

(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
29. Dezember 2016 (29.12.2016)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2016/206902 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

H01M 10/0525 (2010.01) H01M 10/48 (2006.01)
H01M 10/42 (2006.01) H01M 6/50 (2006.01)
H01M 10/44 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2016/061737

(22) Internationales Anmeldedatum:
25. Mai 2016 (25.05.2016)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
102015211935.1 26. Juni 2015 (26.06.2015) DE

(71) Anmelder: **ROBERT BOSCH GMBH** [DE/DE];
Postfach 30 02 20, 70442 Stuttgart (DE).

(72) Erfinder: **LANGE, Ulrich**; Pfalzstrasse 11, 72631 Aichtal (DE). **ZIEGLER, Joerg**; Akazienweg 7, 71277 Rutesheim (DE). **HASENKOX, Ulrich**; Kurt-Tucholsky-Str. 4, 71254 Ditzingen (DE). **COIS, Olivier**; Schurwaldstr. 26, 71394 Kernen (DE). **DUFAUX, Thomas**; Zuckerbirnenweg 20, 70437 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, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, 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, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, 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).

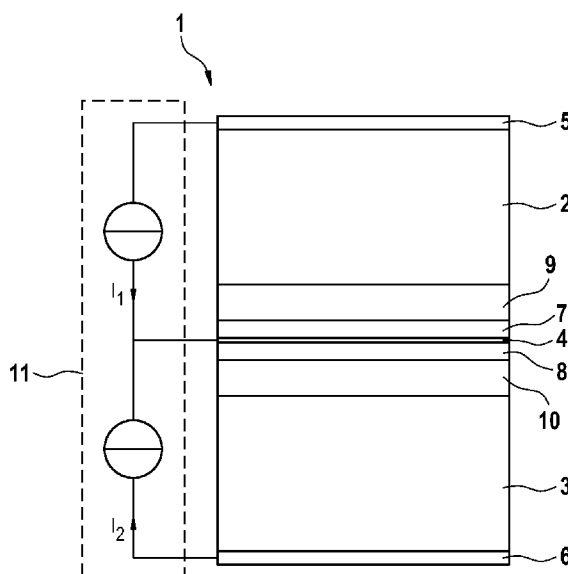
Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

(54) Title: METHOD FOR CONTROLLING A REGENERATION PROCEDURE OF A LITHIUM BATTERY CELL WHICH COMPRISES AN ANODE, A CATHODE AND A REGENERATION ELECTRODE

(54) Bezeichnung : VERFAHREN ZUM STEUERN EINES REGENERATIONSVORGANGES EINER LITHIUMIONENBATTERIEZELLE, WELCHE EINE ANODE, EINE KATHODE UND EINE REGENERATIONSELEKTRODE UMFASST

FIG. 1



(57) Abstract: The present invention relates to a method for controlling a regeneration procedure of a lithium battery cell (1) which comprises an anode (2), a cathode (3) and the regeneration electrode (4). The method comprises: detecting a current availability of cyclable lithium in the anode (2); detecting a current availability of cyclable lithium in the cathode (3); passing a first current (I_1) between the anode (2) and the regeneration electrode (4) until the actual availability of cyclable lithium in the anode (2) corresponds to a targeted availability of cyclable lithium in the anode (2); and passing a second current (I_2) between the cathode (3) and the regeneration electrode (4) until the current availability of cyclable lithium in the cathode (3) corresponds to a targeted availability of cyclable lithium in the cathode (3).

(57) Zusammenfassung: Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Steuern eines Regenerationsvorganges einer Lithiumionenbatteriezelle (1), welche eine Anode (2), eine

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2016/206902 A1



Kathode (3) und eine Regenerationselektrode (4) umfasst. Das Verfahren umfasst ein Erfassen einer aktuellen Verfügbarkeit von zyklisierbarem Lithium in der Anode (2), ein Erfassen einer aktuellen Verfügbarkeit von zyklisierbarem Lithium in der Kathode (3), ein Durchleiten eines ersten Stromes (I₁) zwischen der Anode (2) und der Regenerationselektrode (4) bis die aktuelle Verfügbarkeit von zyklisierbarem Lithium in der Anode (2) einer angezielten Verfügbarkeit von zyklisierbarem Lithium in der Anode (2) entspricht, und ein Durchleiten eines zweiten Stromes (I₂) zwischen der Kathode (3) und der Regenerationselektrode (4) bis die aktuelle Verfügbarkeit von zyklisierbarem Lithium in der Kathode (3) einer angezielten Verfügbarkeit von zyklisierbarem Lithium in der Kathode (3) entspricht.

5 Beschreibung

Titel

Verfahren zum Steuern eines Regenerationsvorganges einer
Lithiumionenbatteriezelle, welche eine Anode, eine Kathode und eine
10 Regenerationselektrode umfasst

Stand der Technik

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Steuern eines
15 Regenerationsvorganges einer Lithiumionenbatteriezelle, welche eine Anode,
eine Kathode und eine Regenerationselektrode umfasst.

Zur Umsetzung der Elektromobilität sind wiederaufladbare Batterien mit hoher
bezogener Energiedichte sowie einer hohen zyklischen und kalendarischen
20 Lebensdauer notwendig. Hierfür eignen sich insbesondere Lithiumionenbatterien
mit darin enthaltenen Lithiumionenbatteriezellen. Als kalendarische Lebensdauer
werden typischerweise etwa 10 Jahre gefordert. Zudem wird typischerweise eine
Lebensdauer von mehr als 1000 Entladezyklen gefordert. Danach soll die
verfügbare Kapazität der Batterie mindestens noch 80% der Ausgangskapazität
25 betragen. Ein bekannter Alterungsmechanismus bei Lithiumionenbatteriezellen
ist der Verlust an zyklierbarem Lithium durch unerwünschte Seitenreaktionen in
der Lithiumionenbatteriezelle. Daraus resultiert ein Kapazitätsabfall der
Lithiumionenbatteriezelle. Ein Verlust an zyklierbarem Lithium kann
beispielsweise durch ein Wachstum einer SEI-Schicht (Solid Electrolyte
30 Interface) auf einer Anode der Lithiumionenbatteriezellen während der Alterung
der Batterie als Ursache haben. Da Lithium dadurch chemisch in der SEI-Schicht
gebunden wird, steht es in dem chemischen Zyklus der Lithiumionenbatteriezelle
nicht mehr zur Verfügung und das Kathodenmaterial kann nicht mehr vollständig
lithiiert werden.

35 Um diesem Effekt entgegenzuwirken, werden moderne
Lithiumionenbatteriezellen mit einer Regenerationselektrode ausgerüstet, durch

welche ein Verlust von zykliebarem Lithium ausgeglichen werden kann. Eine solche Batteriezelle ist beispielsweise aus der WO2008/002626 bekannt.

