

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
01. Mai 2025 (01.05.2025)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2025/087751 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

H01M 10/48 (2006.01) *G01R 31/396* (2019.01)
B60L 3/00 (2019.01) *B60L 58/16* (2019.01)
B60L 3/04 (2006.01) *G01R 31/367* (2019.01)
B60L 3/12 (2006.01) *G01R 31/392* (2019.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2024/079116

(22) Internationales Anmeldedatum:
16. Oktober 2024 (16.10.2024)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2023 004 321.4
27. Oktober 2023 (27.10.2023) DE

(71) Anmelder: **MERCEDES-BENZ GROUP AG** [DE/DE];
Mercedesstraße 120, 70372 Stuttgart (DE).

(72) Erfinder: **AVDYLI, Arber**; Friedrichstrasse 9, 73262 Reichenbach an der Fils (DE). **VON KESSEL, Otto**; Bismarckstrasse 56, 70197 Stuttgart (DE).

(74) Anwalt: **WELLER, Jürgen**; Mercedes-Benz Intellectual GmbH & Co. KG 063- H512, 70546 Stuttgart (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT,

(54) Title: DEVICE FOR DETERMINING THE INNER PRESSURE IN A LITHIUM-ION BATTERY

(54) Bezeichnung: VORRICHTUNG ZUR ERMITTLUNG DES INNENDRUCKS IN EINER LITHIUM-IONEN-BATTERIE

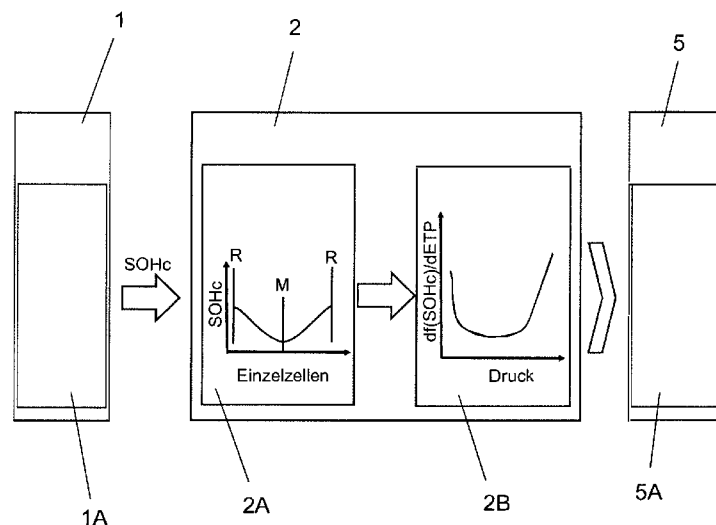


Fig. 1

2A Single cells
2B Pressure

(57) Abstract: The invention relates to a method for determining the inner pressure in a lithium-ion battery (3) made up of one or more battery modules (4) each with a plurality of braced-together single battery cells, which is used in a vehicle as a traction battery for an at least partially electric drive. The method according to the invention is characterised in that in driving mode, a control device software of the vehicle is used to estimate a current state of health (SOHc) of the battery (3), after which the inner pressure of the battery module or the single battery cells installed therein is determined based on a stored characteristic curve or a stored characteristic map of the specific pressure-dependent state of health of the type of battery module (4) being monitored and the single battery cells installed therein.



QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST,
SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ,
VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

- (84) Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, ME, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

- mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)
- vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eingehen (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe h)

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Ermittlung des Innendrucks in einer Lithium-Ionen-Batterie (3) aus einem oder mehreren Batteriemodulen (4) mit jeweils mehreren miteinander verspannten Batterieeinzelzellen, welche in einem Fahrzeug als Traktionsbatterie für ein zumindest teilweise elektrischen Antrieb eingesetzt wird. Das erfindungsgemäße Verfahren ist dadurch gekennzeichnet, dass im Fahrbetrieb über eine Steuergerätesoftware des Fahrzeugs ein aktueller Gesundheitszustand (SOHc) der Batterie (3) abgeschätzt wird, wonach anhand einer hinterlegten Kennlinie oder einer hinterlegten Kennfeldes des spezifischen druckabhängigen Gesundheitszustandes des jeweils eingesetzten Typs des überwachten Batteriemoduls (4) und der darin verbauten Batterieeinzelzellen dessen/deren Innendruck ermittelt wird.

Vorrichtung zur Ermittlung des Innendrucks in einer Lithium-Ionen-Batterie

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Ermittlung des Innendrucks in einer Lithium-Ionen-Batterie aus mehreren Batteriemodulen mit jeweils mehreren miteinander verspannten Batterieeinzelzellen.

