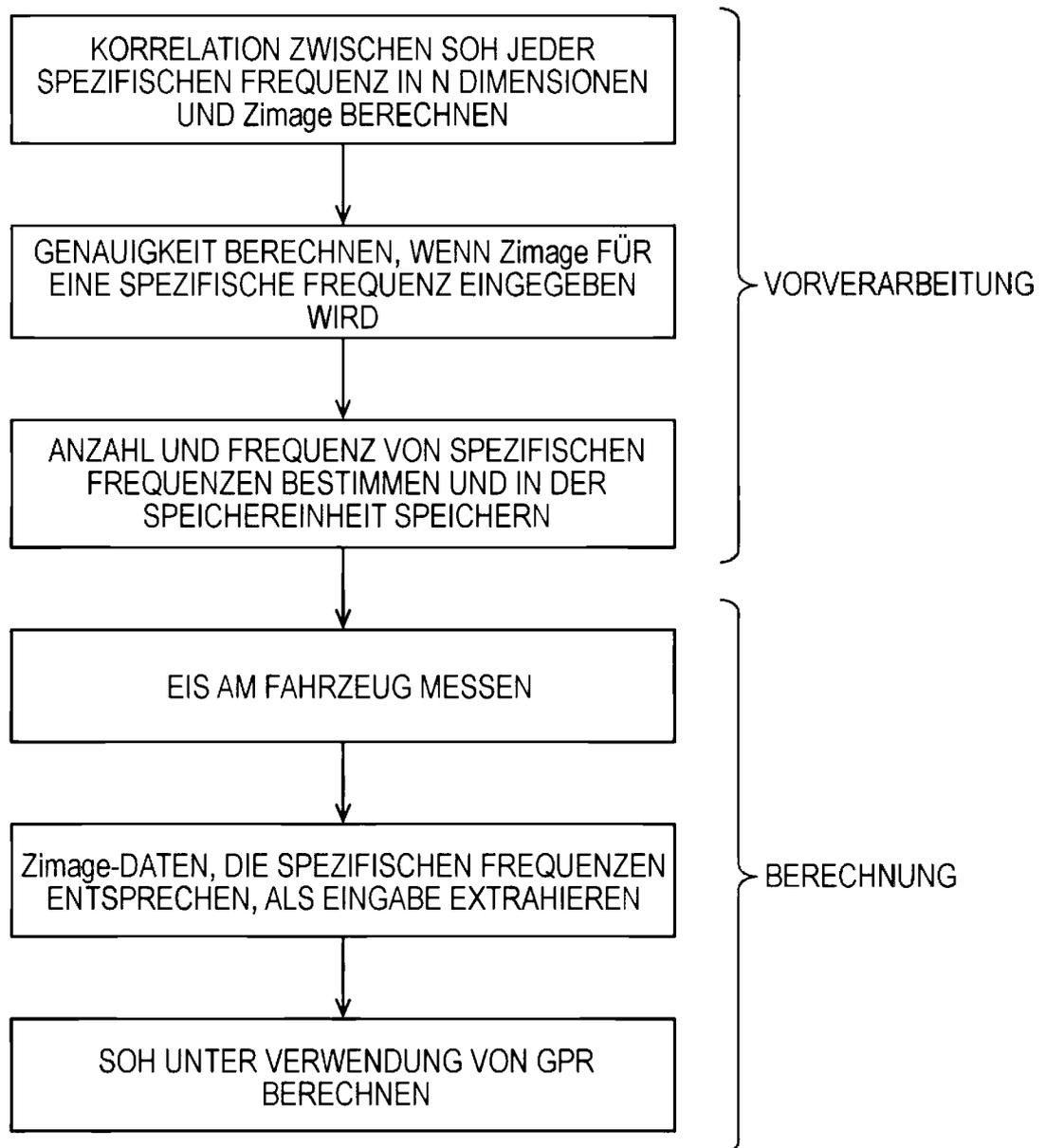


FIG. 3

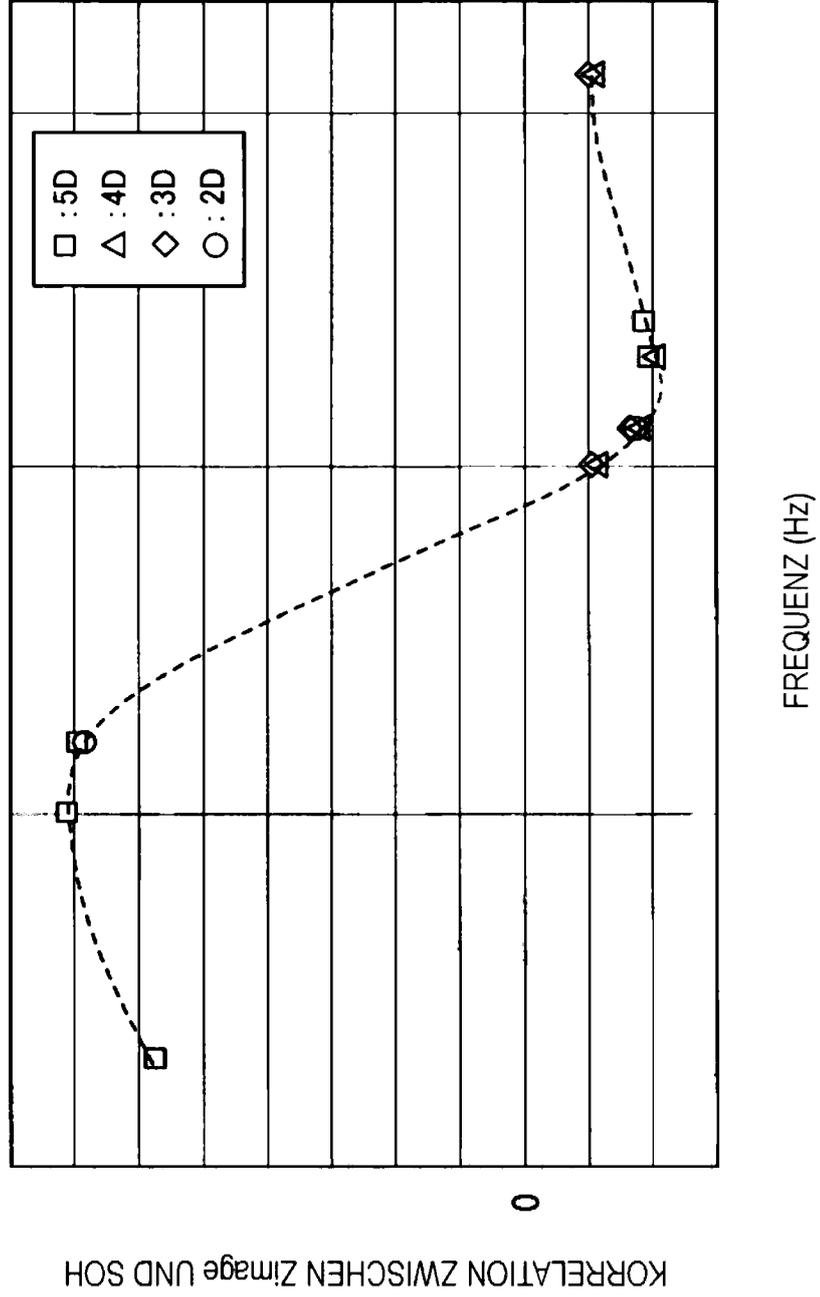


FIG. 4

ANZAHL VON DIMENSIONEN	SPEZIFISCHE FREQUENZ (Hz)
2D	f ₂₁ , f ₂₂
3D	f ₃₁ , f ₃₂ , f ₃₃
4D	f ₄₁ , f ₄₂ , f ₄₃ , f ₄₄
5D	f ₅₁ , f ₅₂ , f ₅₃ , f ₅₄ , f ₅₅

FIG. 5

	ANZAHL VON SPEZIFISCHEN FREQUENZEN (ANZAHL VON DIMENSIONEN)			
	2	3	4	5
RMSE				
LERNDATEN (%)	3.8	2.7	<u>2.3</u>	3.3
KREUZVALIDIERUNGSDATEN (%)	4.3	3.1	3.1	3.4
VERIFIKATIONSDATEN (%)	4.3	2.4	<u>1.7</u>	3.0

