



(10) **DE 10 2020 215 864 A1** 2022.06.15

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2020 215 864.9**

(22) Anmeldetag: **15.12.2020**

(43) Offenlegungstag: **15.06.2022**

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

H01M 10/42 (2006.01)

G01R 31/367 (2019.01)

(71) Anmelder:

**Robert Bosch Gesellschaft mit beschränkter
Haftung, 70469 Stuttgart, DE**

(72) Erfinder:

**Woll, Christoph, 70839 Gerlingen, DE; Kroener,
Christoph, 90574 Roßtal, DE; Simonis, Christian,
71229 Leonberg, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE 10 2012 214 877 A1

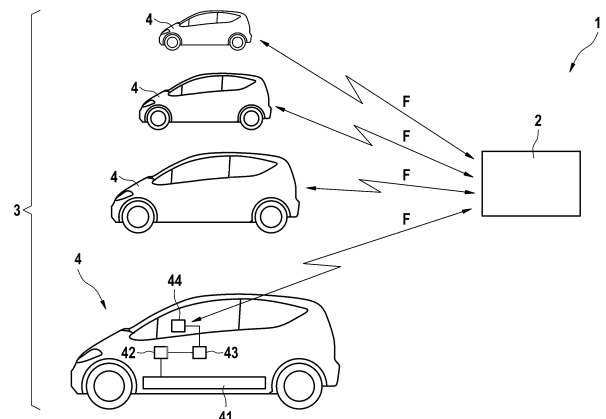
**PARK, Sangdo; YOU, Gae-won; OH, Duk-jin:
Data-driven State-of-health Estimation of EV
batteries Using Fatigue Features. In: Proceedings
of the 2016 IEEE International Conference on
Consumer Electronics (ICCE), Las Vegas, NV,
USA, 7.-11. Januar 2016, S. 101, 102**

Rechercheantrag gemäß § 43 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Verfahren und Vorrichtung zur maschinenindividuellen Verbesserung der Lebensdauer einer
Gerätebatterie in einer batteriebetriebenen Maschine**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein computer-
implementiertes Verfahren zum Betreiben eines Systems
mit einer Zentraleinheit (2), die mit einer Vielzahl von batte-
riebetriebenen Maschinen (4) mit jeweils einer Gerätebatte-
rie (41) in Kommunikationsverbindung steht, und zum
Bereitstellen einer Maßnahme zur maschinenindividuellen
Verlängerung der Lebensdauer der Gerätebatterie (41) der
Maschine (4).



Beschreibung

Technisches Gebiet

[0001] Die Erfindung betrifft batteriebetriebene Maschinen, insbesondere Elektrofahrzeuge oder Hybridfahrzeuge, und weiterhin Energiespeicher-Management-Verfahren und -Systeme mit Funktionen zum Verlängern einer Lebensdauer einer Batterie.

Technischer Hintergrund

[0002] Die Energieversorgung von batteriebetriebenen Maschinen erfolgt mithilfe eines elektrischen Energiespeichers, in der Regel mit einer Batterie. Der Alterungszustand der Batterie ändert sich im Laufe ihrer Lebensdauer zusehends, was sich in einer abnehmenden Speicherkapazität auswirkt. Ein Maß der Alterung hängt von Stressfaktoren ab, die sich aus der Art der Nutzung der Batterie ergeben. Die individuelle Belastung der Batterie hängt vom Maschinentyp und/oder vom Nutzungsverhalten eines Nutzers ab und hat entsprechend maschinenindividuellen Einfluss auf den Verlauf des Alterungszustands.

[0003] Eine für den Nutzer interessante Größe ist die Restlebensdauer der Batterie, die aus dem aktuellen Alterungszustand bestimmt werden kann. Diese Angabe ermöglicht diesem, einen Austausch der Batterie längerfristig zu planen bzw. präventiv lebensverlängernde Maßnahmen zu steuern.

[0004] Weiterhin wird von Herstellern zwar eine Lebensdauergarantie für Batterien angegeben, diese kann jedoch durch entsprechend stressende Nutzung der Batterie ggfs. nicht eingehalten werden.

[0005] Es ist daher erwünscht, Einfluss auf die Nutzung der Batterie zu nehmen, um deren Lebensdauer zu erhöhen, wenn besondere Stressfaktoren erkennbar sind oder wenn ggfs. eine Nicht-Einhaltung der Lebensdauergarantie absehbar ist.

Offenbarung der Erfindung

[0006] Erfindungsgemäß sind ein Verfahren zum Betreiben eines Systems mit einer Zentraleinheit, die mit einer Vielzahl von batteriebetriebenen Maschinen mit jeweils einer Gerätebatterie in Kommunikationsverbindung steht, und zum Bereitstellen einer Maßnahme zur maschinenindividuellen Verlängerung der Lebensdauer der Gerätebatterie der Maschine gemäß Anspruch 1 sowie eine Vorrichtung und ein System mit einer Zentraleinheit und mit einer Vielzahl von Maschinen gemäß den nebengeordneten Ansprüchen vorgesehen.

[0007] Weitere Ausgestaltungen sind in den abhängigen Ansprüchen angegeben.

[0008] Gemäß einem ersten Aspekt ist ein computerimplementiertes Verfahren zum Betreiben eines Systems mit einer Zentraleinheit, die mit einer Vielzahl von batteriebetriebenen Maschinen mit jeweils einer Gerätebatterie in Kommunikationsverbindung steht, und zum Bereitstellen einer Maßnahme zur maschinenindividuellen Verlängerung der Lebensdauer der Gerätebatterie der Maschine, mit folgenden Schritten:

- Bestimmen jeweils einer Verlaufsfunktion des Alterungszustands abhängig von zeitlichen Verläufen von kontinuierlich bereitgestellten bzw. empfangenen Betriebsgrößen für eine Vielzahl von bestimmten Gerätebatterien, wobei die jeweilige Verlaufsfunktion einen Verlauf des Alterungszustands der jeweiligen Gerätebatterie angibt,

- Bereitstellen von Betriebsmerkmalen abhängig von den zeitlichen Verläufen der kontinuierlich bereitgestellten bzw. empfangenen Betriebsgrößen für jede der Gerätebatterien, wobei die bereitgestellten Betriebsmerkmale möglichen Stressfaktoren zur Angabe einer Stressbelastung zugeordnet sind,

- Durchführen einer Cluster-Analyse für mindestens eines der Betriebsmerkmale in einem Merkmalsraum mit Betriebsmerkmalspunkten, die jeweils durch das betreffende Betriebsmerkmal und durch einen jeweiligen Funktionsparameter der Verlaufsfunktion, der ein Maß der Degradation angibt, insbesondere einen zeitlichen Gradienten, für jede der Gerätebatterien bestimmt sind, um mehrere Cluster von Gerätebatterien zu identifizieren,

- Für jedes Betriebsmerkmal, Identifizieren desjenigen Clusters von Gerätebatterien, für den das betreffende Betriebsmerkmal der dem betreffenden Cluster zugeordnete Zentroid die höchste Stressbelastung und für den der Funktionsparameter der dem betreffenden Cluster zugeordnete Zentroid die höchste Degradation unter den Clustern angibt,

- Für jedes Betriebsmerkmal, Signalisieren einer dem betreffenden Betriebsmerkmal zugeordneten Maßnahme zur Stressreduzierung an die Maschinen, die dem identifizierten Cluster zugeordnet sind.

[0009] Gemäß einer Ausführungsform kann das Bestimmen einer Verlaufsfunktion des Alterungszustands abhängig von kontinuierlich bereitgestellten Betriebsgrößen der bestimmten Gerätebatterie die Schritte umfassen:

- Ermitteln von Alterungszustandswerten der Gerätebatterie abhängig von den bereitgestellten Betriebsgrößen mithilfe eines Alterungszustandsmodells, um Datenpunkte zu bestimmen, wobei ein Datenpunkt einen ermittelten Alterungszustandswert einem Alterungszeitpunkt zuordnet,

- Parametrieren der Verlaufsfunktion, um die Verlaufsfunktion an die Datenpunkte anzufitten.

