

(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
05. Dezember 2024 (05.12.2024)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2024/245751 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

H02J 7/00 (2006.01) *H01M 10/615* (2014.01)
G01R 31/389 (2019.01) *H01M 10/625* (2014.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2024/063345

(22) Internationales Anmeldedatum:
15. Mai 2024 (15.05.2024)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2023 205 004.8
30. Mai 2023 (30.05.2023) DE

(71) Anmelder: **VOLKSWAGEN AKTIENGESELLSCHAFT** [DE/DE]; Berliner Ring 2, 38440 Wolfsburg (DE).

(72) Erfinder: **SCHAAR, Bastian**; Beekswiese 55, 38116 Braunschweig (DE). **HENKENIUS, Carsten**; Hinter den Höfen 25, 34431 Marsberg/Udorf (DE). **MAUE, Sven**; Lütge Straße 35, 38228 Salzgitter (DE). **ROWOLD, Karsten**; Sonderwiesen 4, 38162 Cremlingen (DE). **BEDÜRFTIG, Benjamin**; Blücherstraße 5/1, 89077 Ulm (DE).

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

(54) Title: METHOD FOR OPERATING A BATTERY SYSTEM

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUM BETREIBEN EINES BATTERIESYSTEMS

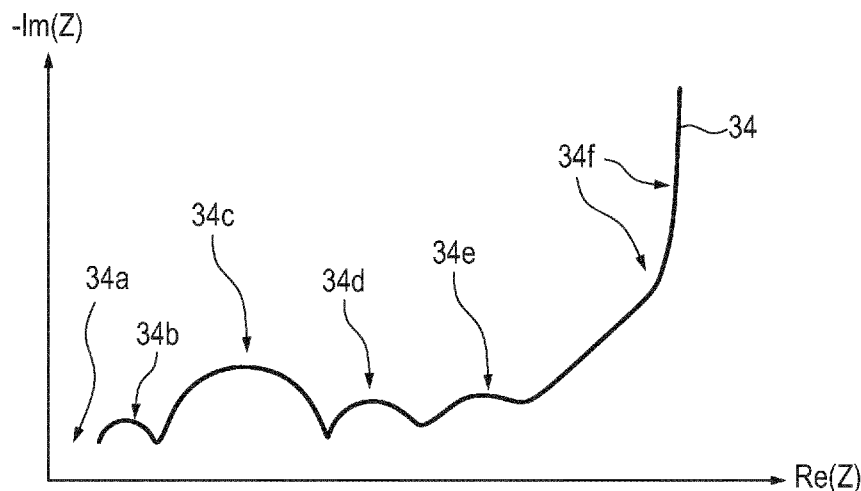


Fig. 4

(57) **Abstract:** The invention relates to a method for operating a battery system (6) comprising at least one electrochemical battery cell (10) in which at least one electrochemical process contributing to a cell internal electrical resistance of the battery cell (10) occurs during operation, wherein the electrochemical process is assigned a time constant, wherein a current pulse (38) is fed into the battery cell (10), and wherein a pulse frequency of the current pulse (38) is set on the basis of the time constant such that the electrochemical process of the battery cell (10) is resonantly excited by the current pulse (38).

(57) **Zusammenfassung:** Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben eines Batteriesystems (6), aufweisend mindestens eine elektrochemische Batteriezelle (10), in welcher im Betrieb mindestens ein elektrochemischer Vorgang abläuft, welcher zu einem elektrischen Zellinnenwiderstand der Batteriezelle (10) beiträgt, wobei dem elektrochemischen Vorgang eine Zeitkonstante zugeordnet wird, wobei ein Strompuls (38) in die Batteriezelle (10) eingespeist wird, und wobei eine Pulsfrequenz des Strompulses (38) anhand der Zeitkonstante derart eingestellt wird, dass der elektrochemische Vorgang der Batteriezelle (10) durch den Strompuls (38) resonant angeregt wird.



WO 2024/245751 A1

SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ,
VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

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

Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

Beschreibung

Verfahren zum Betreiben eines Batteriesystems

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben eines Batteriesystems, aufweisend mindestens eine elektrochemische Batteriezelle, in welcher im Betrieb mindestens ein elektrochemischer Vorgang abläuft, welcher zu einem elektrischen Zellinnenwiderstand der Batteriezelle beträgt. Die Erfindung betrifft weiterhin ein Batteriesystem und eine Software zur Durchführung des Verfahrens.

Elektrisch beziehungsweise elektromotorisch angetriebene oder antreibbare Kraftfahrzeuge, wie beispielsweise Elektro- oder Hybridfahrzeuge, umfassen in der Regel einen Elektromotor, mit dem eine oder beide Fahrzeugachsen antreibbar sind. Zur Versorgung mit elektrischer Energie ist der Elektromotor üblicherweise an ein fahrzeuginternes (Hochvolt-)Batteriesystem als elektrischen Energiespeicher angeschlossen.

Unter einer insbesondere elektrochemischen Batterie ist hier und im Folgenden insbesondere eine sogenannte sekundäre Batterie (Sekundärbatterie) des Kraftfahrzeugs zu verstehen. Bei einer solchen (sekundären) Fahrzeugbatterie ist eine verbrauchte chemische Energie mittels eines elektrischen (Auf-)Ladevorgangs wiederherstellbar.

Derartige Batteriesysteme oder Fahrzeugbatterien sind beispielsweise als elektrochemische Akkumulatoren, insbesondere als Lithium-Ionen-Akkumulatoren, ausgeführt. Zur Erzeugung oder Bereitstellung einer ausreichend hohen Betriebsspannung weisen solche Fahrzeugbatterien typischerweise mindestens ein Batteriemodul (Batteriezellmodul) auf, bei welchem mehrere einzelne elektrochemische Batteriezellen modular verschaltet sind. Alternativ ist ein sogenanntes Cell2Pack-Design möglich, bei welchem die Batteriezellen direkt zu der Fahrzeugbatterie zusammengeschaltet, insbesondere parallelgeschaltet, und nicht vorab zu Modulen zusammengefasst werden.

Batteriezellen auf Lithium-Ionen-Basis weisen in der Regel einen Wirkungsgrad von etwa 95% auf, wobei die auftretenden Verluste in Wärmeenergie gewandelt werden. Die Leistung derartiger Lithium-Ionen-Batteriezellen nimmt (in Abhängigkeit der Zellchemie) typischerweise unterhalb von -5 °C (Grad-Celsius) ab. Eine aufnehmbare Leistung in Lade-Richtung ist in der Regel

noch deutlich stärker temperaturabhängig, wobei die aufnehmbare Leistung bereits unterhalb +20 °C eingeschränkt ist. Dies wirkt sich insbesondere auf Schnellladevorgängen aus, bei welchen die Fahrzeugbatterie in möglichst kurzer Zeit aufgeladen werden soll.

Die abrufbare Leistung der Fahrzeugbatterie ist somit im Wesentlichen abhängig von deren Ladezustand (engl.: State of Charge, SOC) und deren Batterietemperatur. Im Falle einer vollständig geladenen Fahrzeugbatterie ist es zur Verbesserung der Reichweite und der abrufbaren Leistung des elektrisch angetriebenen oder antreibbaren Kraftfahrzeugs notwendig, dass die Fahrzeugbatterie eine gewisse Betriebs- oder Batterietemperatur aufweist.

Hochvoltbatterien erfordern daher für einen stets optimalen Betrieb und bestmögliche Leistungsfähigkeit (Performance) eine thermische Konditionierung (Heizen / Kühlen). Insbesondere im kalten Zustand bei Temperaturen deutlich unterhalb der Raumtemperatur laufen die elektrochemischen Prozesse im Inneren der Batteriezellen lediglich sehr langsam ab. Dies reduziert die Fahrperformance und die Schnelllade-Fähigkeit in kalten Umgebungen. Insbesondere bei einem Stillstand des Kraftfahrzeugs, beispielsweise im Zuge eines (Auf-)Ladevorgangs, kann es vorkommen, dass die Batterietemperatur derart abkühlt oder reduziert wird, dass die Fahrzeugbatterie zu Beginn eines Fahrvorgangs, also bei einer Weiterfahrt oder Abfahrt des Kraftfahrzeugs, keine optimale Leistungsabgabe oder Leistungsentnahme ermöglicht. Weiterhin besteht insbesondere beim Laden die Gefahr, dass die Batteriezellen durch Abscheidung von metallischem Lithium auf der Anode (sog. Lithium-Plating) irreversibel geschädigt werden. Infolgedessen sind die vom Batteriemanagementsystem freigegeben Ladeströme bei tiefen Temperaturen in der Regel sehr stark eingeschränkt, was in langen Ladezeiten resultiert.

Um auch in einer kalten Umgebung eine hinreichende Fahr- und Ladeleistungsfähigkeit darstellen zu können, werden elektrische angetriebene oder antreibbare Kraftfahrzeuge regelmäßig mit Heizsystemen für das Batteriesystem ausgestattet.

Beispielsweise sind am Batteriegehäuse der Fahrzeugbatterie oder an den Zellgehäusen außen angeordnete Heizelemente oder Heizvorrichtungen vorgesehen, welche jedoch zunächst lediglich das Batterie- bzw. Zellgehäuse erwärmen. Eine Temperatur des innenliegenden Aktivmaterials der Batteriezellen beginnt hingegen lediglich zeitverzögert nach Erwärmung des Batterie- und Zellengehäuses anzusteigen. Das Heizen ist darüber hinaus aufgrund der Wärmeverluste bei der Erwärmung des Zellgehäuses energetisch ineffektiv, sodass sich insgesamt eine nicht ausreichende Heizwirkung ergibt.

