



(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2020 206 592.6**
(22) Anmeldetag: **27.05.2020**
(43) Offenlegungstag: **02.12.2021**

(51) Int Cl.: **G01R 31/396 (2019.01)**
G01R 19/00 (2006.01)
G01R 31/374 (2019.01)
B60L 58/16 (2019.01)

(71) Anmelder:
**Robert Bosch Gesellschaft mit beschränkter
Haftung, 70469 Stuttgart, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:
DE 10 2018 201 119 A1

(72) Erfinder:
**Woll, Christoph, 70839 Gerlingen, DE; Kupcsik,
Andras Gabor, 71034 Böblingen, DE; Klein,
Reinhardt, Mountain View, Calif., US; Simonis,
Christian, 71229 Leonberg, DE**

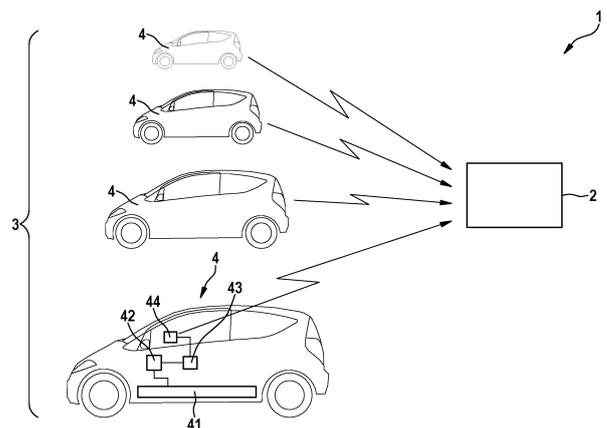
Rechercheantrag gemäß § 43 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Verfahren und Vorrichtung zum Betreiben eines elektrisch antreibbaren Kraftfahrzeugs abhängig von einem präzidierten Alterungszustands eines elektrischen Energiespeichers**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein computerimplementiertes Verfahren zum Betreiben eines Kraftfahrzeugs (4), insbesondere eines elektrisch antreibbaren Kraftfahrzeugs, abhängig von einem präzidierten Alterungszustand eines elektrischen Energiespeichers, insbesondere einer Fahrzeugbatterie, mit folgenden Schritten:

- Bereitstellen (S1) von Fahrzeugparametern (F), die den Alterungszustand des elektrischen Energiespeichers beeinflussen;
- Präzidieren (S1) der Fahrzeugparameter (F') auf einen Prädiktionszeitpunkt;
- Ermitteln (S2, S3) des präzidierten Alterungszustands abhängig von den präzidierten Fahrzeugparametern (F') mithilfe eines datenbasierten Alterungszustandsmodells, das trainiert ist, um abhängig von den Fahrzeugparametern (F) einen Alterungszustand des elektrischen Energiespeichers (41) auszugeben;
- Signalisieren des präzidierten Alterungszustands (SOH).



Beschreibung

Technisches Gebiet

[0001] Die Erfindung betrifft elektrisch antreibbare Kraftfahrzeuge, insbesondere Elektrofahrzeuge oder Hybridfahrzeuge, und weiterhin Maßnahmen zur Bestimmung eines Alterungszustands (SOH: State of Health) eines elektrischen Energiespeichers.

Technischer Hintergrund

[0002] Die Energieversorgung von elektrisch antreibbaren Kraftfahrzeugen erfolgt mithilfe eines elektrischen Energiespeichers, in der Regel mit einer sogenannten Fahrzeugbatterie. Der Alterungszustand der Fahrzeugbatterie nimmt im Laufe ihrer Lebensdauer zusehends ab, was sich in einer abnehmenden Speicherkapazität auswirkt. Ein Maß der Alterung hängt vom Nutzungsverhalten ab.

[0003] Zwar kann mithilfe eines physikalischen Alterungsmodells der momentane Alterungszustand basierend auf historischen Betriebszustandsverläufen bestimmt werden, jedoch ist es nicht möglich, den Alterungszustand zuverlässig zu präzisieren, z.B. um daraus eine Restlebensdauer der Fahrzeugbatterie abzuleiten. Die individuelle Belastung der Fahrzeugbatterie hängt vom Fahrzeugtyp und/oder vom Fahrverhalten eines Fahrers ab und hat entsprechend fahrzeugindividuellen Einfluss auf den Verlauf des Alterungszustands.

Offenbarung der Erfindung

[0004] Erfindungsgemäß sind ein Verfahren zum Betreiben eines Kraftfahrzeugs, insbesondere eines elektrisch antreibbaren Kraftfahrzeugs, abhängig von einem präzisierten Alterungszustand eines elektrischen Energiespeichers, insbesondere einer Fahrzeugbatterie gemäß Anspruch 1 sowie eine Vorrichtung und ein Antriebssystem gemäß den nebengeordneten Ansprüchen vorgesehen.

[0005] Weitere Ausgestaltungen sind in den abhängigen Ansprüchen angegeben.

[0006] Gemäß einem ersten Aspekt ist ein computerimplementiertes Verfahren zum Betreiben eines Kraftfahrzeugs, insbesondere eines elektrisch antreibbaren Kraftfahrzeugs, abhängig von einem präzisierten Alterungszustand eines elektrischen Energiespeichers, insbesondere einer Fahrzeugbatterie, vorgesehen, mit folgenden Schritten:

- Bereitstellen von Fahrzeugparametern, die den Alterungszustand des elektrischen Energiespeichers beeinflussen;
- Präzisieren der Fahrzeugparameter auf einen Prädiktionszeitpunkt;

- Ermitteln des präzisierten Alterungszustands abhängig von den präzisierten Fahrzeugparametern mithilfe eines datenbasierten Alterungszustandsmodells, das trainiert ist, um abhängig von den Fahrzeugparametern einen Alterungszustand des elektrischen Energiespeichers auszugeben;

- Signalisieren des präzisierten Alterungszustands.