[0010] Der Alterungszustand einer Batterie wird üblicherweise nicht direkt gemessen. Dies würde eine Reihe von Sensoren in der Batterie erfordern, die die Herstellung einer solchen Batterie aufwendig machen und den Raumbedarf vergrößern würden. Zudem sind automotive-taugliche Verfahren zur Alterungszustandsbestimmung in der Maschine noch nicht für den Realbetrieb verfügbar. Daher wird der aktuelle Alterungszustand in der Regel mithilfe eines physikalischen oder empirischen Alterungsmodells in der Maschine ermittelt.

[0011] Dieses physikalische Alterungszustandsmodell weist Worst Case Modellabweichungen von mehr als 5 % auf. Aufgrund der Ungenauigkeit des physikalischen Alterungsmodells kann dieses zudem lediglich den momentanen Alterungszustand der Batterie angeben. Eine Prädiktion des Alterungszustands, die insbesondere von der Betriebsweise der Batterie, wie z. B. von der Höhe und Menge des Ladungszuflusses und Ladungsabflusses, und damit von einem Betriebsverhalten und von Maschinenparametern abhängt, würde zu sehr ungenauen Vorhersagen führen und ist derzeit nicht in der Maschine vorgesehen.

[0012] Der Alterungszustand (SOH: State of Health) ist die Schlüsselgröße zur Angabe einer verbleibenden Batteriekapazität oder einer verbleibenden Batterieladung. Der Alterungszustand kann als Kapazitätserhaltungsrate (capacity retention rate, SOH-C) oder als Anstieg des Innenwiderstands (SOH-R) angegeben werden. Die Kapazitätserhaltungsrate SOH-C ist als Verhältnis der gemessenen momentanen Kapazität zu einer Anfangskapazität der vollständig aufgeladenen Gerätebatterie angegeben. Die relative Änderung des Innenwiderstands SOH-R steigt mit zunehmender Alterung der Gerätebatterie an.

[0013] Das obige Verfahren sieht vor, durch Analyse von Flottendaten einer Vielzahl von Gerätebatterien abhängig von einem nutzerindividuellen Betrieb der Maschine bzw. der Gerätebatterie Betriebsmerkmale zu ermitteln, die Stressfaktoren darstellen und die dadurch einen hohen Einfluss auf die Alterung bzw. Degradation der Gerätebatterie haben. Dadurch ist es möglich, abhängig von identifizierten Stressfaktoren Maßnahmen zu ermitteln, durch die die Alterung/Degradation der Gerätebatterie bestmöglich ver-

langsamt werden kann, um so die Restlebensdauer der Gerätebatterie zu verlängern.

[0014] Stressfaktoren im Sinne dieser Beschreibung stellen vorgegebene Betriebsmerkmale dar, die die Gerätebatterie stressen und die diese verstärkt altern lassen. Die Betriebsmerkmale, die Stressfaktoren entsprechen können, charakterisieren Nutzungsmuster, die ein typisches maschinenindividuelles oder nutzungsindividuelles Verhalten angeben. Stressfaktoren werden vorab definiert, wie z. B. den Stressfaktor einer hohen kalendarischen Alterung bei hohem Ladezustand und hoher Temperatur, einer hohen zyklischen Alterung, die einer hohen Häufigkeit von Lade- und Entladevorgängen entspricht, und einer Häufigkeit von Schnellladevorgängen bei hohen Stromstärken. Stressfaktoren beruhen also auf bekannten Wirkketten zur Alterung und können quantifiziert werden.

[0015] Insbesondere besteht eine Schwierigkeit darin, eine Garantie für eine Lebensdauer einer Gerätebatterie vorzugeben, ohne dass nutzerindividuelle Stressfaktoren berücksichtigt werden. So können Nutzer durch unterschiedliche Nutzungsverhalten die Batterie mehr oder weniger stressen, wodurch die Alterung der Batterie maßgeblich beeinträchtigt wird. Eine vorgegebene Garantie, wie beispielsweise ein Abfall des Alterungszustands auf 80 % der ursprünglichen Kapazität zum Einbauezeitpunkt innerhalb eines bestimmten Zeitraums, von z. B. acht Jahren, kann so nur unter Vorbehalten gegeben werden.

[0016] Das obige Verfahren ermöglicht durch das Ermitteln eines Vorliegens von relevanten Stressfaktoren und das Bereitstellen von bestimmten Maßnahmen, die Lebensdauer der Vielzahl von Gerätebatterien zu verlängern. Insbesondere kann einem Nutzer einer batteriebetriebenen Maschine eine geeignete Maßnahme zum Verlängern der Lebensdauer der betreffenden Gerätebatterie vorgeschlagen werden. Dies ist insbesondere der Fall für unbekannte Batterietypen, für die keine Informationen zu elektrochemischen Designparametern oder umfangreiche Alterungstests vorliegen und kein elektrochemisches oder hybrides bzw. datenbasiertes Modell parametrisiert werden kann. Das Ermitteln der Stressfaktoren erfolgt unter Betrachtung von Alterungszustandsverläufen der Vielzahl von Gerätebatterien mithilfe eines Clusterverfahrens.

[0017] Dazu werden als potentielle Stressfaktoren ein oder mehrere Betriebsmerkmale der Gerätebatterien ermittelt, die ein Nutzungs- bzw. Betriebsverhalten der Gerätebatterien charakterisieren. Zudem wird ein Verlauf des Alterungszustands mithilfe einer vorzugsweise linearen Verlaufsfunktion approximiert. Diese Verlaufsfunktion kann nichtlinear oder linear ausgeführt sein. Im linearen Fall kann so ein

zeitlicher Gradient des Alterungszustands der betreffenden Gerätebatterie erhalten werden. Im allgemeinen nichtlinearen Fall ergibt sich entsprechend ein Funktionsparameter, der ein Maß der Degradation (Geschwindigkeit der Alterung bzw. einen Gradienten des Alterungsverlaufs) angeben kann. Der Alterungszustand wird vorzugsweise mithilfe herkömmlicher empirischer Verfahren wie beispielsweise durch Coulomb-Counting oder eine Messung einer Innenwiderstandsänderung in bestimmten Betriebszuständen der Gerätebatterie, wie beispielsweise einem Ladevorgang, einem Entladevorgang oder dergleichen, bestimmt.

[0018] Der erhaltene Funktionsparameter der Verlaufsfunktion bzw. des Alterungszustandsverlaufs, wie z. B. der zeitliche Gradient, sowie eines der vorgegebenen, als mögliche Stressfaktoren in Frage kommenden Betriebsmerkmale, bilden jeweils einen Merkmalsraum für Betriebsmerkmalspunkte, wobei jeweils ein Betriebsmerkmalspunkt durch das betreffende Betriebsmerkmal und dem Funktionsparameter für eine entsprechende Gerätebatterie bestimmt wird.

[0019] Basierend auf der Verteilung der Betriebsmerkmalspunkte der Vielzahl von Gerätebatterien in dem Merkmalsraum wird eine Clusteranalyse durchgeführt. Die Clusteranalyse ergibt Cluster, die jeweils durch den zugeordneten Zentroiden bestimmt sind. Jeder Zentroid ist einem quantifizierten Betriebsmerkmal und einem Wert des Funktionsparameters, der ein Maß einer Degradation aufzeigt, zugeordnet. Die Clusteranalyse, die beispielsweise die bekannten Verfahren K-Means++ oder Competitive Learning verwenden kann, kann jede der Gerätebatterie automatisiert einem der Cluster ähnlich betriebener Gerätebatterien bzw. Gerätebatterien mit ähnlichen Ausprägungen des betrachteten Betriebsmerkmals zuordnen.

[0020] Ein Cluster von besonders gestressten Gerätebatterien als Ergebnis der Cluster-Analyse für ein betrachtetes Betriebsmerkmal wird als dasjenige Cluster identifiziert, dessen Zentroid einem Betriebsmerkmalswert zugeordnet ist, der die höchste Belastung aller Zentroiden angibt, und dessen Zentroid einem Funktionsparameter der Verlaufsfunktion zugeordnet ist, der eine höchste Degradation aller Zentroiden angibt. Kann nach einer Clusteranalyse ein solches Cluster identifiziert werden, so wird dem zugeordneten Betriebsmerkmal eine entsprechende Maßnahme zugeordnet, die die Stressbelastung der dem Cluster zugeordneten Gerätebatterien reduzieren soll. Als Ergebnis dieser Auswertung kann auch keines der Cluster identifiziert werden, nämlich wenn der Zentroid keines der Cluster gleichzeitig einem Betriebsmerkmalswert zugeordnet ist, der die höchste Belastung aller Zentroiden angibt, und einem Funktionsparameter der Verlaufsfunktion

zugeordnet ist, der eine höchste Degradation aller Zentroiden angibt.

