

(12)

## Patentschrift

(21) Anmeldenummer: A 50292/2021  
(22) Anmeldetag: 20.04.2021  
(45) Veröffentlicht am: 15.03.2022

(51) Int. Cl.: **G01R 31/392** (2019.01)  
**G01R 31/367** (2019.01)  
**B60L 58/10** (2019.01)

(56) Entgegenhaltungen:  
US 2016349330 A1  
WO 2020037060 A1  
WO 2021099102 A1  
Weitere Entgegenhaltungen: Siehe Beiblatt

(73) Patentinhaber:  
AVILOO GmbH  
2351 Wiener Neudorf (AT)

(74) Vertreter:  
Wildhack & Jellinek Patentanwälte OG  
1030 Wien (AT)

### (54) Ermittlung des Gesundheitszustands einer Fahrzeugbatterie

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Ermittlung des Gesundheitszustands der Fahrzeugbatterie eines Elektrofahrzeugs umfassend folgende Schritte:

- Belasten der Fahrzeugbatterie und Ermitteln von vorgegebenen Batterieparametern, während der Belastung,
- Berechnen des Gesundheitszustands der Fahrzeugbatterie unter Heranziehung eines fahrzeugspezifischen Batteriemodells (FM) basierend auf den übertragenen Batterieparametern. Die Erfindung ist dadurch gekennzeichnet, dass als fahrzeugspezifisches Batteriemodell (FM) zunächst ein vom Typ der Fahrzeugbatterie abhängiges Batteriegrundmodell (GM) in Form eines elektrischen Ersatzschaltbild-Modells herangezogen wird,
- wobei ein Innenwiderstand ( $R_0$ ) und RC-Glieder ( $RC_1, RC_2$ ) als Funktion der Zelltemperatur und des Ladezustands festgelegt werden,
- wobei eine Leerlaufspannungskennlinie (OCV) als Funktion des Ladezustands festgelegt wird und
- wobei die Zelltemperatur mittels eines thermischen Modells in Abhängigkeit von gemessenem Batteriepackstrom, EC-Parametern, Batteriemodultemperatur und Umgebungstemperatur festgelegt wird.

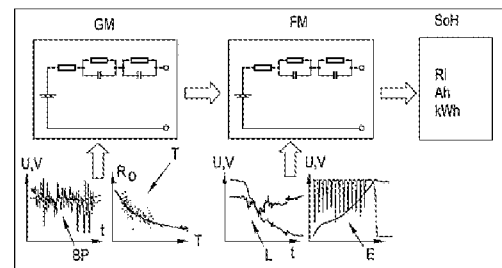


Fig. 2

(56) (Entgegenhaltungen (Fortsetzung))

BAUMANN, M. et al.: "Cloud-connected battery management for decision making on second-life of electric vehicle batteries", 2018 IEEE International Conference on Ecological Vehicles and Renewable Energies (EVER), 10 April 2018 (10.04.2018), Seiten 1-6, XP033348622.

SCHMALSTIEG, J. et al.: "A holistic aging model for Li(NiMnCo)O<sub>2</sub>-based 18650 lithium-ion batteries", Journal of Power Sources, 13. Februar 2014 (13.02.2014), Vol.257, Seiten 325-334, ISSN 0378-7753, XP028636618.

ECKER, M. et al.: "Calendar and cycle life study of Li(NiMnCo)O<sub>2</sub>-based 18650 lithium-ion batteries", Journal of Power Sources, 1. Februar 2014 (01.02.2014), Vol.248, Seiten 839-851, ISSN 0378-7753, XP055780104.

DE 102013017059 A1

US 2020284846 A1

WO 2019197592 A1

US 2018299511 A1

## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Ermittlung des Gesundheitszustands der Fahrzeugbatterie eines Elektrofahrzeugs oder Hybridelektrofahrzeugs gemäß Patentanspruch 1.

**[0002]** Batteriebetriebene Fahrzeuge wie Autos oder Fähren, aber auch stationäre Batteriespeichersysteme gewinnen im Zusammenhang mit der zunehmenden Nutzung erneuerbarer Energiequellen und der Reduktion des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes laufend an Bedeutung.

**[0003]** Der Gesundheitszustand (State of Health, SoH) ist eines der wichtigsten Charakteristika einer Batterie. Aufgrund komplexer chemischer Reaktionen im Inneren der Batterie nimmt die nutzbare Kapazität im Laufe der Zeit ab und ihr Gesundheitszustand sinkt. Der Gesundheitszustand setzt sich aus den Unterschieden verschiedener Parameter zwischen der Batterie im Neuzustand und im vermessenen Zustand zusammen. Die Parameter umfassen Kapazität, Energie, EC-Parameter und thermische Parameter.

**[0004]** Batterien weisen zumeist ein eigenes Batteriemanagementsystem auf, das in der Batterie integriert ist und die Batterie in einem sicheren Betriebszustand hält. Derartige Batteriemanagementsysteme sind dazu in der Lage, z.B. individuelle Zellenspannungen, den Batteriepackstrom oder Batteriemodultemperaturen auszulesen. Weitere Funktionen eines derartigen Batteriemanagementsystems sind die Schätzung des Ladezustands (State of Charge, SoC) und des Gesundheitszustands.

**[0005]** Aus dem Stand der Technik bekannte Batteriemanagementsysteme verfügen zumeist über einen kostengünstigen, einfachen Mikrocontroller. Daher müssen die Algorithmen, die zur Berechnung des Gesundheitszustands und des Ladezustands vom Batteriemanagementsystem genutzt werden, besonders rechenleistungssparend sein und sind deshalb entsprechend fehlerbehaftet. Der Ladezustand der Batterie wird bei den bekannten Batteriemanagementsystemen zumeist mittels eines Coulomb-Zählers kombiniert mit der Leerlaufspannungskennlinie der Batterie berechnet und basiert daher auf im Batteriemanagementsystem hinterlegten Labordaten und Algorithmen. Der Gesundheitszustand wird meist unter Heranziehung von vorgegebenen Alterungsmodellen berechnet. Aufgrund der vorgegebenen Daten und Modelle stellt der für die jeweilige Batterie errechnete Gesundheitszustand jedoch nur eine ungenaue Abschätzung des tatsächlichen Gesundheitszustands dar, da keine individuelle Anpassung an den jeweiligen Batterie- und/oder Fahrzeugtyp möglich ist.

**[0006]** Aus der EP 3224632 B1 ist ein Batteriemanagementsystem mit einem fahrzeuginternen und einem fahrzeugexternen Untersystem bekannt. Das fahrzeugexterne Untersystem kann Daten des fahrzeuginternen Untersystems speichern und anhand der gespeicherten Daten fahrzeugexterne Batteriemodelle erstellen und diese in Parameter einfacher fahrzeugexterner Batteriemodelle abbilden. Diese Parameter werden dann an das fahrzeuginterne Untersystem übermittelt, das basierend auf diesen Parametern ein einfaches fahrzeuginternes Batteriemodell auswählt und anhand des einfachen fahrzeuginternen Batteriemodells dann vom Batteriemanagementsystem ein Batteriestatus berechnet. Mit einer derartigen Vorgehensweise ist jedoch ebenfalls nur eine näherungsweise Abschätzung des Batteriestatus möglich, da aufgrund der begrenzten Speicher- und Rechenleistung des Batteriemanagementsystems Berechnungen lediglich mit einem vereinfachten fahrzeuginternen Batteriemodell durchgeführt werden können.

**[0007]** US 2016349330 A1 beschreibt eine Anordnung zur Ermittlung des Gesundheitszustandes der Fahrzeugbatterie eines Elektrofahrzeuges. Die Bestimmung des Gesundheitszustandes basiert durch den in Datenkommunikation stehenden Server unter Heranziehung eines auf maschinellem Lernen basierenden fahrzeugspezifischen Batteriemodells, wobei das Batteriemodell durch den Serienwiderstand R1 und das RC-Glied R2, C2 gebildet wird.

**[0008]** WO 2020037060 A1 beschreibt ein weiteres ähnliches Verfahren samt korrespondierender Vorrichtung zur Ermittlung des Gesundheitszustandes von Fahrzeugbatterien unter Verwendung einer an den Diagnoseanschluss des Fahrzeugs anschließbaren Datenübertragungseinheit, mit welcher Spannung und Strom als Batterieparameter erfasst werden.

**[0009]** Aufgabe der Erfindung ist es daher, diesbezüglich Abhilfe zu schaffen und ein Verfahren zur Ermittlung des Gesundheitszustands der Fahrzeugbatterie eines Elektrofahrzeugs oder Hybridelektrofahrzeugs bereitzustellen, die eine individualisierte und genaue Einschätzung des Gesundheitszustands der Fahrzeugbatterie ermöglichen.

**[0010]** Die Erfindung löst diese Aufgabe mit einem Verfahren zur Ermittlung des Gesundheitszustands der Fahrzeugbatterie eines Elektrofahrzeugs oder Hybridelektrofahrzeugs gemäß Patentanspruch 1. Erfindungsgemäß sind dabei folgende Schritte vorgesehen:

- Belasten der Fahrzeugbatterie und Ermitteln von vorgegebenen Batterieparametern, insbesondere Batteriepackspannung, Batteriepackstrom, Zellenspannung, Batteriemodultemperatur und/oder Ladezustand, vorzugsweise durch das Batteriemanagementsystem des Fahrzeugs, während der Belastung,
- Übertragen der ermittelten Batterieparameter, insbesondere mittels einer an einen Diagnoseanschluss des Fahrzeugs ansteckbaren Datenübertragungseinheit, vorzugsweise in Echtzeit, an einen, insbesondere vom Fahrzeug getrennten, Datenspeicher und
- Berechnen des Gesundheitszustands der Fahrzeugbatterie auf einem mit dem Datenspeicher in Datenkommunikation stehenden Server unter Heranziehung eines fahrzeugspezifischen Batteriemodells basierend auf den übertragenen Batterieparametern.

