

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
25. Juni 2020 (25.06.2020)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2020/127223 A2

(51) Internationale Patentklassifikation:
H01M 4/00 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2019/085594

(22) Internationales Anmeldedatum:
17. Dezember 2019 (17.12.2019)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2018 222 142.1
18. Dezember 2018 (18.12.2018) DE

(71) Anmelder: **FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT ZUR FÖRDERUNG DER ANGEWANDTEN FORSCHUNG E.V.** [DE/DE]; Hansastraße 27c, 80686 München (DE). **TECHNISCHE UNIVERSITÄT DRESDEN**; Helmholtzstr. 10, 01069 Dresden (DE).

(72) Erfinder: **HIPPAUF, Felix**; c/o Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik IWS, Winterbergstr. 28, 01277 Dresden (DE). **SCHUMM, Benjamin**; c/o Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik IWS, Winterbergstr. 28, 01277 Dresden (DE). **TSCHÖCKE, Sebastian**; c/o Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik IWS, Winterbergstr. 28, 01277 Dresden (DE). **ALTHUES, Holger**; c/o Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik IWS, Winterbergstr. 28, 01277 Dresden (DE). **KASKEL, Stefan**; c/o Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik IWS, Winterbergstr. 28, 01277 Dresden (DE). **DÖRFLER, Susanne**; c/o Fraunhofer-Institut

für Werkstoff- und Strahltechnik IWS, Winterbergstr. 28, 01277 Dresden (DE).

(74) **Anwalt: PFENNING, MEINIG & PARTNER MBB**; An der Frauenkirche 20, 01067 Dresden (DE).

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

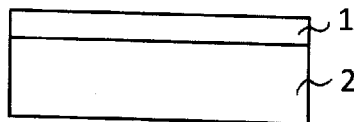
(84) **Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB,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

Veröffentlicht:

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

(54) **Title:** METHOD FOR PRODUCING A SOLID ELECTROLYTE MEMBRANE OR AN ANODE, AND SOLID ELECTROLYTE MEMBRANE OR ANODE

(54) **Bezeichnung:** VERFAHREN ZUM HERSTELLEN EINER FESTELEKTROLYTMEMBRAN ODER EINER ANODE UND FESTELEKTROLYTMEMBRAN ODER ANODE



Figur 1

(57) **Abstract:** The present invention relates to a method for producing a solid electrolyte membrane (3) or an anode unit for a solid-state battery, in which method a powder mixture consisting of a solid electrolyte material and polytetrafluoroethylene is produced for the solid electrolyte membrane (3) and a powder mixture consisting of an electrode material, a solid electrolyte material, an electrically conductive conduction additive and polytetrafluoroethylene is produced for the anode unit, at least partially fibrillated polytetrafluoroethylene is formed by applying shear forces to the powder mixture, and the powder mixture is shaped into a flexible composite layer. The powder mixture has at most 1 wt. % polytetrafluoroethylene.

(57) **Zusammenfassung:** Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Herstellen einer Festelektrolytmembran (3) oder einer Anodeneinheit für eine Festkörperbatterie, bei dem für die Festelektrolytmembran (3) ein Pulvergemisch aus einem Festelektrolytwerkstoff und Polytetrafluorethylen und für die Anodeneinheit ein Pulvergemisch aus einem Elektrodenwerkstoff, einem Festelektrolytwerkstoff, einem elektrisch leitfähigen Leitadditiv und Polytetrafluorethylen hergestellt wird, zumindest teilweise fibrilliertes Polytetrafluorethylen durch Einwirken von Scherkräften auf das Pulvergemisch ausgebildet wird, und das Pulvergemisch zu einer biegsamen Verbundschicht umgeformt wird. Das Pulvergemisch weist maximal 1 Gewichtsprozent Polytetrafluorethylen auf.



WO 2020/127223 A2

Verfahren zum Herstellen einer Festelektrolytmembran oder einer Anode und Festelektrolytmembran oder Anode

5 Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Herstellen einer Festelektrolytmembran oder einer Anode und eine entsprechend hergestellte Festelektrolytmembran oder Anode.

10 Festkörperbatterien stellen eine vielversprechende Weiterentwicklung von Lithiumionenbatterien dar. Bei Festkörperbatterien kommt anstelle eines flüssigen Elektrolytsystems ein als Festkörper vorliegender Lithiumionenleiter als Elektrolyt zum Einsatz. Dieser dient gleichzeitig als Ionenleiter zwischen Aktivmaterialpartikeln und als ionenleitfähiger Separator zwischen Anode und Kathode. Wichtig hierbei sind die Möglichkeit zur großflächigen Prozessierung pulverförmiger Elektrodenmischungen und die Ausbildung einer innigen Kontaktfläche zwischen Festkörperelektrolyt und Aktivmaterialien mit möglichst 15 vielen Kontaktstellen und möglichst wenigen Hohlräumen.