[0021] Die Maßnahme wird dann den entsprechenden Maschinen der Gerätebatterien signalisiert, um einen Nutzer der batteriebetriebenen Maschine darauf hinzuweisen, die Gerätebatterie schonender zu betreiben.

[0022] Die durch die Betriebsmerkmale angegebenen Stressfaktoren können beispielsweise stressende Zustände angeben, wie beispielsweise einen häufigen Betrieb bei einer hohen Batterietemperatur bei gleichzeitig hohem Ladezustand für einen längeren Zeitraum. Eine entsprechende stressreduzierende Maßnahme wäre es in diesem Beispiel, eine längere Inaktivitätsphase bei hohen Ladezuständen und gleichzeitig hohen Umgebungstemperaturen zu meiden und ein Laden auf einen hinreichenden Ladezustand der Gerätebatterie in einer kühleren Umgebung, beispielsweise des Nachts anstatt am Tag, durchzuführen. Hierbei werden konkrete den ermittelten Stressfaktoren zugeordnete Maßnahmen vorgeschlagen, welche die Stressfaktoren direkt oder implizit verringern. (z.B. mit zeitlich verändertem Laden kann eine Änderung des Stressfaktors Temperatur erreicht werden, da Umgebungsbedingungen sich entsprechend verändern).

[0023] Es kann vorgesehen sein, dass die zu signalisierende Maßnahme abhängig von einem vorgegebenen Zuordnungsmodell abhängig von dem betreffenden Betriebsmerkmal, das dem identifizierten Cluster zugeordnet ist, bestimmt wird.

[0024] Gemäß weiteren Ausführungsformen kann die batteriebetriebene Maschine einem Kraftfahrzeug, einem Pedelec, einem Fluggerät, insbesondere einer Drohne, einer Werkzeugmaschine, einem Gerät der Unterhaltungselektronik, wie ein Mobiltelefon, einem autonomen Roboter und/oder einem Haushaltsgerät entsprechen.

[0025] Gemäß einem weiteren Aspekt ist eine Vorrichtung, insbesondere eine Zentraleinheit, in einem System vorgesehen, die mit einer Vielzahl von batteriebetriebenen Maschinen mit jeweils einer Gerätebatterie in Kommunikationsverbindung steht, und zum Bereitstellen einer Maßnahme zur maschinenindividuellen Verlängerung der Lebensdauer der Gerätebatterie der Maschine ausgebildet ist, wobei die Vorrichtung ausgebildet ist zum:

- Bestimmen jeweils einer Verlaufsfunktion abhängig von zeitlichen Verläufen von kontinuierlich bereitgestellten bzw. empfangenen Betriebsgrößen für eine Vielzahl von bestimmten Gerätebatterien, wobei die jeweilige Verlaufsfunktion einen Verlauf des Alterungszustands der jeweiligen Gerätebatterie angibt,

- Bereitstellen von Betriebsmerkmalen abhängig von den zeitlichen Verläufen der kontinuierlich bereitgestellten bzw. empfangenen Betriebsgrößen für jede der Gerätebatterien, wobei die bereitgestellten Betriebsmerkmale möglichen Stressfaktoren zur Angabe einer Stressbelastung zugeordnet sind,

- Durchführen einer Cluster-Analyse für mindestens eines der Betriebsmerkmale in einem Merkmalsraum mit Betriebsmerkmalspunkten, die jeweils durch das betreffende Betriebsmerkmal und durch einen jeweiligen Funktionsparameter der Verlaufsfunktion, der ein Maß der Degradation angibt, insbesondere einen zeitlichen Gradienten, für jede der Gerätebatterien bestimmt sind, um mehrere Cluster von Gerätebatterien zu identifizieren,

- Für jedes Betriebsmerkmal, Identifizieren desjenigen Clusters von Gerätebatterien, für den das betreffende Betriebsmerkmal der dem betreffenden Cluster zugeordnete Zentroid die höchste Stressbelastung und für den der Funktionsparameter der dem betreffenden Cluster zugeordnete Zentroid die höchste Degradation unter den Clustern angibt,

- Für jedes Betriebsmerkmal, Signalisieren einer dem betreffenden Betriebsmerkmal zugeordneten Maßnahme zur Stressreduzierung an die Maschinen, die dem identifizierten Cluster zugeordnet sind.

[0026] Gemäß einem weiteren Aspekt ist ein System mit der obigen Vorrichtung, die mit einer Vielzahl von batteriebetriebenen Maschinen mit jeweils einer Gerätebatterie in Kommunikationsverbindung steht, vorgesehen.

Figurenliste

[0027] Ausführungsformen werden nachfolgend anhand der beigefügten Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 eine schematische Darstellung eines Systems zum Bereitstellen von fahrer- und fahrzeugindividuellen Belastungsgrößen für eine Fahrzeugbatterie basierend auf Flottendaten;

Fig. 2 ein Flussdiagramm zur Veranschaulichung eines Verfahrens zum Signalisieren einer Maßnahme für den Betrieb eines Kraftfahrzeugs; und

Fig. 3 eine Darstellung von Alterungszustandswerten über der Alterungszeitdauer;

Fig. 4 eine Darstellung einer angefitteten Verlaufsfunktion für die Alterungszustandswerte der **Fig. 3**; und

Fig. 5 eine beispielhafte Cluster - Darstellung eines Betriebsmerkmalsraums für ein Betriebsmerkmal und einen Gradienten der Verlaufsfunktion.

Beschreibung von Ausführungsformen

[0028] Im Folgenden wird das erfindungsgemäße Verfahren anhand von Fahrzeugbatterien als Batterien in einer Vielzahl von Kraftfahrzeugen als batteriebetriebene Maschinen beschrieben. In den Kraftfahrzeugen kann in einer Steuereinheit ein datenbasiertes Alterungszustandsmodell für die jeweilige Fahrzeugbatterie implementiert sein. Das Alterungszustandsmodell kann in einer Zentraleinheit kontinuierlich basierend auf Betriebsgrößen der Fahrzeugbatterien aus der Fahrzeugflotte aktualisiert bzw. nachtrainiert werden.

[0029] Das vorliegende Verfahren ist für unbekannte Batterietypen anwendbar, für die keine Informationen zu elektrochemischen Designparametern oder umfangreiche Alterungstests vorliegen und kein elektrochemisches oder hybrides bzw. datenbasiertes Modell parametrisiert werden kann.

[0030] Das obige Beispiel steht stellvertretend für eine Vielzahl von stationären oder mobilen batteriebetriebenen Maschinen und Geräte mit netzunabhängiger Energieversorgung, wie beispielsweise Fahrzeuge (Elektrofahrzeuge, Pedelecs usw.), Anlagen, Werkzeugmaschinen, Haushaltsgeräte, IOT-Geräte, Gebäudeenergieversorgungen, Fluggeräte, insbesondere Drohnen, autonome Roboter und Geräte der Unterhaltungselektronik, insbesondere Mobiltelefone, und dergleichen, die über eine entsprechende Kommunikationsverbindung (z. B. LAN, Internet) mit einer Zentraleinheit (Cloud) in Verbindung stehen.

[0031] **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.

[0032] 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.

[0033] Die Kraftfahrzeuge 4 senden an die Zentraleinheit 2 die Betriebsgrößen F, die zumindest Grö-

ßen angeben, von denen der Alterungszustand der Fahrzeugbatterie abhängt. Die Betriebsgrößen F können im Falle einer Fahrzeugbatterie einen momentanen Batteriestrom, eine momentane Batteriespannung, eine momentane Batterietemperatur und einen momentanen Ladezustand (SOC: State of Charge) angeben, sowohl auch Pack-, Modul- und / oder Zellebene. Die Betriebsgrößen F werden in einem schnellen Zeitraster von 0.1 Hz bis 100 Hz erfasst und können in unkomprimierter und/oder komprimierter Form regelmäßig an die Zentraleinheit 2 übertragen werden. Beispielsweise können die Zeitreihen im Abstand von 10 min bis mehreren Stunden blockweise an die Zentraleinheit 2 übertragen werden.

