



(10) **DE 10 2013 204 534 A1** 2014.09.18

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2013 204 534.4**
 (22) Anmeldetag: **15.03.2013**
 (43) Offenlegungstag: **18.09.2014**

(51) Int Cl.: **H02H 7/18 (2006.01)**
H01M 10/48 (2006.01)
B60L 3/00 (2006.01)
B60L 11/18 (2006.01)
H02J 7/00 (2006.01)
H02H 3/08 (2006.01)

(71) Anmelder:
Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart, DE;
Samsung SDI Co., Ltd., Yongin, Kyonggi, KR

(74) Vertreter:
Gulde & Partner Patent- und
Rechtsanwaltskanzlei mbB, 10179 Berlin, DE

(72) Erfinder:
Fink, Holger, 70567 Stuttgart, DE

(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE 27 26 367 A1
DE 31 02 223 A1
DE 37 44 264 A1
DE 43 05 819 A1

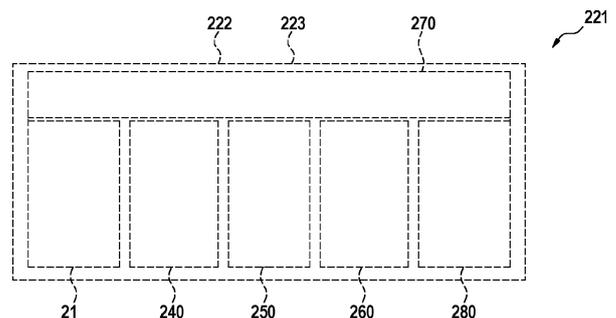
DE 10 2006 000 729 A1
DE 10 2007 048 620 A1
DE 10 2009 002 466 A1
DE 10 2011 075 421 A1
DE 10 2011 077 311 A1
DE 691 09 987 T2
US 2009 / 0 066 291 A1
US 2010 / 0 157 495 A1
US 2011 / 0 242 716 A1
US 6 025 696 A
US 3 454 859 A
EP 2 181 481 B1
EP 0 926 796 A2
EP 2 403 105 A2
WO 2011/ 028 160 A1
WO 2011/ 095 630 A1

Rechercheantrag gemäß § 43 Abs. 1 Satz 1 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Batteriezelleinrichtung mit Kurzschluss sicherheitsfunktion und Verfahren zum Überwachen einer Batteriezelle**

(57) Zusammenfassung: Die vorliegende Erfindung betrifft eine Batteriezelleinrichtung (221) mit einer Batteriezelle (21) und einer Überwachungs vorrichtung zum Überwachen der Batteriezelle (21). Die Überwachungs vorrichtung umfasst eine Sensorvorrichtung (240), eine Zustandsermittlungs vorrichtung (250), die dazu ausgebildet ist, anhand einer Auswertung von durch die Sensorvorrichtung bereitgestellten aktuellen Messwerten einen aktuellen und/oder künftigen Batteriezellzustand zu erkennen und/oder vorherzusagen, und eine Aktorvorrichtung (260), die dazu ausgebildet ist, die Batteriezelle (21) aus einem kritischen Batteriezellzustand in einen sicheren Betriebsmodus zu überführen. Es wird vorzugsweise eine Kurzschluss sicherheitsfunktion (270) bereit stellt, mittels der durch die Zustandsermittlungs vorrichtung (250) ein kritischer Batteriezellzustand, in dem die Batterie zelle (21) durch einen batterie zell extern liegenden Kurzschluss zwischen Ausgangsterminals (222, 223) der Batterie zelle einrichtung (21) beschädigt werden kann, ermittelt werden kann. Dabei kann die Batterie zelle (21) durch die Aktorvorrichtung (260) in einen als sicheren Betriebsmodus ausgelegten Kurzschluss betriebsmodus, in dem die Batterie zelle (21) keine Spannung an den Ausgangsterminals (222, 223) der Batterie zelle einrichtung (221) abgibt, überführt oder gehalten werden.



Beschreibung

Bereich der Erfindung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft eine Batteriezeleinrichtung mit einer Batteriezele und einer Überwachungsrichtung zum Überwachen der Batteriezele. Ferner betrifft die Erfindung ein entsprechendes Verfahren zum Überwachen der in einer Batteriezeleinrichtung angeordneten Batteriezele mittels der in der Batteriezeleinrichtung angeordneten Überwachungsrichtung. Auch betrifft die Erfindung ein Fahrzeug mit einem Batteriesystem mit mindestens einer Batteriezeleinrichtung.

Stand der Technik

[0002] Es ist üblich, Batterien für den Einsatz in Hybrid- und Elektrofahrzeugen als Traktionsbatterien zu bezeichnen, da diese Batterien für die Speisung elektrischer Antriebe eingesetzt werden. Um die bei Hybrid- und Elektrofahrzeugen geforderten Leistungs- und Energiedaten zu erzielen, werden in den eingesetzten Traktionsbatterien einzelne Batteriezellen in Serie und teilweise zusätzlich parallel geschaltet. Bei Elektrofahrzeugen werden häufig 100 Batteriezellen oder mehr in Serie verschaltet, wobei die Traktionsbatterien Spannungen von bis zu 450 V aufweisen. Auch bei Hybridfahrzeugen wird üblicherweise die Spannungsgrenze von 60V überschritten, welche bei einer Berührung durch Menschen noch als unkritisch eingestuft wird.

[0003] In der **Fig. 1** ist das Prinzipschaltbild eines Batteriesystems **10** mit einer derartigen Traktionsbatterie **20** dargestellt. Die Batterie **20** umfasst mehrere Batteriezellen **21**. Zur Vereinfachung der Darstellung aus der **Fig. 1** wurden nur zwei Batteriezellen mit dem Bezugszeichen **21** versehen.

[0004] Die Batterie **20** ist aus zwei Batteriezellreihenschaltungen **22, 23** ausgebildet, die jeweils mehrere in Reihe geschaltete Batteriezellen **21** umfassen. Die Batteriezellreihenschaltungen **22, 23** sind mit ihren Anschlüssen jeweils mit einem Batterieterminal **24, 25** sowie einem Anschluss eines Servicesteckers **30** verbunden. Das positive Batterieterminal **24** ist mit der Batterie **20** über eine Trenn- und Ladeeinrichtung **40** verbindbar, die einen Trennschalter **41** umfasst, der zu einer Reihenschaltung aus einem Ladeschalter **42** und einem Ladewiderstand **43** parallel geschaltet ist. Das negative Batterieterminal **25** ist mit der Batterie **20** über eine Trenneinrichtung **50** verbindbar, die einen weiteren Trennschalter **51** umfasst.

[0005] **Fig. 2** zeigt ein Diagramm **60**, das die Fehlmechanismen von Lithium-Ionen-Batterien und deren Konsequenzen **62** stark schematisiert darstellt. Die dargestellten Fehlmechanismen können zu einem durch eine unzulässige Temperaturerhöhung **63**

hervorgerufenen thermischen Durchgehen (Thermal Runaway) **64** der Batteriezellen **21** führen. Bei Vorliegen eines thermischen Durchgehens **64** kann es zu einer Emittierung vom Gas **65**, die beispielsweise beim Öffnen eines Berstventils als Folge eines erhöhten Batteriezellinnendruckes auftreten kann, zu einem Brennen **66** der Batteriezellen, oder im Extremfall sogar zu einem Bersten **67** der Batteriezellen **21** kommen. Daher muss das Auftreten eines thermischen Durchgehens **64** bei dem Einsatz von Batteriezellen **21** in Traktionsbatterien mit einer höchsten Wahrscheinlichkeit nahe 1 ausgeschlossen werden.

[0006] Ein thermisches Durchgehen **64** kann bei einem Überladen **70** einer Batteriezele, als Folge einer Tiefenentladung **80** einer Batteriezele **21** während des anschließenden Ladevorganges oder bei Vorliegen von unzulässig hohen Lade- und Entladeströmen der Batteriezele **21**, die beispielsweise bei Vorliegen eines externen Kurzschlusses **90** entstehen können, auftreten. Ferner kann ein thermisches Durchgehen **64** auch bei Vorliegen eines batteriezellinternen Kurzschlusses **100** auftreten, der beispielsweise als Folge einer starken mechanischen Krafteinwirkung während eines Unfalls **101** oder als Folge der Bildung von batteriezellinternen Dendriten **102** entstehen kann, die beispielsweise bei Vorliegen von zu hohen Ladeströmen bei tiefen Temperaturen entstehen können. Weiterhin kann ein thermisches Durchgehen **64** auch als Folge von batteriezellinternen Kurzschlüssen auftreten, die durch bei der Fertigung entstehende Verunreinigungen der Batteriezellen **21**, insbesondere durch in den Batteriezellen **21** vorhandenen metallischen Fremdpartikeln **103**, verursacht werden können. Auch kann ein thermisches Durchgehen **64** bei Vorliegen einer unzulässigen Erwärmung der Batteriezellen **21**, die beispielsweise als Folge eines Fahrzeugbrandes entstehen kann, oder bei Vorliegen einer Überlastung **120** der Batteriezellen **21** auftreten.

[0007] Für Lithium-Ionen-Batteriezellen sind Sicherheitstests vorgeschrieben. Um die Batteriezellen **21** transportieren zu können, müssen beispielsweise UN Transport-Tests durchgeführt werden. Die Testergebnisse müssen gemäß den EUCAR Gefahrenstufen beziehungsweise Gefahrenlevel (EUCAR Hazard Levels) bewertet werden. Die Batteriezellen **21** müssen dabei vorgegebene Mindestsicherheitslevels einhalten. Um dies zu erreichen, werden in den Batteriezellen **21**, die für den Einsatz in Traktionsbatterien ausgebildet sind, umfangreiche Zusatzmaßnahmen getroffen. Solche Zusatzmaßnahmen werden dadurch getroffen, dass sogenannte Sicherheitsvorrichtungen (Safety Devices) in den Batteriezellen integriert werden. Typischerweise werden die im Folgenden angegebenen Sicherheitsvorrichtungen integriert.

[0008] In einer Batteriezele **21** wird eine Überladesicherheitsvorrichtung (Overcharge Safety Device

(OSD)) integriert. Eine solche Überladesicherheitsvorrichtung bewirkt dass die Batteriezelle **21** bei einem Überladevorgang eine EUCAR Gefahrenstufe **4** nicht überschreitet. Der zulässige Bereich der Batteriezellspannung endet bei 4,2 V. Bei einem Überladevorgang baut die Batteriezelle **21** ab einer Batteriezellspannung von etwa 5 V einen so hohen Innendruck auf, das eine Membran der Überladesicherheitsvorrichtung nach außen gewölbt wird und die Batteriezelle **21** elektrisch kurzschließt. Als Folge davon wird die Batteriezelle **21** solange entladen, bis eine batteriezellinterne Sicherung aktiviert wird. Der Kurzschluss der Batteriezelle **21** zwischen den beiden Batteriezellterminals bleibt über die Überladesicherheitsvorrichtung erhalten.

[0009] In einer Batteriezelle **21** wird ferner eine Batteriezellsicherung (Cell Fuse) integriert. Diese in der Batteriezelle **21** integrierte Schmelzsicherung ist ein sehr wirksames Schutzinstrument auf Batteriezellebene, verursacht aber erhebliche Probleme bei der Verbau der Batteriezellen **21** in einer Serienschaltung eines Batteriemoduls beziehungsweise in einem Batteriesystem. Dort sind diese Maßnahmen eher kontraproduktiv.

[0010] In einer Batteriezelle **21** wird auch eine Nageleindringsicherheitsvorrichtung (Nail Penetration Safety Device (NDS)) integriert. Diese Nageleindringsicherheitsvorrichtung schützt die Batteriezelle **21**, indem beim Eindringen eines Nagels in der Batteriezelle **21** ein definierter Kurzschlusspfad aufgebaut wird, der nicht zu einer starken lokalen Erwärmung der Batteriezelle im Bereich des Nageleintrittes führt, welche zu einem lokalen Schmelzen des vorhandenen Separators führen könnte.

