



SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT  
EIDGENÖSSISCHES INSTITUT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

(11) **CH** **720 179 A2**

(51) Int. Cl.: **H01M 10/54** (2006.01)  
**B07C 5/34** (2006.01)

**Patentanmeldung für die Schweiz und Liechtenstein**

Schweizerisch-lichtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

(12) **PATENTANMELDUNG**

(21) Anmeldenummer: 001278/2022

(71) Anmelder:  
Kyburz Switzerland AG, Solarweg  
8427 Freienstein (CH)

(22) Anmeldedatum: 28.10.2022

(72) Erfinder:  
Bruno Streich, 8428 Teufen ZH (CH)  
Martin Kyburz, 8428 Teufen ZH (CH)  
Olivier Groux, 8404 Winterthur (CH)

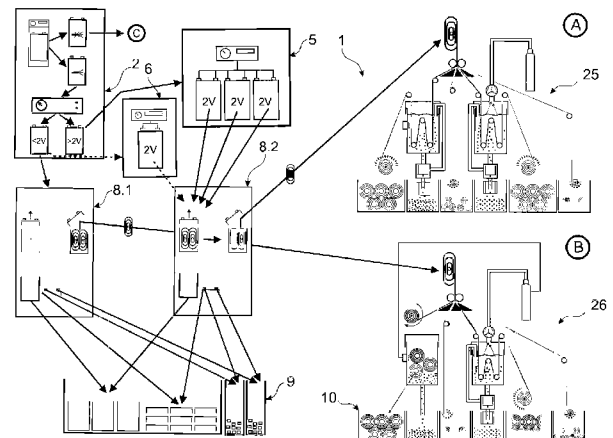
(43) Anmeldung veröffentlicht: 15.05.2024

(74) Vertreter:  
Frei Patentanwaltsbüro AG, Hagenholzstrasse 85  
8050 Zürich (CH)

(54) **Verfahren, Scan-Vorrichtung, Anlage und System zum Recyclieren von Lithium-Ionen-Batterien**

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren und Vorrichtungen zum Recyclen von Lithium-Ionen-Akkumulatoren, welche eine oder mehrere Zellen umfassen, wobei die Zellen jeweils Elektrodenpakete mit bandförmigen Elektroden enthalten, und die bandförmigen Elektroden jeweils ein mit einem Aktivmaterial beschichtetes, elektrisch leitendes Trägerband umfassen.

In einem Recycling-System gemäss einer besonderen Ausführungsart der Erfindung werden auf einer ersten Anlage (25) nicht schadhafte Zellen, deren Elektrodenpalette insbesondere nicht verklebt sind, und auf einer zweiten Anlage (26) schadhafte Zellen, deren Elektrodenpakete insbesondere verklebt sind, direkt recycelt.



## Beschreibung

[0001] Die Erfindung bezieht sich auf das Gebiet des Batterie-Recyclings. Sie betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Recyclieren (Wiederverwerten) von Lithium-Ionen-Batterien, insbesondere von Lithium-Ionen-Akkumulatoren.

[0002] Lithium-Ionen-Akkumulatoren finden aufgrund ihrer vergleichsweise hohen spezifischen Energie eine immer grössere Verbreitung unter den wiederaufladbaren Batterien.

[0003] Unter Batterie ist im Rahmen dieser Patentanmeldung ein Speicher für elektrische Energie auf elektrochemischer Basis zu verstehen. Unter Akkumulator ist eine wiederaufladbare Batterie zu verstehen.

[0004] Neben dem Einsatz in mobilen, elektronischen Geräten, wie Laptops, Digitalkameras, Mobiltelefone, Tablets oder in anderen Mobilgeräten, wie Taschenlampen oder kabellose betriebene Elektrowerkzeuge, gewinnt der Einsatz von Lithium-Ionen-Akkumulatoren insbesondere im Wachstumssektor der Elektromobilität stark an Bedeutung. Lithium-Ionen-Akkumulatoren dienen in der Elektromobilität als Energiespeicher z. B. für Elektroautos, Hybridfahrzeuge, Elektrofahrräder, Elektromotorroller und andere Elektrofahrzeuge.

[0005] Die steigende Nachfrage nach Elektrofahrzeugen führt auch zu einem stark steigenden Bedarf an Lithium-Ionen-Akkumulatoren. Die in einigen Ländern bereits geplante, zukünftige Beschränkung bei der Zulassung von Verbrennungsmotoren wird diese Entwicklung noch weiter beschleunigen.

[0006] Lithium-Ionen-Akkumulatoren ist ein Sammelbegriff für Akkumulatoren, bei welchen an der positiven Elektrode (Kathode) ein Aktivmaterial mit einem Lithium-Metalloxid bzw. mit einem mit Lithium dotierten Metalloxid eingesetzt wird. Das Lithium-Metalloxid ist in Form einer Beschichtung auf einem stromführenden Leiter (Träger) aufgebracht, welcher z. B. aus (Rein-) Aluminium sein kann. Das Lithium-Metalloxid wird beispielsweise in ein Trägermaterial eingebettet, welches auch als Bindemittel bei der Beschichtung des elektrischen Leiters dient.

[0007] Das Aktivmaterial der negativen Elektrode (Anode) umfasst insbesondere elementarem Kohlenstoff. Das Aktivmaterial umfasst insbesondere Graphit oder besteht aus diesem. Das Aktivmaterial ist ebenfalls in Form einer Beschichtung auf einem stromführenden Leiter (Träger) der Anode, wie z. B. Kupfer, aufgebracht.

[0008] Die Aktivmaterialien umfassen die chemisch aktiven Substanzen, die für die Energiespeicherung in Batterien verantwortlich sind, und welche gegebenenfalls über Bindemittel auf den stromführenden Leiter (Träger) aufgebracht sind.

[0009] Der Träger kann z. B. mittels eines Druckverfahrens, wie Siebdruckverfahren, mit dem Aktivmaterial beschichtet sein.

[0010] Zwischen der Anode und der Kathode ist ein elektrisch isolierender Separator angeordnet, welcher einen direkten elektrischen Kontakt zwischen Anode und Kathode verhindern soll. Der Separator ist insbesondere aus einem nicht leitenden Material, wie Kunststoff, z. B. einem Polyethylen oder Polypropylen. Der Separator kann auch aus einem keramischen Material sein oder dieses enthalten.

[0011] Die Anordnung aus Kathode, Separator und Anode wird von einem Elektrolyten umgeben, welcher die Bewegung der Lithium-Ionen zwischen Anode und Kathode gewährleistet. Der Elektrolyt ist insbesondere fließfähig bzw. flüssig.

[0012] Lithium-Ionen-Akkumulatoren zeichnen sich dadurch aus, dass sich die Lithium-Ionen während des Ladens/Entladens des Akkumulators zwischen der Anode und Kathode und durch den Separator hindurch bewegen können. Das heisst, beim Laden des Akkumulators bewegen sich positiv geladene Lithium-Ionen von der Kathode durch den Separator zur Anode, wo sie sich anlagern. Beim Entladen wandern die Lithium-Ionen wieder durch den Separator zur Kathode zurück.

[0013] So sind beispielsweise Lithium-Kobaltdioxid-Akkumulatoren, Lithium-Nickel-Mangan-Cobalt-Oxiden (NMC-Akkumulatoren) und Lithium-Eisenphosphat-Akkumulatoren bzw. Lithium-Ferrophosphat-Akkumulator (LFP-Akkumulatoren) bekannt.

[0014] Lithium-Ionen-Akkumulatoren, welche für hohe Spannungen und/oder Leistungen ausgelegt sind, setzen sich in der Regel aus einer Vielzahl von einzelnen Zellen zusammen, welche miteinander über eine Reihenschaltung (höhere Spannung) und/oder Parallelschaltung (höhere Leistung) miteinander verbunden sind.

[0015] Eine Zelle ist die grundlegende, kleinste elektrochemische, stromproduzierende Einheit einer Batterie bzw. eines Akkumulators, welche zwei Elektroden, einen Elektrolyten, einen Separator und gegebenenfalls ein eigenes Gehäuse umfasst. Die einzelne Zelle kann technisch betrachtet als eigenständige Batterie-Energiequelle funktionieren.

[0016] Eine Zelle enthält mindestens ein Elektrodenpaket aus Kathode, Anode und den dazugehörigen elektrischen Leitern sowie einem oder mehreren Separatoren. Eine Zelle kann aus einem oder mehreren Elektropaket(en) aufgebaut sein.

[0017] Die Elektrodenpakete sind insbesondere in einem Gehäuse der Zelle untergebracht, welches auch den Elektrolyten aufnimmt, in welchem das Elektrodenpaket in der Regel getaucht ist. Das Gehäuse kann z. B. aus Kunststoff oder Metall, wie Aluminium, sein. Ein Gehäuse aus Metall weist den Vorteil auf, dass der Elektrolyt nicht hindurch diffundieren kann.

[0018] Bei gängigen Batterie-Typen liegen die Kathode, die Anode und der Separator als Schichtmaterialien, wie z. B. Bänder vor. Die Bänder sind beispielsweise als Folien ausgebildet.

**[0019]** Das Elektrodenpaket, das heisst die Anordnung von Anode, Separator und Kathode kann gewickelt oder geschichtet bzw. gestapelt oder gefaltet sein.

**[0020]** Bei gestapelten Elektrodenpaketen sind die einzelnen Elektrodenfolien z. B. in einer sich wiederholenden Anordnung aus Anode, Separator, Kathode, Separator, usw. gestapelt.

**[0021]** Gefaltete Elektrodenpakete können z. B. nach dem so genannten Z-Folding-Verfahren hergestellt sein. Im Z-Folding Verfahren werden die einzelnen Elektrodenfolien abwechselnd von links und rechts in Separatortaschen eines gefalteten Separatorenbandes eingebracht.

**[0022]** Bei einer gängigen Zellen-Bauform ist das Elektrodenpaket als Wickel in einem zylindrischen Gehäuse untergebracht. Das heisst, die einzelnen Schichten bzw. der Bandverbund, welche die Anode, Kathode und Separatoren bilden, sind zu einem Wickel gerollt in einem, insbesondere zylindrische, Gehäuse eingebaut und in einem insbesondere flüssigen Elektrolyten getränkt.

**[0023]** Das Gehäuse der Zelle und damit auch das gewickelte, gestapelte oder gefaltete Elektrodenpaket müssen nicht zwingend kreiszylindrisch sein, sondern können auch eine andere Zylinderform aufweisen.

**[0024]** Lithium-Ionen-Akkumulatoren lassen sich bei Erreichen ihrer Lebensdauer (Überalterung, Verlust an Elektrolyten) oder bei Auftreten eines Defektes (z. B. durch Tiefentladung) nicht regenerieren. Sie müssen vielmehr entsorgt werden. Da Lithium-Ionen-Akkumulatoren wie auch andere Batterie-Typen für die Umwelt essentielle Stoffe enthalten, müssen diese in ihre Ausgangskomponenten zerlegt und die einzelnen Komponenten getrennt voneinander verwertet bzw. aufbereitet werden. Hierzu bestehen in gewissen Ländern auch gesetzliche Bestimmungen, welche das Batterie-Recycling vorschreiben.

**[0025]** Da die Lithium-Ionen-Akkumulatoren insbesondere in den Aktivmaterialien wertvolle Rohstoffe wie z. B. Mangan, Kobalt, Nickel, Graphit, Titanat, Schwefel und vor allem Lithium sowie z. B. auch Aluminium und Kupfer enthalten, ist es erstrebenswert, die einzelnen Rohstoffe in möglichst grosser Reinheit zu separieren und der Wiederverwertung zuzuführen.

**[0026]** Die einzelnen Rohstoffe sollen dabei in einer Reinheit zurückgewonnen werden, welche ihre Wiederverwendung in neuen Batterien möglichst ohne aufwendige Aufbereitungsschritte erlauben.

**[0027]** Im Batterie-Recycling wird zwischen mechanischen, thermischen und chemischen (Aufbereitungs-) Prozessen unterschieden, welche in unterschiedlicher Kombination eingesetzt werden können.

**[0028]** Bei einem mechanischen (Aufbereitungs-) Prozess werden die gestapelten, gefalteten oder gewickelten Folien der Elektrodenpakete mit sehr hoher Trennungseffizienz mechanisch separiert. Hierzu werden üblicherweise Schredder eingesetzt, welche die Batterien bzw. Zellen in kleine Teile zerkleinern, die anschliessend sortiert und weiter aufbereitet werden müssen. Bei diesem Vorgang wird jedoch auch die Morphologie der Rohstoffe verändert, weshalb weitere Prozessschritte notwendig sind, um die Rohstoffe in der für die Wiederverwendung erforderlich hohen Reinheit zurückzugewinnen. Bei einem mechanischen Aufbereitungsprozess ist es grundsätzlich möglich, sämtliche Ausgangsstoffe der Batterie in der Reinform wieder zurückzugewinnen und diese in einem geschlossenen Batterie-Kreislauf der Wiederverwendung in neuen Batterien zuzuführen. Der Aufwand hierzu ist jedoch vergleichsweise hoch.

**[0029]** Bei einem thermischen (Aufbereitungs-) Prozess, auch Pyrometallurgie genannt, werden die metallischen Anteile unter Zufuhr von Wärme geschmolzen. In Bädern, z.B. aus flüssigem Kupfer oder Blei, können die Metalle bei sehr hoher Temperatur von z. B. bei über 1200°C Legierungen bilden, welche anschliessend in die einzelnen reinen Metalle (wie Kupfer, Cobalt und Nickel) aufgetrennt werden. Batterie-Bestandteile aus Kunststoff, z. B. Gehäuseteile oder Separatoren, sowie die brennbare Elektrolytflüssigkeit oder das Anodenmaterial Graphit werden dabei verbrannt, beziehungsweise dienen als Brennstoff. Die Metalle Lithium und Aluminium gelangen in oxidierte Form in die Schlacke und werden in dieser Form der Wiederverwertung zugeführt, z.B. als Zuschlagstoff in der Betonindustrie. Alternativ können die Lithium- und Aluminium-Oxide in einem Zusatzschritt (Reduktion) wieder zu reinen Metallen aufbereitet werden. Da beim thermischen Prozess unter anderem die brennbaren Komponenten verbrannt werden, ist bei diesem Prozess kein geschlossener Batterie-Kreislauf möglich.

**[0030]** Da der thermische (Aufbereitungs-) Prozess überdies sehr energieintensiv und wegen der Nichtverwertbarkeit von zahlreichen Rohstoffen auch nicht ressourcenschonend ist, kommt dieser Prozess selten an erster Stelle zum Einsatz.

**[0031]** Beim chemischen (Aufbereitungs-) Prozess, auch Hydrometallurgie genannt, wird mit Hilfe von Lösungsmitteln, Säuren und Elektrizität das Aktivmaterial auf den Elektroden, ohne Einschmelzen mit hoher Reinheit separiert. Allerdings kann der Einsatz von Chemikalien die Umwelt belasten. Überdies sind chemische Prozesse vergleichsweise aufwändig, da ein professioneller Umgang mit den Chemikalien, erforderlich ist, welche nicht in die Umwelt gelangen und die Mitarbeiter gesundheitlich nicht gefährden dürfen. Überdies setzt ein chemischer (Aufbereitungs-) Prozess eine mechanische Vorbehandlung, wie Schreddern, inklusive Abscheidung von Schwer und Leichtmetallen voraus. Alles in allem ist die Aufbereitung der Aktivmaterialien zur Verwendung in neuen Batterien sehr aufwändig und erfordert einen mehrstufigen Prozess.

**[0032]** Beim so genannten direkten Batterie-Recycling werden die Rohstoffe in ihren Eigenschaften nicht verändert, so dass diese direkt wieder in den Batterie-Kreislauf eingebracht werden können. Beim direkten Batterie-Recycling stehen daher mechanische (Aufbereitungs-) Prozesse im Vordergrund, wobei auf den Einsatz von Schreddern verzichtet wird.

**[0033]** So wird beim direkten Batterie-Recycling das Gehäuse der Zelle geöffnet und das Elektrodenpaket entnommen. Die einzelnen Komponenten (z.B. Bänder bzw. Folien) des Elektrodenpakets werden anschliessend vereinzelt. Das heisst, die einzelnen Komponenten der Zelle, wie Gehäuse und Bänder der Elektrodenpakete werden zuerst mechanisch separiert.

**[0034]** Unter Komponenten des Elektrodenpakets sind dessen (festen) Bestandteile gemeint, welche die Elektroden sowie die Separatoren umfassen.

**[0035]** Die Aktivmaterialien auf den Elektrodenbändern (Kathode, Anode) werden anschliessend in einer Lösung, z. B. in Wasser, in einer wässrigen Lösung, in Säure oder in Lauge, von der Trägerschicht abgelöst bzw. getrennt. Mit diesem Verfahren lassen sich praktisch alle Komponenten der Zelle in reiner Form umweltfreundlich, emissionsarm und mit wenig Energie wiedergewinnen. Insbesondere die Aktivmaterialien werden nicht beschädigt und lassen sich einfach aufbereiten.

**[0036]** Allerdings hängt die Wahl des geeigneten Recycling-Verfahrens nicht nur vom Batterie-Typ sondern auch vom Zustand der Batterie bzw. der Zelle, also von der Vorgeschichte der Batterie selbst ab.

**[0037]** Obwohl das Batterie-Recycling oftmals mittels Recycling-Gebühren finanziert oder zumindest finanziell unterstützt wird, steht auch in dieser Branche eine möglichst hohe Wirtschaftlichkeit des Verfahrens im Vordergrund. Die Wirtschaftlichkeit eines Recycling-Verfahrens hängt unter anderem von folgenden Faktoren ab:

- Anwendung des richtigen Verfahrens in Abhängigkeit vom Zustand der Zelle;
- hoher Durchsatz pro Zeiteinheit;
- hoher Automatisierungsgrad / wenig Handarbeit;
- hohe Reinheit der separierten Ausgangsmaterialien.

**[0038]** Es ist daher eine Aufgabe vorliegender Erfindung, ein Verfahren sowie eine dazugehörige Vorrichtung zum Recyclieren von Batterien bzw. deren Zellen mit zum Beispiel gewickelten, gestapelten oder gefalteten Elektrodenpaketen vorzuschlagen, welches die oben genannten Anforderungen erfüllt.

**[0039]** Überdies soll die Vorrichtung und das dazugehörige Verfahren möglichst einfach sowie ressourcenschonend und umweltfreundlich sein und auch möglichst wenig Energie benötigen.

**[0040]** Ferner ist es eine Aufgabe vorliegender Erfindung eine möglichst hohe Recyclingrate von z. B. bis über 90% zu erzielen.

**[0041]** Des Weiteren ist es eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, durch vorbereitende Schritte, den prozentuellen Anteil an Zellen, welche durch ein umweltschonendes, direktes Recycling-Verfahren recyclet werden können, zu erhöhen.

**[0042]** Wenigstens eine der Aufgaben wird durch die unabhängigen Ansprüche 1, 38, 40 und 47 gelöst. Die abhängigen Ansprüche sowie die Beschreibung und die Figuren beinhalten besondere Ausführungsformen und Weiterbildungen der Erfindung.

**[0043]** Gemäss einem ersten Aspekt der Erfindung werden im Rahmen von vorbereitenden Verfahrensschritten insbesondere mittels einer Prüfeinrichtung Zustands-Informationen zur Batterie bzw. zu den Zellen ermittelt und gegebenenfalls ausgewertet.

**[0044]** So können beispielsweise mittels einer Scan-Vorrichtung innere Komponenten der Zellen erfasst bzw. detektiert werden. Aus den erfassten bzw. detektierten, inneren Komponenten werden insbesondere Informationen über den Zustand der Zellen gewonnen.

**[0045]** Optional können die Zellen anhand dieser Zustands-Informationen einer von mindestens zwei Zustands-Klassen zugeordnet werden.

**[0046]** Das Detektieren bzw. Erfassen von inneren Komponenten mittels Scan-Vorrichtung erfolgt insbesondere berührungslos.

**[0047]** Das Detektieren bzw. Erfassen von inneren Komponenten mittels Scan-Vorrichtung erfolgt insbesondere zerstörungsfrei.

**[0048]** Es hat sich nämlich herausgestellt, dass die Eignung der Zellen für ein bestimmtes Recycling-Verfahren, wie zum Beispiel ein mechanischer Aufschluss der Komponenten in einem direkten Recycling-Verfahren, unter anderem auch vom Zustand der Zelle abhängig ist.

**[0049]** So sind schadhafte Zellen bekannte, bei welchen sich beispielsweise die Komponenten der Elektrodenpakete, wie Kathode oder Anode sowie Separatoren nicht mehr oder nicht mehr ohne Weiteres, d. h. z. B. ohne Beschädigung einzelner Komponenten, separieren, insbesondere nicht mehr als Bandkomponenten vom Elektrodenpaket abwickeln lassen. Solche schadhafte Zellen sind in der Regel tiefentladen.

**[0050]** So können bei schadhafte Zellen die Komponenten, wie Kathode oder Anode sowie Separatoren, insbesondere Bandkomponenten, wie Kathoden-, Anoden- sowie Separatorenbänder des Elektrodenpakets, miteinander verklebt sein, insbesondere untrennbar miteinander verklebt sein. Die Komponenten, insbesondere Bandkomponenten können insbesondere derart miteinander verklebt sein, dass eine, insbesondere beschädigungs- bzw. zerstörungsfreie, mechanische Trennung der Komponenten, insbesondere Bandkomponenten, insbesondere in einem direkten Recyclingverfahren nicht mehr oder nur unter grossem Aufwand möglich ist. Solche Zellen lassen sich daher aus technischen und/oder ökonomischen Gründen in der Regel nicht mehr in einem direkten Recycling-Verfahren verwerten.