[0007] Der Alterungszustand eines wiederaufladbaren elektrischen Energiespeichers, insbesondere einer Fahrzeugbatterie, wird üblicherweise nicht direkt gemessen. Dies würde eine Reihe von Sensoren in der Fahrzeugbatterie erfordern, die die Herstellung einer solchen Batterie aufwendig machen und den Raumbedarf vergrößern würde. Zudem sind automotiv-taugliche Verfahren zur Alterungszustandsbestimmung im Fahrzeug noch nicht auf dem Markt verfügbar. Daher wird der aktuelle Alterungszustand in der Regel mithilfe eines physikalischen Alterungsmodells ermittelt. Dieses physikalische Alterungsmodell ist sehr ungenau und weist Modellabweichungen von mehr als 5% auf. Aufgrund der Ungenauigkeit des physikalischen Alterungsmodells kann dieses zudem lediglich den momentanen Alterungszustand der Fahrzeugbatterie angeben. Eine Prädiktion des Alterungszustands, die insbesondere von dem Betrieb der Fahrzeugbatterie, wie z.B. von der Höhe und Menge des Ladungszuflusses und Ladungsabflusses, und damit von einem Fahrverhalten und von Fahrzeugparametern abhängt, würde zu sehr ungenauen Vorhersagen führen und ist derzeit nicht vorgesehen.

[0008] Das obige Verfahren sieht nun eine fahrer- und fahrzeugindividuelle Prädiktion eines Alterungszustands des elektrischen Energiespeichers basierend auf einem datenbasierten Alterungszustandsmodell vor. Das datenbasierte Alterungszustandsmodell kann mithilfe von ausgewerteten Flottendaten erstellt werden.

[0009] Es kann vorgesehen sein, dass das datenbasierte Alterungszustandsmodell als ein hybrides Modell ausgebildet ist, das einen modellierten Alterungszustand, der mithilfe eines physikalischen bzw. physikalisch motivierten Alterungsmodells ermittelt wird, mit einem Korrekturwert beaufschlagt, der sich aus einem datenbasierten Korrekturmodell ergibt, insbesondere durch Addition oder Multiplikation.

[0010] Dazu kann das Alterungszustandsmodell eine hybride Architektur aufweisen, die das bisher bekannte physikalische Alterungsmodell für den Alterungszustand nutzt und dieses mit einem datenbasierten trainierbaren Korrekturmodell kombiniert. Das Korrekturmodell (Machine-Learning-Modell) kann dabei die Ungenauigkeiten des physikalischen Alterungsmodells ausgleichen. Je nach Wahl des Korrektur-

turmodells können Vorhersageunsicherheiten durch eine quantifizierte Varianzvorhersage bewertet werden, wodurch eine Langzeitvorhersage für Belastungszustände des elektrischen Energiespeichers möglich wird.

[0011] Im Kern des obigen Verfahrens steht die Prädiktion eines Alterungszustands mithilfe eines hybriden Alterungszustandsmodells, das das nutzbare physikalische Vorwissen und Flottendaten von einer Vielzahl von Fahrzeugen nutzt. Dabei ist das Korrekturmodell trainiert, um die Ungenauigkeiten des physikalischen Alterungsmodells auszugleichen, die aufgrund von individuellen Fahrzeugparametern, fahrerindividuellen Belastungsmustern oder zusätzlichen Umgebungseinflüssen auftreten können.

[0012] Aufgrund der hohen Ungenauigkeit des physikalischen Modells für den Alterungszustand ist eine Prädiktion eines künftigen Alterungszustands des elektrischen Energiespeichers so ungenau, dass dieser nicht zur Bestimmung einer Lebensdauer bzw. eines Austauschzeitpunkts des elektrischen Energiespeichers verwendet werden kann. Durch die Verwendung des hybriden Alterungszustandsmodells kann eine kontinuierliche Korrektur des physikalisch modellierten Alterungszustands, der mithilfe des physikalischen Modells ermittelt wird, ermöglicht werden und somit die Berechnung des Alterungszustands, insbesondere eines Vorhersagewerts, kontinuierlich basierend auf den zur Verfügung stehenden Flottendaten adaptiert werden. Durch die Verwendung einer Zentraleinheit zur Berechnung des jeweiligen Alterungszustands können immer die aktuellsten Flottendaten berücksichtigt werden.

[0013] Ein zusätzlicher Vorteil besteht darin, dass im Kraftfahrzeug ein prädizierter Alterungszustand bereitgestellt oder angegeben wird, dessen Wert aufgrund der Verwendung des hybriden Alterungszustandsmodells sich nicht sprunghaft verändern kann, da sich das Korrekturmodell bei unbekanntem Fahrzeugparametersätzen bezüglich des Ergebnisses des physikalischen Modells neutral verhält, d.h. gegen 0 tendiert bei additiver Beaufschlagung oder gegen 1 bei multiplikativer Beaufschlagung.

[0014] Weiterhin kann das datenbasierte Alterungszustandsmodell fahrzeugextern basierend auf Flottendaten mit Fahrzeugparametersätzen und zugeordneten Belastungszuständen der jeweiligen elektrischen Energiespeicher trainiert und/oder bereitgestellt werden.

[0015] Dies ermöglicht es, dass durch die Erfassung von Flottendaten und deren Berücksichtigung in dem Korrekturmodell die Vorhersage des künftigen Alterungszustands eines elektrischen Energiespeichers in einem Kraftfahrzeug zusehends präzisiert werden kann.

[0016] Gemäß einer Ausführungsform kann der Alterungszustand des elektrischen Energiespeichers als verbleibende Ladekapazität bezüglich einer initialen Ladekapazität oder als eine Angabe zu einer verbleibenden Lebensdauer angegeben werden.

[0017] Es kann vorgesehen sein, dass die Fahrzeugparameter den Alterungszustand des elektrischen Energiespeichers angeben und insbesondere einen oder mehrere der folgenden Parameter umfassen: eine Batterietemperatur, ein zeitliches Belastungsmuster, ein Alter des elektrischen Energiespeichers, eine Nutzungszeit des elektrischen Energiespeichers, eine über die Laufzeit kumulierte Ladung und eine über die Laufzeit kumulierte Entladung, einen maximalen Ladestrom, einen maximalen Entladestrom, eine Ladehäufigkeit, einen durchschnittlichen Ladestrom, einen durchschnittlichen Entladestrom, einen durchschnittlichen Ladezustand, die Spreizung des Ladezustandes, Histogrammdaten über Ladezustand, Temperatur, Spannung, Strom, einen Leistungsdurchsatz beim Laden und Entladen, eine Ladehäufigkeit und eine Ladetemperatur.