FIG. 6

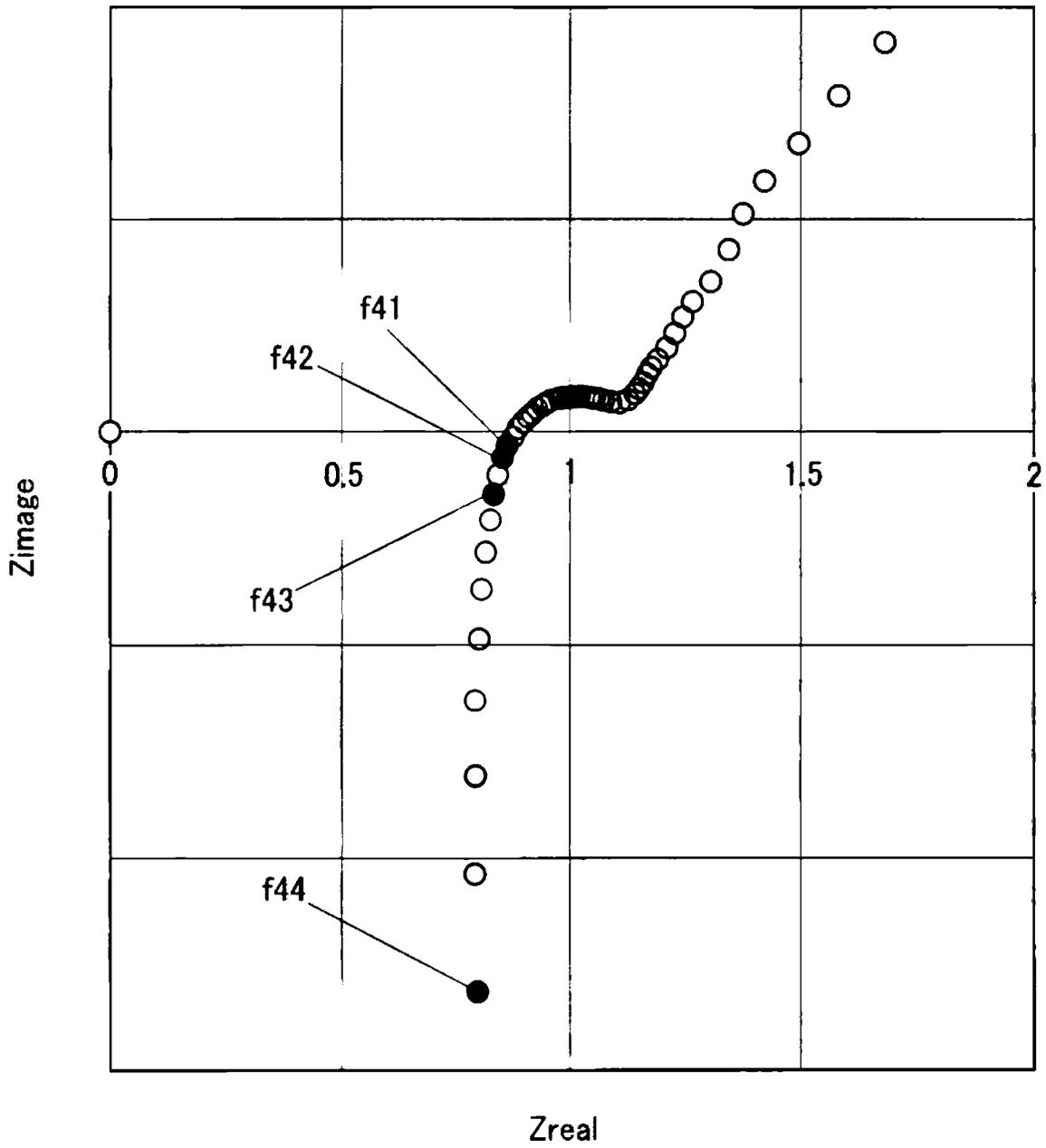


FIG. 7

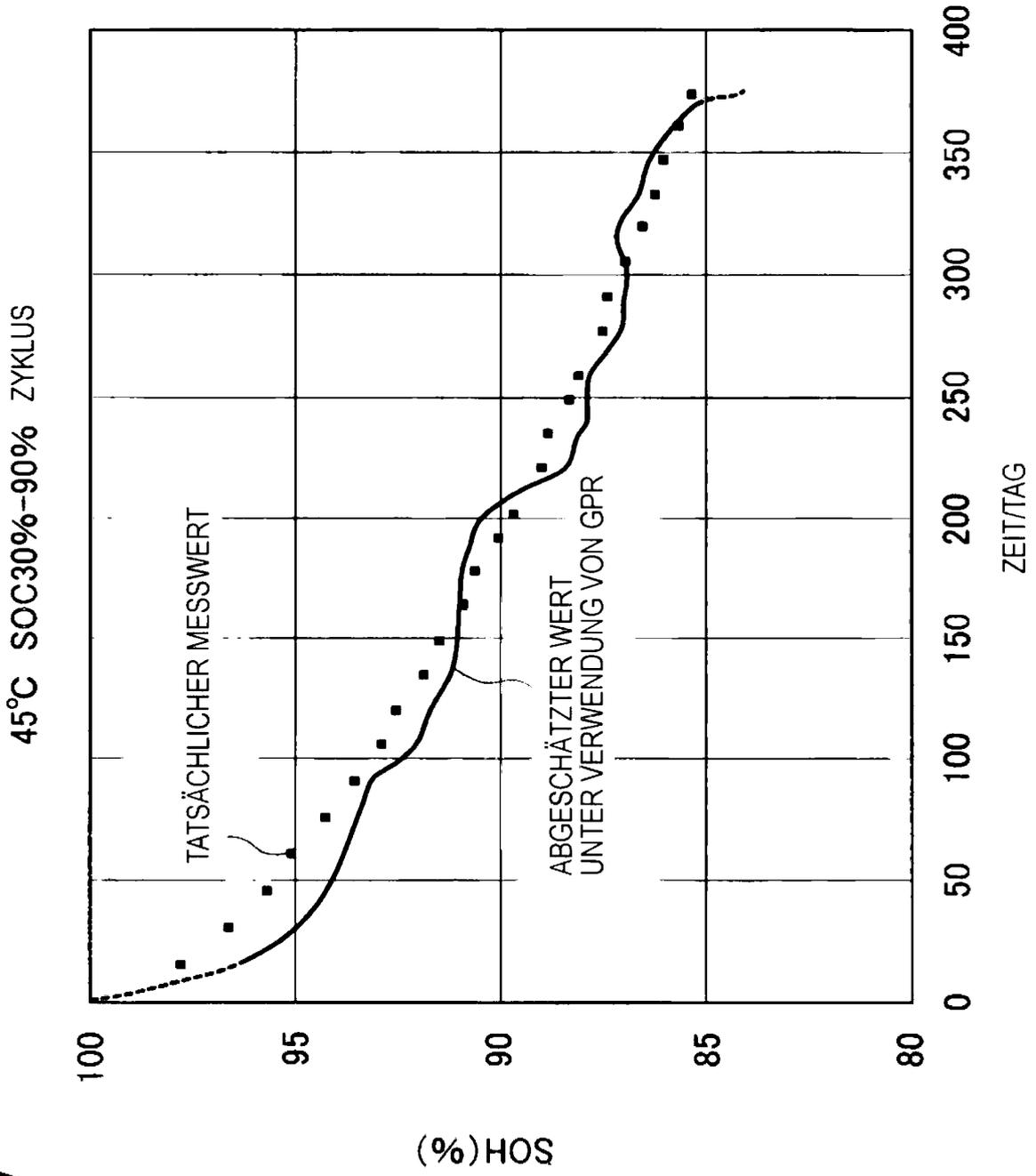


FIG. 8

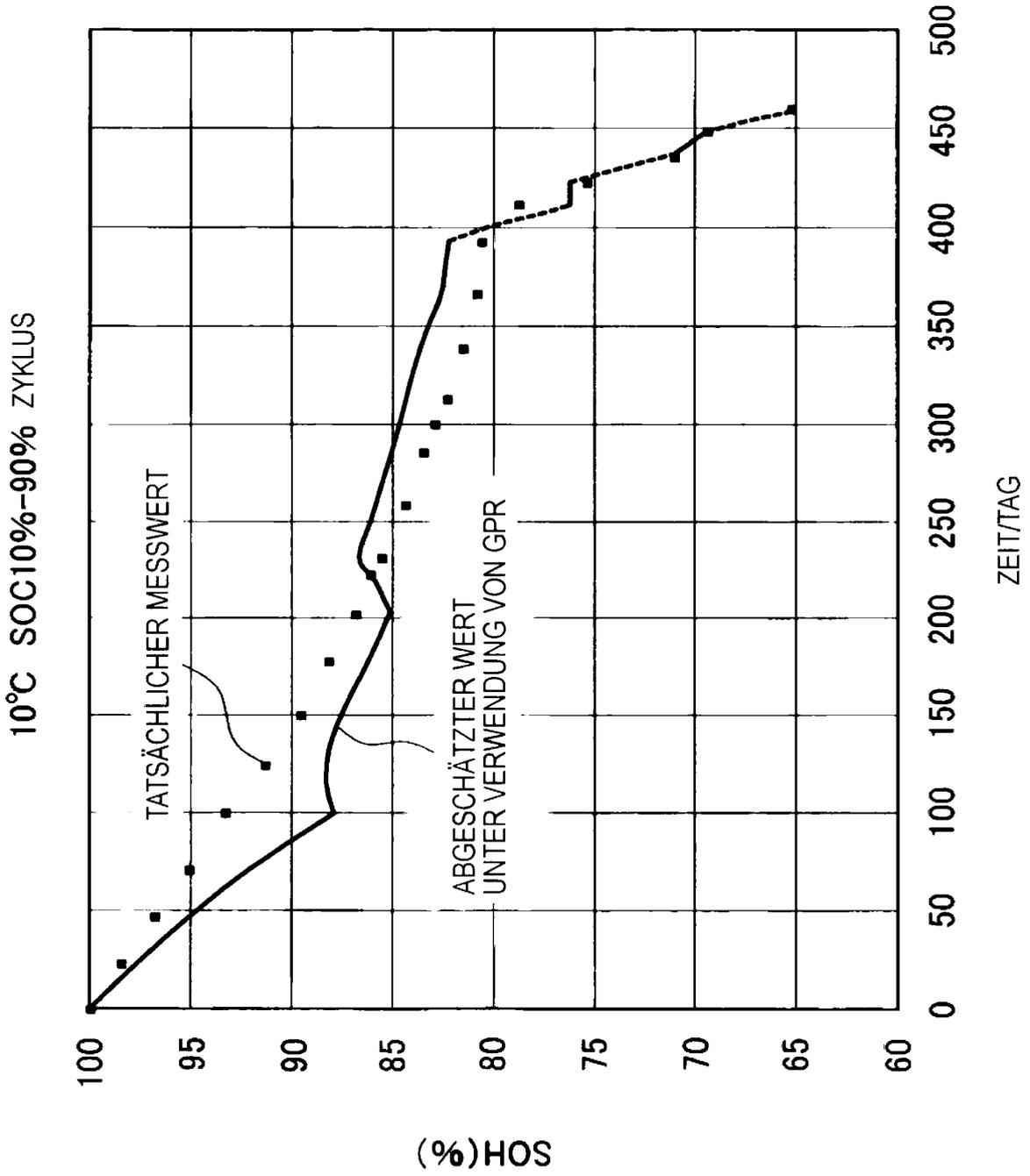


FIG. 9

		BERECHNUNGSERGEBNIS DES SOH-ABSCHÄTZUNGS- ABSCHNITTS	BERECHNUNGSERGEBNIS DES SOH-BERECHNUNGS- ABSCHNITTS	BERECHNUNGSERGEBNIS DES MODELLABSCHNITTS
VERSCHLECHTE- RUNGS- BEDINGUNG A	RMSE	0.3%	1.2%	0.7%
	MAXIMALFEHLER	1.2%	4.5%	2.6%
VERSCHLECHTE- RUNGS- BEDINGUNG B	RMSE	0.6%	0.8%	0.7%
	MAXIMALFEHLER	1.3%	1.6%	1.4%
VERSCHLECHTE- RUNGS- BEDINGUNG C	RMSE	0.2%	2.0%	3.4%
	MAXIMALFEHLER	1.1%	5.4%	11.9%