**[0051]** Das Verkleben der Komponenten, insbesondere der Bandkomponenten kann beispielsweise auftreten, wenn die Zelle ausgetrocknet ist, d.h. die Zelle keinen oder nur noch wenig Elektrolyt enthält. So ist es bekannt, dass der Elektrolyt mit zunehmendem Alter der Zelle durch das Zellengehäuse aus Kunststoff diffundiert und die Zelle auf diese Weise austrocknet.

**[0052]** Das Elektrodenpaket ist folglich nicht mehr im Elektrolyten getränkt, welcher die mechanische Trennung der Komponenten, insbesondere Bandkomponenten unterstützt. Dies ist insbesondere bei alten Zellen der Fall, welche in der Regel auch bereits tiefentladen sind. Ferner kann auch ein Kurzschluss in der Zelle, z. B. durch Beschädigung des Separators, zum Verkleben der Komponenten, insbesondere Bandkomponenten führen. Der Separator kann z. B. aufgrund chemischer Prozesse beschädigt werden.

**[0053]** Schadhafte Zellen können sich auch durch versprödete Separatoren bzw. Separatorenbänder auszeichnen, welche sich nicht mehr als Ganzes vom Elektrodenpaket separieren, insbesondere nicht mehr als Bandkomponente abwickeln lassen.

**[0054]** Mittels der Scan-Vorrichtung kann nun beispielsweise ermittelt werden, ob die Elektrodenpakete einer Zelle schadhaft, insbesondere verklebt, (z.B. wenig bis keinen Elektrolyten in der Zelle) sind oder nicht (z. B. ausreichend Elektrolyt in der Zelle).

**[0055]** Unter Tiefentladung eines Akkumulators bzw. einer Zelle versteht man den Zustand nach Stromentnahme bis zur nahezu vollständigen Erschöpfung der Kapazität. bzw. bis unter eine bestimmte Spannung, der sogenannten Schlussspannung. Bei Lithium-Eisenphosphat-Akkumulatoren liegt beispielsweise ein Tiefentladung bei einer Entladung auf unter 2 V (Volt), insbesondere unter 1.5 V vor. Die Schlussspannung liegt entsprechend unterhalb einer durch einen Ladevorgang erreichbaren, maximalen Spannung.

**[0056]** Die Tiefentladung der Zellen führt in der Regel zu irreparablen Schäden an der Zelle durch chemische Prozesse und entsprechend zu einem Kapazitätsverlust. So führt die Tiefentladung in der Regel dazu, dass das Aktivmaterial der Kathode bzw. das Bindemittel beim direkten Recyceln nicht mehr in einem wasserbasierten Lösungsmittel lösbar ist.

**[0057]** Die gegenüber Tiefentladung sehr empfindlichen Lithium-Ionen-Akkumulatoren werden deshalb während ihres Gebrauchs zwecks Vermeidung einer Tiefentladung mittels einer entsprechenden Steuerung jeweils nur bis zur so genannten Entladeschlussspannung entladen. Die Entladeschlussspannung liegt über der kritischen Spannung einer Tiefentladung.

**[0058]** Es ist zwar möglich mit Spannungsmessungen tiefentladene Batterien zu identifizieren. Allerdings sind nicht alle tiefentladenen Zellen derart beschädigt, dass sich diese nicht mehr in einem direkten Recyclingverfahren über eine mechanische Trennung recyceln lassen. Solche tiefentladenen Zellen lassen sich allerdings, wie später noch genauer erörtert, in der Regel nur in einem modifizierten direkten Recyclingverfahren recyceln.

**[0059]** Mit der Scan-Vorrichtung lassen sich nun die Zellen mit schadhafte Elektrodenpaketen identifizieren, welche in der Regel auch tiefentladen sind.

**[0060]** Dies erlaubt insbesondere die Einteilung der Zellen in zwei Zustands-Klassen, nämlich in eine erste Zustands-Klasse, welche (tiefentladene) Zellen mit schadhafte Elektrodenpaketen umfasst, und in eine zweite Zustands-Klasse, welche die übrigen Zellen, deren Elektrodenpakete nicht schadhaft sind, umfasst. Die Zellen der zweiten Zustands-Klasse können sowohl tiefentladene Zellen als auch nicht tiefentladene Zellen sein.

**[0061]** Mit dem Scannen der Zellen können folglich jene, tiefentladenen Zellen identifiziert werden, welche nicht schadhafte Elektrodenpakete aufweisen. Diese Zellen können, insbesondere mindestens in einem (modifizierten) direkten Recycling-Verfahren aufbereitet werden.

**[0062]** Ferner können auf diese Weise Zellen mit schadhafte Elektrodenpaketen vorgängig aussortiert werden. Diese werden dann erst gar nicht einem direkten bzw. modifizierten direkten Recycling-Verfahren zugeführt, wo diese zu Störungen im Prozessablauf führen. Das Aussortieren solcher Zellen ist insbesondere in Hinblick auf einen vollautomatisierten Recyclingprozess wichtig, bei welchem möglichst keine manuellen Eingriffe notwendig sein sollen.

**[0063]** Die Scan-Vorrichtung umfasst insbesondere einen Scanner zum Scannen der Zelle. „Scannen“ bedeutet das Detektieren bzw. Ermitteln von inneren Komponenten der Zelle. Ferner enthält die Scan-Vorrichtung insbesondere eine Auswerteeinheit. Die Auswerteeinheit dient insbesondere zur Aufbereitung der Messdaten zu den detektierten inneren Komponenten der Zellen.

**[0064]** Die Auswerteeinheit dient insbesondere auch zur Ermittlung von Informationen über den Zustand der Zellen auf Grundlage der detektierten inneren Komponenten der Zelle.

**[0065]** Die Auswerteeinheit umfasst insbesondere eine Auswertesoftware.

**[0066]** Die Auswertung der detektierten Komponenten kann durch eine Bedienperson erfolgen. In einem solchen Fall ist die Auswerteeinheit insbesondere Teil eines bildgebenden Verfahrens, mittels welchem aus den Messdaten zu den detektierten Komponenten ein Abbild erstellt wird. Die Bedienperson nimmt durch visuelles Auswerten des Abbildes insbesondere die Zuordnung der Zelle zu einer Zustands-Klasse bzw. das Aussortieren von Zellen mit schadhafte Elektrodenpaketen vor.

**[0067]** Es kann vorgesehen sein, dass die Auswertung der Messdaten zu inneren Komponenten der Zellen und insbesondere auch die Zuordnung der Zellen zu einer Zustands-Klasse bzw. das Aussortieren von Zellen mit schadhafte Elektrodenpaketen über die Auswerteeinheit automatisiert erfolgt.

**[0068]** So kann vorgesehen sein, dass die Scan-Vorrichtung die Messdaten zu detektierten inneren Komponenten mit hinterlegten Daten, wie Schwellenwerten, abgleicht und so die Zelle einer Zustands-Klasse zuordnet bzw. die Aussortierung vornimmt.

**[0069]** Die hinterlegten Daten können auch Messdaten zu detektierten, inneren Komponenten von anderen bereits einer Zustands-Klasse zugeordneten Zellen umfassen. So kann die Auswerteeinheit eine Datenbank mit Messdaten zu inneren Komponenten einer Vielzahl von Zellen umfassen, welche einer Zustands-Klasse zugeordnet sind. Durch Abgleich der detektierten inneren Komponenten mit vergleichbaren inneren Komponenten von in der Datenbank erfassten Zellen kann die Auswertesoftware eine entsprechende Zuordnung in eine Zustands-Klasse vornehmen.

**[0070]** Es kann vorgesehen sein, dass eine Bedienperson oder ein von Algorithmen gesteuertes, automatisiertes System eine Zuordnung der gescannten Zelle zu einer Zustandsklasse auf Grundlage des effektiven Zellenzustandes beim mechanischen Zerlegen der Zelle vornimmt und diese Information der Scan-Vorrichtung als Feedback einspeist. Dieses Vorgehen ist insbesondere zum Aufbau und zur permanenten Optimierung der oben genannten Datenbank und folglich zur Verbesserung der Zuverlässigkeit der automatisierten Klassen-Zuordnung hilfreich oder gar notwendig.

**[0071]** Die automatisierte Zuordnung der Zellen zu einer Zustands-Klasse kann auch mittels eines bildgebenden Verfahrens erfolgen. So können die erzeugten Abbilder der detektierten inneren Komponenten mittels der Auswerteeinheit unter Anwendung entsprechender Auswerte-Algorithmen analysiert werden. Das Ergebnis der Analyse erlaubt die automatisierte Zuordnung der Zelle zu einer Zustands-Klasse.

**[0072]** Die Analyse kann insbesondere ein Abgleich des Abbildes mit in einer Datenbank der Auswerteeinheit hinterlegten Abbildungen zu inneren Komponenten einer Vielzahl von Zellen umfassen, welche einer Zustands-Klasse zugeordnet sind.

**[0073]** Der Scanner kann beispielsweise mittels Röntgentechnik betrieben werden. Die Zellen werden hierzu mit Röntgenstrahlung bestrahlt. Röntgenverfahren und deren Funktionsweise sind aus dem Stand der Technik bekannt und werden an dieser Stelle daher nicht näher beschrieben. Röntgentechnik wird beispielsweise in der Medizinaltechnik sowie in der Sicherheitstechnik (Gepäckscanner) eingesetzt. Wird ein bildgebendes Verfahren angewendet so kann beispielsweise Computertomographie eingesetzt werden.

**[0074]** Der Scanner kann beispielsweise auch mittels Kernspinresonanz-Technologie (Nuclear Magnetic Resonance, NMR) betrieben werden. Auch diese Technologie ist aus dem Stand der Technik bekannt und wird an dieser Stelle daher nicht näher beschrieben. Kernspinresonanz-Technologie (NMR) wird beispielsweise in der Medizinaltechnik verwendet (Bestimmung von Kernspin-Relaxationszeiten). Wird ein bildgebendes Verfahren eingesetzt, so kann beispielsweise Magnetresonanztomographie bzw. Kernspintomographie (MRT/MRI) Anwendung finden.

**[0075]** Die identifizierten Zellen mit schadhafte Elektrodenpaketen können beispielsweise in einem pyrometallurgischen oder allenfalls in einem hydrometallurgischen Verfahren recycelt werden.

**[0076]** Es ist auch denkbar, dass diese Zellen geöffnet werden und die Elektrodenpakete in einer Flüssigkeit, insbesondere in einem Elektrolyten, getränkt werden. Enthalten die Zellen ein Einlassventil, so können diese auch über das Einlassventil mit einer Flüssigkeit, insbesondere in einem Elektrolyten, nachgefüllt werden.

**[0077]** Je nach Zustand des Elektrodenpaketes kann es sein, dass sich die Verklebungen wieder lösen und das Elektrodenpaket z. B. in einem modifizierten, direkten Recycling-Verfahren recycelt werden kann.

**[0078]** Gemäss einem weiteren Aspekt der Erfindung wird im Rahmen von vorbereitenden Verfahrensschritten mittels einer Spannungsmessvorrichtung die elektrische Spannung der Zellen gemessen. Die Zellen werden anhand der gemessenen Spannung insbesondere einer von mindestens zwei Spannungs-Klassen zugeordnet.

**[0079]** Die Zellen können beispielsweise in zwei Spannungs-Klassen eingeteilt werden. Gemäss einer ersten Spannungs-Klasse liegt die gemessene Spannung oberhalb einer definierten Schlussspannung. Diese Zellen sind insbesondere nicht tiefentladen und werden nachfolgen als erstrangige Zellen bezeichnet. Die erstrangigen Zellen werden einem direkten Recycling-Verfahren zugeführt. Der Begriff „erstrangig“ steht hier insbesondere für einen Zellen-Zustand, welcher das Recyclieren der Zelle in einem direkten Recycling-Verfahren erlaubt.

**[0080]** Gemäss einer zweiten Spannungs-Klasse liegt die gemessene Spannung unterhalb einer definierten Schlussspannung. Diese Zellen gelten als tiefentladen. Die Zellen werden nicht per se einem direkten Recycling-Verfahren für erstrangige Zellen zugeführt.

**[0081]** Die tiefentladenen Zellen können beispielsweise als zweitrangige Zellen einem modifizierten (direkten) Recycling-Verfahren zugeführt werden.

**[0082]** Es ist möglich, dass gewisse tiefentladene Zellen, z. B. im Anschluss an eine Behandlung, wieder auf die Schlussspannung geladen werden können. Dies kann beispielsweise im Anschluss an das Nachfüllen von Flüssigkeit, wie Elektrolyt, in die Zelle sein. Das Nachfüllen kann zum Beispiel über ein an der Zelle vorhandenes Einlassventil erfolgen.

**[0083]** So können beispielsweise tiefentladene Zellen, welche - gegebenenfalls mittels einer Vorbehandlung - auf eine Schlussspannung wiederaufladbar sind, ebenfalls mittels Zustands-Informationen ermittelt werden.

**[0084]** Solche tiefentladenen Zellen können auf die Schlussspannung aufgeladen, geöffnet und ebenfalls einem direkten Recycling-Verfahren zugeordnet werden.

**[0085]** Es ist auch denkbar, diese tiefentladenen Zellen auf eine über der Schlussspannung liegenden Spannung aufzuladen und anschliessend auf die Schlussspannung zu entladen.

**[0086]** Die genannte Schlussspannung ist vom konkreten Batterietyp abhängig. Bei einem Lithium-Ionen-Akkumulator liegt die Schlussspannung insbesondere bei unter 3 Volt, ganz besonders bei 2.5 Volt oder tiefer.

**[0087]** Ferner liegt die Schlussspannung insbesondere bei 1.5 Volt oder höher und ganz besonders bei 2 Volt oder höher. So kann die Schlussspannung im Speziellen bei 2 V liegen. Dies trifft insbesondere bei Lithium-Eisenphosphat-Akkumulatoren zu.

**[0088]** Es kann auch vorgesehen sein, dass die erstrangigen Zellen, insbesondere vorab, zusätzlich auf ihren SoH (State of Health) überprüft werden. Hierzu wird insbesondere die Kapazität der erstrangigen Zelle ermittelt. Dies kann zum Beispiel durch Vornahme von einem oder mehreren Ladezyklen und einer dazugehörigen Auswertung erfolgen. So können beispielsweise Zellen, deren Kapazitätsverlust einen bestimmten Schwellenwert nicht überschreitet, aus dem Recycling-Prozess ausgeschieden und direkt der Wiederverwendung zugeführt werden. So können solche Zellen beispielsweise für stationäre Energiespeicher verwendet werden.

**[0089]** Alle anderen erstrangigen Zellen werden insbesondere einem direkten Recycling-Verfahren zugewiesen. Der Schwellenwert kann beispielsweise bei 30% Kapazitätsverlust liegen.

**[0090]** Gemäss einem weiteren Aspekt der Erfindung ist es auch möglich, mittels einer oder mehreren der folgenden Messungen den Zustand bzw. eine Zustandsinformation der Batterie bzw. Zelle zu ermitteln:

- Gewichtsmessung mittels einer Gewichtsmessvorrichtung;
- Kapazitätsmessung mittels einer Kapazitätsmessvorrichtung;
- Innenwiderstandsmessung mittels einer Innenwiderstandsmessvorrichtung
- Spannungsmessung mittels einer Spannungsmessvorrichtung.

**[0091]** So kann aus dem gemessenen Gewicht, der gemessenen Kapazität und/oder des gemessenen Innenwiderstands der Zelle, der gemessenen Spannung entweder alleine für sich oder in Kombination miteinander und gegebenenfalls mit den Messergebnissen des Scanners der Zustand der Zelle bestimmt bzw. eine Zustandsinformation zur Zelle ermittelt werden.

**[0092]** Zur Ermittlung des Zustandes bzw. der Zustandsinformation können die Messresultate mit hinterlegten Daten bzw. Referenzwerten abgeglichen werden.

**[0093]** Bei der genannten Spannungsmessung findet dabei nicht nur eine Auswertung bezüglich tiefentladen und nicht tiefentladen statt, sondern es werden aus den gemessenen, absoluten Spannungsmesswerten Zustandsinformationen abgeleitet.

**[0094]** Gegebenenfalls können mittels mindestens Gewichtsmessungen, Kapazitätsmessungen oder Innenwiderstandsmessungen, oder einer Kombination von zwei oder mehr als zwei, dieser Messverfahren Zellen mit schadhafte Elektrodenpaketen ermittelt werden.

**[0095]** Die Messungen und gegebenenfalls die Auswertung der dazugehörigen Messresultate können in einer gemeinsamen Vorrichtung oder in separaten Vorrichtungen erfolgen. Es kann insbesondere für jede der genannten Messgrößen eine separate Vorrichtung vorgesehen sein.

**[0096]** Es ist auch möglich, den Zustand der Batterie bzw. Zelle bzw. eine Zustands-information aus Informationen abzuleiten, welche zur Batterie gesammelt wurden, wie Nutzungsdaten (Einsatzzweck, Einsatzort, Einsatzdauer, Einsatzbedingungen), frühere Defekte oder Störungen, Alter der Batterie, etc.

**[0097]** Die oben genannten Verfahren können mit einem Spannungsmessverfahren sowie einem Scan-Verfahren der weiter oben genannten Art kombiniert werden. Sie können allerdings einzeln oder in Kombination miteinander auch als alternative Messmethoden zur Ermittlung von einer oder mehreren Zustands-Informationen eingesetzt werden.

**[0098]** Die vorgenannten Messvorrichtungen, wie Scan-Vorrichtung oder Spannungsmessvorrichtung, sowie Auswertevorrichtungen können insbesondere Teil der Prüfeinrichtung zum Prüfen und gegebenenfalls Klassifizieren der Zellen sein. Ferner kann auch eine Vorrichtung zur Auswertung von (Nutzungs-) Daten zu einer Batterie, wie oben erwähnt, Teil der Prüfeinrichtung sein.

**[0099]** Die Prüfeinrichtung kann eine oder mehrere der vorgenannten Vorrichtungen enthalten. Das Prüfen der Zellen umfasst insbesondere die Auswertung der ermittelten Zustands-Informationen und gegebenenfalls auch die Ermittlung eines geeigneten Recyclingverfahrens für die Zellen und/oder der weiteren Vorbereitungsschritte, wie Entladen oder Aufladen auf eine Schlussspannung, etc., auf Basis der ausgewerteten Zustands-Informationen.

**[0100]** Erstrangige Zellen, deren Spannung grösser ist als die Schlussspannung, und welche einem direkten Recycling-Verfahren zugeführt werden sollen, werden in einem Entladeverfahren insbesondere auf die Schlussspannung entladen. Die Entlade-Energie kann wiederverwendet werden und gegebenenfalls für eine spätere Wiederverwendung zwischengespeichert werden.

**[0101]** Die Entladung der Zelle dient unter anderem auch der Arbeitssicherheit. Durch das Entladen der Zelle werden beim Öffnen der Zelle sowie bei der nachfolgenden Aufbereitung der Zelle gefährliche Kurzschlüsse oder Nebenreaktionen verhindert. Insbesondere werden eine grosse Wärmeentwicklung und allfällige Batteriebrände verhindert.

**[0102]** Das Entladeverfahren ist insbesondere ein vorbereitender Schritt für das nachfolgende Recycling-Verfahren. Das Entladeverfahren wird insbesondere vor der Demontage bzw. vor dem Öffnen der Zelle ausgeführt.

**[0103]** Die Entladung erfolgt insbesondere aktiv. Als aktive Entladung ist insbesondere eine kontrollierte, das heisst gesteuerte Entladung über einen Verbraucher, wie z. B. einen Widerstand, zu verstehen.

**[0104]** Der Entladevorgang erfolgt insbesondere über eine Entladevorrichtung. Der Widerstand kann z. B. 0.1 - 10 Ohm, insbesondere 0.1 - 5 Ohm betragen.

**[0105]** Die Spannung steigt in der Regel nach Abschluss des Entladevorganges (insbesondere auf die Schlussspannung) durch die so genannte Relaxation von selbst, das heisst ohne Einwirkung von aussen, wieder an. Der Spannungsanstieg (absoluter Betrag) durch Relaxation ist jedoch kleiner als die Spannungsabnahme (absoluter Betrag) beim vorangehenden Entladeschritt, so dass die Spannung nach dem Entladeschritt und der daran anschliessenden Relaxation tiefer ist als vor dem Entladeschritt. Die Relaxation kann einen Spannungsanstieg von bis zu 0.8 Volt, insbesondere von bis zu 0.5 Volt, bewirken.

**[0106]** Die Relaxation wird beim Entladen der Batterie auf die Schlussspannung insbesondere berücksichtigt.

**[0107]** So wird die Batterie bzw. Zelle insbesondere in mehreren Schritten, insbesondere jeweils auf die angestrebte Schlussspannung, entladen. Nach jedem Entladeschritt findet insbesondere eine Relaxation statt. Der darauf folgende Entladeschritt findet insbesondere nach einer teilweisen und insbesondere vollständigen Relaxation im Anschluss an den vorangehenden Entladeschritt statt.

**[0108]** Es findet insbesondere eine kaskadenartige Entladung statt, bei welcher sich die Spannung in mehreren Entladeschritten inklusive der jeweiligen Relaxation im Anschluss daran der Schlussspannung annähert.