Festkörperbatterien lassen sich unter anderem anhand der verwendeten Elektrolytklasse (oxidische, sulfidische und polymerbasierte) kategorisieren. Oxidische Festkörperelektrolyte besitzen eine hohe chemische und mechanische Stabilität. Eine Verarbeitung zu unporösen und dünnen Elektroden oder Festelektrolytmembranen stellt aber aufgrund der hohen Sintertemperaturen eine große Herausforderung dar. Auch sulfidische Elektrolytwerkstoffe sind kaum großflächig abzuscheiden. Zum Aufbringen mittels nasschemischer Verfahren, wie beispielsweise in US 2016/248120 A1 beschrieben, werden verschiedene Binder-Lösungsmittelgemische für Anode, Kathode und Elektrolytschicht verwendet, da es beim Schichtauftrag sonst zum Anlösen der darunter liegenden Schicht kommen kann. Nachteilig an derartigen Verfahren ist der vergleichsweise hohe Bindergehalt mehreren Gewichtsprozent und daraus resultierende höhere elektrische und ionische Widerstände.

Der vorliegenden Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, anodenseitige Bestandteile einer Festkörperbatterie und Verfahren zu deren Herstellung zu entwickeln, die die genannten Nachteile vermeiden, also großflächig hergestellt werden können und möglichst niedrige elektrische und ionische Widerstände aufweisen.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst durch ein Verfahren nach Anspruch 1, eine Festelektrolytmembran nach Anspruch 6 und eine Anodeneinheit nach Anspruch 7. Vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen sind in den abhängigen Ansprüchen beschrieben.

Ein Verfahren zum Herstellen einer Festelektrolytmembran für eine Festkörperbatterie, vorzugsweise eine Alkali-Ionen-Festkörperbatterie bzw. Lithium-Batterie oder Natrium-Batterie, weist einen Verfahrensschritt auf, bei dem ein Pulvergemisch aus einem Festelektrolytwerkstoff und Polytetrafluorethylen (PTFE) hergestellt wird. Durch Einwirken von Scherkräften auf das Pulvergemisch wird zumindest teilweise fibrilliertes Polytetrafluorethylen ausgebildet. Nachfolgend wird das Pulvergemisch zu einer biegsamen Verbundschicht als der Festelektrolytmembran umgeformt. Das Pulvergemisch weist maximal 1 Gewichtsprozent Polytetrafluorethylen auf.

Durch Verwenden von fibrillierten Polytetrafluorethylen als Bindemittel kann

ein Bindemittelsatz verringert werden, so dass nur noch geringe Mengen von maximal 1 Gewichtsprozent bzw. Masseprozent Polytetrafluorethylen der Festkörperelektrolytmembran nötig sind, was eine Anwendung des Polytetrafluorethylens als Binder für diese Zellkomponenten erst ermöglicht, und daher die elektrischen Eigenschaften verbessert werden. Der geringe Bindergehalt ermöglicht außerdem die Fertigung und Ausgestaltung einer Festelektrolytmembran und Anodeneinheit als Batteriekomponenten, die typischerweise einer elektrischen Spannung von weniger als 0,1 V gegenüber Lithium ausgesetzt sind, bei welcher die Zersetzung des Bindermaterials PTFE sonst zu unerwünschten Nebenreaktionen führt. Der geringe Bindergehalt reduziert die erwähnten Nebenreaktionen, was eine technisch effiziente Fertigung und Ausgestaltung ermöglicht. Der Kern der Erfindung ist die Fertigung einer Festelektrolytmembran oder Anodeneinheit als Batteriekomponenten, die typischerweise einem elektrochemischen Potential nahe dem von Lithium oder Natrium ausgesetzt sind, möglicherweise sogar mit diesen Elementen in direktem, also unmittelbar berührendem, Kontakt stehen. Trotz des geringen Bindergehaltes ist es möglich, einen freistehenden und prozessierbaren Film zu erzeugen. Der Binder zersetzt sich normalerweise unterhalb des angegebenen Potentials, was zum irreversiblen Verlust an Kapazität (Anode) und Funktionsfähigkeit der Zellkomponente (Membran) führt. Für Festkörperbatterien ist nach einer Zellausbaueinheit und einem Verpressen eine mechanische Stabilität der Elektroden durch eine externe Verspannung gegeben. Eine Binderfunktion ist also in der finalen Zelle nicht mehr von Nöten, sondern nur während der Ausbaueinheit bedeutend.