Offenbarung der Erfindung

5

Das erfindungsgemäße Verfahren zum Steuern eines Regenerationsvorganges einer Lithiumionenbatteriezelle, welche eine Anode, eine Kathode und eine Regenerationselektrode umfasst, umfasst ein Erfassen einer aktuellen Verfügbarkeit von zykliebarem Lithium in der Anode, ein Erfassen einer aktuellen Verfügbarkeit von zykliebarem Lithium in der Kathode, ein Durchleiten eines ersten Stromes zwischen der Anode und der Regenerationselektrode, bis die aktuelle Verfügbarkeit von zykliebarem Lithium in der Anode einer angezielten Verfügbarkeit von zykliebarem Lithium in der Anode entspricht, und ein Durchleiten eines zweiten Stromes zwischen der Kathode und der Regenerationselektrode, bis die aktuelle Verfügbarkeit von zykliebarem Lithium in der Kathode einer angezielten Verfügbarkeit von zykliebarem Lithium in der Kathode entspricht.

20

25

30

Durch das getrennte Erfassen der aktuellen Verfügbarkeit von zykliebarem Lithium in der Anode und in der Kathode wird erreicht, dass sowohl die Anode als auch die Kathode nach Ausführung des Verfahrens einen optimalen Gehalt von zykliebarem Lithium haben, der ebenfalls aufeinander abgestimmt ist. Somit wird eine langanhaltend hohe Kapazität der Lithiumionenbatteriezelle gewährleistet. Zykliebares Lithium ist solches Lithium, welches in einer Form vorliegt, dass dieses dazu geeignet ist, zu den chemischen Reaktionen beizutragen, die ein Laden und ein Entladen der Lithiumionenbatteriezelle ermöglichen. Insbesondere ist die angezielte Verfügbarkeit von zykliebarem Lithium eine ursprüngliche Verfügbarkeit von Lithium, die zu einem Lebensanfang der Lithiumionenbatteriezelle vorlag.

35

Die Unteransprüche zeigen bevorzugte Weiterbildungen der Erfindung.

35

Es ist vorteilhaft, wenn das Verfahren ferner ein Ermitteln einer Fehlmenge an zykliebarem Lithium in der Anode umfasst, wobei erkannt wird, dass die aktuelle Verfügbarkeit von zykliebarem Lithium in der Anode der angezielten Verfügbarkeit von zykliebarem Lithium in der Anode entspricht, wenn das Durchleiten des ersten Stromes so lange erfolgt ist, bis die ermittelte Fehlmenge

der Anode zugefügt wurde, und/oder ein Ermitteln einer Fehlmenge an
zykliebarem Lithium in der Kathode umfasst, wobei erkannt wird, dass die
aktuelle Verfügbarkeit von zykliebarem Lithium in der Kathode der angezielten
Verfügbarkeit von zykliebarem Lithium in der Kathode entspricht, wenn das
5 Durchleiten des zweiten Stromes so lange erfolgt ist, bis die ermittelte
Fehlmenge der Kathode zugefügt wurde. Dadurch, dass die Fehlmenge vorab
ermittelt wird und somit die jeweils vorab ermittelte entsprechende Fehlmenge an
Lithium der Anode und/oder der Kathode zugefügt wird, wird ein besonders
präzises Wiederauffüllen von zykliebarem Lithium in der Anode und/oder der
10 Kathode erreicht und somit eine besonders hohe Kapazität der
Lithiumionenbatterie zelle gewährleistet. Ein besonders genaues Abschätzen der
aktuellen Verfügbarkeit von zykliebarem Lithium in der Anode und in der
Kathode wird ermöglicht, da durch das Vorabermitteln der Fehlmenge keine
Echtzeitanforderungen bestehen.

15 Auch ist es vorteilhaft, wenn die aktuelle Verfügbarkeit von zykliebarem Lithium
in der Anode und/oder die aktuelle Verfügbarkeit von zykliebarem Lithium in der
Kathode basierend auf einem Gesundheitszustand oder einem Alterungszustand
der Lithiumionenbatterie zelle ermittelt wird. Auf diese Weise wird ein besonders
20 einfaches Abschätzen der aktuellen Verfügbarkeit von zykliebarem Lithium
ermöglicht, da eine Korrelation zwischen Gesundheitszustand bzw.
Alterungszustand einer Lithiumionenbatterie zelle und deren Gehalt an
zykliebarem Lithium besteht.

25 Ferner ist es vorteilhaft, wenn die aktuelle Verfügbarkeit von zykliebarem Lithium
in der Anode basierend auf einer Änderung einer Kennlinie eines
Anodenpotentials ermittelt wird und/oder die aktuelle Verfügbarkeit von
zykliebarem Lithium in der Kathode basierend auf einer Änderung einer
Kennlinie eines Kathodenpotentials ermittelt wird. Insbesondere ist die Änderung
30 dabei eine Verschiebung, eine Skalierung oder ein Endpunkt der jeweiligen
Kennlinie. Auf diese Weise wird die aktuelle Verfügbarkeit von zykliebarem
Lithium besonders genau ermittelt. Die Kennlinie des Anodenpotentials ist dabei
ein Potentialverlauf an der Anode über einen Ladezustand der
Lithiumionenbatterie zelle hinweg. Selbiges gilt in entsprechender Weise für die
35 Kennlinie des Kathodenpotentials.

Eine Batteriesteuerung, die dazu eingerichtet ist, das erfindungsgemäße Verfahren auszuführen, weist alle Vorteile des erfindungsgemäßen Verfahrens auf. Insbesondere ist es vorteilhaft, wenn die Batteriesteuerung eine Elektronik umfasst, die dazu eingerichtet ist, den ersten und den zweiten Strom mittels kommutierender Transistoren zu regeln. Auf diese Weise kann eine stabile Stromquelle erzeugt werden, und somit ein gleichmäßiges und somit präzise steuerbares Auffüllen von zyklisierbarem Lithium erfolgen.

Ferner ist eine Batterie vorteilhaft, welche eine erfindungsgemäße Batteriesteuerung umfasst. Diese weist alle Vorteile der Batteriesteuerung auf.

Es ist vorteilhaft, wenn die Regenerationselektrode derart in der Lithiumionenbatteriezelle angeordnet ist, dass deren Potential zwischen einem Potential der Anode und einem Potential der Kathode liegt. Auf diese Weise wird vermieden, dass ein hohes Potential gegenüber der Anode und der Kathode aufgebaut werden muss, um sowohl Anode als auch Kathode mit zyklisierbarem Lithium anzureichern.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

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

Figur 1 eine Darstellung einer Lithiumionenbatteriezelle, auf welche das erfindungsgemäße Verfahren angewandt wird,

Figur 2 eine Darstellung von Kennlinien eines Anodenpotentials und Kennlinien eines Kathodenpotentials zu unterschiedlichen Alterungszuständen der Lithiumionenbatteriezelle, und

Figur 3 eine schematische Darstellung einer Lithiumionenbatteriezelle über deren Lebenszyklus hinweg bei einer beispielhaften Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens.

Ausführungsformen der Erfindung

Figur 1 zeigt eine beispielhafte Lithiumionenbatteriezelle 1, auf welche das erfindungsgemäße Verfahren angewendet wird. Die Lithiumionenbatteriezelle 1 umfasst eine Anode 2, eine Kathode 3 und eine Regenerationselektrode 4.