[0011] In einer Batteriezelle **21** wird auch eine Funktionssicherheitsschicht (Safety Function Layer (SFL)) integriert. Die Funktionssicherheitsschicht wird durch die keramische Beschichtung einer der beiden Elektroden, vorzugsweise durch die keramische Beschichtung der Anode, realisiert. Mittels der Funktionssicherheitsschicht kann bei einem Schmelzen des Separators ein flächiger Kurzschluss der Batteriezelle **21** und damit eine extrem schnelle Umsetzung der elektrischen Energie der Batteriezelle **21** in Verlustwärme verhindert werden.

[0012] In einer Batteriezelle **21** wird ferner auch eine Stoßsicherheitsvorrichtung (Crush Safety Device) integriert. Die Stoßsicherheitsvorrichtung weist eine ähnliche Funktionsweise wie die Nageleindringsicherheitsvorrichtung auf. Bei einer starken mechanischen Deformation des Batteriezellgehäuse wird ein definierter Kurzschlusspfad in der Batteriezelle **21** bereitgestellt, der eine starke lokale Erwärmung der Batteriezelle **21** verhindert und dadurch die Sicherheit der Batteriezelle **21** erhöht.

[0013] Bei den aktuell in der Entwicklung befindlichen Batteriezellen **21** sind insbesondere die Maßnahmen für die elektrische Sicherheit, die beispielsweise vor einem Überladen schützen oder einen Überstromschutz gewährleisten, mit erheblichem Aufwand verbunden. Diese Maßnahmen sind zudem nach dem Verbau einer Batteriezelle **21** in ein Batteriemodul beziehungsweise in ein Batteriesystem eher kontraproduktiv als sinnvoll. Beispielsweise kann bei einer Aktivierung der Schmelzsicherung einer Batteriezelle **21** die Situation entstehen, dass die Elektronik des vorhandenen Batteriemanagementsystems (BMS) sehr hohen negativen Spannungen ausgesetzt wird. Dadurch entsteht auf der Batteriesystemebene ein zusätzlicher Aufwand, der verursacht wird, weil die Transportvorschriften auf der Batteriezellebene erfüllt werden müssen, ohne dass ein Nutzen damit verbunden wäre.

[0014] In der **Fig. 3** ist das Prinzipschaltbild eines aus dem Stand der Technik bekannten Batteriesystems **10** dargestellt, das eine Traktionsbatterie **20** mit mehreren Batteriezellen **21** und ein Batteriemanagementsystem umfasst. Die Elektronik des Batteriemanagementsystems (BMS) weist eine dezentrale Architektur auf, bei der die aus der Überwachungselektronik (CSC Elektronik) der Batteriezellen **21** ausgebildeten Zellüberwachungseinheiten **130** als Satelliten ausgeführt sind, zum Überwachen des Funktionszustandes einer oder mehrerer Batteriezellen **21** jeweils ausgebildet sind und über ein internes Bussystem **141** mit einem zentralen Batteriesteuergerät (BCU) **140** kommunizieren.

[0015] Die Elektronik des Batteriemanagementsystems, insbesondere die Überwachungselektronik der Batteriezellen **21**, ist dabei erforderlich, um die Batteriezellen **21** vor den kritischen, in der **Fig. 2** dargestellten Zuständen zu schützen, die zu einem thermischen Durchgehen führen können. In der Elektronik des Batteriemanagementsystems wird ein hoher Aufwand betrieben, um zum einen die Batteriezellen **21** vor einer Überlastung durch externe Ursachen, wie beispielsweise durch einen Kurzschluss in dem Inverter eines Elektroantriebes, zu schützen und zum anderen nicht durch eine Fehlfunktion der Elektronik des Batteriemanagementsystems, wie beispielsweise durch eine fehlerhafte Erfassung der Batteriezellspannungen durch die Zellüberwachungseinheiten **130**, zu gefährden.

[0016] So wie bei dem in der **Fig. 1** dargestellten Batteriesystem **10** ist bei dem in der **Fig. 3** dargestellten Batteriesystem **10** die Traktionsbatterie **20** mit einem positiven Batterieterminal **24** über eine Trenn- und Ladeeinrichtung **40** verbindbar und mit einem negativen Batterieterminal **25** über eine Trenneinrichtung **50** verbindbar. Für die Bezeichnung gleicher Komponenten der in den **Fig. 1** und **Fig. 3** dargestellten

Batteriesysteme wurden hier gleiche Bezugszeichen verwendet.

[0017] Ferner ist das zentrale Batteriesteuergerät **140** dazu ausgebildet, den Trennschalter (Relais) **41** und den Ladeschalter (Relais) **42** der Trenn- und Ladeeinrichtung **40** anzusteuern. Das Ansteuern des Trennschalters **41** und des Ladeschalters **42** mittels des Batteriesteuergeräts **140** ist mit dem Pfeil **142** symbolisiert. Auch ist das zentrale Batteriesteuergerät **140** dazu ausgebildet, den weiteren Trennschalter (Relais) **51** der Trenneinrichtung **50** anzusteuern. Das Ansteuern des Trennschalters **51** mittels des Batteriesteuergeräts **140** ist mit dem Pfeil **143** symbolisiert.

[0018] Das zentrale Batteriesteuergerät **140** ist jeweils über eine Hochvoltleitung **144**, **145** mit einem jeweils anderen Batterieterminal **24**, **25** verbunden. Ferner umfasst das zentrale Batteriesteuergerät **140** Stromsensoren **150**, **160**, die dazu ausgebildet sind, den durch die Traktionsbatterie **20** fließenden Strom zu messen. Das Batteriesteuergerät **140** kommuniziert auch mit einer Fahrzeugschnittstelle über einen CAN-Bus **146**. Über den CAN-Bus können dem Batteriesteuergerät **140** Informationen über den Funktionszustand des Fahrzeuges bereitgestellt werden.

[0019] Mit einem Batteriemanagementsystem eines aus dem Stand der Technik bekannten Batteriesystems wird angestrebt, die Sicherheit des Batteriesystems **10** so zu erhöhen, dass keine unzumutbare Gefährdung auftritt. Dabei werden gemäß der ISO 26262 hohe Anforderungen an die funktionale Sicherheit des Batteriemanagementsystems gestellt, da eine Fehlfunktion der Elektronik eine Gefährdung darstellen kann. Für Batteriemanagementsysteme in Elektrofahrzeugen und Steckdosenhybriden (Plug-in-Hybride) wird sich voraussichtlich eine Einstufung gemäß der Gefahrenstufe ASIL C etablieren, falls die Sicherheit der Batteriezellen **21** nicht signifikant erhöht werden kann.

Offenbarung der Erfindung

[0020] Erfindungsgemäß wird eine Batteriezelleinrichtung mit einer Batteriezelle und einer Überwachungs- und/oder Überwachungsvorrichtung zum Überwachen der Batteriezelle bereitgestellt. Dabei umfasst die Überwachungsvorrichtung eine Sensorvorrichtung zur Erfassung von mehreren die Batteriezelle betreffenden physikalischen Größen, eine Zustandsermittlungsvorrichtung, die dazu ausgebildet ist, anhand einer insbesondere modellbasierten Auswertung der von der Sensorvorrichtung bereitgestellten aktuellen Messwerte der physikalischen Größen, einen aktuellen und/oder künftigen Batteriezellzustand zu erkennen und/oder vorherzusagen, und eine Aktorvorrichtung, die dazu ausgebildet ist, die Batteriezelle aus einem kritischen und/oder kritisch werdenden Batteriezell-

zustand in einen sicheren Betriebsmodus zu überführen und/oder zu halten. Ferner stellt die Überwachungsvorrichtung bevorzugt eine Kurzschluss-sicherheitsfunktion bereit, mittels der durch die Zustandsermittlungsvorrichtung ein kritischer Batteriezellzustand, in dem die Batteriezelle durch einen batteriezellextern liegenden Kurzschluss zwischen den Ausgangsterminals der Batteriezelleinrichtung beschädigt werden kann, ermittelt werden kann, wobei die Batteriezelle bei Vorliegen des kritischen Batteriezellzustandes durch die Aktorvorrichtung in einen als sicheren Betriebsmodus ausgelegten Kurzschlussbetriebsmodus, in dem die Batteriezelle keine Spannung an den Ausgangsterminals der Batteriezelleinrichtung abgibt, überführt und/oder gehalten werden kann.

[0021] Erfindungsgemäß wird ein Verfahren zum Überwachen einer in einer Batteriezelleinrichtung angeordneten Batteriezelle mittels einer in der Batteriezelleinrichtung angeordneten Überwachungsvorrichtung bereitgestellt. Dabei werden mehrere physikalische Größe zum Ermitteln eines Batteriezellzustandes mittels einer in der Überwachungsvorrichtung angeordneten Sensorvorrichtung erfasst. Ferner wird ein aktueller und/oder künftiger Batteriezellzustand mittels einer in der Überwachungsvorrichtung angeordneten Zustandsermittlungsvorrichtung anhand einer insbesondere modellbasierten Auswertung der von der Sensorvorrichtung bereitgestellten aktuellen Messwerte der physikalischen Größen erkannt und/oder vorhergesagt. Dabei wird bei Vorliegen eines kritischen und/oder kritisch werdenden Batteriezellzustandes die Batteriezelle mittels einer in der Überwachungsvorrichtung angeordneten Aktorvorrichtung in einen sicheren Betriebsmodus überführt. Ferner wird von der Überwachungsvorrichtung bevorzugt eine Kurzschluss-sicherheitsfunktion bereitgestellt, mittels der das Auftreten eines kritischen Batteriezellzustandes, in dem die Batteriezelle durch einen batteriezellextern liegenden Kurzschluss zwischen Ausgangsterminals der Batteriezelleinrichtung beschädigt werden kann, durch die Zustandsermittlungsvorrichtung ermittelt wird, wobei bei Vorliegen des kritischen Batteriezellzustandes die Batteriezelle durch die Aktorvorrichtung in einen als sicheren Betriebsmodus ausgelegten Kurzschlussbetriebsmodus, in dem die Batteriezelle keine Spannung an den Ausgangsterminals der Batteriezelleinrichtung abgibt, überführt und/oder gehalten wird.

[0022] Die Unteransprüche zeigen bevorzugte Weiterbildungen der Erfindung.

[0023] Einfach ausgedrückt wird eine Batteriezelleinrichtung mit einer Batteriezelle und einer erfindungsgemäßen Überwachungseinrichtung beziehungsweise Überwachungselektronik bereitgestellt. Die erfindungsgemäße Überwachungselektronik kann auch in der Batteriezelle integriert sein. Ei-

ne Batteriezelle mit integrierter erfindungsgemäßer Überwachungselektronik wird im Folgenden auch als (elektrisch) eigensichere Batteriezelle bezeichnet.

[0024] Eine elektrisch eigensichere Batteriezelle umfasst eine elektrochemische Batteriezelle, insbesondere eine elektrochemische Lithium-Ionen-Batteriezelle, eine Sensorik (Sensorvorrichtung) zur Erfassung physikalischer Größen zur Ermittlung des Zustandes der Batteriezelle, eine Batteriezustands-erkennung und -Prädiktion (Zustandsermittlungsvorrichtung), die aus den Sensorsignalen den aktuellen Zustand der Batteriezelle (Batteriezellzustand) insbesondere hinsichtlich ihrer Sicherheit ermittelt und auch das künftige Verhalten der Batteriezelle präzisieren (vorhersagen) kann, und einer Sicherheitsaktorik (Aktorvorrichtung), mit der die Batteriezelle bei Erkennung eines kritisch werdenden Zustandes und/oder Betriebes der Batteriezelle bei Bedarf in einen sicheren Betriebsmodus überführt werden kann.

[0025] Optional kann die eigensichere Batteriezelle eine zusätzliche Elektronik (Spannungseinstellungsvorrichtung) umfassen, mittels der die Ausgangsspannung der Batteriezelle derartig geschaltet werden kann, dass an den Batteriezellterminals (Ausgangsterminals) die Batteriezellspannung in positiver Orientierung oder die Batteriezellspannung in negativer Orientierung oder eine Spannung von 0 V anliegen kann.