Durch eine Pulvermischung, worunter ein in granularer Form vorhandener Werkstoff aus vielen kleinen Partikeln mit einer Größe bis 5 μm für die Festelektrolytmembran bzw. 15 μm für Aktivmaterialpartikel bzw. ein körniges oder stückiges Gemenge oder Schüttgut verstanden werden soll, wird eine einfache Verarbeitung sichergestellt. Die Pulvermischung kann in trockener Form vorliegen, um die Handhabung zu vereinfachen. Zudem kann die Pulvermischung auch nicht rieselfähig im Sinne der Norm DIN EN ISO 6186 sein. Unter "trocken" soll im Rahmen dieser Schrift verstanden werden, dass Bestandteile der Pulvermischung als Festkörper frei von Flüssigkeiten oder sich in einem flüssigen Aggregatzustand befindlichen Werkstoffen vorliegen. Die Pulvermischung kann lösungsmittelfrei sein, also ohne Lösungsmittel zusam-

mengestellt sein. Unter einer "biegsamen Verbundschicht" soll eine Verbundschicht verstanden werden, die bei Raumtemperatur um bis zu 180° gebogen bzw. gefaltet und entfaltet werden kann, ohne zu brechen. Vorzugsweise beträgt ein Biegeradius 90 µm bis 100 µm, besonders vorzugsweise 100 µm.

5

Die Ausbildung des zumindest teilweise, alternativ aber auch vollständig fibrillierten Polytetrafluorethylens kann durch Reibmahlen, Vermengen in einer Schneckenwelle oder in einer Kalandervalzeinrichtung, Knetvorrichtung, Mörservorrichtung oder einer Kombination der genannten Methoden erfolgen, um eine effiziente Fibrillierung sicherzustellen. Die Ausbildung des zumindest teilweise fibrillierten Polytetrafluorethylens erfolgt typischerweise bei Raumtemperatur, vorzugsweise wird jedoch zum Erreichen eines Bindergehalts von weniger als 0,5 Gewichtsprozent die Ausbildung bei erhöhten Temperaturen von 60 °C bis 100 °C, besonders vorzugsweise bei 90 °C bis 100 °C, insbesondere bei 100 °C durchgeführt.

10

15

Das Umformen der Pulvermischung zu der biegsamen Verbundschicht erfolgt typischerweise durch Walzen, Pressen oder Extrusion. Es kann aber auch eine Kombination der genannten Methoden zum Einsatz kommen.

20

Das Polytetrafluorethylen kann in der Verbundschicht zumindest teilweise als monoaxial und bzw. oder biaxial orientiertes Polytetrafluorethylen vorliegen. Das Polytetrafluorethylen kann aber auch als vollständig monoaxial oder vollständig biaxial orientiertes Polytetrafluorethylen vorliegen.

25

Es kann vorgesehen sein, dass das Pulvergemisch den Festelektrolytwerkstoff in einer Konzentration von 99 Gewichtsprozent bis 99,9 Gewichtsprozent und das Polytetrafluorethylen in einer Konzentration von 0,1 Gewichtsprozent bis 1 Gewichtsprozent aufweist. Vorzugsweise weist das Pulvergemisch weniger als 0,5 Gewichtsprozent Polytetrafluorethylen auf, besonders vorzugsweise zwischen 0,1 Gewichtsprozent und 0,4 Gewichtsprozent.

30

Eine Festelektrolytmembran weist einen Festelektrolytwerkstoff und Polytetrafluorethylen auf, wobei die Festelektrolytmembran maximal 1 Gewichtsprozent Polytetrafluorethylen aufweist.

35

Das beschriebene Verfahren kann zum Herstellen der beschriebenen Festelektrolytmembran eingesetzt werden, d. h. die beschriebene Festelektrolytmembran ist durch das beschriebene Verfahren herstellbar.

5 Ein Festelektrolytelektrodenverbund umfasst eine Festelektrolytmembran mit den beschriebenen Eigenschaften, die direkt, also in unmittelbar berührendem Kontakt, auf eine aus einer ersten Aktivschicht und einem ersten Stromableiter, typischerweise in Form einer ersten Trägerfolie bzw. ersten Stromableiterschicht aus einem elektrisch leitfähigen Werkstoff, gebildete
10 erste Elektrodeneinheit aufgebracht ist. Unter dem Begriff "elektrisch leitfähig" soll hierbei jeder Werkstoff verstanden werden, der bei Raumtemperatur, d. h. 25 °C, eine elektrische Leitfähigkeit von mehr als 10^5 S/m aufweist.