**[0011]** Mit einem erfindungsgemäßen Verfahren ist es vorteilhafterweise möglich, eine exakte Abschätzung des Gesundheitszustands der Fahrzeugbatterie zu erzielen, die auf einem individuell auf die untersuchte Fahrzeugbatterie bzw. das untersuchte Fahrzeug abgestimmten fahrzeugspezifischen Batteriemodell basiert. Da die Berechnung auf einem externen, vom Fahrzeug getrennten Server durchgeführt wird, ist es nicht erforderlich, ein vereinfachtes Batteriemodell zu wählen, wie dies bei einer Berechnung durch das Batteriemanagementsystem mit seiner begrenzten Rechenleistung und seinem begrenzten Speicherplatz erforderlich wäre. Ganz im Gegenteil dazu kann aufgrund der externen Berechnung auf einem Server das fahrzeugspezifische Batteriemodell beliebig komplex gestaltet werden und eine Vielzahl von Parametern, aktuellen und historischen Daten der untersuchten Fahrzeugbatterie, sowie ggf. zur Verfügung stehende Labordaten und Daten weiterer Fahrzeugbatterien in die Berechnung des Gesundheitszustands einfließen, was die Genauigkeit der Berechnung vorteilhafterweise wesentlich erhöht.

**[0012]** Ein besonders vielseitig einsetzbares und einfach für z.B. verschiedene Fahrzeugtypen und - Batteriealterungszustände, sowie Umgebungsbedingungen adaptierbares Batteriegrundmodell wird erfindungsgemäß bereitgestellt, wenn als fahrzeugspezifisches Batteriemodell zunächst ein vom Typ der Fahrzeugbatterie abhängiges Batteriegrundmodell in Form eines elektrischen Ersatzschaltbild-Modells herangezogen wird, wobei das Batteriegrundmodell eine Spannungsquelle, einen Innenwiderstand und eine Anzahl von, insbesondere zwei, RC-Gliedern umfasst,

- wobei der Innenwiderstand und die RC-Glieder als Funktion der Zelltemperatur und des Ladezustands festgelegt werden,
- wobei die Leerlaufspannungskennlinie als Funktion des Ladezustands festgelegt wird und
- wobei die Zelltemperatur mittels eines thermischen Modells in Abhängigkeit von der gemessenen Batteriepackstrom, den EC-Parametern, der Batteriemodultemperatur und der Umgebungstemperatur bestimmt wird.

**[0013]** Unter einem RC-Glied wird im Zusammenhang mit der Erfindung eine Schaltung verstanden, die aus einem ohmschen Widerstand und einem Kondensator aufgebaut ist.

**[0014]** Eine rasche und einfache aber gleichzeitig zuverlässige Parametrierung der Batterieparameter des Batteriegrundmodells kann erzielt werden, wenn, insbesondere vorab, den Batterieparametern des Batteriegrundmodells Werte auf Grundlage der Vermessung einzelner Zellen der Fahrzeugbatterie, insbesondere der Messung der Zellenspannung und des Zellenstromes einzelner Zellen, zugeordnet werden,

wobei insbesondere vorgesehen ist, dass die Leerlaufspannungskurve für zumindest eine einzelne Zelle, vorzugsweise mehrere einzelne Zellen, ermittelt wird und auf Grundlage der für die einzelne Zelle ermittelten Leerlaufspannungskurve die Leerlaufspannungskurve der Fahrzeug-

batterie abgeschätzt wird.

**[0015]** Eine hinsichtlich z.B. des spezifischen Alterungsprozesses, der individuellen Beschaffenheit und des Ladeverhaltens einer Fahrzeugbatterie besonders gut angepasstes fahrzeugspezifische Batteriemodell kann bereitgestellt werden, wenn die den Batterieparametern des Batteriegrundmodells zugeordneten Werte auf Grundlage der während der Belastung der Fahrzeugbatterie ermittelten Batterieparameter angepasst werden und derart das fahrzeugspezifische Batteriemodell erstellt wird.

**[0016]** Eine weitere Verbesserung der Übereinstimmung des fahrzeugspezifischen Batteriemodells mit der tatsächlichen Fahrzeugbatterie kann erzielt werden, wenn die den Batterieparametern des Batteriegrundmodells zugeordneten Werte in Abhängigkeit von der während der Belastung der Fahrzeugbatterie ermittelten Zelltemperatur und/oder dem Ladezustand und/oder der Alterung der Fahrzeugbatterie angepasst werden.

**[0017]** Eine besonders zuverlässige Anpassung der Werte der Batterieparametern des Batteriegrundmodells kann erzielt werden,

- wenn die Fahrzeugbatterie belastet wird, indem eine Testfahrt mit dem Fahrzeug unternommen wird,

- wenn für die Batterieparameter des Batteriegrundmodells für den während der Testfahrt vorherrschenden Ladezustand und die vorherrschende Zelltemperatur gültige Werte ermittelt werden, und

- wenn die derart ermittelten Werte mittels der, insbesondere erfindungsgemäß, auf Grundlage der Vermessung einzelner Zellen der Fahrzeugbatterie bestimmten Werte auf eine vorgegebene Temperatur, insbesondere von 25°C, normiert und zur Erstellung des fahrzeugspezifischen Batteriemodells auf einen vorgegebenen Ladezustandsbereich, insbesondere von 0 bis 100%, extrapoliert werden.

**[0018]** Die Genauigkeit der Übereinstimmung des fahrzeugspezifischen Batteriemodells mit der tatsächlichen Fahrzeugbatterie kann weiter verbessert werden, wenn im Batteriegrundmodell und/oder im fahrzeugspezifischen Batteriemodell zwischen den Zellen der Fahrzeugbatterie vorliegende Innenwiderstände, insbesondere verursacht durch Verkabelung und/oder Verschweißung, berücksichtigt werden.

**[0019]** Eine Möglichkeit einer Reichweitenschätzung beim aktuellen Batteriezustand kann bei einem erfindungsgemäßen Verfahren bereitgestellt werden, wenn das fahrzeugspezifische Batteriemodell einem vorgegebenen Testzyklus, insbesondere einem WLTP-Zyklus, unterworfen wird und eine Reichweitenschätzung beim aktuellen Gesundheitszustand der Fahrzeugbatterie durchgeführt wird,

wobei insbesondere vorgesehen ist, dass das fahrzeugspezifische Batteriemodell gemäß einem vorgegebenen Stromprofil mit Strom versorgt wird.

**[0020]** Eine erste Möglichkeit zur Belastung der Fahrzeugbatterie im Rahmen eines erfindungsgemäßen Verfahrens kann bereitgestellt werden, wenn die Fahrzeugbatterie belastet wird, indem eine Vollentleerungs-Testfahrt mit dem Fahrzeug unternommen wird, wobei die Fahrzeugbatterie während der Vollentleerungs-Testfahrt von ihrem vollständig geladenen Zustand bis zu ihrem vollständig entladenen Zustand entleert wird.

**[0021]** Eine weitere Möglichkeit zur Belastung der Fahrzeugbatterie im Rahmen eines erfindungsgemäßen Verfahrens mit der die Testzeit wesentlich verkürzt werden kann, kann bereitgestellt werden, wenn die Fahrzeugbatterie belastet wird, indem

- eine Ladung der Fahrzeugbatterie entsprechend zumindest einem vorgegebenen Lademuster durchgeführt wird und/oder

- eine Teilentleerungs-Testfahrt mit dem Fahrzeug unternommen wird, wobei die Fahrzeugbatterie während der Teilentleerungs-Testfahrt teilweise entleert wird und die während der Teilentleerungs-Testfahrt ermittelten Batterieparameter unter Heranziehung von historischen Daten und/oder Labordaten auf den vollständig entleerten Zustand extrapoliert werden.

**[0022]** Eine weitere Möglichkeit zur Belastung der Fahrzeugbatterie im Rahmen eines erfin-

dungsgemäßen Verfahrens mit der die Testzeit wesentlich verkürzt werden kann und auch keine Testfahrt mit dem Fahrzeug notwendig ist, kann bereitgestellt werden, wenn basierend auf dem fahrzeugspezifischen Batteriemodell unter Belastung auf einem Prüfstand die Leerlaufspannung der Fahrzeugbatterie mittels EC-Parameter berechnet wird,

- wobei der Zusammenhang zwischen der Leerlaufspannung und dem Ladezustand einzelner Zellen der Fahrzeugbatterie, insbesondere die Leerlaufspannungs-Ladezustand-Kurve, vorgegeben wird,

- wobei der aktuelle Ladezustand der Fahrzeugbatterie basierend auf der Leerlaufspannung ermittelt wird und

- wobei der Gesundheitszustand der Fahrzeugbatterie ermittelt wird, indem mittels eines Coulomb-Zählers und der entsprechenden Änderung des Ladezustands auf den vollständig entleerten oder geladenen Zustand extrapoliert wird.

**[0023]** Um den Gesundheitszustand der Fahrzeugbatterie auch zeitverzögert und offline, d.h. nach Abschluss der Belastung der Fahrzeugbatterie berechnen zu können, kann vorgesehen sein, dass der Gesundheitszustand der Fahrzeugbatterie berechnet wird, nachdem die Belastung der Fahrzeugbatterie und die Übertragung der während der Belastung der Fahrzeugbatterie ermittelten Batterieparametermesswerte an den Datenspeicher abgeschlossen ist.