Lithium-Ionen-Batterien unterliegen einer Volumenänderung sowohl beim Laden bzw. Entladen als auch über die Alterung ihrer Batterieeinzelzellen. Durch die Alterung kommt es im Wesentlichen ein Zelldickenwachstum mit zunehmendem Alter. Dieses Zelldickenwachstum ergibt sich aus chemischen Reaktionen der aktiven Elektrodenmaterialien, welche prinzipiell auch bereits beim Laden und Entladen auftreten, insbesondere aber über die Alterung irreversibel zunehmen. Innerhalb der Lithium-Ionen-Batterie oder eines Batteriemoduls, wovon die Lithium-Ionen-Batterie mehrere umfassen kann, sind die Batterieeinzelzellen im Allgemeinen mechanisch verspannt, also beispielsweise bei prismatischen Zellen zu einem Zellstapel aufgestapelt und zwischen Endplatten bzw. Druckbrillen verspannt. Durch diese mechanische Verspannung kommt es zu einem Druckanstieg in der Batterie, wenn die Schichtaufbauten der einzelnen Batterieeinzelzellen expandieren und die Batterieeinzelzellen ihr Volumen vergrößern.

Dabei ist es so, dass die ladezustandsabhängige Volumenänderung, welche auch als „Atmen“ der Zellen bezeichnet wird, sehr gut vermessen werden kann. Diese kann somit einfach in die mechanische Auslegung der Batterie- bzw. Modulgehäuse mit einbezogen werden. Das alterungsbedingte Zelldickenwachstum ist dahingegen sehr schwierig zu handhaben. Einerseits ist es schwierig und teuer zu testen, da irreversibles Zelldickenwachstum ein Alterungsphänomen ist und verschiedene Alterungsszenarien auftreten, welche so unterschiedlich sein können, dass vorab niemals alle zuverlässig und vollständig getestet werden können. Häufig bleiben die Szenarien und ihre Auswirkung auf das Zelldickenwachstum unbekannt. In der heutigen Automobilindustrie übliche

schnelle Entwicklungszyklen der Lithium-Ionen-Batterien mit variierenden Zellaufbauten resultieren in einem sich stetig ändernden inneren Aufbau, also in der chemischen Zusammensetzung und/oder dem mechanischen Schichtaufbau der Batterieeinzelzellen. Genau dieser hat jedoch einen entscheidenden Einfluss auf das alterungsbedingte Zelldickenwachstum. Ferner ist es so, dass die Herstellungsprozesse und Materialien sich von Hersteller zu Hersteller stark unterscheiden, sodass zusätzlich zu unvermeidlichen Produktionstoleranzen trotz desselben zugrunde liegenden Aufbaus eine hohe Herstellervarianz auftritt. Die Unterschiede können sich im schlimmsten Fall mit den Produktionstoleranzen aufschaukeln. Ein weiterer Grund liegt darin, dass mit neueren Entwicklungen zunehmend stark expandierende Aktivmaterialien zum Einsatz kommen, wie beispielsweise Siliziumverbindungen in der Anode, welche an der aktiven Umsetzung beteiligt sind. Diese verstärken etwaige Auslegungsungenauigkeiten in kritische Druck- und Expansionsbereiche, welche dementsprechend schwieriger vorherzusagen und konstruktiv zu beherrschen sind. Alles in allem ist es so, dass von einem unkontrollierten alterungsbedingten Zellwachstum, welches die erwarteten Größenordnungen übersteigt, sicherheitskritische Auswirkungen ausgehen können. Ein solches kann zu einer mechanischen Deformierung des Batterie- und/oder Modulgehäuses führen, bis hin zu einem Riss, einem Kurzschluss oder dergleichen. Im schlimmsten Fall kann dies gravierende Auswirkungen bezüglich der Sicherheit haben, z.B. kann es im Extremfall zu einem Brand der Batterie kommen.

Es wäre daher sehr wünschenswert über den Innendruck der Batterie eine entsprechende Information vorliegen zu haben, um die Batterie rechtzeitig vor Erreichen eines sicherheitskritischen Maximaldrucks abschalten zu können. Um solche Informationen zu generieren können dabei entsprechende Sensoren verbaut werden wie beispielsweise Drucksensoren oder Sensoren zur Distanzmessung/Längenmessung des Batteriemoduls, an diesem verbaute Stromschienen oder dergleichen. Dies ist aufwändig, bedarf eines gewissen Bauraums bezüglich der Anordnung der Sensoren und der Leitungsführung. Darüber hinaus besteht bei einer großen Anzahl zusätzlicher Sensoren immer auch die Gefahr eines zusätzlichen Ausfallrisikos bzw. die Gefahr, dass durch falsch positive Messwerte der Sensoren Szenarien ausgelöst werden, welche eigentlich unerwünscht sind.

Aus der Literatur, beispielsweise aus dem Artikel „Effects of module stiffness and initial compression on lithium-ion cell aging“, T. Deich et al., Journal of Power Sources 506

(2021) 230163 sind Studien zum druck- bzw. kraftabhängigen Alterungsverhalten von Lithium-Ionen-Zellen grundlegend bekannt.

Die Aufgabe der hier vorliegenden Erfindung besteht nun darin ein Verfahren zur Ermittlung des Innendrucks in einer Batterie anzugeben, welches einfach, kostengünstig und mit geringer Fehleranfälligkeit zuverlässige Vorhersagen über den Innendruck ermöglicht.

Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe durch ein Verfahren mit den Merkmalen im Anspruch 1, und hier insbesondere im kennzeichnenden Teil des Anspruchs 1, gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen ergeben sich aus den hiervon abhängigen Unteransprüchen.