FIG. 10

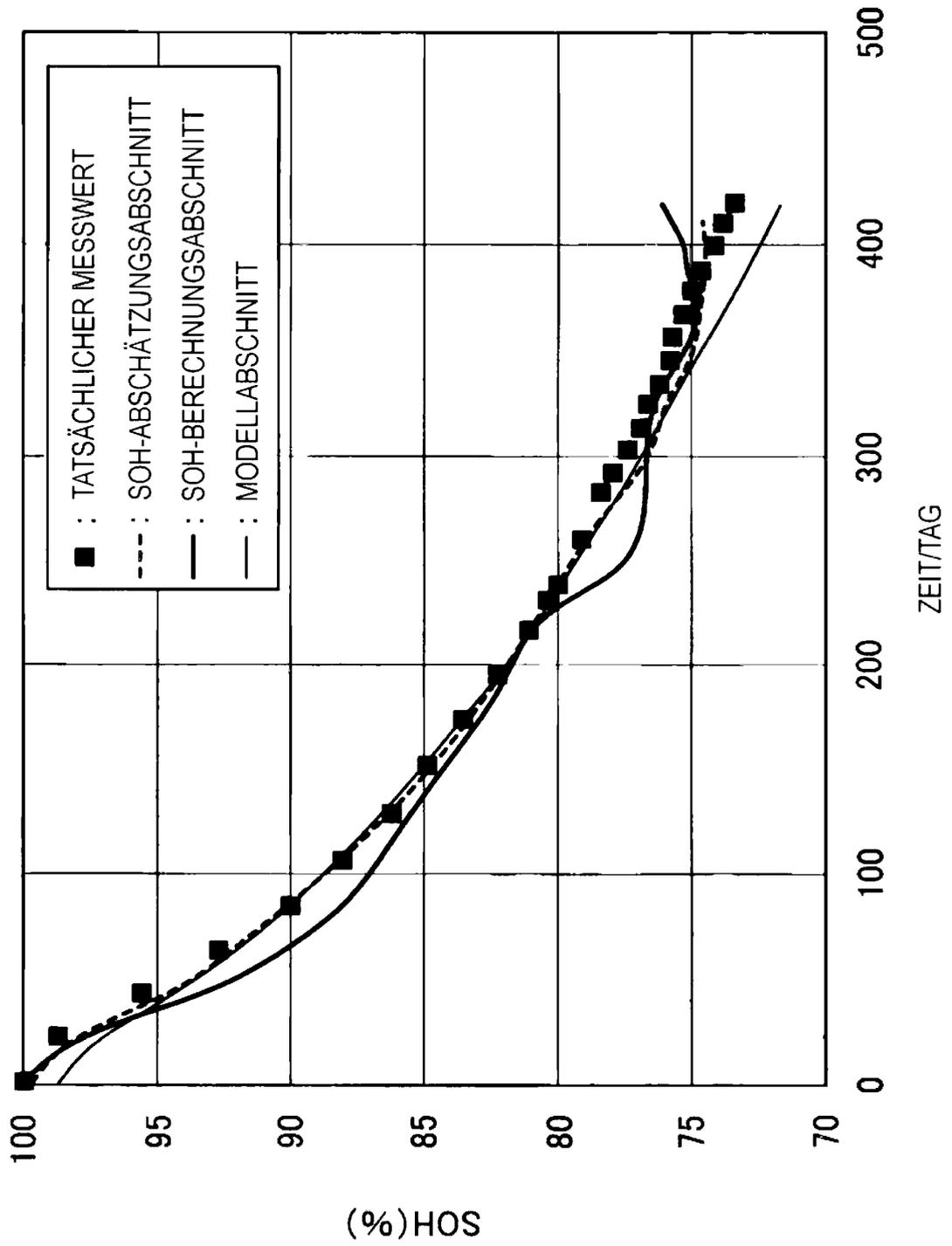


FIG. 11

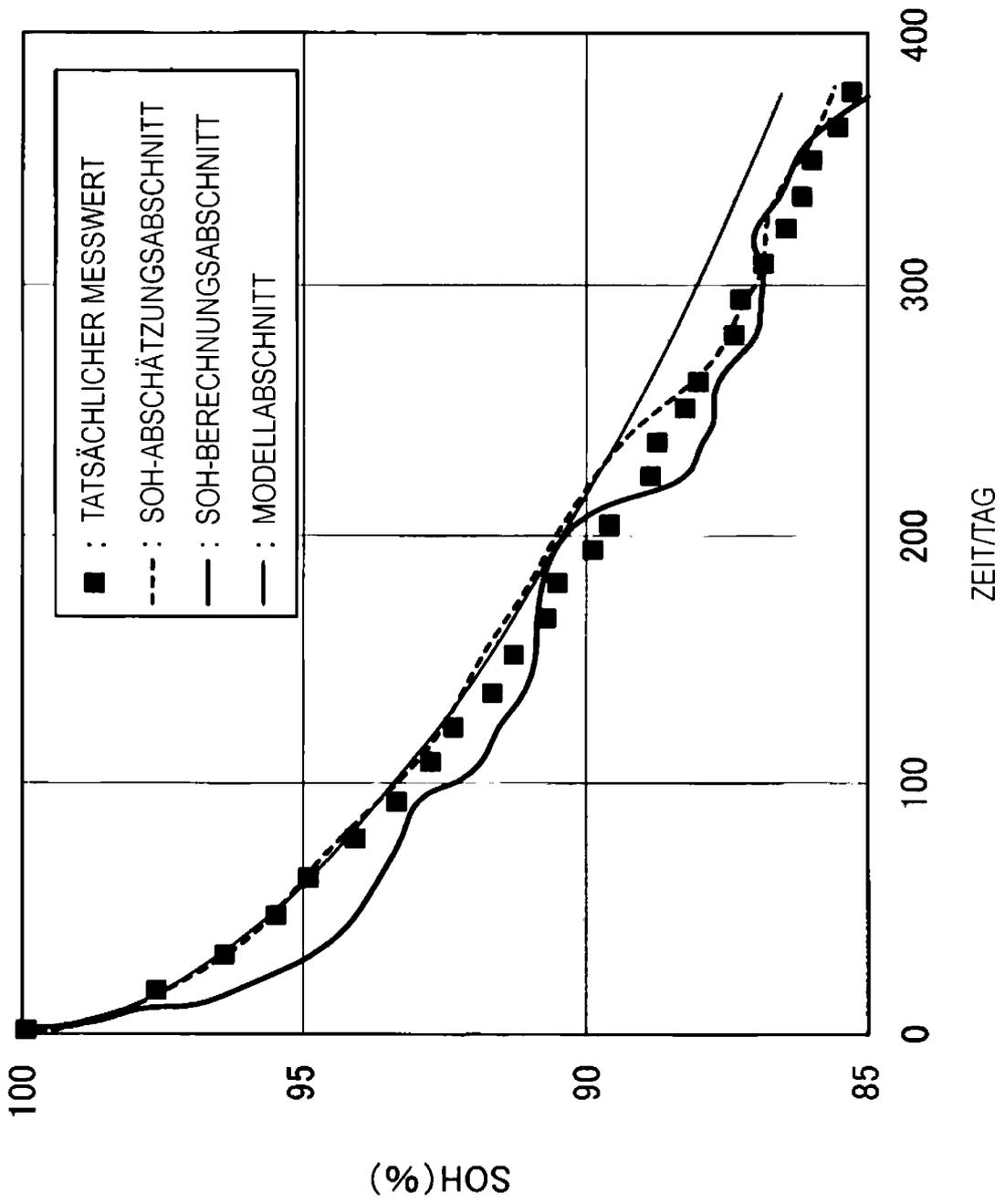