**[0109]** Da die Entladeschritte mit der Annäherung an die Schlussspannung immer kleiner werden, nimmt auch die Relaxation mit jedem weiteren Entladeschritt ab, bis diese nicht mehr bedeutend ist. Durch die schrittweise Entladung der Batterie bzw. Zelle findet eine Art asymptotische Annäherung der Spannung an die angestrebte Schlussspannung statt.

**[0110]** Der Entladevorgang wie oben beschrieben kann über eine Entladevorrichtung automatisiert erfolgen.

**[0111]** Sobald mit dem letzten Entladeschritt und der daran anschliessenden Relaxation die angestrebte Schlussspannung erreicht ist, wird der Entladevorgang beendet.

**[0112]** Es hat sich gezeigt, dass es von Vorteil ist, die Zelle nicht vollständig, d.h. bis zur Tiefentladung, sondern lediglich bis zu einer Schlussspannung zu entladen. Die Arbeitssicherheit bleibt dabei gewährleistet.

**[0113]** Bei Erreichen der Schlussspannung weist die Zelle nämlich praktisch keine elektrochemische Energie mehr auf, obwohl mit der Schlussspannung noch ein Potential vorliegt. Das Potential der Schlussspannung ist nämlich lediglich ein Mass für die Differenz zwischen der Spannung des Oxidationsmittels und des Reduktionsmittels in der Zelle und kein Mass für die Energie, die im Inneren der Zelle verbleibt. In anderen Worten, die Schlussspannung entspricht einer Scheinspannung, welche der eigenen elektrochemischen Spannung der Zelle entspricht.

**[0114]** Das aktive Entladen der Zelle auf die Schlussspannung weist den Vorteil auf, dass keine Nebenreaktionen mit Lithium und den anderen Komponenten in der Zelle erfolgen. Dies bedeutet, dass die Zelle nicht in einen Stresszustand gelangt, beziehungsweise nicht beschädigt wird.

**[0115]** Wie weiter unten noch beschrieben, ist dies im Hinblick auf die Trennung der Komponenten des Elektrodenpakets, insbesondere der Bandkomponenten in einem direkten Recycling-Verfahren von Relevanz. So lässt sich bei einer aktiven Entladung der Zelle bei der Kathode, insbesondere beim Kathodenband insbesondere die Beschichtung (Aktivmaterial) effizienter vom Trägermaterial entfernen. Ebenso lässt sich auch auf der Anodenseite die Beschichtung (Aktivmaterial)

einfacher vom Trägermaterial entfernen. Allerdings ist die Entfernung der Beschichtung auf der Anodenseite grundsätzlich einfacher als jene auf der Kathodenseite.

**[0116]** Bei tiefentladenen Zellen, z. B. der zweiten Spannungs-Klasse, welche sich weder laden noch entladen lassen, entfällt dieses Vorbereitungsverfahren des aktiven Entladens.

**[0117]** Das Scannen der Zellen sowie das Messen der Spannung der Zellen zwecks Zuteilung der Zellen zu einem geeigneten Recycling-Verfahren sind nun gemäss zwei alternativen Vorgehensweisen miteinander kombinierbar.

**[0118]** Gemäss einem ersten Vorgehen werden die Zellen zuerst mittels einer Scan-Vorrichtung gescannt, wobei die Zellen der ersten Zustands-Klasse (tiefentladen und schadhaft) aussortiert, d.h. insbesondere nicht einem direkten Recycling-Verfahren zugewiesen werden. Diese Zellen werden insbesondere einem bereits weiter oben genannten Recycling-Verfahren zugeordnet.

**[0119]** In einem zweiten Schritt wird mittels einer Spannungsmessvorrichtung die Spannung der Zellen der zweiten Zustands-Klasse (keine schadhaften Elektrodenpakete) gemessen, wobei die nicht tiefentladenen Zellen der ersten Spannungs-Klasse und die tiefentladenen Zellen der zweiten Spannungs-Klasse zugeteilt werden. Die Zellen der ersten Spannungs-Klasse werden insbesondere einem direkten Recycling-Verfahren für erstrangige Zellen zugewiesen. Gegebenenfalls werden die wiederverwendbaren Zellen unter den erstrangigen Zellen mittels des weiter oben beschriebenen Verfahrens ermittelt und der Wiederverwendung zugeführt. Die zweitrangigen Zellen der zweiten Spannungs-Klasse werden insbesondere einem modifizierten, direkten Recycling-Verfahren zugewiesen.

**[0120]** Gemäss einem alternativen, zweiten Vorgehen wird in einem ersten Schritt mittels einer Spannungsmessvorrichtung die Spannung der Zellen gemessen, wobei die nicht tiefentladenen Zellen der ersten Spannungs-Klasse und die tiefentladenen Zellen der zweiten Spannungs-Klasse zugeordnet werden. Die Zellen der ersten Spannungs-Klasse werden einem direkten Recycling-Verfahren für erstrangige Zellen zugewiesen. Gegebenenfalls werden die wiederverwendbaren Zellen mittels des weiter oben beschriebenen Verfahrens ermittelt und der Wiederverwendung zugeführt.

**[0121]** Die Zellen der zweiten Spannungs-Klasse (tiefentladen) werden in einem nachfolgenden Schritt mittels der Scan-Vorrichtung gescannt. Beim Scannen werden die (tiefentladenen) Zellen mit den schadhaften Elektrodenpaketen der ersten Zustands-Klasse ermittelt und aussortiert, d.h. insbesondere nicht einem direkten Recycling-Verfahren zugewiesen. Diese Zellen werden insbesondere einem bereits weiter oben genannten Recycling-Verfahren zugeordnet.

**[0122]** Die anderen, tiefentladenen Zellen, deren Elektrodenpakete nicht schadhaft sind, der zweiten Zustands-Klasse werden einem modifizierten, direkten Recycling-Verfahren zugewiesen.

**[0123]** Es ist auch denkbar, das Scannen der Zellen und die Spannungsmessung an den Zellen nacheinander oder gleichzeitig, z. B. in einer gemeinsamen Einrichtung, durchzuführen und erst anschliessend daran eine Klassierung, d. h. Zuordnung nach Klassen vorzunehmen und insbesondere die Zellen nach Klassen-Zuordnung zu separieren.

**[0124]** Unter Umständen brauchen die Zellen bei diesem Vorgehen nicht mehr zusätzlich in Spannungs-Klassen eingeteilt zu werden. Die Zellen können vielmehr aufgrund der Spannungsmessung und der vom Scannen ermittelten Zustands-Informationen jeweils einer allgemeinen Zustands-Klasse von mindestens zwei Zustands-Klassen zugeordnet werden. Die Spannungsmessung, welche ebenfalls eine Zustands-Information ist, ist dann in dieser allgemeinen Zustands-Klasse bereits berücksichtigt.

**[0125]** So könnten die allgemeinen Zustands-Klassen z. B. wie folgt aussehen:

1. tiefentladene Zellen mit schadhaften Elektrodenpaketen;
2. tiefentladene Zellen, deren Elektrodenpakete nicht schadhaft sind;
3. nicht tiefentladene Zellen; und gegebenenfalls
4. tiefentladene Zellen, deren Elektrodenpakete nicht schadhaft sind, und welche sich wieder auf eine Schlussspannung aufladen lassen.

**[0126]** Es ist auch denkbar, dass vor der Bildung von Zustands-Klassen bzw. vor der Zuordnung zu Zustands-Klassen neben der Spannungsmessung und dem Scannen auch eine oder mehrere oder sämtliche der weiter oben genannten Mess- und Auswerteverfahren, wie Gewichtsmessung, Kapazitätsmessung, Innenwiderstandsmessung, etc. durchgeführt werden. Die Mess- bzw. Auswerteeinformationen werden als weitere Zustands-Informationen bei der Ermittlung der Zustands-Klasse berücksichtigt. Die genannten Mess- und Auswerteverfahren können zusammen mit der Spannungsmessung und dem Scannen in einer gemeinsamen Einrichtung durchgeführt werden.

**[0127]** Die einem direkten Recycling-Verfahren (direktes Recycling-Verfahren für erstrangige Zellen bzw. modifiziertes direktes Recycling-Verfahren für zweitrangige Zellen) zugewiesenen Zellen werden im Anschluss an die vorbereitenden Schritte, zu welchen beispielsweise das Scannen der Zellen, die Spannungsmessung an den Zellen sowie gegebenenfalls das Entladen der Zellen gehören können, insbesondere geöffnet und das Elektrodenpaket wird dem Gehäuse entnommen.

Das Öffnen der Zellen und die Entnahme des Elektrodenpakets sowie gegebenenfalls auch die Entnahme des Elektrolyten erfolgt insbesondere mittels einer Öffnungseinrichtung.

[0128] Das Öffnen kann zum Beispiel werkzeuglos oder mittels entsprechender Werkzeuge, wie Säge, Bohrer oder Fräse, erfolgen. Das Öffnen kann von Hand oder automatisiert, z. B. mittels einer Öffnungseinrichtung, wie Öffnungsroboter erfolgen. Die Werkzeuge sind insbesondere Teil der Öffnungseinrichtung, welche insbesondere das automatisierte Öffnen der Zellen ermöglicht.

[0129] Die Scan-Vorrichtung kann nun auch dazu vorgesehen sein, eine optimale Öffnungsstelle an der Zelle zu ermitteln bzw. detektieren, welche zum Öffnen der Zelle z. B. mittels eines Öffnungswerkzeuges am geeignetsten ist. Die detektierten Informationen zu einer geeigneten Öffnungsstelle können z. B. von der Scan-Vorrichtung an die Öffnungseinrichtung übermittelt werden, welche aufgrund dieser Information das Öffnungswerkzeug gezielt an der geeigneten Öffnungsstelle ansetzt.

[0130] Es ist nämlich ein Ziel, beim Öffnen der Zelle die innere Struktur der Zelle und insbesondere das Elektrodenpaket möglichst nicht zu beschädigen. Mittels der Scan-Vorrichtung können nun beispielsweise Leerräume zwischen dem Elektrodenpaket und der Zellenwand detektiert werden. Solche Stellen an der Zellenwand eignen sich besonders gut zum Öffnen der Zellen, da hier das in das Zelleninnere eindringende Öffnungswerkzeug nicht unmittelbar auf das Elektrodenpaket trifft.

[0131] Die Leerräume werden dabei indirekt, durch das Detektieren der festen Komponenten des Elektrodenpakets im Inneren der Zelle und der Zellenwand detektiert. Die Leerräume können mit einem Elektrolyten gefüllt oder Hohlräume sein.

[0132] Da sich die geeigneten Öffnungsstellen der Batterien bzw. Zellen eines Batterie- bzw. Zellentyps üblicherweise immer an derselben Stelle der Batterie bzw. Zelle befinden, ist es in der Regel ausreichend, wenn die geeignete Öffnungsstelle mittels der Scan-Vorrichtung für jeden Batterie- bzw. Zellentyp nur einmal ermittelt wird.

[0133] Insbesondere bei Zellen, welche so gestaltet sind, dass sie sich über einen vorhandenen Verschluss oder eine Sollbruchstelle öffnen lassen, kann eine Öffnungseinrichtung vorgesehen sein, welche das automatisierte Öffnen der Zellen ermöglicht.

[0134] Die Öffnungseinrichtung kann im Weiteren eine Einspeisevorrichtung enthalten, über welche die zu öffnenden Zellen eingespiessen werden. Die Einspeiseeinrichtung kann z. B. einen Aufnahmeschacht zur Aufnahme der Zellen aufweisen.

[0135] Das Öffnen und Separieren von Komponenten der Zelle, wie Gehäuse bzw. Gehäuseteile, Elektrolyt und Elektrodenpaket kann in der Öffnungseinrichtung automatisiert erfolgen.

[0136] Die Entnahme des Elektrolyten kann ebenfalls automatisiert erfolgen, z. B. durch Einsatz von Unter- oder Überdruck. Das heißt, der Elektrolyt kann unter Einsatz eines Vakuums oder Druckgases, wie Inertgas oder Druckluft, der Zelle entnommen werden. Ferner kann zur Rückgewinnung des Elektrolyten auch eine Kühlfalle zum Einsatz kommen. Die Kühlfalle dient der Kondensation von verdunstetem oder verdampftem Elektrolyten.

[0137] Das Entnehmen des Elektrodenpakets kann über eine Greifvorrichtung oder mittels Druckgas, wie Druckluft, einer Druckgaseinrichtung erfolgen. So kann das Elektrodenpaket beispielsweise mittels Druckgas aus dem Gehäuse ausgeblasen werden. Das Druckgas ist allerdings insbesondere reaktionsträge. Das Druckgas ist im Besonderen sauerstoffarm bzw. sauerstofffrei. Das Druckgas kann z.B. ein Inertgas sein. Dadurch wird verhindert, dass Stoffe der Zelle, wie z. B. Aktivmaterialien, mit Sauerstoff reagieren.

[0138] Ferner kann das Elektrodenpaket auch mittels eines Saugnapfs oder einer Presse dem Gehäuse entnommen werden.

[0139] Beim Öffnen der Zelle weisen die erstrangigen Zellen folglich immer noch eine Spannung, die so genannte Scheinspannung auf. Diese ist jedoch für den weiteren Recycling-Prozess, welcher unter anderem eine mechanische Trennung der Komponenten, insbesondere Bandkomponenten des Elektrodenpakets umfasst, aus oben genannten Gründen nicht problematisch, sondern wie bereits erwähnt sogar von Vorteil.

[0140] Der insbesondere flüssige Elektrolyt wird insbesondere aufgefangen und separat recycelt.

[0141] Das Gehäuse bzw. die Gehäuseteile werden ebenfalls recycelt und z. B. der Sammeleinheit einer Sammeleinrichtung zugewiesen. Gegebenenfalls können zuvor noch die verschiedenen Materialien der Gehäuseteile wie Behälter und Deckel aus Kunststoff und Pol-Elemente aus Metall getrennt und separat gesammelt werden.

[0142] Die Elektrodenpakete können nun jeweils mindestens eines von Folgendem sein:

- gewickelt;
- gestapelt oder
- gefaltet.

**[0143]** Die einzelnen Komponenten des Elektrodenpakets, wie Separatoren und Elektroden, sind insbesondere flächenförmig ausgebildet. Die entsprechenden Elektrodenträger sind entsprechend ebenfalls insbesondere flächenförmig ausgebildet.

**[0144]** Die einzelnen Komponenten des Elektrodenpakets, wie Separatoren und Elektroden, liegen insbesondere als Folien vor. Die entsprechenden Elektrodenträger liegen entsprechend ebenfalls insbesondere als Folien vor.

**[0145]** Einzelne oder sämtliche Komponenten des Elektrodenpakets, wie Elektroden und Separatoren, können bandförmig bzw. Bandkomponenten sein. Die entsprechenden Elektrodenträger liegen entsprechend ebenfalls insbesondere als Elektrodenträgerband vor.

**[0146]** So sind beispielsweise bei gewickelten Elektrodenpakete sämtliche Komponenten des Elektrodenpakets als Bandkomponenten ausgebildet. Die entsprechenden Elektrodenträger sind entsprechend als Trägerband ausgebildet.

**[0147]** Bei gefalteten Elektrodenpaketen können beispielsweise nur die Separatoren als Bandkomponenten ausgebildet sein, während die Elektroden z.B. als Blätter ausgebildet sind.

**[0148]** Das direkte Recycling-Verfahren für erstrangige Zellen beginnt mit dem Vereinzeln, d.h. Trennen bzw. Separieren der Komponenten des Elektrodenpakets, insbesondere der Bandkomponenten des Elektrodenpakets, insbesondere mittels einer Trenneinrichtung, insbesondere Bandtrenneinrichtung. Das Elektrodenpaket wird in eine Kathode, insbesondere in ein Kathodenband, eine Anode, insbesondere in ein Anodenband, und mindestens ein Separator, insbesondere Separatorenband aufgetrennt. Diese bilden die Komponenten, insbesondere die Bandkomponenten, des Elektrodenpakets. Das Elektrodenpaket enthält mindestens ein Separator, insbesondere mindestens ein Separatorenband. Bei einem Wickel sind es beispielsweise zwei Separatorenbänder.

**[0149]** Die Komponenten, insbesondere die Bandkomponenten bzw. deren Träger, insbesondere Trägerbänder sind insbesondere als Folien ausgebildet. Die Folien können z. B. eine Dicke von 100 Mikrometern oder weniger aufweisen.

**[0150]** Ist das Elektrodenpaket gewickelt, so wird das Elektrodenpaket vor der Trennung der Bandkomponenten abgewickelt. Das Abwickeln erfolgt z. B. mittels einer Abwickeleinrichtung. Das Elektrodenpaket wird z. B. in die Abwickeleinrichtung eingebracht und von dieser gehalten.

**[0151]** Die Vereinzelnung, d.h. Trennung oder Separierung der Komponenten, insbesondere der Bänder bzw. Bandkomponenten erfolgt insbesondere mittels einer mechanischen Trenneinrichtung, insbesondere Bandtrenneinrichtung.

**[0152]** Die Bandtrenneinrichtung zum Trennen der Bandkomponenten eines Wickels kann z. B. eine Keilanordnung mit einzelnen Keilen umfassen, welche zwischen den jeweils zu trennenden Bändern angeordnet sind, und über welche die Bänder geführt sind. So können bei vier Bandkomponenten (Anoden-, Kathoden- und zwei Separatorenbänder) insgesamt drei Keile zwischen den Bandkomponenten angeordnet sein.

**[0153]** Die Bandtrenneinrichtung kann z. B. Schlitze aufweisen, durch welche die einzelnen Bandkomponenten jeweils voneinander getrennt geführt werden. So können bei vier Bandkomponenten (Anoden-, Kathoden und zwei Separatorenbänder) insgesamt vier Schlitze vorgesehen sein. Zu Beginn der Auftrennung werden insbesondere die Enden der Bandkomponenten durch die jeweiligen Schlitze eingeführt.

**[0154]** Einzelne oder sämtliche Bandkomponenten können beim Separieren umgelenkt werden.

**[0155]** Die Bandtrenneinrichtung kann auch eine Pneumatikeinrichtung zum Separieren der Bandkomponenten mittels Druckgas umfassen. So kann mittels der Pneumatikeinrichtung Druckgas, wie Druckluft, zwischen die Bänder einblasen werden. Das Einblasen des Druckgases kann über Druckgasdüsen erfolgen.

**[0156]** Das Druckgas ist allerdings insbesondere reaktionsträge. Das Druckgas ist im Besonderen sauerstoffarm bzw. sauerstofffrei. Das Druckgas kann z.B. ein Inertgas sein. Dadurch wird verhindert, dass Stoffe der Zelle, wie z. B. Aktivmaterialien, mit Sauerstoff reagieren.

**[0157]** Die Bandtrenneinrichtung kann auch eine Hydraulikeinrichtung zum Separieren der Bandkomponenten mittels eines Flüssigkeitsstrahls umfassen. So kann mittels der Hydraulikeinrichtung ein Flüssigkeitsstrahl, z. B. ein Lösungsmittel, wie Wasser, zwischen die Bänder gespritzt werden. Der Flüssigkeitsstrahl kann über Düsen erzeugt werden.

**[0158]** Der Bandtrenneinrichtung kann ein Walzenpaar vorgelagert sein, durch dessen Walzenspalt das (abgewickelte) Bandpaket des Elektrodenpakets geführt wird. Das Walzenpaar bildet insbesondere eine Führung für das Bandpaket aus.

**[0159]** Wird das (gewickelte) Bandpaket von einer Abwickeleinrichtung abgewickelt, so ist zwischen der Abwickeleinrichtung und der Bandtrenneinrichtung insbesondere eine über einen Antrieb angetriebene Abzugsvorrichtung angeordnet, welche das Bandpaket vom Wickel abwickelt. Das oben genannte Walzenpaar kann z. B. als angetriebenes Abzugswalzenpaar Teil der Abzugsvorrichtung sein bzw. diese ausbilden. Das heisst, der Bandvorzug erfolgt über das angetriebene Walzenpaar.

**[0160]** Der Bandvorzug erfolgt somit insbesondere am Anfang und nicht etwa am Schluss des Banddurchlaufs. Dies, weil das noch ungetrennte Bandpaket im Gegensatz zu den einzelnen, getrennten Bandkomponenten eine genügende Zugfestigkeit aufweist, um die durch den Antrieb erzeugten Zugkräfte aufzunehmen.

**[0161]** Die Kathode, insbesondere das Kathodenband wird im Anschluss an die Auftrennung des Elektrodenpaketes in die einzelnen Komponenten, insbesondere Bandkomponenten in einer Ablöse- bzw. Separiereinrichtung mit einem Lösungsmittel behandelt bzw. in Kontakt gebracht. Hierzu wird die Kathode, insbesondere das Kathodenband insbesondere in ein Lösungsmittelbad getaucht. Liegt die Kathode als Band vor, so kann das Kathodenband insbesondere kontinuierlich durch ein Lösungsmittelbad geführt bzw. transportiert werden.

**[0162]** Das Lösungsmittel bewirkt die Ablösung bzw. Trennung des Aktivmaterials (z. B. Li-Metalloxid) vom Träger bzw. Trägerband (z. B. Aluminium). Hierbei löst sich insbesondere das Bindemittel der Kathode, welches für eine Adhäsion des Aktivmaterials am Träger bzw. Trägerband sorgt, im Lösungsmittel.

**[0163]** Die Separiereinrichtung enthält hierzu insbesondere einen Behälter, welcher das Lösungsmittel aufnimmt.

**[0164]** Ferner können Führungsmittel, wie Führungsrollen, vorgesehen sein, mittels welchen ein Kathodenband durch das Lösungsmittelbad geführt wird.