Das erfindungsgemäße Verfahren zur Ermittlung des Innendrucks einer Lithium-Ionen-Batterie nutzt gemäß der Erfindung eine Steuergerätesoftware des Fahrzeugs, welche im Fahrbetrieb einen aktuellen Gesundheitszustand des Batteriemoduls abschätzt. Anhand einer hinterlegten Kennlinie oder eines hinterlegten Kennfeldes des spezifischen druckabhängigen Gesundheitszustandes des jeweiligen eingesetzten Typs des überwachten Batteriemoduls und der darin verbauten Batterieeinzelzellen wird dann dessen Innendruck ermittelt.

Erfindungsgemäß kann so durch die Parametrierung des druckabhängigen Alterungsverhaltens innerhalb der Fahrzeugsoftware die Bestimmung des Gesundheitszustandes und der Schädigungsrate (SOH/State of Health und Dc/Damage Rate) im Fahrbetrieb kann so auf den anliegenden Batterieinnendruck zurückgeschlossen werden. Um dies zuverlässig zu erreichen ist das Einbeziehen der modulspezifischen Kapazitätalterung entscheidend, da unterschiedliche Module unterschiedlicher Hersteller und unterschiedlicher verbauter Materialien beim selben Szenario, also denselben Temperatureinwirkungen, Ladezustandsänderungen und dergleichen, ein unterschiedliches Alterungsverhalten und damit letztlich ein unterschiedliches Zelldickenwachstum aufweisen. Das erfindungsgemäße Verfahren nutzt hier die hinterlegte Kennlinie bzw. das hinterlegte Kennfeld eben dieses spezifischen druckabhängigen Gesundheitszustandes des jeweils eingesetzten Typs des Batteriemoduls bzw. seiner Batterieeinzelzellen. Diese Daten werden für jeden Typ einmalig experimentell ermittelt und können dann entsprechend in der Kennlinie oder dem

Kennfeld hinterlegt sein, um anhand des aktuellen über die Fahrzeugsoftware ermittelten Alterungszustands auf den Batterieinnendruck zurückschließen zu können.

Gemäß einer sehr vorteilhaften Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens kann es dabei vorgesehen sein, dass aus der Kennlinie oder dem Kennfeld eine einzelzellbezogene Kennlinie oder ein einzelzellbezogenes Kennfeld abgeleitet wird, wobei die Position der jeweiligen Batterieeinzelzelle in dem Batteriemodul berücksichtigt wird. Je nach Anordnung der Batterieeinzelzelle in dem Batteriemodul, also beispielsweise in einem Stapel von prismatischen Batterieeinzelzellen eher am Rande des Moduls oder in dessen Mitte, wirken unterschiedliche Kräfte auf die Batterieeinzelzellen, da diejenigen im Randbereich eher ausweichen können, als diejenigen die in der Mitte angeordnet sind. Damit wirkt auf diese typischerweise die höchste Kraft, womit hier der höchste Druck auftritt.

Gemäß einer weiteren sehr vorteilhaften Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens kann es dann ferner vorgesehen sein, dass die Batterieeinzelzelle mit dem schlechtesten Gesundheitszustand zur Abschätzung des Maximaldrucks genutzt wird. Dies kann beispielsweise eine eher in der Mitte des Moduls angeordnete Batterieeinzelzelle sein. Wird der Gesundheitszustand auf Basis dieser „worst case“ Zelle abgeschätzt, kann eine entsprechende hohe Sicherheit gewährleistet werden, da eine aus dem Gesundheitszustand und dem hieraus ermittelten Maximaldruck resultierende Aktion wie beispielsweise ein sicherheitsbedingtes Abschalten der gesamten Lithium-Ionen-Batterie dann immer auf Basis des „schwächsten Glieds in der Kette“ erfolgt. Dies gewährleistet die höchste Sicherheit.

Das gesamte Verfahren ist dabei einfach, effizient und zuverlässig und benötigt keine störanfällige Messtechnik und Sensorik zur Erfassung des Drucks oder einer mechanischen Längenänderung. Die Sicherheit des Fahrzeugs und damit die Sicherheit für Leib und Leben der Fahrzeugpassagiere wird somit erhöht, da im Falle des Erreichens eines kritischen Drucks die Lithium-Ionen-Batterie einfach abgeschaltet werden kann. Ferner erlaubt das Verfahren eine bessere Prognose für die zu erwartende zukünftige Entwicklung des Gesundheitszustands mit positiven Auswirkungen auf die zukünftige alterungsbedingte Reichweitenabschätzung und den Fahrzeugrestwert, da hier durch die für das Fahrzeug nutzende Person mehr oder weniger unauffällige Anpassungen im Batteriemanagement eine Optimierung der Batterielebensdauer erzielt werden kann.

Gemäß einer sehr günstigen Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens ist es dabei vorgesehen, dass in die Bestimmung des Gesundheitszustands zumindest die Kapazitätsentwicklung und/oder die Entwicklung des Innenwiderstands des Batteriemoduls und/oder der Batterieeinzelzellen des Batteriemoduls einfließt. Je nach elektrischer Messtechnik, welche in dem Modul oder im Bereich der Einzelzellen des Moduls vorliegt, lässt sich idealerweise die Kapazitätsentwicklung des Gesamtmoduls oder einzelner Batterieeinzelzellen und/oder die Entwicklung des Innenwiderstands als typische Kenngrößen für den Gesundheitszustand und die Schädigungsrate entsprechend berücksichtigen.