Alternativ wird beispielsweise ein elektrischer Heizer verwendet, der ein Kühlwasser des Batteriesystems aufheizt. Dieses wird in einem Batterie-Temperierkreis umgewälzt und so zu dem Batteriesystem geführt. Die Heizfunktion über den Wasserheizer ist vergleichsweise träge, da zunächst Wasser erwärmt werden und über den Temperierkreis zur Batterie transportiert werden muss. Auch dort muss die Wärme zunächst von den Kühlplatten durch ggf. Gapfillerlagen zu den Batteriezellen gelangen. Entlang dieses Wärmepfads treten zudem überall Verluste auf, welche die Effizienz dieser Heizmethode weiter einschränken.

Aus der CN 106532187 A ist es beispielsweise bekannt, die Batteriezellen zur Erwärmung abwechselnd mit einem Wechselstrom aufzuladen und zu entladen, also abwechselnd einen Lade- und einen Entladestrom einzuspeisen und zu entnehmen. Der sich einstellende Stromfluss führt zu einer Eigenerwärmung der Zellen durch Verluste an ihrem Innenwiderstand (Zellinnenwiderstand).

Bei einem sogenannten „Pulsheizen“ wird der Wechselstrom insbesondere in Form von hochfrequenten Strompulsen eingespeist und/oder entnommen. In der Regel ist die Fahrzeugbatterie über einen Zwischenkreis und einen (Puls-)Wechselrichter mit dem Elektromotor gekoppelt. Für das Pulsheizen ist es hierbei möglich, über den Pulswechselrichter (PWR) hochfrequente Strompulse zu der Fahrzeugbatterie zu schicken. Hierbei wird eine gewisse Energiemenge aus der Fahrzeugbatterie entnommen und im magnetischen Feld der Statorspulen des Elektromotors zwischengespeichert. Anschließend wird umgepolt, das magnetische Feld baut sich ab, und die Energie wird als Strompuls in die Fahrzeugbatterie beziehungsweise in die Batteriezellen zurückgespeist. Auf diese Weise kommt es zu einem Energiependeln zwischen den Batteriezellen und dem Elektromotor, welche aufgrund der Zellinnenwiderstände eine Erhöhung der Zelltemperaturen bewirkt.

Vorteilhafterweise entsteht die Wärme am Innenwiderstand der Batteriezellen direkt dort, wo sie benötigt wird. Bei den in elektrifizierten Fahrzeugen eingesetzten Antrieben ist die Induktivität der Statorspulen allerdings in der Regel relativ klein dimensioniert. Dies bedingt, dass das Pulsheizverfahren mit vergleichsweise hohen Pulsfrequenzen arbeiten muss, um technisch sinnvolle Heizleistungen zu erzielen. Hierbei erweist sich als nachteilig, dass der wirksame Innenwiderstand der Batteriezellen (Realteil der Zell-Impedanz) bei hohen Frequenzen sehr klein ist, was die erzielbare Heizleistung limitiert. Dies kann beispielsweise mit einem separaten Steller und einem kapazitiven Energiespeicher vermieden werden. Dies ermöglicht infolge des größeren Speichers auch niederfrequente Pulse, bei denen der für das Heizen wirksame Innenwi-

derstand der Zellen größer ist, so dass bei gleichem Pulsstrom im Vergleich größere Heizleistungen möglich werden.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein besonders geeignetes Verfahren zum Betrieb eines Batteriesystems anzugeben. Insbesondere soll ein zuverlässiges und sicheres Temperieren oder Heizen von Batteriezellen angegeben werden. Der Erfindung liegt weiterhin die Aufgabe zugrunde, ein besonders geeignetes Batteriesystem sowie eine besonders geeignete Software anzugeben.

Hinsichtlich des Verfahrens wird die Aufgabe mit den Merkmalen des Anspruchs 1 und hinsichtlich des Batteriesystems mit den Merkmalen des Anspruchs 8 sowie hinsichtlich der Software mit den Merkmalen des Anspruchs 10 erfindungsgemäß gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen sind Gegenstand der abhängigen Ansprüche (Unteransprüche).

Die im Hinblick auf das Verfahren angeführten Vorteile und Ausgestaltungen sind sinngemäß auch auf das Batteriesystem und/oder die Software übertragbar und umgekehrt. Die Konjunktion „und/oder“ ist hier und im Folgenden derart zu verstehen, dass die mittels dieser Konjunktion verknüpften Merkmale sowohl gemeinsam als auch als Alternativen zueinander ausgebildet sein können.

Sofern nachfolgend Verfahrensschritte beschrieben werden, ergeben sich vorteilhafte Ausgestaltungen für das Batteriesystem insbesondere dadurch, dass dieses ausgebildet ist, einen oder mehrere dieser Verfahrensschritte auszuführen.

Das erfindungsgemäße Verfahren ist zum Betreiben eines Batteriesystems vorgesehen sowie dafür geeignet und eingerichtet. Das Verfahren ist generell geeignet für Batteriesysteme, welche bei niedrigen Umgebungstemperaturen (kalt-)gestartet werden, und dabei eine erhöhte Leistung oder Leistungsfähigkeit aufweisen sollen. Das Batteriesystem ist vorzugsweise als eine Fahrzeugbatterie eines batterieelektrischen Fahrzeugs, beispielsweise eines hybriden oder vollelektrischen (Kraft-)Fahrzeugs, ausgebildet. Alternativ kann das Batteriesystem beispielsweise für andere batterieelektrische Produkte oder als ein stationärer Energiespeicher ausgeführt sein.

Das Batteriesystem weist hierbei zumindest eine elektrochemische Batteriezelle auf. Vorzugsweise ist das Batteriesystem auf Lithium-Ionen-Basis ausgeführt, wobei die elektrochemische Batteriezelle entsprechend eine Lithium-Ionen-Zelle, beispielsweise eine Dünnschichtzelle mit

einem Flüssigelektrolyten, ist. In der Batteriezelle läuft im Batterie- oder Zellbetrieb mindestens ein elektrochemischer Vorgang ab, welcher zu einem elektrischen Zellinnenwiderstand, insbesondere einer Zellimpedanz, der Batteriezelle beiträgt.

Verfahrensgemäß wird dem mindestens einen elektrochemischen Vorgang eine Zeitkonstante zugeordnet, und ein Strompuls in die Batteriezelle eingespeist und/oder entnommen. Erfindungsgemäß wird eine Pulsfrequenz des Strompulses anhand der Zeitkonstante derart eingestellt, dass der elektrochemische Vorgang der Batteriezelle durch den Strompuls resonant angeregt wird. Mit anderen Worten wird die Pulsfrequenz anhand der Zeitkonstante derart abgestimmt, dass der elektrochemische Vorgang verstärkt angeregt wird. Dadurch ist ein besonders geeignetes Verfahren zum Betreiben eines Batteriesystems realisiert.

Erfindungsgemäß wird das beschriebene Verhalten für die aus dem Stand der Technik bekannte Pulsheizfunktion nutzbar gemacht, indem die Frequenz der Strom- oder Heizpulse mit Blick auf die Zeitkonstanten der elektrochemischen Prozesse innerhalb der Batteriezelle gezielt ausgewählt werden. Im Gegensatz zu bekannten Lösungen wird im vorgeschlagenen Verfahren die Pulsfrequenz sowie vorzugsweise auch die Pulsform und/oder Pulsamplitude und/oder Pulsphase beim Pulsheizen auf konkrete elektrochemische Prozesse innerhalb der Batteriezelle abgestimmt. Dadurch kann eine Resonanz mit bestimmten elektrochemischen Prozessen zur zielgerichteten Aufheizung einzelner Zellkomponenten genutzt werden.

Entspricht die Pulsfrequenz (f) beispielsweise genau dem Kehrwert der Zeitkonstante (T) eines der innerhalb der Batteriezelle ablaufenden elektrochemischen Prozesse ($f = 1/T$), wird dieser angeregt und in Resonanz gebracht (Resonanzfrequenz). Dies erlaubt ein zielgerichtetes Einbringen von Heizenergie in bestimmte Regionen der Batteriezelle. Limitiert z.B. die Kinetik der Einlagerungsreaktion an der Anode einen Schnellladevorgang, können die aktiven Zentren an dieser Elektrode auf diese Weise gezielt beheizt werden.

Unter „resonant angeregt“ oder einer „resonanten Anregung“ wird hier und im Folgenden insbesondere eine verstärkte (periodische) Anregung des elektrochemischen Prozesses verstanden, wenn er der zeitlich veränderlichen Einwirkung des Strompulses unterliegt. Dabei kann eine stärkere Auswirkung des elektrochemischen Prozesses auf den Zellinnenwiderstand/die Zellimpedanz realisiert werden, als bei einem konstanten Einwirken (Gleichstrom-Laden/Entladen). Bei einer periodischen Anregung des elektrochemischen Prozesses liegt die Anrege- oder Pulsfrequenz (oder ein ganzzahliges Vielfaches hiervon) in der Nähe der Resonanzfrequenz des

elektrochemischen Prozesses, also in einem gewissen Frequenzbereich um die Resonanzfrequenz beziehungsweise dem Kehrwert der Zeitkonstante des elektrochemischen Prozesses.