5 Die Anode 2 ist eine Schicht, welche beispielsweise aus Graphit, Kohlenstoff, Silizium oder auch aus Kompositen aus diesen Stoffen in Verbindung mit einem polymeren Binder besteht. In die Anode 2 werden beim Laden der Batterie Lithiumionen eingelagert, die aus der Kathode 3 bezogen werden. Diese
10 Lithiumionen werden der Anode 2 beim Entladen der Lithiumionenbatteriezelle 1 wieder entnommen.

Die Kathode 3 besteht bevorzugt aus einem Lithium-Übergangsmetalloxid, z.B. $\text{LiNi}_x\text{Mn}_y\text{Co}_z\text{O}_2$, oder einem überlithiierten Lithium-Übergangsmetalloxid, z.B. $\text{LiNi}_x\text{Mn}_y\text{Co}_z\text{O}_2 \cdot \text{Li}_2\text{MnO}_3$, oder einer anderen geeigneten Lithiumverbindung,
15 welche Lithiumionen, andere Metallionen und Sauerstoff enthält, oder einem Lithiumübergangsmetallphosphat, z.B. LiFePO_4 , und zudem aus Kohlenstoff sowie einem polymeren Binder. Aus der Kathode 3 werden beim Laden der Lithiumionenbatteriezelle 1 Lithiumionen aus dem Kristallgitter entnommen und in
20 der Anode 2 eingelagert. Bei einem Entladen der Lithiumionenbatteriezelle 1 werden die Lithiumionen wieder in das Kristallgitter der Kathode 3 eingebaut.

Die Regenerationselektrode 4 dient als eine Lithiumquelle. Sie besteht bevorzugt aus metallischem Lithium, eventuell anderen Zusätzen aus Kohlenstoff,
25 Polymeren, Keramiken oder Metallen sowie einem Stromableiter. Die Regenerationselektrode 4 kann auch als eine Lithiumelektrode bezeichnet werden. Alternativ können als Lithiumquelle in der Regenerationselektrode 4 auch andere lithiumhaltige Verbindungen verwendet werden, die Lithiumionen elektrochemisch abgeben können. Diese sind aber weniger geeignet, weil sie,
30 bezogen auf deren Masse und das Volumen, eine schlechtere Energiedichte besitzen.

Die Lithiumionenbatteriezelle 1 ist schichtweise aufgebaut. Die unterschiedlichen Schichten der Lithiumionenbatteriezelle 1 liegen in folgender Reihenfolge
35 aufeinander: Die oberste Schicht bildet ein Anodenkollektor 5, welcher als ein Stromableiter für die Anode 2 dient. Dann folgt die Anode 2, gefolgt von einem ersten Separator 9, gefolgt von einer ersten Schutzschicht 7. Unter der ersten Schutzschicht 7 liegt die Regenerationselektrode 4, gefolgt von einer zweiten

Schutzschicht 8, auf welche wiederum ein zweiter Separator 10 folgt. Als nächste Schicht ist die Kathode 3 angeordnet, auf welche wiederum ein Kathodenkollektor 6 als abschließende Schicht folgt. Es sei darauf hingewiesen, dass die erste Schutzschicht 7 und die zweite Schutzschicht 8 als optionale Schutzschichten zu betrachten sind.

Der Anodenkollektor 5 sowie der Kathodenkollektor 6 ist jeweils eine metallische, elektrisch leitende Schicht, die über jeweils eine Zuleitung mit einer Batteriesteuerung 11 verbunden ist. Die Regenerationselektrode 4 ist ebenfalls über eine Zuleitung mit der Batteriesteuerung 11 verbunden. Die Batteriesteuerung 11 ist dazu eingerichtet, einen ersten Strom I_1 zwischen der Regenerationselektrode 4 und dem Anodenkollektor 5 fließen zu lassen. Dazu umfasst die Batteriesteuerung 11 eine erste Stromquelle 12, welche zwischen den Anodenkollektor 5 und die Regenerationselektrode 4 geschaltet ist. Ferner ist die Batteriesteuerung 11 dazu eingerichtet, einen zweiten Strom I_2 von der Regenerationselektrode 4 zu dem Kathodenkollektor 6 fließen zu lassen. Dazu umfasst die Batteriesteuerung 11 eine zweite Stromquelle 13, welche zwischen die Regenerationselektrode 4 und den Kathodenkollektor 6 geschaltet ist.

Im Folgenden wird das erfindungsgemäße Verfahren in einer ersten Ausführungsform beschrieben.

Wird das erfindungsgemäße Verfahren in dieser ersten Ausführungsform ausgeführt, so erfolgt zunächst ein Erfassen einer aktuellen Verfügbarkeit von zyklisierbarem Lithium in der Anode 2 und zugleich ein Ermitteln einer Fehlmenge an zyklisierbarem Lithium in der Anode 2. Dies erfolgt basierend auf einer Verschiebung einer Kennlinie eines Anodenpotentials. Dazu wird eine aktuelle Kennlinie des Anodenpotentials U_{AN-act} zumindest abschnittsweise ermittelt und diese mit einer ursprünglichen Kennlinie des Anodenpotentials $U_{AN-prev}$ verglichen. Die aktuelle Kennlinie des Anodenpotentials U_{AN-act} ist dabei eine Kennlinie des Anodenpotentials zu einem aktuellen Zeitpunkt, zu dem das Verfahren ausgeführt wird, und die ursprüngliche Kennlinie des Anodenpotentials $U_{AN-prev}$ ist eine Kennlinie, welche zu einem Herstellungszeitpunkt der Lithiumionenbatteriezelle 1 ermittelt wurde.

Solche Kennlinien sind beispielhaft in Figur 2 dargestellt. Die ursprüngliche Kennlinie des Anodenpotentials $U_{AN-prev}$ ist mit einer gepunkteten Linie dargestellt.

Es ist ersichtlich, dass diese Kennlinie ein Potential darstellt, welches mit einer Entladung der Lithiumionenbatteriezele 1 zunächst stetig zunimmt und ab einem gewissen Zeitpunkt steil ansteigt. Die aktuelle Kennlinie des Anodenpotentials U_{AN-act} ist mit einer Strich-Punkt-Linie dargestellt und entspricht in ihrem grundsätzlichen Verlauf der ursprünglichen Kennlinie des Anodenpotentials $U_{AN-prev}$, allerdings steigt diese schon zu einem früheren Entladungszustand der Lithiumionenbatteriezele 1 steil an.

Ein Abstand zwischen einander entsprechenden Punkten der ursprünglichen Kennlinie des Anodenpotentials $U_{AN-prev}$ und der aktuellen Kennlinie des Anodenpotentials U_{AN-act} ist ein Indikator für die aktuelle Verfügbarkeit von zyklbarem Lithium in der Anode 2 und zugleich für eine Fehlmenge an zyklbarem Lithium in der Anode 2, da die Verfügbarkeit hier in Abhängigkeit von einer ursprünglichen Verfügbarkeit beschrieben wird. Dabei ist die aktuelle Verfügbarkeit von zyklbarem Lithium in der Anode 2 um so kleiner, je größer der Abstand ist, also je mehr die aktuelle Kennlinie des Anodenpotentials U_{AN-act} gegenüber der ursprünglichen Kennlinie des Anodenpotentials $U_{AN-prev}$ verschoben und skaliert ist.

