

(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
15. September 2022 (15.09.2022)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2022/189221 A2

(51) Internationale Patentklassifikation:
Nicht klassifiziert

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2022/055220

(22) Internationales Anmeldedatum:
02. März 2022 (02.03.2022)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2021 001 217.8
08. März 2021 (08.03.2021) DE

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

(72) Erfinder: **SCHMIDT, Jan Philipp**; Hohlweg 5/2, 73271 Holzmaden (DE).

(74) Anwalt: **WELLER, Jürgen** et al.; Daimler Brand & IP Management 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, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH,

(54) Title: METHOD FOR MONITORING A BATTERY SYSTEM

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUR ÜBERWACHUNG EINES BATTERIESYSTEMS

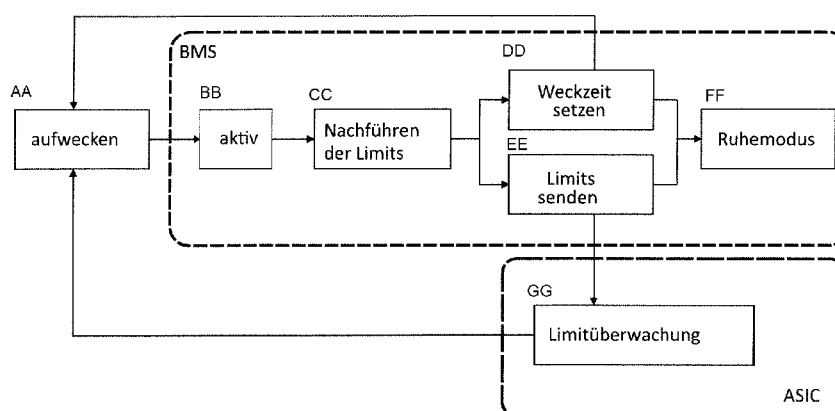


Fig. 1

AA Wake up
BB Active
CC Tracking the limits
DD Set wake-up time
EE Transmit limits
FF Idle mode
GG Limit monitoring
BMS Battery management system
ASIC Sensor arrangement

(57) **Abstract:** The invention relates to a method for monitoring a battery system comprising at least one battery module having a plurality of individual battery cells, a battery management system (BMS) and at least one sensor arrangement (ASIC), in which method the battery management system (BMS) is inactive in an idle mode of the battery system, the sensor arrangement (ASIC), in the idle mode, monitoring at least one measurement value and comparing it with predefined values, and in the event of a deviation of the measurement value from the predefined values the idle mode is ended and the battery management system (BMS) is activated by a wake-up signal. The method according to the invention is characterised in that the wake-up signal is additionally alternatively triggered

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



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, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, 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, 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).

Erklärungen gemäß Regel 4.17:

- hinsichtlich der Berechtigung des Anmelders, ein Patent zu beantragen und zu erhalten (Regel 4.17 Ziffer ii)

Veröffentlicht:

- ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe g)

by the expiration of a predefined wake-up time (ΔT_{wakeUp}), wherein, in the event of the wake-up signal being triggered by an expiration of the predefined wake-up time (ΔT_{wakeUp}), a new wake-up time (ΔT_{wakeUp}) as well as new predefined values (U_{lim} , T_{lim}) are determined and predefined before the battery management system (BMS) reverts to the idle mode, and, in the event that the wake-up signal is triggered by a deviation of the at least one measurement value from the at least one predefined value (U_{lim} , T_{lim}), an emergency mode is started.

(57) **Zusammenfassung:** Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Überwachen eines Batteriesystem mit wenigstens einem mehrere Batterieeinzelzellen aufweisenden Batteriemodul, mit einem Batteriemanagementsystem (BMS) und wenigstens einer Sensoranordnung (ASIC), wobei das Batteriemanagementsystem (BMS) in einem Ruhemodus des Batteriesystems nicht aktiv ist, wobei die Sensoranordnung (ASIC) im Ruhemodus wenigstens einen Messwert überwacht und mit Vorgabewerten vergleicht, wobei im Falle einer Abweichung des Messwerts von den Vorgabewerten der Ruhemodus beendet und das Batteriemanagementsystem (BMS) durch ein Aufwecksignal aktiviert wird. Das erfindungsgemäße Verfahren ist dadurch gekennzeichnet, dass das Aufwecksignal ergänzend alternativ durch den Ablauf einer vorgegebenen Weckzeit (ΔT_{wakeUp}) ausgelöst wird, wobei im Falle eines Auslösens des Aufwecksignals über einen Ablauf der vorgegebenen Weckzeit (ΔT_{wakeUp}) eine neue Weckzeit (ΔT_{wakeUp}) sowie neue Vorgabewerte (U_{lim} , T_{lim}) bestimmt und vorgegeben werden, bevor das Batteriemanagementsystem (BMS) erneut in den Ruhemodus wechselt, und wobei im Falle des Auslösens des Aufwecksignals über eine Abweichung des wenigstens einen Messwerts von dem wenigstens einen Vorgabewert (U_{lim} , T_{lim}) ein Notfallmodus gestartet wird.

Verfahren zur Überwachung eines Batteriesystems

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Überwachung eines Batteriesystems nach der im Oberbegriff von Anspruch 1 näher definierten Art.

Batteriesysteme mit wenigstens einem Batteriemodul, welches auf einer Mehrzahl von Batterieeinzelzellen basiert, sind soweit aus dem Stand der Technik bekannt. Derartige Batteriesysteme können stationär eingesetzt werden. Immer häufiger werden sie als Traktionsbatterien zum Antreiben eines zumindest teilweise elektrisch angetriebenen Fahrzeugs eingesetzt. Um eine hohe Leistungsdichte zu erzielen, wird in den Batteriesystemen häufig ein Aufbau der Batterieeinzelzellen in Lithium-Ionen-Technologie realisiert.

Diese Technologie erlaubt einerseits einen hohen Energieinhalt der Batterieeinzelzellen, andererseits ist es so, dass durch den hohen Energieinhalt verursacht im Falle eines Defekts das Gefahrenpotenzial relativ hoch ist. Eine der Gefahren, welche schlimmstenfalls zu einem Brand der Batterie führen kann, ist das sogenannte thermische Durchgehen (Thermal Runaway) der Batterie. Bei aktiver Batterie wird daher typischerweise über ein Batteriemanagementsystem eine Überwachung der Batterie, insbesondere der Temperatur, der Spannung und weiterer Größen, erfolgen. Ein thermisches Durchgehen lässt sich dann entsprechend früh erkennen und geeignete Reaktionen können eingeleitet werden, um einem ernsthaften Schaden oder einer ernsthaften Gefahr durch die Batterie aktiv entgegenzuwirken.

In der Praxis ist jedoch so, dass ein signifikanter Anteil von derartigen thermischen Vorfällen in Batterien nach dem Laden und während der inaktiven Phase der Batterie stattfindet. Das Batteriemanagementsystem ist dann typischerweise abgeschaltet oder

befindet sich in einem Ruhemodus, sodass das thermische Durchgehen nicht erkannt wird und dementsprechend keine Gegenmaßnahmen eingeleitet werden können.