Es kann vorgesehen sein, dass die Festelektrolytmembran und die erste Aktivschicht ein Laminat bilden, also die Festelektrolytmembran auf die erste Aktivschicht auflaminiert ist.
15

Das zuvor beschriebene Verfahren kann auch zum Herstellen einer Anodeneinheit verwendet werden. Hierbei wird für die Anodeneinheit ein Pulvergemisch aus einem Elektrodenwerkstoff, einem Festelektrolytwerkstoff, einem elektrisch leitfähigen Leitadditiv und Polytetrafluorethylen hergestellt und
20 zumindest teilweise fibrilliertes Polytetrafluorethylen durch Einwirken von Scherkräften auf das Pulvergemisch ausgebildet. Das Pulvergemisch wird zu einer auf einem Stromableiter angeordneten Schicht aus einem Verbundwerkstoff der Anodeneinheit umgeformt, wobei das Pulvergemisch maximal 1
25 Gewichtsprozent Polytetrafluorethylen aufweist.

Es kann vorgesehen sein, dass die Festelektrolytmembran und die Schicht aus einem Verbundwerkstoff der Anodeneinheit, die als eine zweite Aktivschicht fungiert, ein Laminat bilden, also die Festelektrolytmembran auf die zweite Aktivschicht auflaminiert ist.
30

Eine, beispielsweise mit dem beschriebenen Verfahren herstellbare, Anodeneinheit für eine Lithium-Batterie oder eine andere Festkörperbatterie weist typischerweise einen elektrisch leitfähigen Stromableiter und eine auf dem Stromableiter angeordnete Schicht aus einem Verbundwerkstoff auf. Der Ver-
35

bundwerkstoff weist einen Elektrodenwerkstoff, einen Festelektrolytwerkstoff, ein elektrisch leitfähiges Leitadditiv und Polytetrafluorethylen (PTFE) als Bindemittel auf. Der Verbundwerkstoff weist zwischen 0,1 Gewichtsprozent und 1 Gewichtsprozent Polytetrafluorethylen auf und das
5 Polytetrafluorethylen liegt zumindest teilweise als fibrilliertes Polytetrafluorethylen vor.

Durch Verwenden von fibrillierten Polytetrafluorethylen als Bindemittel kann ein Bindemittelleinsatz verringert werden, so dass nur noch geringe Mengen
10 Polytetrafluorethylen nötig sind und daher die elektrischen Eigenschaften verbessert werden. Unter dem Begriff "elektrisch leitfähig" soll hierbei insbesondere jeder Werkstoff verstanden werden, der bei Raumtemperatur, d. h. 25 °C, eine elektrische Leitfähigkeit von mehr als 10^6 S/m aufweist. Der Verbundwerkstoff ist typischerweise lösungsmittelfrei, um eine einfachere Verarbeitung und ein einfacheres Aufbringen zu ermöglichen.
15

Es kann vorgesehen sein, dass im Verbundwerkstoff das Polytetrafluorethylen als zumindest teilweise monoaxial und bzw. oder biaxial orientiertes Polytetrafluorethylen vorliegt, um die mechanischen Eigenschaften wie gewünscht einzustellen. Es kann natürlich auch vorgesehen sein, dass das
20 Polytetrafluorethylen als vollständig monoaxial oder biaxial orientiertes bzw. ausgerichtetes Polytetrafluorethylen vorliegt.

Der Verbundwerkstoff kann den elektrisch leitfähigen Elektrodenwerkstoff in einer Menge von 60 Gewichtsprozent bis 99 Gewichtsprozent, vorzugsweise bis zu 100 Gewichtsprozent, aufweisen. Typischerweise weist der Verbundwerkstoff mindestens 0,1 Gewichtsprozent Polytetrafluorethylen auf, um ausreichend Bindemittel zur Verfügung zu haben. Vorzugsweise weist der Verbundwerkstoff weniger als 0,5 Gewichtsprozent Polytetrafluorethylen auf,
30 besonders vorzugsweise zwischen 0,1 Gewichtsprozent und 0,4 Gewichtsprozent.

Der elektrisch leitfähige Elektrodenwerkstoff kann Lithium, Natrium, Graphit, Hard Carbon, also nicht-graphitisches und/oder nicht-graphitisierbarem Kohlenstoffmaterial, $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ oder eine Mischung der genannten Werkstoffe aufweisen.
35