Eine weitere sehr vorteilhafte Ausgestaltung kann es außerdem vorsehen, dass die Bestimmung des Gesundheitszustandes im Fahrbetrieb anhand vorgegebener und/oder erlernter Schätzalgorithmen erfolgt. Solche Schätzalgorithmen, welche mit einem Basisalgorithmus starten, sind zur Abschätzung des Gesundheitszustandes basierend auf entsprechenden Modellen geeignet. Sie können neben der reinen Vorgabe auch über maschinelles Lernen oder künstliche Intelligenz weitergebildet werden. Hierdurch lässt sich eine Verbesserung der Anpassung des jeweils verbauten Materials in dem jeweiligen Fahrzeug spezifisch weiterbilden. Durch die immer mehr an die spezifischen Batterie, welche von Innen überwacht wird, erfolgende Anpassung werden somit mit zunehmender Betriebsdauer immer bessere Werte geliefert. Damit lässt sich insbesondere der Aufwand beim Ermitteln der Vorgabewerte reduzieren.

Gemäß einer sehr vorteilhaften Weiterbildung dieser Variante des erfindungsgemäßen Verfahrens kann es ferner vorgesehen sein, dass die Schätzalgorithmen basierend auf dem ermittelten Innendruck angepasst werden. Die Schätzalgorithmen lassen sich so basierend auf dem ermittelten Innendruck als neuen Anfangsdruck entsprechend anpassen. Auch hier kann künstliche Intelligenz oder insbesondere maschinelles Lernen dabei helfen die Ergebnisse weiter zu verbessern.

Wie bereits oben erwähnt lässt sich nun gemäß einer sehr günstigen Ausgestaltung des Verfahrens gemäß der Erfindung zumindest eine Warnmeldung, eine Anpassung im Betriebsmanagement und/oder im schlimmsten Fall ein Abschalten des betroffenen Batteriemoduls umsetzen, sobald der über das erfindungsgemäße Verfahren ermittelte Innendruck zumindest einen vorgegebenen Grenzdruck übersteigt. Dieser vorgegebene Grenzdruck kann der im oben beschriebenen Sinn als Maximaldruck bezeichnete Druck

sein. Es ist der Druck, für den aufgrund des mechanischen Aufbaus der Lithium-Ionen-Batterie in jedem Fall ein sicherer Betrieb gewährleistet werden kann. Übersteigt der ermittelte Innendruck diesen vorgegebenen Grenzdruck, so muss mit einer potentiell sicherheitskritischen Situation gerechnet werden, welche zumindest eine Warnmeldung, eine Anpassung im Betriebsmanagement und/oder eine Abschaltung des betroffenen Batteriemoduls zur Folge hat. Prinzipiell können dabei mehrere Grenzdrücke vorgesehen sein, um so beispielsweise zuerst bei einem unteren Grenzdruck eine Anpassung im Betriebsmanagement vorzunehmen, bei einem mittleren Grenzdruck eine Warnung auszugeben und letztlich bei einem oberen/maximalen Grenzdruck die Notabschaltung des betroffenen Batteriemoduls vorzunehmen. Diese Eskalationsreihenfolge hat dabei den Vorteil, dass eine das Fahrzeug nutzende Person sich noch bis zu einem gewissen Grad hierauf vorbereiten kann.

Wie eingangs bereits erwähnt kann es gemäß einer vorteilhaften Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens vorgesehen sein, dass die Kennlinie oder das Kennfeld für jeden Typ eines Batteriemoduls und der darin verbauten Batterieeinzelzellen vorab anhand der Vermessung der Alterung eines oder mehrerer Batteriemodule des jeweiligen Typs modulspezifisch ermittelt und zur Hinterlegung in dem jeweiligen Steuergerät bereitgestellt wird. Neben der Vermessung der für den Einbau vorgesehen Modultypen vor der Montage derartiger Module in einem Fahrzeug, können diese also typspezifisch vermessen werden. Es können aber auch neuartige Module fortlaufend vermessen werden. Beispielsweise über eine Cloud kann die entsprechende Kennlinie oder das Kennfeld allgemein bereitgestellt werden, um so beispielsweise beim Wechsel einer Batterie die entsprechenden Daten für das jeweils neu eingebaute Austauschbatteriemodul bzw. die neu eingebaute Austauschbatterie einfach und effizient zur Verfügung zu haben. Ein entsprechendes Update kann beispielsweise zusammen mit dem Austausch der Batterie in der Werkstatt erfolgen, lässt sich jedoch auch Over the Air realisieren. Dies bietet die Möglichkeit die Kennfelder nachzujustieren, wenn zu bereits seit längerem in Betrieb befindlichen verbauten Batteriemodulen neue Erkenntnisse zur modulspezifischen Alterung erkannt worden sind, um so auch bei bereits bestehenden Systemen über ein Softwareupdate eine noch weitere Verbesserung zu gewährleisten. Eine weitere außerordentlich günstige Variante des erfindungsgemäßen Verfahrens kann es nun ferner vorsehen, dass basierend auf dem aktuellen Gesundheitszustand eine Restlebensdauer der Batterie ermittelt wird. Eine vorteilhafte Weiterbildung hiervon kann es dann ferner vorsehen, dass diese Restlebensdauer der Batterie gespeichert und/oder