Neuere Entwicklungen, wie sie beispielsweise durch die DE 10 2019 215 812 A1 bekannt sind, begegnen dieser Problematik dadurch, dass ergänzend zu dem Batteriemanagementsystem eine Sensoranordnung oder mehrere Sensoranordnungen zum Einsatz kommen. Solche Sensoranordnungen können bei weitaus geringerem Energiebedarf als dem des Batteriemanagementsystems Messwerte der Batterie erfassen und zumindest mit Vorgabewerten vergleichen. Kommt es hier zu kritischen Werten, wird dies entsprechend erkannt und über ein Aufwecksignal kann das Batteriemanagementsystem aufgeweckt werden, um dann die weitere Überwachung und gegebenenfalls das Einleiten von Gegenmaßnahmen zu initiieren. Die genannte Offenlegungsschrift beschreibt dabei weiter, dass die Sensoranordnung einen eigenen Speicher aufweist, um dem Batteriemanagementsystem, nachdem dieses aus dem Ruhemodus aufgeweckt worden ist, eine entsprechende Datenbasis zur Verfügung zu stellen, um möglichst schnell die Lage beurteilen zu können.

In der Praxis ist es so, dass derartige Sensoranordnungen mit der ihr zugeordneten Elektronik, welche typischerweise als anwendungsspezifische integrierte Schaltung (ASIC) ausgebildet ist, entsprechende Schwellenwerte zur Generierung eines Aufwachsignals vorgegeben werden können. Werden diese Schwellenwerte auf die allgemein üblichen Limits von beispielsweise 2 Volt je Zelle und/oder 80° C gesetzt, dann erfolgt das Aufwachen des Batteriemanagementsystems, für den Fall, dass ein tatsächliches thermisches Durchgehen vorliegt, außerordentlich spät. Da auch noch eine gewisse Zeit benötigt wird, um das Batteriemanagementsystem vollends „hochzufahren“, vergeht wertvolle Zeit, welche im Falle eines thermischen Durchgehens dazu führen kann, dass durch das Batteriemanagementsystem eingeleitete Gegenmaßnahmen häufig zu spät umgesetzt werden, um das thermische Durchgehen tatsächlich zu unterbinden.

Die Aufgabe der hier vorliegenden Erfindung besteht deshalb darin, ein verbessertes Verfahren zum Überwachen eines Batteriesystems mit einem Aufwecken des Batteriemanagementsystems zu schaffen, welches eine sehr hohe Sicherheit bei akzeptabler Energieeffizienz 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 zum Überwachen eines Batteriesystems mit wenigstens einem Batteriemodul mit mehreren Batterieeinzelzellen umfasst ein Batteriemanagementsystem und eine Sensoranordnung, welche typischerweise in Form von Sensoren und einer anwendungsspezifischen integrierten Schaltung ausgebildet ist. Im realen Aufbau sind dabei mehrere dieser Sensoranordnungen vorgesehen, welche jeweils eine oder einige der Batterieeinzelzellen entsprechend überwachen. Wird das Batteriesystem nicht genutzt, beispielsweise weil ein Fahrzeug, in welchem das Batteriesystem gemäß einer bevorzugten Anwendung als Traktionsbatterie eingesetzt wird, nicht bewegt wird, dann geht das Batteriemanagementsystem zum Einsparen von Energie in einen Ruhemodus, in welchem es typischerweise keine eigene elektrische Energie benötigt. Die wenigstens eine Sensoranordnung erfasst währenddessen weiterhin wenigstens einen Messwert zur Überwachung des Batteriesystems. Diese Messwerte können insbesondere Spannungen und Temperaturen umfassen. Die erfassten Messwerte werden mit Vorgabewerten verglichen und im Falle einer Abweichung wird ein Aufwecksignal für das Batteriemanagementsystem generiert und dieses wird wieder aufgeweckt bzw. aktiviert. All dies ist soweit prinzipiell aus dem Stand der Technik bekannt.

Um nun zu erreichen, dass das Aufwecken möglichst rechtzeitig erfolgt, um gegebenenfalls noch eingreifen zu können, sodass ein thermisches Durchgehen des Batteriesystems verhindert werden kann, ist es erfindungsgemäß nun vorgesehen, dass ergänzend zu einem Aufwecksignal aufgrund einer Verletzung eines Vorgabewerts durch den wenigstens einen Messwert das Aufwecksignal auch durch den Ablauf einer vorgegebenen Weckzeit ausgelöst wird, wobei dann, für den Fall des Auslösens des Aufwecksignals durch einen Ablauf der vorgegebenen Weckzeit, eine neue Weckzeit sowie neue Vorgabewerte durch das Batteriemanagementsystem bestimmt und vorgegeben werden, bevor das Batteriemanagementsystem erneut in den Ruhemodus wechselt. Wird das Aufwecksignal dagegen durch eine Verletzung des Vorgabewerts durch den erfassten Messwert ausgelöst, wird das Batteriemanagementsystem aufgeweckt und ein Notfallmodus gestartet.

Das erfindungsgemäße Verfahren erlaubt es also, das Batteriemanagementsystem nicht nur im Notfall aufzuwecken, sondern auch in Abhängigkeit einer zu bestimmenden Weckzeit. Dadurch ist es möglich, die Vorgabewerte als Schwellenwerte zur Überwachung des Batteriesystems möglichst eng nachzuführen, um für den Fall eines auftretenden Notfalls ein möglichst frühes Aufwecken des Batteriemanagementsystems zu gewährleisten. Dieses kann dann im Notfallmodus den Notfall verifizieren und geeignete Maßnahmen einleiten, um so außerordentlich schnell und effizient auf einen potenziellen Notfall reagieren zu können, sodass ein thermisches Durchgehen des Batteriesystems in annähernd allen auftretenden Fällen noch rechtzeitig abgefangen werden kann.

Gemäß einer sehr günstigen Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens fließen in die Bestimmung der neuen Weckzeiten und/oder der neuen Vorgabewerte Gradienten des zeitlichen Verlaufs des wenigstens einen Messwerts und/oder festgelegte Änderungen des wenigstens einen Messwerts ein. Somit können Vorhersagen über den zu erwartenden Verlauf der Messwerte basierend auf den Gradienten genutzt werden, um die Limits für das Aufwecken des Batteriemanagementsystems im Notfall nachzuführen. Zusammen mit festgelegten Änderungswerten kann ermittelt werden, wann der Gradient diesen Änderungswert erreicht. Die zu erwartende tatsächliche Kurve verläuft dann je nach Messwert unterhalb oder oberhalb dieses Gradienten, sodass im Normalfall bis zum Erreichen der neuen Weckzeit keine Überschreitung des neuen Vorgabewerts zu erwarten ist. Tritt diese dennoch auf, muss von einem Notfall ausgegangen werden.

Diese Variante bietet also die Möglichkeit, die Limits sehr eng nachzuführen. Damit lässt sich einerseits das Auftreten unerwünschter Fehlalarme reduzieren und andererseits lässt sich bei einer Verletzung der Limits relativ schnell durch das Aufwecken des Batteriemanagementsystems und ein Verifizieren des potenziellen Notfalls ein Notfall erkennen. Dies schafft Zeit, um beispielsweise durch ein Abschalten von Zellmodulen, ein Hochfahren der Kühlung oder ähnliche Maßnahmen sehr schnell reagieren zu können. Eine Ausbreitung des thermischen Durchgehens auf das gesamte Batteriesystem lässt sich so in den meisten Fällen zuverlässig verhindern.