[0026] Ferner sind in der eigensicheren Batteriezelle bevorzugt Sicherheitsfunktionen, insbesondere eine Kurzschluss sicherheitsfunktion integriert, die bei Vorliegen eines kritischen oder kritisch werdenden Batteriezellzustandes die Batteriezelle sofort in einen sicheren Betriebsmodus überführen. Die Kurzschluss sicherheitsfunktion wird dabei zum sicheren Betrieb einer Batteriezelle, bei dem ein externer beziehungsweise batteriezellextern liegenden Kurzschluss auftritt, eingesetzt und ist derartig konzipiert, dass die Leistungsfähigkeit der Batteriezelle, die abhängig von dem Betriebszustand der Batteriezelle und den Umgebungsbedingungen ist, nicht beeinträchtigt wird.

[0027] Die Batteriezelle wird dann insbesondere in Verbindung mit der hier vorgestellten Kurzschluss sicherheitsfunktion so sicher ausgeführt, dass die Anforderungen an ein übergeordnetes Batteriemanagementsystem insbesondere bezüglich der Vermeidung einer Überlastung der Batteriezelle bei Vorliegen eines externen Kurzschlusses gegenüber dem Stand der Technik deutlich reduziert werden können.

[0028] Die eigensichere Batteriezelle kann sich selbst vor unzulässigen Betriebszuständen schützen, ohne dabei auf die Funktion der Elektronik eines übergeordneten Batteriemanagementsystems angewiesen zu sein. Mit einer eigensicheren Batteriezelle

steht ein Grundbaustein zur Verfügung, aus dem in einfacher Weise sichere Batteriesysteme aufgebaut werden können. So kann die Sicherheit insbesondere von großen Batteriesystemen, wie sie beispielsweise bei Elektro- und Hybridfahrzeugen zum Einsatz kommen, signifikant erhöht werden. Insbesondere können Gefährdungen, wie sie bei beziehungsweise nach ersten Crashtests (Crash Tests) der aktuell in Serie eingeführten Steckdosenhybride (Plug-In-Hybrids) und Elektrofahrzeuge aufgetreten sind, vermieden werden.

[0029] Darüber hinaus können die heute durchgeführten, nicht zielführenden Maßnahmen für die elektrische Sicherheit der Batteriezelle, wie beispielsweise das Ausstatten der Batteriezelle mit einer Überladesicherheitsvorrichtung (Overcharge Safety Device) oder mit einer Batteriezellsicherung (Cell Fuse), entfallen. Auch die beispielsweise durch das Ausstatten der Batteriezelle mit einer Nail Penetration Safety Device NSD durchgeführten Maßnahmen für die Erhöhung der Sicherheit bei starken mechanischen Kräfteinwirkungen, die beispielsweise bei Penetration der Batteriezelle mit spitzen Gegenständen, die durch den Nageleindringtest (Nail Penetration Test) simuliert wird, sowie bei starken Deformation der Batteriezelle, die durch die Stoßtests (Crush Tests) in den drei Raumachsen simuliert werden, auftreten, können entfallen beziehungsweise zumindest wesentlich einfacher realisiert werden, da die Anforderungen seitens der Batteriezelle geringer sind.

[0030] Bei einer besonderen Ausführungsform der erfindungsgemäßen Batteriezelleinrichtung ist die Sensorvorrichtung dazu ausgebildet, die Batteriezellspannung zu erfassen und/oder das Vorliegen einer Batteriezellspannung, deren Betrag sich in einem vorbestimmten Batteriezellspannungsbereich befindet, zu überwachen. Ferner ist die Sensorvorrichtung bevorzugt dazu ausgebildet, einen durch die Batteriezelle fließenden Strom und/oder eine Batteriezelltemperatur, insbesondere eine Batteriezellinnentemperatur und/oder eine Batteriezellwickeltemperatur und/oder eine Batteriezellaußentemperatur, und/oder einen Batteriezellinnendruck und/oder eine lineare Beschleunigung der Batteriezelle und/oder eine Drehbeschleunigung der Batteriezelle zu erfassen. Weiterhin ist die Aktorvorrichtung bevorzugt dazu ausgebildet, zum Überführen der Batteriezelle in den sicheren Betriebsmodus und/oder zum Halten der Batteriezelle in dem sicheren Betriebsmodus eine in der Batteriezelle angeordnete Entladevorrichtung zu aktivieren. Die Entladevorrichtung ist dabei dazu vorgesehen, in einem aktivierten Entlademodus die Batteriezelle mittels eines vorbestimmten Entladestroms und/oder in einem aktivierten Schnellentlademodus die Batteriezelle mittels eines Entladestroms, der einen vorbestimmten Bruchteil eines Kurzschlussstromes der Batteriezelle beträgt, zu entladen. Auch ist die Aktorvorrichtung bevorzugt dazu ausgebildet, einen

in der Batteriezelleinrichtung angeordneten Strombypass zu aktivieren. Der Strombypass der dazu vorgesehen ist, im aktivierten Zustand einen zwischen den Batteriezellterminals fließenden Strom über einen batteriezellextern liegenden Strompfad umzuleiten.

[0031] In der erfindungsgemäßen Sensorvorrichtung beziehungsweise Sensorik werden insbesondere die im Folgenden angegebenen Sensorelemente zur Erfassung des Batteriezustands eingesetzt.

[0032] Die Sensorvorrichtung umfasst bevorzugt zunächst eine Batteriezellspannungserfassung, mittels der die die Ausgangsspannung der elektrochemischen Batteriezelle erfasst wird. Optional kann diese Batteriezellspannungserfassung noch durch eine Spannungsbereichskontrolle ergänzt werden, mit der überwacht wird, ob die Batteriezellspannung sich innerhalb des spezifizierten zulässigen Bereichs, der sich beispielsweise zwischen 2,8 V bis 4,2 V erstreckt.

[0033] Ferner oder alternativ umfasst die Sensorvorrichtung bevorzugt eine Batteriezellstromerfassung, mit der der elektrische Strom durch die elektrochemische Batteriezelle erfasst wird, und/oder eine Batteriezelltemperaturerfassung, mit der die Temperatur der elektrochemischen Batteriezelle erfasst wird. Besonders interessant ist die Temperatur des Zellwickels. Falls erforderlich kann die Außentemperatur und die Innentemperatur der Batteriezelle erfasst werden.

[0034] Auch umfasst die Sensorvorrichtung bevorzugt alternativ oder zusätzlich eine Druckerfassung, mit der der Innendruck einer Batteriezelle, insbesondere einer Lithium-Ionen Batteriezelle mit Hartschalen-Gehäuse (Hardcase Gehäuse), erfasst wird.

[0035] Weiterhin umfasst die Sensorvorrichtung bevorzugt alternativ oder zusätzlich Beschleunigungssensoren für die drei Raumachsen zur Erfassung von linearen Beschleunigungen der Batteriezelle. Weitere Sensorelemente können in Abhängigkeit von der Batteriezelltechnologie erforderlich sein oder gegebenenfalls sinnvoll sein, um die Genauigkeit oder Zuverlässigkeit der Batteriezustandserkennung zu verbessern und einen sicherheitsrelevanten Betrieb oder Zustand der Batteriezelle voraussagen zu können. So kann beispielsweise der Einsatz von Drehratsensoren (Drehbeschleunigungssensoren) sinnvoll sein, um eine fahrdynamisch kritische Situation zu erkennen und frühzeitig die Überführung der Batteriezellen in einen auch beim Auftreten eines einem Unfall sicheren Betriebsmodus einzuleiten.

[0036] Aus den Sensorelementensignalen für die Spannung, Strom, Temperatur, und Innendruck der Batteriezelle kann mittels einer erfindungsgemäßen

Batteriezustandserkennung ermittelt werden, ob die Batteriezelle sich in einem kritischen Zustand befindet beziehungsweise in einen kritischen Zustand kommen wird. Für die Batteriezustandserkennung und -Prädiktion können in vorteilhafter Weise modellbasierte Verfahren beziehungsweise Auswertungen zum Einsatz kommen.

[0037] Des Weiteren ist die Aktorvorrichtung beziehungsweise die Sicherheitsaktorik dazu ausgebildet, die Batteriezelle wieder in einen sicheren Zustand zu überführen beziehungsweise in einem sicheren Bereich zu halten.

[0038] Dazu ist die Sicherheitsaktorik einer eigensicheren Batteriezelle, insbesondere einer Lithium-Ionen-Batteriezelle, bevorzugt in der Lage, die Batteriezelle entladen zu können. Die Anforderungen an die dabei zu realisierenden Entladeströme sind abhängig von der verwendeten Batteriezellchemie und den Worst-Case-Betriebsbedingungen und Worst-Case-Fehlgebrauchsbedingungen (worst case misuse) oder Worst-Case-Missbrauchsbedingungen (worst case abuse), denen die Batteriezelle ausgesetzt werden kann. In vielen Fällen wird es erforderlich sein, die Entladevorrichtung mit einer Schnellentladevorrichtung (Ultra Fast Discharge Device (UFDD)) beziehungsweise mit einem Schnellentlademodus vorzusehen, um die Zelle eigensicher zu bekommen. Mit einer Schnellentladevorrichtung kann die Batteriezelle mit sehr hohen Entladeströmen nahe dem Kurzschlussstrom schnell entladen werden.

[0039] Die Möglichkeit zur Entladung der Batteriezelle ist für die Realisierung einer eigensicheren Batteriezelle, insbesondere einer Lithium-Ionen-Batteriezelle, eine bevorzugt notwendige Bedingung.

[0040] Ferner ist die Sicherheitsaktorik für die Realisierung einer eigensicheren Batteriezelle, insbesondere einer Lithium-Ionen Batteriezelle, bevorzugt in der Lage, einen Strombypass für die Batteriezelle schalten beziehungsweise aktivieren zu können. Über den Strombypass kann ein Strom zwischen den beiden Batteriezellterminals beziehungsweise Ausgangsterminals fließen, ohne dass dieser Strom durch die elektrochemische Batteriezelle fließt. Der Strombypass muss in der Lage sein, Ströme beider Polarität führen zu können.

[0041] Bei einer besonderen Ausführungsform der erfindungsgemäßen Batteriezelleinrichtung ist die Zustandsermittlungsvorrichtung dazu ausgebildet, den kritischen Batteriezellzustand, in dem die Batterie durch einen batteriezellextern liegenden Kurzschluss zwischen den Ausgangsterminals der Batteriezelle beschädigt werden kann, bei Vorliegen eines durch die Batteriezelle fließenden Stromes, der für eine vorbestimmte Zeit einen vorbestimmten zeitabhängigen Stromgrenzwert, insbesondere einen

vorbestimmten und mit zunehmender Betriebsdauer der Batteriezelle abnehmenden Stromgrenzwert, überschreitet, zu ermitteln. Vorzugsweise ist der vorbestimmte zeitabhängige Stromgrenzwert während des Betriebes der Batteriezelle in Abhängigkeit von weiteren Parametern, insbesondere in Abhängigkeit von dem Batteriezellladezustand und/oder von der Batteriezelltemperatur, einstellbar. Ferner ist die Aktorvorrichtung dazu ausgebildet, bei Vorliegen des kritischen Batteriezellzustandes die Batteriezelle mittels einer Aktivierung des Strombypasses in den Kurzschlussbetriebsmodus zu überführen.