fortgeschrieben oder auch für einen Nutzer visualisiert wird. Hierdurch ist es möglich beispielsweise bei einem Werkstattaufenthalt einfach und effizient die zu erwartende Restlebensdauer der Batterie auszulesen. Darüber hinaus kann im Zuge einer möglichst hohen Transparenz diese auch für den Nutzer des Fahrzeugs visualisiert werden, entweder in dem Fahrzeug direkt oder beispielsweise in einer mit dem Fahrzeug verbundenen Applikation auf einem Computer oder einem mobilen Endgerät.

Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen des erfindungsgemäßen Verfahrens ergeben sich auch aus dem Ausführungsbeispiel, welches nachfolgend anhand der Figuren näher dargestellt ist.

In Figur 1 ist ein schematisches Schaubild zur Erläuterung des erfindungsgemäßen Verfahrens zu erkennen. Der Block ganz links umfasst die Messung von Batteriewerten im Fahrzeug und ist mit 1 bezeichnet. Die gemessenen Werte sind dabei Werte, welche zur Steuerung der Batterie 3 (vgl. Figur 2), also für das sogenannte Batteriemanagement ohnehin erforderlich sind. In einer exemplarisch angedeuteten und mit 1A bezeichneten Steuergerätesoftware erfolgt dann die Bestimmung des aktuellen Gesundheitszustandes (SOHc) der in dem Fahrzeug als Traktionsbatterie verbauten Lithium-Ionen-Batterie 3. Dieser über Schätzalgorithmen abgeschätzte Gesundheitszustand SOHc wird dann wie es mit dem Pfeil angedeutet ist an ein in seiner Gesamtheit mit 2 bezeichnetes Batteriesteuergerät übergeben. In einem ersten Steuerungsmodul 2A dieses Batteriesteuergerät 2 werden dann die aktuellen Gesundheitszustände SOHc in den Einzelzellen bezüglich ihrer Anordnung in dem jeweiligen Batteriemodul ermittelt. Dieses hier durch die Grafik der aktuellen Gesundheitszustände SOHc über der örtlichen Position der Einzelzellen in dem Batteriemodul angedeutet, wobei hier die x-Achse des Diagramms die Länge des Moduls von einer ersten Randzelle R im Bereich der y-Achse, über die Modulmitte M bis hin zu einer gegenüberliegenden Randzelle R exemplarisch gezeigt.

Prinzipiell ist es dabei so, dass der modul- bzw. zellspezifische druckabhängige Gesundheitszustand SOH vorab für jeden Typ von Batterie, Einzelzelle oder Zellmodul experimentell charakterisiert werden kann. Hierzu können beispielsweise jeweils Versuche zum Alterungsverhalten bei verschiedenen Drücken durchgeführt werden. Das Alterungsverhalten bestimmt sich dabei insbesondere anhand einer Entwicklung der

Kapazität und/oder des Innenwiderstands. Diese Daten können dann im weiteren Verlauf des Verfahrens als Kennlinie oder Kennfeld in dem Fahrzeug hinterlegt werden.

Zusätzlich ist es so, dass sich in Folge der Stapelung der Batterieeinzelzellen innerhalb des jeweiligen Zellmoduls verschiedene Druckverteilungen ergeben, wobei typischerweise diejenigen Batterieeinzelzellen am Rand, die an einer Endplatte angeordnet sind, in der Regel weichen Randbedingungen unterliegen als diejenigen Batterieeinzelzellen in der Modulmitte. Hier gelten steifere Randbedingungen. Somit baut sich typischerweise in der Mitte M des jeweiligen Batteriemoduls aus den Batterieeinzelzelle der größte Innendruck auf, während sich dieser nach außen zum Rand R hin entsprechend abbaut, da die Endplatten eine gewisse Verformung zulassen. Infolge der druckabhängigen Alterung entsteht damit eine inhomogene Druckverteilung.

In der Darstellung der Figur 2 ist diese am Beispiel einer Lithium-Ionen-Batterie 3 aus 10 Batteriemodulen 4.1 - 4.10 exemplarisch dargestellt.

Im Modul 2B des Batteriesteuergeräts 2 erfolgt dann letztlich die Bedatung in dem eine örtliche Schädigungsrate über den Differenzquotienten $df(SOHC) / dETP$ bestimmt wird, wobei ETP den Energiedurchsatz (energy throughput) beschreibt. Das Batteriesteuergerät 2 gibt dann die Zielinformation bzw. die Daten zur Generierung der Zielinformation an den ganz rechts dargestellten mit 5 bezeichneten Block weiter. Hier erfolgt dann letztlich die Bestimmung des Drucks anhand der abgeschätzten Alterung bzw. des abgeschätzten Gesundheitszustandes jeder der Batterieeinzelzellen.