Der Abstand kann beispielsweise ermittelt werden, indem zunächst einander zugehörige Punkte auf der Kennlinie des Anodenpotentials $U_{AN-prev}$ und der aktuellen Kennlinie des Anodenpotentials U_{AN-act} ermittelt werden. So können beispielsweise signifikante Wendepunkte oder maximale Krümmungen der Kennlinien mittels der Maxima in deren ersten und zweiten Ableitungen ermittelt werden und einander zugeordnet werden. Beispielsweise kann so ein Abstand zwischen den Ladungszuständen der Lithiumionenbatteriezele, zu denen die jeweilige Kennlinie jeweils steil ansteigt, ermittelt werden und als ein Indikator für die aktuelle Verfügbarkeit von zyklbarem Lithium in der Anode 2 dienen.

Im weiteren Verlauf des Verfahrens erfolgen ein Erfassen einer aktuellen Verfügbarkeit von zyklbarem Lithium in der Kathode 3 und zugleich ein Ermitteln einer Fehlmenge an zyklbarem Lithium in der Kathode 3. Dies erfolgt, basierend auf einer Verschiebung einer Kennlinie eines Kathodenpotentials. Dazu wird eine aktuelle Kennlinie des Kathodenpotentials $U_{CAT-act}$ zumindest abschnittsweise ermittelt und diese mit einer ursprünglichen Kennlinie des Kathodenpotentials $U_{CAT-prev}$ verglichen. Die aktuelle Kennlinie des Kathodenpotentials $U_{CAT-act}$ ist dabei eine Kennlinie des Kathodenpotentials zu

dem aktuellen Zeitpunkt, zu dem das Verfahren ausgeführt wird, und die ursprüngliche Kennlinie des Kathodenpotentials $U_{\text{CAT-prev}}$ ist eine Kennlinie, welche zu dem Herstellungszeitpunkt der Lithiumionenbatteriezelle 1 ermittelt wurde.

5

Solche Kennlinien sind beispielhaft in Figur 2 dargestellt. Die ursprüngliche Kennlinie des Kathodenpotentials $U_{\text{CAT-prev}}$ ist mit einer durchgezogenen Linie dargestellt. Es ist ersichtlich, dass diese Kennlinie ein Potential darstellt, welches mit einer Entladung der Lithiumionenbatteriezelle 1 stetig abnimmt. Die aktuelle Kennlinie des Kathodenpotentials $U_{\text{CAT-act}}$ ist mit einer gestrichelten Linie dargestellt und entspricht in ihrem grundsätzlichen Verlauf der ursprünglichen Kennlinie des Kathodenpotentials $U_{\text{CAT-prev}}$, allerdings endet die Kennlinie bei einem positiveren Potenzial, weil die Kathode durch den Verlust von zyklbarem Lithium nicht mehr vollständig lithiiert werden kann. Ein Unterschied zwischen der ursprünglichen Kennlinie des Kathodenpotentials $U_{\text{CAT-prev}}$ und der aktuellen Kennlinie des Kathodenpotentials $U_{\text{CAT-act}}$ besteht somit darin, dass die Kennlinie des Kathodenpotentials $U_{\text{CAT-act}}$ verkürzt ist, das heißt, das ursprüngliche Kathodenpotenzial wird in einem entladenen Zustand der Lithiumionenbatteriezelle 1 nicht mehr erreicht.

20

Ein Abstand zwischen einem Endpunkt der ursprünglichen Kennlinie des Kathodenpotentials $U_{\text{CAT-prev}}$ und einem Endpunkt der aktuellen Kennlinie des Kathodenpotentials $U_{\text{CAT-act}}$ ist ein Indikator für die aktuelle Verfügbarkeit von zyklbarem Lithium in der Kathode 3 und zugleich für eine Fehlmenge an zyklbarem Lithium in der Kathode 3, da die Verfügbarkeit hier in Abhängigkeit von einer ursprünglichen Verfügbarkeit beschrieben wird. Der Endpunkt der jeweiligen Kennlinie des Kathodenpotentials ist durch ein Kathodenpotenzial im entladenen Zustand der Lithiumionenbatteriezelle 1 beschrieben. Dabei ist die aktuelle Verfügbarkeit von zyklbarem Lithium in der Kathode 3 umso kleiner, je größer der Abstand zwischen den Endpunkten ist. Der Abstand kann dabei als ein Potentialunterschied zwischen den Endpunkten der Kennlinien des Kathodenpotentials $U_{\text{CAT-act}}$ und $U_{\text{CAT-prev}}$ beschrieben werden. Das Kathodenpotenzial im entladenen Zustand der Lithiumionenbatteriezelle 1 ist damit ein Maß für den Verlust an zyklbarem Lithium. Aus der Regenerationselektrode 4 wird somit bevorzugt so lange Lithium in die Kathode 3 interkaliert bis das Kathodenpotenzial im entladenen Zustand einem Kathodenpotenzial der Neuzelle entspricht.

35

Der Abstand wird in dieser Ausführungsform ermittelt, indem die Lithiumionenbatteriezelle 1 entladen wird und dann das Kathodenpotenzial der Kathode 3 ermittelt wird. Dieses wird mit einem vorab gespeicherten Kathodenpotenzial der Kathode 3 verglichen, welches die Lithiumbatteriezelle 1 zu ihrem Herstellungszeitpunkt in einen entladenen Zustand aufgewiesen hat. Der so ermittelte Abstand dient als ein Indikator für die aktuelle Verfügbarkeit von zyklbarem Lithium in der Kathode 3.

In einem folgenden Schritt des erfindungsgemäßen Verfahrens in dieser ersten Ausführungsform erfolgt ein Durchleiten eines ersten Stromes I_1 zwischen der Anode 2 und der Regenerationselektrode 4, bis die aktuelle Verfügbarkeit von zyklbarem Lithium in der Anode 2 einer angezielten Verfügbarkeit von zyklbarem Lithium in der Anode 2 entspricht. Die erfolgt, indem einer aktuell verfügbaren Menge an zyklbaren Lithium in der Anode 2 die für die Anode 2 ermittelte Fehlmenge hinzugefügt wird. Die angezielte Verfügbarkeit von zyklbarem Lithium in der Anode 2 ist somit gleich der ursprünglichen Verfügbarkeit von zyklbarem Lithium in der Anode 2.

Dazu wird die aktuelle Verfügbarkeit von zyklbarem Lithium in der Anode 2, welche zugleich die Fehlmenge an zyklbarem Lithium beschreibt, in eine erste Zeitdauer und einen zugehörigen ersten Strom I_1 umgesetzt, welcher im weiteren Verlauf des Verfahrens zur Regeneration der Anode 2 genutzt wird. Dazu ist es ausreichend, wenn einmalig im Vorfeld des Verfahrens, beispielsweise bei einer Herstellung der Lithiumionenbatteriezelle 1, ein Verhältnis zwischen der ermittelten Fehlmenge und einer Ladungsmenge ermittelt wird, welche ausreicht, um die Anode 2 derart zu regenerieren, dass die ermittelte Fehlmenge bei einer erneut gemessenen aktuellen Kennlinie des Anodenpotentials U_{AN-act} gegen 0 geht, also die aktuelle Kennlinie des Anodenpotentials U_{AN-act} die ursprüngliche Kennlinie des Anodenpotentials $U_{AN-prev}$ überlagert. So könnte für unterschiedliche Kennlinien des Anodenpotentials U_{AN-act} jeweils ein Ladungswert, hier als ein erster Strom I_1 und eine zugehörige erste Zeitdauer, hinterlegt werden. Es ist dabei nicht notwendig, dass die Fehlmenge als eine Mengenangabe bereitsteht.