[0018] Weiterhin kann das Ermitteln des prädizierten Alterungszustands abhängig von den prädizierten Fahrzeugparametern weiterhin mithilfe von Umgebungsparametern durchgeführt werden, wobei die Umgebungsparameter einen oder mehrere der folgenden Parameter umfassen: Verkehrsdaten, die Angaben über das Verkehrsaufkommen auf einer prädizierten Fahrstrecke angeben, Wetterdaten, sowie den Standort des Kraftfahrzeugs.

[0019] Gemäß einer Ausführungsform kann das Ermitteln des prädizierten Alterungszustands weiterhin abhängig von den prädizierten Fahrzeugparametern durchgeführt werden, wobei die prädizierten Fahrzeugparameter durch Extrapolation der Fahrzeugparameter auf den Prädiktionszeitpunkt ermittelt werden.

[0020] Es kann vorgesehen sein, dass das datenbasierte Alterungszustandsmodell ein neuronales Netz, ein Bayes'sches neuronales Netz, oder ein Gauß-Prozess-Modell umfasst. Es sei angemerkt, dass mittels des Gauß-Prozess-Modells besonders zuverlässige Ergebnisse erzielt werden.

[0021] Weiterhin können der prädizierte Alterungszustand fahrzeugextern ermittelt und an das betreffende Kraftfahrzeug kommuniziert werden oder Modellparameter des datenbasierten Alterungszustandsmodells an das Kraftfahrzeug kommuniziert und der prädizierte Alterungszustand im Kraftfahrzeug ermittelt werden.

[0022] Es kann vorgesehen sein, aus historischen Verläufen von Fahrzeugparametern Stressfaktoren zu ermitteln, die in dem datenbasierten Alterungs-

zustandsmodell bei der Bestimmung des präzidierten Alterungszustands berücksichtigt werden, wobei die Stressfaktoren insbesondere einen oder mehrere der folgenden Angaben umfassen: eine Häufigkeit eines Ladens mit hohen Strömen, eine Häufigkeit eines Fahrens bei ständig hoher Leistung, d.-h. einer Leistung über einer vorgegebenen Schwellenleistung, eine Häufigkeit eines Ladens bei hoher Umgebungstemperatur, d.h. einer Temperatur über einer vorgegebenen Schwellentemperatur, und eine Häufigkeit eines vollständigen Aufladens des elektrischen Energiespeichers.

[0023] Gemäß einem weiteren Aspekt ist eine Vorrichtung, insbesondere Steuereinheit, vorgesehen zum Betreiben eines Kraftfahrzeugs, insbesondere eines elektrisch antreibbaren Kraftfahrzeugs, abhängig von einem präzidierten Alterungszustand eines elektrischen Energiespeichers, insbesondere einer Fahrzeugbatterie, mit folgenden Schritten:

- Bereitstellen von Fahrzeugparametern, die den Alterungszustand des elektrischen Energiespeichers beeinflussen;
- Präzidieren der Fahrzeugparameter auf einen Prädiktionszeitpunkt;
- Ermitteln des präzidierten Alterungszustands abhängig von den präzidierten Fahrzeugparametern mithilfe eines datenbasierten Alterungszustandsmodells, das trainiert ist, um abhängig von den Fahrzeugparametern einen Alterungszustand des elektrischen Energiespeichers auszugeben;
- Signalisieren des präzidierten Alterungszustands.

Figurenliste

[0024] Ausführungsformen werden nachfolgend anhand der beigefügten Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 eine schematische Darstellung eines Systems zur Bereitstellung von fahrer- und fahrzeugindividuellen Belastungszuständen einer Fahrzeugbatterie basierend auf Flottendaten;

Fig. 2 eine schematische Darstellung eines funktionalen Aufbaus eines hybriden Alterungszustandsmodells; und

Fig. 3 ein Flussdiagramm zur Veranschaulichung eines Verfahrens zur Prädiktion eines Alterungszustands einer Fahrzeugbatterie in einem Kraftfahrzeug und zur Ermittlung einer voraussichtlichen Lebensdauer.

Beschreibung von Ausführungsformen

[0025] **Fig. 1** zeigt ein System **1** zum Sammeln von Flottendaten in einer Zentraleinheit **2** zur Erstellung eines Alterungszustandsmodells. Das Alterungszustandsmodell dient zur Bestimmung eines Alterungszustands eines elektrischen Energiespeichers in einem Kraftfahrzeug. **Fig. 1** zeigt eine Fahrzeugflotte **3** mit mehreren Kraftfahrzeugen **4**.

[0026] Eines der Kraftfahrzeuge **4** ist in **Fig. 1** detaillierter dargestellt. Die Kraftfahrzeuge **4** weisen jeweils eine Fahrzeugbatterie **41** als wiederaufladbaren elektrischen Energiespeicher, einen elektrischen Antriebsmotor **42** und eine Steuereinheit **43** auf. Die Steuereinheit **43** ist mit einem Kommunikationsmodul **44** verbunden, das geeignet ist, Daten zwischen dem jeweiligen Kraftfahrzeug **4** und einer Zentraleinheit (einer sogenannten Cloud) zu übertragen.

[0027] **Fig. 2** zeigt schematisch den funktionalen Aufbau einer Ausführungsform eines Alterungszustandsmodells, das in einer hybriden Weise aufgebaut ist. Das Alterungszustandsmodell umfasst ein physikalisches Alterungsmodell **5** und ein Korrekturmodell **6**, deren Ausgänge miteinander beaufschlagt werden, insbesondere addiert oder multipliziert werden, um einen Alterungszustand SOH zu einem aktuellen oder künftigen Zeitpunkt zu erhalten. Eingangsseitig erhalten das physikalische Alterungsmodell **5** und das Korrekturmodell **6** Fahrzeugparameter **F** und in einem Prädiktionsblock **7** präzidierte Fahrzeugparameter, die durch Extrapolation aus den Fahrzeugparametern ermittelt worden sind. Die Fahrzeugparameter **F** können Nutzungsverlaufsparameter umfassen, die vergangene Betriebsverläufe der Fahrzeugbatterie bzw. des Fahrzeugs **4** in komprimierter Form angeben.