Durch die Bestimmung des Gesundheitszustands SOHC im Fahrbetrieb mittels geeigneter Schätzalgorithmen kann also anhand der oben erwähnten über die experimentelle Charakterisierung erfassten Kennlinie auf denjenigen Druck zurückgeschlossen werden, der zwangsläufig auf die jeweilige Batterieeinzelzelle gewirkt haben muss. Dies hat nun zwei entscheidende Vorteile:

Erstens sind bei bekanntem Druck bessere Zukunftsprognosen für die weitere Entwicklung des Gesundheitszustands SOH des Lithium-Ionen Batterie 3 möglich, da der Druck einen großen Einfluss auf den Gesundheitszustand SOH hat. Somit lassen sich also verbesserte Aussagen zum zukünftigen Rest-Gesundheitszustand und damit der Restreichweite bzw. dem Restgebrauchswert der Lithium-Ionen-Batterie 3 treffen.

Zweitens erlaubt der so ermittelte Druck eine Strategie um auf erhöhte Drücke reagieren zu können und sicherheitskritische Druckszenarien zu vermeiden, indem, insbesondere beim Erreichen eines maximalen Grenzdrucks, die Lithium-Ionen-Batterie, oder wenn dies vom Aufbau möglich ist, das betroffene Batteriemodul 4 entsprechend abgeschaltet werden kann.

Das Verfahren benötigt letztlich nur zwei Dinge. Das produktspezifische druckabhängige Alterungsverhalten, welches experimentell bestimmt werden muss, und welches als Kennlinie/Kennfeld in dem Fahrzeugsteuergerät hinterlegt werden kann. Zweitens muss auf dem Batteriesteuergerät 2 eine Abschätzung des Gesundheitszustands SOH implementiert sein, die den aktuellen Gesundheitszustand SOHc entsprechend mit der Kennlinie/dem Kennfeld abgleicht, um so einen anliegenden Druck zu bestimmen.

Das Vorgehen kann dabei im Wesentlichen anhand der nachfolgenden vier Schritte umgesetzt werden:

Zuerst werden alle Einzelkapazitäten entsprechend bestimmt, um hieraus aktuelle Gesundheitszustände SOHc für jede der Batterie Einzelzellen entsprechend zu ermitteln.

Im zweiten Schritt erfolgt dann eine Sortierung nach örtlicher Position der Batterieeinzelzellen innerhalb des jeweiligen Moduls 4, sodass eine Funktion des aktuellen Gesundheitszustandes $f(\text{SOHc})$ ermittelt werden kann. Diese besteht quasi aus einer Aneinanderreihung der aktuellen Gesundheitszustände SOHc_i der einzelnen Batterieeinzelzellen.

$$f(\text{SOHc})=[\text{SOHc}_i, \text{SOHc}_{i+1}, \text{SOHc}_{i+2}, \dots, \text{SOHc}_n]$$

Im dritten Schritt wird dann die örtliche Schädigungsrate über den oben bereits angesprochenen Differenzenquotient $df(\text{SOHc})/d\text{ETP}$ bestimmt.

Im vierten Schritt erfolgt dann eine Einordnung der Schädigungsratenverteilung in das Kennfeld, um hieraus dann den entsprechenden Druck als gewünschte Zielinformation zu bestimmen.

Mercedes-Benz Group AG

Patentansprüche

1. Verfahren zur Ermittlung des Innendrucks in einer Lithium-Ionen-Batterie (3) aus einem oder mehreren Batteriemodulen (4) mit jeweils mehreren miteinander verspannten Batterieeinzelzellen, welche in einem Fahrzeug als Traktionsbatterie für ein zumindest teilweise elektrischen Antrieb eingesetzt wird, dadurch gekennzeichnet, dass
im Fahrbetrieb über eine Steuergerätesoftware des Fahrzeugs ein aktueller Gesundheitszustand (SOH_c) der Batterie (3) abgeschätzt wird, wonach anhand einer hinterlegten Kennlinie oder einer hinterlegten Kennfeldes des spezifischen druckabhängigen Gesundheitszustandes des jeweils eingesetzten Typs des überwachten Batteriemoduls (4) und der darin verbauten Batterieeinzelzellen dessen/deren Innendruck ermittelt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass
aus der Kennlinie oder dem Kennfeld eine einzelzellbezogene Kennlinie oder ein einzelzellbezogenes Kennfeld abgeleitet wird, wobei die Position der jeweiligen Batterieeinzelzelle in dem Batteriemodul berücksichtigt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass
die Batterieeinzelzelle mit dem schlechtesten Gesundheitszustand (SOH_c) zur Abschätzung des aufgetretenen Maximaldrucks genutzt wird.