[0034] In der Zentraleinheit 2 kann ein Alterungszustandsmodell implementiert sein, das einen Alterungszustand aus einer empirischen Auswertung der Betriebsgrößen F ermittelt. Dieses Alterungszustandsmodell kann einen Alterungszustandswert in geeigneten Betriebszuständen der Fahrzeugbatterie 41, wie beispielsweise während eines Ladevorgangs oder eines Entladevorgangs, mithilfe herkömmlicher Verfahren bestimmen, wie beispielsweise eine Ermittlung der Ladungszufuhr oder Ladungsabfluss während eines bestimmten Spannungshubs der Batteriespannung oder während einer bestimmten Änderung eines Ladezustands und dergleichen. Alternativ oder zusätzlich kann ein Alterungszustandswert auch durch eine Überwachung einer Innenwiderstandsänderung (zur Ermittlung eines SOH-R) gemäß einem an sich bekannten Verfahren durchgeführt werden. Andere Ausgestaltungen des Alterungszustandsmodells sind ebenfalls möglich. So können auch datenbasierte Alterungszustandsmodelle zum Linearisieren des Verlaufs der Alterungszustandswerte verwendet werden.

[0035] Ferner können aus den Betriebsgrößen ein oder mehrere Betriebsmerkmale generiert werden, die den Betrieb der Fahrzeugbatterie über deren jeweilige Betriebsdauer seit Inbetriebnahmezeitpunkt charakterisieren, und die je nach fahrzeugindividueller Nutzung einen Stressfaktor darstellen können. Die Betriebsmerkmale werden quantifiziert und zeigen damit je nach der Höhe des Werts einen Stressfaktor dar, der eine besondere Belastung der Fahrzeugbatterie 41 darstellt. Beispielsweise kann die kalendarische Alterung einem Wert zugeordnet werden, der sich aus der Höhe der Temperatur, der Höhe des Ladezustands und der Länge der Dauer, in der diese Bedingungen vorliegen, ergeben. Bewertungen sind zudem auf Basis von bekannten Wirkketten möglich, z.B. abgeleitet von Arrhenius-Ansätzen, welche physikalische die Batterie-Degradation beschreiben.

[0036] Derartige Stressfaktoren können beispielsweise eine kalendarische Alterung bei hohem Lade-

zustand und hoher Temperatur, eine zyklische Alterung, die einer hohen Häufigkeit von Lade- und Entladevorgängen entspricht, und eine Häufigkeit von Schnellladevorgängen bei hohen Stromstärken sein. Insbesondere können die Stressfaktoren eine Häufigkeit von Schnellladezyklen mit hohen Ladeströmen, häufige hohe Entladeströme aufgrund hoher Fahrzeugbeschleunigung oder hohen Fahrzeuggeschwindigkeiten, häufige hohe Stromflüsse bei hohen Temperaturen, die Häufigkeit von Lade- und Entladezyklen bei sehr hohen Ladezuständen (> 80 % des maximalen Ladezustands) oder bei sehr niedrigen Ladezuständen (< 20 % des maximalen Ladezustands), ein häufiges Entladen bis zum Erreichen der Entladeschlussspannung (tiefe SoC von bspw. 20 %) und dergleichen sein.

[0037] Stressfaktoren sind basierend auf modellierten Wirkketten bereits vor der Inbetriebnahme bekannt.

[0038] Fig. 2 zeigt ein Flussdiagramm zur Veranschaulichung eines Verfahrens zum Ermitteln einer Maßnahme zur Verlängerung der Lebensdauer der Fahrzeugbatterie, insbesondere von Maßnahmen, die helfen, bei einer bereits gestressten Fahrzeugbatterie 41 eine vorgegebene Soll-Lebensdauer zu erreichen.

[0039] Das Verfahren kann in der Zentraleinheit 2 für jedes der Kraftfahrzeuge 4 der Flotte 3 ausgeführt werden. Alternativ kann das Verfahren auch in den Kraftfahrzeugen 4 durchgeführt werden, wenn das Alterungszustandsmodell und Flottendaten in den Kraftfahrzeugen 4 implementiert sind. Der Zentraleinheit 2 liegen dazu die Zeitreihen der Betriebsgrößen für jeden Auswertungszeitraum und entsprechende Verläufe der Alterungszustände der Fahrzeugbatterien 41 der Kraftfahrzeuge 4 vor. Alternativ kann das nachstehend beschriebene Verfahren auch in den Kraftfahrzeugen 4 durchgeführt werden, wenn ein entsprechendes Alterungszustandsmodell in dem Kraftfahrzeug vorgesehen ist.

[0040] In Schritt S1 werden in der Zentraleinheit 2 die Zeitreihen der Betriebsgrößen F regelmäßig von einer Vielzahl von Fahrzeugen 4 empfangen.

[0041] Die Verläufe der Betriebsgröße können in Schritt S2 in geeigneter Weise gefiltert und/oder vorverarbeitet werden, wobei beispielsweise mithilfe einer Ausreißer-Eliminierung und Filterung die erhaltenen Daten plausibilisiert werden.

[0042] In Schritt S3 werden zu regelmäßigen Auswertungszeitpunkten die Betriebsverläufe der Betriebsgrößen F für jedes der Vielzahl von Fahrzeugen analysiert und mithilfe eines empirischen Alterungszustandsmodells ein Alterungszustandswert geschätzt. Dies kann beispielsweise durch die oben

beschriebenen Verfahren zur Ermittlung eines auf der Kapazitätserhaltungsrate oder auf einer Innenwiderstandsänderung basierenden Alterungszustandes vorgenommen werden. Die Auswertung der Betriebsgrößen erfolgt in vorzugsweise periodischen Auswertungszeiträumen, wobei das empirische Alterungszustandsmodell die Alterungszustandswerte der betreffenden Fahrzeugbatterie 41 zu unregelmäßigen Alterungszeitpunkten ermittelt. Für jede Ermittlung eines Alterungszustandswerts kann ein Datenpunkt generiert werden, der den ermittelten Alterungszustandswert einem Alterungszeitpunkt (Alter der Gerätebatterie seit der Inbetriebnahme) der betreffenden Gerätebatterie zuordnet. So kann beispielsweise für eine Fahrzeugbatterie eine Menge von Datenpunkte ermittelt werden, wie sie beispielsweise im Diagramm der **Fig. 3** dargestellt ist. Der mithilfe des empirischen Alterungszustandsmodells ermittelte Alterungszustandswert streut im Allgemeinen und liegt in zeitlich nicht kontinuierlichen Abschnitten vor wie aus **Fig. 3** erkennbar.

[0043] In einem nachfolgenden Schritt S4 werden mithilfe eines datenbetriebenen Modells die Datenpunkte an ein statistisches Modell einer Verlaufsfunktion gefittet. Dieses Modell kann z.B. als lineare Verlaufsfunktion vorgegeben werden. Dadurch wird die Ungenauigkeit bei der Ermittlung der Alterungszustandswerte reduziert, indem die Streuung der Datenpunkte eliminiert bzw. reduziert wird. Beispielsweise kann eine lineare Verlaufsfunktion parametrisiert werden, insbesondere durch Minimierung eines Residuums durch Methode der kleinsten Quadrate oder ähnlichem. Allgemein können auch nichtlineare parametrische Verfahren sowie nicht-parametrische Modelle, wie Gaußprozess-Verfahren, als Verlaufsfunktion zum Einsatz kommen.

[0044] In **Fig. 4** ist beispielhaft für die Datenpunkte der **Fig. 3** eine angefittete linearisierte Verlaufsfunktion dargestellt. Aus der angefitteten Verlaufsfunktion kann ein Funktionsparameter, der ein Maß einer Degradation angibt, bestimmt werden. Dieser Funktionsparameter kann bei einer linearen Verlaufsfunktion ein Gradient der Verlaufsfunktion sein.