**[0165]** Der Trennvorgang des Aktivmaterials dauert üblicherweise rund 30 Sekunden. Das separierte Aktivmaterial wird im Lösungsmittel, insbesondere in Wasser, insbesondere suspendiert. Es entsteht also insbesondere eine Suspension aus Lösungsmittel und Aktivmaterial.

**[0166]** Das separierte Aktivmaterial wird insbesondere über eine Abscheideeinrichtung vom Lösungsmittel getrennt bzw. abgeschieden und insbesondere in einer Sammeleinheit einer Sammeleinrichtung separat aufgefangen. Die Abscheideeinrichtung ist insbesondere eine mechanische Abscheideeinrichtung. So kann das Abscheiden des Aktivmaterials durch Sieben mittels Siebvorrichtung, Filtrieren mittels einer Filtervorrichtung oder Zentrifugieren mittels einer Zentrifuge erfolgen. Bevor das abgeschiedene Aktivmaterial der Sammeleinheit bzw. der weiteren Aufbereitung zugeführt wird, kann dieses noch getrocknet werden.

**[0167]** Eine chemische Abscheidung des Aktivmaterials aus dem Lösungsmittel ist allerdings ebenfalls denkbar, wenn auch nicht bevorzugt.

**[0168]** Das Abscheiden des Aktivmaterials aus dem Lösungsmittel kann in einem geschlossenen Kreislauf erfolgen, welcher die Rückführung des Lösungsmittels, z. B. in das Lösungsmittelbad, nach dem Abscheiden des Aktivmaterials mitumfasst.

**[0169]** Das Lösungsmittel ist insbesondere wasserbasiert. Das wasserbasierte Lösungsmittel kann eine wässrige Lösung sein. Das wasserbasierte Lösungsmittel besteht insbesondere aus Wasser. Das Wasser kann insbesondere Reinwasser, also aufbereitetes Wasser, wie z. B. Trinkwasser sein. Dieses kann Mineralstoffe wie Kalzium, Natrium oder Magnesium enthalten. Das Wasser kann insbesondere auch Reinstwasser sein. Reinstwasser enthält praktisch keine Fremdstoffe wie Mineralien mehr. Reinstwasser kann z. B. deionisiertes Wasser sein.

**[0170]** Es ist auch denkbar, dass das Lösungsmittel eine Säure oder Lauge ist.

**[0171]** Wie weiter oben bereits erwähnt, lässt sich bei Zellen, welche noch eine Schlussspannung aufweisen, also nicht tiefentladen sind, und welche insbesondere gemäss dem oben beschriebenen Verfahren auf die Schlussspannung entladen oder gegebenenfalls aufgeladen worden sind, das Aktivmaterial der Kathode erfahrungsgemäss gut mittels Wasser, wie gewöhnlichem Trinkwasser, vom Träger bzw. Trägerband separieren.

**[0172]** Dank der Vorbereitung der Zellen auf eine Schlussspannung und insbesondere auch dank dem oben beschriebenen Entladeverfahren wird bzw. bleibt das Bindemittel, über welches das Aktivmaterial der Kathode auf dem Träger bzw. Trägerband anhaftet, nämlich wasserlöslich.

**[0173]** Es ist davon auszugehen, dass das Lithium, welches sich im Aktivmaterial befindet, mit dem Wasser reagiert, wodurch sich Gase, insbesondere Wasserstoff, bilden. Dies kann zu Blasenbildung zwischen Träger und Aktivmaterial führen, was den Trennvorgang wiederum beschleunigt. Zusätzlich entsteht bei dieser Reaktion insbesondere auch Lithiumhydroxid, welches sich im Wasser auflöst.

**[0174]** Die Verwendung von Wasser als Lösungsmittel stellt eine kostengünstige sowie umwelt- und ressourcenschonende Methode zur Rückgewinnung des Aktivmaterials der Kathode dar.

**[0175]** Als Lösungsmittel eingesetztes Wasser lässt sich mit vergleichsweise einfachen Massnahmen wieder aufreinigen und der Umwelt zuführen. Wird das Lösungsmittel in einem geschlossenen Kreislauf geführt, so ist ein Aufreinigen des Lösungsmittels (Wasser) sogar erst notwendig, wenn dieses aus dem Kreislauf ausgeschieden wird.

**[0176]** Der Träger bzw. das Trägerband, liegt nach dem Separieren des Aktivmaterials insbesondere als reines Metall bzw. Metallband (z. B. Aluminiumband) vor und wird insbesondere in der Sammeleinheit der Sammeleinrichtung separat aufgefangen.

**[0177]** Ein Trägerband kann z. B. mittels einer Aufwickleinrichtung aufgewickelt werden. Die Aufwickleinrichtung kann z. B. einen Haspel enthalten. Die Aufwickleinrichtung kann einen Antrieb zum Aufwickeln des Trägerbandes umfassen. Die Wickel werden z.B. in einer Sammeleinheit der Sammeleinrichtung abgelegt.

**[0178]** Ein Trägerband braucht allerdings nicht aufgewickelt zu werden, falls die Weiterverarbeitung desselbigen kein Aufwickeln erfordert.

**[0179]** Gemäss einer Weiterbildung der Erfindung ist das Trennen eines Kathodenbandes vom Bandpaket bis zum Aufwickeln des Trägerbandes nach dem Separieren des Aktivmaterials vom Träger bzw. Trägerband ein kontinuierlicher Prozess, in welchem das Kathoden- bzw. das Trägerband von der Bandtrenneinrichtung bzw. von der Abwickeleinrichtung bis zur Aufwickeleinrichtung kontinuierlich geführt bzw. transportiert wird. Das Kathoden- bzw. Trägerband kann hierzu z. B. über Umlenk- und/oder Spannrollen sowie über Gleitelemente geführt sein.

**[0180]** Das Trennen des Aktivmaterial von der Kathode bzw. vom Kathodenband, z. B. in einem Lösungsmittelbad, geschieht insbesondere selbsttätig, das heisst ohne mechanische Einwirkung. Grundsätzlich kann die Separierung mittels einer Ablöse- bzw. Separiereinrichtung unterstützt werden, um z. B. den Trennvorgang zu beschleunigen. Die Separiereinrichtung kann insbesondere hydrodynamische Energie in das Lösungsmittelbad einbringen. Das heisst, das Separieren des Aktivmaterial vom Träger bzw. Trägerband kann durch Bewegung des Lösungsmittels beschleunigt bzw. unterstützt werden.

**[0181]** So kann z. B. ein Ultraschallwandler vorgesehen sein, mittels welchem Ultraschallschwingungen in das Lösungsmittelbad eingeleitet werden. Ferner kann auch durch Rühren mittels eines Rührwerks oder durch Vibrationen mittels einer Vibrationseinrichtung hydrodynamische Energie in das Lösungsmittelbad eingebracht werden.

**[0182]** Ferner kann wenigstens eine (mechanische) Separiereinrichtung mit wenigstens einem insbesondere mechanischen Separierwerkzeug vorgesehen sein. Das wenigstens eine mechanische Separierwerkzeug ist insbesondere dazu ausgelegt das Aktivmaterial mittels mechanischer Bewegungen vom Träger bzw. Trägerband zu trennen. Das Separierwerkzeug kann z. B. eine Bürste, ein Schaber, ein Abstreifer, ein Vibrationselement, ein Flüssigkeitsdruckstrahler, ein Gasdruckstrahler oder ein Rührer (eines Rührwerks) umfassen.

**[0183]** Das wenigstens eine Separierwerkzeug kann insbesondere im Lösungsmittelbad mechanisch auf die Kathode, insbesondere das Kathodenband, bzw. auf die Beschichtung aus Aktivmaterial einwirken, z. B. beim Durchlaufen eines Kathodenbandes im Lösungsmittelbad. Es ist jedoch auch denkbar, dass das wenigstens eine Separierwerkzeug im Anschluss an das Lösungsmittelbad und ausserhalb des Lösungsmittelbades auf die Kathode bzw. das Kathodenband einwirkt.

**[0184]** Ferner kann eine Heizeinrichtung zum Aufheizen des Lösungsmittels bzw. des Lösungsmittelbades auf eine optimale Prozesstemperatur vorgesehen sein.

**[0185]** Die Anode, insbesondere das Anodenband wird im Anschluss an die Auftrennung des Elektrodenpaketes in die einzelnen Komponenten bzw. Bandkomponenten in einer Ablöse- bzw. Separiereinrichtung mit einem Lösungsmittel behandelt bzw. in Kontakt gebracht. Hierzu wird die Anode bzw. das Anodenband insbesondere in ein Lösungsmittelbad getaucht. Ein Anodenband kann insbesondere kontinuierlich durch ein Lösungsmittelbad geführt bzw. transportiert werden.

**[0186]** Das Lösungsmittel bewirkt die Ablösung bzw. Trennung des Aktivmaterials (z. B. Graphit) vom Träger bzw. Trägerband (z. B. Kupfer). Hierbei löst sich insbesondere das Bindemittel der Anode, welches für eine Adhäsion des Aktivmaterials am Träger bzw. Trägerband sorgt, im Lösungsmittel.

**[0187]** Der Trennvorgang des Aktivmaterials kann beispielsweise rund 30 Sekunden dauern. Das separierte Aktivmaterial wird im Lösungsmittel, insbesondere in Wasser, insbesondere suspendiert. Es entsteht also insbesondere eine Suspension aus Lösungsmittel und Aktivmaterial.

**[0188]** Die Separiereinrichtung enthält hierzu insbesondere einen Behälter, welcher das Lösungsmittel aufnimmt.

**[0189]** Ferner können Führungsmittel, wie Führungsrollen, vorgesehen sind, mittels welchen ein Anodenband durch das Lösungsmittelbad geführt wird.

**[0190]** Grundsätzlich ist die Trennung des Graphits vom Trägermaterial der Anode mittels eines Lösungsmittels einfacher als die Trennung des Li-Metalloxides vom Trägermaterial der Kathode, und funktioniert insbesondere auch bei tiefentladenen Problemen einwandfrei. So ist das Bindemittel der Anode, welches für eine Adhäsion des Aktivmaterials am Träger bzw. Trägerband sorgt, meist gut wasserlöslich.

**[0191]** Das separierte Aktivmaterial wird insbesondere über eine Abscheideeinrichtung vom Lösungsmittel getrennt bzw. abgeschieden und insbesondere in einer Sammeleinheit einer Sammeleinrichtung separat aufgefangen. Die Abscheideeinrichtung ist insbesondere eine mechanische Abscheideeinrichtung. So kann das Abscheiden des Aktivmaterials durch Sieben mittels Siebvorrichtung, Filtrieren mittels einer Filtervorrichtung oder Zentrifugieren mittels einer Zentrifuge erfolgen. Bevor das abgeschiedene Aktivmaterial der Sammeleinheit bzw. der weiteren Aufbereitung zugeführt wird, kann dieses noch getrocknet werden.

**[0192]** Eine chemische Abscheidung des Aktivmaterials aus dem Lösungsmittel ist allerdings ebenfalls denkbar, wenn auch nicht bevorzugt.

**[0193]** Das Abscheiden des Aktivmaterials aus dem Lösungsmittel kann in einem geschlossenen Kreislauf erfolgen, welcher die Rückführung des Lösungsmittels, z. B. in das Lösungsmittelbad, nach dem Abscheiden des Aktivmaterials mitumfasst.

**[0194]** Das Lösungsmittel ist insbesondere wasserbasiert. Das wasserbasierte Lösungsmittel kann eine wässrige Lösung sein. Das wasserbasierte Lösungsmittel besteht insbesondere aus Wasser. Das Wasser kann insbesondere Reinwasser,

also aufbereitetes Wasser, wie z. B. Trinkwasser sein. Dieses kann Mineralstoffe wie Kalzium, Natrium oder Magnesium enthalten. Das Wasser kann insbesondere auch Reinstwasser sein. Reinstwasser enthält praktisch keine Fremdstoffe wie Mineralien mehr. Reinstwasser kann z. B. deionisiertes Wasser sein.

**[0195]** Es ist auch denkbar, dass das Lösungsmittel eine Säure oder Lauge ist.

**[0196]** Die Verwendung von Wasser als Lösungsmittel stellt auch hier eine kostengünstige sowie umwelt- und ressourcenschonende Methode zur Rückgewinnung des Aktivmaterials der Anode dar.

**[0197]** Als Lösungsmittel eingesetztes Wasser lässt sich mit vergleichsweise einfachen Massnahmen wieder aufreinigen und der Umwelt zuführen. Wird das Lösungsmittel in einem geschlossenen Kreislauf geführt, so ist ein Aufreinigen des Lösungsmittels (Wasser) sogar erst notwendig, wenn dieses aus dem Kreislauf ausgeschieden wird.

**[0198]** Das sich im Wasser befindliche, kohlenstoffhaltige Aktivmaterial, wie Graphit, reagiert mit dem Lösungsmittel unter Bildung von Wasserstoff. Dies kann zu Blasenbildung zwischen Träger und Aktivmaterial führen, was den Trennvorgang wiederum beschleunigt.

**[0199]** Der Wasserstoff wird insbesondere mittels einer Abführeinrichtung abgeführt, z. B. abgesaugt. Der abgeführte Wasserstoff kann in einem Speicherbehälter, wie Druckbehälter, aufgefangen bzw. gespeichert werden.

**[0200]** Der Wasserstoff lässt sich wiederverwenden. So kann aus dem Wasserstoff durch Verbrennung Wärme erzeugt werden. So lässt sich der Wasserstoff z. B. zum Heizen des Lösungsmittels bzw. des Lösungsmittelbades für die Kathode oder Anode bzw. das Kathoden- oder Anodenband einsetzen. Der Wasserstoff wird insbesondere zum Heizen des kathodenseitigen Lösungsmittels bzw. Lösungsmittelbades eingesetzt.

**[0201]** Ferner kann der Wasserstoff auch zum Erzeugen von Wärme zur Wärmebehandlung der Kathode bzw. des Kathodenbandes gemäss dem weiter unten noch beschriebenen modifizierten, direkten Recycling-Verfahren verwendet werden. Der Wasserstoff kann insbesondere zum Heizen Wärmebehandlungseinrichtung für die Kathode bzw. das Kathodenband gemäss dem modifizierten, direkten Recycling-Verfahren verwendet werden.

**[0202]** Der Träger bzw. das Trägerband, liegt nach dem Separieren des Aktivmaterials insbesondere als reines Metall bzw. Metallband (z. B. Kupferband) vor und wird in einer Sammeleinheit der Sammeleinrichtung separat aufgefangen.

**[0203]** Ein Trägerband kann z. B. mittels einer Aufwickeleinrichtung aufgewickelt werden. Die Aufwickeleinrichtung kann z. B. einen Haspel enthalten. Die Aufwickeleinrichtung kann einen Antrieb zum Aufwickeln des Trägerbandes umfassen. Die Wickel werden z.B. in einer Sammeleinheit der Sammeleinrichtung abgelegt.

**[0204]** Ein Trägerband braucht allerdings nicht aufgewickelt zu werden, falls die Weiterverarbeitung desselbigen kein Aufwickeln erfordert.

**[0205]** Gemäss einer Weiterbildung der Erfindung ist das Trennen eines Anodenbandes vom Bandpaket bis zum Aufwickeln des Trägerbandes nach dem Separieren des Aktivmaterials vom Träger bzw. Trägerband ein kontinuierlicher Prozess, in welchem das Anoden- bzw. Trägerband von der Bandtrenneinrichtung bzw. von der Abwickeleinrichtung bis zur Aufwickeleinrichtung kontinuierlich geführt bzw. transportiert wird. Das Anoden- bzw. Trägerband kann hierzu z. B. über Umlenk- und/oder Spannrollen sowie Gleitelementen geführt sein.

**[0206]** Das Trennen des Aktivmaterial von der Anode bzw. vom Anodenband, z. B. in einem Lösungsmittelbad, erfolgt insbesondere selbsttätig, das heisst ohne mechanische Einwirkung. Grundsätzlich kann aber auch hier das Separieren des Aktivmaterials von der Anode bzw. vom Anodenband mittels mechanischer Bewegung, welche auf das Aktivmaterial einwirkt, unterstützt werden, um z. B. den Trennvorgang zu beschleunigen. Die mechanische Bewegung kann mittels einer Ablöse- bzw. Separiereinrichtung erzeugt werden. Die Separiereinrichtung kann insbesondere hydrodynamische Energie in das Lösungsmittelbad einbringen. Das heisst, das Separieren des Aktivmaterial vom Träger bzw. Trägerband kann durch Bewegung des Lösungsmittels beschleunigt bzw. unterstützt werden.

**[0207]** So kann z. B. ein Ultraschallwandler vorgesehen sein, mittels welchem Ultraschallschwingungen in das Lösungsmittelbad eingeleitet werden. Ferner kann auch durch Rühren mittels eines Rührwerks oder durch Vibrationen mittels einer Vibrationseinrichtung hydrodynamische Energie in das Lösungsmittelbad eingebracht werden.

**[0208]** Ferner kann wenigstens eine (mechanische) Separiereinrichtung mit wenigstens einem insbesondere mechanischen Separierwerkzeug vorgesehen sein. Das wenigstens eine mechanische Separierwerkzeug ist insbesondere dazu ausgelegt das Aktivmaterial mittels mechanischer Bewegungen abzulösen. Das Separierwerkzeug kann z. B. eine Bürste, ein Schaber, ein Abstreifer, ein Vibrationselement, ein Flüssigkeitsdruckstrahler, ein Gasdruckstrahler oder Rührer (eines Rührwerks) umfassen.

**[0209]** Das wenigstens eine Separierwerkzeug kann insbesondere im Lösungsmittelbad mechanisch auf die Anode bzw. das Anodenband bzw. auf die Beschichtung aus Aktivmaterial einwirken, z. B. beim Durchlaufen eines Anodenbandes im Lösungsmittelbad. Es ist jedoch auch denkbar, dass das wenigstens eine Separierwerkzeug im Anschluss an das Lösungsmittelbad und ausserhalb des Lösungsmittelbades auf die Anode bzw. das Anodenband einwirkt.

**[0210]** Ferner kann eine Heizeinrichtung zum Aufheizen des Lösungsmittels bzw. des Lösungsmittelbades auf eine optimale Prozesstemperatur vorgesehen sein.

[0211] Der mindestens eine Separator bzw. das mindestens eine Separatorenband wird im Anschluss an die Auftrennung des Elektrodenpakets in die einzelnen Komponenten bzw. Bandkomponenten in einer separaten Sammeleinheit gesammelt bzw. abgelegt.

[0212] So kann das mindestens eine Separatorenband z. B. mittels einer Aufwickeleinrichtung aufgewickelt werden. Die Aufwickeleinrichtung kann z. B. einen Haspel enthalten. Die Aufwickeleinrichtung kann einen Antrieb zum Aufwickeln des mindestens eine Separatorenbandes umfassen. Die Wickel werden z.B. in einer Sammeleinheit der Sammeleinrichtung abgelegt.

[0213] Ein Separatorenband braucht allerdings nicht aufgewickelt zu werden, falls die Weiterverarbeitung desselbigen kein Aufwickeln erfordert.

[0214] Gemäss einer Weiterbildung der Erfindung ist das Trennen des mindestens einen Separatorenbandes vom Bandpaket bis zum Aufwickeln des mindestens einen Separatorenbandes ein kontinuierlicher Prozess, in welchem das mindestens eine Separatorenband von der Trenneinrichtung bzw. von der Abwickeleinrichtung bis zur Aufwickeleinrichtung kontinuierlich geführt bzw. transportiert wird. Das mindestens eine Separatorenband kann hierzu z. B. über Umlenk- und oder Spannrollen sowie über Gleitelemente geführt sein.

[0215] Bei zwei oder mehr als zwei Separatorenbänder kann jedes Separatorenband separat aufgewickelt werden. Es ist jedoch auch möglich, mehrere Separatorenbänder zusammenzuführen und z. B. übereinander zu legen und mittels einer gemeinsamen Aufwickeleinrichtung auf einen gemeinsamen Wickel aufzuwickeln.

[0216] Das kontinuierliche Führen bzw. Transportieren der einzelnen Bänder erfolgt insbesondere über entsprechende Antriebe. Die Antriebe können insbesondere in der genannten Abzugseinrichtung vor der Bandtrennung oder in der Aufwickeleinrichtung angeordnet sein. Eine Kombination von angetriebenem Abzugseinrichtung und angetriebener Aufwickeleinrichtung ist auch denkbar.

[0217] Ferner ist es auch denkbar, dass nach dem Trennen des Aktivmaterials vom Trägerband und vor einem Aufwickeln bzw. dem Ablegen des Trägerbandes in eine Sammeleinheit ein Antrieb, wie ein angetriebenes Walzenpaar, zum Antreiben des Trägerbandes vorgesehen ist.

[0218] Da die folienartigen Bandkomponenten anfällig auf mechanische Belastungen, insbesondere auf Zugspannung, sind und zum Reißen neigen, kann eine Führungseinrichtung zum Führen der Bahnkomponenten, vorgesehen sein. Die Führungseinrichtung kann, wie bereits weiter oben beschrieben, z. B. passiv oder aktiv angetriebene Führungsrollen enthalten.

[0219] Gemässe einer besonderen Ausgestaltung kann die Führungseinrichtung Stützbänder umfassen, welche die Bandkomponenten entlang ihrer Transportbahn, insbesondere grossflächig, führen und insbesondere auch abstützen, z. B. gegen unten abstützen. Zur Vermeidung von Reibung können die Stützbänder aktiv (z. B. mittels eines Antriebs) oder passiv mit den Bandkomponenten mitbewegt werden.