**[0024]** Um auch den Gesundheitszustand von Fahrzeugen bzw. Fahrzeugtypen mit unterschiedlichsten Datenqualitäten bei den übermittelten Batterieparametern berechnen zu können, kann vorgesehen sein, dass die an den Datenspeicher übermittelten Batterieparameter einzelnen Datenverarbeitungsschritten, insbesondere einer Glättung und/oder Synchronisierung und/oder einem Resampling, unterzogen werden.

**[0025]** Offenbart ist weiters eine Anordnung zur Ermittlung des Gesundheitszustands der Fahrzeugbatterie eines Elektrofahrzeugs oder Hybridelektrofahrzeugs, die insbesondere dazu ausgebildet sein kann, ein erfindungsgemäßes Verfahren durchzuführen. Vorteilhafterweise ist dabei vorgesehen, dass die Anordnung folgende Komponenten umfasst:

- einen, insbesondere vom Fahrzeug getrennten, Datenspeicher,

- eine an einen Diagnoseanschluss des Fahrzeugs ansteckbare Datenübertragungseinheit, die dazu ausgebildet ist, vorgegebene, während einer Belastung der Fahrzeugbatterie, vorzugsweise durch das Batteriemanagementsystem des Fahrzeugs, ermittelte Batterieparameter an den Datenspeicher zu übertragen, und

- einen mit dem Datenspeicher in Datenkommunikation stehenden Server, der dazu ausgebildet ist, basierend auf den Batterieparametern den Gesundheitszustand der Fahrzeugbatterie unter Heranziehung eines fahrzeugspezifischen Batteriemodells zu berechnen, wobei der Server dazu ausgebildet ist, das Batteriemodell in Abhängigkeit vom Typ der Fahrzeugbatterie zu wählen.

**[0026]** Weiters betrifft die Offenbarung eine Datenübertragungseinheit für eine Anordnung zur Ermittlung des Gesundheitszustands der Fahrzeugbatterie eines Elektrofahrzeugs oder Hybridelektrofahrzeugs, insbesondere für eine offenbarte Anordnung. Vorteilhafterweise ist dabei vorgesehen, dass die Datenübertragungseinheit:

- an einen Diagnoseanschluss des Fahrzeugs ansteckbar ist und

- dazu ausgebildet ist, während einer Belastung der Fahrzeugbatterie, vorzugsweise durch das Batteriemanagementsystem des Fahrzeugs, ermittelte Batterieparameter an einen Datenspeicher zu übertragen.

**[0027]** Weitere Vorteile und Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich aus der Beschreibung und den beiliegenden Zeichnungen.

**[0028]** Die Erfindung ist im Folgenden anhand von besonders vorteilhaften, aber nicht einschränkend zu verstehenden Ausführungsbeispielen in den Zeichnungen schematisch dargestellt und wird unter Bezugnahme auf die Zeichnungen beispielhaft beschrieben.

**[0029]** Im Folgenden zeigen schematisch:

**[0030]** Fig. 1 ein Ausführungsbeispiel eines Ersatzschaltbilds eines Batteriegrundmodells

- [0031] Fig. 2 eine schematische Darstellung des Ablaufs der Erstellung eines fahrzeugspezifischen Batteriemodells,
- [0032] Fig. 3 einen Vergleich zwischen simulierter und gemessener Zellspannung während eines Fahrzyklus,
- [0033] Fig. 4 ein Ausführungsbeispiel eines thermischen Modells,
- [0034] Fig. 5 einen beispielhaften Verlauf eines HPPC-Zyklus,
- [0035] Fig. 6 ein Ausführungsbeispiel der Leerlaufspannungskennlinie für einzelne Zellen bzw. die Fahrzeugbatterie,
- [0036] Fig. 7 ein Ausführungsbeispiel für die Berechnung der Leerlaufspannungskennlinie aus einer Lade- und einer Entladekurve.

[0037] Da es sich bei den zur Beschreibung des Gesundheitszustands SoH einer Fahrzeugbatterie zu berücksichtigenden Einflussfaktoren um komplexe, meist nicht lineare Zusammenhänge handelt und diese wiederum von vielen unterschiedlichen Parametern abhängig sind, ist eine möglichst umfangreiche Datenbasis notwendig, um ein datenbasiertes Modell einer Fahrzeugbatterie zu erstellen. Auf Algorithmen des maschinellen Lernens basierende Batteriemodelle benötigen in diesem Zusammenhang eine möglichst umfangreiche Datenbasis mit Fahrdaten von verschiedenen Fahrzeugen eines Typs, über ein breites Spektrum an km-Ständen. Das bedeutet, es werden Fahrzeuge mit km-Ständen von 0-10.000 km, 10-50.000 km, 50-100.000 km usw. benötigt. Um ein fahrzeugspezifisches Batteriemodell möglichst robust gegen statistische Ausreißer zu machen, sollten von jeder Kategorie mehrere Fahrzeuge (z.B. 10) vorhanden sein. Besonders in den ersten Jahren nach Verkaufsstart eines neuen Fahrzeugmodells ist die Fahrzeugverfügbarkeit mit hohen km-Ständen (100.000 km und mehr) jedoch nicht gegeben.

[0038] Im Folgenden wird ein Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Verfahrens bzw. einer Anordnung zur Ermittlung des Gesundheitszustands SoH der Fahrzeugbatterie eines Elektrofahrzeugs im Detail beschrieben und vorteilhafte Optionen angegeben. Dieses Ausführungsbeispiel ist jedoch nicht einschränkend zu verstehen und mit einem erfindungsgemäßen Verfahren bzw. einer Anordnung kann auch der Gesundheitszustand SoH von z.B. eines Elektrofahrzeugs (battery electric vehicle BEV) oder eines plug-in Hybridelektrofahrzeugs (PHEV), aber auch anderer Batteriesysteme, wie sie in Fähren oder Flugzeugen, sowie stationären Speichersystemen eingesetzt werden, berechnet werden.

[0039] Bei einem erfindungsgemäßen Verfahren zur Ermittlung des Gesundheitszustands der Fahrzeugbatterie wird einerseits die Fahrzeugbatterie belastet, während eine Reihe vorgegebener Batterieparameter, vorzugsweise in Echtzeit, gemessen werden und andererseits wird ein modellbasierter Ansatz mit einem fahrzeugspezifischen Batteriemodell FM (Fahrzeugmodell) zur Berechnung des Gesundheitszustands verwendet. Ein derartiger modellbasierter Ansatz ist vor allem für die Berechnung des Gesundheitszustands SoH der Batterie von Gebrauchtwagen in deren ersten fünf Lebensjahren besonders vorteilhaft, bzw. solange die Fahrzeuge unter einem km-Stand von 100.000 km bleiben.

[0040] Bei diesen vorgegebenen Batterieparametern kann es sich z.B. um Batteriepackspannung und Batteriepackstrom und/oder Ladezustand, aber auch um Zellenspannung, Batteriemodultemperatur und/oder Ladezustand einzelner Zellen der Batterie handeln. Diese Batterieparameter können während der Belastung der Fahrzeugbatterie z.B. durch das in die Fahrzeugbatterie integrierte Batteriemanagementsystem des Fahrzeugs gemessen werden.

#### **Anordnung:**

[0041] Die gemessenen Batterieparameter werden anschließend an einen vom Fahrzeug getrennten Datenspeicher, beispielsweise einen Cloud-Speicher, übertragen, was annähernd in Echtzeit während der Belastung der Fahrzeugbatterie, oder auch nach Abschluss der Belastung und Messung der Batterieparameter erfolgen kann.

[0042] Die Berechnung des Gesundheitszustands SoH der Fahrzeugbatterie erfolgt anschlie-

ßend auf einem mit dem Datenspeicher in Datenkommunikation stehenden Server unter Heranziehung des fahrzeugspezifischen Batteriemodells und basierend auf den übertragenen Batterieparametern. Diese Berechnung des Gesundheitszustands SoH der Fahrzeugbatterie kann vorzugsweise offline, z.B. im Anschluss an die Messung der Batterieparameter und nach Abschluss der Datenübertragung an den Datenspeicher erfolgen. Optional ist es auch möglich, dass der Datenspeicher und der Server kombiniert sind.

**[0043]** Die Berechnung des Gesundheitszustands SoH der Fahrzeugbatterie auf einem externen, vom Fahrzeug getrennten Server bringt den erheblichen Vorteil mit sich, dass das Batteriemanagementsystem, wie eingangs erwähnt, weiterhin mit einem einfachen Mikrocontroller auskommen kann und dennoch eine komplexe Berechnung des Gesundheitszustands der Fahrzeugbatterie basierend auf einer großen Anzahl von Einflussfaktoren möglich ist. Dazu sind die für die Berechnung des Gesundheitszustands der Fahrzeugbatterie erforderlichen Algorithmen auf dem Server hinterlegt und alle Berechnungen werden auf dem Server ausgeführt und eine Hinterlegung bzw. Berechnung im Mikrocontroller des Batteriemanagementsystems ist vorteilhafterweise nicht erforderlich. Optional kann ein derartiger Server auch ein Userinterface aufweisen, auf dem ein Benutzer Einstellungen auswählen kann.