Das erfindungsgemäße Verfahren erzeugt somit Wärme direkt innerhalb der Batteriezelle ohne Umwege und Verluste z.B. in einem Wasserkreis. Die bewirkte Heizleistung (Heizperformance) wird durch gezieltes Ansprechen einzelner elektrochemischer Prozesse innerhalb der Batteriezelle bewirkt. Insbesondere ist somit ein gezieltes Einbringen von Heizleistung in performance-kritische Zellkomponenten (z.B. Anode beim Schnellladen) ermöglicht.

Unter einem „elektrochemischen Vorgang“ wird hier und im Folgenden insbesondere eine elektrochemische Reaktion oder ein elektrochemischer Prozess im Inneren der Batteriezelle verstanden, welche eine (lokale) Veränderung der eines Zustands innerhalb der Batteriezelle aufgrund eines elektrischen Stroms bewirkt, welche die elektrische Leitfähigkeit der Batteriezelle beeinflusst und somit den elektrischen Innenwiderstand oder die Impedanz der Batteriezelle verändert. Unter einem „elektrochemischen Vorgang“ werden weiterhin auch Bewegungen oder Veränderungen der Ladungsträger (Elektronen, Ionen) in der Batteriezelle oder deren Komponenten (z.B. Ableitern) verstanden.

Innerhalb einer Batteriezelle laufen eine ganze Reihe von unterschiedlichen elektrochemischen Vorgängen ab, welche zum Zellinnenwiderstand bzw. der Zellimpedanz beitragen. Beispielhaft seien hier die Ladungsdurchtritte der Li-Ionen an Anode und Kathode, Bildung elektrochemischer Doppelschichten sowie Diffusionsvorgänge genannt. Bei den Diffusionsvorgängen ist zudem einer Diffusion im Elektrolyten (d.h. innerhalb der vom Elektrolyten gefüllten Porenstruktur von Separator und Elektroden) sowie der Diffusion im Feststoff (also innerhalb des Aktivmaterials) zu unterscheiden. Jeder dieser Vorgänge leistet einen Beitrag zur wirksamen Zellimpedanz und weist eine individuelle Zeitkonstante auf.

Trägt man das Impedanzspektrum der Batteriezelle in der komplexen Ebene auf (Nyquist-Plot), treten die einzelnen Prozesse in Form von Halbkreisen zu Tage. In der elektrischen Modellierung von Batteriezellen werden häufig Ersatzschaltbildmodelle herangezogen. Die einzelnen Prozesse können hierbei durch eine Parallelschaltung einer Kapazität und eines Widerstands (RC-Glied) abgebildet werden (vgl. bspw. Gaberscek, M: Impedance spectroscopy of battery cells : Theory vs. Experiment, Current Opinion in Electrochemistry, 2022, 32:100917). Die Zeitkonstante des jeweiligen Prozesses ergibt sich dann als Produkt der (Gesamt-)Kapazität und des (Gesamt-)Widerstands ($T = R \cdot C$).

Unter einem „Strompuls“ wird insbesondere ein Wechselstromsignal einer bestimmten (Puls-)Dauer und mit einer vorgegebenen Wechselstromfrequenz (Signalfrequenz) verstanden. Das Wechselstromsignal kann hierbei lediglich eine (Puls-)Signalkomponente mit einer Pulsfrequenz aufweisen, so dass der Strompuls im Wesentlichen ein Sinussignal ist. Das Wechselstromsignal kann jedoch auch mehrere Signalkomponenten mit unterschiedlichen Pulsfrequenzen, Pulssamplituden und/oder Pulsformen aufweisen, wobei der Strompuls im Wesentlichen die resultierende Superposition der einzelnen Signalkomponenten ist.

Zur technischen Umsetzung des Strompulses können die aus dem Stand der Technik bekannten Verfahren genutzt werden, also z.B. Erzeugung des Strompulses über einen Pulswechselrichter mit induktiver Speicherung in Statorspulen einer elektrischen Maschine/eines Elektromotors, über eine separate Stelleinheit mit separatem z.B. kapazitivem Energiespeicher, oder über Kombinationen hiervon.

Vorzugsweise wird der Strompuls periodisch in die Batteriezelle eingespeist, um ein zuverlässiges resonantes (Auf-)Heizen der Batteriezelle zu bewirken. Für ein Erwärmen der Batteriezelle werden also beispielsweise eine Anzahl von aufeinanderfolgenden Strompulsen eingespeist. Zweckmäßigerweise ist die Periodizität oder Wiederholungsfrequenz des Strompulses ebenfalls hinsichtlich der resonanten Anregung des elektrochemischen Vorgangs gewählt.

Zusätzlich oder alternativ zum Einspeisen eines Lade-Strompulses kann auch entsprechend eine Entnahme eines Entlade-Strompulses verwendet werden. Dadurch wird die Zelleistung generell verbessert, auch in Entladerichtung z.B. für ein schnelleres Herstellen einer Fahrbereitschaft in kalter Umgebung oder ein schnelleres Bereitstellen geforderter Fahrleistungen. Zum Erwärmen oder Heizen der Batteriezelle wird vorzugsweise ein Energiependeln zwischen der Batteriezelle und einem Energiespeicher (z.B. Induktivitäten von Statorspulen) genutzt, wobei Strompulse sowohl Anteile in Lade- als auch Entladerichtung aufweisen. In einer bevorzugten Ausführungsform werden insbesondere asymmetrische Strompulse verwendet, welche in Laderichtung eine geringere C-Rate aufweise als in Entladerichtung.

Zusätzlich zu der resonanten Aufwärmung der Batteriezelle kann auf entsprechende Weise die Auslösung von alterungs-sensitiven Prozessen vermieden werden. In der Batteriezelle läuft im Betrieb zumindest ein Alterungsprozess ab, welchem ebenfalls eine Zeitkonstante zugeordnet werden kann. Daher kann die Pulsfrequenz des Strompulses in einer denkbaren Weiterbildung derart eingestellt werden, dass ein bestimmter Alterungsprozess der Batteriezelle durch den Strompuls wenig bis gar nicht angeregt wird. Dies kann dann sinnvoll sein, wenn der jeweilige

Alterungsprozess als kritisch hinsichtlich der Zell-Alterung identifiziert wurde. Vorzugsweise ist die Pulsfrequenz des Strompulses also so gewählt, dass der elektrochemische Prozess resonant und der Alterungsprozess möglichst nicht angeregt wird. Durch das Nicht-Ansprechen von alterungssensitiven Prozessen beim Heizen wird die Lebensdauer der Batteriezelle verbessert. Weiterhin wird die Zelleistung durch das resonante Heizen nicht einem ansonsten ungeheizten, für die Batteriezelle stark alterungsfördernden, Temperaturbereich betrieben.

Unter einem „Alterungsprozess“ wird hier und im Folgenden insbesondere ein elektrochemischer Vorgang im Inneren der Batteriezelle verstanden, welcher sich auf die Alterung der Batteriezelle auswirkt. Der Alterungsprozess ist insbesondere ein irreversibler Prozess, welcher die Zelleigenschaften dauerhaft beeinflusst. Solche Alterungsprozesse beeinflussen unter anderem die (Rest-)Kapazität der Batteriezelle sowie den Zellinnenwiderstand bzw. die Zellimpedanz irreversibel. Gealterte Batteriezellen weisen typischerweise eine reduzierte Kapazität und (dauerhaft) höheren Zellinnenwiderstand als am Anfang (Begin-of-Life) auf. Relevante Alterungsprozesse sind hierbei Li-Plating, Schichtdickenwachstum und Gasbildung innerhalb der Batteriezelle.

In einer besonders einfachen Ausführung des Verfahrens wird ein sinusförmiger Strompuls mit lediglich einer Anregungs- oder Pulsfrequenz verwendet, welche z.B. gezielt auf die Diffusion in der Anode abzielt.

Im Rahmen des beschriebenen Verfahrens kann auch eine Überlagerung mehrerer Anregungs- oder Pulsfrequenzen im nachfolgend auch als Heizpuls bezeichneten Strompuls genutzt werden, die auf die Zeitkonstanten verschiedener elektrochemischer Vorgänge abgestimmt sind. In einer geeigneten Ausführung wird hierzu einer Anzahl von unterschiedlichen elektrochemischen Vorgängen der Batteriezelle jeweils eine Zeitkonstante zugeordnet, und ein Strompuls mit einer Überlagerung einer entsprechenden Anzahl von Pulsfrequenzen erzeugt, wobei die Pulssequenzen anhand der Zeitkonstanten derart eingestellt werden, dass die jeweiligen elektrochemischen Vorgänge der Batteriezelle durch den Strompuls resonant angeregt werden. Dies bedeutet, dass der Heizpuls als ein nicht-sinusförmiger Strompuls ausgeführt ist, in dem mehrere Anregungsfrequenzen enthalten sind. Auf diese Weise können nicht nur eine, sondern mehrere Zeitkonstanten und demzufolge mehrere elektrochemische Prozesse innerhalb der Batteriezelle gezielt angesprochen/angeregt werden, wodurch die Heizleistung verbessert wird.

In einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung werden insgesamt drei Frequenzanteile zu einem Gesamt-Heizpuls überlagert. Diese unterscheiden sich signifikant in ihrer Zeitkonstante.

Dadurch ist eine optimierte Heizleistung durch Ansprechen mehrerer Prozesse mit weit auseinanderliegenden Zeitkonstanten ermöglicht.