Der aus der ermittelten Fehlmenge abgeleitete erste Strom I_1 wird für die aus der Fehlmenge abgeleiteten ersten Zeitdauer über die Regenerationselektrode 4 und

die Anode 2 geleitet. Dazu weist die Batteriesteuerung 11, welche das erfindungsgemäße Verfahren ausführt, die erste Stromquelle 12 auf, die eine Versorgungsspannung mittels kommutierender Transistoren derart regelt, dass der erste Strom I_1 durch die Anode 2 fließt. Dies erfolgt für die ermittelte erste
5 Zeitdauer. Es wird somit erkannt, dass die aktuelle Verfügbarkeit von zyklisierbarem Lithium in der Anode 2 der angezielten Verfügbarkeit von zyklisierbarem Lithium in der Anode 2 entspricht, wenn das Durchleiten des ersten Stromes I_1 so lange erfolgt ist, bis die ermittelte Fehlmenge der Anode 2 zugefügt wurde.

10 In einem folgenden Schritt des erfindungsgemäßen Verfahrens in dieser ersten Ausführungsform erfolgt ein Durchleiten eines zweiten Stromes I_2 zwischen der Kathode 3 und der Regenerationselektrode 4, bis die aktuelle Verfügbarkeit von zyklisierbarem Lithium in der Kathode 3 einer angezielten Verfügbarkeit von
15 zyklisierbarem Lithium in der Kathode 3 entspricht. Dies erfolgt, indem einer aktuell verfügbaren Menge an zyklisierbarem Lithium in der Kathode 3 die für die Kathode 3 ermittelte Fehlmenge hinzugefügt wird. Die angezielte Verfügbarkeit von zyklisierbarem Lithium in der Kathode 3 ist somit gleich der ursprünglichen Verfügbarkeit von zyklisierbarem Lithium in der Kathode 3.

20 Dazu wird die aktuelle Verfügbarkeit von zyklisierbarem Lithium in der Kathode 3, welche zugleich die Fehlmenge an zyklisierbarem Lithium beschreibt, in eine zweite Zeitdauer und einen zugehörigen zweiten Strom I_2 umgesetzt, welcher im weiteren Verlauf des Verfahrens zur Regeneration der Kathode 3 genutzt wird.
25 Dazu ist es ausreichend, wenn einmalig im Vorfeld des Verfahrens, beispielsweise bei einer Herstellung der Lithiumionenbatterie zelle 1, ein Verhältnis zwischen der ermittelten Fehlmenge und einer Ladungsmenge ermittelt wird, welche ausreicht, um die Kathode 3 derart zu regenerieren, dass die ermittelte Fehlmenge bei einer erneut gemessenen aktuellen Kennlinie des
30 Kathodenpotentials $U_{\text{CAT-act}}$ gegen 0 geht, also die aktuelle Kennlinie des Kathodenpotentials $U_{\text{CAT-act}}$ die ursprüngliche Kennlinie des Kathodenpotentials $U_{\text{CAT-prev}}$ überlagert. So könnte für unterschiedliche Kennlinien des Kathodenpotentials $U_{\text{CAT-act}}$ jeweils ein Ladungswert, hier als ein zweiter Strom I_2 und eine zugehörige zweite Zeitdauer, hinterlegt werden. Es ist dabei nicht
35 notwendig, dass die Fehlmenge als eine Mengenangabe bereitsteht.

Der aus der ermittelten Fehlmenge abgeleitete zweite Strom I_2 wird für die aus der Fehlmenge abgeleiteten zweite Zeitdauer über die Regenerationselektrode 4 und die Kathode 3 geleitet. Dazu weist die Batteriesteuerung 11, welche das erfindungsgemäße Verfahren ausführt, die zweite Stromquelle 13 auf, die eine Versorgungsspannung mittels kommutierender Transistoren derart regelt, dass der zweite Strom I_2 durch die Kathode 3 fließt. Dies erfolgt für die ermittelte zweite Zeitdauer. Es wird somit erkannt, dass die aktuelle Verfügbarkeit von zyklisierbarem Lithium in der Kathode 3 der angezielten Verfügbarkeit von zyklisierbarem Lithium in der Kathode 3 entspricht, wenn das Durchleiten des zweiten Stromes I_2 so lange erfolgt ist, bis die ermittelte Fehlmenge der Kathode 3 zugefügt wurde.

Es erfolgt somit ein Durchleiten eines ersten Stromes I_1 zwischen der Anode 2 und der Regenerationselektrode 4, bis die aktuelle Verfügbarkeit von zyklisierbarem Lithium in der Anode 2 einer angezielten Verfügbarkeit von zyklisierbarem Lithium in der Anode 2 entspricht, und ein Durchleiten eines zweiten Stromes I_2 zwischen der Kathode 3 und der Regenerationselektrode 4, bis die aktuelle Verfügbarkeit von zyklisierbarem Lithium in der Kathode 3 einer angezielten Verfügbarkeit von zyklisierbarem Lithium in der Kathode 3 entspricht. Die jeweils angezielte Verfügbarkeit von zyklisierbarem Lithium ist dabei möglichst nahe an einer ursprünglichen Verfügbarkeit von zyklisierbarem Lithium in der Anode 2 und einer ursprünglichen Verfügbarkeit von zyklisierbarem Lithium in der Kathode 3, welche diese zu einem Herstellungszeitpunkt der Lithiumionenbatteriezelle 1 aufgewiesen haben.

Es wird auf Figur 3 verwiesen. Ganz links in Figur 3 ist eine schematische Darstellung der Lithiumionenbatteriezelle 1 zu deren Lebensanfang zu einem ersten Zeitpunkt t_1 dargestellt. Die Lithiumionenbatteriezelle weist maximale Kapazitäten C^- und C^+ auf, die eine maximal mögliche Kapazität der Anode und der Kathode beschreiben. Die Lithiumionenbatteriezelle 1 wird jedoch nicht bis zu ihren maximalen Kapazitäten C^- und C^+ geladen, um eine Beschädigung der Lithiumionenbatteriezelle 1 zu vermeiden. Daher weist die Lithiumionenbatteriezelle 1 ferner eine nominelle Kapazität C_{cell} auf, bei der die Lithiumionenbatteriezelle 1 jeweils eine maximale nominelle Ladung Q^-_{max} und Q^+_{max} inne hat, die jeweils geringer als die maximalen Kapazitäten C^- und C^+ der Anode 2 und der Kathode 3 ist. Diese maximalen Ladung Q^-_{max} und Q^+_{max} beschreiben den maximalen Ladungsgehalt der Lithiumionenbatteriezelle 1,