[0042] Mit anderen Worten kann die erfindungsgemäße Kurzschluss sicherheitsfunktion zwei Teilfunktionen aufweisen, wobei die erste der zwei Teilfunktionen (Funktionsblöcke) der integrierten Kurzschluss sicherheitsfunktion eine Sicherungskennlinie $I(t)$ umfasst, mit der ein Strom-Zeit-Auslöseverhalten realisiert werden kann. Überschreitet der Batteriezellstrom für eine gewisse Zeit einen Stromgrenzwert, der mit zunehmender Dauer abnimmt, wird ein Kurzschluss beziehungsweise ein Überstrom erkannt, und der Strombypass beziehungsweise die Strombypassfunktion wird aktiviert. Die Auslösekennlinie kann dabei beliebig vorgegeben werden, das heißt, dass insbesondere nicht auf die Eigenschaften einer Schmelzsicherung Rücksicht genommen werden muss. Dies stellt eine erhebliche Verbesserung gegenüber dem Stand der Technik dar. Zusätzlich kann die Auslösekennlinie bei Bedarf auch in Abhängigkeit von weiteren Parametern, wie beispielsweise dem Batterieladezustand und der Batteriezelltemperatur, während des Betriebes der Batteriezelle adaptiert werden. Auf diese Weise kann erreicht werden, dass die Kurzschluss sicherheitsfunktion die Batteriezelle hinsichtlich der Nutzung ihrer Leistungsfähigkeit nicht eingeschränkt wird. Das bedeutet, dass die Leistungsfähigkeit der Batteriezelle durch die Kurzschluss sicherheitsfunktion nicht beeinträchtigt wird, da die vorhin genannte Sicherungskennlinie $i(t)$ beliebig vorgegeben werden kann. Dabei müssen beispielsweise die Restriktionen einer Schmelzsicherung nicht in Kauf genommen werden.

[0043] Bei einer besonderen Ausführungsform der erfindungsgemäßen Batteriezeleinrichtung ist die Zustandsermittlungsvorrichtung dazu ausgebildet, den kritischen Batteriezellzustand, in dem die Batterie durch einen batteriezellextern liegenden Kurzschluss zwischen den Ausgangsterminals der Batteriezelle beschädigt werden kann, bei Vorliegen eines durch die Batteriezelle fließenden Stromes, der einen vorbestimmten Kurzschlussstromgrenzwertes übersteigt, und bei gleichzeitigem Vorliegen einer mittels einer Auswertung des zeitabhängigen Verlaufes und/oder der Zeitableitung des zeitabhängigen Verlaufes des durch die Batteriezelle fließenden Stromes bestimmten Änderungsgeschwindigkeit des durch die Batteriezelle fließenden Stromes, die

einen vorbestimmten Stromänderungsgeschwindigkeitsgrenzwert übersteigt, zu ermitteln.

[0044] Ferner kann die Zustandsermittlungsvorrichtung dazu ausgebildet sein, den kritischen Batteriezellzustand, in dem die Batterie durch einen batteriezellextern liegenden Kurzschluss zwischen den Ausgangsterminals der Batteriezelle beschädigt werden kann, bei Vorliegen eines durch die Batteriezelle fließenden Stromes, der einen vorbestimmten Kurzschlussstromgrenzwert übersteigt, und bei gleichzeitigem Vorliegen einer mittels einer Auswertung des zeitabhängigen Verlaufes und/oder der Zeitableitung des zeitabhängigen Verlaufes des Batteriezellspannung bestimmten Batteriezellspannungsänderungsgeschwindigkeit, die einen vorbestimmten Spannungsänderungsgeschwindigkeitsgrenzwert übersteigt, zu ermitteln. Weiterhin ist die Aktorvorrichtung bevorzugt dazu ausgebildet, bei Vorliegen des kritischen Batteriezellzustandes die Batteriezelle mittels einer Aktivierung des Strombypasses in den Kurzschlussmodus zu überführen.

[0045] Anders ausgedrückt realisiert eine zweite der zwei Teilfunktionen (Funktionsblöcke) der integrierten Kurzschluss sicherheitsfunktion optional eine zusätzliche Kurzschlusserkennung.

[0046] Ausgehend von den zeitlichen Verläufen der Batteriezellspannung und des Batteriezellstroms sowie gegebenenfalls zusätzlich auch von den entsprechenden zeitlichen Ableitungen wird bevorzugt detektiert, ob eine plötzliche starke Änderung dieser Größen auftritt. Bei Vorliegen von sehr schnellen Änderungen dieser Größen und einer gleichzeitigen Überschreitung eines Stromgrenzwertes wird sofort auf einen externen Kurzschluss der Batteriezelle geschlossen und der Strombypass aktiviert. Diese zweite Teilfunktion der Kurzschluss sicherheitsfunktion ist insbesondere für sehr niederohmige elektrische Kurzschlüsse vorgesehen und ermöglicht gegebenenfalls eine schnellere Aktivierung des Strombypass, da aufgrund der Auswertung des Batteriezellstroms und des Batteriezellspannung die Kurzschluss situation schneller plausibilisiert werden kann.

[0047] Vorzugsweise ist die erfindungsgemäße Aktorvorrichtung dazu ausgebildet, die Entladevorrichtung zum Entladen der in den Kurzschlussbetriebsmodus überführten Batteriezelle zu aktivieren.

[0048] Mit der beschriebenen, insbesondere integrierten Kurzschluss sicherheitsfunktion kann eine erfindungsgemäße Batteriezeleinrichtung, insbesondere eine eigensichere Batteriezelle, alle erforderliche Maßnahmen, um die Batteriezelle gegenüber einem externen Kurzschluss hinsichtlich des Auftretens einer sicherheitskritischen Situation zu schützen, selbst durchführen und ist nicht auf die Funktio-

nalität eines übergeordneten Batteriemangement-systems angewiesen. Dies stellt in Verbindung mit der Flexibilität bei der Definition der beliebig vorgebaren Sicherungskennlinie (Auslösekennlinie) i(t) der Kurzschluss sicherheitsfunktion eine erhebliche Verbesserung gegenüber dem Stand der Technik dar.

[0049] Bevorzugt umfasst das erfindungsgemäße Verfahren die funktionellen Merkmale der erfindungsgemäßen Batteriezelleinrichtung einzeln oder in Kombination.

[0050] Insbesondere umfasst da Verfahren dabei bevorzugt Schritte, bei denen ein Strombypass geschaltet wird, sobald ein Kurzschluss erkannt oder ein Batteriestrom oder Batteriezellstrom eine parameter-abhängige Sicherungskennlinie überschreitet.

[0051] Ein anderer wesentlicher Aspekt der Erfindung betrifft ein Fahrzeug mit einem Batteriesystem, das eine Batterie mit mehreren erfindungsgemäßen Batteriezelleinrichtungen und ein Batteriemangementssystem, das dazu ausgebildet ist, mit den in den Batteriezelleinrichtungen angeordneten Überwachungs vorrichtungen zu kommunizieren, umfasst.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0052] Nachfolgend werden Ausführungsbeispiele der Erfindung unter Bezugnahme auf die begleitende Zeichnung im Detail beschrieben. In der Zeichnung ist:

[0053] Fig. 1 das Prinzipschaltbild eines aus dem Stand der Technik bekannten Batteriesystems mit einer Traktionsbatterie,

[0054] Fig. 2 ein Diagramm, dass die Fehlermechanismen einer aus dem Stand der Technik bekannten Lithium-Ionen-Batterie darstellt, die zu einem thermischen Durchgehen dieser Lithium-Ionen-Batterie führen können,

[0055] Fig. 3 das Prinzipschaltbild eines aus dem Stand der Technik bekannten Batteriesystems mit einer aus mehreren Batteriezellen ausgebildeten Traktionsbatterie und einem Batteriemangementssystem,

[0056] Fig. 4 das Prinzipschaltbild einer Batteriezelleinrichtung nach einer ersten Ausführungsform der Erfindung,

[0057] Fig. 5 ein Ablaufdiagramm einer modellbasierten Zustandsermittlung und Prädiktion, mit der die erfindungsgemäße Erkennung und/oder Vorhersage eines Batteriezellzustandes ausgeführt werden kann, nach einer Ausführungsform der Erfindung, und

[0058] Fig. 6 ein Ablaufdiagramm einer Sicherheitsfunktionalität einer eigensicheren Batteriezelle, die

mit der erfindungsgemäßen Kurzschluss sicherheitsfunktion ausgestattet ist.

Ausführungsformen der Erfindung

[0059] In der Fig. 4 ist das Prinzipschaltbild einer eigensicheren Batteriezelleinrichtung **221** nach einer ersten Ausführungsform der Erfindung dargestellt. Die elektrisch eigensichere Batteriezelleinrichtung **221** umfasst eine Batteriezelle **21**, insbesondere eine Lithium-Ionen-Batteriezelle, und eine Überwachungs vorrichtung (Überwachungselektronik) zum Überwachen der Batteriezelle **21**. Die Überwachungs vorrichtung umfasst eine Sensorvorrichtung (Sensorik) **240** zur Erfassung physikalischer Größen zur Ermittlung des Zustandes der Batteriezelle, eine Zustandsermittlungsvorrichtung **250** (Batteriezellzustandserkennung und -Prädiktion), die aus den Sensorsignalen den aktuellen Batteriezellzustand **21** insbesondere hinsichtlich ihrer Sicherheit erkennt und auch das zukünftige Verhalten der Batteriezelle **21** vorhersagen beziehungsweise prädictieren kann, und eine Aktorvorrichtung (Sicherheitsaktorik) **260**, mit der die Batteriezelle **21** beim Erkennen eines kritisch werdenden Batteriezellzustands in einen sicheren Betriebsmodus überführt werden kann.

[0060] Dabei ist die Sensorvorrichtung **240** dazu ausgebildet, die Batteriezellspannung zu erfassen und zu überwachen, und einen durch die Batteriezelle fließenden Strom, eine Batteriezelltemperatur, und einen Batteriezellinnendruck zu erfassen. Ferner ist die Sensorvorrichtung **240** dazu ausgebildet, eine lineare Beschleunigung und/oder eine Drehbeschleunigung der Batteriezelle **21** zu erfassen.

[0061] In der Batteriezelleinrichtung **221** ist ferner eine Entladevorrichtung (nicht separat dargestellt) angeordnet, die mittels der die Aktorvorrichtung **260** aktiviert werden kann. Die Entladevorrichtung ist dazu vorgesehen ist, in einem aktivierten Entlademodus die Batteriezelle **21** mittels moderater Entladeströme und/oder in einem aktivierten Schnellentlademodus die Batteriezelle mittels hoher Entladeströme nahe dem Kurzschlussstrom zu entladen.

[0062] Ferner sind in der Batteriezelleinrichtung **221** Sicherheitsfunktionen, insbesondere eine Kurzschluss sicherheitsfunktion **270** integriert, die von der Überwachungs vorrichtung bereitgestellt werden und die Batteriezelle **21** bei Vorliegen eines kritischen oder kritisch werdenden Batteriezellzustand sofort in einen sicheren Betriebsmodus überführen können. Mittels der Kurzschluss sicherheitsfunktion **270** kann die Batteriezelle **21** bei Vorliegen eines batteriezellextern liegenden Kurzschlusses in einen sicheren Kurzschlussbetriebsmodus, in dem die Batteriezelle **21** zwischen ihren beiden Batteriezellterminals **222**, **223** eine Spannung von 0 V abgibt, versetzt werden.

[0063] Wesentlich für die Kurzschlussfunktion ist, dass die Aktorvorrichtung (Aktorik) **260** den Strombypass aktivieren beziehungsweise schalten kann und dass die Batteriezelle **21** über die Entladevorrichtung (Discharge Device) entladen werden kann.

[0064] Optional umfasst die Überwachungsvorrichtung der erfindungsgemäßen Batteriezelleinrichtung **221** eine Spannungseinstellvorrichtung (Schaltaktorik) **280**, die dazu ausgebildet ist, die Ausgangsspannung der Batteriezelle **21** derartig zu schalten, dass die Batteriezelle **21** an den Batteriezellterminals **222**, **223** die Batteriezellspannung in positiver Orientierung ($+U_{\text{Batteriezelle}}$) oder keine Spannung (0V) oder die Batteriezellspannung in negativer Orientierung ($-U_{\text{Batteriezelle}}$) abgeben kann. Einfach ausgedrückt kann die Ausgangsspannung der Batteriezelle **21** mittels der Spannungseinstellungsvorrichtung **280** auf die Spannungswerte $+U_{\text{Batteriezelle}}$, 0V und gegebenenfalls auch noch $-U_{\text{Batteriezelle}}$ geschaltet werden.