**[0044]** Auch können die während der Belastung gemessenen Batterieparameter optional auf dem Server und/oder im Datenspeicher einzelnen Datenverarbeitungsschritten unterworfen werden. Eine derartige Datenaufbereitung ist besonders vorteilhaft, da verschiedene Fahrzeuge bzw. Fahrzeugtypen unterschiedliche Datenqualität bei den übermittelten Batterieparametern aufweisen. Bedingt durch unterschiedliche Fahrzeug- und Batteriemanagementsystem-Hersteller werden die Batteriedaten in unterschiedlichen Qualitäten hinsichtlich Abtastrate und Auflösung der Batterieparameter zur Verfügung gestellt. Dies liegt hauptsächlich daran, dass hinsichtlich Batteriedaten keine Standards existieren. Im Rahmen einer solchen Datenaufbereitung können z.B. zunächst Ausreißer in den gemessenen Batterieparametern gelöscht werden, bevor anschließend die übermittelten Messwerte einer Glättung, einer Synchronisierung und/oder einem Resampling, um eine äquidistante Datenverteilung zu erhalten, unterzogen werden. Derartige Datenverarbeitungsschritte sind besonders vorteilhaft, um das fahrzeugspezifische Batteriemodell universell für alle Fahrzeugtypen und damit Datenqualitäten bereitstellen zu können.

**[0045]** Durch eine derartige zentrale Datenaufbereitung, Analyse und Algorithmik kann eine laufende Verbesserung der Berechnung des Gesundheitszustands insbesondere hinsichtlich Genauigkeit und Testzeitverkürzung erzielt werden, da übermittelte Rohdaten, sowie auch aufbereitete Daten dauerhaft verfügbar bzw. gespeichert sind und so in die Berechnung des Gesundheitszustands einfließen können.

**[0046]** Eine große Anzahl von Einflussfaktoren in die Berechnung des Gesundheitszustands einfließen zu lassen bzw. Datenverarbeitungsschritte bei den gemessenen Batterieparametern zu setzen, wäre aufgrund der eingeschränkten Rechenleistung der üblicherweise in Batteriemanagementsystemen eingesetzten Mikrocontroller nur eingeschränkt oder gar nicht möglich.

**[0047]** Die Übertragung der ermittelten Batterieparameter kann vorzugsweise mittels einer an den Diagnoseanschluss des Fahrzeugs ansteckbaren Datenübertragungseinheit erfolgen. Eine derartige Datenübertragungseinheit kann während der Belastung der Fahrzeugbatterie z.B. an den OBD2-Port oder den DoIP (Diagnostics over Internet Protocol)-Port des Fahrzeugs oder auch einen beliebigen anderen CAN-Bus (z.B. des Antriebsstrangs, des Entertainmentsystems oder des Fahrgestells) des Fahrzeugs angeschlossen werden. Es können dabei alle Arten von Fahrzeugen wie PKW, LKW, Busse, Schiffe, Motorräder sowie e- Bikes und auch stationäre Speicher diagnostiziert werden.

**[0048]** In der Datenübertragungseinheit sind Kommunikationsprotokolle für die verschiedenen Fahrzeugtypen hinterlegt, die es ermöglichen, die vom Batteriemanagementsystem ermittelten Batterieparameter auszulesen und z.B. mittels WiFi, LTE, Bluetooth oder Ethernet an den Datenspeicher zu übermitteln. Je nach Anwendungsfall kann hier ein bestimmter Übertragungspfad ausgewählt werden. Wie zuvor bereits erwähnt, kann die Übertragung der vom Batteriemanagementsystem gemessenen Batterieparameter quasi in Echtzeit erfolgen, oder in einem gepufferten

Modus, bei dem die Messwerte gesammelt und zwischengespeichert werden und erst übertragen werden, wenn eine Internetverbindung hergestellt wurde.

**[0049]** Alternativ dazu ist es aber auch möglich, dass die während der Belastung der Fahrzeugbatterie ermittelten Batterieparameter auf einem anderen Weg an den Datenspeicher übermittelt werden, was die Berechnung des Gesundheitszustands SoH der Fahrzeugbatterie mit einem erfindungsgemäßen Verfahren in keiner Weise einschränkt, so lange die Batterieparameter während einer Belastung der Fahrzeugbatterie gemessen wurden.

### Batteriegrundmodell GM:

**[0050]** Für die Erstellung des fahrzeugspezifischen Batteriemodells FM wird im ersten Ausführungsbeispiel zunächst, wie in Fig. 1 gezeigt, ein Batteriegrundmodell GM erstellt, welches danach für die verschiedenen Fahrzeugtypen fein abgestimmt wird, um dann das fahrzeugspezifische Batteriemodell FM zu erhalten, das an die Alterung der Fahrzeugbatterie, sowie den Fahrzeug- und Batterietyp angepasst ist (siehe schematische Überblicksdarstellung in Fig. 2).

**[0051]** Das Batteriegrundmodell GM in Fig. 1 ist ein elektrisches Ersatzschaltbild- bzw. Equivalent Circuit (EC)-Modell, das die Spannung der Fahrzeugbatterie in Abhängigkeit von Strom und Ladezustand über einen Innenwiderstand  $R_0$  und zwei RC-Glieder  $RC_1$ ,  $RC_2$  beschreibt.

**[0052]** Ein derartiges EC-Modell ist eine komplexe mathematische Beschreibung für eine Batterie, wobei das Batteriegrundmodell GM, wie in Fig. 1 ersichtlich ist, zunächst für jedes Fahrzeug gleich gewählt wird.

**[0053]** Der Innenwiderstand  $R_0$  und die RC-Glieder  $RC_1$ ,  $RC_2$  sind im ersten Ausführungsbeispiel als Funktionen der Zelltemperatur und des Ladezustands der einzelnen Zellen festgelegt, die Leerlaufspannungskennlinie (Open Circuit Voltage) OCV als Funktion des Ladezustands und die Zelltemperatur wird mittels eines thermischen Modells in Abhängigkeit von der gemessenen Batteriepackstrom, den EC-Parametern, der Batteriemodultemperatur und der Umgebungstemperatur berechnet. Hierauf wird im Folgenden näher eingegangen.

EC-Parameter Identifikation:

**[0054]** Die EC-Parameter werden mit Hilfe verschiedener Least Squares-Algorithmen identifiziert. Grundlage für die Identifikation ist die exakte Leerlaufspannungskennlinie OCV. Anschließend werden basierend auf der Spannungsdifferenz  $U_{EC}$  zwischen Batteriespannung  $U_{Batt}$  und der Leerlaufspannungskennlinie OCV die EC-Parameter identifiziert:

$$U_{EC} = U_{Batt} - OCV$$

**[0055]**  $U_{EC}$  besteht nun aus den Spannungsabfällen über den Innenwiderstand und die zwei RC-Glieder:

$$U_{EC} = U_0 + U_{RC1} + U_{RC2}$$

**[0056]** Der Spannungsabfall am  $RC_1$ -Glied wird nach der z-Transformation beschrieben durch

$$u_{RC1}(k) = \frac{b_1}{z - a_1} * i(k)$$

mit

$$a_1 = e^{-\frac{T_s}{\tau_1}}$$

$$b_1 = R_1 * (1 - a_1)$$

wobei  $\tau_1$  und  $R_1$  die Parameter des RC-Gliedes darstellen. Gleiches gilt für das  $RC_2$ -Glied mit  $\tau_2$  und  $R_2$ .

**[0057]** Durch diese Beschreibung kann die Gleichung für die Spannung  $U_{EC}$  aufgestellt werden:

$$U_{EC}(k) = \left( R_0 + \frac{b_1}{z - a_1} + \frac{b_2}{z - a_2} \right) * i(k) + c_0$$

[0058] Mit den Koeffizienten

$$\theta_{d,0} = a_1 + a_2$$

$$\theta_{d,1} = a_1 * a_2$$

$$\theta_{n,2} = R_0$$

$$\theta_{n,1} = b_1 + b_2 - R_0 * (a_1 + a_2)$$

$$\theta_{n,0} = R_0 * a_1 * a_2 - a_2 * b_1 - a_1 * b_2$$

können die Systemgleichungen definiert werden:

$$y(k) = z^2 U_{EC}(k)$$

$$\theta = [\theta_{d,0}, \theta_{d,1}, \theta_{n,2}, \theta_{n,1}, \theta_{n,0}, (1 - \theta_{d,0} - \theta_{d,1})c_0]^T$$

$$\phi(k) = [zU_{EC}(k), U_{EC}(k), z^2 i(k), zi(k), i(k), 1]^T$$

die über

$$y(k) = \theta^T * \phi(k)$$

die Spannung  $U_{EC}(k)$  beschreiben. Mit der bekannten Kostenfunktion der Least-Squares-Methode

$$J = \sum [y(k) - \theta^T * \phi(k)]^2$$

und deren Inversion können die Parameter in  $\theta$  gefunden werden.

$$\theta = (\Phi^T * \Phi)^{-1} * \Phi^T * Y$$

[0059] Optional können hierbei auch auftretende fehlerbehaftete Signale, Verrauschung oder Signallücken berücksichtigt werden, die zu Instabilitäten in den Identifikations-Algorithmen führen können.

[0060] Fig. 3 zeigt den Vergleich zwischen simulierter Zellspannung  $U_{EC,Model}/U_{Batt}$  und gemessener Zellspannung  $U_{Batt}$ .

Thermisches Modell:

[0061] Die Berücksichtigung eines thermischen Modells ist besonders vorteilhaft, da die EC-Parameter abhängig von der Zelltemperatur sind, allerdings nur die Oberflächentemperatur gemessen werden kann.

[0062] Das verwendete vereinfachte thermische Modell (siehe Fig. 4) geht davon aus, dass die gesamte Wärmemenge, die durch den Leistungsabfall über die Innenwiderstände bedingt ist, punktförmig in der Mitte der Zelle erzeugt wird.

$$\dot{Q}_{Inr} = R_{ges} * I_{Batt}^2$$

[0063] Über die Wärmekapazität  $c_{Li}$  und Masse  $m_{Cell}$  der Zelle kann eine Temperaturerhöhung der Kerntemperatur beschrieben werden.

$$\Delta T_{Inr} = \int (\dot{Q}_{Inr} - \dot{Q}_{cond}) * c_{Li} * m_{Cell}$$

[0064] Dadurch stellt sich ein Wärmestrom  $\dot{Q}_{cond}$  zur Oberfläche ein, welcher die Oberflächentemperatur erhöht und die Kerntemperatur senkt.

$$\Delta T_{Surf} = \int (\dot{Q}_{cond} - \dot{Q}_{rad} - \dot{Q}_{conv}) * c_{Surf} * m_{Surf}$$

**[0065]** Durch Konvektion  $\dot{Q}_{conv}$  und Strahlung  $\dot{Q}_{rad}$  gibt die Zelle dann Wärme an die Umgebung ab.