[0220] Die einzelnen Komponenten des Elektrodenpakets, wie Aktivmaterial der Kathode, Träger bzw. Trägerband der Kathode, Aktivmaterial der Anode, Träger bzw. Trägerband der Anode, Separator bzw. Separatorenband oder -bänder werden wie erwähnt insbesondere in jeweils separaten Sammeleinheiten einer Sammeleinrichtung gesammelt. Die in den Sammeleinheiten gesammelten Komponenten können anschliessend ihrer Wiederverwertung zugeführt werden.

[0221] Die Sammeleinrichtung kann des Weiteren auch jeweils Sammeleinheiten zum Sammeln der Gehäuse bzw. Gehäuseteile (wie z. B. Gehäusekörper, Deckel) aus Kunststoff sowie der (metallischen) Polelemente am Gehäuse.

[0222] Die Sammeleinheiten können z. B. Behälter, wie Kisten oder Gefässe, sein.

[0223] Wie bereits erwähnt, können sämtliche Komponenten des Elektrodenpakets also die Anode, Kathode und die Separatoren als Bandkomponenten vorliegen, wie dies z. B. bei einem Wickel der Fall ist. Diese können entsprechend als Bänder in einem kontinuierlichen Verfahren mittels Abwickeln und gegebenenfalls wieder Aufwickeln behandelt werden.

[0224] Es können aber auch nur einzelne der Komponenten als Bandkomponenten vorliegen, wie z. B. das Separatorenband eines gefalteten Elektrodenpakets. Hier können entsprechend lediglich die einzelnen Bandkomponenten, wie das Separatorenband, in einem kontinuierlichen Verfahren mittels Abwickeln und gegebenenfalls wieder Aufwickeln behandelt werden.

[0225] Gemäss einer Weiterentwicklung der Erfindung wird der Kathodenträger, insbesondere das Kathodenträgerband, nach dem Ablösen bzw. Trennen des Aktivmaterials vom Kathodenträger, insbesondere vom Kathodenträgerband, an einer Beschichtungseinrichtung wieder mit Aktivmaterial beschichtet.

[0226] Gemäss einer Weiterentwicklung der Erfindung wird der Anodenträger, insbesondere das Anodenträgerband, nach dem Ablösen bzw. Trennen des Aktivmaterials vom Anodenträger, insbesondere vom Anodenträgerband, an einer Beschichtungseinrichtung wieder mit Aktivmaterial beschichtet.

[0227] Es werden insbesondere beide Elektrodenträger, insbesondere beide Elektrodenträgerbänder, wieder mit Aktivmaterial beschichtet.

[0228] Die wieder mit Aktivmaterial beschichteten Elektroenträger, insbesondere Elektroenträgerbänder, finden Verwendung in der Batterieherstellung. Damit verbleibt der Elektroenträger, insbesondere das Elektroenträgerband, in einem geschlossenen Batteriekreislauf.

[0229] Die Beschichtung des Elektroenträgers, insbesondere des Elektroenträgerbandes erfolgt insbesondere inline in der Recycling-Anlage, in welcher die Elektrode bzw. das Elektrodenband aufbereitet wird.

[0230] Inline bedeutet insbesondere in einem insbesondere kontinuierlichen Verfahren innerhalb einer Anlage. Ein kontinuierliches Verfahren umfasst insbesondere das Ablösen bzw. Trennen des Aktivmaterials und das Wiederbeschichten mit Aktivmaterial sowie gegebenenfalls vorab das Abwickeln des Trägerbandes bzw. des Elektrodenbandes und gegebenenfalls das in der Prozesslinie nachfolgende Aufwickeln des Elektrodenbandes.

[0231] Wird ein Elektroenträgerband wieder beschichtet, so erfolgt die Beschichtung insbesondere vor dem Aufwickeln des zuvor abgewickelten Elektrodenbandes.

[0232] Der neu beschichtete Elektroenträger kann auch direkt, d.h. inline, in der Batterieherstellung bzw. in einem vorbereiteten Verfahren dazu weiterverarbeitet werden. So kann der Elektroenträger zusammen mit weiteren Komponenten inline zu neuen Elektrodenpaketen, insbesondere zu gewickelten Elektrodenpaketen weiterverarbeitet werden.

[0233] Die Beschichtungseinrichtung kann in der oben beschriebenen Anlage für das direkte Recycling-Verfahren oder in der unten beschriebenen Anlage für das modifizierte, direkte Recycling-Verfahren zwischen der Separiereinrichtung für das Aktivmaterial und der Aufwickleinrichtung für das Elektroenträgerband bzw. das Elektrodenband angeordnet sein.

[0234] Die Beschichtung kann allerdings auch in einer separaten Anlage stattfinden, in welcher das Elektroenträgerband an einer Abwickleinrichtung abgewickelt, an einer Separiereinrichtung vom Aktivmaterial befreit, an einer Beschichtungseinrichtung wieder mit Aktivmaterial beschichtet und an einer Aufwickleinrichtung als Elektrodenband wieder aufgewickelt wird.

[0235] Das modifizierte, direkte Recycling-Verfahren insbesondere für tiefentladene, zweitrangige Zellen, deren Elektrodenpakete nicht schadhaft sind, d.h. für Zellen, welche insbesondere weder der ersten Zustandsklasse noch der ersten Spannungsstufe zugeordnet und insbesondere auch nicht wiederaufladbar sind, entspricht in wesentlichen Zügen dem oben beschriebenen direkten Recycling-Verfahren für erstrangige Zellen.

[0236] Das modifizierte, direkte Recycling-Verfahren unterscheidet sich vom direkten Recycling-Verfahren für erstrangige Zellen durch die Behandlung der Kathode bzw. des Kathodenbandes, welche nachfolgend beschrieben wird. Bezüglich der anderen, gemeinsamen Verfahrens- und Vorrichtungsmerkmalen wird auf die obige Beschreibung zum direkten Recycling-Verfahren für erstrangige Zellen verwiesen.

[0237] Auch im modifizierten, direkten Recycling-Verfahren wird das Elektrodenpaket in eine Kathode bzw. ein Kathodenband, eine Anode bzw. ein Anodenband und mindestens ein Separator bzw. Separatorenband aufgetrennt bzw. separiert.

[0238] Bei tiefentladenen Zellen, deren Elektrodenpakete noch nicht schadhaft sind, lässt sich allerdings das Aktivmaterial der Kathode bzw. des Kathodenbandes im Vergleich zu erstrangigen Zellen oftmals nicht mehr bzw. nicht mehr vollständig mittels eines z. B. wasserbasierten Lösungsmittels vom Träger bzw. Trägerband ablösen bzw. trennen. Dies beruht wie weiter oben bereits erwähnt auf chemischen Prozessen im Aktivmaterial bzw. in der Beschichtung, welche durch die Tiefenentladung ausgelöst werden.

[0239] Es hat sich jedoch gezeigt, dass sich das Aktivmaterial mittels einer Wärmebehandlung vom Träger bzw. Trägerband lösen lässt. Dies geschieht insbesondere ohne Einwirkung eines Lösungsmittels, also lösungsmittelfrei.

[0240] Die Wärmebehandlung findet mittels einer Wärmebehandlungsvorrichtung, insbesondere mittels eines Ofens statt.

[0241] Die Wärmebehandlung kann in einer sauerstoffarmen bzw. sauerstofffreien Atmosphäre stattfinden. Die Wärmebehandlung kann insbesondere in einer inerten Atmosphäre stattfinden.

[0242] Die Wärmebehandlung findet insbesondere bei einer Temperatur von grösser 300° C, insbesondere von grösser 400° C und ganz besonders von grösser 450° C statt.

[0243] Die Wärmebehandlung findet insbesondere bei einer Temperatur statt, welche unterhalb der Schmelztemperatur des Trägers und des Aktivmaterials ist. Die Wärmebehandlung findet insbesondere bei einer Temperatur von kleiner 600° C, insbesondere von kleiner 550° C statt.

[0244] So kann die Wärmebehandlung ganz besonders bei einer Temperatur von 450°C - 480°C stattfinden.

[0245] Durch die hohen Temperaturen werden unter Umständen auch Verunreinigungen eliminiert.

[0246] Zum Heizen der Wärmebehandlungsvorrichtung kann zum Beispiel der beim Trennen des Aktivmaterials vom Trägermaterial der Anode entstehende Wasserstoff eingesetzt werden.

[0247] Die Dauer der Wärmebehandlung kann z. B. mindestens eine halbe Stunde, insbesondere mindestens eine Stunde sein.

[0248] Die Dauer der Wärmebehandlung kann z. B. maximal neun Stunden, insbesondere maximal fünf Stunden sein.

[0249] Die Dauer der Wärmebehandlung kann ganz besonders eine bis vier Stunden sein.

[0250] Das Ablösen bzw. Trennen des (wärmebehandelten) Aktivmaterials erfolgt insbesondere über eine Ablöse- bzw. Separiereinrichtung bzw. wird durch eine solche unterstützt.

[0251] Das Aktivmaterial kann während der Wärmebehandlung mittels einer Ablöse- bzw. Separiereinrichtung mechanisch vom Träger bzw. Trägerband abgelöst bzw. getrennt werden. Das Aktivmaterial kann nach der und insbesondere unmittelbar im Anschluss an die Wärmebehandlung mittels einer Ablöse- bzw. Separiereinrichtung mechanisch vom Träger bzw. Trägerband abgelöst werden. Das Aktivmaterial kann auch sowohl während der Wärmebehandlung als auch nach der, insbesondere unmittelbar im Anschluss an die Wärmebehandlung mittels einer Ablöse- bzw. Separiereinrichtung mechanisch vom Träger bzw. Trägerband abgelöst werden.

[0252] So kann z. B. ein Vibrationseinrichtung vorgesehen sein, welche Vibrationen in die Kathode bzw. das Kathodenband einbringt, welche zur Separierung des Aktivmaterials führen.

[0253] Ferner kann die Ablöse- bzw. Separiereinrichtung wenigstens ein Ablöse- bzw. Separierwerkzeug, wie eine Bürste, ein Schaber, ein Abstreifer oder ein Druckgasstrahler (z. B. Inertgas oder Druckluft) umfassen, welche auf die Beschichtung mit dem Aktivmaterial einwirken. Das Druckgas kann unter Druck über Düsen abgegeben werden.

[0254] Ferner kann die Ablöse- bzw. Separiereinrichtung auch einen Rührer (Rührwerk) zum Rühren der Kathode bzw. des Kathodenbandes in einem Behälter umfassen. Der Behälter kann Teil der Wärmebehandlungsvorrichtung sein.

[0255] Das mechanische Ablösen bzw. Trennen des Aktivmaterials kann im Anschluss an die Wärmebehandlung, z. B. ausserhalb der Wärmebehandlungsvorrichtung erfolgen. Das mechanische Trennen des Aktivmaterials kann auch während der Wärmebehandlung, z. B. in der Wärmebehandlungsvorrichtung erfolgen.

[0256] Die Kathode bzw. das Kathodenband kann Batchweise behandelt werden (Wärmebehandlung, Trennen des Aktivmaterials). So kann ein Kathodenband z. B. als flacher Bandabschnitt oder Wickel, insbesondere als lockerer Wickel in einer Wärmebehandlungseinrichtung wärmebehandelt werden.

[0257] Ein von einem abgewickelten Wickel eines Elektrodenpaketes abgetrennte Kathodenband kann hierzu beispielsweise vor der Wärmebehandlung wieder aufgewickelt werden.

[0258] Es ist allerdings auch möglich, dass das (abgewickelte) Kathodenband in einem kontinuierlichen Verfahren durch einen Durchlaufofen geführt bzw. transportiert und wärmebehandelt wird. Das Kathodenband wird hierbei, insbesondere kontinuierlich, durch den Durchlaufofen bewegt. Die mechanische Ablöse- bzw. Separiereinrichtung kann z. B. im Durchlaufofen oder im Anschluss an den Durchlaufofen angeordnet sein. Das mechanische Trennen des Aktivmaterials geschieht insbesondere ebenfalls kontinuierlich. So können die Ablöse- bzw. Separierwerkzeuge der Ablöse- bzw. Separiereinrichtung auf das kontinuierlich an den Ablöse- bzw. Separierwerkzeugen vorbei geführte bzw. transportierte Kathodenband einwirken.

[0259] Im Anschluss an die Wärmebehandlung und das Trennen des Aktivmaterials vom Trägerband kann das Aufwickeln des Trägerbandes der Kathode mittels einer Aufwickleinrichtung folgen, sofern dieses beim Trennen des Aktivmaterials nicht bereits als Wickel vorliegt. Die mögliche Ausgestaltung der Aufwickleinrichtung wurde bereits im Zusammenhang mit dem direkten Recycling-Verfahren für erstrangige Zellen beschrieben.

[0260] Das Trägerband der Kathode kann z. B. als Wickel der Sammeleinheit einer Sammeleinrichtung zugeführt werden.

[0261] Ein Trägerband braucht allerdings nicht aufgewickelt zu werden, falls die Weiterverarbeitung desselbigen kein Aufwickeln erfordert.

[0262] Das Trennen des Aktivmaterials vom Trägermaterial der Anode ist auch bei tiefentladenen Zellen, deren Elektrodenpakete nicht schadhaft sind, vergleichsweise unproblematisch und bedarf gegenüber dem direkten Recycling-Verfahren für erstrangige Zellen keine Anpassung des Verfahrens bzw. der dazugehörigen Anlage.

[0263] Es kann allerdings im Rahmen des modifizierten, direkten Recyclingverfahrens auch vorgesehen sein, dass das Aktivmaterial der Anode bzw. des Anodenbandes analog zum Aktivmaterial der Kathode bzw. des Kathodenbandes mittels einer Wärmebehandlung und gegebenenfalls mechanischen Ablöse- bzw. Separierwerkzeugen vom Träger bzw. Trägerband abgelöst bzw. getrennt wird.

[0264] In diesem Zusammenhang trifft die obige Offenbarung im Zusammenhang mit dem Trennen des Aktivmaterials von der Kathode bzw. vom Kathodenband mittels Wärmebehandlung inkl. der vorgelagerten und nachgelagerten Schritte bezüglich Handlings der Kathode bzw. des Kathodenbandes sowie inkl. der entsprechenden Vorrichtungen auch auf die Anode zu.

[0265] Um ein Oxidieren des Aktivmaterials, wie Graphit, zu vermeiden, ist auch hier eine Wärmebehandlung in einer sauerstoffarmen oder sauerstofffreien bzw. inerten Atmosphäre von Vorteil.

[0266] Mit den beiden oben beschriebenen direkten Recycling-Verfahren für erstrangige und tiefentladene Zellen wird eine Recycling-Rate von über 50%, insbesondere von über 80% und fallweise sogar von über 90% erzielt.

[0267] Es ist übrigens denkbar, dass sowohl erstrangige, nicht tiefentladene als auch tiefentladene Batterien bzw. Zellen in einem modifizierten, direkten Recycling-Verfahren der oben beschriebenen Art, d.h. insbesondere mittels Wärmebehand-

lung, recycelt werden. Das heisst es, es ist denkbar, dass alle Zellen einem modifizierten, direkten Recycling-Verfahren der oben beschriebenen Art, d.h. insbesondere mittels Wärmebehandlung, recycelt werden. Insbesondere werden alle Elektroden, also sowohl Anode als auch Kathode in einem modifizierten, direkten Recycling-Verfahren der oben beschriebenen Art, d.h. insbesondere mittels Wärmebehandlung, recycelt.

**[0268]** Es kann allerdings vorgesehen sein, dass tiefentladene, schadhafte Zellen, insbesondere mit verklebten Elektropaketen, in einer ersten Anlage bzw. einer ersten Verarbeitungslinie einer Anlage verwertet werden und nicht tiefentladene sowie tiefentladene Zellen, deren Elektropakete sich in die einzelnen Komponenten separieren lassen, in mindestens einer weiteren, insbesondere einer zweiten Anlage bzw. mindestens einer weiteren, insbesondere einer zweiten Verarbeitungslinie einer Anlage verwertet werden.

**[0269]** Die Elektropakete der ersten Anlage bzw. der ersten Verarbeitungslinie werden dabei zwecks Abtrennung des Aktivmaterials insbesondere als Ganzes, also ungetrennt, einer Wärmebehandlung der oben beschriebenen Art unterzogen.

**[0270]** Die Elektropakete der mindestens einen weiteren, insbesondere zweiten Anlage bzw. der mindestens einen weiteren, insbesondere zweiten Verarbeitungslinie werden dabei insbesondere in die einzelnen Komponenten, wie Anode bzw. Anodenband, Kathode bzw. Kathodenband und Separatoren bzw. Separatorenband getrennt, wobei die Kathode- bzw. das Kathodenband und Anode bzw. das Anodenband zwecks Abtrennung des Aktivmaterials getrennt voneinander einer Wärmebehandlung der oben beschriebenen Art unterzogen werden.

**[0271]** Es ist natürlich auch möglich, dass die Elektrodenpakete sämtlicher Zellen als Ganzes, also ungetrennt, zwecks Ablösung des Aktivmaterials einer Wärmebehandlung der oben beschriebenen Art unterzogen werden.

**[0272]** Zur Automatisierung des direkten Recycling-Verfahrens können beim direkten Recycling-Verfahren für erstrangige Zellen sämtlich Bandkomponenten und beim modifizierten direkten Recycling-Verfahren wenigstens das Anodenband sowie das oder die Separatorenbänder kontinuierlich durch die Recycling-Anlage geführt bzw. transportiert werden. Es ist jedoch auch denkbar, dass das bzw. auch das Kathodenband kontinuierlich durch die Recycling-Anlage und insbesondere durch die Wärmebehandlung geführt bzw. transportiert wird.

**[0273]** Das Gehäuse der Zelle bzw. Batterie und der Elektrolyt können, wie bereits an anderer Stelle erwähnt, separat gesammelt werden.

**[0274]** Die Bandkomponenten eines vormals gewickelten Elektrodenpakets werden insbesondere in Bahnen durch die Anlage geführt bzw. transportiert.

**[0275]** In einer Weiterbildung des automatisierten, direkten Recycling-Verfahrens können beispielsweise jeweils die nachlaufenden Enden von vorlaufenden, bereits separierten Bandkomponenten einer Zelle mit vorlaufenden Enden von korrespondierenden und noch zu trennenden, nachlaufenden Bandkomponenten einer nachfolgenden Zelle verbunden werden. Dadurch lassen sich die Bandkomponenten als Bahnen endlos durch die Anlage transportieren.

**[0276]** Das direkte Recycling-Verfahren findet vom Auftrennen der Komponenten bzw. Bandkomponenten bzw. vom Abwickeln des Elektrodenpakets bis zum Auffangen der getrennten Komponenten der Zelle, wie Aktivmaterial, Träger bzw. Trägerbänder und Separatoren bzw. Separatorenbänder insbesondere in einer Anlage statt.

**[0277]** Das direkte Recycling-Verfahren für erstrangige Zellen und das modifizierte direkte Recycling-Verfahren können in separaten, d.h. räumlich getrennten Anlagen ausgeführt werden.

**[0278]** Es ist jedoch auch denkbar, dass das direkte Recycling-Verfahren für erstrangige Zellen und das modifizierte direkte Recycling-Verfahren in einer gemeinsamen Anlage ausgeführt werden. Die Anlage kann in diesem Fall zwei Verarbeitungslinien für die Kathode bzw. das Kathodenband aufweisen. Innerhalb der Anlage können dann Kathoden bzw. die Kathodenbänder von erstrangigen Zellen einer ersten Verarbeitungslinie und Kathoden bzw. die Kathodenbänder von tiefentladenen Zellen mit nicht schadhafte Elektrodenpaketen einer zweiten Verarbeitungslinie zugeführt bzw. zugewiesen werden.

**[0279]** Die erste Verarbeitungslinie enthält eine oben beschriebene Separiereinrichtung zur Behandlung der Kathoden bzw. Kathodenbänder mit einem Lösungsmittel und die zweite Verarbeitungslinie enthält eine ebenfalls oben beschriebene Separiereinrichtung zur Wärmebehandlung der Kathode bzw. Kathodenbänder.

**[0280]** Das direkte Recycling-Verfahren für erstrangige Zellen kann unter sauerstoffarmer und insbesondere sauerstofffreier, d.h. inerte Atmosphäre stattfinden. Die dazugehörige Anlage ist entsprechend dafür ausgerüstet.

**[0281]** Das modifizierte, direkte Recycling-Verfahren für tiefentladene Zellen kann unter sauerstoffarmer und insbesondere sauerstofffreier, d.h. inerte Atmosphäre stattfinden. Die dazugehörige Anlage ist entsprechend dafür ausgerüstet.

**[0282]** Eine sauerstoffarme oder sauerstofffreie bzw. inerte Atmosphäre reduziert bzw. verhindert oxidative Vorgänge während des Recyclens der Batterien bzw. Zellen. Auf diese Weise werden die Ausgangsmaterialien der Batterien bzw. Zellen in ihrer chemisch unveränderten Form wiedergewonnen. Damit entfallen spätere, aufwendige Aufbereitungsschritte.

**[0283]** Ferner kann auch das Öffnen der Zellen und die Entnahme der Elektrodenpakete unter sauerstoffarmer und insbesondere sauerstofffreier, d.h. inerte Atmosphäre stattfinden. Das Öffnen der Zellen und die Entnahme der Elektrodenpakete kann mit den dazugehörigen Einrichtungen in die oben genannte Anlage integriert sein.