[0065] Bei der in der Fig. 4 dargestellten erfindungsgemäßen Batteriezelleinrichtung **221**, die, wenn die erfindungsgemäße Überwachungselektronik in der Batteriezelle **21** integriert wird, als eigensichere Batteriezelle bezeichnet wird, können die bisher eingesetzten Überladesicherheitsvorrichtungen (Overcharge Safety Devices (OSDs)) und Batteriezellsicherungen (Cell Fuses) entfallen und die zur Erhöhung der Sicherheit bei mechanischer Deformierung oder Penetration eingesetzten Maßnahmen wie beispielsweise das Ausstatten der Batteriezellen mit einer Nageleindringsicherheitsvorrichtung (Nail Penetration Safety Device (NSD)) entweder ebenfalls entfallen oder zumindest wesentlich einfacher ausgeführt werden, da deutlich geringere Anforderungen an diese Maßnahmen gestellt werden. Dies stellt gegenüber dem Stand der Technik eine erhebliche Verbesserung dar. Die UN Transporttests werden für die erfindungsgemäße Batteriezelleinrichtung **221** beziehungsweise für die eigensichere Batteriezelle **21**, das heißt für die Batteriezelle **21** mit der zugehörigen Sensorvorrichtung (Sensorik) **240** und Aktorvorrichtung (Sicherheitsaktorik) **250** durchgeführt. Die Batteriezelle **21** darf dann zusammen mit der dazugehörigen Sensorvorrichtung (Sensorik) **240** und Aktorvorrichtung (Sicherheitsaktorik) **250** transportiert werden. Das bedeutet, dass die Batteriezelle **21** nur als eine in der Batteriezelleinrichtung **221** angeordnete Batteriezelle **21** oder als eigensichere Batteriezelle mit integrierter Überwachungselektronik transportiert werden darf.

[0066] Mit solchen erfindungsgemäßen Batteriezelleinrichtungen, die jeweils so wie die in der Fig. 4 dargestellten Batteriezelleinrichtung **221** ausgebildet sind, können Batteriesysteme aufgebaut werden, bei denen wesentlich geringere Anforderungen an das zugeordnete Batteriemanagementsystem gestellt werden. Die Elektronik eines solchen Batterie-

managementsystems kann dann voraussichtlich mit den üblichen Qualitätssicherungsmaßnahmen entwickelt werden (ASIL-Einstufung QM) und muss nicht ASIL C erfüllen.

[0067] Mit solchen erfindungsgemäßen Batteriezelleinrichtungen, die jeweils so wie die in der Fig. 4 dargestellten Batteriezelleinrichtung **221** ausgebildet sind, sind nicht auf den Einsatz von Lithium-Ionen-Batteriezellen **21** beschränkt und können auch für andere Batteriezelltechnologien, wie beispielsweise für Nickel-Metallhydrid-Batteriezellen, eingesetzt werden

[0068] In der Fig. 5 wird das Ablaufdiagramm einer modellbasierten Zustandsermittlung und -prädiktion gezeigt, mit der die erfindungsgemäße Erkennung und/oder Vorhersage eines Batteriezellzustandes ausgeführt werden kann. Die Zustandsermittlung **510** wird an einer Batterie **20** durchgeführt, in der eine Mehrzahl der erfindungsgemäßen Batteriezelleinrichtungen **221** angeordnet sein können. Die Zustandsermittlung **510** wird von der erfindungsgemäßen Zustandsermittlungsvorrichtung **250** durchgeführt, die als Beobachter fungiert und ein Batteriemodell **507** mit Parameteradaption implementiert. Wie in Fig. 5 gezeigt wird, erhält das Batteriemodell **507** aktuelle Messwerte von unterschiedlichen, die Batterie **20** betreffenden physikalischen Größen. Diese umfassen insbesondere einen aktuellen Batteriezellstrom I_{Batt} , eine Batteriezelltemperatur T_{Batt} und einen Batteriezellinnendruck P_{Batt} . Von der Zustandsermittlungsvorrichtung wird mit Hilfe des Batteriemodells **507** ein aktueller Batteriezustand ermittelt. Das Batteriemodell **507** und der daraus ermittelte Zustand werden laufend anhand von aktuellen Messwerten überprüft. So kann beispielsweise eine modellbasierte Batteriezellspannung U_{Mod} mit einer gemessenen aktuellen Batteriespannung U_{Batt} verglichen werden. Anhand des Vergleichs und einer dabei festgestellten Abweichung kann das angewandte Batteriemodell **507** entsprechend angepasst werden.

[0069] Das Batteriemodell liefert außerdem Einschätzungen oder berechnete Werte über einen Ladezustand (SOC) **501**, einen Alterungszustand (SOH) **502**, und einen Sicherheitszustand **503**, die zur Verarbeitung im Rahmen der Batteriezustandsprädiktion **511** als Eingangsgrößen an ein weiteres Batteriemodell **509** mit Zustandsprädiktion übergeben werden. Die Batteriezustandsprädiktion erhält ferner weitere, für die Genauigkeit der Vorhersage relevante Informationen **508**, die insbesondere Lastprofile und Randbedingungen umfassen. Beispielsweise können die Informationen gespeicherte Werte mit dem zeitlichen Verlauf eines Ladestroms $I(t)$ enthalten, die als weiterer Parameter in das weitere Batteriemodell **509** einfließen. Mit Hilfe des weiteren Batteriemodells **509** werden daraufhin die Eingangsdaten **501**, **502**, **503**, $I(t)$ verarbeitet und Vor-

hersagen ausgegeben. Insbesondere werden Vorhersagen über die Batterieleistung **504** über die in der Batterie **20** gespeicherte Energie **505**, den Funktionszustand (SOF) **506** der Batterie **20**, und/oder den vorhersehbaren Sicherheitszustand **503** der Batterie **20** getroffen. Auf diese Weise können der vorhersehbare Sicherheitszustand **512** oder der aktuelle Sicherheitszustand **503** Aufschluss darüber geben, ob ein normaler Betriebszustand der Batterie **20** vorliegt, oder ob sich die Batterie **20** in einem kritischen Zustand befindet.

[0070] In der Fig. 6 ist ein Ablaufdiagramm einer Sicherheitsfunktionalität einer eigensicheren Batteriezelle **21** gezeigt, die mit der erfindungsgemäßen Kurzschlussicherheitsfunktion **270** ausgestattet ist. Die Kurzschlussicherheitsfunktion **270** umfasst Mittel und Maßnahmen zum Schutz der Batteriezelle **21** vor einem externen Kurzschluss und weist nach in der in Fig. 6 gezeigten Ausführungsform zwei Teilfunktionen **601**, **602** auf. Die erste Teilfunktion **601** beziehungsweise ein erster Funktionsblock **601** umfasst die Berücksichtigung einer oder mehrerer Sicherungskennlinien **604**, womit ein Strom-Zeit-Auslöseverhalten realisiert werden kann. Überschreitet der Zellstrom $I(t)$ für eine gewisse Zeit einen Grenzwert, der mit zunehmender Dauer abnimmt, so wird erfindungsgemäß ein Kurzschluss beziehungsweise ein Überstrom erkannt, woraufhin eine Strombypassfunktion **603** aktiviert wird. Die jeweilige Sicherungskennlinie **604** beziehungsweise Auslösekennlinie **604** kann dabei beliebig vorgegeben werden, wobei insbesondere nicht auf die Eigenschaften einer Schmelzsicherung Rücksicht genommen werden muss. Dies stellt eine erhebliche Verbesserung gegenüber dem Stand der Technik dar. Zusätzlich kann die Sicherungskennlinie **604** bei Bedarf während des Betriebs der Batteriezelle **21** auch adaptiert werden, vorzugsweise in Abhängigkeit von weiteren Parametern, wie beispielsweise einem Ladezustand SOC oder der Temperatur T der Batteriezelle **21**, wie aus der in Fig. 6 gezeigten Schar von Sicherungskennlinien **604** ersichtlich. Auf diese Weise kann erreicht werden, dass die Kurzschlussicherheitsfunktion **270** hinsichtlich der Nutzung ihrer Leistungsfähigkeit während des Betriebs nicht einschränkt.

[0071] Die zweite Teilfunktion **602** beziehungsweise ein zweiter Funktionsblock **602** realisiert zusätzlich optional eine Kurzschlusserkennung. Dazu wird ausgehend von den zeitlichen Verläufen der Batteriezellspannung $U(t)$ und des durch die Batteriezelle **21** fließenden Stroms $I(t)$ sowie gegebenenfalls zusätzlich der zeitlichen Ableitungen der Batteriezellspannung $dU(t)/dt$ und des Batteriezellestroms $dI(t)/dt$ detektiert, ob eine plötzliche starke Änderung dieser Größen $U(t)$, $I(t)$ auftritt. Bei sehr schnellen Änderungen dieser Größen $U(t)$, $I(t)$ und gleichzeitiger Überschreitung eines Stromgrenzwertes kann sofort auf einen Kurzschluss der Batteriezelle geschlossen

werden und der Strombypass **603** aktiviert werden. Diese Funktion ist insbesondere für sehr niederohmige elektrische Kurzschlüsse vorgesehen und ermöglicht gegebenenfalls eine schnellere Aktivierung des Strombypass **603**, da aufgrund der Auswertung von Batteriezellstrom $I(t)$ und Batteriezellspannung $U(t)$ die Kurzschlussituation schneller plausibilisiert werden kann.

[0072] Erfindungsgemäß werden die Batteriezellen oder Batteriemodule dabei derart angesteuert, dass sich deren Betriebsparameter innerhalb der jeweiligen Grenzwerte befinden, die für einen sicheren Betrieb notwendig sind.

[0073] So werden Lithium-Ionen-Batteriezellen typischerweise innerhalb eines Spannungsbereichs U_{min} bis U_{max} von 2,8 V bis 4,2 V, oder bevorzugt 3,0 V bis 4,2 V Volt betrieben. Dies gilt insbesondere für sicherheitsrelevante für Werte U_{min_safety} oder U_{max_safety} . Diese Angaben gelten jedoch für die zu messenden Spannungen U Batteriezelle im Leerlauf, das heißt, wenn kein Strom durch die Batteriezelle fließt. Dabei sind diese Grenzwerte unbedingt zu beachten, da ansonsten die Elektroden Beschädigungen erleiden können.

[0074] Die Leerlaufspannung der Batteriezellen hängt im Wesentlichen von deren Ladezustand ab. Dabei wird typischerweise bei einer Spannung $U_{Batterie}$ von 2,8 V ein Ladezustand SOC von 0%, bei 3,5 V ein Ladezustand von 20%, und bei 4,2 V ein Ladezustand von 100% angenommen, wobei diese Werte jeweils von Art und Material der Kathode, der Anode, und/oder des verwendeten Elektrolyts abhängen.

[0075] Wenn ein Strom durch eine Batteriezelle fließt, können die Batteriezellspannungen $U_{Batterie}$ von den obigen Zahlenangaben abweichen. Angenommen, die Leerlaufspannung betrage 3,5 V, und der Innenwiderstand der Batteriezelle bei 25 °C sei 10 mΩ. Bei einem Ladestrom von 100 A ergäbe das dann einen zu messenden Spannungswert $U_{Batterie}$ von $3,5 \text{ V} + 1,0 \text{ V} = 4,5 \text{ V}$. Bei einer Temperatur von 0 °C beträgt der Innenwiderstand der Batteriezelle beispielhaft jedoch bis zu 50 mΩ, was bei einem beispielhaften Entladestrom von 50 A einen Spannungswert $U_{Batterie}$ von $3,5 \text{ V} \text{ minus } 2,5 \text{ V} = 1,0 \text{ V}$ ergäbe. Aufgrund der angewandten Ansteuerung und der verwendeten Sensoren werden diese Spannungswerte bei Raumtemperatur beziehungsweise bei 0 °C aber nicht erreicht. Allgemein können im Betrieb der Batteriezellen der Wert für U_{max} zwischen 4,2 V und 5,0 V liegen und der Wert für U_{min} zwischen 1,5 V und 4,2 V, vorzugsweise zwischen 1,8 V und 4,15 V, diese Werte beziehen sich jedoch nicht auf die Leerlaufspannung.