**[0066]** Optional können im Batteriegrundmodell GM auch die zwischen den Zellen der Fahrzeugbatterie vorliegende Innenwiderstände, die z.B. durch Verkabelung und/oder Verschweißung verursacht werden, berücksichtigt werden.

**[0067]** Da eine Fahrzeugbatterie, z.B. eines Elektroautos, aus bis zu 188 in Serie geschalteten Zellen besteht, wird als Grundlage für die Parametrierung des Batteriegrundmodells GM im ersten Ausführungsbeispiel ein Zellmodell gewählt. Daher werden zur Erstellung des fahrzeugspezifischen Batteriemodells FM im ersten Ausführungsbeispiel den Batterieparametern des Batteriegrundmodells GM vorab Werte auf Grundlage der Vermessung einzelner Zellen der Fahrzeugbatterie zugeordnet. Dazu werden Zellenspannung und/oder Zellenstrom einzelner Zellen gemessen und anschließend auf die Fahrzeugbatterie extrapoliert.

**[0068]** Dies Vermessung einzelner Zellen erfolgt im ersten Ausführungsbeispiel im Rahmen eines Zell-Tests, der folgende Zyklen umfasst:

- Einen Zyklus zur Identifikation der Leerlaufspannungskennlinie  $OCV_{cell}$ , wobei eine langsame Ladung und Entladung der Fahrzeugbatterie bei 25°C mit C/20 vorgenommen wird.
- Zyklen zur Identifikation des thermischen Modells und zur Validierung des Gesamtmodells, wobei jeweils ein HPPC (Hybrid Puls Power Characterization)-Zyklus bei verschiedenen Temperaturen von z.B. -10°C, 0°C, 10°C, 25°C, 45°C durchgeführt wird.
- Einen simulierten Fahrzyklus zur Identifikation der EC-Parameter, der jeweils bei verschiedenen Temperaturen von z.B. z.B. -10°C, 0°C, 10°C, 25°C, 45°C durchgeführt wird.

Kapazität-OCV:

**[0069]** Der Kapazitäts- bzw. OCV-Zyklus dient zur Kapazitätsvermessung und zur Bestimmung der Leerlaufspannungskennlinie  $OCV_{cell}$  der Zelle. Dies ist vorteilhaft, da die Zellen in ihrer Kapazität einer starken Serienstreuung unterliegen und der Wert aus dem Datenblatt nur einen Mindestwert darstellt. Für die Bestimmung der Leerlaufspannungskennlinie  $OCV_{cell}$  der Zelle muss jedoch die Kapazität mit hoher Genauigkeit bestimmt werden.

**[0070]** Dieser Zyklus wird durch folgende Charakteristik beschrieben:

**[0071]** Die Zelle befindet sich im Zustand leer (0% SoC oder min. Zellspannung laut Datenblatt auch Entladeschlussspannung genannt). Beginn der Ladung mit konstanter C-Rate, bis die Ladeschlussspannung erreicht ist. Diese Phase wird CC (Constant Current)-Phase genannt. Danach beginnt die CV (Constant Voltage)-Phase, in dieser Phase wird die Spannung solange auf der Ladeschlussspannung gehalten bis der Ladestrom eine Schwelle von 0.025C unterschreitet. Danach erfolgt eine einstündige Pause, in welcher sich die Zelle erholt und abkühlt. Anschließend beginnt die Entladung, mit der gleichen C-Rate wie beim Laden, bis zum Erreichen der Entladeschlussspannung. Hier beginnt wieder die CV-Phase bis der Entladestrom 0.025C unterschreitet. Dieser Zyklus wird mehrere Male wiederholt und dabei die C-Rate zwischen 0.1-1C und die Temperatur zwischen -10° und 40°C variiert.

HPPC bzw. GITT:

**[0072]** Der HPPC-Zyklus ist die Erweiterung des GITT (Galvanostatic Intermittent Titration Technique)-Zyklus bei dem pulsformige Ladungen und Entladungen vorgenommen werden. Beim HPPC-Zyklus werden diese Pulse mit unterschiedlichen Amplituden und auch wechselnder Polarität ausgeführt. Fig. 4 zeigt einen beispielhaften Verlauf eines derartigen HPPC-Zyklus.

**[0073]** Der HPPC-Zyklus wird verwendet, um die aus Fahrzyklen identifizierten Parameter zu überprüfen und zu plausibilisieren. Um den HPPC-Zyklus für die Identifikation der Temperaturabhängigkeit der Parameter zu verwenden und das thermische Modell zu verifizieren, wird zwischen den einzelnen HPPC-Stufen eine mehrstündige Pause gemacht, damit sich die Zelle wieder auf Umgebungstemperatur abkühlen kann.

Fahrzyklus:

**[0074]** Beim Fahrzyklus-Test ist es möglich, einen realen Fahrzyklus aus einer Datenbank auf eine beliebige Zelle im Zellteststand aufzuprägen. Dieser Zyklus eignet sich durch die hohe Dynamik im Stromsignal am besten zur Identifikation der EC-Parameter mittels Least Squares-Algorithmen.

**[0075]** Diese Zyklen werden auf Einzelzellen bzw. Zellpacks, welche in den verschiedenen Elektroautos verbaut sind, angewendet, um Werte für die Batterieparameter des Batteriegrundmodells GM zu identifizieren. Diese für einzelne Zellen bzw. Zellpacks ermittelten Werte werden, abhängig von Verschaltung der Einzelzellen im Fahrzeug, auf die Fahrzeugbatterie hochskaliert, um ein fahrzeugspezifisches Batteriemodell FM zu erhalten. Um die Serienstreuung der Zellen zu berücksichtigen, werden diese Zell-Tests bei mehreren Zellen desselben Typs angewandt.

**[0076]** Diese Skalierung ist am Beispiel der Leerlaufspannungskennlinie OCV in Fig. 6 dargestellt. In Fig. 6 sind die Leerlaufspannungskennlinie  $OCV_{cell}$  einer ersten Zellvermessung im Labor, sowie die Leerlaufspannungskennlinie  $OCV_{car}$  der Fahrzeugbatterie im Fahrzeug dargestellt. Die Leerlaufspannungskennlinie  $OCV_{cell}$  der Zelle und  $OCV_{car}$  der Fahrzeugbatterie sind im mittleren Bereich deckungsgleich.

#### **Fahrzeugspezifisches Batteriemodell FM:**

**[0077]** Die Werte, die den Batterieparametern des Batteriegrundmodells GM zugewiesen werden, sind jedoch alterungs- und temperaturabhängig. Daher werden anschließend die den Batterieparametern des Batteriegrundmodells GM zugeordneten Werte auf Grundlage der während der Belastung der Fahrzeugbatterie ermittelten Batterieparameter angepasst und das fahrzeugspezifische Batteriemodell FM wird auf diese Weise erstellt. Dabei werden die den Batterieparametern des Batteriegrundmodells GM zugeordneten Werte in Abhängigkeit von der während der Belastung der Fahrzeugbatterie ermittelten Zelltemperatur und/oder dem Ladezustand und/oder der Alterung der Fahrzeugbatterie angepasst.

**[0078]** Dazu können die Werte, die den Batterieparametern des Batteriegrundmodells GM zunächst zugewiesen werden, beispielsweise durch eine Belastung in Form einer Testfahrt mit dem Fahrzeug festgelegt und z.B. mittels Lookup-Tables gegenüber der Temperatur angepasst werden. So ist es möglich, nach einer kurzen Testfahrt ein digitales Abbild der Fahrzeugbatterie und gleichzeitig Werte für den Innenwiderstand  $R_0$  zu erhalten, um anschließend Aussagen über den Zustand der Fahrzeugbatterie machen zu können.

**[0079]** Die Fahrzeugbatterie kann einerseits belastet werden, indem eine Vollentleerungs-Testfahrt mit dem Fahrzeug unternommen wird. Dabei wird die Fahrzeugbatterie zunächst vollständig geladen und während der Vollentleerungs-Testfahrt von ihrem vollständig geladenen Zustand bis zu ihrem vollständig entladenen Zustand entleert.

**[0080]** So kann eine Vollentleerungs-Testfahrt durchgeführt werden, wobei eine zuvor beschriebene Datenübertragungseinheit an das Fahrzeug angeschlossen ist. Die gemessenen Parameter Batteriepackstrom, Batteriepackspannung, Batteriemodultemperatur, Ladezustand SoC, Umgebungstemperatur, Zellspannungen werden an Datenspeicher bzw. den Server übertragen.

**[0081]** Nach beendeter Testfahrt werden die gesammelten Daten geglättet, synchronisiert und daraus die den Batterieparametern des Batteriegrundmodells GM zugeordneten Werte angepasst. Zur Schätzung der Werte der Batterieparameter des Batteriegrundmodells GM wird ein Identifikations-Algorithmus, wie dies zuvor im Abschnitt „EC-Parameter-Identifikation“ beschrieben wurde.