[0045] Weiterhin werden in Schritt S5 die Verläufe der Betriebsgrößen F für die Fahrzeugbatterien analysiert, um wie oben beschrieben ein oder mehrere charakterisierende Betriebsmerkmale für jede Fahrzeugbatterie zu quantifizieren. Ein jeweiliger Wert des einen oder der mehreren Betriebsmerkmale gibt jeweils an, in welchem Maß die durch das Betriebsmerkmal charakterisierte Nutzung die jeweilige Fahrzeugbatterie belastet hat.

[0046] In der Zentraleinheit 2 werden die obigen Schritte für eine Vielzahl von Fahrzeugbatterien 41 ausgeführt, so dass für die Vielzahl von Fahrzeugbatterien sowohl ein oder mehrere Betriebsmerk-

male, die eine Nutzung oder ein Betriebsverhalten der Fahrzeugbatterie 41 charakterisieren, und die parametrisierte Verlaufsfunktion vorliegen.

[0047] In einem nachfolgenden Schritt S6 erfolgte nun eine Clusteranalyse, die die Betriebsmerkmale und den Gradienten der Verlaufsfunktion bzw. bei nichtlinearen Verlaufsfunktionen den repräsentativen eine Degradation anzeigenden Funktionsparameter (oder eine Modelleigenschaft nach Parametrierung) analysiert.

[0048] Die Clusteranalyse wird für jedes Betriebsmerkmal separat durchgeführt. Es wird für jede Fahrzeugbatterie ein Betriebsmerkmalspunkt bestimmt, der sich aus dem Wert des betreffenden Betriebsmerkmals und dem Gradienten der Verlaufsfunktion der betreffenden Fahrzeugbatterie ergibt. Daraus ergibt sich ein Betriebsmerkmalsraum aus den Betriebsmerkmalspunkten der Vielzahl von Fahrzeugbatterien.

[0049] Basierend auf der Verteilung der Betriebsmerkmalspunkte der Vielzahl von Gerätebatterien in dem Merkmalsraum wird die Clusteranalyse durchgeführt. Die Clusteranalyse ergibt Cluster, die jeweils durch den zugeordneten Zentroiden bestimmt sind. Jeder Zentroid ist einem quantifizierten Betriebsmerkmal und einem Wert des Funktionsparameters, der ein Maß einer Degradation aufzeigt, zugeordnet. Die Clusteranalyse, die beispielsweise die bekannten Verfahren K-Means++ oder Competitive Learning verwenden kann, kann jede der Gerätebatterie automatisiert einem der Cluster ähnlich betriebener Fahrzeugbatterien bzw. Fahrzeugbatterien mit ähnlichen Ausprägungen des betrachteten Betriebsmerkmals zuordnen.

[0050] Ein Cluster von besonders gestressten Gerätebatterien als Ergebnis der Cluster-Analyse für ein betrachtetes Betriebsmerkmal wird als dasjenige Cluster identifiziert, dessen Zentroid einem Betriebsmerkmalswert zugeordnet ist, der die höchste Belastung aller Zentroiden angibt, und dessen Zentroid einem Funktionsparameter der Verlaufsfunktion zugeordnet ist, der eine höchste Degradation aller Zentroiden angibt. Kann nach einer Clusteranalyse ein solches Cluster identifiziert werden, so wird dem zugeordneten Betriebsmerkmal eine entsprechende Maßnahme zugeordnet, die die Stressbelastung der dem Cluster zugeordneten Gerätebatterien reduzieren soll. Als Ergebnis dieser Auswertung kann auch keines der Cluster identifiziert werden, nämlich wenn der Zentroid keines der Cluster gleichzeitig einem Betriebsmerkmalswert zugeordnet ist, der die höchste Belastung aller Zentroiden angibt, und einem Funktionsparameter der Verlaufsfunktion zugeordnet ist, der eine höchste Degradation aller Zentroiden angibt. In diesem Fall würde nämlich der qualitative Stressfaktor-Einfluss auf Basis der

bekannten physikalischen Wirkketten nicht erfolgreich verifiziert werden.

[0051] In Schritt S7 wird ein Cluster identifiziert, der Fahrzeugbatterien kennzeichnet, die einem Stressfaktor ausgesetzt sind der eine hohe Degradation des Alterungszustands bewirkt.

[0052] Beispielsweise ist in **Fig. 5** für zwei Dimensionen eines beispielhaften Merkmalsraums ein Betriebsmerkmal M (y-Achse, höhere y-Werte stellen eine höhere Degradation/Belastung dar) über einen normierten Gradienten G der Verlaufsfunktion (x-Achse, höhere x-Werte stellen eine geringere Degradation/Belastung dar) aufgetragen. Man erkennt zwei Cluster. Ein erstes Cluster C1 mit einem Funktionsparameter, das eine geringe Batterie-Degradierung signalisiert, am Beispiel des niedrigen Gradienten der Verlaufsfunktion und einem Betriebsmerkmal M, das aufgrund seiner Intensität/seines Werts eine geringe Belastung der Fahrzeugbatterie darstellt, und ein zweites Cluster C2 mit einer hohen Belastung der Fahrzeugbatterie 41 bei einem Funktionsparameter, das eine hohe Batterie-Degradierung signalisiert am Beispiel des betragsmäßig hohen Gradienten der Verlaufsfunktion und einem Betriebsmerkmal, das aufgrund seiner Intensität/seines Werts eine hohe Belastung der Fahrzeugbatterie darstellt. Hier kann der Zusammenhang zwischen erhöhter Batterie-Degradation und der qualitativen Stressfaktor-Einfluss auf Basis von bekannten physikalischen Wirkketten mit hinreichender Evidenz verifiziert werden.

[0053] In Schritt S8 wird dem Betriebsmerkmal des identifizierten Clusters mithilfe eines regelbasierten Zuordnungsmodells eine Maßnahme zugeordnet.

[0054] In Schritt S9 wird nun die betreffende Maßnahme den entsprechenden Maschinen der Fahrzeugbatterien signalisiert, die durch das identifizierte Cluster repräsentiert sind. Dadurch können Nutzer der betreffenden batteriebetriebenen Maschinen darauf hingewiesen werden, die Fahrzeugbatterie schonender zu betreiben.

[0055] Für jedes Betriebsmerkmal, das einen Stressfaktor darstellen kann, sind gemäß einem Zuordnungsmodell (z.B. Lookup-Tabelle) aufgrund von Domänenwissen regelbasierte Maßnahmen definiert, wie der Stressfaktor durch leicht modifiziertes Nutzerverhalten verringert werden kann.

[0056] Auf diese Weise ist es möglich, einem Fahrer automatisiert basierend auf seiner Clusterzuordnung eine passende Maßnahme vorzuschlagen, um die Lebensdauer der Fahrzeugbatterie 41 zu verlängern. Dadurch ist es beispielsweise möglich, dass einem Fahrer, der seine Fahrzeugbatterie 41 häufig an einer Schnellladestation bei hoher Batterietempera-

tur auflädt, als Maßnahme eine Reduzierung der Schnellladevorgänge vorgeschlagen wird, sofern es zu seinen Reichweitenanforderungen passt. Beispielsweise kann in diesem Fall ein schonendes Laden über Nacht ausreichen, um alle täglichen Fahrenanforderungen sicher zu erfüllen und gleichzeitig die Lebensdauer der Batterie zu verlängern.

[0057] Anstelle der Signalisierung einer Maßnahme an den Fahrer können ggfs. die Maßnahmen automatisch im Fahrzeug umgesetzt werden, beispielsweise durch Begrenzen der Ladungsaufnahme bei einem Ladevorgang oder Begrenzen des maximalen Entladestroms oder Änderung der Derating Betriebsstrategie.

[0058] Auch kann z. B. bei hoher kalendarischen Alterung (hoher Ladezustand bei hoher Temperatur für längere Zeit) dem Nutzer empfohlen werden, entweder die Batterie bzgl. Ladezustand nicht vollzuladen, sofern mit Nutzungswunsch des Fahrers kompatibel oder alternativ den Ladezeitpunkt zu einem späteren Zeitpunkt durchzuführen, wenn günstigere Umgebungsbedingungen, wie eine geringere Temperatur, zur schonenden Ladung vorliegen.