**[0284]** Es bleibt zu erwähnen, dass grundsätzlich auch erstrangige Zellen mit dem modifizierten, direkten Recycling-Verfahren aufbereitet werden können. Das heisst, sowohl erstrangige als auch zweitrangige Zellen können grundsätzlich im selben, modifizierten, direkten Recycling-Verfahren aufbereitet werden.

**[0285]** Das modifizierte, direkten Recycling-Verfahren mit der Wärmebehandlung weist nämlich den Vorteil auf, dass keine Lösungsmittel bereitgestellt werden müssen und das vom Träger bzw. vom Trägerband getrennte Aktivmaterial nicht aus dem Lösungsmittel abgeschieden und auch kein Lösungsmittel regeneriert werden muss. Allerdings ist bei einer Wärmebehandlung der Energieaufwand vergleichsweise hoch.

**[0286]** Es kann vorgesehen sein, dass die Kathode bzw. das Kathodenband vor dem Abtrennen des Aktivmaterials vom Träger bzw. Trägerband mit einem nicht wasserbasierten Lösungsmittel, wie beispielsweise Dimethylcarbonat (DMC), oder einem anderen geeigneten Lösungsmittel behandelt und auf diese Weise das Lithiumsalz aus dem Aktivmaterial gelöst wird. Das in Reinform vorliegende, herausgelöste Lithiumsalz wird separat weiterverwertet.

**[0287]** Es ist denkbar, dass einzelne oder sämtliche Prüf- und Vorbereitungsschritte, wie Scannen, Spannungsmessung, und gegebenenfalls eine oder mehrere der folgenden Messungen, wie Gewichtsmessung, Kapazitätsmessung und/oder Innenwiderstandsmessung, sowie Abgleich mit bestehenden Daten bzw. Referenzwerten (Prüfschritte) und Entladen bzw. Aufladen der Zellen sowie das Aussortieren bzw. Zuordnen der Zellen zum geeigneten Recyclingverfahren und das Öffnen der Zellen (Vorbereitungsschritte) im Rahmen einer Automatisierung der Abläufe in ein Recycling-System integriert sind.

**[0288]** Ein weiterer Erfindungsaspekt betrifft daher auch ein Recycling-System. Dieses enthält eine Prüfeinrichtung, wie Scan-Vorrichtung, sowie wenigstens eine Anlage wie oben bereits beschrieben. Ferner kann das Recycling-System bzw. die Prüfeinrichtung eine Spannungsmessvorrichtung zum Messen der Spannung der Zellen sowie eine Entladeeinrichtung zum Entladen der Zellen auf eine Schlussspannung enthalten. Des Weiteren kann das Recycling-System eine Öffnungseinrichtung zum Öffnen der Zellen enthalten.

**[0289]** Die Abläufe im Recycling-System sind dabei insbesondere voll- oder zumindest teilautomatisiert.

**[0290]** Mit den beiden weiter oben beschriebenen direkten Recycling-Verfahren und den entsprechenden Anlagen lassen sich Lithium-Ionen-Akkumulatoren bzw. deren Zellen in ihre Bestandteile zerlegen ohne Einsatz von Chemikalien, Pressen, Mühlen und dergleichen sowie ohne Einsatz grosser Energiemengen, wie sie z. B. beim Schmelzen im pyrometallurgischen Verfahren notwendig sind.

**[0291]** Das erfindungsgemässe Verfahren und die dazugehörige Anlage eignen sich beispielsweise zum Recyclieren von Lithium-Ionen-Akkumulatoren mit einer Kathode bzw. einem Kathoden-Trägerband aus Aluminium und einer Anode bzw. einem Anoden-Trägerband aus Kupfer sowie mit einem Aktivmaterial enthaltend oder bestehend aus Graphit. Das erfindungsgemässe Verfahren und die dazugehörige Anlage eignen sich beispielsweise zum Recyclieren von LFP-Akkumulatoren.

**[0292]** Das erfindungsgemässe Verfahren und die dazugehörige Anlage eignen sich insbesondere zum Recyclieren von Lithium-Ionen-Akkumulatoren mit gewickelten Elektrodenpaketen, umfassend jeweils insbesondere ein Kathodenband, ein Anodenband sowie Separatorenbänder.

**[0293]** Allerdings eignet sich das erfindungsgemässe Verfahren und die dazugehörige Anlage auch zum Recyclieren von Lithium-Ionen-Akkumulatoren mit gestapelten oder gefalteten Elektrodenpaketen.

**[0294]** Die erfindungsgemässen Prüf- und Vorbereitungsschritte, wie z. B. Scannen, Spannungsmessung, Entladen, etc. mit den dazugehörigen Einrichtungen stellen sicher, dass tatsächlich nur jene Zellen aussortiert und z. B. einem pyrometallurgischen Verfahren zugewiesen werden, welche nicht in einem direkten Recycling-Verfahren recycelt werden können.

**[0295]** Mit dem direkten Recycling-Verfahren lassen sich über 50%, insbesondere über 80% und fallweise über 91% der Rohstoffe einer recycelten Zelle in reiner Form wiedergewinnen.

**[0296]** Das zurückgewonnene Aktivmaterial der Kathode und der Anode kann mit Hilfe eines gesonderten Aufbereitungsverfahrens wieder zu gebrauchsfertigem Aktivmaterial für neue Zellen aufbereitet werden.

**[0297]** So kann das Aktivmaterial der Anode z. B. durch Zerkleinern in den Nanometer- oder Mikrometerbereich und durch Zugabe von Additiven soweit aufbereitet werden, dass dieses wieder in neuen Zellen verwendbar ist.

**[0298]** Nachfolgend wird der Erfindungsgegenstand anhand von Ausführungsbeispielen, welche in den beiliegenden Figuren dargestellt sind, näher erläutert. Es zeigen jeweils schematisch:

Figur 1: Prozessschema zur Prüfung und Vorbereitung der Zellen für ein nachfolgendes Recycling-Verfahren;

Figur 2: ein Prozessschema eines Recycling-Verfahrens für erstrangige Zellen;

Figur 3: ein Prozessschema eines modifizierten Recycling-Verfahrens für tiefentladene Zellen;

Figur 4: Recycling-System;

Figur 5: ein Prozessschema für das Batterie-Recycling mit integrierter Beschichtungseinrichtung für das Aktivmaterial.

[0299] Grundsätzlich sind in den Figuren gleiche Teile mit gleichen Bezugszeichen versehen.

[0300] Für das Verständnis der Erfindung sind gewisse Merkmale in den Figuren nicht oder nur sehr stark abstrahiert dargestellt. Die nachfolgend beschriebenen Ausführungsbeispiele stehen lediglich beispielhaft für den Erfindungsgegenstand.

[0301] Gemäss Prozessschema zu **Figur 1** werden die rückgeführten Zellen 13 in einer Prüfeinrichtung 2 mittels einer Scan-Vorrichtung 3 gescannt. Die Zellen 13 werden auf Basis des ermittelten Zustandes bzw. der ermittelten Zustands-Informationen des in diesen enthaltenen Elektrodenpakets 15 in zwei Zustands-Klassen eingeteilt.

[0302] Die Zellen 13 einer ersten Zustandsklasse, deren Elektrodenpakete 15 schadhaft sind, werden einer mit „C“ beschrifteten Behandlung unterzogen, welche weiter unten noch erörtert wird.

[0303] Bei den Zellen 13 einer zweiten Zustandsklasse, deren Elektrodenpakete nicht schadhaft sind wird in einem nachfolgenden Schritt mittels einer Spannungsmessvorrichtung 4 die Spannung ermittelt. Die Zellen 13 der zweiten Zustandsklasse werden auf Basis der gemessenen Spannung in zwei Spannungs-Klassen eingeteilt.

[0304] Die Zellen 13 einer ersten Spannungs-Klasse mit einer Spannung von 2 Volt oder höher, nachfolgend „erstrangige Zellen“ genannt, werden in einer Entladeeinrichtung 5 einem Entladevorgang unterzogen. Die Zellen 13 werden mittels der Entladeeinrichtung aktiv auf die Schlussspannung von z. B. 2 bis 2.5 Volt entladen.

[0305] Anschliessend werden die erstrangigen Zellen 13 in einer Öffnungseinrichtung 8.2 geöffnet.

[0306] Im Anschluss an das Öffnen werden die Zellen 13 bzw. deren gewickelten Elektrodenpakete 15 einem mit „A“ beschrifteten Recycling-Verfahren unterzogen, welches nachfolgend beschrieben wird.

[0307] Die Zellen 13 einer zweiten Spannungs-Klasse mit einer Spannung von unter 2 Volt, welche als tiefentladen gelten, werden ebenfalls in einer Öffnungseinrichtung 8.1 geöffnet.

[0308] Im Anschluss an das Öffnen werden die Zellen 13 bzw. deren gewickelten Elektrodenpakete 15 einem mit „B“ beschrifteten Recycling-Verfahren unterzogen, welches ebenfalls nachfolgend beschrieben wird.

[0309] Optional, können die tiefentladenen Zellen 13, welche auf eine Schlussspannung wiederaufladbar sind, mittels einer Ladeeinrichtung 6 auf die Schlussspannung aufgeladen werden und nachfolgend zusammen mit den erstrangigen Zellen 13 geöffnet und dem mit „A“ beschrifteten, direkten Recycling-Verfahren zugeführt werden.

[0310] Damit tiefentladene Zellen wieder auf die Schlussspannung aufgeladen werden können, müssen diese gegebenenfalls vorab behandelt werden. Dies erfolgt z. B. durch Zugabe von Elektrolyten in die Zelle 13, z. B. über ein Einlassventil.

[0311] In den Öffnungseinrichtungen 8.1, 8.2, wird das Gehäuse 14 der Zellen geöffnet und das Elektrodenpaket 15 entnommen. Gegebenenfalls wird auch der Elektrolyt entnommen und in einer Sammeleinheit, wie Gefäss, aufgefangen (nicht gezeigt). Das Gehäuse 14, welche z. B. aus Kunststoff oder Metall, wie Aluminium, ist, bzw. die Gehäuseteile, wie Gehäusekörper 14.1 und Gehäusedeckel 14.2 werden in der Sammeleinheit 9.1, z. B: Behälter, einer Sammeleinrichtung 9 gesammelt. Die Pole 14.3 der Zellen, welche aus Metall sind, werden in separaten Sammeleinheiten 9.2, 9.3, z. B. Behältern, gesammelt.

[0312] Die erstrangigen Zellen 13 werden nun in einem direkten Recycling-Verfahren „A“ mittels einer Recycling-Anlage 25 gemäss **Figur 2** recyclet.

[0313] In einem ersten Schritt wird das Elektrodenpaket 15 an einer Abwickleinrichtung 30 abgewickelt. Hierzu wird der Bandverbund des Elektrodenpakets 15 durch den Walzenspalt eines angetriebenen Abzugswalzenpaares 31 geführt. Das Abzugswalzenpaar 31 bildet eine Abzugseinrichtung aus, welche den Bandverbund vom Wickel abzieht.

[0314] Im Anschluss an das Abzugswalzenpaar 31 wird der Bandverbund in einer Bandtrenneinrichtung 32 in die einzelnen Bandkomponenten 16, 22, 21, 23 aufgetrennt.

[0315] Die Bandtrenneinrichtung 32 enthält Trennkeile 33, welche zwischen den Bandkomponenten 16, 22, 21, 23 angeordnet sind. Die Bandkomponenten 16, 22, 21, 23 werden beim Vorbeiführen an den Trennkeilen 33 fortlaufend voneinander getrennt und entlang separater Verarbeitungslinien der weiteren, individuellen Behandlung bzw. Verarbeitung zugeführt.

[0316] Die beiden Separatorenbänder 22, 23, welche die Elektrodenbänder 16, 19 im Wickel gegeneinander elektrisch isolieren, benötigen keine besondere Behandlung und werden daher jeweils mittels einer Wickleinrichtung 37, 38 aufgewickelt und als Wickel 24 in einem Sammelbehälter 10.3, 10.6 einer Sammeleinrichtung 10 abgelegt.

[0317] Das Anodenband 19 wird durch eine Separiereinrichtung 50 geführt, welche ein in einem Separierbehälter 51 angelegtes Wasserbad 53 umfasst. Das Anodenband 19 wird über Umlenkrollen durch das Wasserbad 53 geführt. Durch den Kontakt mit Wasser trennt sich das Aktivmaterial 20, z. B. Graphit, vom Anodenträgerband 21, z. B. Kupfer. Das Aktivmaterial 20 reagiert dabei mit dem Wasser 53, was zur Bildung von Wasserstoff 57 führt. Der Wasserstoff 57 wird mittels einer Abführeinrichtung 54 abgeführt und in einem Speichertank 52 gespeichert. Alternativ kann der Wasserstoff 57 mittels der Abführeinrichtung 54 auch direkt einer Verwertung, wie Verbrennung für Heizzwecke, zugeführt werden.

[0318] Das vom Anodenträgerband 21 getrennte Aktivmaterial 20 sammelt sich im Wasser 53 und wird mittels einer Abscheideeinrichtung 55 wieder aus dem Wasser 53 abgeschieden und in einem Sammelbehälter 10.4 der Sammeleinrichtung 10 aufgefangen. Das Abscheiden kann mittels einer Sieb- oder Filtervorrichtung als Teil der Abscheideeinrichtung 55 erfolgen.

[0319] Das Wasser 53 wird nach dem Abscheiden des Aktivmaterials 20, gegebenenfalls nach einer Aufbereitung, in einem geschlossenen Kreislauf über eine Rückführeinrichtung 56 wieder in den Behälter 51 zurück und dem Wasserbad 53 zugeführt.

[0320] Das (reine) Anodenträgerband 21 wird nach Verlassen der Abscheidevorrichtung 55, d.h. nach Entfernen der Beschichtung aus Aktivmaterial 20, mittels einer Aufwickleinrichtung 36 aufgewickelt und in einem Sammelbehälter 10.5 für Anodenträgerbandwickel 58 der Sammeleinrichtung 10 abgelegt.

[0321] Das Kathodenband 16 wird ebenfalls durch eine Separiereinrichtung 40 geführt, welche ein in einem Separierbehälter 41 angelegtes Wasserbad 43 umfasst. Das Kathodenband 16 wird ebenfalls über Umlenkrollen durch das Wasserbad 43 geführt. Durch den Kontakt mit Wasser 43 trennt sich das Aktivmaterial 17 (Li-Metalloxid) vom Kathodenband 18, z. B. Aluminium.

[0322] Das Wasserbad 43 kann mittels einer Heizeinrichtung 44 beheizt werden, um das Wasser 43 im Separierbehälter 41 beispielsweise auf eine ideale Ablöse- bzw. Trenntemperatur zu erwärmen. Die Heizung kann mit Wasserstoff 57 betrieben werden, welcher in der Separiereinrichtung 50 beim Trennen des Aktivmaterials 20 vom Anodenträgerband 21 entsteht.

[0323] Das vom Kathodenträgerband 18 getrennte und in Suspension vorliegende Aktivmaterial 17 sammelt sich im Wasser 43 und wird mittels einer Abscheideeinrichtung 45 wieder aus dem Wasser 43 abgeschieden und in einem Sammelbehälter 10.2 der Sammeleinrichtung 10 aufgefangen. Das Abscheiden kann mittels einer Sieb- oder Filtervorrichtung als Teil der Abscheideeinrichtung 45 erfolgen.

[0324] Das Wasser 43 wird nach dem Abscheiden des Aktivmaterials 17, gegebenenfalls nach einer Aufbereitung, in einem geschlossenen Kreislauf über eine Rückführeinrichtung 46 wieder in den Behälter 41 zurück und dem Wasserbad 43 zugeführt.

[0325] Das (reine) Kathodenträgerband 18 wird nach Verlassen der Abscheidevorrichtung 45, d.h. nach Entfernen der Beschichtung aus Aktivmaterial 17, mittels einer Aufwickleinrichtung 35 aufgewickelt und in einem Sammelbehälter 10.1 für Kathodenträgerbandwickel 48 der Sammeleinrichtung 10 abgelegt.

[0326] Die tiefentladenen Zellen 13, welche jedoch nicht schadhafte sind, werden in einem modifizierten, direkten Recycling-Verfahren mittels einer Recycling-Anlage 26 gemäss **Figur 3** recycelt.

[0327] Mit Ausnahme der Behandlung des Kathodenbandes 16 und der dazugehörigen Separiereinrichtung 60 entsprechen das modifizierte Recycling-Verfahren und die dazugehörigen Einrichtungen der Recycling-Anlage 26 der Recycling-Anlage 25 gemäss **Figur 2**. Nachfolgend werden daher lediglich Unterschiede erörtert, welche die Behandlung des Kathodenbandes 16 betreffen. Bezüglich der anderen Merkmale wird auf die Beschreibung zur **Figur 2** verwiesen.

[0328] Das Kathodenband 16 von tiefentladenen Zellen 13 zeichnet sich wie weiter oben bereits erörtert, dadurch aus, dass sich das Aktivmaterial 17 (Li-Metalloxid) nicht mittels Wasser oder einem anderen wasserbasierten Lösungsmittel vom Kathodenträgerband 18 lösen lässt. Entsprechend kommt ein anderes Verfahren zum Trennen des Aktivmaterials 17 vom Kathodenträgerband 18 zum Einsatz.

[0329] In einem vorbereitenden Schritt wird das separierte Kathodenband 16 mittels einer Wickeleinrichtung 35 zu einem Wickel, insbesondere lockeren Wickel, aufgewickelt.

[0330] Die Separiereinrichtung 60 enthält einen Ofen 61, in welchem die Kathodenbandwickel einer Wärmebehandlung unterzogen werden. Die Wärmebehandlung findet z. B. bei einer Temperatur von 500°C statt. Zum Heizen des Ofens 61 kann der Wasserstoff verwendet werden, welcher in der Separiereinrichtung 50 beim Ablösen bzw. Trennen des Aktivmaterials 20 vom Anodenträgerband 21 entsteht.

[0331] Ferner enthält die Separiereinrichtung 60 Mittel, wie z. B. eine Rütteleinrichtung oder Rühreinrichtung zum mechanischen Trennen Aktivmaterials 17 vom Kathodenträgerband 18 (nicht gezeigt).

[0332] Durch die Kombination von Wärmebehandlung und mechanischer Einwirkung auf die Beschichtung löst sich die Beschichtung aus Aktivmaterial 17 vom Kathodenträgerband 18. Das Aktivmaterial 17 wird in einem Sammelbehälter 10.2 der Sammeleinrichtung 10 aufgefangen.

[0333] Die vom Aktivmaterial 17 befreiten Kathodenträgerbandwickel 48 werden in einem weiteren Sammelbehälter 10.1 der Sammeleinrichtung 10 aufgefangen.

[0334] Alternativ zu der in **Figur 3** dargestellten Separiereinrichtung 60, kann auch ein Durchlaufofen vorgesehen sein, durch welchen das separierte (ungewickelte) Kathodenband 16 kontinuierlich geführt bzw. transportiert wird. Dieses Verfahren weist den Vorteil auf, dass mittels entsprechenden mechanischen Separierwerkzeugen direkt auf die beschichtete Oberfläche des Kathodenbandes 16 eingewirkt werden kann. Das Kathodenträgerband 18 wird nach dem Ablösen bzw.

Trennen des Aktivmaterials 17 analog zum Verfahren nach Figur 2 mittels einer Wickleinrichtung zu einem Wickel aufgerollt und in einem Sammelbehälter abgelegt.

[0335] Die in den Sammelbehältern 10.1-10.6 der Recycling-Anlage 25, 26 aufgefangenen Materialien können nachfolgend der Wiederverwertung zugeführt werden. So können aus diesen Materialien wieder Lithium-Ionen-Batterien hergestellt werden.

[0336] Es kann übrigens auch vorgesehen sein, dass das modifizierte, direkte Recycling-Verfahren in die Anlage 25 gemäss Figur 2 als separate Behandlungslinie für das Kathodenband 16 integriert ist.

[0337] Das in **Figur 4** dargestellte Recycling-System 1 entspricht einer Zusammenstellung der in den Figuren 1 bis 3 dargestellten Abläufe mit den dazugehörigen Einrichtungen bzw. Anlagen in einer Übersicht.

[0338] Nachfolgend werden die grundsätzlichen Abläufe gemäss Erfindung anhand der Figur 4 nochmals zusammenfassend wiedergegeben.

[0339] In einer Prüfeinrichtung 2 werden die angelieferten Zellen 13 in einem ersten Schritt mittels einer Scan-Vorrichtung 3 gescannt und in zwei Zustands-Klassen eingeteilt. Die schadhaften Zellen 13 gemäss einer ersten Zustandsklasse werden einer mit „C“ beschrifteten Behandlung unterzogen. Bei den nicht schadhaften Zellen 13 gemäss einer zweiten Zustands-Klasse wird in einem zweiten Schritt die Spannung gemessen und eine Einteilung in zwei Spannungs-Klassen vorgenommen.

[0340] Die nicht tiefentladenen Zellen 13 mit einer Spannung von gleich oder grösser 2 Volt einer ersten Spannungs-Klasse werden geöffnet und deren Elektrodenpakete 15 werden in der Recycling-Anlage 25 einem direkten Recycling-Verfahren „A“ unterzogen.

[0341] Die tiefentladenen, nicht wiederaufladbaren Zellen 13 mit einer Spannung von kleiner als 2 Volt einer zweiten Spannungs-Klasse werden ebenfalls geöffnet und deren Elektrodenpakete 15 werden in der Recycling-Anlage 26 einem modifizierten, direkten Recycling-Verfahren „B“ unterzogen.

[0342] Die mit „C“ beschriftete Behandlung der schadhaften Zellen 13 kann ein pyrometallurgisches oder hydrometallurgisches Recycling-Verfahren sein.