4. Verfahren nach Anspruch 1, 2 oder 3,
dadurch gekennzeichnet, dass
in die Bestimmung des Gesundheitszustandes (SOHc) im Fahrbetrieb zumindest die Kapazitätsentwicklung und/oder die Entwicklung des Innenwiderstands des Batteriemoduls und/oder der Batterieeinzelzellen des Batteriemoduls einfließt.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4,
dadurch gekennzeichnet, dass
die Bestimmung des Gesundheitszustandes im Fahrbetrieb anhand vorgegebener und/oder erlernter Schätzalgorithmen erfolgt.
6. Verfahren nach Anspruch 5,
dadurch gekennzeichnet, dass
die Schätzalgorithmen basierend auf einem Startalgorithmus mittels maschinellem Lernen oder künstlicher Intelligenz typspezifisch angepasst werden.
7. Verfahren nach Anspruch 5 oder 6,
dadurch gekennzeichnet, dass
die Schätzalgorithmen basierend auf dem ermittelten Innendruck angepasst werden.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7,
dadurch gekennzeichnet, dass
sobald der ermittelte Innendruck zumindest einen vorgegebenen Grenzdruck übersteigt eine Warnmeldung, eine Anpassung im Betriebsmanagement und/oder eine Abschaltung des betroffenen Batteriemoduls (4) ausgelöst wird.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8,
dadurch gekennzeichnet, dass
die Kennlinie oder das Kennfeld für jeden Typ einer Batterie (3) eines Batteriemoduls (4) und seiner darin verbauten Batterieeinzelzellen vorab anhand der Vermessung der Alterung eines oder mehrerer derartiger Batteriemodule (4) modulspezifisch ermittelt und zur Hinterlegung in dem jeweiligen Steuergerät bereitgestellt wird.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9,
dadurch gekennzeichnet, dass
basierend auf dem aktuell abgeschätzten Gesundheitszustand (SOHc) eine
Restlebensdauer der Batterie (3) ermittelt wird.
11. Verfahren nach Anspruch 10,
dadurch gekennzeichnet, dass
die ermittelte Restlebensdauer in einem Speichermedium entsprechend gespeichert
und fortgeschrieben und/oder in einem Anzeigegerät visualisiert wird.