Patentansprüche

1. Computerimplementiertes Verfahren zum Betreiben eines Systems mit einer Zentraleinheit (2), die mit einer Vielzahl von batteriebetriebenen Maschinen (4) mit jeweils einer Gerätebatterie (41) in Kommunikationsverbindung steht, und zum Bereitstellen einer Maßnahme zur maschinenindividuellen Verlängerung der Lebensdauer der Gerätebatterie (41) der Maschine (4) mit folgenden Schritten:

- Bestimmen (S1-S4) jeweils einer Verlaufsfunktion abhängig von zeitlichen Verläufen von kontinuierlich bereitgestellten bzw. empfangenen Betriebsgrößen (F) für eine Vielzahl von bestimmten Gerätebatterien (41), wobei die jeweilige Verlaufsfunktion einen Verlauf des Alterungszustands der jeweiligen Gerätebatterie (41) angibt,
- Bereitstellen (S5) von Betriebsmerkmalen (M) abhängig von den zeitlichen Verläufen der kontinuierlich bereitgestellten bzw. empfangenen Betriebsgrößen (F) für jede der Gerätebatterien (41), wobei die bereitgestellten Betriebsmerkmale (M) möglichen Stressfaktoren zur Angabe einer Stressbelastung zugeordnet sind,
- Durchführen (S6) einer Cluster-Analyse für mindestens eines der Betriebsmerkmale (M) in einem Merkmalsraum mit Betriebsmerkmalspunkten, die jeweils durch das betreffende Betriebsmerkmal und durch einen jeweiligen Funktionsparameter der Verlaufsfunktion, der ein Maß der Degradation angibt, insbesondere einen zeitlichen Gradienten, für jede der Gerätebatterien (41) bestimmt sind, um mehrere Cluster (C1, C2) von Gerätebatterien (41) zu identi-

fizieren,

- Für jedes Betriebsmerkmal, Identifizieren (S7) desjenigen Clusters von Gerätebatterien (419, für den das betreffende Betriebsmerkmal (M) der dem betreffenden Cluster (C1, C2) zugeordnete Zentroid die höchste Stressbelastung und für den der Funktionsparameter der dem betreffenden Cluster (C1, C2) zugeordnete Zentroid die höchste Degradation unter den Clustern (C1, C2) angibt,
- Für jedes Betriebsmerkmal, Signalisieren (S9) einer dem betreffenden Betriebsmerkmal (M) zugeordneten Maßnahme zur Stressreduzierung an die Maschinen (4), die dem identifizierten Cluster (C1, C2) zugeordnet sind.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die Cluster-Analyse mithilfe von K-means++ oder Competitive-Learning durchgeführt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei das Bestimmen einer Verlaufsfunktion des Alterungszustands abhängig von kontinuierlich bereitgestellten Betriebsgrößen der bestimmten Gerätebatterie (41) die Schritte umfasst:

- Ermitteln von Alterungszustandswerten der Gerätebatterie (41) anhängig von den bereitgestellten Betriebsgrößen (F) mithilfe eines Alterungszustandsmodells, um Datenpunkte zu bestimmen, wobei ein Datenpunkt einen ermittelten Alterungszustandswert einem Alterungszeitpunkt zuordnet,
- Parametrieren der insbesondere linearen Verlaufsfunktion, um die Verlaufsfunktion an die Datenpunkte anzufitten.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei die zu signalisierende Maßnahme abhängig von einem vorgegebenen Zuordnungsmodell abhängig von dem identifizierten Cluster (C1, C2) bestimmt wird.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei die Betriebsgrößen F einen Batteriestrom, eine Batteriespannung, eine Batterietemperatur und einen Ladezustand angeben.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei die Betriebsmerkmale (M), die möglichen Stressfaktoren angeben können, umfassen: eine kalendarische Alterung bei hohem Ladezustand und hoher Temperatur, eine zyklische Alterung, die einer hohen Häufigkeit von Lade- und Entladevorgängen entspricht, und eine Häufigkeit von Schnellladevorgängen bei hohen Stromstärken, wobei insbesondere die Betriebsmerkmale entsprechend quantifiziert sind, um durch ihren Wert eine Belastung der Gerätebatterie (41) anzugeben.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei die batteriebetriebene Maschine (4) einem Kraftfahrzeug, einem Pedelec, einem Fluggerät, ins-

besondere einer Drohne, einer Werkzeugmaschine, einem Gerät der Unterhaltungselektronik, wie ein Mobiltelefon, einem autonomen Roboter und/oder einem Haushaltsgerät entspricht.

8. Vorrichtung, insbesondere eine Zentraleinheit (2), in einem System vorgesehen, die mit einer Vielzahl von batteriebetriebenen Maschinen (4) mit jeweils einer Gerätebatterie (41) eine Kommunikationsverbindung eingehen kann, und zum Bereitstellen einer Maßnahme zur maschinenindividuellen Verlängerung der Lebensdauer der Gerätebatterie (41) der Maschine (4) ausgebildet ist, wobei die Vorrichtung ausgebildet ist zum:

- Bestimmen jeweils einer Verlaufsfunktion abhängig von zeitlichen Verläufen von kontinuierlich bereitgestellten bzw. empfangenen Betriebsgrößen (F) für eine Vielzahl von bestimmten Gerätebatterien (41), wobei die jeweilige Verlaufsfunktion einen Verlauf des Alterungszustands der jeweiligen Gerätebatterie (41) angibt,

- Bereitstellen eines oder mehrerer Betriebsmerkmale (M) abhängig von den zeitlichen Verläufen der kontinuierlich bereitgestellten bzw. empfangenen Betriebsgrößen (F) für jede der Gerätebatterien (41), wobei das eine oder die mehreren bereitgestellten Betriebsmerkmale möglichen Stressfaktoren zur Angabe einer Stressbelastung zugeordnet sind,

- Durchführen einer Cluster-Analyse für mindestens eines der Betriebsmerkmale (M) in einem Merkmalsraum mit Betriebsmerkmalspunkten, die jeweils durch das betreffende Betriebsmerkmal (M) und durch einen jeweiligen Funktionsparameter der Verlaufsfunktion, der ein Maß der Degradation angibt, insbesondere einen zeitlichen Gradienten, für jede der Gerätebatterien (41) bestimmt sind, um mehrere Cluster von Gerätebatterien (41) zu identifizieren,

- Für jedes Betriebsmerkmal, Identifizieren desjenigen Clusters (C1, C2) von Gerätebatterien (41), für den das betreffende Betriebsmerkmal der dem betreffenden Cluster (C1, C2) zugeordnete Zentroid die höchste Stressbelastung und für den der Funktionsparameter der dem betreffenden Cluster (C1, C2) zugeordnete Zentroid die höchste Degradation unter den Clustern (C1, C2) angibt,

- Für jedes Betriebsmerkmal (M), Signalisieren einer dem betreffenden Betriebsmerkmal (M) zugeordneten Maßnahme zur Stressreduzierung an die Maschinen (4), die dem identifizierten Cluster (C1, C2) zugeordnet sind.

9. System mit einer Zentraleinheit nach Anspruch 8 und einer Vielzahl von Maschinen (4), mit denen die Zentraleinheit (2) in Kommunikationsverbindung steht.