Gemäß einer weiteren sehr günstigen Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens kann es dabei auch vorgesehen sein, dass eine neue Weckzeit und neue Vorgabewerte für jede Sensoranordnung individuell bestimmt und vorgegeben werden. Jede der

Sensoranordnungen überwacht typischerweise eine oder einige Batterieeinzelzellen. Diese können auf zuvor aufgetretene Ereignisse wie beispielsweise eine Fahrt des Fahrzeugs, in welchem das Batteriesystem gemäß einer bevorzugten Verwendung als Traktionsbatterie dient, unterschiedlich reagieren. Dies hat typischerweise mit den herstellungsbedingten Toleranzen der Batterieeinzelzellen zu tun. Deshalb kann durch diese besonders günstige Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens und die individuelle Anpassung von Weckzeiten und Vorgabewerten auf solche Unregelmäßigkeiten innerhalb der Batterie reagiert werden. Damit wird sichergestellt, dass nicht einige aufgrund der Herstellungstoleranzen gegebenenfalls abweichende Batterieeinzelzellen quasi „versehentlich“ einen Notfallalarm auslösen und das Batteriemanagementsystem wecken, obwohl ihre Werte bezogen auf diese speziellen Einzelzellen noch als durchaus unkritisch anzusehen sind.

Gemäß einer sehr günstigen Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens werden zur Bestimmung der neuen Weckzeiten und der neuen Vorgabewerte eine erlaubte Änderung des Messwerts auf Basis der aktuellen Werte festgelegt. Außerdem wird der höchste und/oder der niedrigste für eine Batterieeinzelzelle von der Sensoranordnung erfasste Wert ermittelt. Auf dieser Basis wird dann ein Messwertlimit für das nächste Aufwecken berechnet und es wird ein Gradient des Messwerts im aktuellen Zeitpunkt berechnet. Aus diesen Werten des Limits in Kombination mit dem Gradienten lässt sich dann eine Weckzeit als neue Weckzeit berechnen, zu welcher der Gradient das berechnete Limit des Messwerts erreicht. Das Limit als Vorgabewert und die Weckzeit als neue Weckzeit werden dann genutzt, um die jeweilige Sensoranordnung, gemäß der oben beschriebenen Ausgestaltung jeweils individuell, neu zu „instruieren“, um anschließend das Batteriemanagementsystem, welches diese Berechnungen durchgeführt hat, wieder in den Ruhemodus zu versetzen.

Gemäß einer weiteren sehr günstigen Ausgestaltung dieser Idee können dabei weitere Diagnosen und Berechnungen zur Absicherung und/oder Plausibilisierung der ermittelten Werte, also der neuen Weckzeit und der neuen Vorgabewerte, von dem Batteriemanagementsystem durchgeführt werden, um potenzielle Fehlkalkulationen zu erkennen und abzufangen.

Als die zu überwachenden Messwerte werden dabei gemäß einer sehr günstigen Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens zumindest die Temperaturen und/oder

die Zellspannungen überwacht. Über diese Werte kann auch heute bereits ein thermisches Durchgehen ermittelt werden. Allerdings kann durch die erfindungsgemäße enge Nachführung der Limits zum Erkennen eines solchen thermischen Durchgehens das Verfahren im oben beschriebenen Sinn verbessert werden. Neben diesem besonders wichtigen Werten der Temperatur und der Zellspannung sind grundlegend auch weitere Werte denkbar, beispielsweise dem im eingangs genannten Stand der Technik beschriebenen Druckwert oder dergleichen.

Die Berechnung des Messwertlimits kann dabei, je nach Messwert, auf einer Addition oder Subtraktion der festgelegten Änderung zu dem aktuellen Messwert erfolgen. Gemäß einer sehr günstigen Weiterbildung dieser Idee kann die Summe oder Differenz außerdem mit einem Offsetwert verrechnet werden, welcher beispielsweise auf Messungen innerhalb des Batteriesystems, wie zum Beispiel dem aktuellen Ladezustand, beruht oder je nach Charakteristik des Batteriesystems vorgegeben wird. Dieser Offsetwert kann auch über das Batteriemanagementsystem, wenn dieses aktiv ist, für das Batteriesystem berechnet werden und kann sich im Laufe der Zeit oder an verschiedene Situationen, wie zum Beispiel Ladezustände, anpassen. Damit entsteht quasi ein selbstlernender Offsetwert, welcher in der Lage ist, beispielsweise Alterungseffekte in dem Batteriesystem entsprechend abzubilden und zu berücksichtigen. Dieser Wert kann dabei vorzugsweise individuell für jede der Sensoranordnungen generiert werden, um so auch unterschiedliche Alterungseffekte in den Einzelzellen des Batteriesystems oder seiner Batteriemodule berücksichtigen zu können.

Gemäß einer sehr vorteilhaften Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens ist es dabei so, dass der Notfallmodus weitere Messungen und/oder Diagnosen durch das Batteriemanagementsystem umfasst, wobei im Falle eines bestätigten Notfalls Gegenmaßnahmen eingeleitet und eine Warnmeldung erzeugt wird, und wobei im Falle eines nicht bestätigten Notfalls das Batteriemanagementsystem wachgehalten wird und der wenigstens eine Messwert mit eng vorgegebenen Vorgabewerten überwacht wird. Dieses Wachhalten des Batteriemanagementsystems nach einem potenziellen aber nicht bestätigten Notfall erhöht die Sicherheit, um dann aktiv durch die im Batteriemanagementsystem vorliegenden Messmethoden wie beispielsweise eine Impedanzmessung oder dergleichen das Batteriesystem weiterhin eng überwachen zu können. Hierdurch kann ausgeschlossen werden, dass der nicht bestätigte Notfall bereits die Andeutung eines Notfalls war, welcher sich allerdings in einem noch so frühen

Zustand befindet, dass er auch durch das Batteriemanagementsystem nicht verifiziert werden konnte. Indem das Batteriemanagementsystem in einem solchen Fall wachgehalten wird und das Batteriesystem eng überwacht, kann nun schnell reagiert werden, falls sich der vermeintliche aber nicht bestätigte Notfall doch noch zu einem tatsächlichen Notfall auswächst.

Gemäß einer sehr vorteilhaften Weiterbildung der Idee kann dabei nach Ablauf einer festgelegten Zeitspanne, in welcher die engen vorgegebenen Schwellenwerte nicht verletzt worden sind, der Notfallmodus beendet werden, sodass nach einer ausreichenden Zeitspanne der Überwachung das Batteriemanagementsystem wieder in den Ruhemodus des Batteriesystems mit einer fortlaufenden Überwachung ausschließlich durch die Sensoranordnungen, und damit außerordentlich energieeffizient, zurückkehrt.

Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen des erfindungsgemäßen Verfahrens ergeben sich auch aus dem Ausführungsbeispiel, welches nachfolgend unter Bezugnahme auf die Figuren näher erläutert ist.

Dabei zeigen:

- Fig. 1 ein Blockdiagramm zur Verdeutlichung des Ablaufs des erfindungsgemäßen Verfahrens;
- Fig. 2 ein Blockdiagramm zur Erläuterung des Ablaufs der Limitnachführung je Sensoranordnung;
- Fig. 3 ein Diagramm der Zellspannung über der Zeit zur Verdeutlichung des Verfahrens am Beispiel der Überwachung der Zellspannung;
- Fig. 4 ein Diagramm der Zelltemperatur über der Zeit zur Verdeutlichung des erfindungsgemäßen Verfahrens am Beispiel der Temperatur beim Abkühlen des Batteriesystems; und
- Fig. 5 eine Darstellung analog zur der in Fig. 4 beim Aufwärmen des Batteriesystems.