[0028] In **Fig. 3** ist ein Flussdiagramm dargestellt, das den Ablauf eines Verfahrens zum Ermitteln eines künftigen Alterungszustands SOH darstellt. Der Alterungszustand einer Batterie, auch SoH (State of Health) genannt, kann beispielsweise als verbleibende maximale Ladekapazität bezüglich einer initialen maximalen Ladekapazität, als eine Angabe einer verbleibenden Lebensdauer oder auf sonstige Weise angegeben werden, die eine Degradation der Qualität bzw. der Nutzbarkeit der Fahrzeugbatterie **41** angibt.

[0029] Der künftige Alterungszustand SOH(t) kann beispielsweise in einem Verfahren zur Ermittlung einer voraussichtlich verbleibenden Lebensdauer der Fahrzeugbatterie **41** in den Kraftfahrzeugen **4** verwendet werden. Diese voraussichtlich verbleibende Lebensdauer kann zur Festlegung eines Datums oder Austauschzeitpunkts bezüglich der Fahrzeugbatterie **41** verwendet werden. Das Verfahren kann in der Zentraleinheit **2** und in der Steuereinheit **43** in Hardware und/oder Software implementiert sein.

[0030] In Schritt **S1** werden Fahrzeugparameter basierend auf dem Fahrerverhalten, dem fahrzeugzustand und/oder dem Batteriezustand fahrzeugindividuell erfasst und an die Zentraleinheit **2** mithilfe des Kommunikationsmoduls **44** gesendet.

[0031] Die Fahrzeugparameter **F** geben Parameter an, die von dem Alterungszustand **SOH** der Fahrzeugbatterie abhängen. Die Fahrzeugparameter können insbesondere Nutzungsverlaufparameter umfassen, die vergangene Betriebsverläufe der Fahrzeugbatterie in komprimierter Form angeben, so dass diese durch Fortschreibung zur Prädiktion eines prädizierten Alterungszustands **SOH** geeignet sind. Die Nutzungsverlaufparameter können einen oder mehrere der folgenden Parameter umfassen: eine Batterietemperatur, ein zeitliches Belastungsmuster wie Lade- und Fahrzyklen, bestimmt durch Nutzungsmuster (wie bspw. Schnellladen bei hohen Stromstärken oder starke Beschleunigung bzw. Bremsvorgänge mit Rekuperation), ein Alter der Fahrzeugbatterie, eine Nutzungszeit der Fahrzeugbatterie, eine über die Laufzeit kumulierte Ladung und eine über die Laufzeit kumulierte Entladung, einen maximalen Ladestrom, einen maximalen Entladestrom, eine Ladehäufigkeit, einen durchschnittlichen Ladestrom, einen durchschnittlichen Entladestrom, einen Leistungsdurchsatz beim Laden und Entladen, eine Ladehäufigkeit, eine (insbesondere durchschnittliche) Ladetemperatur, einen durchschnittlichen Ladezustand, die (insbesondere durchschnittliche) Spreizung des Ladezustandes, Histogramm Daten über den Ladezustandsverlauf, Temperatur, Spannung, Strom etc. und dergleichen.

[0032] Zusätzlich können als Teil der Fahrzeugparameter **F** Umgebungsparameter an die Zentraleinheit **2** gesendet oder dort erfasst oder ermittelt werden, wobei die Umgebungsparameter Angaben über das Umfeld und/oder einer Situation der Umgebung des Kraftfahrzeugs **4** angeben. Die Umgebungsparameter können einen oder mehrere der folgenden Parameter umfassen: Verkehrsdaten, Angaben über das Verkehrsaufkommen auf einer prädizierten Fahrstrecke, Wetterdaten, sowie den Standort des Kraftfahrzeugs.

[0033] Außer den Fahrzeugparametern kann in dem Prädiktionsblock **7** durch Fortschreiben der zeitlichen Belastungsmuster eine Nutzungsprädiktion durchgeführt werden, die für künftige Zeitpunkte die Erstellung eines jeweiligen Fahrzeugparametersatzes ermöglicht. Insbesondere können Angaben, die von Belastungsverläufen abhängen, auch für die Zukunft als konstant angenommen werden, wie z.B. die Ladehäufigkeit. Auch können Trends von einzelnen Fahrzeugparametern für die Prognose des prädizierten Alterungszustands **SOH** fortgeschrieben werden, um prädizierte Fahrzeugparameter **F'** für die Ermittlung des Alterungszustands **SOH** zu nutzen.

[0034] Die in den prädizierten Fahrzeugparametern **F'** abgebildete Nutzungsprädiktion erstreckt sich üblicherweise über mehrere Monate bis hin zu Jahren, sodass mit abgeleiteten Batterie-Stressfaktoren die verbleibende Restlebensdauer der Batterie bestimmt werden kann. Die Nutzungsprädiktionsdaten können einen oder mehrere Stressfaktoren beinhalten, die ein oder mehrere Stressniveaus angeben, denen die Fahrzeugbatterie ausgesetzt sind. Diese können umfassen: eine Angabe über die Häufigkeit eines Ladens mit hohen Strömen wie bei Schnellladen, eine Häufigkeit eines Fahrens bei ständig hoher Leistung, eine Häufigkeit eines Ladens bei hoher Umgebungstemperatur, wie z.B. in der Mittagshitze oder an der Autobahnraststätte nach längerer Fahrt mit hoher Leistung (als Kombination von Stressfaktoren), eine Häufigkeit eines vollständigen Aufladens der Batterie, Die Stressfaktoren können auch abhängig von der Batteriezellchemie sein, so dass manche o.g. Faktoren die Batterie weniger andere mehr stressen. Dies kann in der Steuereinheit **43** durchgeführt werden. Alternativ können Nutzungsprädiktionsdaten gemeinsam mit den Fahrzeugparametern und den Umgebungsparametern an die Zentraleinheit **2** übertragen werden.

[0035] Weiterhin wird der zuletzt ermittelte Alterungszustand **SOH** der Fahrzeugbatterie **41** (elektrischer Energiespeicher) an die Zentraleinheit **2** übermittelt.

[0036] Die an die Zentraleinheit **2** übermittelten Fahrzeugparameter und die prädizierten Fahrzeugparameter sowie der aktuelle Alterungszustand **SOH** werden mithilfe eines datenbasierten Alterungszustandsmodells verarbeitet, um einen Alterungszustand **SOH** der Fahrzeugbatterie **41** basierend auf den prädizierten Fahrzeugparametern zu prädizieren.