[0343] Es ist auch denkbar, dass die Elektrodenpakete durch Tränken in einer Flüssigkeit, wie Elektrolyten bzw. durch Wiederbefüllen der Zellen mit einer Flüssigkeit, wie Elektrolyten, soweit wieder aufbereitet werden, dass sich diese in einem modifizierten, direkten Recycling-Verfahren „B“ wiederverwerten lassen.

[0344] Gemäss Prozessschema zu **Figur 5** wird das Elektrodenband 73, welches das Kathodenband und/oder Anodenband sein kann, in einem Recycler-System 71 von einem Wickel 72 abgewickelt. Alternativ kann auch ein Elektrodenpaket abgewickelt und nachfolgend in die einzelnen Bandkomponenten, wie Anodenband, Kathodenband und Separatorenband, separiert werden.

[0345] In einem nachfolgenden Schritt wird das Aktivmaterial in einer Separiereinrichtung 74 vom Elektrodenband getrennt. Das vom Aktivmaterial befreite Elektrodenträgerband 73 kann gegebenenfalls noch gereinigt und für eine nachfolgenden Beschichtung vorbehandelt werden.

[0346] In einem nachfolgenden Schritt wird das Elektrodenträgerband 73 in einer Beschichtungseinrichtung 75 wieder mit Aktivmaterial beschichtet. Das mit Aktivmaterial beschichtete Elektrodenträgerband 73 bildet ein neues Elektrodenband und wird nach der Beschichtung wieder auf einen Wickel 76 aufgewickelt. Das Elektrodenband kann nun in der Herstellung neuer Batterien verwendet werden. Selbstverständlich können zwischen den oben genannten Hauptverfahrensschritten noch weitere Behandlungsschritte vorgesehen sein.

[0347] Alternativ kann das neu beschichtete Elektrodenträgerband, d.h. das Elektrodenband, anstatt im Anschluss an die Beschichtung aufgewickelt zu werden, auch direkt, d.h. inline, in der Batterieherstellung bzw. in einem vorbereiteten Verfahren dazu weiterverarbeitet werden. So kann das Elektrodenband zusammen mit weiteren Bandkomponenten inline zu neuen Elektrodenpaketen, insbesondere zu gewickelten Elektrodenpaketen weiterverarbeitet werden.

[0348] Das oben beschriebene Beschichtungsverfahren bzw. die dazugehörige Beschichtungseinrichtung kann insbesondere in ein oben beschriebenes, direktes Recycling-Verfahren bzw. modifiziertes, direktes Recycling-Verfahren bzw. in die dazugehörige Anlage integriert werden.

## Patentansprüche

1. Verfahren zum Recyceln von Lithium-Ionen-Batterien, insbesondere von Lithium-Ionen-Akkumulatoren, welche eine oder mehrere Zellen (13) umfassen, wobei die Zellen (13) jeweils Elektrodenpakete (15) mit Elektroden (16, 19) enthalten, und die Elektroden (16, 19) jeweils einen mit einem Aktivmaterial (17, 20) beschichteten, elektrisch leitenden Träger (18, 21) umfassen.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass mittels einer Prüfeinrichtung, insbesondere mittels einer Mess-Vorrichtung (3), Informationen über den Zustand der Zellen (13) ermittelt werden, und die Zustands-Inforna-

tionen insbesondere für die Zuordnung der Zellen (13) zu jeweils einer von mindestens zwei Zustands-Klassen verwendet werden.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass mittels einer Scan-Vorrichtung (3) innere Komponenten der Zellen (13) detektiert werden, und aus den detektierten Komponenten Informationen über den Zustand der Zellen (13) ermittelt werden, und die Zustands-Informationen insbesondere für die Zuordnung der Zellen (13) zu jeweils einer von mindestens zwei Zustands-Klassen verwendet werden.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass mittels mindestens einem der folgenden Messverfahren, wie:
  - Gewichtsmessung mittels einer Gewichtsmessvorrichtung
  - Kapazitätsmessung mittels einer Kapazitätsmessvorrichtung;
  - Innenwiderstandsmessung mittels einer Innenwiderstandsmessvorrichtung, Informationen über den Zustand der Zellen (13) ermittelt werden, und die Zustands-Informationen, insbesondere für die Zuordnung der Zellen (13) zu jeweils einer von mindestens zwei Zustands-Klassen verwendet werden.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Zellen (13) anhand der ermittelten Zustands-Informationen jeweils einer von mindestens zwei Zustands-Klassen zugeordnet werden.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Zellen (13) anhand der Zustands-Informationen jeweils in eine von zwei Zustands-Klassen zugeordnet werden, wobei eine erste Zustands-Klasse schadhafte Zellen (13) umfasst, deren Elektrodenpakete, insbesondere deren Bandkomponenten (16, 19, 22, 23) insbesondere verklebt sind, und eine zweite Zustands-Klasse nicht schadhafte Zellen (13) umfasst, deren Elektrodenpakete, insbesondere deren Bandkomponenten (16, 19, 22, 23) insbesondere unverklebt sind.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass mittels einer Spannungsmessvorrichtung (4) die elektrische Spannung der Zellen (13) gemessen wird, und die gemessenen Spannungen für die Zuordnung der Zellen (13) zu jeweils einer von mindestens zwei Zustands-Klassen, insbesondere Spannungs-Klasse, verwendet werden, und die Zellen (13) insbesondere anhand der gemessenen Spannung jeweils einer von mindestens zwei Zustands-Klassen, insbesondere Spannungs-Klassen zugeordnet werden.
8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Zellen (13) anhand der gemessenen Spannung jeweils in eine von zwei Spannungs-Klassen zugeordnet werden, wobei eine erste Spannungs-Klasse insbesondere jene Zellen (13) umfasst, welche nicht tiefentladen sind und eine zweite Spannungs-Klasse insbesondere jene Zellen (13) umfasst, welche tiefentladen sind.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass mittels der Spannungsmessvorrichtung (4) die elektrische Spannung der Zellen (13) gemessen wird und die Zellen (13) mittels der Scan-Vorrichtung (3) gescannt und Zustands-Informationen ermittelt werden, und die Zellen (13) anhand der Spannungsmessungen und der Zustands-Informationen jeweils einer von mindestens zwei Zustands-Klassen zugeordnet werden, und insbesondere anhand der Spannungsmessungen jeweils einer von mindestens zwei Spannungs-Klassen und anhand der Zustands-Informationen jeweils einer von mindestens zwei Zustands-Klassen zugeordnet werden.
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass in einem ersten Schritt die Zellen (13) mittels der Scan-Vorrichtung (3) gescannt werden, und bei den, der zweiten Zustands-Klasse zugeordneten Zellen (13) in einem zweiten Schritt mittels der Spannungsmessvorrichtung (4) die elektrische Spannung der Zellen (13) gemessen wird, und die Zellen (13) einer von mindestens zwei Spannungs-Klassen zugeordnet werden.
11. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass in einem ersten Schritt mittels der Spannungsmessvorrichtung (4) die elektrische Spannung der Zellen (13) gemessen wird, und die der zweiten Spannungs-Klasse zugeordneten Zellen (13) in einem zweiten Schritt mittels der Scan-Vorrichtung (3) gescannt werden und die Zellen (13) anhand der Zustands-Informationen jeweils einer von mindestens zwei Zustands-Klassen zugeordnet werden.
12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass die nicht tiefentladenen Zellen (13) mittels einer Entladeeinrichtung (5) auf eine Schlussspannung entladen werden.
13. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass tiefentladene Zellen (13), welche sich z. B. aufgrund von Zustands-Informationen als wiederaufladbar erweisen, mittels einer Ladeeinrichtung (6) aufgeladen und auf eine Schlussspannung gebracht werden.
14. Verfahren nach einem der Ansprüche 12 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass die auf eine Schlussspannung entladenen oder aufgeladenen Zellen (13) geöffnet und das Elektrodenpaket (15) aus dem Gehäuse (14) entnommen wird.
15. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass mittels einer Scan-Vorrichtung (3) eine geeignete Stelle zum Öffnen der Zellen (13) detektiert wird, und die Zellen (13) anhand dieser Informationen an der geeigneten Öffnungsstelle geöffnet werden.
16. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 15, dadurch gekennzeichnet, dass die Elektroden flächenförmig, insbesondere bandförmig und die dazugehörigen Elektrodenträger flächenförmig, insbesondere bandförmig sind.

17. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass die Separatoren, flächenförmig, insbesondere bandförmig sind.
18. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 17, dadurch gekennzeichnet, dass eine oder mehrere der folgenden Eigenschaften zutrifft:
  - die Anode ist ein Anodenband und der Anodenträger ist ein Anodenträgerband;
  - die Kathode ist ein Kathodenband und der Kathodenträger ist ein Kathoden-trägerband;
  - der Separator ist ein Separatorenband.
19. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 18, dadurch gekennzeichnet, dass die Elektrodenpakete (15) jeweils mindestens eines von Folgendem sind:
  - gewickelt;
  - gestapelt oder
  - gefaltet.
20. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 19, dadurch gekennzeichnet, dass die nicht tiefentladenen Zellen (13), insbesondere die auf eine Schlussspannung entladenen Zellen (13) bzw. deren Elektrodenpakete (15) einem direkten Recycling-Verfahren (A, B) für nicht tiefentladene Zellen (13) zugewiesen werden.
21. Verfahren nach Anspruch 20, dadurch gekennzeichnet, dass die Elektrodenpakete (15) im direkten Recycling-Verfahren (A, B), insbesondere mittels einer Trenneinrichtung, in die einzelnen Komponenten, insbesondere Bandkomponenten (16, 19, 22, 23), wie Anode, insbesondere Anodenband (19), Kathode, insbesondere Kathodenband (16) und Separator, insbesondere Separatorenband (22, 23) separiert werden.
22. Verfahren nach einem der Ansprüche 20 bis 21, dadurch gekennzeichnet, dass die Kathode, insbesondere das Kathodenband (16), insbesondere in einer Ablöse- bzw. Separiereinrichtung, mit einem wasserbasierten Lösungsmittel (43) behandelt und das Aktivmaterial (17) durch das wasserbasierte Lösungsmittel (43) vom Kathodenträger, insbesondere vom Kathodenträgerband (18) abgelöst bzw. getrennt wird.
23. Verfahren nach einem der Ansprüche 20 bis 22, dadurch gekennzeichnet, dass die Anode, insbesondere das Anodenband (19), insbesondere in einer Ablöse- bzw. Separiereinrichtung, mit einem wasserbasierten Lösungsmittel (53) behandelt und das Aktivmaterial (20) durch das wasserbasierte Lösungsmittel (53) vom Anodenträger, insbesondere vom Anodenträgerband (21) abgelöst bzw. getrennt wird.
24. Verfahren nach einem der Ansprüche 20 bis 23, dadurch gekennzeichnet, dass das Recycling-Verfahren kontinuierlich ist und wenigstens eine Bandkomponente (16, 19, 22, 23) aus der Gruppe von Anodenband, Kathodenband oder Separatorenband mittels einer Antriebseinrichtung angetrieben wird.
25. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 24, dadurch gekennzeichnet, dass die tiefentladenen, nicht schadhafte Zellen (13), insbesondere mit den nicht verklebten Elektrodenpaketen (15), geöffnet und das Elektrodenpaket (15) aus dem Gehäuse (14) entnommen wird.
26. Verfahren nach Anspruch 25, dadurch gekennzeichnet, dass die tiefentladenen und insbesondere nicht wiederaufladbaren Zellen (13) mit nicht schadhafte, insbesondere unverklebten Elektrodenpaketen (15) bzw. deren Elektrodenpakete (15) einem modifizierten, direkten Recycling-Verfahren (B) zugewiesen werden.
27. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 26, dadurch gekennzeichnet, dass die nicht tiefentladenen Zellen (13) einem modifizierten, direkten Recycling-Verfahren (B) zugewiesen werden.
28. Verfahren nach Anspruch 26 oder 27, dadurch gekennzeichnet, dass die Elektrodenpakete (15) im modifizierten Recycling-Verfahren, insbesondere mittels einer Trenneinrichtung, insbesondere Bandtrenneinrichtung (32), in die einzelnen Komponenten, insbesondere Bandkomponenten (16, 19, 22, 23), wie Anode, insbesondere Anodenband (19), Kathode, insbesondere Kathodenband (16) und Separator, insbesondere Separatorenband (22, 23) separiert werden.
29. Verfahren nach einem der Ansprüche 26 bis 28, dadurch gekennzeichnet, dass die Kathode, insbesondere das Kathodenband (16), insbesondere in einem Ofen (61), einer Wärmebehandlung unterzogen wird, und das Aktivmaterial (17) während und/oder nach der Wärmebehandlung, insbesondere durch mechanische Einwirkung auf die Kathode, insbesondere das Kathodenband (16), vom Kathodenträger, insbesondere Kathodenträgerband (18) abgelöst bzw. getrennt wird.
30. Verfahren nach einem der Ansprüche 26 bis 29, dadurch gekennzeichnet, dass die Anode, insbesondere das Anodenband (19) mit einem wasserbasierten Lösungsmittel (53) behandelt und das Aktivmaterial (20) durch das wasserbasierte Lösungsmittel (53) vom Anodenträger, insbesondere Anodenträgerband (21) abgelöst bzw. getrennt wird.
31. Verfahren nach einem der Ansprüche 22 und 30, dadurch gekennzeichnet, dass das Aktivmaterial (20) der Anode elementaren Kohlenstoff enthält oder aus diesem besteht und der bei der Behandlung des Aktivmaterials (20) mit Lösungsmittel (53) erzeugte Wasserstoff (57) insbesondere zur Weiterverwendung aufgefangen, und insbesondere zur Erzeugung von Wärme bei der Behandlung der Kathode, insbesondere des Kathodenbandes (16) verwendet wird.

32. Verfahren nach einem der Ansprüche 22, 23 und 30, dadurch gekennzeichnet, dass das Lösungsmittel (43, 53) aus Wasser besteht.
33. Verfahren nach einem der Ansprüche 26 bis 29, dadurch gekennzeichnet, dass die Anode, insbesondere das Anodenband (16), insbesondere in einem Ofen (61), einer Wärmebehandlung unterzogen wird, und das Aktivmaterial (17) während und/oder nach der Wärmebehandlung, insbesondere durch mechanische Einwirkung auf die Anode, insbesondere das Anodenband (16), vom Anodenträger, insbesondere Anodenträgerband (18) abgelöst bzw. getrennt wird.
34. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 33, dadurch gekennzeichnet, dass wenigstens eine Bandkomponente (16, 19, 22, 23) des Elektrodenpakets (15) mittels einer Abwickeinrichtung, abgewickelt wird.
35. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 34, dadurch gekennzeichnet, dass das Elektrodenpaket (15) ein Wickel ist und das Elektrodenpaket (15) vor seiner Auftrennung in die einzelnen Bandkomponenten (16, 19, 22, 23), insbesondere mittels einer Abwickeinrichtung, abgewickelt wird.
36. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 35, dadurch gekennzeichnet, dass die wenigstens eine Bandkomponente (16, 19, 22, 23) und insbesondere die Bandkomponenten (16, 19, 22, 23), insbesondere im Anschluss an das Ablösen bzw. Trennen des Aktivmaterials (17, 20), jeweils mittels einer Aufwickeinrichtung (35, 36, 37, 38) aufgewickelt wird/werden.
37. Verfahren nach einem der Ansprüche 22 bis 23 und 30 bis 32, dadurch gekennzeichnet, dass das Aktivmaterial (17, 20) jeweils mittels eines Abscheideverfahrens aus dem Lösungsmittel (43, 53) zurückgewonnen wird.
38. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 37, dadurch gekennzeichnet, dass mittels dem direkten bzw. modifizierten direkten Recycling-Verfahren (A, B) die folgenden Stoffe zurückgewonnen und in einer Sammeleinrichtung (9, 10) separat gesammelt werden:
  - ein oder mehrere Separatorenbänder (22, 23)
  - Aktivmaterial (17) der Kathode
  - Kathodenträger, insbesondere Kathodenträgerband (18)
  - Aktivmaterial (20) der Anode
  - Anodenträger, insbesondere Anodenträgerband (21).
39. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 38, dadurch gekennzeichnet, dass wenigstens einer der Elektrodenträger, insbesondere der Elektrodenträgerbänder, wie Kathodenträger bzw. Kathodenträgerband und Anodenträger bzw. Anodenträgerband, und insbesondere beide Elektrodenträger bzw. Elektrodenträgerbänder nach dem Ablösen bzw. Trennen des Aktivmaterials vom Elektrodenträger, bzw. vom Elektrodenträgerband an einer Beschichtungseinrichtung wieder mit Aktivmaterial beschichtet wird, insbesondere inline beschichtet wird.
40. **Scan-Vorrichtung** (3) zum Detektieren von inneren Komponenten von Batterie-Zellen (13), dadurch gekennzeichnet, dass die Scan-Vorrichtung (3) eine Auswerteeinheit zur Aufbereitung der Messdaten zu den detektierten, inneren Komponenten der Zellen (13) und insbesondere zur Ermittlung von Informationen über den Zustand der Zellen (13) auf Grundlage der detektierten inneren Komponenten enthält.
41. Scan-Vorrichtung (3) nach Anspruch 40, dadurch gekennzeichnet, dass mittels der Auswerteeinheit die Zellen (13) anhand der Zustands-Informationen jeweils einer von mindestens zwei Zustands-Klassen zugeordnet werden können, wobei insbesondere eine erste Zustands-Klasse schadhafte Zellen (13) umfasst, deren Komponenten, insbesondere Bandkomponenten (16, 19, 22, 23) insbesondere verklebt sind, und eine zweite Zustands-Klasse nicht schadhafte Zellen (13) umfasst, deren Komponenten, insbesondere Bandkomponenten (16, 19, 22, 23) insbesondere unverklebt sind.
42. **Anlage** (25, 26) zur Durchführung des Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 39.
43. Anlage nach Anspruch 42 dadurch gekennzeichnet, dass die Anlage eine Trenneinrichtung, insbesondere, Bandtrenneinrichtung (32) zum Trennen der einzelnen Komponenten, insbesondere Bandkomponenten (16, 19, 22, 23) des Elektrodenpakets (15) enthält.
44. Anlage nach einem der Ansprüche 42 bis 43, dadurch gekennzeichnet, dass die Anlage mindestens eine Ablöse- bzw. Separiereinrichtung (40, 60) zum Ablösen bzw. Trennen des Aktivmaterials (17, 20) von den Elektroden, insbesondere von den Elektrodenbändern (16, 19), insbesondere eine erste Ablöse- bzw. Separiereinrichtung (40, 60) zum Ablösen bzw. Trennen des Aktivmaterials (17) von der Kathode, insbesondere vom Kathodenband (16) und eine zweite Ablöse- bzw. Separiereinrichtung (50) zum Ablösen bzw. Trennen des Aktivmaterials (20) von der Anode, insbesondere vom Anodenband (19) enthält.
45. Anlage nach einem der Ansprüche 42 bis 44, dadurch gekennzeichnet, dass die Anlage eine der Bandtrenneinrichtung (32) vorgelagerte Abwickeinrichtung (30) zum Abwickeln eines gewickelten Elektrodenpakets (15) enthält.
46. Anlage nach einem der Ansprüche 42 bis 45, dadurch gekennzeichnet, dass die mindestens eine Ablöse- bzw. Separiereinrichtung (40) ein Lösungsmittelbad enthält.