**[0082]** Die so bestimmten Werte der Batterieparameter des Batteriegrundmodells GM basierend auf den Umgebungsparametern der Testfahrt, sind also gültig für den gefahrenen Ladezustands-Bereich und die Zelltemperatur während der Testfahrt. Da diese Modellparameter allerdings stark von der Temperatur und dem Ladezustand abhängig sind, werden die Modellparameter anschließend vorteilhafterweise normiert. Die geschätzten Werte der Batterieparameter des Batteriegrundmodells GM werden nun mittels des Batteriegrundmodells GM, das durch Zell-Tests fest-

gelegt wurde und auf 25°C normiert, da die Messung bei verschiedenen Umweltbedingungen stattfinden können, sodass eine Normierung auf Standard-Bedingungen vorteilhaft ist. Auf diese Weise wird das fahrzeugspezifische Batteriemodell FM erstellt.

**[0083]** Im gezeigten Ausführungsbeispiel wird vorteilhafterweise die Testzeit im Vergleich zu einer derartigen Vollentleerungstestfahrt wesentlich verkürzt, z.B. auf eine Dauer von 30 Minuten, indem eine Teilentleerungs-Testfahrt mit dem Fahrzeug unternommen wird, wobei die Fahrzeugbatterie während der Teilentleerungs-Testfahrt teilweise entleert wird und die während der Teilentleerungs-Testfahrt ermittelten Batterieparameter unter Heranziehung von historischen Daten und/oder Labordaten auf den vollständig entleerten Zustand extrapoliert werden.

**[0084]** Wie zuvor für die Vollentleerungs-Testfahrt beschrieben, werden auch bei der Teilentleerungs-Testfahrt die geschätzten Werte der Batterieparameter des Batteriegrundmodells GM mittels des Batteriegrundmodells, das durch Zell-Tests festgelegt wurde und auf 25°C normiert, anschließend auf den gesamten möglichen Ladezustands-Bereich von 0% bis 100% extrapoliert und auf diese Weise wird das fahrzeugspezifische Batteriemodell FM erstellt.

**[0085]** Weiters alternativ dazu kann die Testzeit vorteilhafterweise wesentlich verkürzt werden, wenn die Fahrzeugbatterie belastet wird, indem eine Ladung der Fahrzeugbatterie entsprechend zumindest einem vorgegebenen Lademuster durchgeführt wird.

**[0086]** Das Lademuster besteht je nach Fahrzeug aus Phasen eines invertierten Fahrzyklus (EC-Parameter Bestimmung) und aus Phasen eines HPPC-Zyklus (EC-Parameter Verifikation). Dabei wird die Fahrzeugbatterie in möglichst kurzer Zeit um ca. 20% geladen. Am Beginn und Ende des Zyklus sind Pausen von ca. 30min um die Leerlaufspannungskennlinie OCV zu messen. Der Ladezustand zu Testbeginn liegt vorzugsweise zwischen 30-60%.

**[0087]** Durch das spezielle Lademuster welches auf gute Identifizierbarkeit der EC-Parameter ausgelegt ist, kann bereits nach kurzer Ladung von wenigen % auf den gesamten Ladezustands-Bereich extrapoliert werden und eine Ermittlung des Gesundheitszustands SoH durchgeführt werden.

### **Bestimmung des Gesundheitszustands SoH:**

**[0088]** Mit dem erstellten fahrzeugspezifischen Batteriemodell FM kann nun eine Vollladung sowie eine komplette Entladung simuliert werden, um die Kapazität der Fahrzeugbatterie bzw. deren Gesundheitszustand SoH zu bestimmen.

**[0089]** Da nun das fahrzeugspezifische Batteriemodell FM mit der realen Batterie übereinstimmt, kann unter Belastung auf die Leerlaufspannung  $OCV_{car}$  zurückgerechnet werden. Wenn zusätzlich der Zusammenhang zwischen der Leerlaufspannung  $OCV_{cell}$  und dem Ladezustand einzelner Zellen der Fahrzeugbatterie, d.h. die Leerlaufspannungs-Ladezustand-Kurve, der Zelle bekannt ist, kann damit auf den aktuellen Ladezustand SoC geschlossen werden (siehe schematische Darstellung in Fig. 7).

**[0090]** Dadurch ist es möglich, auch wenn nur ein Teil der Ladung L oder Entladung E aufgezeichnet wird, auf den Gesundheitszustand SoH der Fahrzeugbatterie zu schließen (siehe schematische Ablaufdarstellung in Fig. 2). Dies erfolgt im Ausführungsbeispiel, indem über einen Coulomb-Zähler und die entsprechende Ladezustands-Änderung auf den vollständig entleerten bzw. geladenen Zustand extrapoliert wird. Der Coulomb-Zähler misst die eingespeiste Ladung und zieht die entnommene Ladung davon ab, um auf die Kapazität zu schließen.

**[0091]** Mit dem normierten und ggf. extrapolierten fahrzeugspezifischen Batteriemodell FM wird im Ausführungsbeispiel ein WLPT (Worldwide Harmonized Light-Duty Vehicle Test Procedure) - Zyklus simuliert. Dazu wird das Modell mit einem vorgegebenen Stromprofil, das angepasst an das Fahrzeug ist, bestromt. Aus der Simulation wird die Energie, welche aus der Batterie während des WLPT-Zyklus entnommen wird, berechnet und ins Verhältnis mit der nominalen Energie des Fahrzeugs gesetzt, um somit den Gesundheitszustand SoH zu berechnen.

**[0092]** Optional ist es auch möglich, dass auch eine Reichweitenschätzung beim aktuellen Ge-

gesundheitszustand SoH der Fahrzeugbatterie durchgeführt wird, wenn das fahrzeugspezifische Batteriemodell dem WLTP-Zyklus, unterworfen wird.

**[0093]** Wird der Gesundheitszustand SoH eines anderen Batteriesystems berechnet, wie z.B. eines Flugzeugs, oder stationärer Speichersysteme, sind anstelle von Testfahrten bzw. -flügen vorgegebene Lademuster besonders vorteilhaft.

## Patentansprüche

1. Verfahren zur Ermittlung des Gesundheitszustands der Fahrzeugbatterie eines Elektrofahrzeugs oder Hybridelektrofahrzeugs umfassend folgende Schritte:
  - Belasten der Fahrzeugbatterie und Ermitteln von vorgegebenen Batterieparametern, insbesondere Batteriepackspannung, Batteriepackstrom, Zellenspannung, Batteriemodultemperatur und/oder Ladezustand, vorzugsweise durch das Batteriemanagementsystem des Fahrzeugs, während der Belastung,
  - Übertragen der ermittelten Batterieparameter, insbesondere mittels einer an einen Diagnoseanschluss des Fahrzeugs ansteckbaren Datenübertragungseinheit, vorzugsweise in Echtzeit, an einen, insbesondere vom Fahrzeug getrennten, Datenspeicher und
  - Berechnen des Gesundheitszustands der Fahrzeugbatterie auf einem mit dem Datenspeicher in Datenkommunikation stehenden Server unter Heranziehung eines fahrzeugspezifischen Batteriemodells (FM) basierend auf den übertragenen Batterieparametern, **dadurch gekennzeichnet**, dass als fahrzeugspezifisches Batteriemodell (FM) zunächst ein vom Typ der Fahrzeugbatterie abhängiges Batteriegrundmodell (GM) in Form eines elektrischen Ersatzschaltbild-Modells herangezogen wird, wobei das Batteriegrundmodell (GM) eine Spannungsquelle, einen Innenwiderstand ( $R_0$ ) und eine Anzahl von, insbesondere zwei, RC-Gliedern ( $RC_1$ ,  $RC_2$ ) umfasst,
    - wobei der Innenwiderstand ( $R_0$ ) und die RC-Glieder ( $RC_1$ ,  $RC_2$ ) als Funktion der Zelltemperatur und des Ladezustands festgelegt werden,
    - wobei eine Leerlaufspannungskennlinie (OCV) als Funktion des Ladezustands festgelegt wird und
    - wobei die Zelltemperatur mittels eines thermischen Modells in Abhängigkeit von gemessenem Batteriepackstrom, EC-Parametern, Batteriemodultemperatur und Umgebungstemperatur festgelegt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass, insbesondere vorab, den ermittelten Batterieparametern Werte auf Grundlage der Vermessung einzelner Zellen der Fahrzeugbatterie, insbesondere der Messung der Zellenspannung und/oder Zellenstrom einzelner Zellen, zugeordnet werden, wobei insbesondere vorgesehen ist, dass eine Leerlaufspannungskurve ( $OCV_{cell}$ ) für zumindest eine einzelne Zelle, vorzugsweise mehrere einzelne Zellen, ermittelt wird und auf Grundlage der für die einzelne Zelle ermittelten Leerlaufspannungskurve ( $OCV_{cell}$ ) eine Leerlaufspannungskurve ( $OCV_{car}$ ) der Fahrzeugbatterie abgeschätzt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die den ermittelten Batterieparametern zugeordneten Werte auf Grundlage der während der Belastung der Fahrzeugbatterie ermittelten Batterieparameter angepasst werden und derart das fahrzeugspezifische Batteriemodell (FM) erstellt wird.
4. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die den ermittelten Batterieparametern zugeordneten Werte in Abhängigkeit von der während der Belastung der Fahrzeugbatterie ermittelten Zelltemperatur und/oder dem Ladezustand und/oder der Alterung der Fahrzeugbatterie angepasst werden.
5. Verfahren nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet**,
  - dass die Fahrzeugbatterie belastet wird, indem eine Testfahrt mit dem Fahrzeug unternommen wird,
  - dass für die ermittelten Batterieparameter für den während der Testfahrt vorherrschenden Ladezustand und die vorherrschende Zelltemperatur gültige Werte ermittelt werden, und
  - dass die derart ermittelten Werte mittels der, insbesondere gemäß Anspruch 2, auf Grundlage der Vermessung einzelner Zellen der Fahrzeugbatterie bestimmten Werte auf eine vorgegebene Temperatur, insbesondere von 25°C, normiert und zur Erstellung des fahrzeugspezifischen Batteriemodells (FM) auf einen vorgegebenen Ladezustandsbereich, insbesondere von 0 bis 100%, extrapoliert werden.

6. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass im Batteriegrundmodell (GM) und/oder im fahrzeugspezifischen Batteriemodell (FM) zwischen den Zellen der Fahrzeugbatterie vorliegende Innenwiderstände, insbesondere verursacht durch Verkabelung und/oder Verschweißung, berücksichtigt werden.
7. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das fahrzeugspezifische Batteriemodell (FM) einem vorgegebenen Testzyklus, insbesondere einem WLTP-Zyklus, unterworfen wird und eine Reichweitenschätzung beim aktuellen Gesundheitszustand der Fahrzeugbatterie durchgeführt wird, wobei insbesondere vorgesehen ist, dass das fahrzeugspezifische Batteriemodell (FM) gemäß einem vorgegebenen Stromprofil mit Strom versorgt wird.
8. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Fahrzeugbatterie belastet wird, indem eine Vollentleerungs-Testfahrt mit dem Fahrzeug unternommen wird, wobei die Fahrzeugbatterie während der Vollentleerungs-Testfahrt von ihrem vollständig geladenen Zustand bis zu ihrem vollständig entladenen Zustand entleert wird.
9. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Fahrzeugbatterie belastet wird, indem
  - eine Ladung der Fahrzeugbatterie entsprechend zumindest einem vorgegebenen Lademuster durchgeführt wird und/oder
  - eine Teilentleerungs-Testfahrt mit dem Fahrzeug unternommen wird, wobei die Fahrzeugbatterie während der Teilentleerungs-Testfahrt teilweise entleert wird und die während der Teilentleerungs-Testfahrt ermittelten Batterieparameter unter Heranziehung von historischen Daten und/oder Labordaten auf den vollständig entleerten Zustand extrapoliert werden.
10. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass basierend auf dem fahrzeugspezifischen Batteriemodell (FM) unter Belastung auf einem Prüfstand die Leerlaufspannung ( $OCV_{car}$ ) der Fahrzeugbatterie durch bekannte EC-Parameter berechnet wird,
  - wobei der Zusammenhang zwischen der Leerlaufspannung ( $OCV_{cell}$ ) und dem Ladezustand (SoC) einzelner Zellen der Fahrzeugbatterie, insbesondere die Leerlaufspannungs-Ladezustand-Kurve, vorgegeben wird,
  - wobei der aktuelle Ladezustand (SoC) der Fahrzeugbatterie basierend auf der Leerlaufspannung (OCV) ermittelt wird und
  - wobei der Gesundheitszustand (SoH) der Fahrzeugbatterie ermittelt wird, indem mittels eines Coulomb-Zählers und der entsprechenden Änderung des Ladezustands (SoC) auf den vollständig entleerten oder geladenen Zustand extrapoliert wird.
11. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Gesundheitszustand der Fahrzeugbatterie berechnet wird, nachdem die Belastung der Fahrzeugbatterie und die Übertragung der während der Belastung der Fahrzeugbatterie ermittelten Batterieparametermesswerte an den Datenspeicher abgeschlossen ist.
12. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die an den Datenspeicher übermittelten Batterieparameter einzelnen Datenverarbeitungsschritten, insbesondere einer Glättung und/oder Synchronisierung und/oder einem Resampling, unterzogen werden.