[0037] Um Vorwissen in Form eines physikalischen Alterungsmodells für den Alterungszustand **SOH** zu nutzen, kann das Alterungszustandsmodell wie in **Fig. 2** gezeigt als hybrides Modell ausgebildet sein. Das Alterungszustandsmodell umfasst ein physikalisches Alterungsmodell **5**, das in Schritt **S2** basierend auf den prädizierten Fahrzeugparametern eines Fahrzeugparametersatzes einen künftigen modellierten Alterungszustand **SOH** der Fahrzeugbatterie **41** Alterungszustand ermittelt. Die prädizierten Fahrzeugparameter **F'** entsprechen die auf einen vorgegebenen Zeitpunkt in der Zukunft prädizierten Fahrzeugparameter **F'**, insbesondere basierend auf den fortgeschriebenen extrapolierten Nutzungsdaten.

[0038] Mithilfe eines trainierten Korrekturmodells **6** wird in Schritt **S3** eine Adaption bzw. Korrektur des Ergebnisses (modellierter Alterungszustand SOH_p) des Alterungsmodells vorgenommen.

[0039] Dazu kann das Korrekturmodell **6** datenbasiert als neuronales Netz, Bayes'sches neuronales Netz, Gauß-Prozess-Modell, Random-Forest, SVM-Regressor oder dergleichen ausgebildet sein. Das Korrekturmodell **6** ist dazu trainiert, Abweichungen, die sich aufgrund von Ungenauigkeiten von Fahrzeugparametern oder des zugrundeliegenden physikalischen Alterungsmodells ergeben, auszugleichen.

[0040] Das Korrekturmodell **6** ist dabei basierend auf Fahrzeugparametersätzen von einer Vielzahl von Fahrzeugen **4**, die jeweils Batterie- und Fahrzeugdaten beinhalten, aus jeweils mehreren Fahrzeugparametern F eines Kraftfahrzeugs **4** und basierend auf entsprechenden tatsächlich vermessenen Belastungszuständen von Fahrzeugbatterien, die beispielsweise zum Zeitpunkt eines Austausches oder einer Wartung festgestellt worden sind, trainiert. Zusätzlich können die Fahrzeugparametersätze als Trainingsdaten jeweils Nutzungsverlaufparameter in Form historischer Fahrzeugparameterdaten wie Ah (Ampere-Stunde)-Durchsatz (Laden/Entladen), Temperatur, Strom, Spannung, Ladezustand, gefahrene Kilometer, Nutzungs- und Ladeverhalten und daraus resultierende Stressfaktoren für die Batterie-Alterung (wie hohe Temperatur bei gleichzeitig hohem SOC) und der jeweils durch das physikalische Alterungsmodell bestimmte modellierte Alterungszustand SOH_p berücksichtigen.

[0041] Durch Zuordnung des Fahrzeugparametersatzes eines Kraftfahrzeugs, ggfs. der historischen Fahrzeugparameterdaten und ggfs. des modellierten Alterungszustands SOH_p (Ausgabe des physikalischen Alterungsmodells **5**) zu einem Alterungszustandsunterschied zwischen dem modellierten Alterungszustand SOH_p für den Fahrzeugparametersatz und dem gemessenen Alterungszustand kann das Korrekturmodell **6** entsprechend in an sich bekannter Weise trainiert werden. Der Alterungszustandsunterschied kann als Differenz oder Quotienten zwischen dem für den Fahrzeugparametersatz modellierten Alterungszustand SOH_p und dem entsprechend gemessenen Alterungszustand ermittelt werden. Die Trainingsdaten können basierend auf Diagnose-Messungen (zur Ermittlung des tatsächlichen Alterungszustands) im Fahrzeug oder alternativ Prüfstands- oder Werkstattmessungen ermittelt werden, die einen Alterungszustand SOH der Fahrzeugbatterie **41** angeben.

[0042] Der prädizierte Alterungszustand SOH ergibt sich dann in Schritt **S4** durch Beaufschlagen des modellierten Alterungszustands SOH_p mit dem modellierten Alterungszustandsunterschied als Modellausgabe des Korrekturmodells **6**. Dieser Korrekturwert K wird additiv oder multiplikativ auf den modellierten Alterungszustand SOH_p des physikalischen Alterungsmodells **5** beaufschlagt.

[0043] Die Nutzung des Korrekturmodells **6** und/oder des physikalischen Alterungsmodells **5** kann in der Zentraleinheit **2** für jedes damit in Kommunikationsverbindung stehende Kraftfahrzeug **4** durchgeführt werden. Alternativ können die Schritte **S2** - **S3** nach Übermittlung der aktuellen Modellparameter des Korrekturmodells **6** an die jeweiligen Kraftfahrzeuge **4** der Fahrzeugflotte **3** in den Steuereinheiten **43** der Kraftfahrzeuge **4** ermittelt werden.

[0044] Je nach gewähltem Machine-Learning-Modell kann die Vorhersage des Korrekturmodells **6** eine Vorhersagezuverlässigkeit beinhalten. Die Vorhersagezuverlässigkeit kann in Schritt **S5** überprüft werden, um festzustellen, ob ein Nachtrainieren des Korrekturmodells **6** notwendig ist, um die Prädiktion des Alterungszustands mit einer geforderten Genauigkeit durchzuführen. Wird festgestellt, dass die Vorhersagezuverlässigkeit geringer ist als ein Zuverlässigkeitsschwellenwert (Alternative: Ja), so werden in Schritt **S6** weitere Trainingsdaten erhoben, die zum Nachtrainieren des Korrekturmodells **6** in Schritt **S7** verwendet werden. Die Trainingsdaten können durch Diagnose-Messungen im Fahrzeug **4** oder alternativ durch Prüfstands- oder Werkstattmessungen durchgeführt werden, so dass man einen Alterungszustand erhält oder ableiten kann. Das Verfahren wird anschließend mit Schritt **S1** fortgesetzt.

[0045] Andernfalls, d.h. wenn festgestellt wird, dass die Vorhersagezuverlässigkeit höher ist als ein Zuverlässigkeitsschwellenwert (Alternative: Nein) wird das Verfahren mit Schritt **S8** fortgesetzt.