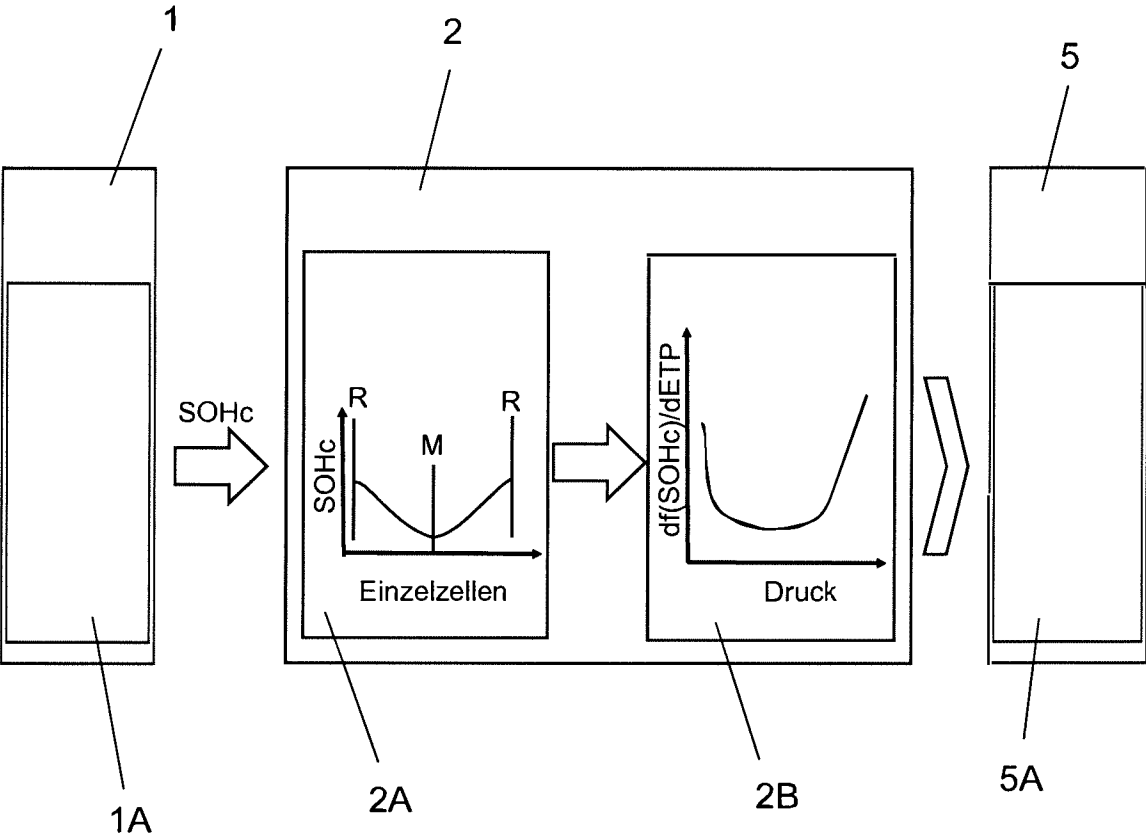


Fig. 1

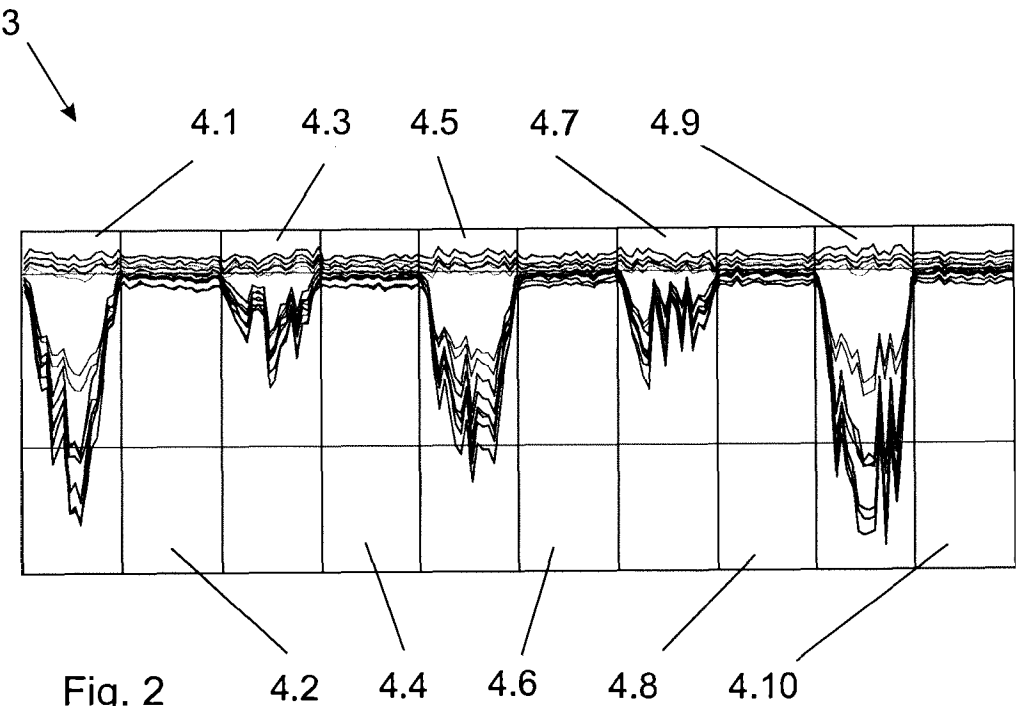


Fig. 2

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2024/079116

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01M 10/48(2006.01)i; **B60L 3/00**(2019.01)i; **B60L 3/04**(2006.01)i; **B60L 3/12**(2006.01)i; **G01R 31/396**(2019.01)i;
B60L 58/16(2019.01)i; **G01R 31/367**(2019.01)i; **G01R 31/392**(2019.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

B60L; G01R; H02M; H01M

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	DE 102012209271 A1 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]; SAMSUNG SDI CO [KR]) 05 December 2013 (2013-12-05)	1-3,8,9
Y	paragraphs [0003], [0008] - [0016]	4-7, 10, 11
Y	DE 102019111979 A1 (TWAICE TECH GMBH [DE]) 12 November 2020 (2020-11-12) paragraphs [0006], [0015], [0016], [0020], [0068] figure 4	4-7, 10, 11

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date
“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

20 March 2025

Date of mailing of the international search report

07 April 2025

Name and mailing address of the ISA/EP

**European Patent Office
p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk
Netherlands (Kingdom of the)**

Telephone No. (+31-70)340-2040

Facsimile No. (+31-70)340-3016

Authorized officer

Zimmermann, Katrin

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/EP2024/079116

Patent document cited in search report				Publication date (day/month/year)		Patent family member(s)		Publication date (day/month/year)	
DE	102012209271	A1	05 December 2013	DE	102012209271	A1	05 December 2013		
				US	2013323554	A1	05 December 2013		
DE	102019111979	A1	12 November 2020	CN	114072684	A	18 February 2022		
				DE	102019111979	A1	12 November 2020		
				EP	3966579	A1	16 March 2022		
				US	2022239122	A1	28 July 2022		
				WO	2020224724	A1	12 November 2020		

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES		
INV.	H01M10/48 B60L3/00 B60L3/04 B60L3/12 G01R31/396	
	B60L58/16 G01R31/367 G01R31/392	
ADD.		
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC		
B. RECHERCHIERTE GEBIETE		
Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)		
B60L G01R H02M H01M		
Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen		
Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)		
EPO-Internal		
C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	DE 10 2012 209271 A1 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]; SAMSUNG SDI CO [KR])	1-3,8,9
Y	5. Dezember 2013 (2013-12-05) Absätze [0003], [0008] - [0016]	4-7,10,11
Y	----- DE 10 2019 111979 A1 (TWAICE TECH GMBH [DE]) 12. November 2020 (2020-11-12) Absätze [0006], [0015], [0016], [0020], [0068] Abbildung 4 -----	4-7,10,11
☐ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen ☒ Siehe Anhang Patentfamilie		
* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen : "A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist "E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist "L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt) "O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht "P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist "T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist "X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung:: die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden "Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung:: die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist "&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist		
Datum des Abschlusses der internationalen Recherche		Absendedatum des internationalen Recherchenberichts
20. März 2025		07/04/2025
Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Bevollmächtigter Bediensteter Zimmermann, Katrin

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2024/079116

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 102012209271 A1	05-12-2013	DE 102012209271 A1	05-12-2013
		US 2013323554 A1	05-12-2013

DE 102019111979 A1	12-11-2020	CN 114072684 A	18-02-2022
		DE 102019111979 A1	12-11-2020
		EP 3966579 A1	16-03-2022
		US 2022239122 A1	28-07-2022
		WO 2020224724 A1	12-11-2020