Die erste Anregungsfrequenz ist hierbei insbesondere abgestimmt auf eine Elektronenbewegung in den Stromableitern der Batteriezelle. Die Stromableiter sind beispielsweise aus einem Kupfermaterial (bei Anode) oder aus einem Aluminiummaterial (bei Kathode) ausgeführt. Die Elektrodenbewegung im metallischen Stromableitermaterial ist ein sehr schneller Prozess mit einer kleiner (niedrigen) Zeitkonstante. Entsprechend ist die erste Anregungsfrequenz eine hochfrequente Anregung. Bei sehr hohen Pulsfrequenzen im Bereich 100 Hz (Hertz) bis größer 5 kHz (Kilohertz) wird insbesondere lediglich eine reine elektrische Leitung innerhalb der Batteriezelle (Stromschienen, Ableiterfolien) und gegebenenfalls Umladungen interner Doppelschichtkapazitäten angeregt. Hierfür wären beispielsweise große C-Raten des Pulsstroms (Pulsstromrate) von 5 C bis 10 C (je nach Zellauslegung) möglich.

Die zweite Anregungsfrequenz ist insbesondere auf die Bewegung von solvatisierten Li-Ionen abgestimmt, welche im Elektrolyten gelöst sind. Die Bewegung weist hierbei eine mittlere Zeitkonstante auf, so dass die zweite Anregungsfrequenz eine mittlere Anregungsfrequenz ist. In einem mittleren Frequenzbereich zwischen 50 mHz (Millihertz) und 10 Hz werden insbesondere Einlagerungs- und Auslagerungsreaktionen von Li-Ionen an der Anode und Kathode angeregt. Hierfür ist die ertragbare Pulsstromrate auf beispielsweise 0,25 C bis 1 C (je nach Zelltemperatur) reduziert.

Die dritte Anregungsfrequenz ist insbesondere auf die vergleichsweise langsame Bewegung der in den Elektroden (Anode, Kathode) eingelagerten Li-Ionen durch Diffusion beziehungsweise Wechsel von Gitterpositionen. Diese Bewegung weist eine große (hohe) Zeitkonstante auf, so dass durch die dritte Anregungsfrequenz insbesondere eine niederfrequente Anregung bewirkt wird. Beispielsweise in einem Frequenzbereich zwischen 5 mHz und 50 mHz Diffusionsprozesse im Elektrolyten angeregt. Bei Frequenzen langsamer als 5 mHz kommen zudem Diffusionsprozesse innerhalb des Aktivmaterials (also Festkörperdiffusion) zum Tragen. In Abhängigkeit von der Zelltemperatur ist es daher notwendig, die Pulsanregung auf z.B. 0,1 C bis 0,2 C zu reduzieren.

In einer vorteilhaften Ausgestaltung werden den unterschiedlichen Pulsfrequenzen unterschiedliche Pulsamplituden und/oder Pulsphasen zugeordnet. Dies bedeutet, dass die Pulsanteile des Heizpulses sich hinsichtlich Frequenz- und Amplitude sowie Phase voneinander unterscheiden.

Hierbei werden insbesondere die Amplituden oder Stromstärken der niederfrequenten Pulsanteile so gewählt, dass eine beschleunigte Alterung der Zelle vermieden wird.

Bei einer Anregung einer Anzahl von elektrochemischen Prozessen, welche bei Anregung eine rein ohmsche Auswirkung auf den Zellinnenwiderstand/die Zellimpedanz haben, sind die Prozesse in der Regel in Phase, so dass die Pulsphasen der Pulskomponenten vorzugsweise gleich ist. Bei einer Solvatisierung der Ionen können Phasenunterschiede zwischen 0° und 45° vorliegen, wobei die Phasendifferenz für die Diffusion im Festkörper beispielsweise bis zu 90° betragen kann.

Die Zeitkonstanten der elektrochemischen Prozesse sind z.B. abhängig von (Zell-)Temperatur, Ladezustand (engl.: State of Charge, SOC) und Alterung der Batteriezelle (engl.: State of Health, SOH), und können sich somit während des Betriebs verändern. In einer zweckmäßigen Ausführung werden die gewählten Pulsfrequenzen und Amplituden und/oder Pulsformen des Strompulses anhand eines Zellzustandes nachgeführt. Unter einem „Zellzustand“ ist hierbei insbesondere ein Betriebsparameter der Batteriezelle, beispielsweise die Zelltemperatur, der Ladezustand oder die Zell-Alterung, zu verstehen. Die Frequenz und Pulsform wird daher vorteilhafterweise zum Beispiel mit zunehmender Aufheizung nachgeführt. Es sollen speziell die Prozesse, die dem Aufheizen der Zelle dienen, jedoch eine Schädigung der Zelle unterbinden, auch beim Fortschreiten des Heizprozesses angeregt werden. Die Nachführung kann hierbei beispielsweise anhand von hinterlegten Kennlinien oder Tabellen erfolgen.

In einer denkbaren Ausführung wird die oder jede Zeitkonstante vorcharakterisiert und hinterlegt. Die Bestimmung der Zeitkonstanten und die Identifikation der einzelnen elektrochemischen Vorgänge kann hierbei beispielsweise ex-situ über Labormessungen an den Batteriezellen für unterschiedliche Zellzustände mit anschließender Modellierung erfolgen. Das Modell und/oder daraus abgeleitete oder entsprechende Kennlinien und/oder Tabellen werden hierbei in einem Speicher des Batteriesystems hinterlegt, und stehen somit auf Abruf im Betrieb bereit.

In einer alternativen Ausführung wird die oder jede Zeitkonstante im Betrieb der Batteriezelle bestimmt. Insbesondere ist hierbei eine in-situ Bestimmung der Zeitkonstanten über Auswertung einer Spannungsantwort für die aufgeprägten oder eingespeisten Strompulse im Batteriesystem möglich. Hierzu werden die Strompulse aufgeprägt und ein Impedanzspektrum abgeleitet. Hieraus werden die konkreten – durch den Strompuls angeregten/beeinflussten – Vorgänge identifiziert und anschließend ein darauf abgestimmter Heiz- oder Strompuls eingestellt.

Das erfindungsgemäße Batteriesystem weist mindestens eine elektrochemische Batteriezelle, in welcher im Betrieb mindestens ein elektrochemischer Vorgang abläuft, welcher zu einem elektrischen Zellinnenwiderstand der Batteriezelle beiträgt, auf. Das Batteriesystem weist weiterhin eine Einspeiseeinrichtung zur Einspeisung eines Strom- oder Heizpulses in die Batteriezelle, und einen Controller (das heißt ein Steuergerät) zur Durchführung eines vorstehend beschriebenen Verfahrens auf.

Der Controller ist hierbei allgemein – programm- und/oder schaltungstechnisch – zur Durchführung des vorstehend beschriebenen erfindungsgemäßen Verfahrens eingerichtet. Der Controller ist somit konkret dazu eingerichtet, einen Pulsparameter (z.B. Pulsfrequenz, Pulsamplitude, Pulsform), insbesondere eine Pulsfrequenz, des eingespeisten Strompulses anhand einer Zeitkonstante für einen elektrochemischen Prozess im Inneren der Batteriezelle derart einzustellen, dass der elektrochemische Vorgang resonant angeregt wird.

In einer bevorzugten Ausgestaltungsform ist der Controller zumindest im Kern durch einen Mikrocontroller mit einem Prozessor und einem Datenspeicher gebildet, in dem die Funktionalität zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens in Form einer Betriebssoftware (Firmware) programmtechnisch implementiert ist, so dass das Verfahren – gegebenenfalls in Interaktion mit einem Vorrichtungsnutzer – bei Ausführung der Betriebssoftware in dem Mikrocontroller automatisch durchgeführt wird. Der Controller kann im Rahmen der Erfindung alternativ aber auch durch ein nicht-programmierbares elektronisches Bauteil, wie zum Beispiel einem anwendungsspezifischen integrierten Schaltkreis (ASIC) oder durch einem FPGA (Field Programmable Gate Array), gebildet sein, in dem die Funktionalität zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens mit schaltungstechnischen Mitteln implementiert ist.

In einer vorteilhaften Ausführung ist die Einspeiseeinrichtung mit einer Einrichtung zur Erzeugung des Strompulses gekoppelt, welche von dem Controller gesteuert und/oder geregelt ist. Die Einrichtung ist hierbei als ein Pulswechselrichter mit induktiver Speicherung in Statorspulen einer elektrischen Maschine/eines Elektromotors oder als eine separate Stelleinheit mit separatem z.B. kapazitivem Energiespeicher ausgeführt. Alternativ kann die Einrichtung zur Erzeugung des Strompulses auch als eine Kombinationen von Pulswechselrichtung und Stelleinheit ausgeführt sein. Dadurch ist eine zuverlässige Erzeugung des Strom- oder Heizpulses gewährleistet.

Ein zusätzlicher oder weiterer Aspekt der Erfindung sieht eine Software auf einem Medium oder Datenträger zur Durchführung oder Ausführung des vorstehend beschriebenen Verfahrens vor,

wenn die Software auf einem Computer oder Controller abläuft. Dies bedeutet, dass die Software auf einem Datenträger hinterlegt ist, und zur Ausführung des vorstehend beschriebenen Verfahrens vorgesehen, sowie dafür geeignet und ausgestaltet ist. Dadurch ist eine besonders geeignete Software für den Betrieb eines elektrisch angetrieben oder antreibbaren Kraftfahrzeugs realisiert, mit welcher die Funktionalität zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens programmtechnisch implementiert wird. Die Software ist somit insbesondere eine Betriebssoftware (Firmware), wobei der Datenträger beispielsweise ein Datenspeicher des Controllers ist.