FIG. 12

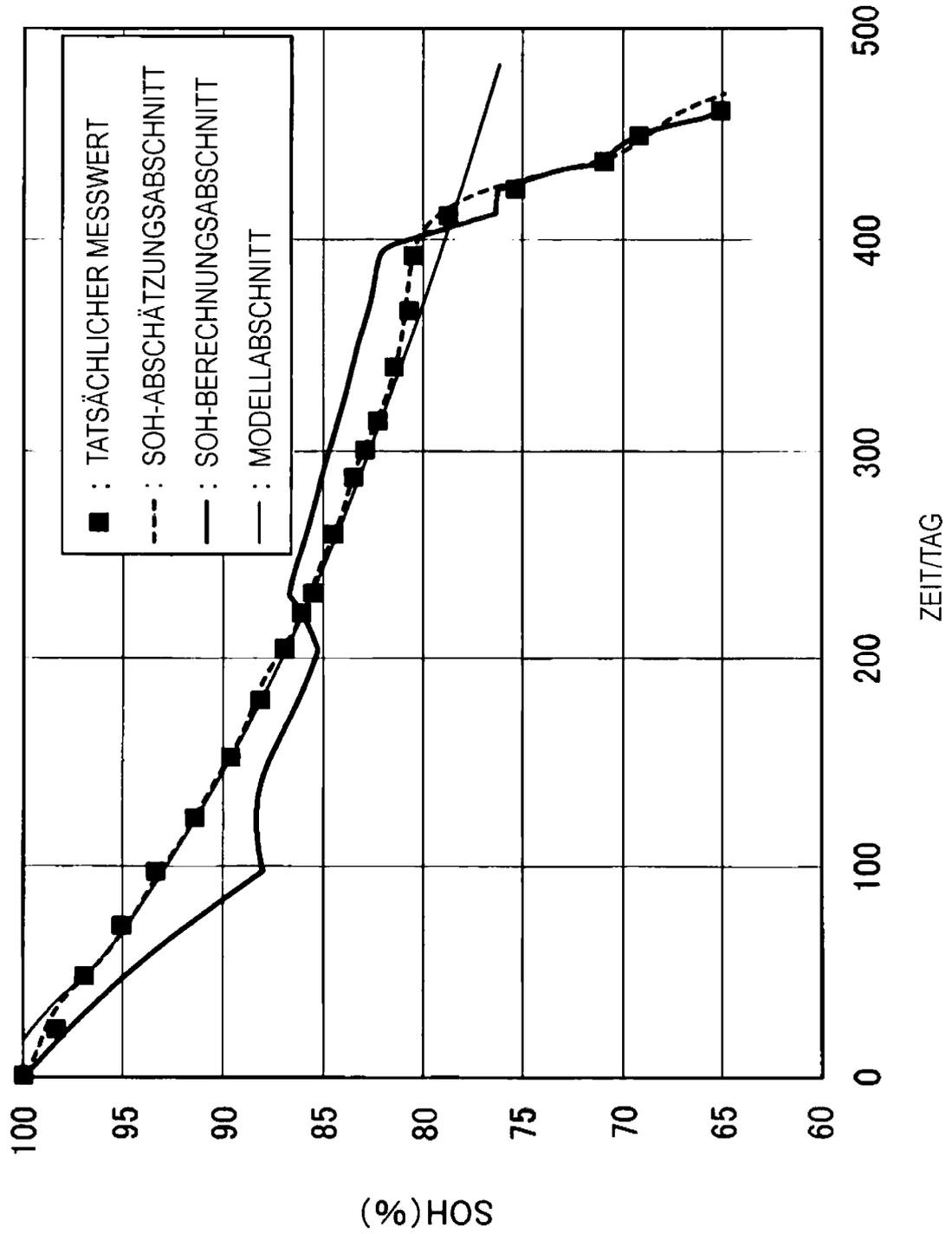