[0076] Die obigen Spannungswerte gelten für eine einzelne Batteriezelle. Für ein Batteriemodul kommt es darauf an, wie viele Zellen in Reihe oder parallel geschaltet sind. So liegt die zulässige Modul-Leerlaufspannung $U_{\text{Batteriemodul}}$ zwischen $n \times 2,8 \text{ V}$ bis $n \times 4,2 \text{ V}$, wobei n für die Anzahl der Batteriezellen steht, die miteinander in Reihe geschaltet sind.

[0077] Grenzwerte für Temperaturen bei Lithium-Ionen-Batteriezellen liegen etwa bei $T_{\text{min}} = -40 \text{ °C}$ und $T_{\text{max}} = 30 \text{ °C}$ bis 50 °C , bevorzugt 30 °C bis 45 °C , am meisten bevorzugt 35 °C bis 40 °C . Aus Sicherheitsaspekten sollte eine maximale Temperatur $T_{\text{max-safety}}$ von 46 °C bis 80 °C , bevorzugt 50 °C bis 60 °C nicht überschritten werden. Ferner sollte die maximale Außentemperatur $T_{\text{außen}}$, bei der die Batteriezellen betrieben werden, 40 °C nicht übersteigen.

[0078] Die Batterieströme durch die Batteriezellen sollten nicht außerhalb eines Bereichs von -1000 A bis $+1000 \text{ A}$, bevorzugt -600 A bis $+600 \text{ A}$, noch mehr bevorzugt -500 A bis $+500 \text{ A}$, noch mehr bevorzugt -450 A bis $+450 \text{ A}$, und noch mehr bevorzugt -350 A bis $+350 \text{ A}$, liegen.

[0079] Der Innendruck einer Batteriezelle sollte den Druckbereich von 2 bar bis 8 bar, bevorzugt 3 bar bis 7 bar, nicht verlassen.

[0080] Die obige Diskussion wurde beispielhaft für Lithium-Ionen-Batteriezellen beziehungsweise Lithium-Ionen-Batteriemodule geführt, wobei die angegebenen Werte insbesondere für Lithium-Ionen-Batteriezellen mit Lithium-Mangan-Kobalt-Oxid als Aktivmaterial für die Kathode gelten. Jedoch ist die Erfindung jedoch nicht auf solche Batteriezellen, insbesondere nicht auf Lithium-Ionen-Batteriezellen beschränkt. In der Praxis hängen die Zahlenwerte der zu wählenden Betriebsparameter somit vom jeweiligen Batteriezelltyp ab.

[0081] Neben der voranstehenden schriftlichen Offenbarung wird hiermit zur weiteren Offenbarung der Erfindung ergänzend auf die Darstellung in den **Fig. 1** bis **Fig. 6** Bezug genommen.

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Nicht-Patentliteratur

- ISO 26262 [0019]

Patentansprüche

1. Batteriezeleinrichtung (221) mit einer Batteriezele (21) und einer ÜberwachungsVorrichtung zum Überwachen der Batteriezele (21), **dadurch gekennzeichnet**, dass die ÜberwachungsVorrichtung eine SensorVorrichtung (240) zur Erfassung von mehreren die Batteriezele (21) betreffenden physikalischen Größen, eine ZustandsermittlungsVorrichtung (250), die dazu ausgebildet ist, anhand einer insbesondere modellbasierten Auswertung von durch die SensorVorrichtung bereitgestellten aktuellen Messwerten der physikalischen Größen, einen aktuellen und/oder künftigen Batteriezellzustand zu erkennen und/oder vorherzusagen, und eine AktorVorrichtung (260), die dazu ausgebildet ist, die Batteriezele (21) aus einem kritischen und/oder kritisch werdenden Batteriezellzustand in einen sicheren Betriebsmodus zu überführen und/oder zu halten, umfasst und vorzugsweise eine KurzschlussSicherheitsfunktion (270) bereitstellt, mittels der durch die ZustandsermittlungsVorrichtung (250) ein kritischer Batteriezellzustand, in dem die Batteriezele (21) durch einen batteriezellextern liegenden Kurzschluss zwischen Ausgangsterminals (222, 223) der Batteriezeleinrichtung (21) beschädigt werden kann, ermittelt werden kann und die Batteriezele (21) bei Vorliegen des kritischen Batteriezellzustandes durch die AktorVorrichtung (260) in einen als sicheren Betriebsmodus ausgelegten Kurzschlussbetriebsmodus, in dem die Batteriezele (21) keine Spannung an den Ausgangsterminals (222, 223) der Batteriezeleinrichtung (221) abgibt, überführt und/oder gehalten wird.

2. Batteriezeleinrichtung (221) nach Anspruch 1, wobei die SensorVorrichtung (240) dazu ausgebildet ist, die Batteriezellspannung zu erfassen und/oder das Vorliegen einer Batteriezellspannung, deren Betrag sich in einem vorbestimmten Batteriezellspannungsbereich befindet, zu überwachen, und/oder einen durch die Batteriezele (21) fließenden Strom und/oder eine Batteriezelltemperatur und/oder eine Batteriezellinnentemperatur, insbesondere eine Batteriezellwickeltemperatur und/oder eine Batteriezellaußentemperatur, und/oder einen Batteriezellinnen- druck zu erfassen und/oder eine lineare Beschleunigung der Batteriezele und/oder eine Drehbeschleunigung der Batteriezele zu erfassen und/oder die AktorVorrichtung (260) dazu ausgebildet ist, zum Überführen der Batteriezele (21) in den sicheren Betriebsmodus und/oder zum Halten der Batteriezele (21) in dem sicheren Betriebsmodus eine in der Batteriezeleinrichtung (221) angeordnete EntladeVorrichtung zu aktivieren, die dazu vorgesehen ist, in einem aktivierten Entlademodus die Batteriezele (21) mittels eines vorbestimmten Entladestroms und/oder in einem aktivierten Schnellentlademodus die Batteriezele (21) mittels eines Entladestroms, der einen vorbestimmten Bruchteil eines Kurzschlussstromes der Batteriezele (21) beträgt, zu entladen, und/

oder einen in der Batteriezeleinrichtung (221) angeordneten Strombypass (603) zu aktivieren, der dazu vorgesehen ist, im aktivierten Zustand einen zwischen den Batteriezellterminals (222, 223) fließenden Strom über einen batteriezellextern liegenden Strompfad umzuleiten.

3. Batteriezeleinrichtung (221) nach Anspruch 2, wobei die ZustandsermittlungsVorrichtung (250) dazu ausgebildet ist, den kritischen Batteriezellzustand, in dem die Batteriezele (21) durch einen batteriezellextern liegenden Kurzschluss zwischen den Ausgangsterminals (222, 223) der Batteriezeleinrichtung (221) beschädigt werden kann, bei Vorliegen eines durch die Batteriezele (21) fließenden Stromes, der für eine vorbestimmte Zeit einen vorbestimmten zeitabhängigen Stromgrenzwert, insbesondere einen vorbestimmten und mit zunehmender Betriebsdauer der Batteriezele (21) abnehmenden Stromgrenzwert und/oder einen vorbestimmten zeitabhängigen Stromgrenzwert, der in Abhängigkeit von weiteren Parametern, insbesondere in Abhängigkeit von dem Batteriezellladezustand und/oder Batteriezelltemperatur, während des Betriebes der Batteriezele (21) einstellbar ist, überschreitet, zu ermitteln und/oder die AktorVorrichtung (260) dazu ausgebildet ist, bei Vorliegen des kritischen Batteriezellzustandes die Batteriezele (21) mittels einer Aktivierung des Strombypasses (603) in den Kurzschlussbetriebsmodus zu überführen.

4. Batteriezeleinrichtung (221) nach einem der Ansprüche 2 oder 3, wobei die ZustandsermittlungsVorrichtung (250) dazu ausgebildet ist, den kritischen Batteriezellzustand, in dem die Batteriezele (21) durch einen batteriezellextern liegenden Kurzschluss zwischen den Ausgangsterminals (222, 223) der Batteriezeleinrichtung (221) beschädigt werden kann, bei Vorliegen eines durch die Batteriezele (21) fließenden Stromes, der einen vorbestimmten Kurzschlussstromgrenzwert übersteigt, und bei gleichzeitigen Vorliegen einer mittels einer Auswertung des zeitabhängigen Verlaufes und/oder der Zeitableitung des zeitabhängiges Verlaufes des durch die Batteriezele (21) fließenden Stromes bestimmten Änderungsgeschwindigkeit des durch die Batteriezele (21) fließenden Stromes, die einen vorbestimmten Stromänderungsgeschwindigkeitsgrenzwert übersteigt, und/oder einer mittels einer Auswertung des zeitabhängigen Verlaufes und/oder der Zeitableitung des zeitabhängiges Verlaufes des Batteriezellspannung bestimmten Batteriezellspannungsänderungsgeschwindigkeit, die einen vorbestimmten Spannungsänderungsgeschwindigkeitsgrenzwert übersteigt, zu ermitteln.

5. batteriezeleinrichtung (221) nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei die AktorVorrichtung (260) dazu ausgebildet ist, die EntladeVorrichtung zum Entladen der die in den Kurzschlussbe-

triebsmodus überführte Batteriezelle (21) zu aktivieren.

6. Verfahren zum Überwachen einer in einer Batteriezelleinrichtung (221) angeordneten Batteriezelle (21) mittels einer in der Batteriezelleinrichtung (221) angeordneten Überwachungs Vorrichtung, **dadurch gekennzeichnet**, dass mehrere physikalische Größen zum Ermitteln eines Batteriezellzustandes mittels einer in der Überwachungs Vorrichtung angeordneten Sensorvorrichtung (240) erfasst werden, ein aktueller und/oder künftiger Batteriezellzustand mittels einer in der Überwachungs Vorrichtung angeordneten Zustandsermittlungsvorrichtung (250) anhand einer insbesondere modelbasierten Auswertung der von der Sensorvorrichtung (240) bereitgestellten aktuellen Messwerte der physikalischen Größen erkannt und/oder vorhergesagt wird, bei Vorliegen eines kritischen und/oder kritisch werdenden Batteriezellzustandes die Batteriezelle (21) mittels einer in der Überwachungs Vorrichtung angeordneten Aktorvorrichtung (260) in einen sicheren Betriebsmodus überführt wird, und von der Überwachungs Vorrichtung vorzugsweise eine Kurzschluss sicherheitsfunktion (270) bereitgestellt wird, mittels der das Auftreten eines kritischen Batteriezellzustandes, in dem die Batteriezelle (21) durch einen batteriezellextern liegenden Kurzschluss zwischen Ausgangsterminals (222, 223) der Batteriezelleinrichtung (221) beschädigt werden kann, durch die Zustandsermittlungsvorrichtung (250) ermittelt wird, und bei Vorliegen des kritischen Batteriezellzustandes die Batteriezelle (21) durch die Aktorvorrichtung (260) in einen als sicheren Betriebsmodus ausgelegten Kurzschlussbetriebsmodus, in dem die Batteriezelle (21) keine Spannung an den Ausgangsterminals (222, 223) der Batteriezelleinrichtung (221) abgibt, überführt und/oder gehalten wird.