Nachfolgend sind Ausführungsbeispiele der Erfindung anhand einer Zeichnung näher erläutert. Darin zeigen:

- Fig. 1 in schematischer Darstellung ein Kraftfahrzeug mit einem Batteriesystem,
- Fig. 2 in schematischer Darstellung das Batteriesystem,
- Fig. 3 in schematischer Darstellung eine Batteriezelle und eine Einspeiseeinheit des Batteriesystems,
- Fig. 4 ein Zellimpedanz-Diagramm für elektrochemische Vorgänge der Batteriezelle,
- Fig. 5 ein Flussdiagramm für ein Verfahren zum Betrieb des Batteriesystems, und
- Fig. 6 ein Flussdiagramm für ein alternatives Verfahren zum Betrieb des Batteriesystems.

Einander entsprechende Teile und Größen sind in allen Figuren stets mit den gleichen Bezugszeichen versehen.

Die Fig. 1 zeigt ein elektrisch angetriebenes oder antreibbares Kraftfahrzeug 2, beispielsweise ein Elektro- oder Hybridfahrzeug. Das Kraftfahrzeug 2 weist einen in Fig. 2 gezeigten, dreiphasigen, Elektromotor 4 als elektrischen Traktionsantrieb auf, welcher zur Versorgung mit elektrischer Energie an ein Batteriesystem 6 angeschlossen ist.

Das Batteriesystem 6 weist einen elektrochemischen Energiespeicher 8 mit einer Anzahl von elektrochemischen Batteriezellen 10 auf. Zur Erzeugung oder Bereitstellung einer ausreichend hohen Betriebsspannung können die Batteriezellen 10 modular mindestens einem Batteriemodul verschaltet sein. Alternativ ist ein sogenanntes Cell2Pack-Design möglich, bei welchem die Batteriezellen 10 direkt zusammengeschaltet sind, und nicht vorab zu Modulen zusammengefasst werden.

Zwischen dem Energiespeicher 8 und dem Elektromotor 4 ist ein Pulswechselrichter als Einspeiseeinrichtung 12 verschaltet. Das Batteriesystem 6 umfasst in diesem Ausführungsbeispiel weiterhin einen den Energiespeicher 8 und die Einspeiseeinrichtung 12 verbindenden (Gleichspannungs-)Zwischenkreis 14, welcher sich zumindest teilweise in die Einspeiseeinrichtung 12 erstreckt. Der Zwischenkreis 14 ist zumindest teilweise in die Einspeiseeinrichtung 12 geführt, in welchen zwischen ein Zwischenkreiskondensator 16 sowie eine Brückenschaltung 18 verschaltet sind.

Im Betrieb des Elektromotors 4 wird ein der Brückenschaltung 18 zugeführter Eingangsstrom in einen dreiphasigen Ausgangsstrom (Motorstrom, Drehstrom) für die drei Phasen des Elektromotors 4 gewandelt. Die nachfolgend auch als Phasenströme bezeichneten Ausgangsströme werden an die entsprechenden Phasen(-wicklungen) eines nicht näher dargestellten Stators geführt.

Die Brückenschaltung 18 ist in diesem Ausführungsbeispiel als eine B6-Schaltung ausgeführt. In dieser Ausgestaltungsform wird im Betrieb an jede der Phasenwicklungen in hoher Schaltfrequenz getaktet zwischen den Spannungsniveaus des Zwischenkreises 14 umgeschaltet. Diese getaktete Ansteuerung ist als eine PWM-Ansteuerung durch einen Controller 20 der Einspeiseeinrichtung 12 ausgeführt, mit welcher eine Steuerung und/oder Regelung der Drehzahl, der Leistung sowie der Drehrichtung des Elektromotors 4 möglich ist.

Das Batteriesystem 6 weist weiterhin einen (Batterie-)Controller 22 zur Steuerung und/oder Regelung des Energiespeicherbetriebs auf. Die Controller 20, 22 können hierbei von einem Batteriemanagementcontroller angesteuert werden, oder in diesen integriert sein.

In der Fig. 3 ist der Aufbau einer Batteriezelle 10 näher gezeigt. Die elektrochemische Batteriezelle 10 ist insbesondere als eine Lithium-Ionen-Zelle ausgeführt. In dem gezeigten Ausführungsbeispiel weist die Batteriezelle 10 eine Kathode 24 mit einem (Kathoden-)Ableiter 26 und eine Anode 28 mit einem (Anoden-)Ableiter 30 auf, welche durch einen Separator 31 getrennt, und durch einen (Flüssig-)Elektrolyten 32 gekoppelt sind.

In der Batteriezelle 10 läuft im Batterie- oder Zellbetrieb mindestens ein elektrochemischer Vorgang innerhalb der Ableiter 26, 30 und/oder den Elektrodenschichten 24, 28 und/oder dem Elektrolyten 32 ab, welcher zu einem elektrischen Zellinnenwiderstand, insbesondere einer Zellimpedanz Z , der Batteriezelle 10 beiträgt.

Die Fig. 4 zeigt in einem schematischen und vereinfachten Zellimpedanz-Diagramm einen idealisierten Verlauf der Zellimpedanz Z . In dem Zellimpedanz-Diagramm ist entlang der Abszissenachse (X-Achse) der Realteil der Zellimpedanz Z , und entlang der vertikalen Ordinatenachse (Y-) der negative Imaginärteil der Zellimpedanz Z aufgetragen.

In dem Diagramm ist ein Verlauf 34 für die Zellimpedanz Z beziehungsweise für das Zellimpedanz-Spektrum gezeigt. Der Verlauf 34 weist hierbei unterschiedliche Abschnitte auf, welche durch unterschiedliche elektrochemische Vorgänge bestimmt sind. Der Verlauf 34 weist hierbei im Wesentlichen sechs Bereiche 34a, 34b, 34c, 34d, 34e, und 34f auf.

Im niederohmigen Bereich 34a ist die Zellimpedanz Z durch den elektronischen Widerstand und den Widerstand des Elektrolyten 32 gegeben. Der Bereich 34b ist durch die Kontaktimpedanz zwischen den Ableitern 26, 30 und den zugeordneten Elektroden 24, 28 bestimmt. Im Bereich 34c bemisst sich die Zellimpedanz Z insbesondere durch den Ladungstransfer und der Doppelschichtspeicherung (engl.: double layer storage). Der Bereich 34d wird durch Diffusionsprozesse in der Porenstruktur der Elektroden charakterisiert, wobei der Bereich 34e insbesondere durch die Diffusion im Separator 31 bestimmt wird. Der Bereich 34f korrespondiert zu den Diffusionsprozessen im Aktivmaterial der Elektroden 24, 28.

Nachfolgend ist ein Verfahren zum Betrieb des Batteriesystems 6 erläutert, welches unter Berücksichtigung der elektrochemischen Vorgänge eine lokale Erwärmung der Batteriezellen 10 oder deren (Batterie-)Zellkomponenten 24, 26, 28, 30, 31, 32 bewirkt. Das Verfahren wird beispielsweise durch den Batteriemanagementcontroller beziehungsweise durch den Controller 20 und/oder den Controller 22 durchgeführt.

Die Erwärmung der Batteriezellen 10 erfolgt hierbei verfahrensgemäß durch ein Pulsheizen, bei welchem von der Einspeiseeinrichtung 12 Wechselstromsignale als Strom- oder Heizpuls 38 in die Batteriezellen 10 eingespeist werden, und dort aufgrund von elektrischen Verlustprozessen eine Erwärmung bewirken. Der Strompuls 38 weist hierbei sowohl Anteile in Lade- als auch in Entladerichtung auf.

Zur Erzeugung des Strompulses 38 wird eine gewisse Energiemenge aus dem Energiespeicher 8 entnommen und im magnetischen Feld der Statorspulen des Elektromotors 4 zwischengespeichert. Anschließend wird umgepolt, das magnetische Feld baut sich ab und die Energie wird als Strompuls 38 in den Energiespeicher 8 beziehungsweise in die Batteriezellen 10 zurückgespeist.

Verfahrensgemäß wird mindestens einem der elektrochemischen Vorgänge der Batteriezelle 10 eine Zeitkonstante zugeordnet. Hierbei wird eine Pulsfrequenz des Strompulses 38 anhand der Zeitkonstante derart eingestellt, dass der elektrochemische Vorgang der Batteriezelle 10 durch den Strompuls 38 resonant angeregt wird, so dass mittels der Resonanz ein oder mehrere bestimmte elektrochemische Prozesse zur zielgerichteten Aufheizung einzelner oder mehrerer Zellkomponenten 24, 26, 28, 30, 31, 32 genutzt werden.

Nachfolgend ist anhand der Fig. 5 eine erste Ausführungsform des Verfahrens näher erläutert.

In einem Verfahrensschritt 36 wird das Verfahren gestartet. Das Verfahren wird hierbei beispielsweise bei kalten Umgebungstemperaturen des Kraftfahrzeugs 2 gestartet, wenn das Batteriesystem 6 eine erhöhte Leistung oder Leistungsfähigkeit aufweisen soll.

In einem ersten Verfahrensschritt 40 wird zunächst geprüft, ob eine Ist-Temperatur der Batteriezelle 10 kleiner oder gleich einer gewünschten oder hinterlegten Soll-Temperatur ist. Der Controller 22 ist hierbei dazu geeignet und eingerichtet die Temperatur der Batteriezelle 10 zu überwachen, beispielsweise mittels eines Temperatursensors oder anhand von hinterlegten Temperatur-Kennlinien. Ist die Ist-Temperatur größer oder gleich der Soll-Temperatur wird das Verfahren mit dem Verfahrensschritt 42 beendet.