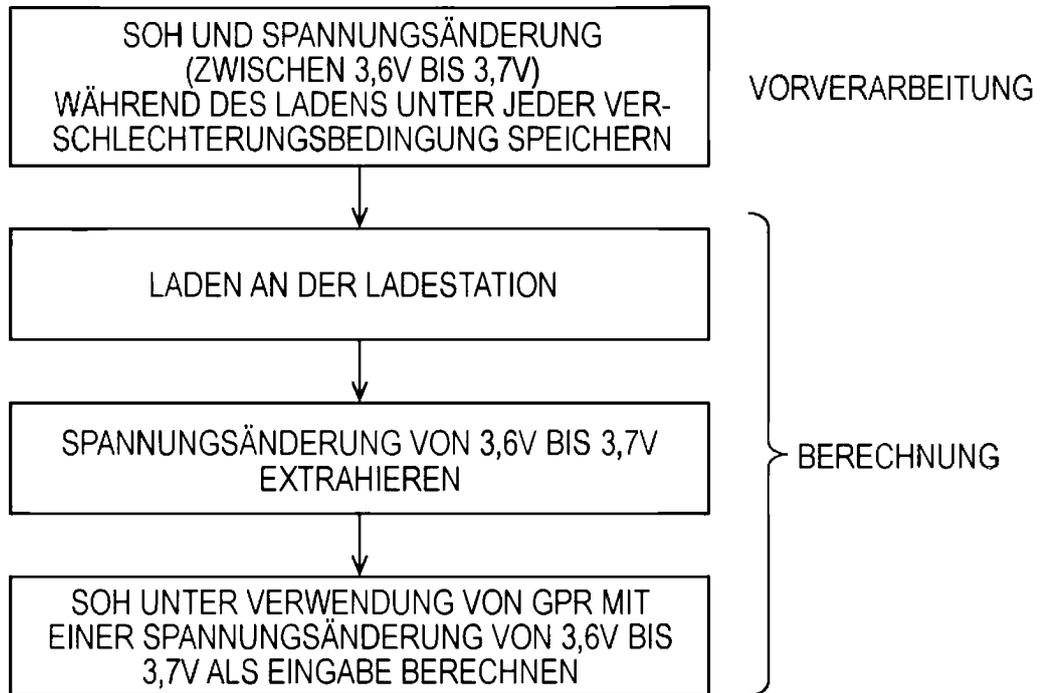
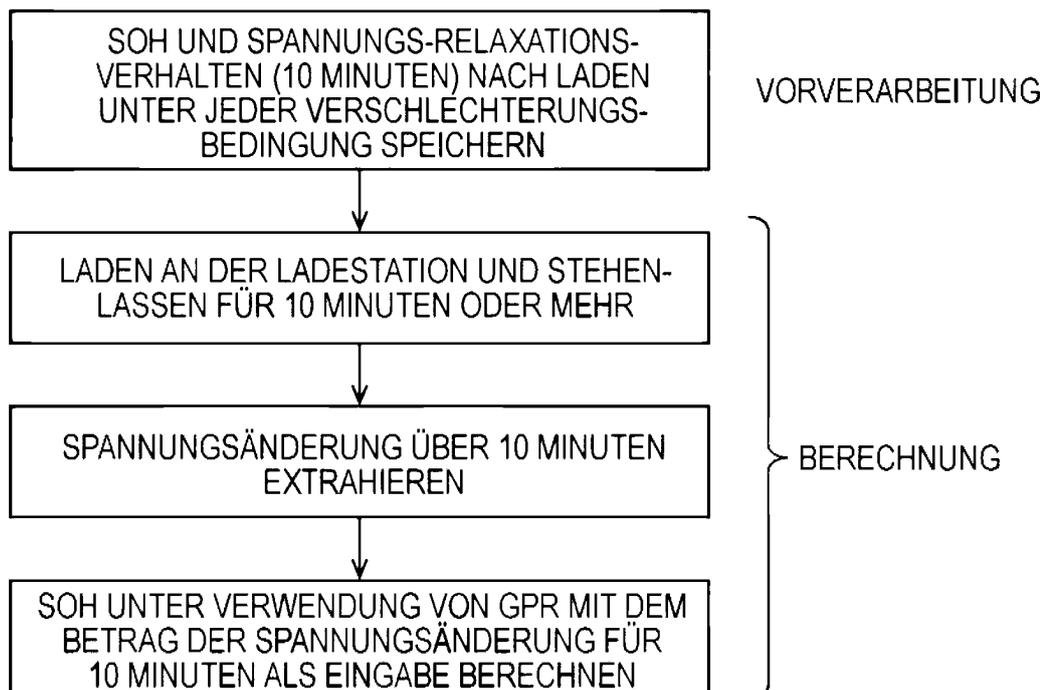
FIG. 13**FIG. 14**