7. Verfahren nach Anspruch 6, wobei das Auftreten eines batteriezellextern liegenden Kurzschlusses zwischen den Ausgangsterminals (222, 223,) der Batteriezelleinrichtung (221) bei Vorliegen eines durch die Batteriezelle (21) fließenden und mittels der Sensorvorrichtung (240) erfassten Stromes, der für eine vorbestimmte Zeit einen vorbestimmten zeitabhängigen Stromgrenzwert, insbesondere einen vorbestimmten und mit zunehmender Betriebsdauer der Batteriezelle (21) abnehmenden Stromgrenzwert und/oder einen vorbestimmten zeitabhängigen Stromgrenzwert, der in Abhängigkeit von weiteren Parametern, insbesondere in Abhängigkeit von dem Batteriezellladezustand (SOC) und/oder Batteriezelltemperatur (T), während des Betriebes der Batteriezelle (21) einstellbar ist, überschreitet, mittels der Zustandsermittlungsvorrichtung (250) erkannt wird.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 oder 7, wobei das Auftreten eines batteriezellextern liegenden Kurzschlusses zwischen den Ausgangster-

minals (222, 223) der Batteriezelleinrichtung (221) bei Vorliegen eines durch die Batteriezelle (21) fließenden und mittels der Sensorvorrichtung (240) erfassten Stromes, der eine einen vorbestimmten Kurzschlussstromgrenzwertes übersteigt, und bei gleichzeitigen Vorliegen einer mittels einer Auswertung des zeitabhängigen Verlaufes und/oder der Zeitableitung des zeitabhängiges Verlaufes des durch die Batteriezelle (21) fließenden Stromes ermittelten Änderungsgeschwindigkeit des durch die Batteriezelle (21) fließenden Stromes, der einen vorbestimmten Stromänderungsgeschwindigkeitsgrenzwert übersteigt, und/oder einer mittels einer Auswertung des zeitabhängigen Verlaufes und/oder der Zeitableitung des zeitabhängiges Verlaufes des mittels der Sensorvorrichtung (240) erfassten Batteriezellspannung ermittelten Batteriezellspannungsänderungsgeschwindigkeit, die einen vorbestimmten Spannungsänderungsgeschwindigkeitsgrenzwert übersteigt, mittels der Zustandsermittlungsvorrichtung ermittelt wird.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 bis 8, wobei die in den Kurzschlussbetriebsmodus überführte Batteriezelle (21) über eine in der Batteriezelleinrichtung (221) angeordnete und mittels der Aktorvorrichtung (260) aktivierten Entladevorrichtung entladen wird.

10. Fahrzeug mit einem Batteriesystem, das eine Batterie mit mehreren Batteriezelleinrichtungen (221) nach einem der Ansprüche 1 bis 5 und ein Batteriemanagementsystem, das dazu ausgebildet ist, mit den in den Batteriezelleinrichtungen (221) angeordneten Überwachungs Vorrichtungen zu kommunizieren, umfasst.

Es folgen 6 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

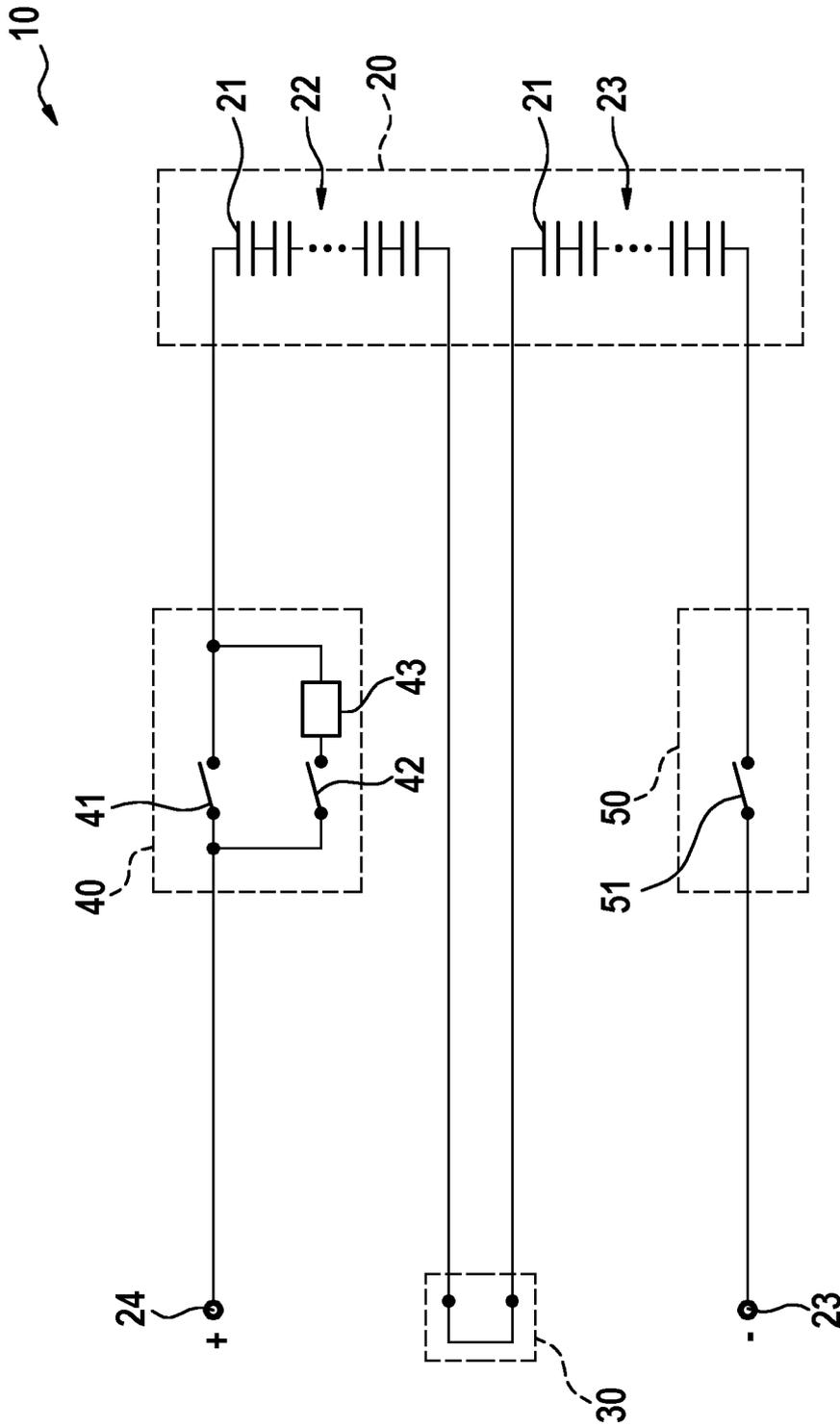


Fig. 1
(Stand der Technik)

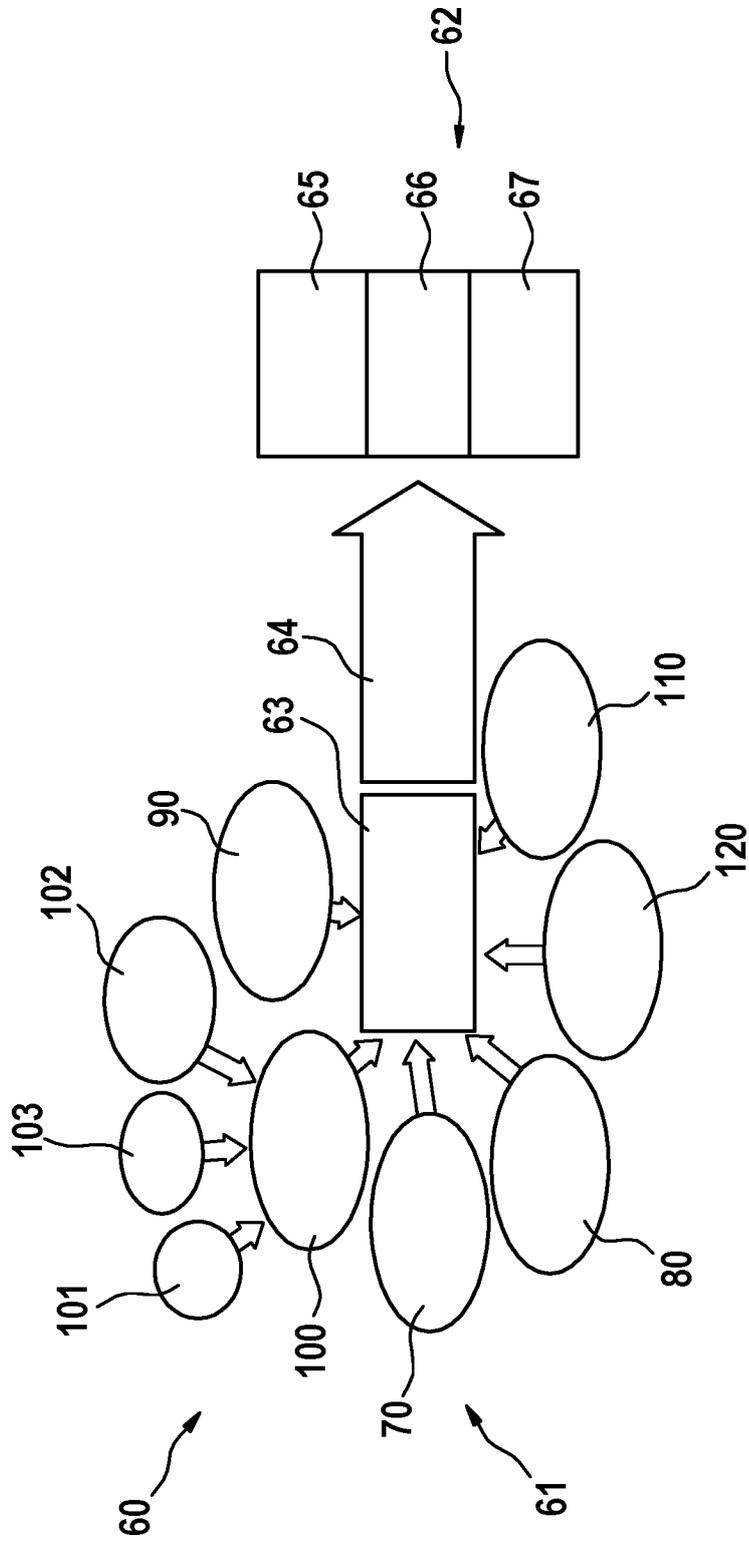


Fig. 2
(Stand der Technik)

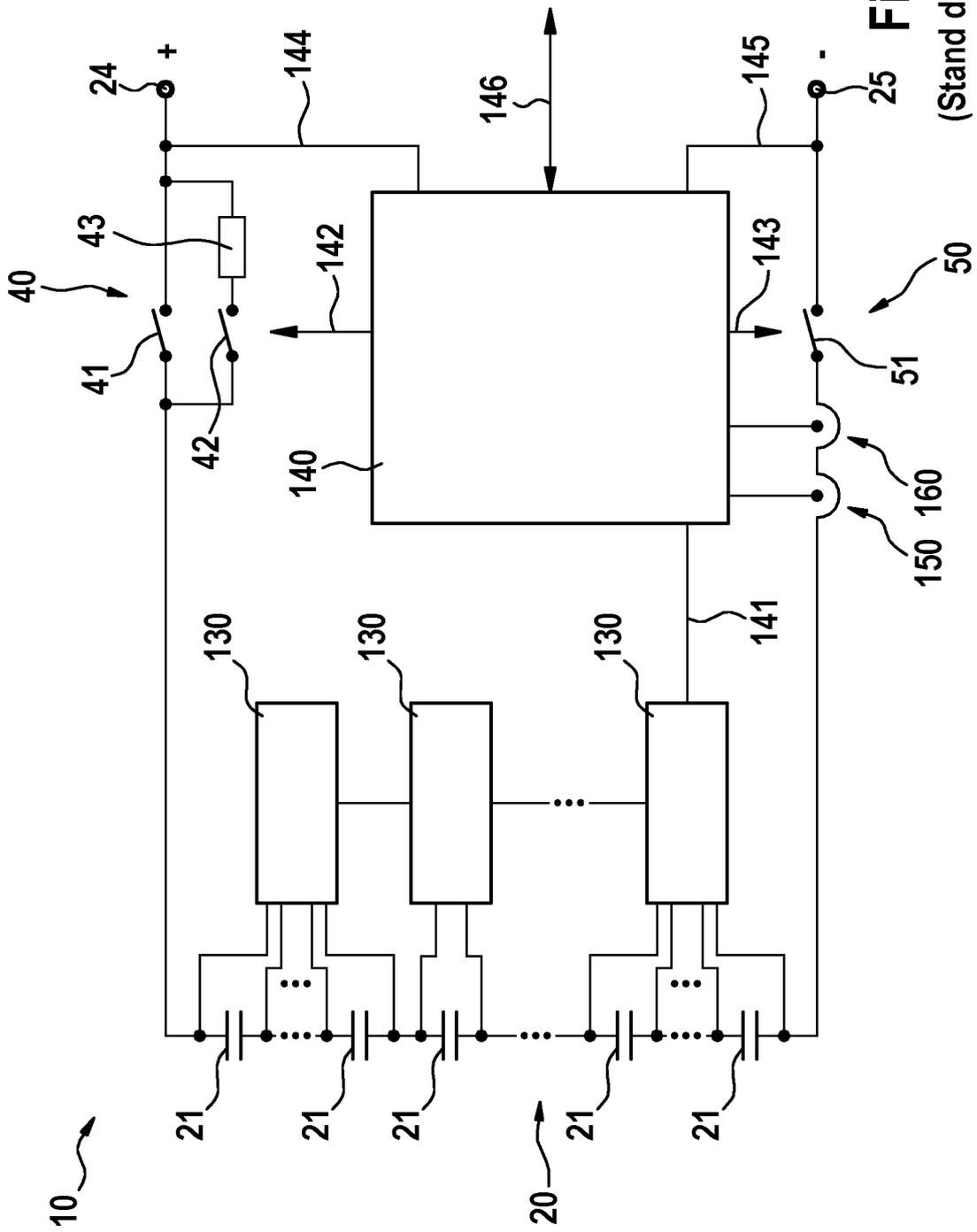


Fig. 3
(Stand der Technik)