Sofern die Ist-Temperatur niedriger als die gewünschte Zelltemperatur ist, wird der Verfahrensschritt 44 ausgeführt. In dem Verfahrensschritt 44 wird ein Strompuls 38 erzeugt und in einem Verfahrensschritt 46 durch die Einspeiseeinrichtung 12 in die Batteriezellen 10 eingespeist. Anschließend wird in einem Verfahrensschritt 48 eine Spannungsantwort der Batteriezellen 10 erfasst. Beispielsweise überwacht der Controller 22 die Batteriezellen 10 hierbei mittels eines Spannungsmessers.

Anhand der erfassten Spannungsantwort wird in einem Verfahrensschritt 50 anschließend das korrespondierende Zellimpedanz-Spektrum bestimmt. In einem Verfahrensschritt 52 werden die durch den Strompuls 38 angeregten oder beeinflussten elektrochemischen Vorgänge identifiziert. Beispielsweise wird die erfasste Spannungsantwort mit einem hinterlegten Modell für die Zellimpedanz gefittet, und somit die dominanten Prozesse oder Vorgänge identifiziert. Mindestens einem der Vorgänge wird eine Zeitkonstante zugeordnet, wobei anschließend eine entsprechende Pulsfrequenz anhand des Kehrwerts der Zeitkonstante bestimmt wird. Mit anderen

Worten erfolgt eine in-situ Bestimmung der Zeitkonstanten über Auswertung der Spannungsantwort für die aufgeprägten oder eingespeisten Strompulse 38.

Die bestimmte Pulsfrequenz wird mittels des Controllers 20 oder der PWM-Ansteuerung der Einspeiseeinrichtung 12 eingestellt. Sofern die aktuelle Zelltemperatur noch niedriger als die Soll-Temperatur ist, wird der nächste Strompuls 38 im Verfahrensschritt 44 mit der neu eingestellten Pulsfrequenz erzeugt, und somit eine resonante Anregung des zugeordneten elektrochemischen Prozesses in der Batteriezelle 10 bewirkt.

Anhand der Fig. 6 ist nachfolgend ein zweites Ausführungsbeispiel des Verfahrens näher erläutert. Hierbei erfolgt die Bestimmung der Zeitkonstanten und die Identifikation der einzelnen elektrochemischen Vorgänge insbesondere ex-situ über Vorcharakterisierungen oder Labormessungen an den Batteriezellen 10 für unterschiedliche Zellzustände mit anschließender Modellierung. Die Zeitkonstanten sind hierbei insbesondere anhand von Kennlinien und Tabellen in einem Speicher des Controllers 22 hinterlegt.

Nach dem Start des Verfahrens im Verfahrensschritt 36 wird in einem Verfahrensschritt 56 anhand der aktuellen Zellzustände (Betriebszustände) der Batteriezelle 10 (Zelltemperatur, Ladungszustand, Alterungszustand, ...) und anhand der hinterlegten Informationen die Zeitkonstante für einen bestimmten elektrochemischen Vorgang bestimmt. Hieraus wird eine entsprechende Pulsfrequenz anhand des Kehrwerts der Zeitkonstante bestimmt, und in einem darauffolgenden Verfahrensschritt 58 wird die Pulsfrequenz mittels des Controllers 20 oder der PWM-Ansteuerung der Einspeiseeinrichtung 12 eingestellt. Hernach wird in dem Verfahrensschritt 44 der Strompuls 38 erzeugt und in die Batteriezelle(n) 10 eingespeist.

Im Anschluss wird mit dem Verfahrensschritt 40 geprüft, ob die Ist-Zelltemperatur kleiner oder gleich einer gewünschten oder hinterlegten Soll-Temperatur ist. Ist die Ist-Temperatur größer oder gleich der Soll-Temperatur wird das Verfahren mit dem Verfahrensschritt 42 beendet. Sofern die Ist-Temperatur niedriger als die gewünschte Zelltemperatur ist, wird der Verfahrensschritt 60 ausgeführt.

In dem Verfahrensschritt 60 werden die Pulsfrequenz nachgeführt. Dies bedeutet, dass anhand der nach dem Strompuls 38 vorliegenden Ist-Zelltemperatur (und/oder weiterer Betriebszustände) die Zeitkonstante beziehungsweise Pulsfrequenz anhand der hinterlegten Informationen aktualisiert wird. Anschließend wird der Verfahrensschritt 44 erneut ausgeführt. Dadurch wird

sichergestellt, dass auch bei einem Fortschreiten des Heizprozesses stets eine zuverlässige resonante Anregung der gewünschten Prozesse erfolgt.

Die vorstehend beschriebenen Verfahren sind auf entsprechende Weise auch zur Vermeidung von alterungssensitiven Prozessen geeignet. Insbesondere wird die Pulsfrequenz des Strompulses 38 in den Verfahrensschritten 52, 60 derart eingestellt, dass ein Alterungsprozess der Batteriezelle 10 durch den Strompuls 38 möglichst wenig bis gar nicht angeregt wird.

In einer besonders einfachen Ausführung der Verfahren wird ein sinusförmiger Strompuls 38 mit lediglich einer Anregungs- oder Pulsfrequenz verwendet, welche z.B. gezielt auf die Diffusion in der Anode (Bereich 34f) abzielt. Alternativ kann auch eine Überlagerung mehrerer Anregungs- oder Pulsfrequenzen im Strompuls 38 genutzt werden, die auf die Zeitkonstanten verschiedener elektrochemischer Vorgänge abgestimmt sind. Hierzu wird in den Verfahrensschritten 52, 56 eine Anzahl von unterschiedlichen elektrochemischen Vorgängen der Batteriezelle jeweils eine Zeitkonstante zugeordnet, und ein Strompuls 38 mit einer Überlagerung einer entsprechenden Anzahl von Pulsfrequenzen erzeugt.

Vorzugsweise werden in den Verfahrensschritten 52, 56 zusätzlich zu den Pulsfrequenzen auch weitere Pulseigenschaften, insbesondere eine Pulsform und/oder eine Pulsamplitude, für die jeweilige Pulsfrequenz eingestellt.

Die beanspruchte Erfindung ist nicht auf die vorstehend beschriebenen Ausführungsbeispiele beschränkt. Vielmehr können auch andere Varianten der Erfindung von dem Fachmann hieraus im Rahmen der offenbarten Ansprüche abgeleitet werden, ohne den Gegenstand der beanspruchten Erfindung zu verlassen. Insbesondere sind ferner alle im Zusammenhang mit den verschiedenen Ausführungsbeispielen beschriebenen Einzelmerkmale im Rahmen der offenbarten Ansprüche auch auf andere Weise kombinierbar, ohne den Gegenstand der beanspruchten Erfindung zu verlassen.

Bezugszeichenliste

2	Kraftfahrzeug
4	Elektromotor
6	Batteriesystem
8	Energiespeicher
10	Batteriezelle
12	Einspeiseeinrichtung
14	Zwischenkreis
16	Zwischenkreiskondensator
18	Brückenschaltung
20	Controller
22	Controller
24	Kathode
26	Ableiter
28	Anode
30	Ableiter
31	Separator
32	Elektrolyt
34	Verlauf
34a ... 34f	Bereich
35	Verfahrensschritt
38	Strompuls
40 ... 66	Verfahrensschritt
Z	Zellimpedanz

Patentansprüche

1. Verfahren zum Betreiben eines Batteriesystems (6), aufweisend mindestens eine elektrochemische Batteriezelle (10), in welcher im Betrieb mindestens ein elektrochemischer Vorgang abläuft, welcher zu einem elektrischen Zellinnenwiderstand der Batteriezelle (10) beiträgt,
 - wobei dem elektrochemischen Vorgang eine Zeitkonstante zugeordnet wird,
 - wobei ein Strompuls (38) in die Batteriezelle (10) eingespeist wird, und
 - wobei eine Pulsfrequenz des Strompulses (38) anhand der Zeitkonstante derart eingestellt wird, dass der elektrochemische Vorgang der Batteriezelle (10) durch den Strompuls (38) resonant angeregt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet
dass in der Batteriezelle (10) im Betrieb zumindest ein Alterungsprozess abläuft, welchem eine Zeitkonstante zugeordnet wird, wobei die Pulsfrequenz des Strompulses (38) derart eingestellt wird, dass der Alterungsprozess der Batteriezelle (10) durch den Strompuls (38) nicht angeregt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2,
dadurch gekennzeichnet,
 - dass einer Anzahl von unterschiedlichen elektrochemischen Vorgängen der Batteriezelle (10) jeweils eine Zeitkonstante zugeordnet wird, und
 - dass ein Strompuls (38) mit einer Überlagerung mehrerer Pulsfrequenzen erzeugt wird, wobei die Pulssequenzen anhand der Zeitkonstanten derart eingestellt werden, dass die jeweiligen elektrochemischen Vorgänge der Batteriezelle (10) durch den Strompuls (38) resonant angeregt werden.
4. Verfahren nach Anspruch 3,
dadurch gekennzeichnet,
dass den unterschiedlichen Pulsfrequenzen unterschiedliche Pulsamplituden und/oder Pulsphasenlagen zugeordnet werden.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass die oder jede Pulsfrequenz und/oder eine Pulsform des Strompulses (3) anhand eines Zellzustandes der Batteriezelle (10) nachgeführt wird.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass die oder jede Zeitkonstante vorcharakterisiert und hinterlegt wird.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet,
 - dass eine Spannungsantwort der Batteriezelle (10) auf den Strompuls (38) erfasst wird, und
 - dass die oder jede Zeitkonstante aus der Spannungsantwort bestimmt wird.
8. Batteriesystem (6), aufweisend
 - mindestens eine elektrochemische Batteriezelle (10), in welcher im Betrieb mindestens ein elektrochemischer Vorgang abläuft, welcher zu einem elektrischen Zellinnenwiderstand der Batteriezelle (10) beiträgt,
 - eine Einspeiseeinrichtung (12) zur Einspeisung eines Strompulses (38) in die Batteriezelle (10), und
 - einen Controller (20, 22) zur Durchführung eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 7.
9. Batteriesystem (6) nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Einspeiseeinrichtung (12) einen mit einem Elektromotor (4) gekoppelten Pulswechselrichter oder eine Stelleinheit aufweist.
10. Software auf einem Datenträger zur Durchführung eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 7, wenn die Software auf einem Computer abläuft.