FIG. 15

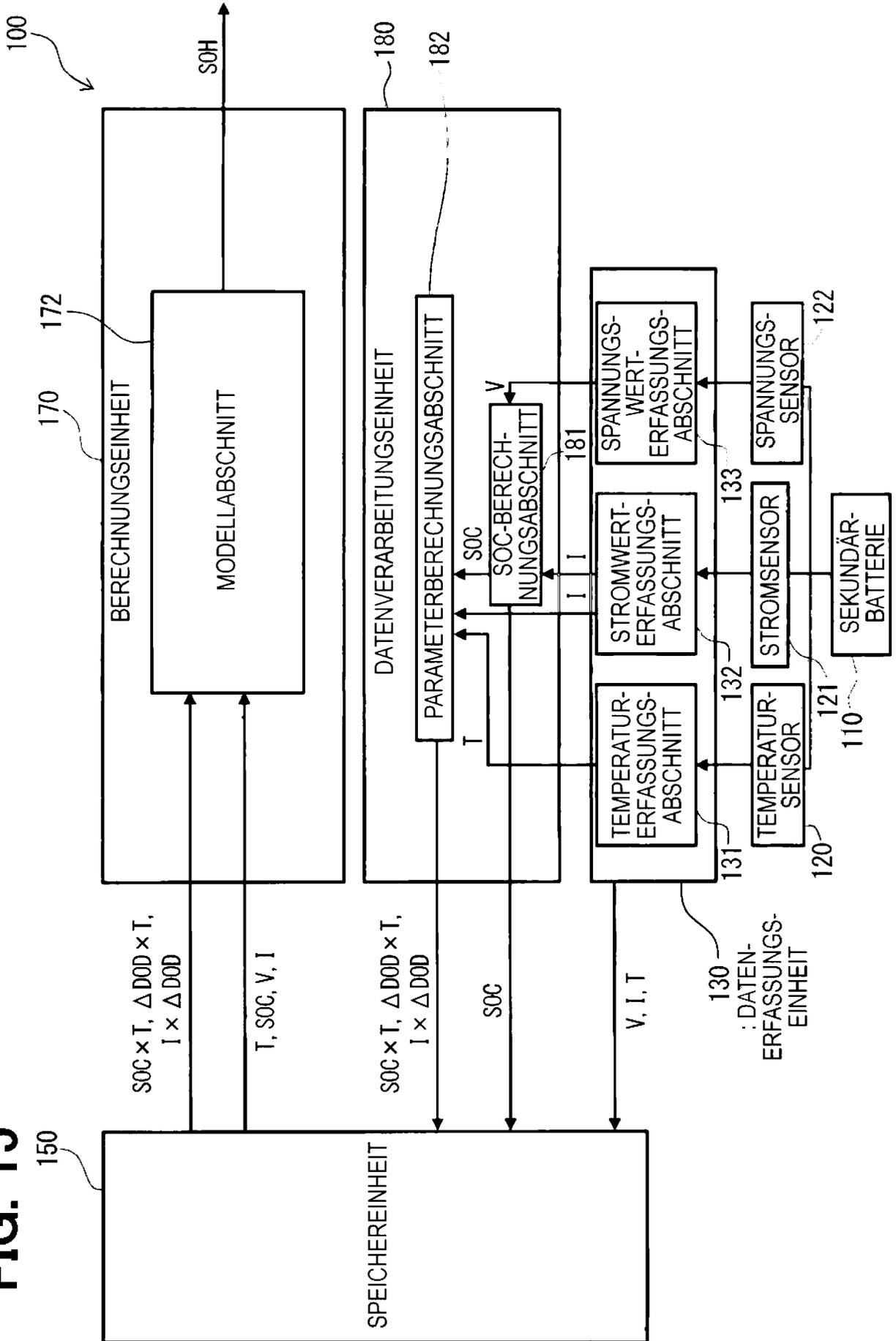


FIG. 16

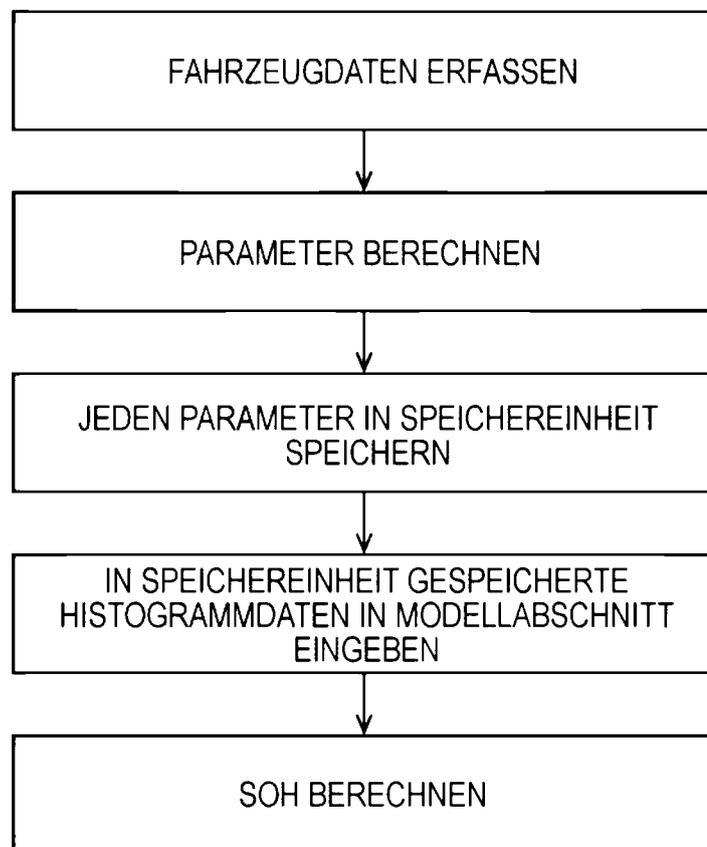


FIG. 17