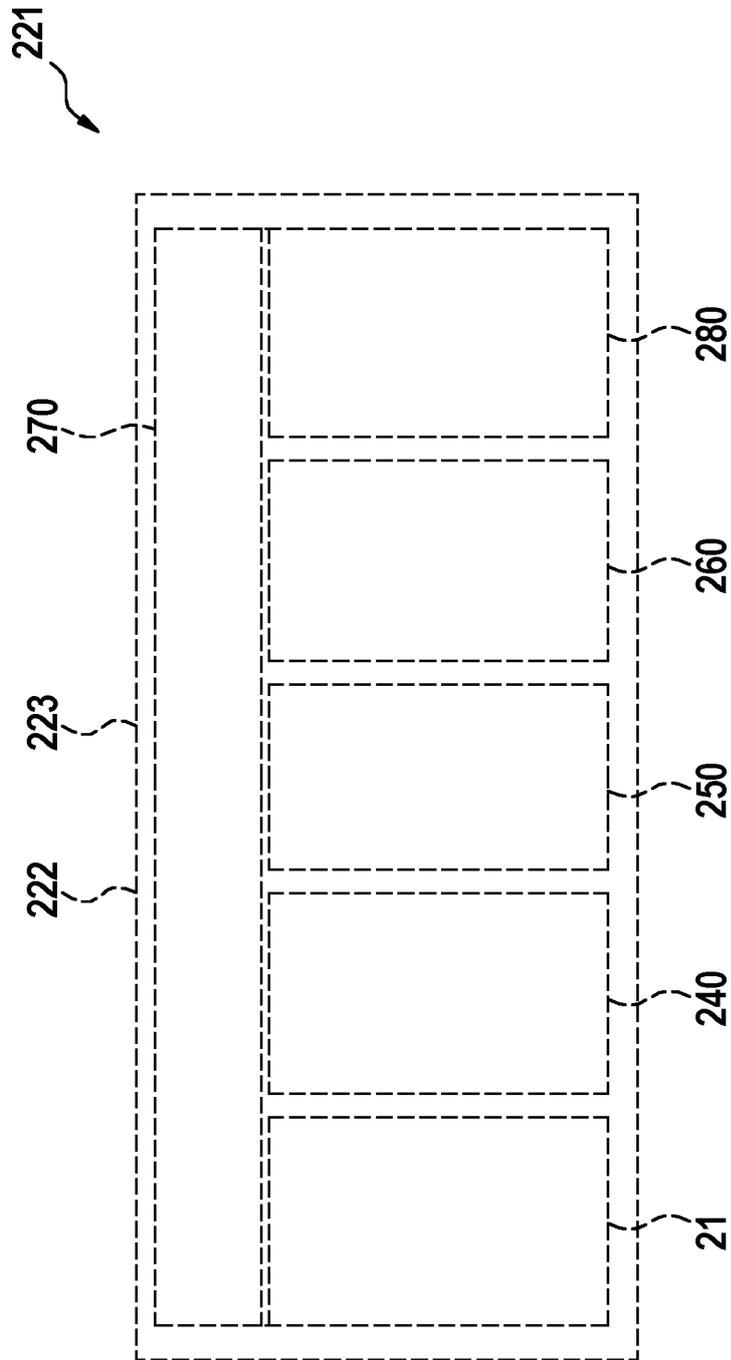


Fig. 4

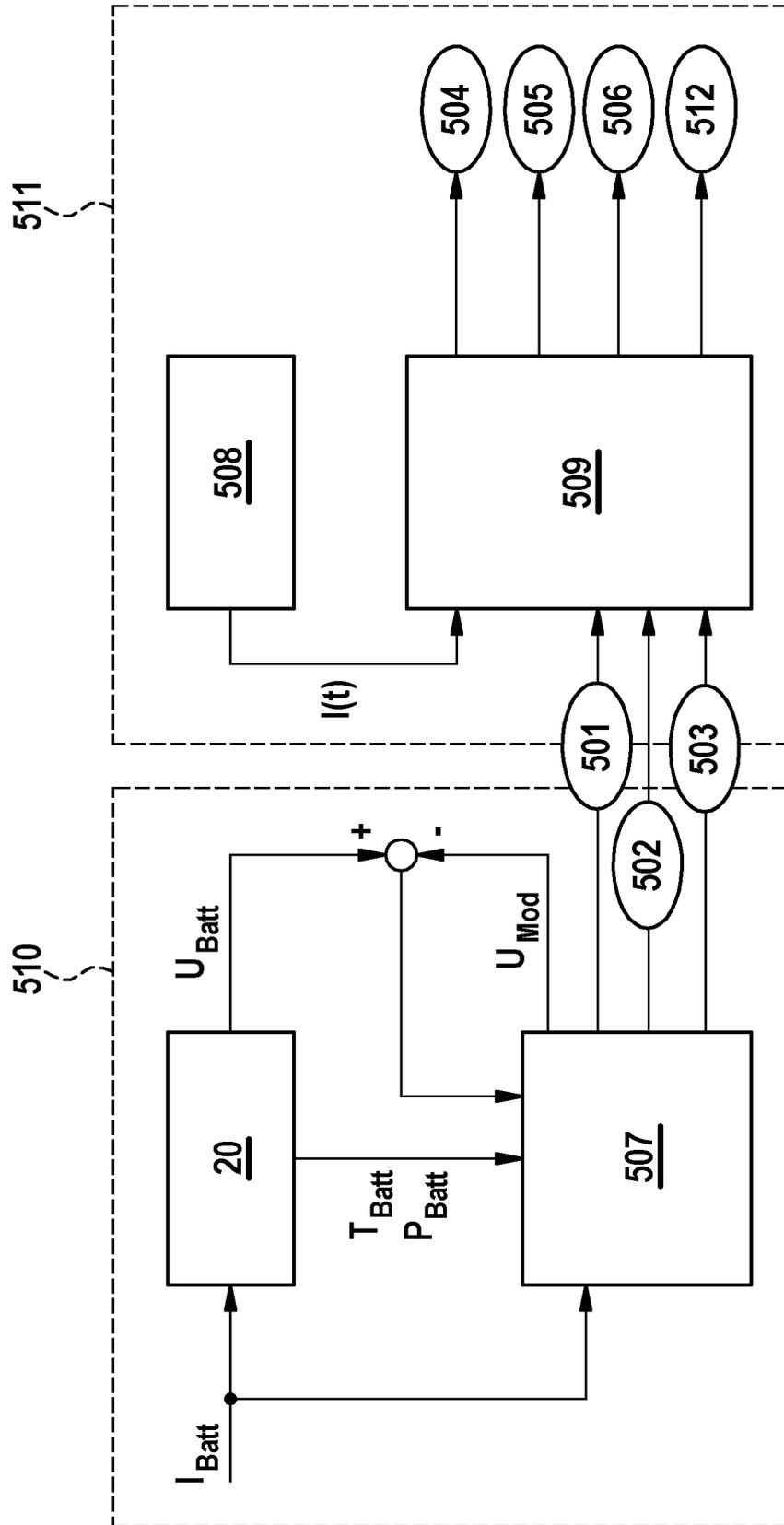


Fig. 5

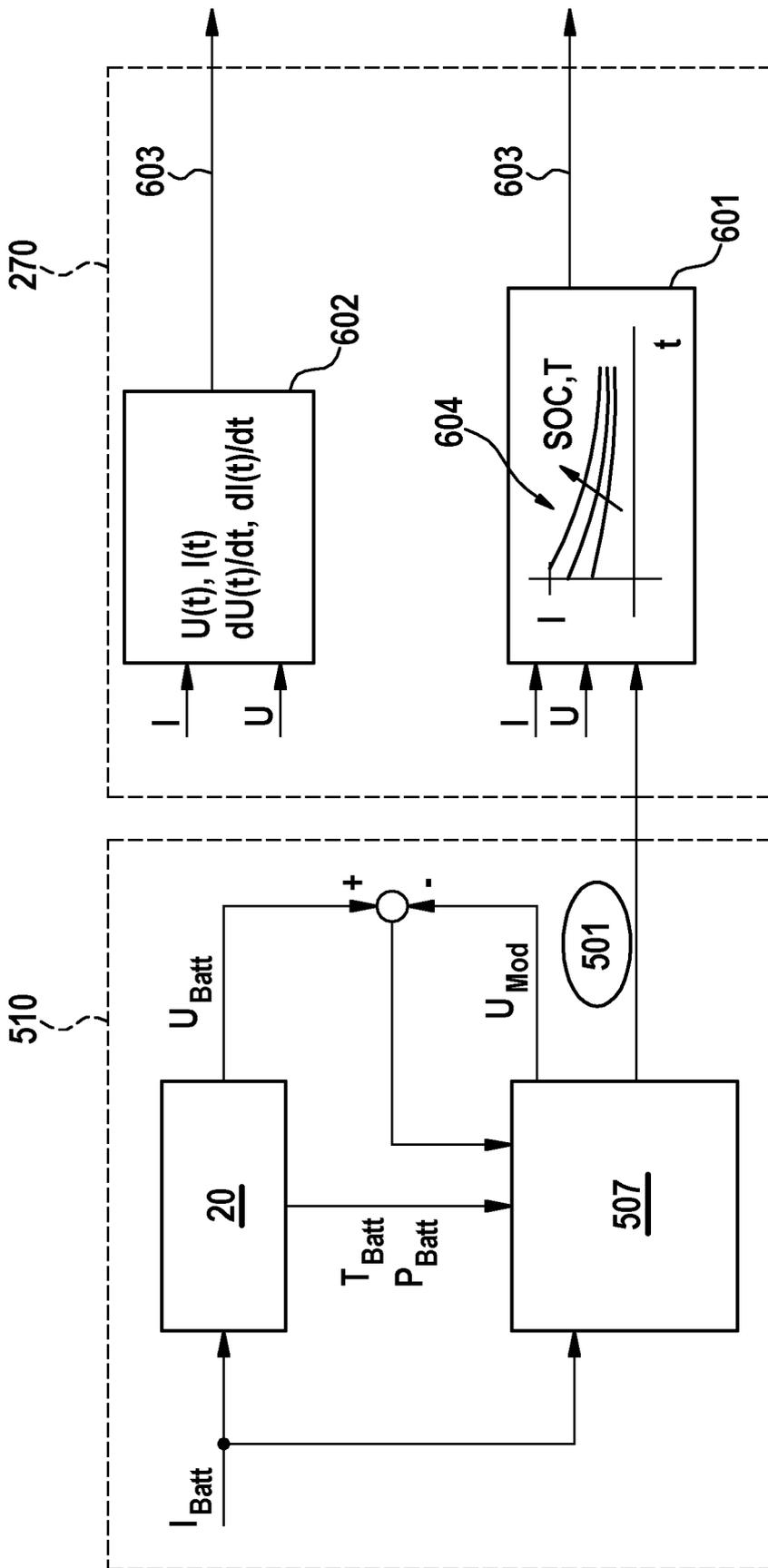


Fig. 6