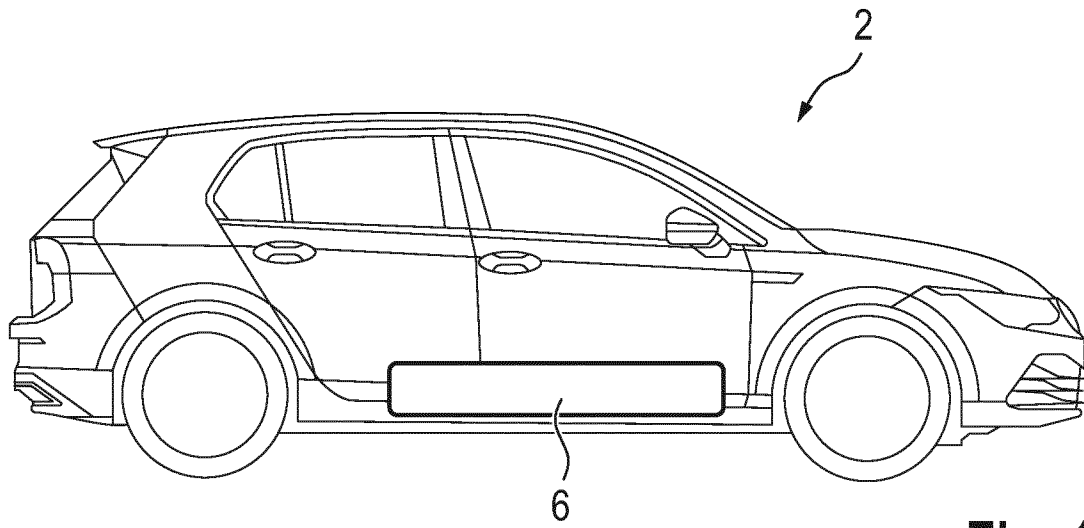


Fig. 1

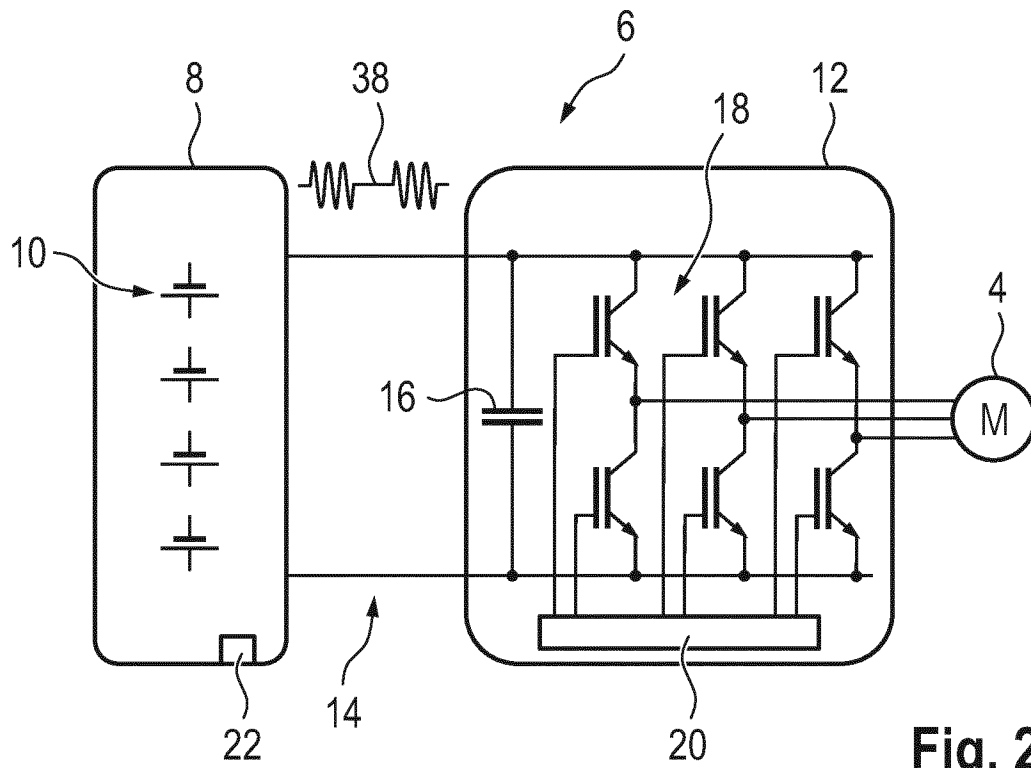


Fig. 2

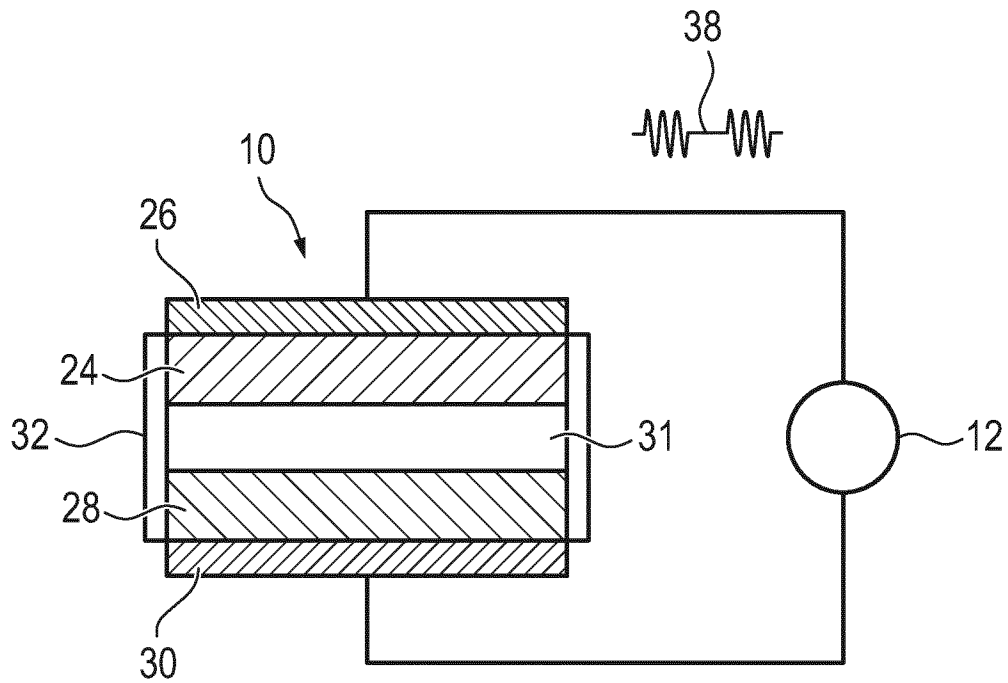


Fig. 3

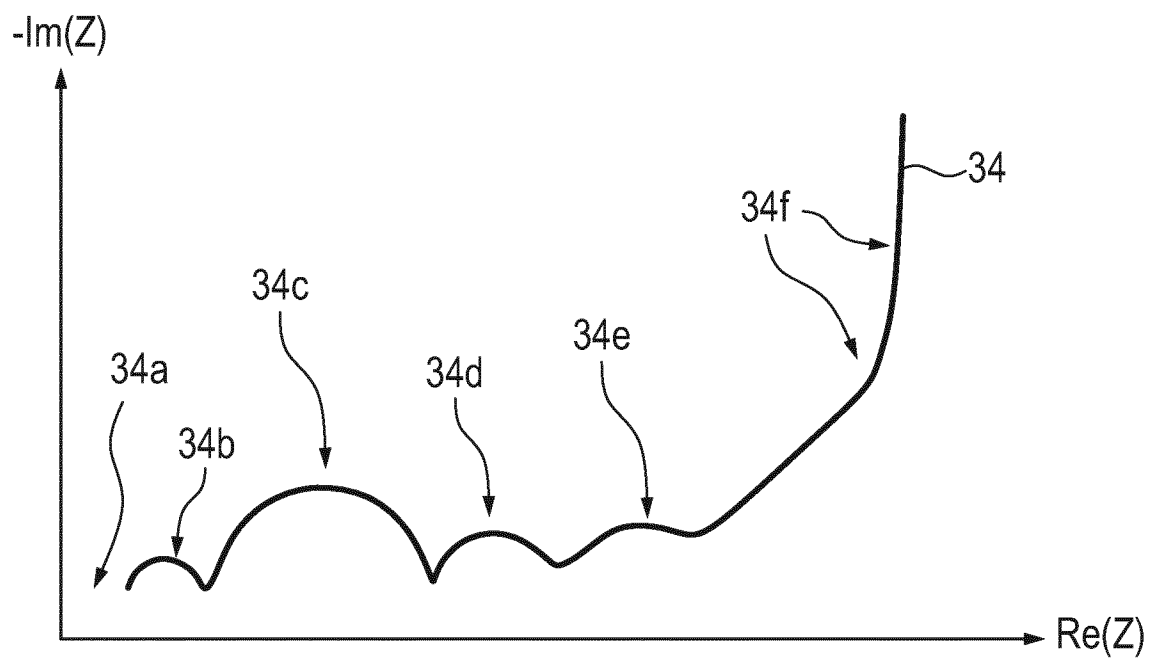
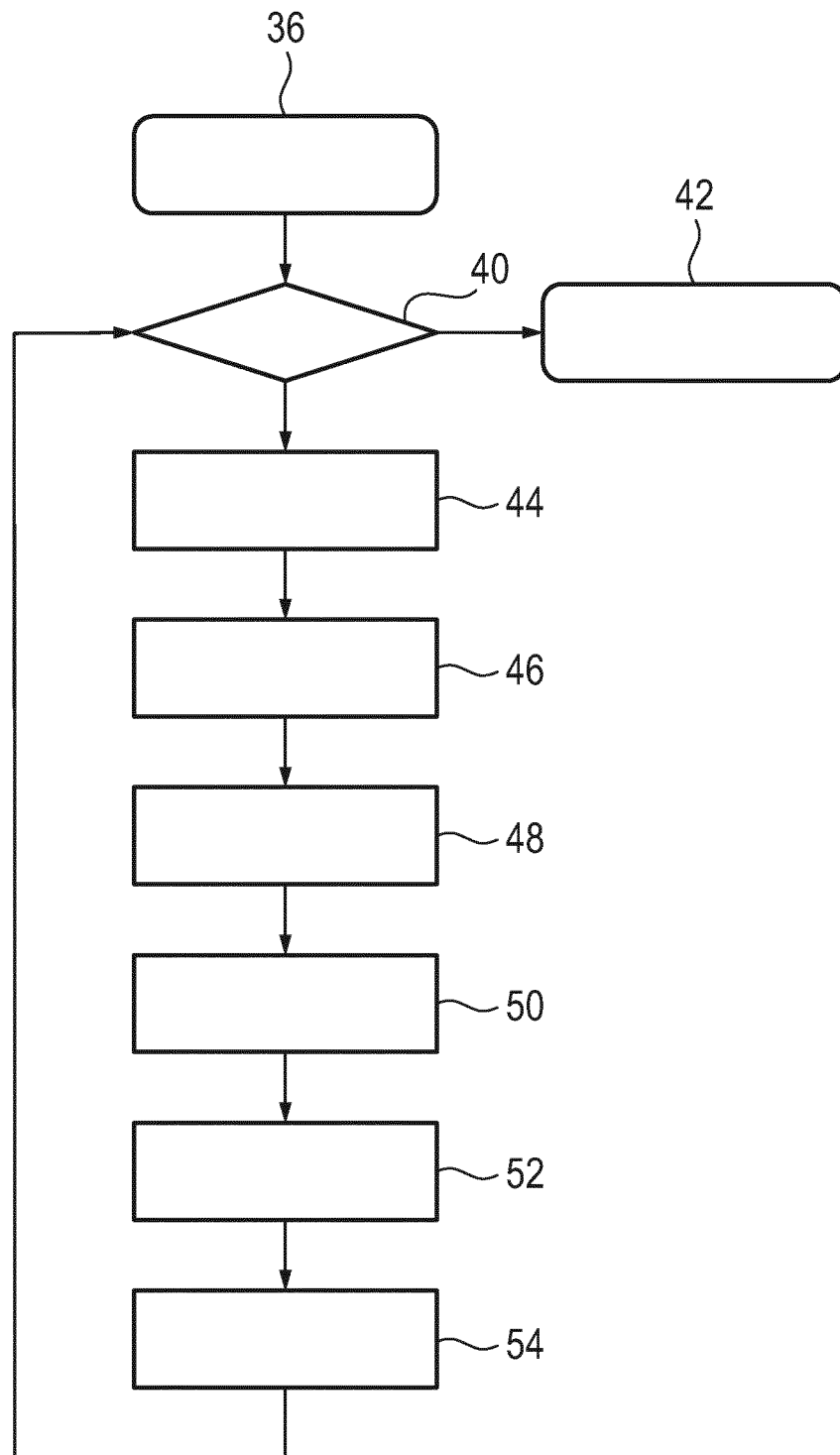


Fig. 4

**Fig. 5**

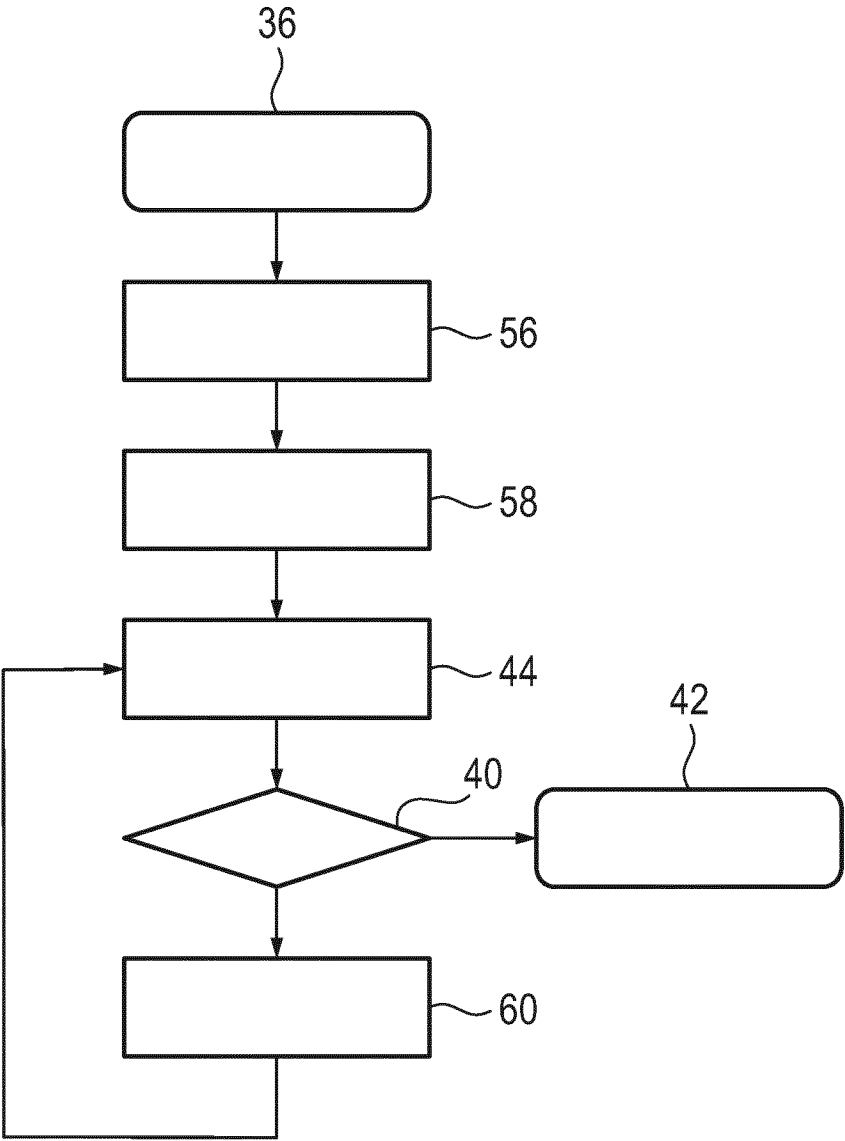


Fig. 6

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2024/063345

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**H02J 7/00**(2006.01)i; **G01R 31/389**(2019.01)i; **H01M 10/615**(2014.01)i; **H01M 10/625**(2014.01)i

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

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H02J; H01M; G01R

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

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

EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 113193268 A (CHONGQING CHANGAN NEW ENERGY AUTOMOBILE TECH CO LTD) 30 July 2021 (2021-07-30) paragraphs [0005] - [0015], [0039] - [0041]	1-10
A	CN 106532187 A (UNIV HARBIN SCIENCE & TECH) 22 March 2017 (2017-03-22) cited in the application paragraphs [0009] - [0042]	1-10

☐ 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

08 August 2024

Date of mailing of the international search report

30 August 2024

Name and mailing address of the ISA/EP

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

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

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

Authorized officer

Jäschke, Holger

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/EP2024/063345

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
CN	113193268	A	30 July 2021	NONE	
CN	106532187	A	22 March 2017	NONE	

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
INV. H02J7/00 G01R31/389 H01M10/615 H01M10/625
ADD.

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
H02J H01M G01R

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)
EPO-Internal

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	CN 113 193 268 A (CHONGQING CHANGAN NEW ENERGY AUTOMOBILE TECH CO LTD) 30. Juli 2021 (2021-07-30) Absätze [0005] - [0015], [0039] - [0041] -----	1 - 10
A	CN 106 532 187 A (UNIV HARBIN SCIENCE & TECH) 22. März 2017 (2017-03-22) in der Anmeldung erwähnt Absätze [0009] - [0042] -----	1 - 10

☐ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen ☒ Siehe Anhang Patentfamilie

- * Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist
- "T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung:: die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung:: die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche 8. August 2024	Absendedatum des internationalen Recherchenberichts 30/08/2024
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 Jäschke, Holger

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

PCT/EP2024/063345

Formblatt PCT/ISA/210 (Anhang Patentfamilie) (April 2005)