Der Festelektrolytwerkstoff kann einen Werkstoff aus dem System $\text{Li}_2\text{S-P}_2\text{S}_5$,
 $\text{Li}_2\text{S-GeS}_2$, $\text{Li}_2\text{S-B}_2\text{S}_3$, $\text{Li}_2\text{S-SiS}_2$, $\text{Li}_5\text{PS}_6\text{Cl}$, , $\text{Li}_2\text{S-P}_2\text{S}_5\text{-LiX}$ ($\text{X}=\text{Cl, Br, I}$), $\text{Li}_2\text{S-P}_2\text{S}_5\text{-Li}_2\text{O}$,
 $\text{Li}_2\text{S-P}_2\text{S}_5\text{-Li}_2\text{O-LiI}$, $\text{Li}_2\text{S-SiS}_2\text{-LiI}$, $\text{Li}_2\text{S-SiS}_2\text{-LiBr}$, $\text{Li}_2\text{S-SiS}_2\text{-LiCl}$, $\text{Li}_2\text{S-SiS}_2\text{-B}_2\text{S}_3\text{-LiI}$, $\text{Li}_2\text{S-}$
 5 $\text{SiS}_2\text{-P}_2\text{S}_5\text{-LiI}$, $\text{Li}_2\text{S-P}_2\text{S}_5\text{-Z}_m\text{S}_n$ (wobei m und n ganze Zahlen sind und M ausge-
 wählt ist aus P, Si oder Ge), $\text{Li}_2\text{S-SiS}_2\text{-Li}_3\text{PO}_4$, $\text{Li}_2\text{S-SiS}_2\text{-Li}_p\text{MO}_q$ (wobei p und q
 ganze Zahlen sind und M ausgewählt ist aus P, Si oder Ge), $\text{Na}_2\text{S-P}_2\text{S}_5$, $\text{Na}_2\text{S-}$
 GeS_2 , $\text{Na}_2\text{S-B}_2\text{S}_3$, $\text{Na}_6\text{PS}_5\text{Cl}$, $\text{Na}_2\text{S-SiS}_2$, $\text{Na}_2\text{S-P}_2\text{S}_5\text{-NaX}$ ($\text{X}=\text{Cl, Br, I}$), $\text{Na}_2\text{S-P}_2\text{S}_5\text{-}$
 Na_2O , $\text{Na}_2\text{S-P}_2\text{S}_5\text{-Na}_2\text{O-NaI}$, $\text{Na}_2\text{S-SiS}_2\text{-NaI}$, $\text{Na}_2\text{S-SiS}_2\text{-NaBr}$, $\text{Na}_2\text{S-SiS}_2\text{-NaCl}$,
 10 $\text{Na}_2\text{S-SiS}_2\text{-B}_2\text{S}_3\text{-NaI}$, $\text{Na}_2\text{S-SiS}_2\text{-P}_2\text{S}_5\text{-NaI}$, $\text{Na}_2\text{S-P}_2\text{S}_5\text{-Z}_m\text{S}_n$ (wobei m und n ganze
 Zahlen sind und M ausgewählt ist aus P, Si oder Ge), $\text{Na}_2\text{S-SiS}_2\text{-Na}_3\text{PO}_4$, $\text{Na}_2\text{S-}$
 $\text{SiS}_2\text{-Na}_p\text{MO}_q$ (wobei p und q ganze Zahlen sind und M ausgewählt ist aus P, Si
 oder Ge) oder eine Mischung daraus aufweisen. Generell kann bei allen in
 dieser Anmeldung genannten Verbindungen Lithium gegen Natrium ausge-
 15 tauscht werden. Der Festelektrolytwerkstoff liegt typischerweise in der Pul-
 vermischung mit zwischen 13 Gewichtsprozent und 35 Gewichtsprozent vor.
 Als Leitadditiv können Kohlenstoffnanoröhren, Ruße, Graphit, Graphen und
 bzw. oder Kohlenstofffasern mit zwischen 1 Gewichtsprozent bis
 5 Gewichtsprozent in dem Verbundwerkstoff enthalten sein. Typischerweise
 20 ist der Festelektrolytwerkstoff ein elektrochemisch aktiver Werkstoff. Das
 Leitadditiv kann ein elektrochemisch inaktiver Werkstoff sein.

Der Elektrodenwerkstoff kann eine Schutzschicht aufweisen, die auf Partikeln
 dieses Werkstoffs aufgebracht ist. Diese Schutzschicht soll Nebenreaktionen
 25 zwischen dem Festelektrolytwerkstoff und dem Elektrodenwerkstoff verhin-
 dern. Die Schutzschicht kann beispielsweise $\text{Li}_2\text{O-ZrO}_2$ oder andere Metalloxi-
 de aufweisen. Jedes Partikel des Elektrodenwerkstoffs kann eine Schutz-
 schicht mit einer Dicke von typischerweise 2-5 nm aufweisen. Der elektrisch
 leitfähige Stromableiter der Anodeneinheit umfasst typischerweise einen
 30 elektrisch leitfähigen Werkstoff, vorzugsweise Nickel, Kupfer oder Edelstahl
 oder eine entsprechende Legierung, oder ist vollständig aus diesem Werkstoff
 ausgebildet. Alternativ oder zusätzlich kann der Stromableiter als eine, insbe-
 sondere flächige, Stromableiterschicht oder Stromableiterfolie mit vorzugs-
 weise doppelseitiger Beschichtung, als Streckmetall, als Schaum, als Faserge-
 35 webe, als Fasergelege oder als mit einer Primerschicht versehene
 Stromableiterschicht ausgebildet ist. Die Primerschicht kann hierbei ebenfalls

flächig ausgebildet sein.