wenn diese vollständig aufgeladen ist. Entsprechend weist die Lithiumionenbatteriezele 1 minimale Ladungen Q_{\max}^- und Q_{\min}^- auf, wenn diese entladen ist. Tatsächlich ist die Lithiumionenbatteriezele 1 in den in Figur 3 gezeigten Zuständen nur zu einem gewissen Anteil aufgeladen. Dies ist anodenseitig mit dem Wert SOC^- und kathodenseitig mit dem Wert SOC^+ gekennzeichnet (SOC – state of charge), welche einen tatsächlichen anodenseitigen Ladungsgehalt der Lithiumbatteriezele Q^- und einen tatsächlichen kathodenseitigen Ladungsgehalt der Lithiumbatteriezele Q^+ beschreiben. Eine Differenz zwischen diesen Ladungszuständen beschreibt eine tatsächliche Kapazität C_{cycl} der Lithiumionenbatteriezele 1, also eine Menge an Energie, die der Lithiumionenbatteriezele 1 entnommen werden kann.

In der mittleren Darstellung der Figur 3 ist die Lithiumionenbatteriezele 1 zu einem zweiten Zeitpunkt t_2 dargestellt, zu dem diese gegenüber dem ersten Zeitpunkt t_1 schon gealtert ist. Es ist zum einen ersichtlich, dass die maximalen Kapazitäten C^- und C^+ der Lithiumionenbatteriezele 1 nunmehr geringer sind, was auf unterschiedliche Alterungsvorgänge in der Lithiumionenbatteriezele 1 zurückzuführen ist. Die Lithiumionenbatteriezele 1 weist zu dem zweiten Zeitpunkt t_2 den gleichen Ladungszustand wie zu dem ersten Zeitpunkt t_1 auf. Dennoch ist ersichtlich, dass die tatsächliche Kapazität C_{cycl} nunmehr geringer ist und die maximale Ladung Q_{\max}^- und Q_{\max}^+ abgesunken ist. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Menge an zyklierbarem Lithium in der Anode 2 stark und in der Kathode 3 zumindest geringfügig abgenommen hat.

Auf der rechten Seite in Figur 3 ist die Lithiumionenbatteriezele 1 zu einem dritten Zeitpunkt t_3 dargestellt. Es ist ersichtlich, dass die maximalen Kapazitäten C^- und C^+ zu dem dritten Zeitpunkt t_3 gleich den maximalen Kapazitäten C^- und C^+ zu dem zweiten Zeitpunkt t_2 sind, da diese Alterungsprozesse nicht auf einen Verlust von zyklierbarem Lithium zurückzuführen sind. Zwischen dem zweiten Zeitpunkt t_2 und dem dritten Zeitpunkt t_3 wurde das zuvor beschriebene erfindungsgemäße Verfahren ausgeführt. Es ist ersichtlich, dass die Menge an zyklierbarem Lithium in der Anode 2 deutlich angestiegen ist und in der Kathode 3 zumindest geringfügig angestiegen ist. Die Lithiumionenbatteriezele 1 befindet sich zu dem dritten Zeitpunkt t_3 in demselben Ladungszustand, in dem diese sich auch in dem ersten Zeitpunkt t_1 und zu dem zweiten Zeitpunkt t_2 befunden hat. Es ist ersichtlich, dass die tatsächliche Kapazität C_{cycl} der Lithiumionenbatteriezele 1 wieder angestiegen ist.

Es wird also ermöglicht, dass bereits verschwundene Batteriezellenkapazitäten auf eine nicht-invasive Weise regeneriert werden. Zum besseren Verständnis der Figur 3 sei darauf hingewiesen, dass in Lithiumionenbatteriezellen zumeist ein
 5 Überschuss an zyklisierbarem Lithium auf Anodenseite vorliegt.

Die in der Figur 3 verwendeten Werte können in ihren Zusammenhängen mathematisch wie folgt dargestellt werden:

$$10 \quad C_{\text{cycl}} = Q^+ + Q^- = C^+ \text{SOC}^+ + C^- \text{SOC}^-$$

$$C_{\text{cell}} = Q^+_{\text{max}} - Q^+_{\text{min}} = Q^-_{\text{max}} - Q^-_{\text{min}}$$

Der Ladungsinhalt Q_{cell} der Lithiumionenbatteriezelle 1 ergibt sich dabei wie folgt:

$$15 \quad Q_{\text{cell}} = Q^+ - Q^+_{\text{min}} = Q^- - Q^-_{\text{min}}$$

Somit kann eine Leerlaufspannung OCV_{cell} der Lithiumionenbatteriezelle 1 als folgende Funktion dargestellt werden:

$$20 \quad \text{OCV}_{\text{cell}} = \text{OCP}^+(\text{SOC}^+) - \text{OCP}^-(\text{SOC}^-) = \text{OCP}^+(Q^+ / C^+) - \text{OCP}^-(Q^- / C^-)$$

Dabei beschreibt die Funktion $\text{OCP}^-(\text{SOC}^-)$ die Kennlinie des Anodenpotentials und die Funktion $\text{OCP}^+(\text{SOC}^+)$ die Kennlinie des Kathodenpotentials.

25 Bei einem normalem Laden und Entladen der Lithiumionenbatteriezelle 1 besteht keine leitende Verbindung zwischen der Regenerationselektrode 4, der Kathode 3 und der Anode 2. Beim Laden der Lithiumionenbatteriezelle 1 oder beim Entladen der Lithiumionenbatteriezelle 1 kann wahlweise stromlos die Spannung zwischen der Regenerationselektrode 4 und der Anode 2 oder der Kathode 3
 30 gemessen werden und so eine Ladespannung oder Entladespannung gegen die Regenerationselektrode 4 bestimmt und gesteuert werden. Hier fungiert die Regenerationselektrode 4 als eine Referenzelektrode. Somit wird es unter anderem auch ermöglicht, die aktuelle Kennlinie des Anodenpotentials $U_{\text{AN-act}}$
 35 oder die aktuelle Kennlinie des Kathodenpotentials $U_{\text{CAT-act}}$ zu bestimmen.

Weichen die Kennlinien des Anodenpotentials und/oder des Kathodenpotentials von denen einer neuen Lithiumionenbatterie zelle 1 ab, so ist dies ein Indiz dafür, dass ein Verlust von zyklie rbarem Lithium eingetreten ist. Um diesen Verlust auszugleichen, kann das erfindungsgemä ße Verfahren zu definierten

5 Zeitpunkten durchgeführt werden, wobei die Regenerationselektrode 4 gegenüber der Kathode 3 oder die Anode 2 so geschaltet wird, dass Lithium aus der lithiumhaltigen metallischen Regenerationselektrode 4 in das Material der Kathode 3 oder das Material der Anode 2 interkaliert wird, wobei jeweils ein

10 Strom über die elektrische Verbindung zwischen der Regenerationselektrode 4 und der Anode 2 oder der Regenerationselektrode 4 und der Kathode 3 fließt. Ein Lithiumverlust im Material der Kathode 3, beispielsweise durch Bildung einer SEI-Schicht (Solid Electrolyte Interface) auf der Anodenseite kann damit ausgeglichen werden. Wird Lithium aus der lithiumhaltigen metallischen

15 Regenerationselektrode 4 in die Anode 2 interkaliert, kann es von dort aus auch zur Kathode 3 transportiert und zur Wiederherstellung der ursprünglichen Kathodenkapazität genutzt werden.