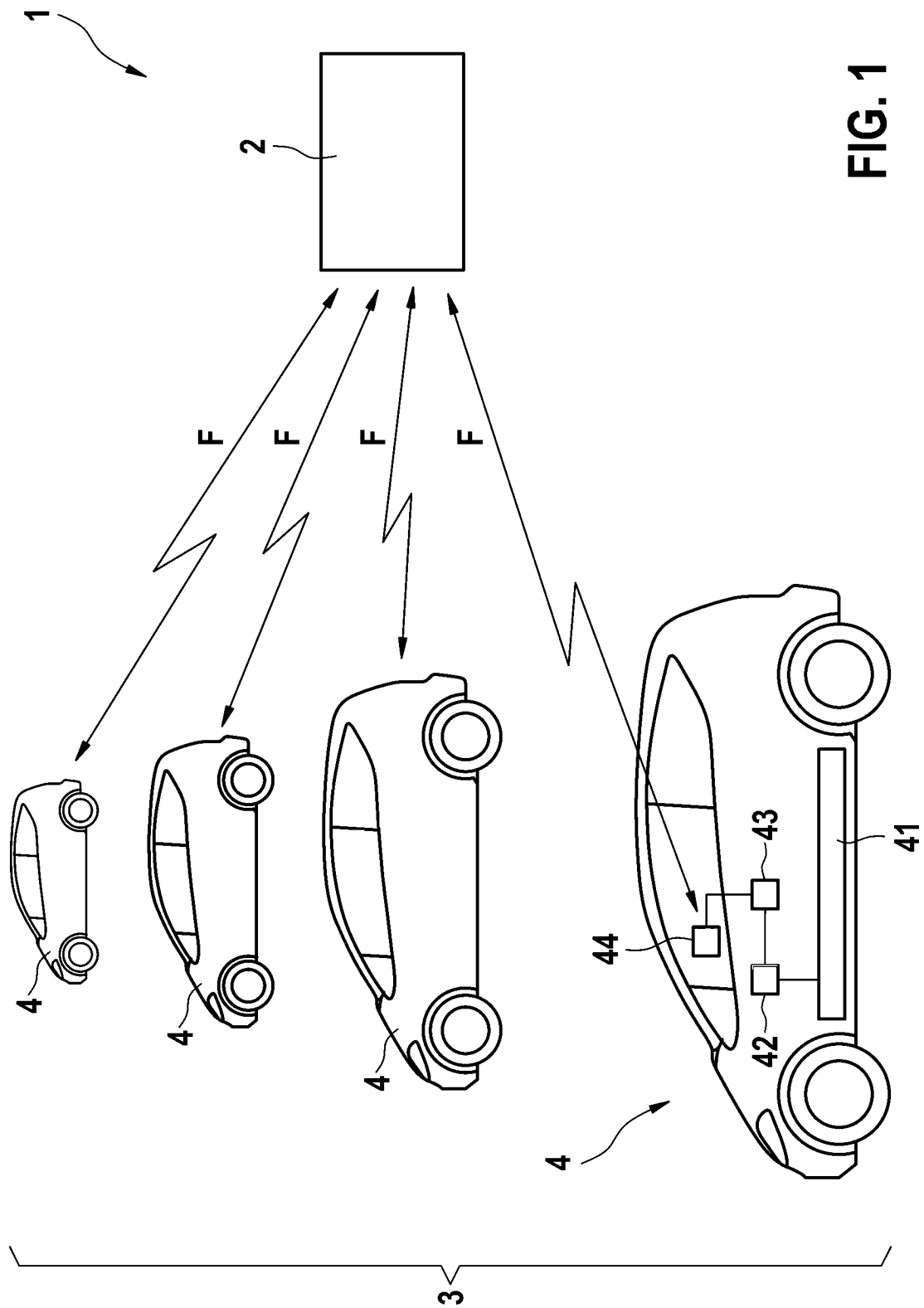
10. Computerprogrammprodukt umfassend Befehle, die bei der Ausführung des Programms durch mindestens eine Datenverarbeitungseinrich-

tung diese veranlassen, die Schritte des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 7 auszuführen.

11. Maschinenlesbares Speichermedium, umfassend Befehle, die bei der Ausführung durch mindestens eine Datenverarbeitungseinrichtung diese veranlassen, die Schritte des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 7 auszuführen.