Vorzugsweise wird die biegsame Verbundschicht auf den elektrisch leitfähige Stromableiter zum Bilden der Kathodeneinheit aufgebracht. Es kann auch vorgesehen sein, die biegsame Verbundschicht und bzw. oder den Stromableiter nachfolgend zu verdichten. Das Aufbringen der biegsamen Verbundschicht auf den elektrisch leitfähigen Stromableiter wird typischerweise bei Temperaturen zwischen 60 °C und 120 °C, vorzugsweise 80 °C bis 100 °C, durchgeführt.

Eine Festkörperbatterie umfasst einen Festelektrolytelektrodenverbund mit den beschriebenen Eigenschaften, wobei an einer der ersten Elektrodeneinheit gegenüberliegenden Oberfläche der Festelektrolytmembran eine zweite Elektrodeneinheit mit einer zweiten Aktivschicht und einer zweiten Trägerfolie aufgebracht ist.

Ein Werkstoff der zweiten Trägerfolie ist typischerweise von einem Werkstoff der ersten Trägerfolie verschieden.

Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in den Zeichnungen dargestellt und werden nachfolgend anhand der Figuren 1 bis 16 erläutert.

Es zeigen:

Fig. 1 eine schematische seitliche Ansicht einer Anode;

Fig. 2 in einer Figur 1 entsprechenden Darstellung die Anode mit einer Festelektrolytmembran;

Fig. 3 in einer Figur 1 entsprechenden Darstellung die mit der Festelektrolytmembran und einer Kathode versehene Anode;

Fig. 4 eine Rasterelektronenmikroskopaufnahme eines Trockenfilms eines Verbundwerkstoffs;

Fig. 5 ein Entlade-Spannungsprofil einer Testzelle mit einem Bindergehalt von 0 Gewichtsprozent;

- 5
- Fig. 6 in einer Figur 5 entsprechenden Darstellung das Entlade-Spannungsprofil der Testzelle mit einem Bindergehalt von 0,1 Gewichtsprozent;
- Fig. 7 in einer Figur 5 entsprechenden Darstellung das Entlade-Spannungsprofil der Testzelle mit einem Bindergehalt von 0,3 Gewichtsprozent;
- 10
- Fig. 8 in einer Figur 5 entsprechenden Darstellung das Entlade-Spannungsprofil der Testzelle mit einem Bindergehalt von 0,7 Gewichtsprozent;
- 15
- Fig. 9 in einer Figur 5 entsprechenden Darstellung das Entlade-Spannungsprofil der Testzelle mit einem Bindergehalt von 1 Gewichtsprozent;
- Fig. 10 ein Nyquist-Diagramm des Innenwiderstands der Testzelle;
- 20
- Fig. 11 eine Figur 4 entsprechende Rasterelektronenmikroskopaufnahme einer graphithaltigen Anode;
- Fig. 12 eine Figur 4 entsprechende Rasterelektronenmikroskopaufnahme einer Feststoffelektrolytmembran;
- 25
- Fig. 13 ein Diagramm eines zeitlichen Spannungsverlaufs einer symmetrisch aufgebauten Batteriezelle;
- Fig. 14 eine Figur 13 entsprechende Darstellung des Spannungsverlaufs einer mit Polytetrafluorethylen als Binder versehenen symmetrischen Batteriezelle;
- 30
- Fig. 15 Impedanzspektren eines Festelektrolytwerkstoffs und
- 35
- Fig. 16 einen Spannungsverlauf eines ersten Ladeabschnitts einer Graphit-Trockenfilmelektrode in Kombination mit einem Elektrolyt-Trockenfilm

und einem Kathodentrockenfilm.