Die erfindungsgemä ße Lithiierung über die Regenerationselektrode 4 findet bevorzugt so lange statt, bis die Potentiale an Anode 2 oder Kathode 3 den

20 Potentialen der Lithiumionenbatterie zelle 1 zu deren Herstellungszeitpunkt entsprechen. Damit ist der Verlust an zyklie rbarem Lithium wieder ausgeglichen.

Alternativ kann bei genauer Kenntnis des Verlusts an zyklie rbarem Lithium als Funktion der Zyklenzahl bzw. als Funktion der Zeit die Lithiumelektrode immer

25 nach einer bestimmten Zyklenzahl oder einem bestimmten Zeitraum zugeschaltet werden.

Nebst obenstehender Offenbarung wird explizit auf die Offenbarung der Figuren 1 bis 3 verwiesen.

30

5 Ansprüche

1. Verfahren zum Steuern eines Regenerationsvorganges einer Lithiumionenbatteriezelle (1), welche eine Anode (2), eine Kathode (3) und eine Regenerationselektrode (4) umfasst, umfassend:
 - 10 - ein Erfassen einer aktuellen Verfügbarkeit von zykliebarem Lithium in der Anode (2),
 - ein Erfassen einer aktuellen Verfügbarkeit von zykliebarem Lithium in der Kathode (3),
 - 15 - ein Durchleiten eines ersten Stromes (I_1) zwischen der Anode (2) und der Regenerationselektrode (4) bis die aktuelle Verfügbarkeit von zykliebarem Lithium in der Anode (2) einer angezielten Verfügbarkeit von zykliebarem Lithium in der Anode (2) entspricht, und
 - ein Durchleiten eines zweiten Stromes (I_2) zwischen der Kathode (3) und der Regenerationselektrode (4) bis die aktuelle Verfügbarkeit von zykliebarem Lithium in der Kathode (3) einer angezielten
20 Verfügbarkeit von zykliebarem Lithium in der Kathode (3) entspricht.

2. Verfahren gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass dieses ferner folgende Schritte umfasst:
 - 25 - ein Ermitteln einer Fehlmenge an zykliebarem Lithium in der Anode (2), wobei erkannt wird, dass die aktuelle Verfügbarkeit von zykliebarem Lithium in der Anode (2) der angezielten Verfügbarkeit von zykliebarem Lithium in der Anode (2) entspricht, wenn das Durchleiten des ersten Stromes (I_1) so lange erfolgt ist, bis die
30 ermittelte Fehlmenge der Anode (2) zugefügt wurde, und/oder
 - ein Ermitteln einer Fehlmenge an zykliebarem Lithium in der Kathode (3), wobei erkannt wird, dass die aktuelle Verfügbarkeit von zykliebarem Lithium in der Kathode (3) der angezielten Verfügbarkeit von zykliebarem Lithium in der Kathode (3) entspricht, wenn das
35 Durchleiten des zweiten Stromes (I_2) so lange erfolgt ist, bis die ermittelte Fehlmenge der Kathode (3) zugefügt wurde.

- 5 3. Verfahren gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die aktuelle Verfügbarkeit von zyklischem Lithium in der Anode (2) und/oder die aktuelle Verfügbarkeit von zyklischem Lithium in der Kathode (3) basierend auf einem Gesundheitszustand oder einem Alterungszustand der Lithiumionenbatterie (1) ermittelt wird.
- 10 4. Verfahren gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die aktuelle Verfügbarkeit von zyklischem Lithium in der Anode (2) basierend auf einer Änderung einer Kennlinie eines Anodenpotentials ermittelt wird und/oder die aktuelle Verfügbarkeit von zyklischem Lithium in der Kathode (3) basierend auf einer Änderung einer Kennlinie eines Kathodenpotentials ermittelt wird.
- 15 5. Batteriesteuerung (11), die dazu eingerichtet ist, das Verfahren gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche auszuführen.
- 20 6. Batteriesteuerung (11), gemäß Anspruch 5, umfassend eine Elektronik, die dazu eingerichtet ist, den ersten und den zweiten Strom (I_1 , I_2) mittels kommutierender Transistoren zu regeln.
- 25 7. Batterie, umfassend eine Batteriesteuerung (11) gemäß einem der Ansprüche 5 oder 6, umfassend die Lithiumionenbatterie (1), wobei die Regenerationselektrode (4) derart in der Lithiumionenbatterie (1) angeordnet ist, dass deren Potential zwischen einem Potential der Anode (2) und einem Potential der Kathode (3) liegt.