In der Darstellung der Figur 1 ist in einem Blockdiagramm der prinzipielle Ablauf des erfindungsgemäßen Verfahrens gezeigt. Über eine Sensoranordnung, welche hier durch ihre anwendungsspezifische integrierte Schaltung ASIC bezeichnet wird, erfolgt die eigentliche Limitüberwachung, also die Erfassung der Messwerte aus einem

Batteriesystem und die Überwachung, ob diese Messwerte festgesetzte Vorgabewerte, welche nachfolgend auch als Limits bezeichnet werden, verletzen. Ist dies der Fall, generiert die ASIC ein Aufwecksignal, indem die mit „aufwecken“ bezeichnete Box angesteuert wird. Das Batteriemanagementsystem BMS wird dann entsprechend aktiviert und es erfolgt, sofern durch das Batteriemanagementsystem BMS kein Notfall detektiert und verifiziert wird, ein Nachführen der Limits, was einerseits zu einem neuen Limit bzw. Vorgabewert und andererseits zu einer auf diesem Vorgabewert basierenden neuen Weckzeit führt. Die neuen Vorgabewerte werden an die Limitüberwachung der jeweiligen ASICs gesendet, wobei das Nachführen der Limits individuell pro in dem Batteriesystem verbauter Sensoranordnung ASIC durchgeführt wird. Parallel dazu wird die Weckzeit entsprechend gesetzt, sodass zeitgesteuert alternativ und ergänzend zu einem Aufwecksignal aus der Limitüberwachung ein zeitgesteuertes Aufwecksignal an das Batteriemanagementsystem BMS gesendet werden kann. Das Batteriemanagementsystem BMS versetzt sich danach wieder in den Ruhemodus und verbleibt dort, bis entweder von der Limitüberwachung eine Verletzung der eng nachgeführten Limits erkannt worden ist oder die nächste Weckzeit erreicht worden ist, was zu einem erneuten Aufwecken und typischerweise Nachführen der Limits in dem Batteriemanagementsystem BMS führt.

In Figur 2 ist nun in einem weiteren Blockschaltdiagramm das Nachführen der Limits an einem denkbaren Ausführungsbeispiel näher spezifiziert. Dabei werden die Randbedingungen in thermischer Hinsicht, also beispielsweise die Kühlung, die Umgebungstemperatur und dergleichen, berücksichtigt und es wird die maximale Zelltemperatur für jede einzelne Sensoranordnung bzw. deren ASIC entsprechend bestimmt. Diese Temperaturüberwachung führt dann zu einem Bestimmen und Vorhersagen des zu erwartenden Temperaturverlaufs anhand eines Gradienten. Dazu werden Werteänderungen ΔT_{th} und $\Delta T_{th,max}$ entsprechend vorgegeben. Auf Basis dieser Daten und des Gradienten wird die Schlafdauer berechnet und eine neue Weckzeit gesetzt und es werden neue Temperaturlimits berechnet, welche, wie es in dem oben dargestellten Blockschaltdiagramm schon ausgeführt war, dann an die ASICs gesendet und dort entsprechend gesetzt werden. Der ganze Ablauf erfolgt dabei vorzugsweise für jeden ASIC individuell.

In der unteren Hälfte des Blockschaltdiagramms der Figur 2 ist ein vergleichbarer Ablauf für die Zellspannung beschrieben. Basis ist dabei das Bestimmen der minimalen

Zellspannung je Sensoranordnung bzw. dem ihr zugeordneten ASIC. Auch hier wird wieder ein Gradient auf Basis des Messwerts bestimmt und ein Parameter für die maximale Spannungsänderung ΔU_{th} entsprechend vorgegeben. Auch auf Basis dieses Gradienten und dieses Vorgabewerts wird dann eine Schlafdauer berechnet und eine Weckzeit gesetzt sowie ein neues Spannungslimit als Vorgabewert berechnet und an den jeweiligen ASIC gesendet und dort für die zukünftige Limitüberwachung entsprechend eingesetzt.

Die Diagramme der Figuren 3 bis 5 zeigen nun die Spannung über der Zeit und Temperaturen über der Zeit bei verschiedenen beispielhaften Fällen zur Erläuterung des prinzipiellen Verfahrensablaufs. Mit strichpunktierter Linie sind dabei jeweils die Messwerte entsprechend dargestellt, mit den dünnen durchgezogenen Linien die Gradienten in den jeweiligen Punkten und mit der dicken durchgezogenen Linie jeweils im zeitlich letzten Drittel des Verlaufs eine potenzielle Abweichung des jeweiligen Messwerts, welche zu einem Aufwecken des Batteriemanagementsystems aufgrund einer Limitüberschreitung führt und damit einen Notfallmodus des Batteriemanagementsystems BMS auslöst, um insbesondere ein thermisches Durchgehen des Batteriesystems zu verhindern.

In der Darstellung der Figur 3 ist als Messwert nun die Spannung U dargestellt. Die Situation ist die folgende:

Die Ausgangslage des Batteriesystems ist nun die, dass die Zellspannung U nach einer Belastung relaxiert. Der Verlauf ist prinzipiell als Summe von e-Funktionen beschreibbar, wobei eine weitere sehr geringe Änderung durch die Selbstentladung auftritt. Ist die Situation nun so, dass eine der Batteriezellen stärker absinkt als die verbleibenden, dann kann ein kritischer Zustand vorliegen. Eine dauerhafte Überwachung und ein Vergleich aller Batteriezellen ist jedoch nicht möglich, da ansonsten das Batteriemanagementsystems BMS durchgehend wachgehalten werden müsste, was aus den oben beschriebenen Gründen der Energieeffizienz nicht gewünscht ist. Also wird ein wakeUp-fähiger Front-End-ASIC mit der Sensoranordnung entsprechend genutzt. Der Ansatz zur Überwachung des Batteriesystems definiert nun einen Änderungswert für die Spannung U . Dieser ist in der Darstellung der Figur mit ΔU_{th} bezeichnet. Nachfolgend werden dann die folgenden Schritte durchgeführt:

1. Bestimmen der niedrigsten Zellspannung je verbauter Sensoranordnung (ASIC).
2. Setzen eines Spannungslimits $U_{lim,x} = U - \Delta U_{th}$ für das nächste Aufwecken des Batteriemanagementsystems BMS (wakeUp).
3. Ermitteln des Spannungsgradienten im Zeitpunkt t_x .
4. Berechnen der Zeitspanne $\Delta t_{wakeUp,x}$ bis zum nächsten Aufwecken des Batteriemanagementsystems BMS aus dem Gradienten und den Änderungswert ΔU_{th} . Das nächste reguläre Aufwecken des Batteriemanagementsystems BMS dient dann dazu das Spannungslimit $U_{lim,x}$ nachzuführen.
5. Das Batteriemanagementsystem BMS wird anschließend wieder in den Ruhemodus versetzt.

Kommt es nun zu einem Aufwecken des Batteriemanagementsystems BMS nach Ablauf der vorgegebenen Weckzeit Δt_{wakeUp} , dann werden die beschriebenen Schritte 1 bis 5 entsprechend wiederholt. Bei Bedarf sind ergänzend weitere Diagnosen und Berechnungen möglich.

Der Spannungsschwellenwert ΔU_{th} ist dabei ein vorzugebender Designparameter der beispielsweise für alle Bereiche konstant gewählt werden kann. In vorteilhafter Weise wird er jedoch in Abhängigkeit der Leerlaufkennlinienform für die einzelnen Bereiche unterschiedlich gewählt. Dann würde in Bereichen mit flacher Kennlinie, beispielsweise einem Ladezustand von in etwa 50%, ein geringerer Wert gewählt werden, beispielsweise 5 mV, im Vergleich zu höheren oder niedrigeren Ladezuständen von beispielsweise weniger als 20% oder mehr als 90%. Wie oben bereits erwähnt wird er genutzt, um mit dem ermittelten Spannungsgradienten die entsprechende Aufweckzeit Δt_{wakeUp} zu berechnen.