47. Anlage nach einem der Ansprüche 42 bis 45, dadurch gekennzeichnet, dass die mindestens eine Ablöse- bzw. Separiereinrichtung (60) eine Wärmebehandlungsvorrichtung (61), insbesondere einen Ofen, zur Wärmebehandlung der Elektroden enthält.
48. Anlage nach einem der Ansprüche 42 bis 47, dadurch gekennzeichnet, dass die erste Ablöse- bzw. Separiereinrichtung (40) ein Lösungsmittelbad (43) sowie insbesondere Führungsmittel zum Führen eines Kathodenbandes (16) durch das Lösungsmittelbad (43) enthält.
49. Anlage nach einem der Ansprüche 42 bis 47, dadurch gekennzeichnet, dass die erste Ablöse- bzw. Separiereinrichtung (60) eine Wärmebehandlungsvorrichtung (61), insbesondere einen Ofen, zur Wärmebehandlung der Kathode, insbesondere des Kathodenbandes (16) enthält.
50. Anlage nach einem der Ansprüche 42 bis 49, dadurch gekennzeichnet, dass die zweite Ablöse- bzw. Separiereinrichtung (50) ein Lösungsmittelbad (53) sowie insbesondere Führungsmittel zum Führen eines Anodenbandes (19) durch das Lösungsmittelbad (53) enthält.
51. Anlage nach einem der Ansprüche 42 bis 49, dadurch gekennzeichnet, dass die zweite Ablöse- bzw. Separiereinrichtung eine Wärmebehandlungsvorrichtung, insbesondere einen Ofen, zur Wärmebehandlung der Anode, insbesondere des Anodenbandes enthält.
52. Anlage nach einem der Ansprüche 42 bis 51, dadurch gekennzeichnet, dass die Anlage (25, 26) wenigstens eine Aufwickleinrichtung (35, 36, 37, 38) zum Aufwickeln wenigstens einer Bandkomponente (16, 19, 22, 23), gegebenenfalls nach Ablösung bzw. Trennen eines Aktivmaterials (17, 20) in einer Ablöse- bzw. Separiereinrichtung (40, 50), enthält.
53. Anlage nach einem der Ansprüche 42 bis 52, dadurch gekennzeichnet, dass die Anlage (25, 26) wenigstens eine Antriebseinrichtung (31) und wenigstens eine Führungseinrichtung (34) zur kontinuierlichen Behandlung wenigstens einer Bandkomponente (16, 19, 22, 23), wie Kathodenband oder Anodenband, enthält.
54. **Recycling-System**, enthaltend eine Prüfeinrichtung zur Ermittlung und insbesondere auch Auswertung von Zustands-Informationen zur Batterie bzw. zu den Zellen, insbesondere eine Scan-Vorrichtung (3) nach einem der Ansprüche 40 bis 41, und wenigstens eine Anlage (24, 25) nach einem der Ansprüche 42 bis 53.
55. Recycling-System nach Anspruch 54, enthaltend eine erste Anlage (25) zum direkten Recyclieren von nicht tiefentladenen Zellen (13) und eine zweite Anlage (26) zum direkten Recyclieren von tiefentladenen, nicht schadhafte Zellen (13), deren Elektrodenpakete (15) insbesondere nicht verklebt sind.
56. Recycling-System nach Anspruch 54, enthaltend eine Anlage zum direkten Recyclieren von nicht tiefentladenen Zellen (13) und von tiefentladenen, nicht schadhafte Zellen (13), deren Elektrodenpakete (15) insbesondere nicht verklebt sind, wobei die Anlage eine erste Verarbeitungslinie zur Verarbeitung von Kathodenbändern (16) von nicht tiefentladenen Zellen (13) sowie eine zweite Verarbeitungslinie zur Verarbeitung von Kathodenbändern (16) von tiefentladenen, nicht schadhafte Zellen (13) deren Elektrodenpakete (15) insbesondere nicht verklebt sind, umfasst.
57. Recycling-System nach Anspruch 55 oder 56, enthaltend eine weitere, insbesondere dritte Anlage bzw. eine dritte Verarbeitungslinie zum Recyclieren, wie direkten Recyclieren, von tiefentladenen, schadhafte Zellen (13), deren Elektrodenpakete (15) insbesondere verklebt sind.
58. Recycling-System nach Anspruch 54, enthaltend eine erste Anlage (25) zum direkten Recyclieren von nicht tiefentladenen Zellen (13) sowie von tiefentladenen, nicht schadhafte Zellen (13), deren Elektrodenpakete (15) insbesondere nicht verklebt sind und eine zweite Anlage (26) zum direkten Recyclieren von tiefentladenen, schadhafte Zellen (13), deren Elektrodenpakete (15) insbesondere verklebt sind.
59. Recycling-System nach Anspruch 54, enthaltend eine Anlage zum direkten Recyclieren von Zellen (13), wobei die Anlage eine erste Verarbeitungslinie zur Verarbeitung von nicht tiefentladenen Zellen (13) sowie von tiefentladenen, nicht schadhafte Zellen (13), deren Elektrodenpakete (15) insbesondere nicht verklebt sowie eine zweite Verarbeitungslinie zur Verarbeitung von tiefentladenen, schadhafte Zellen (13) deren Elektrodenpakete (15) insbesondere verklebt sind, umfasst.
60. Recycling-System nach einem der Ansprüche 54 bis 59, enthaltend eine Spannungsmessvorrichtung (4) zum Messen der Spannung der Zellen (13) und insbesondere eine Entladeeinrichtung (5) zum Entladen der Zellen (13).
61. Recycling-System nach einem der Ansprüche 54 bis 60, enthaltend eine Öffnungseinrichtung (8.1, 8.2) zum Öffnen der Zellen (13).

Fig. 1

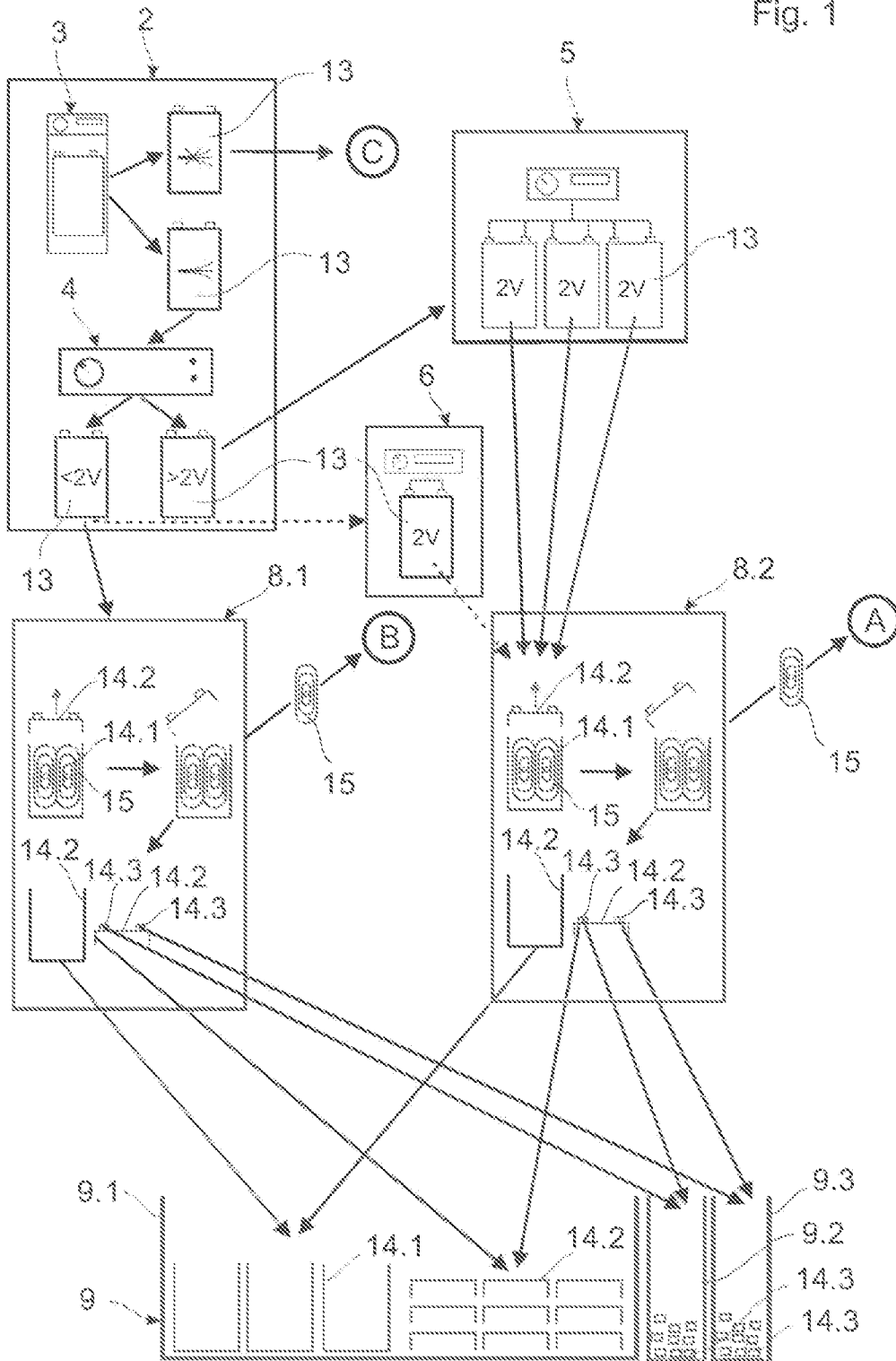


Fig. 2

(A)

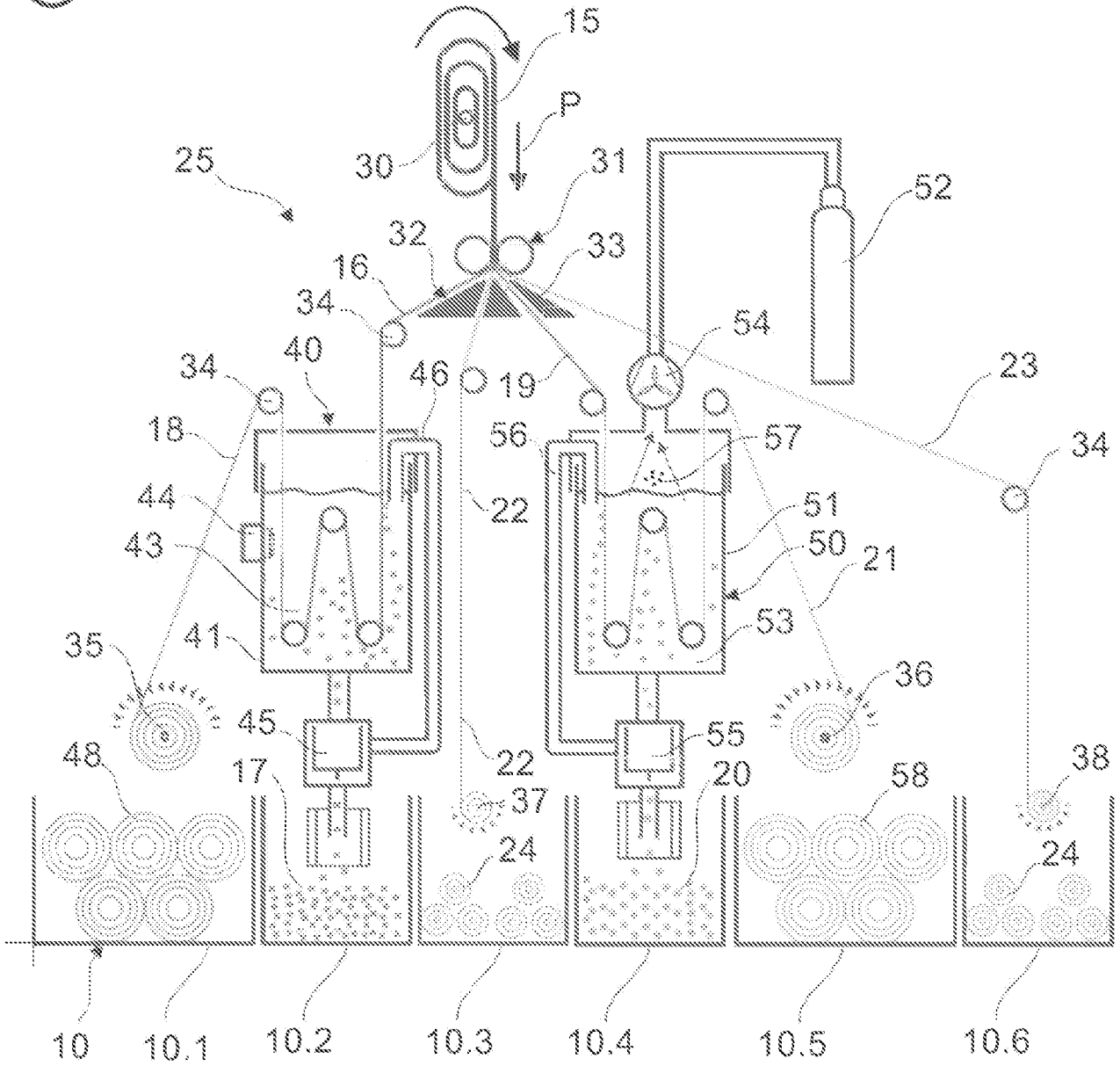
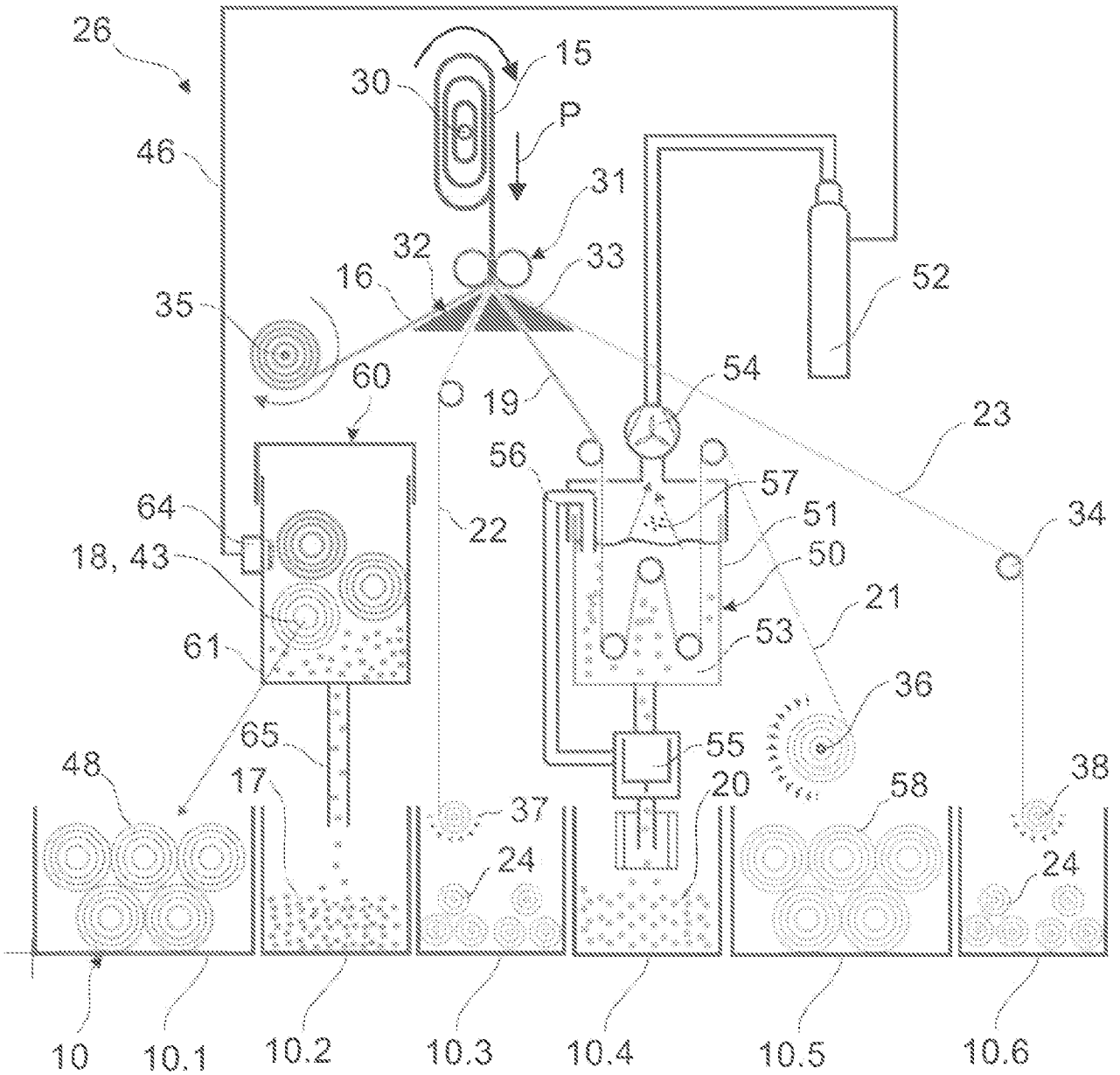


Fig. 3

(B)



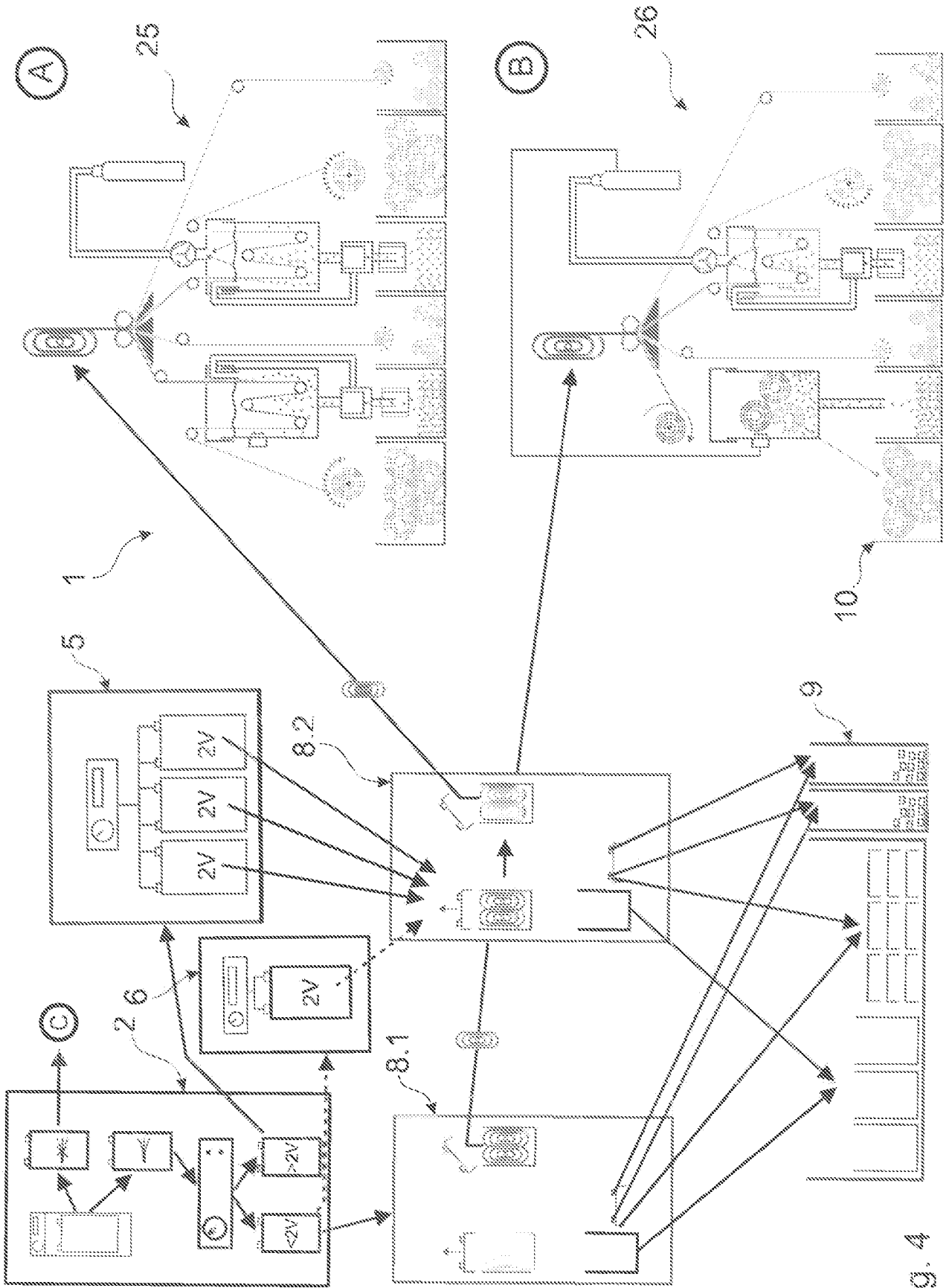


Fig. 4

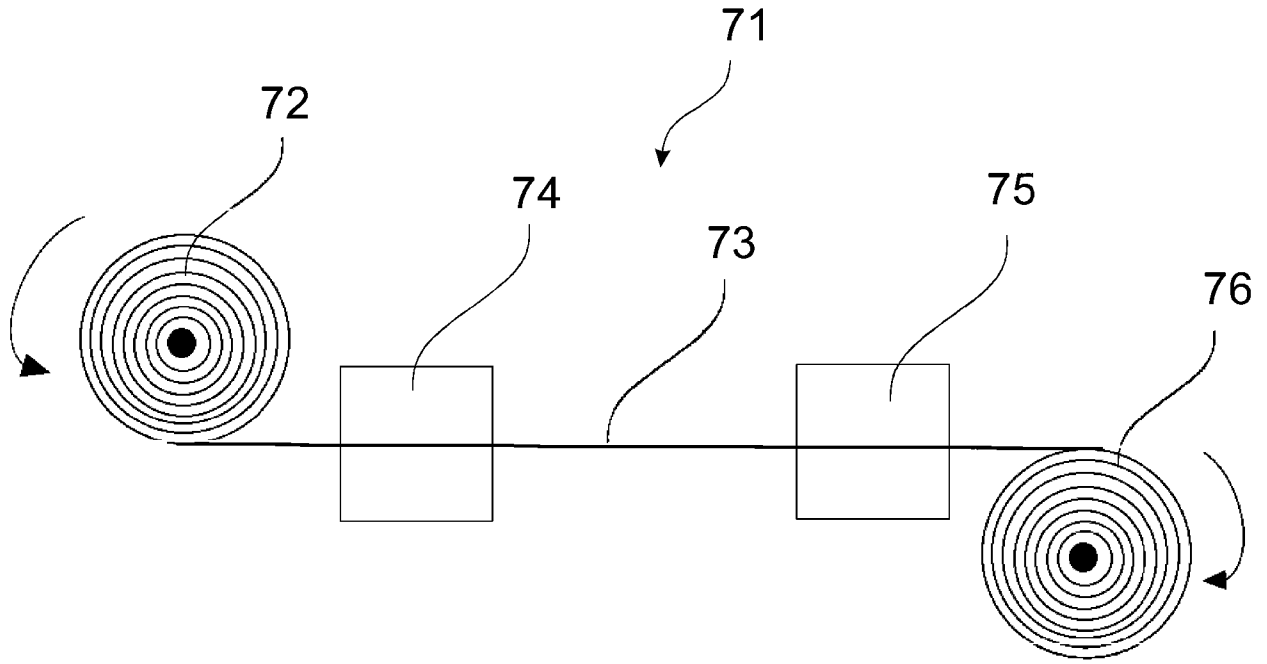


Fig. 5