**Hierzu 4 Blatt Zeichnungen**

1/4

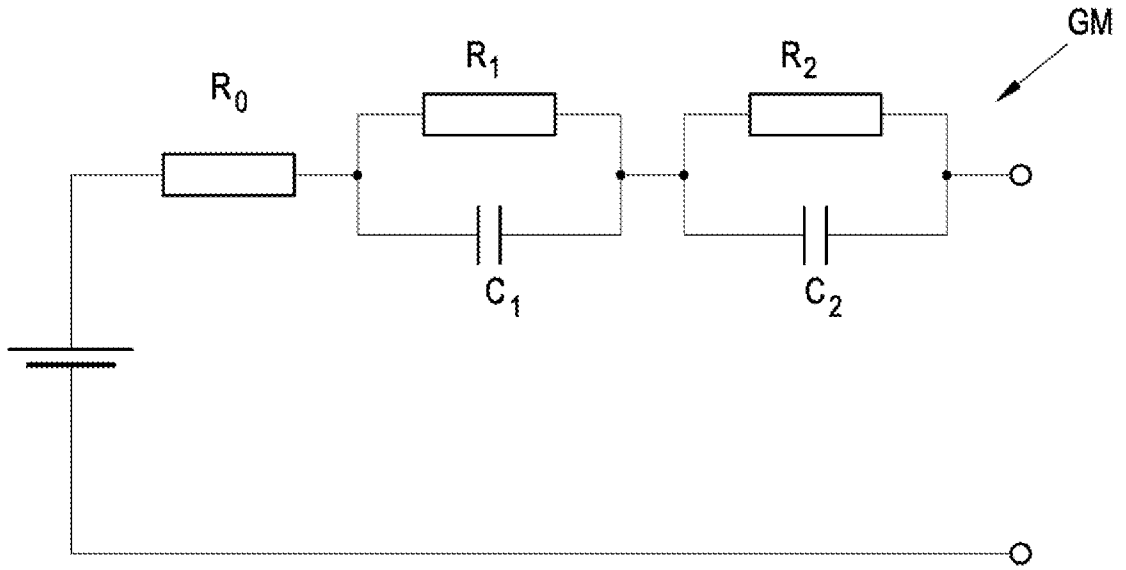


Fig. 1

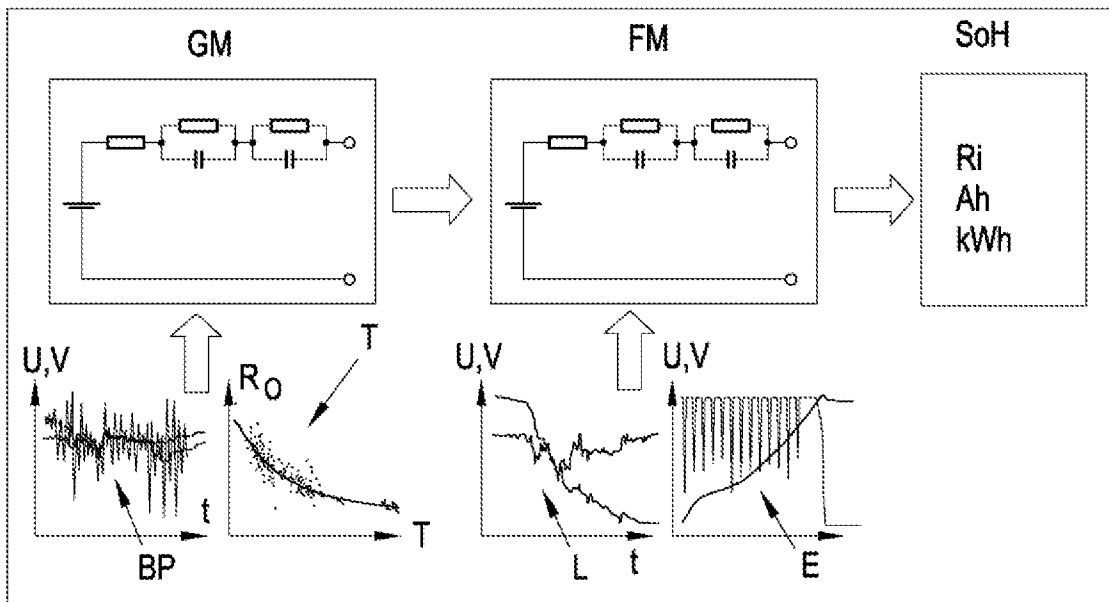


Fig. 2

2/4

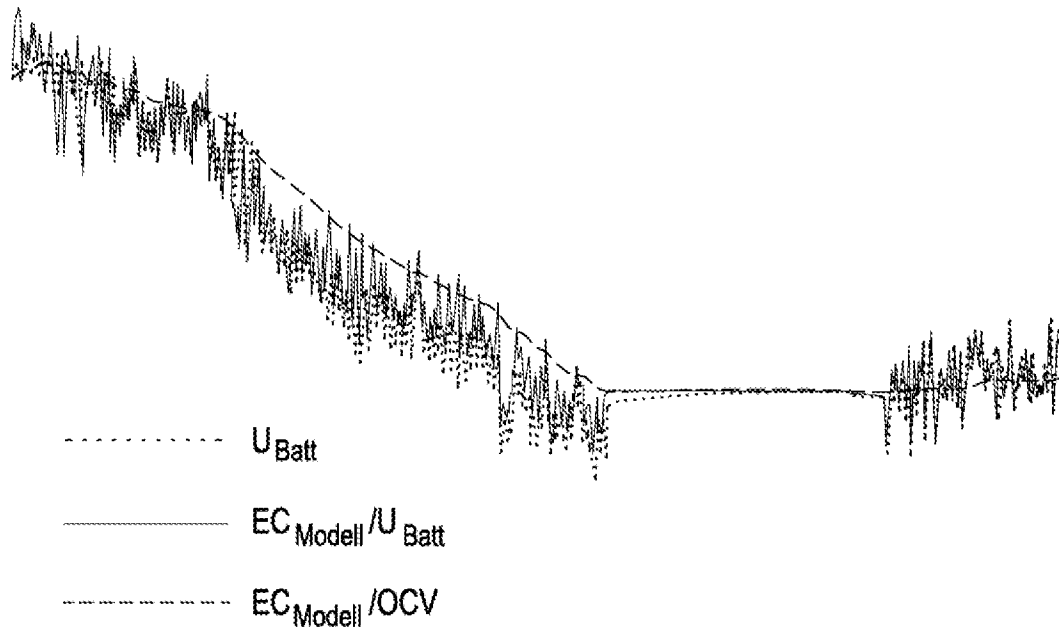


Fig. 3

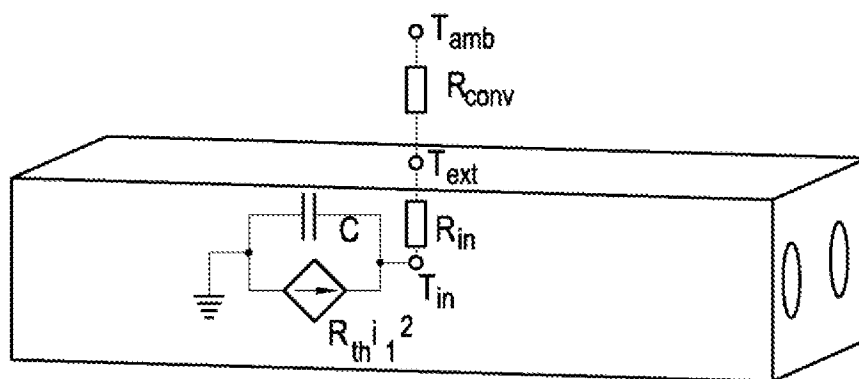


Fig. 4

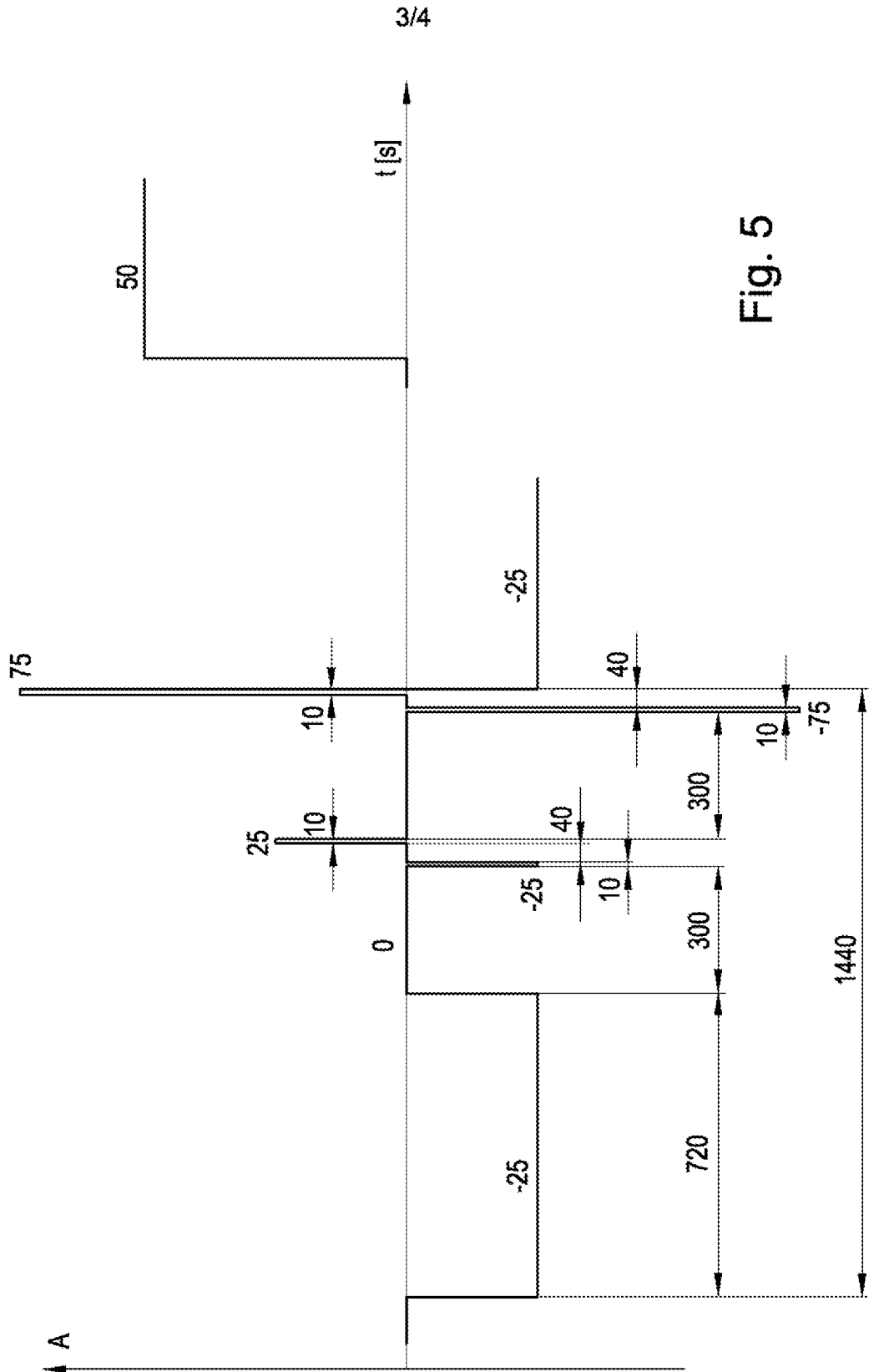


Fig. 5

4/4

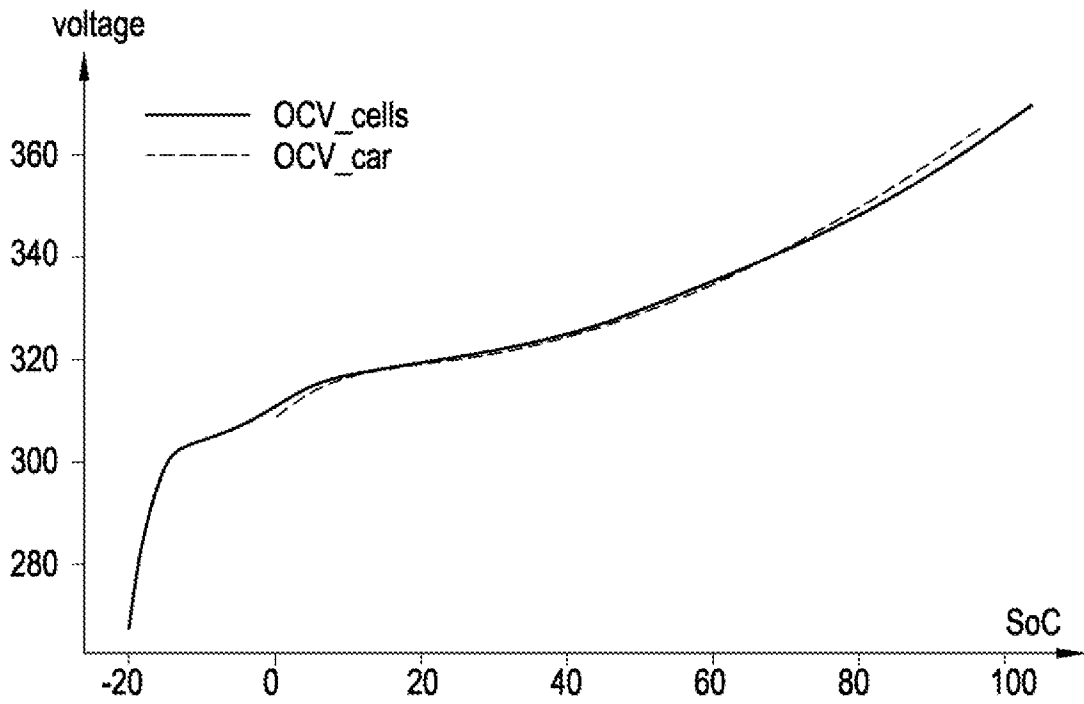


Fig. 6

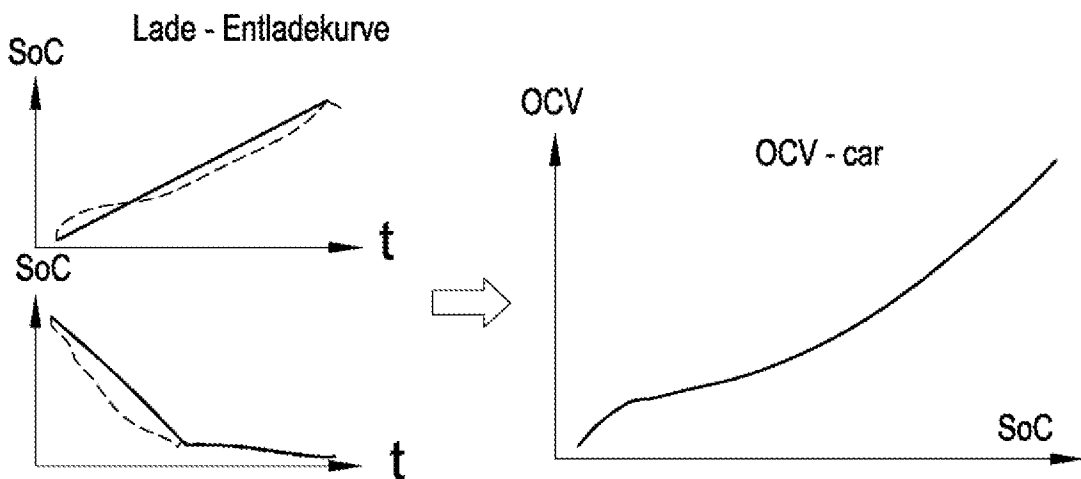


Fig. 7