[0046] Wird der Alterungszustand als Anteil der initialen Ladekapazität der Fahrzeugbatterie angegeben, können die Schritte **S2** bis **S3** iterativ mit auf verschiedene Zeitpunkte in der Zukunft prädizierte Fahrzeugparameter ausgeführt werden, um den künftigen Zeitpunkt zu ermitteln, zu dem der prädizierte Alterungszustand SOH einen vorgegebenen Alterungszustandsschwellenwert, wie z.B. einen Schwellenwert, der angibt, dass die maximale Ladekapazität der Fahrzeugbatterie nur noch 80% der anfänglichen Ladekapazität entspricht, erreicht bzw. unterschreitet. Dies erfolgt durch Schritt **S8**, indem überprüft wird, ob der prädizierte Alterungszustand SOH den Alterungszustandsschwellenwert erreicht hat.

[0047] Ist dies nicht der Fall (Alternative: Nein), so wird in Schritt **S9** der Zeitpunkt, zu dem der prädizierte Alterungszustand SOH angegeben wird, entsprechend dem Abstand zwischen prädiziertem Alterungszustand SOH und dem Alterungszustandsschwellenwert angepasst und zu Schritt **S2** zurückgesprungen. Zusätzlich kann der prädizierte Alterungszustand SOH angezeigt werden, so dass dieser eine Wartung oder einen Batterieaustausch einplanen kann. Ggfs kann der prädizierte Alterungszustand für Routenberechnungen und Planung von Ladezyklen

(häufiger bei niedrigerer maximaler Ladekapazität) berücksichtigt werden. Hat der prädierte Alterungszustand SOH den Alterungszustandsschwellenwert im Wesentlichen erreicht (Alternative: Ja), so wird in Schritt **S10** das Erreichen des Alterungszustandsschwellenwert signalisiert und der Fahrer zu einem baldigen Austausch der Fahrzeugbatterie aufgefordert.

[0048] Durch Nutzung des Korrekturmodells **6** kann die Genauigkeit der Angabe des Alterungszustands und damit auch die Angabe einer Prädiktion des künftigen Alterungszustands verbessert werden, da insbesondere Abweichungen aufgrund unterschiedlichem Fahr- und Betriebsverhalten der Kraftfahrzeuge **4** durch das Korrekturmodell ausgeglichen werden können.

[0049] Durch die Nutzung des hybriden Alterungszustandsmodells, bei dem das Korrekturmodell lediglich einen Korrekturwert K angibt, kann in Fällen, in denen für einen Fahrzeugparametersatz kein ausreichendes Training des Korrekturmodells vorliegt, der prädierte Alterungszustand SOH als der modellierte Alterungszustand SOH_p , der sich aus dem physikalischen Alterungsmodell ergibt, ermittelt werden, da das Korrekturmodell an diesen Stellen einen Korrekturwert K von nahezu null ausgibt.

[0050] Das Korrekturmodell in der Zentraleinheit kann in regelmäßigen Abständen bei einer unzureichenden Vorhersagegenauigkeit mit neuen Flottendaten, d. h. Fahrzeugparametern von mehreren weiteren Kraftfahrzeugen einschließlich eines gemessenen Alterungszustands, einer Fahrzeugbatterie nachtrainiert werden, um das Korrekturmodell zu präzisieren.

Patentansprüche

1. Computerimplementiertes Verfahren zum Betreiben eines Kraftfahrzeugs (4), insbesondere eines elektrisch antreibbaren Kraftfahrzeugs, abhängig von einem prädierten Alterungszustand eines elektrischen Energiespeichers, insbesondere einer Fahrzeugbatterie, mit folgenden Schritten:

- Bereitstellen (S1) von Fahrzeugparametern (F), die den Alterungszustand des elektrischen Energiespeichers beeinflussen;
- Präzisieren (S1) der Fahrzeugparameter (F') auf einen Prädiktionszeitpunkt;
- Ermitteln (S2, S3) des prädierten Alterungszustands abhängig von den prädierten Fahrzeugparametern (F') mithilfe eines datenbasierten Alterungszustandsmodells, das trainiert ist, um abhängig von den Fahrzeugparametern (F) einen Alterungszustand des elektrischen Energiespeichers (41) auszugeben;
- Signalisieren (S9, S10) des prädierten Alterungszustands (SOH).

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das datenbasierte Alterungszustandsmodell fahrzeugextern basierend auf Flottendaten mit Fahrzeugparametersätzen und zugeordneten Belastungszuständen des jeweiligen elektrischen Energiespeichers (41) trainiert und/oder bereitgestellt wird.

3. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 2, wobei der Alterungszustand (SOH) des elektrischen Energiespeichers (41) als verbleibende maximale Ladekapazität bezüglich einer initialen maximalen Ladekapazität oder als eine Angabe zu einer verbleibenden Lebensdauer angegeben wird.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei die Fahrzeugparameter (F) den Alterungszustand des elektrischen Energiespeichers (41) angeben und insbesondere einen oder mehrere der folgenden Parameter umfassen: eine Temperatur des elektrischen Energiespeichers (41), ein zeitliches Belastungsmuster, ein Alter des elektrischen Energiespeichers (41), eine Nutzungszeit des elektrischen Energiespeichers (41), eine über die Laufzeit kumulierte Ladung und/oder eine über die Laufzeit kumulierte Entladung, einen maximalen Ladestrom, einen maximalen Entladestrom, eine Ladehäufigkeit, einen durchschnittlichen Ladestrom, einen durchschnittlichen Entladestrom, einen Leistungsdurchsatz beim Laden und Entladen, eine Ladehäufigkeit und eine Ladetemperatur.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei das Ermitteln des prädierten Alterungszustands (SOH) abhängig von den prädierten Fahrzeugparametern (F') weiterhin mithilfe von Umgebungsparametern durchgeführt wird, wobei die Umgebungsparameter einen oder mehrere der folgenden Parameter umfassen:

Verkehrsdaten, Angaben über das Verkehrsaufkommen auf einer prädierten Fahrstrecke, Wetterdaten, sowie den Standort des Kraftfahrzeugs.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei das Ermitteln des prädierten Alterungszustands (SOH) weiterhin abhängig von den prädierten Fahrzeugparametern (F') durchgeführt wird, wobei mindestens einer der prädierten Fahrzeugparameter (F') durch Extrapolation der Fahrzeugparameter (F) auf einen vorgegebenen Prädiktionszeitpunkt ermittelt wird.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei das datenbasierte Alterungszustandsmodell als ein hybrides Modell ausgebildet ist, das einen modellierten Alterungszustand (SOH_p), der mithilfe eines physikalischen bzw. physikalisch motivierten Alterungsmodell (5) ermittelt wird, mit einem Korrekturwert (K) beaufschlagt, der sich aus einem datenbasierten Korrekturmodell (6) ergibt, insbesondere durch Addition oder Multiplikation.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, wobei das datenbasierte Alterungszustandsmodell ein neuronales Netz, ein Bayes'sches neuronales Netz, oder ein Gauß-Prozess-Modell umfasst.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, wobei der prädizierte Alterungszustand (SOH) fahrzeugextern ermittelt wird und an das betreffende Kraftfahrzeug (4) kommuniziert wird oder wobei Modellparameter des datenbasierten Alterungszustandsmodells an das Kraftfahrzeug (4) kommuniziert werden und der prädizierte Alterungszustand (SOH) im Kraftfahrzeug (4) ermittelt wird.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, wobei aus historischen Verläufen von Fahrzeugparametern Stressfaktoren ermittelt werden, die in dem datenbasierten Alterungszustandsmodell bei der Bestimmung des prädizierten Alterungszustands (SOH) berücksichtigt werden, wobei die Stressfaktoren insbesondere einen oder mehrere der folgenden Angaben umfassen: eine Häufigkeit eines Ladens mit hohen Strömen, eine Häufigkeit eines Fahrens bei ständig hoher Leistung, eine Häufigkeit eines Ladens bei hoher Umgebungstemperatur, und eine Häufigkeit eines vollständigen Aufladens des elektrischen Energiespeichers (41).

11. Vorrichtung, insbesondere Steuereinheit (43), zum Betreiben eines Kraftfahrzeugs, insbesondere eines elektrisch antreibbaren Kraftfahrzeugs, abhängig von einem prädizierten Alterungszustand eines elektrischen Energiespeichers (41), insbesondere einer Fahrzeugbatterie, mit folgenden Schritten:

- Bereitstellen von Fahrzeugparametern (F), die den Alterungszustand des elektrischen Energiespeichers (41) beeinflussen;
- Prädizieren der Fahrzeugparameter auf einen Prädiktionszeitpunkt;
- Ermitteln des prädizierten Alterungszustands (SOH) abhängig von den prädizierten Fahrzeugparametern (F') mithilfe eines datenbasierten Alterungszustandsmodells, das trainiert ist, um abhängig von den Fahrzeugparametern (F) einen Alterungszustand des elektrischen Energiespeichers (41) auszugeben;
- Signalisieren des prädizierten Alterungszustands (SOH).

12. Computerprogramm mit Programmcodemitteln, das dazu eingerichtet ist, ein Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10 auszuführen, wenn das Computerprogramm auf einer Recheneinheit ausgeführt wird.