In Figur 1 ist in einer schematischen seitlichen Ansicht eine elektrisch leitfähige Stromableiterschicht 1 aus Aluminium als Substratfolie oder Trägerfolie mit einer ersten Elektrode 2 als erster Aktivschicht dargestellt, die eine Kathodeneinheit bilden. Die erste Elektrode 2 ist in dem dargestellten Ausführungsbeispiel aus einem Verbundwerkstoff in Pulverform ausgebildet. Der Verbundwerkstoff weist 85 Gewichtsprozent Lithium-Nickel-Mangan-Kobalt (NCM) auf, 13 Gewichtsprozent eines Festelektrolytwerkstoffs wie $\text{Li}_2\text{S-P2S5}$ oder $\text{Li}_6\text{PS}_5\text{Cl}$ (Argyrodit), 2 Gewichtsprozent elektrisch leitfähiger Kohlenstoffnanoröhren als Leitadditiv und 0,1 Gewichtsprozent Polytetrafluorethylen als Bindemittel. Der Bindergehalt bezieht sich hierbei auf die Gesamtmasse bei einem Verhältnis NCM:C:SE von 85:2:13 (SE soll als Abkürzung für "solid electrolyte" den Festelektrolytwerkstoff kennzeichnen). Der erhaltene Verbundwerkstoff ist pulverförmig, trocken und lösemittelfrei, aber nicht rieselfähig. Der Verbundwerkstoff kann in einem Mörser vermengt werden. Dabei werden Scherkräfte auf die den Verbundwerkstoff bildende Mischung bzw. die Pulvermischung ausgeübt, die eine Fibrillenbildung entlang des Kraftvektors bewirken. Der Verbundwerkstoff wird in einem Folgeschritt auf einer Platte mit einer Walze auf eine gewünschte Schichtdicke ausgewalzt und auf die Trägerfolie 1 auflaminiert. Die Trägerfolie 1 weist eine Dicke von weniger als $20\ \mu\text{m}$ auf und ist gegebenenfalls mit einem Kohlenstoffprimer versehen. Durch Stanzen oder Laserschneiden erfolgt eine finale Konfektionierung der Kathodeneinheit.

Alternativ kann der Verbundwerkstoff ohne Lösungsmittelzusätze als Pulvermischung bzw. Schüttgut direkt in einen Kalenderspalt gegeben werden. Wie in der deutschen Patentanmeldung DE 10 2017 208 220 beschrieben, werden unterschiedliche Rotationsgeschwindigkeiten der beiden Kalenderwalzen verwendet, beispielsweise im Verhältnis 10:9 bis 10:4. Vorteilhaft ist ein Verhältnis der Rotationsgeschwindigkeiten von 21:, z. B. $10\ \text{mm/s}:5\ \text{mm/s}$ oder $20\ \text{mm/s}$ zu $10\ \text{mm/s}$. Hierdurch wird auf den Verbundwerkstoff im Spalt eine Scherkraft ausgeübt, die eine Fibrillenbildung entlang der Walzenlaufrichtung bewirkt. Es kommt zur Schichtausbildung auf der schneller rotierenden Walze. Die Schicht wird in einem Folgeschritt auf die Substratfolie 1 auflaminiert und es erfolgt eine finale Konfektionierung durch Stanzen oder Laserschneiden.

Das Ausbilden eines Films im Kalanderspalt ermöglicht zudem eine starke Kompaktierung der beteiligten Schichten bereits während der Filmbildung. Wichtig hierfür sind aufeinander abgestimmte Partikelgrößenverteilungen der pulverförmigen Werkstoffe, die für den Verbundwerkstoff verwendet werden, um Lücken der großen Partikel mit kleineren möglichst raumeffizient aufzufüllen und eine Porosität gering zu halten. Der Film weist vor dem Verpressen daher eine Dichte von 1,7-1,9 g/cm³ auf, was einer Porosität von 50 bis 55 Prozent entspricht. Nach dem Verpressen bzw. Kompaktieren ist die Dichte in der Regel 3,5 g/cm³ und die Porosität nähert sich mit einem Wert von bis zu 10 Prozent dem Idealwert von 0 Prozent Porosität.

In vorteilhafter Weise erfolgt eine Verarbeitung bei erhöhten Temperaturen zwischen 60 °C und 100 °C, was eine deutliche Verminderung des nötigen Bindemittelgehalts bzw. Bindergehalts zur Folge hat. Zudem kann der Festkörperelektrolyt damit auch bei höheren Temperaturen ohne Verkleben verarbeitet werden. Die hierdurch erhaltene Kathodeneinheit hat somit die Schichtfolge Substratfolie 1 – erste Elektrode 2. Die erste Elektrode 2 ist in ihrer Zusammensetzung typischerweise wie folgt aufgebaut: Kathodenaktivwerkstoff: 60 bis 99 Gewichtsprozent, Festelektrolytwerkstoff 13 bis 35 Gewichtsprozent, Leitadditiv 2 bis 5 Gewichtsprozent, wobei das Bindemittel (Polytetrafluorethylen) 0,1 bis 1 Gewichtsprozent der Gesamtmasse ausmacht. Abschließend wird typischerweise das bereits erwähnte Verpressen als Prozessschritt durchgeführt. Dies erfolgt bei einem Druck von 290 MPa bis 450 MPa, vorzugsweise 300 MPa, um eine Fließfähigkeit des Elektrolyts zu gewährleisten. Alle Verarbeitungsschritte, bei denen der Festelektrolytwerkstoff beteiligt ist, finden vorzugsweise unter Schutzgas, beispielsweise ein Edelgas, vorzugsweise Argon, oder Stickstoff, oder Trockenluft mit einem Taupunkt kleiner -50 °C statt.