Im Diagramm der Figur 3 ist dabei gezeigt, dass beispielsweise zum Ablauf der Aufweckzeit $\Delta t_{wakeUp1}$ der Abstand U_{rem} der tatsächlichen Spannung von der gesetzten Spannungsschwelle ΔU_{th} ausreichend klein ist, sodass im Falle einer Abweichung der Spannung das Aufwecken relativ schnell erfolgen würde. Weicht die Spannung entsprechend nicht unerwartet ab, wie es hier bei den Punkten t_1 , t_2 und t_3 der Fall ist, dann erfolgt wie oben beschrieben das Aufwecken zum jeweiligen Zeitpunkt, an dem der Gradient im Punkt t_1 , t_2 das entsprechende Spannungslimit $U_{lim,1}$, $U_{lim,2}$ erreicht.

Während des Zeitlaufs der dritten Aufweckzeitspanne $\Delta t_{\text{wakeUp}3}$ kommt es nun, wie es mit durchgezogener Linie dargestellt ist, zu einem stärkeren Abfall der Spannung als erwartet. Das Aufwecken des Batteriemanagementsystems BMS erfolgt also durch eine Limitverletzung zum Zeitpunkt t_N , wenn der tatsächliche Wert das Spannungslimit $U_{\text{lim},3}$, in diesem Fall von 3,6 V, erreicht. Im Vergleich zur Eingabe eines standardisierten Spannungslimits von typischerweise 2 V erfolgt so das Aufwecken des Batteriemanagementsystems BMS sehr viel früher, was die erforderliche Zeit liefert, in einem Notfallmodus reagieren zu können. Ein solcher Notfallmodus wird im Anschluss an die Figuren 3 bis 5 mit seinen Möglichkeiten noch näher beschrieben.

In der Darstellung der Figur 4 ist nun ein vergleichbares Szenario unter Berücksichtigung der Zelltemperatur T , in diesem Fall beim Abkühlen des Batteriesystems, gezeigt. Die Ausgangslage ist die, dass eine Temperaturänderung beispielsweise durch eine Veränderung der Umgebungstemperatur auftritt. Die Zellen des Batteriesystems kühlen sich also ab. Prinzipiell wäre auch ein Heizen oder Kühlen des Batteriesystems als Ursache denkbar. Dabei ist zu beachten, dass die Änderungsraten der Temperatur aufgrund der relativ großen thermischen Masse des Batteriesystems stark begrenzt sind.

Der Ansatz zur Überwachung des Batteriesystems auf Basis der Temperatur T beim Abkühlen des Batteriesystems basiert nun wieder auf der Definition eines Änderungswerts der Temperatur ΔT_{th} zu dem ein reguläres Aufwecken stattfinden soll. Das Verfahren umfasst dann die folgenden Schritte:

1. Bestimmen der höchsten Zelltemperatur je Sensoranordnung bzw. ASIC.
2. Setzen eines Temperaturlimits $T_{\text{lim},x} = T + \Delta T_{\text{th},\text{max}}$ als Temperaturlimit für das Aufwecken im Falle einer Limitverletzung. Trotz des Abkühlens liegt das Temperaturlimit $T_{\text{lim},x}$ höher als der aktuelle Wert, da sich im Falle eines thermischen Durchgehens die Temperatur T der Einzelzellen sich entsprechend erhöht.
3. Ermitteln des Temperaturgradienten im Zeitpunkt t_x .
4. Berechnen der Zeitspanne bis zum nächsten Aufwecken $\Delta t_{\text{wakeUp}x}$ auf Basis des Temperaturgradienten und des definierten Änderungswerts ΔT_{th} . Dieses reguläre Aufwecken des Batteriemanagementsystems BMS dient dann dazu, das Temperaturlimit $T_{\text{lim},x}$ entsprechend nachzuführen.
5. Das Batteriemanagementsystem BMS wird wieder in den Ruhemodus versetzt.

Der Temperaturwert T_{amb} in der Darstellung des Diagramms der Figur 4 symbolisiert dabei die Umgebungstemperatur.

Der Wert $\Delta T_{\text{th,max}}$ dient dabei dazu, ein gewisses Rauschen im Temperatursignal abzufangen. Prinzipiell und theoretisch könnte das Limit auf die aktuelle Temperatur T gesetzt werden, da die Temperatur T beim Abkühlen mit fortschreiten der Zeit t abfällt. Kommt es dann jedoch zu einem Rauschen im Messwert der Temperatur T , wird sehr schnell ein unerwünschter Notfallalarm ausgelöst, sodass dieser Offset-Wert $\Delta T_{\text{th,max}}$ hier zu einem besseren Ergebnis führt. Würde, was ebenfalls denkbar ist, der Wert (zusätzlich) mit dem definierten Änderungswert ΔT_{th} berechnet, könnte sich beim Abkühlen bei einer entsprechend kleinen Temperaturänderung eine außerordentlich lange Schlafdauer ergeben, welche dazu führt, dass ein Aufwecken durch eine Limitverletzung erst bei einer sehr großen Temperaturdifferenz erfolgt, was aufgrund der kleinen Änderungsraten der Temperatur dann bereits kritisch sein könnte.

Bei einem Aufwecken nach Ablauf der Aufweckzeitspanne $\Delta t_{\text{wakeUp}x}$ werden dann die genannten Schritte 1 bis 5 entsprechend wiederholt und auch hier sind weitere Diagnosen und Berechnungen möglich.

Im Bereich der dritten Aufweckzeit $\Delta t_{\text{wakeUp}3}$ kommt es erneut zum Zeitpunkt t_N , analog zur Erläuterung in Figur 3, zu einem Ausbrechen der Temperatur T , welche durch den mit durchgezogener fetter Linie dargestellten Temperaturanstieg gekennzeichnet ist. Sobald diese Temperatur T nun das entsprechende Temperaturlimit $T_{\text{lim},3}$ erreicht, also zum Zeitpunkt t_N , wird ein Aufwecken durch eine Limitverletzung initiiert und damit der Notfallmodus des Batteriemanagementsystems BMS eingeleitet.

In der Darstellung der Figur 5 ist ein weiteres Beispiel anhand der Temperatur T als zu überwachende Größe beschrieben. Die Voraussetzungen sind hier im Wesentlichen dieselben wie bei der Darstellung in Figur 4, lediglich handelt es sich hier um ein Aufwärmen des Batteriesystems beispielsweise aufgrund einer sich ändernden Umgebungstemperatur oder eines Vorheizen eines sehr kalten Batteriesystems, sodass dessen Leistungsfähigkeit von Anfang an voll oder zumindest in einem für die jeweils geplante Strecke ausreichendem Maß zur Verfügung steht.

Der Ansatz ist auch hier wieder der Folgende. Zuerst wird ein Änderungswert definiert, zu dem ein reguläres Aufwecken stattfinden soll. Dieser ist wiederum mit ΔT_{th} bezeichnet. Das Verfahren läuft dann weitgehend analog zum oben beschriebenen Verfahren ab, sodass die nachfolgenden Schritte durchgeführt werden:

1. Bestimmen der höchsten Zelltemperatur je Sensoranordnung bzw. ASIC.
2. Setzen eines Temperaturlimits $T_{lim,x} = T + \Delta T_{th} + \Delta T_{th,max}$ als Temperaturlimit für das Aufwecken im Falle einer Limitverletzung. Trotz des Abkühlens liegt das Temperaturlimit $T_{lim,x}$ höher als der aktuelle Wert, da sich im Falle eines thermischen Durchgehens die Temperatur T der Einzelzellen sich entsprechend erhöht.
3. Ermitteln des Temperaturgradienten im Zeitpunkt t_x .
4. Berechnen der Zeitspanne bis zum nächsten Aufwecken $\Delta t_{wakeUpx}$ auf Basis des Temperaturgradienten und des definierten Änderungswerts ΔT_{th} . Dieses reguläre Aufwecken des Batteriemanagementsystems BMS dient dann dazu, das Temperaturlimit $T_{lim,x}$ entsprechend nachzuführen.
5. Das Batteriemanagementsystem BMS wird wieder in den Ruhemodus versetzt.