13. Maschinenlesbares Speichermedium mit einem darauf gespeicherten Computerprogramm nach Anspruch 12.

Es folgen 3 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

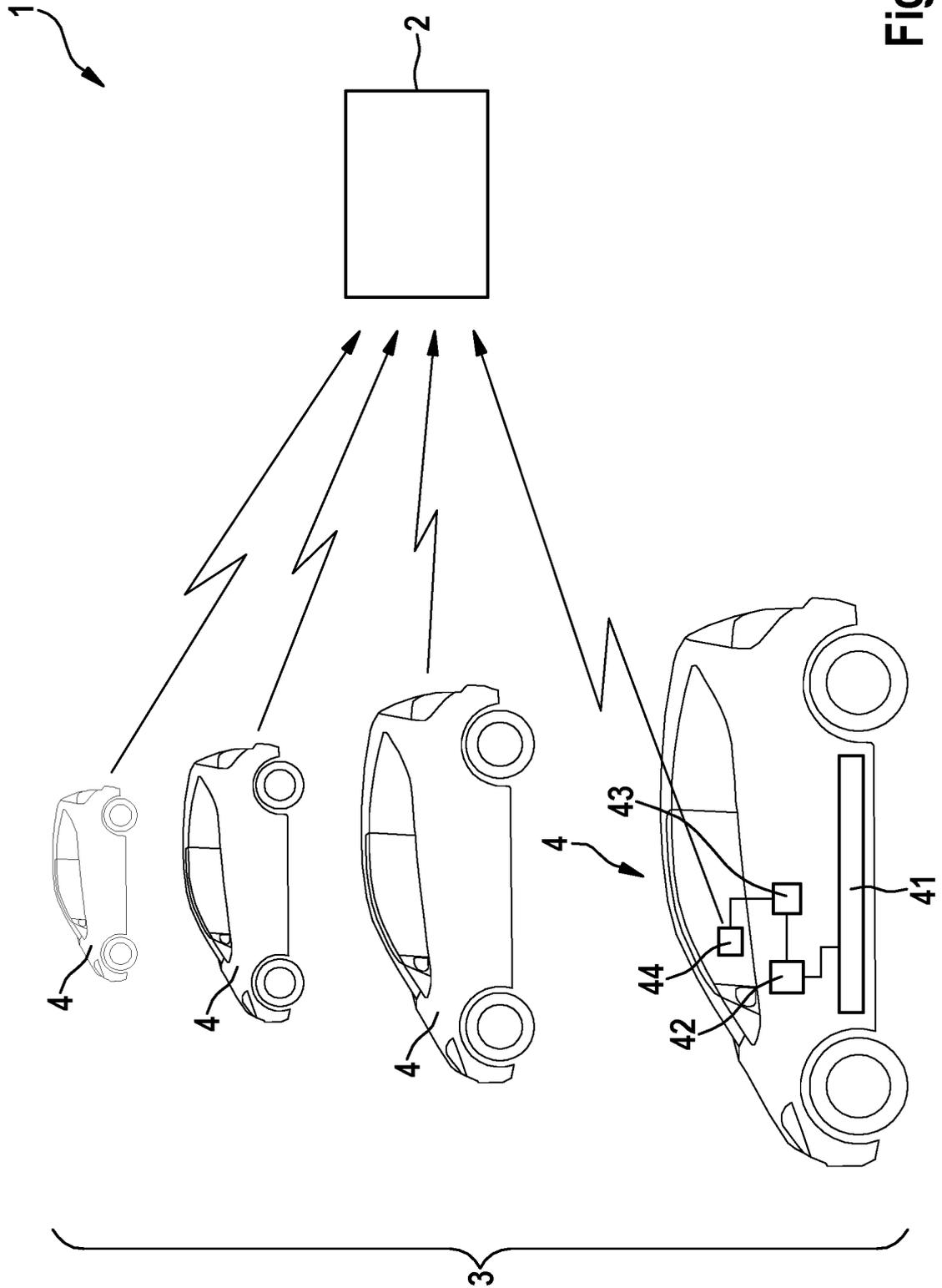


Fig. 1

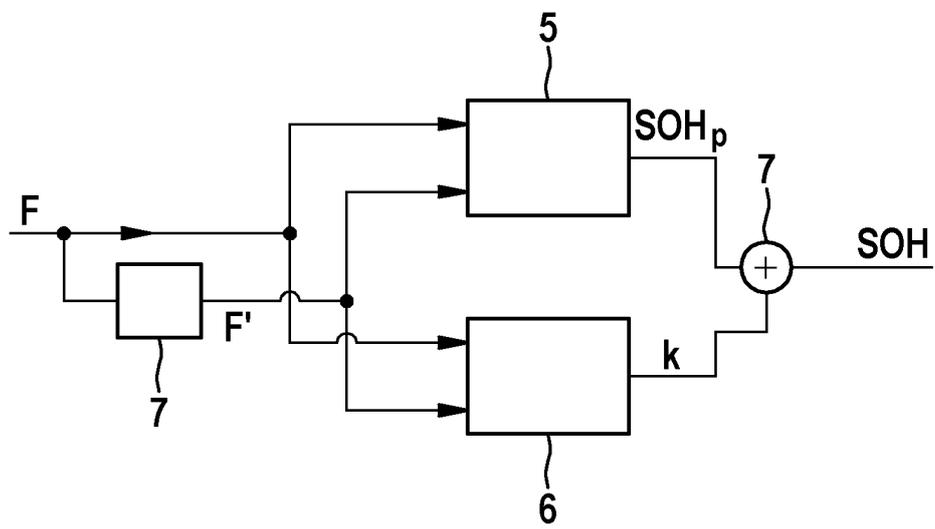


Fig. 2

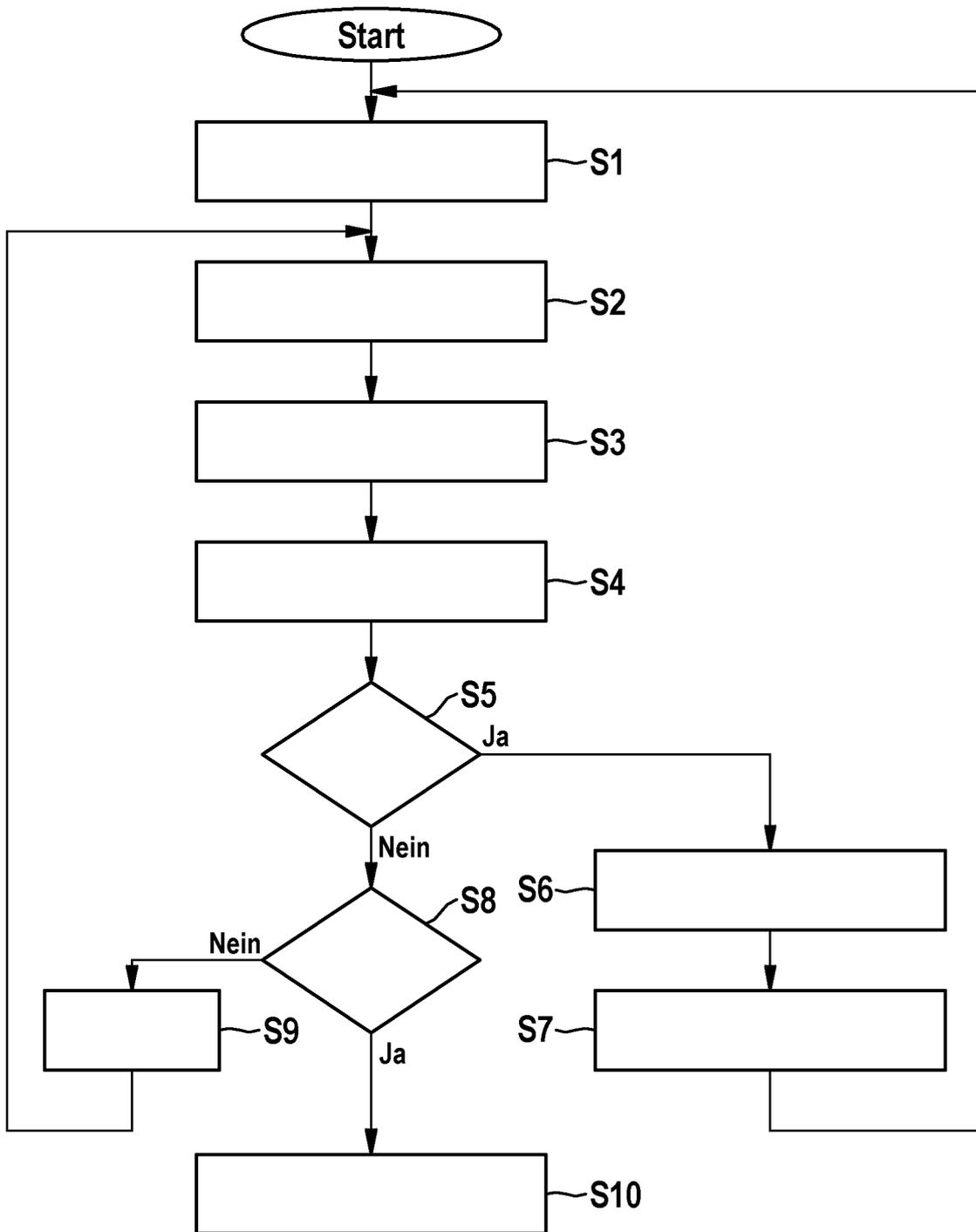


Fig. 3