FIG. 1

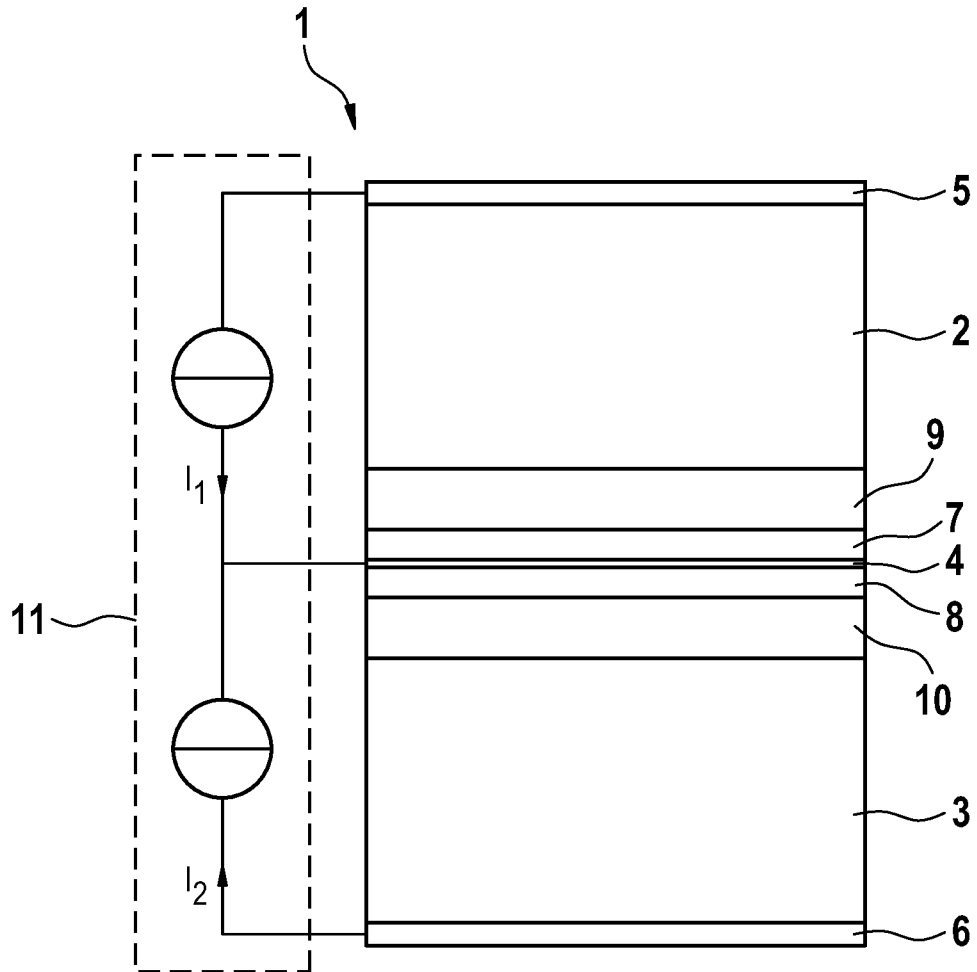
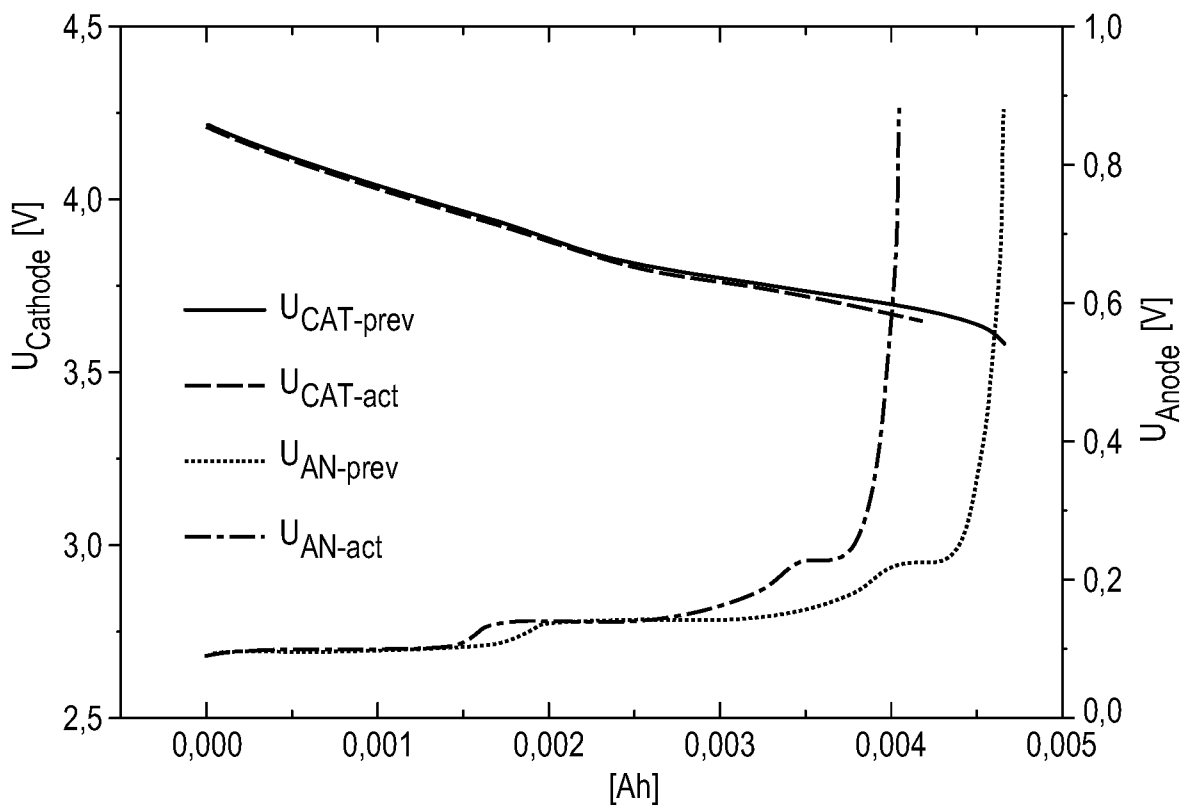


FIG. 2



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2016/061737

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
 INV. H01M10/0525 H01M10/42 H01M10/44 H01M10/48 H01M6/50
 ADD.
 According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED
 Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
 H01M
 Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)
 EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	WO 2008/002626 A2 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]; CHRISTENSEN JOHN F [US]; AHMED JASIM [US]; PAR) 3 January 2008 (2008-01-03) page 4, lines 13-15 page 12, lines 20-26 page 13, lines 13-20	1-7
A	US 2013/029207 A1 (JAIN GAURAV [US]) 31 January 2013 (2013-01-31) the whole document	1-7

Further documents are listed in the continuation of Box C.

See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

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

- "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
- "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search 21 September 2016	Date of mailing of the international search report 30/09/2016
---	---

Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Authorized officer Del Piero, Giannino
--	--

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No PCT/EP2016/061737

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 2008002626	A2	03-01-2008	EP 2041828 A2
			JP 5710122 B2
			JP 2009543294 A
			KR 20090029739 A
			KR 20120034733 A
			KR 20130025948 A
			US 2008050644 A1
			US 2011081563 A1
			US 2015004444 A1
			WO 2008002626 A2
US 2013029207	A1	31-01-2013	US 2013029207 A1
			WO 2013016506 A1

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2016/061737

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES INV. H01M10/0525 H01M10/42 H01M10/44 H01M10/48 H01M6/50 ADD.		
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC		
B. RECHERCHIERTER GEBIETE Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole) H01M		
Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen		
Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe) EPO-Internal, WPI Data		
C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	WO 2008/002626 A2 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]; CHRISTENSEN JOHN F [US]; AHMED JASIM [US]; PAR) 3. Januar 2008 (2008-01-03) Seite 4, Zeilen 13-15 Seite 12, Zeilen 20-26 Seite 13, Zeilen 13-20	1-7
A	US 2013/029207 A1 (JAIN GAURAV [US]) 31. Januar 2013 (2013-01-31) das ganze Dokument	1-7
<input type="checkbox"/> Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen <input checked="" type="checkbox"/> Siehe Anhang Patentfamilie		
<p>* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :</p> <p>"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist</p> <p>"E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist</p> <p>"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)</p> <p>"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht</p> <p>"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist</p> <p>"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist</p> <p>"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden</p> <p>"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist</p> <p>"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist</p>		
Datum des Abschlusses der internationalen Recherche 21. September 2016		Absendedatum des internationalen Recherchenberichts 30/09/2016
Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Bevollmächtigter Bediensteter Del Piero, Giannino

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2016/061737

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
WO 2008002626	A2	03-01-2008	
		EP 2041828 A2	01-04-2009
		JP 5710122 B2	30-04-2015
		JP 2009543294 A	03-12-2009
		KR 20090029739 A	23-03-2009
		KR 20120034733 A	12-04-2012
		KR 20130025948 A	12-03-2013
		US 2008050644 A1	28-02-2008
		US 2011081563 A1	07-04-2011
		US 2015004444 A1	01-01-2015
		WO 2008002626 A2	03-01-2008

US 2013029207	A1	31-01-2013	
		US 2013029207 A1	31-01-2013
		WO 2013016506 A1	31-01-2013