Es folgen 5 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen



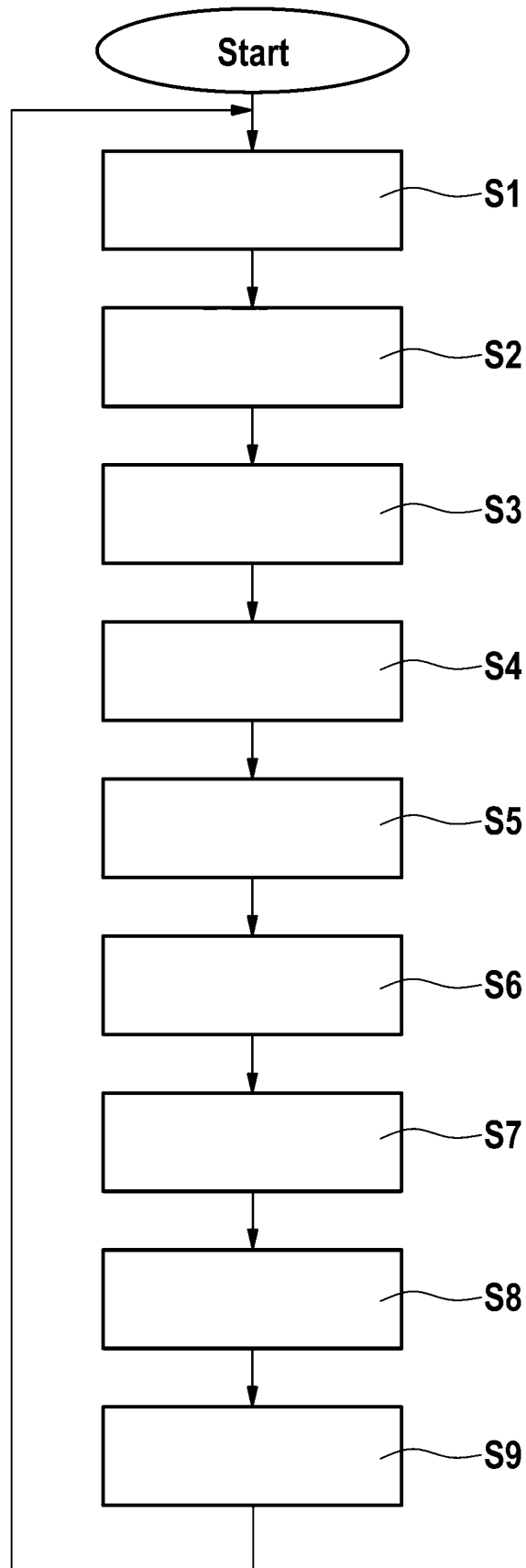


FIG. 2

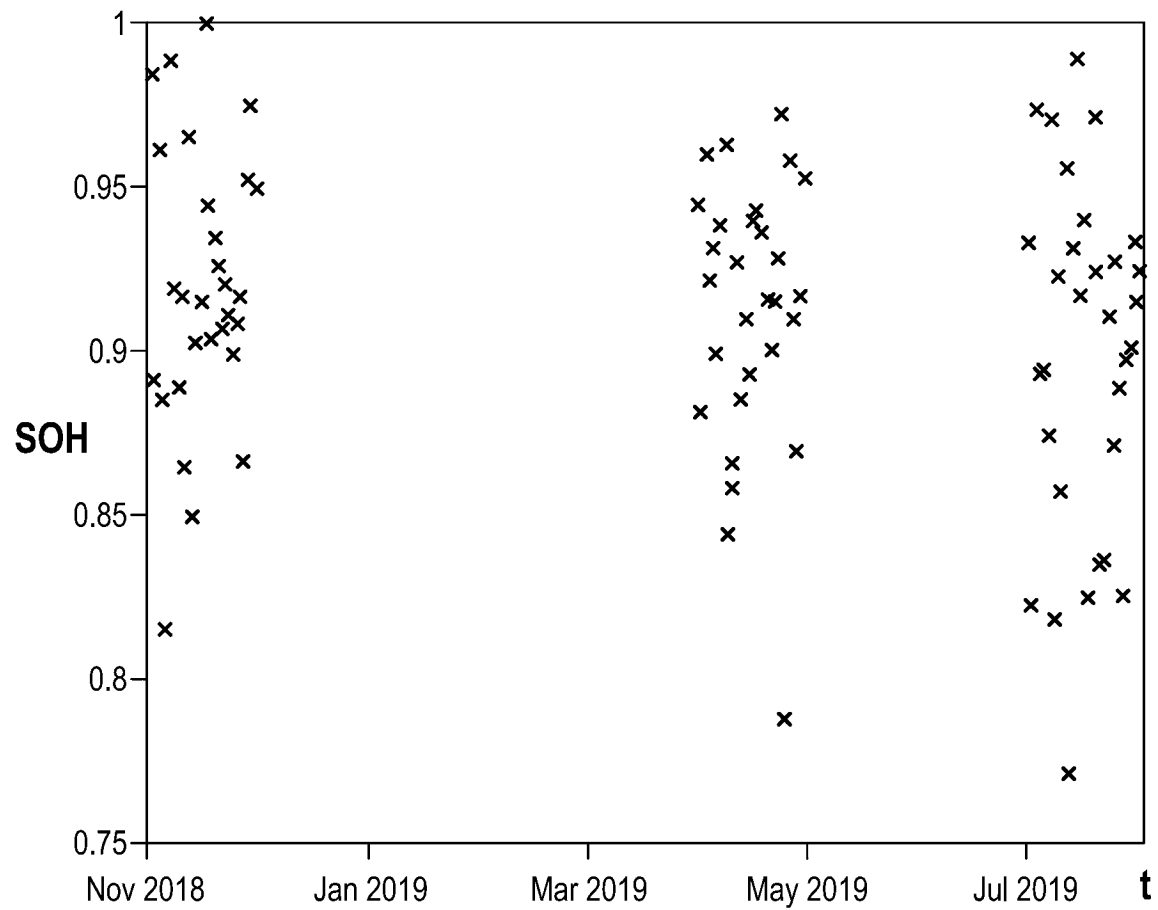
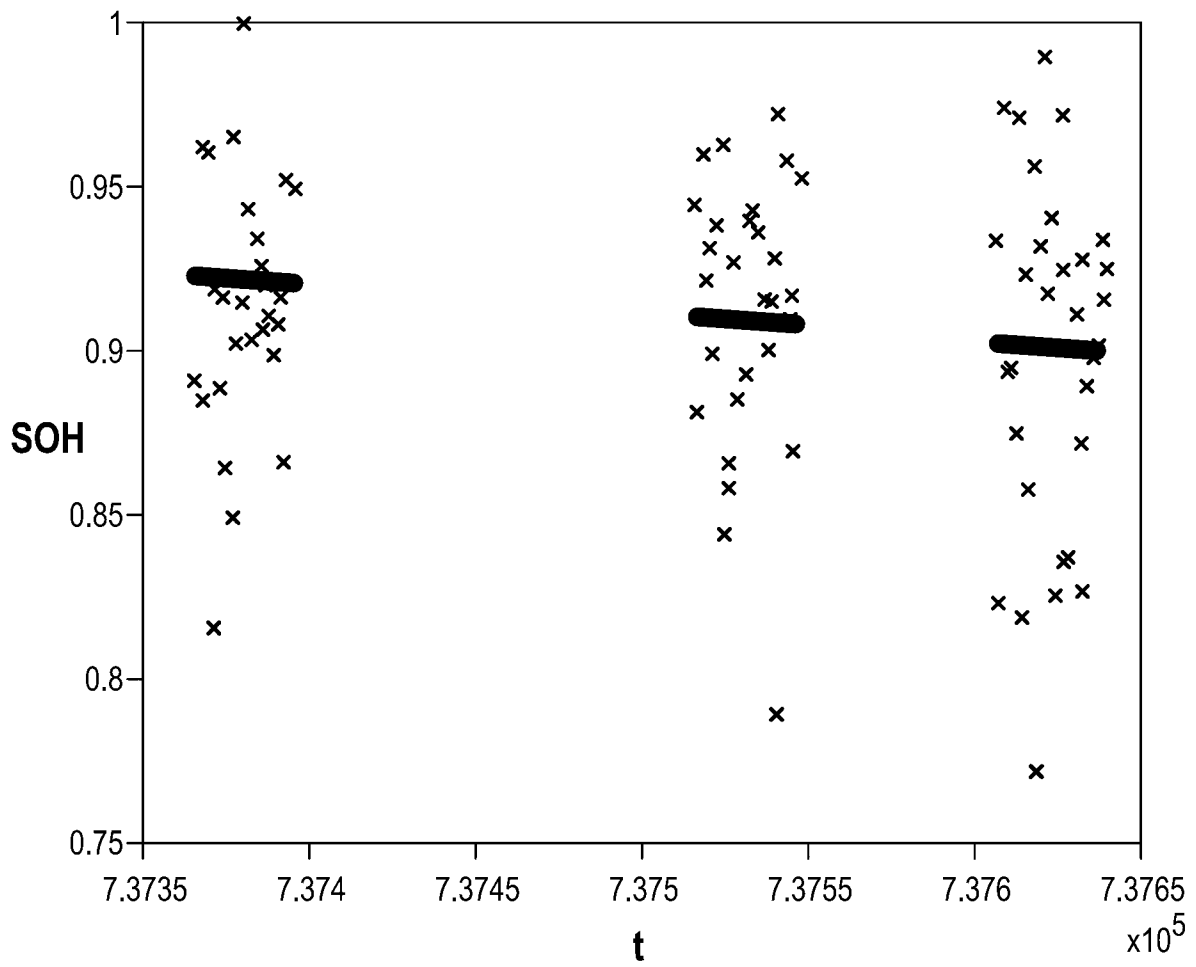


FIG. 3

**FIG. 4**

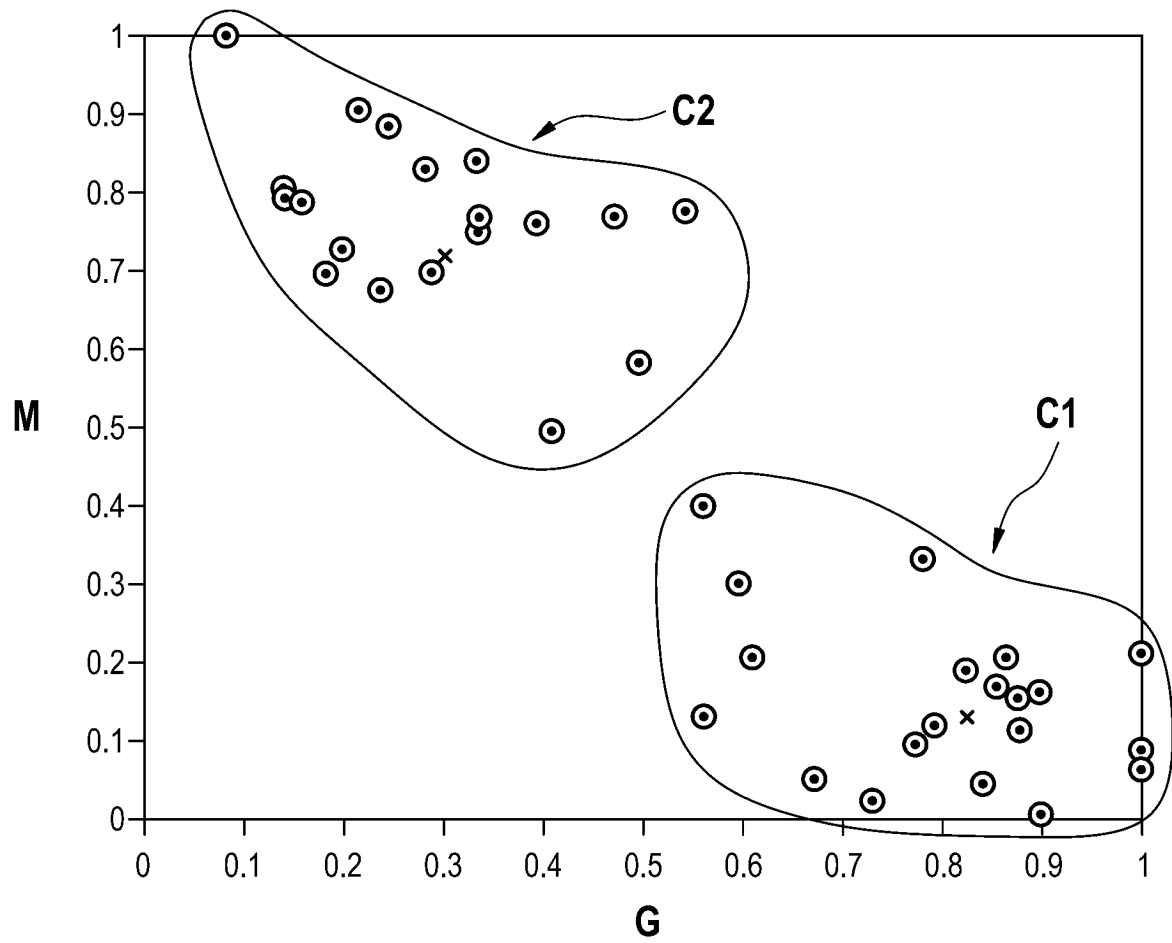


FIG. 5