$$SOH = f \{ T, SOC, I, \Delta DOD, SOC \times T, \Delta DOD \times T, I \times \Delta DOD \}$$

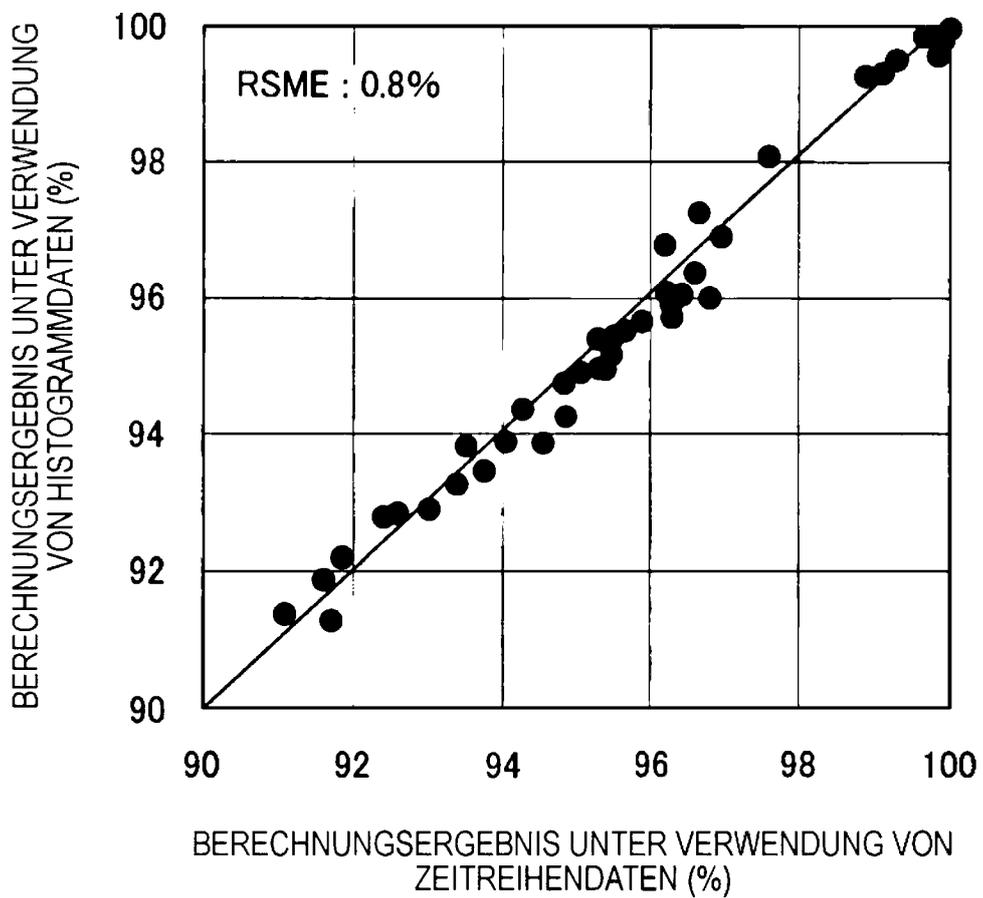


FIG. 18