Beim Setzen des Temperaturlimits $T_{lim,x}$ muss nun, da die Richtung der Temperaturänderung beim Aufwärmen des Batteriesystems prinzipiell dieselbe ist wie im Falle einer Überhitzung einer der Einzelzellen entsprechend zur aktuellen Temperatur T sowohl der vorgegebene Änderungswert ΔT_{th} als auch, wie oben beschrieben, der Offset-Wert $\Delta T_{th,max}$ addiert werden.

Der Rest verhält sich analog. Auch hier kommt es zum Zeitpunkt t_N , zu einer Limitverletzung, die das Batteriemanagementsystems BMS weckt und einen Notfallmodus einleitet.

Für den in den in den Figur 3 bis 5 dargestellten Diagrammen eingezeichneten Fall, bei welchem das Wecken des Batteriemanagementsystems BMS durch eine Limitüberwachung durch einen Messwert einer Sensoranordnung bzw. ihren ASIC erfolgt ist, muss typischerweise von einem Notfall ausgegangen werden, also beispielsweise einem sich abzeichnenden thermischen Durchgehen des Batteriesystems. Wenn das Batteriemanagementsystem BMS also von einem durch eine Limitüberschreitung ausgelösten Aufwecksignal durch eine der Sensoranordnungen bzw. ihren ASIC geweckt wird, dann wird das Batteriemanagementsystem BMS weitere Größen erheben,

beispielsweise den Isolationswiderstand des Batteriesystems oder einzelner Module sowie eine Impedanzmessung von Einzelzellen oder einzelnen Modulen des Batteriesystems. Im Gegensatz zur reinen Überwachung über die Sensoranordnung und den ASIC erfordert dies eine aktive Messmimik, welche so nur bei aufgewecktem Batteriemanagementsystem BMS zur Verfügung steht. Dem Batteriemanagementsystem BMS ist es dann aber möglich, auf Basis der erfassten Größen einen kritischen Zustand der Batterie zu verifizieren, falls dieser vorliegt, und eine Warnung auszugeben und Gegenmaßnahmen einzuleiten. Wird erstmal kein kritischer Zustand der Batterie verifiziert, dann kann im Notfallmodus das Batteriemanagementsystem BMS dennoch wachgehalten werden, beispielsweise für eine fest vorgegebene Zeitdauer und kann während dieser Zeit weitere aktive Diagnosen, wie beispielsweise die bereits angesprochenen Messungen des Isolationswiderstands oder der Impedanz, vornehmen. Damit lässt sich sicherstellen, dass ein eventueller Notfall, wie beispielsweise ein sich abzeichnendes thermisches Durchgehen des Batteriesystems, übersehen wird.

Bleibt für den Ablauf dieser vorgegebenen Zeitdauer alles ruhig, werden also keine Messungen vorgenommen, welche auf ein Problem des Batteriesystems hindeuten, dann kann nach Ablauf dieser Zeitdauer das Batteriemanagementsystem BMS zurück in den Ruhemodus wechseln. Die weitere Überwachung erfolgt dann wieder über die Sensoranordnungen und ihre ASICs.

Ergänzend können relative und abgeleitete Größen aus den von den Sensoranordnungen erfassten Zellspannungen und Temperaturen berechnet werden, über welche ebenfalls eine Verifizierung eines potenziellen kritischen Zustands möglich ist. Dies können beispielsweise Varianzen von Zellspannungen und Temperaturen, Gradienten von Zellspannungen und Temperaturen sowie ein Vergleich der Gradienten und der Varianzen von Temperaturen und Spannungen sein. All dies führt insgesamt dazu, dass aufgrund der eng nachgeführten Limits im Falle eines sich abzeichnenden Notfalls das Batteriemanagementsystem BMS außerordentlich schnell geweckt wird, sodass ausreichend Zeit bleibt, über Gegenmaßnahmen wie ein Aktivieren oder Deaktivieren von Teilbereichen des Batteriesystems, die Aufnahme der Kühlung, das Zuschalten oder Abschalten von Verbrauchern oder dergleichen einem thermischen Durchgehen der Batterie entgegenzuwirken.

Mercedes-Benz Group AG

Patentansprüche

1. Verfahren zum Überwachen eines Batteriesystem mit wenigstens einem mehrere Batterieeinzelzellen aufweisenden Batteriemodul, mit einem Batteriemanagementsystem (BMS) und wenigstens einer Sensoranordnung (ASIC), wobei das Batteriemanagementsystem (BMS) in einem Ruhemodus des Batteriesystems nicht aktiv ist, wobei die Sensoranordnung (ASIC) im Ruhemodus wenigstens einen Messwert überwacht und mit Vorgabewerten vergleicht, wobei im Falle einer Abweichung des Messwerts von den Vorgabewerten der Ruhemodus beendet und das Batteriemanagementsystem (BMS) durch ein Aufwecksignal aktiviert wird, dadurch gekennzeichnet, dass das Aufwecksignal ergänzend alternativ durch den Ablauf einer vorgegebenen Weckzeit (Δt_{wakeUp}) ausgelöst wird, wobei im Falle eines Auslösens des Aufwecksignals über einen Ablauf der vorgegebenen Weckzeit (Δt_{wakeUp}) eine neue Weckzeit (Δt_{wakeUp}) sowie neue Vorgabewerte (U_{lim} , T_{lim}) bestimmt und vorgegeben werden, bevor das Batteriemanagementsystem (BMS) erneut in den Ruhemodus wechselt, und wobei im Falle des Auslösens des Aufwecksignals über eine Abweichung des wenigstens einen Messwerts von dem wenigstens einen Vorgabewert (U_{lim} , T_{lim}) ein Notfallmodus gestartet wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet, dass
in die Bestimmung der neuen Weckzeit (Δt_{wakeUp}) und/oder der neuen Vorgabewerte ($U_{\text{lim}}, T_{\text{lim}}$) Gradienten des zeitlichen Verlaufs des wenigstens einen Messwerts und/oder eine festgelegte Änderung ($\Delta T_{\text{th}}, \Delta U_{\text{th}}$) des wenigstens einen Messwerts einfließen.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2,
dadurch gekennzeichnet, dass
eine neue Weckzeit (Δt_{wakeUp}) und neue Vorgabewerte ($U_{\text{lim}}, T_{\text{lim}}$) für jede Sensoranordnung (ASIC) individuell bestimmt und vorgegeben werden.
4. Verfahren nach Anspruch 1, 2 oder 3,
dadurch gekennzeichnet, dass
zur Bestimmung der neuen Weckzeit (Δt_{wakeUp}) und der neuen Vorgabewerte ($U_{\text{lim}}, T_{\text{lim}}$) eine erlaubte Änderung ($\Delta U_{\text{th}}, \Delta T_{\text{th}}$) des Messwerts auf Basis der aktuellen Werte festgelegt wird und der höchste und/oder niedrigste für eine der Batterieeinzelzellen von der Sensoranordnung (ASIC) erfasste Wert ermittelt wird, woraus ein Messwertlimit ($U_{\text{lim}}, T_{\text{lim}}$) für das nächste Aufwecken berechnet wird, und wozu ein Gradient des Messwerts im aktuellen Zeitpunkt berechnet wird, woraus eine neue Weckzeit (ΔT_{wakeUp}) berechnet wird.
5. Verfahren nach Anspruch 4,
dadurch gekennzeichnet, dass
weitere Diagnosen und/oder Berechnungen zur Absicherung und/oder Plausibilisierung der ermittelten Werte für die neue Weckzeit (Δt_{wakeUp}) und/oder die neuen Vorgabewerte ($U_{\text{lim}}, T_{\text{lim}}$) durchgeführt werden.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5,
dadurch gekennzeichnet, dass
die überwachten Messwerte zumindest die Temperatur (T) und/oder die Spannung (U) des Batteriesystems oder von Batterieeinzelzellen umfassen.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6,
dadurch gekennzeichnet, dass
die Berechnung des Messwertlimits (U_{lim} , T_{lim}) durch eine Addition oder Subtraktion
der festgelegten Änderung (ΔU_{th} , ΔT_{th}) zu dem aktuellen Messwert erfolgt.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7,
dadurch gekennzeichnet, dass
die Summe oder Differenz mit einem Offsetwert ($\Delta T_{th, tmax}$) verrechnet wird.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8
dadurch gekennzeichnet, dass
der Notfallmodus weitere Messungen und/oder Diagnosen durch das
Batteriemanagementsystem (BMS) umfasst, wobei im Falle eines bestätigten
Notfalls Gegenmaßnahmen eingeleitet und eine Warnung ausgegeben wird, und
wobei im Falle eines nicht bestätigten Notfalls das Batteriemanagementsystem
(BMS) wachgehalten und der wenigstens eine Messwert mit engen vorgegebenen
Schwellenwerten überwacht wird.
10. Verfahren nach Anspruch 9,
dadurch gekennzeichnet, dass
nach Ablauf einer festgelegten Zeitspanne, in welcher die Schwellenwerte nicht
verletzt worden sind, der Notfallmodus beendet wird.

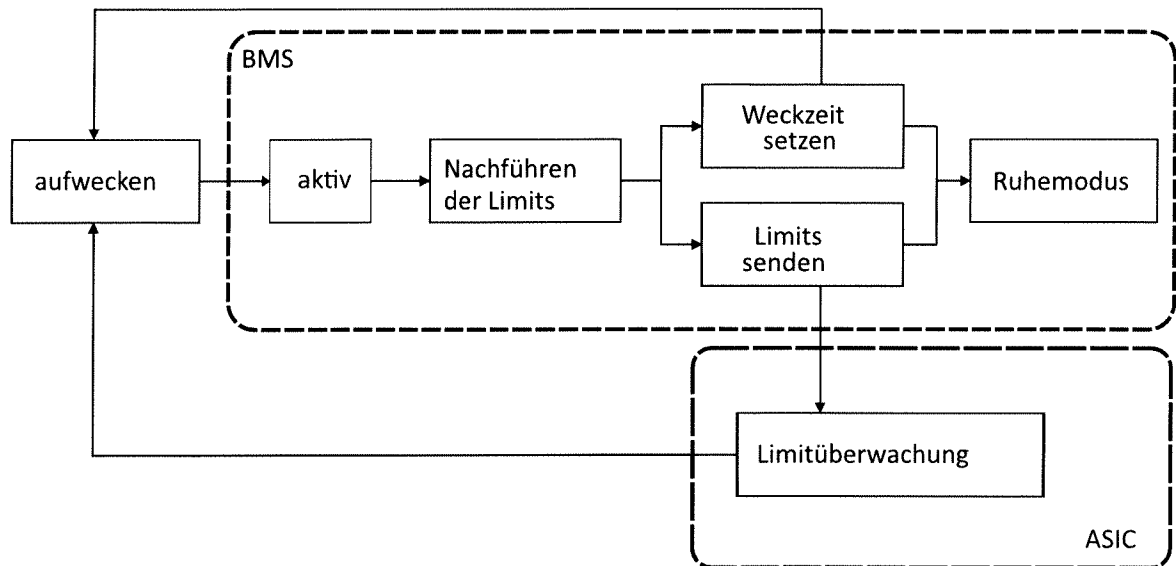


Fig. 1

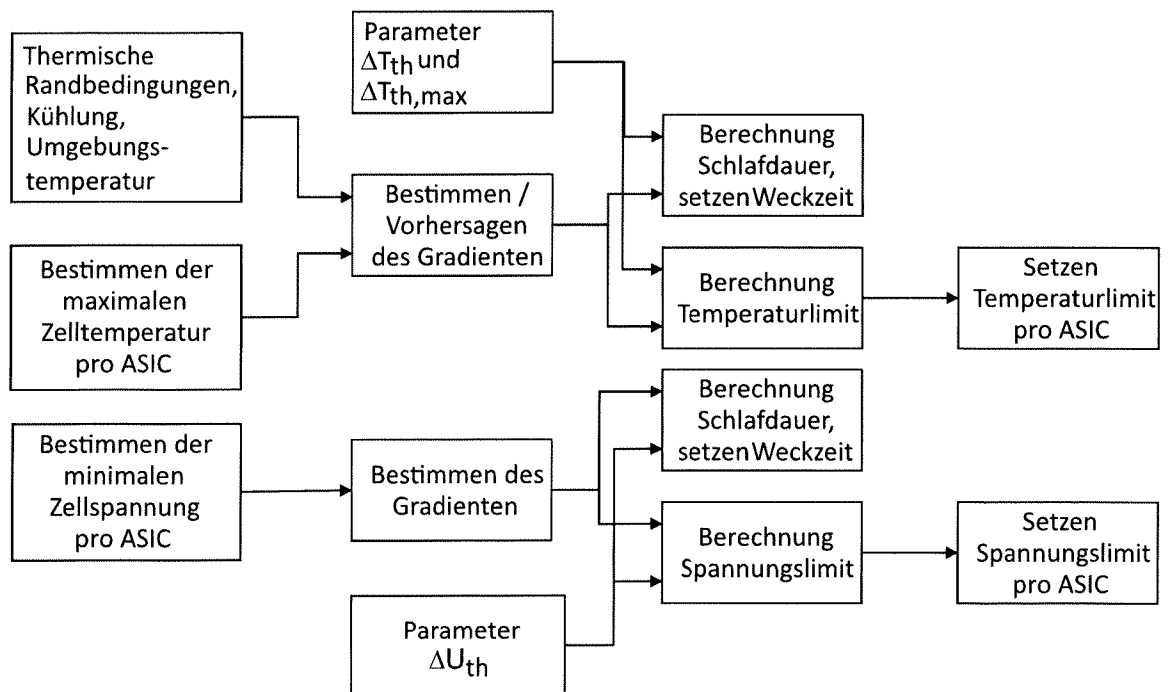


Fig. 2

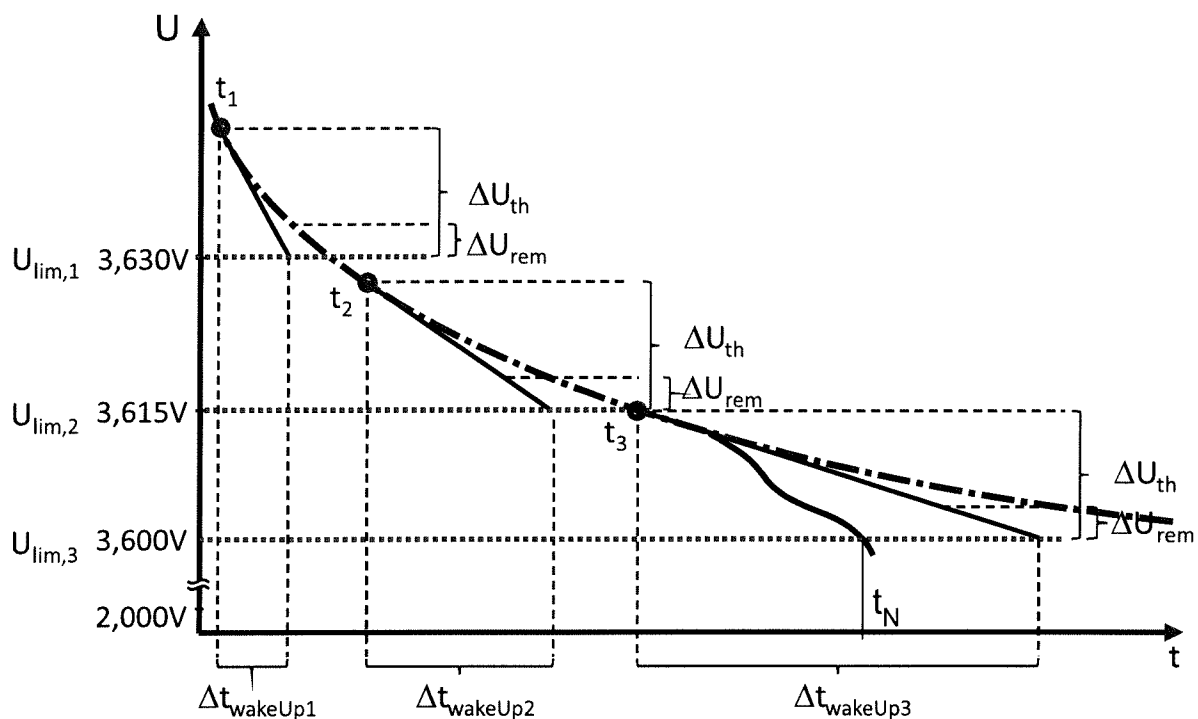


Fig. 3

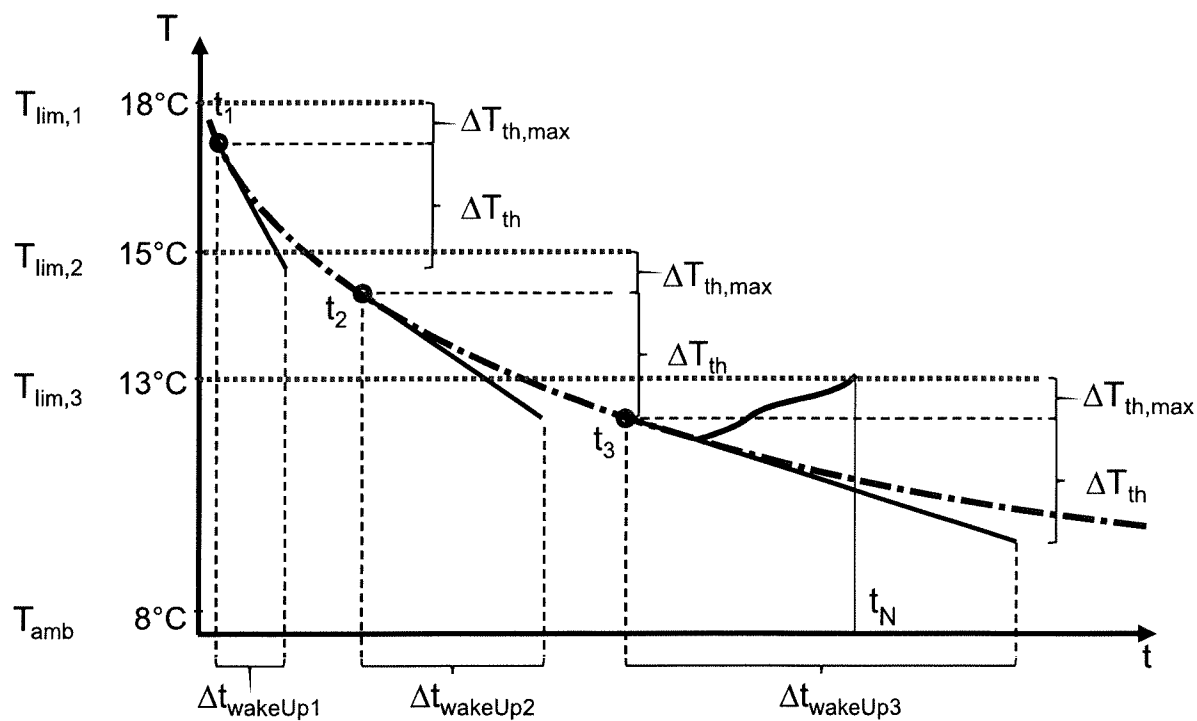


Fig. 4

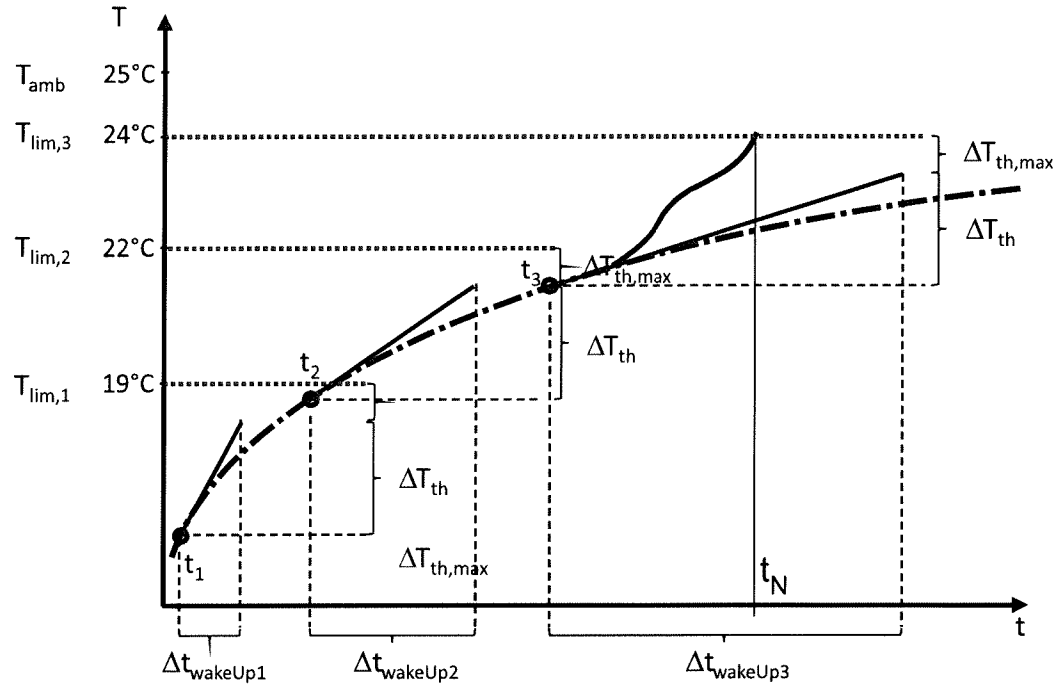


Fig. 5