Anstelle einer Kathodeneinheit kann auch eine Anodeneinheit mit dem beschriebenen Verfahren hergestellt werden. Hierzu wird ein Pulvergemisch aus beispielsweise 60 Gewichtsprozent bis 85 Gewichtsprozent Graphit, 13 Gewichtsprozent bis 35 Gewichtsprozent Festelektrolyt und 2 Gewichtsprozent bis 5 Gewichtsprozent Kohlenstoffnanoröhren verwendet und wie beschrieben prozessiert. Als Substrat bzw. Stromableiterschicht 1 wird Nickel oder Edelstahlfolie bzw. Kupfer eingesetzt. Polytetrafluorethylen

wird dem Pulvergemisch mit 0,3 Gewichtsprozent bis 1 Gewichtsprozent der Gesamtmasse zugefügt. Anstelle von Graphit kann auch Hartkohlenstoff, Lithium, eine Lithiumlegierung, insbesondere eine Lithium-Indium-Legierung oder Silizium für die Anode verwendet werden.

5

In Figur 2 ist in einer Figur 1 entsprechenden Ansicht die Kathodeneinheit aus Trägerfolie 1 und erster Elektrode 2 gezeigt, wobei nun in direktem Kontakt, also unmittelbar berührendem Kontakt, eine Festelektrolytmembran 3 an eine der Seite bzw. Oberfläche der ersten Elektrode 2, auf der die Trägerfolie 1 als Stromableiterschicht in direktem Kontakt angebracht ist, gegenüberliegenden Seite bzw. Oberfläche angeordnet ist. Während die Trägerfolie 1 und die erste Elektrode 2 fluchtend übereinander liegen, also bis auf ihre jeweilige Dicke, identische Abmessungen aufweisen, ist die Festelektrolytmembran 3 breiter als die erste Elektrode 2. Wiederkehrende Merkmale sind in dieser Figur wie auch in den folgenden Figuren mit identischen Bezugszeichen versehen.

10

15

Figur 3 zeigt in einer den Figuren 1 und 2 entsprechenden Ansicht eine Festkörperbatterie, bei der zu dem in Figur 2 gezeigten Aufbau auf einer Seite der Festelektrolytmembran 3 gegenüberliegenden Seite eine Anodeneinheit aufgebracht ist. Die Anodeneinheit ist aus einer zweiten Elektrode 4 als zweiter Aktivschicht und einer zweiten Substratfolie 5 als zweiter Stromableiterschicht gebildet, die wiederum in direktem Kontakt miteinander stehen. Die zweite Elektrode 4 steht in direktem Kontakt mit der Festelektrolytmembran 3. Die Festelektrolytmembran 3, die zweite Elektrode 4 und die zweite Trägerfolie 5 sind fluchtend übereinander angeordnet, wobei die zweite Trägerfolie 5 die geringste Dicke aufweist, die zweite Elektrode 4 die größte Dicke aufweist und die Dicke der Festelektrolytmembran 3 zwischen der Dicke der zweiten Elektrode 4 und der zweiten Trägerfolie 5 liegt. Typischerweise sind die Kapazitäten aufeinander abgestimmt, woraus sich die Dicken ergeben. Die erste Elektrode kann beispielsweise eine Dicke von 100 μm aufweisen, die zweite Elektrode als Lithumanode beispielsweise bis zu 10 μm . Es können auch die Dicken der ersten Trägerfolie 1 und der zweiten Trägerfolie 5 identisch sein. Die Dicke der ersten Elektrode 2 ist größer als die Dicke der Festelektrolytmembran 3, diese weist wiederum eine größere Dicke als die erste Trägerfolie 1 auf. Mit dem beschriebenen Verfahren können Batterieelektroden für Primär- und Sekundärbatterien, vorzugsweise mit Lithiumionenverbindung oder Natriumio-

20

25

30

35

nenverbindung, Festkörpersupercapелеktroden oder Schichten aus feuchtigkeitsempfindlichen oder lösemittlempfindlichen Werkstoffen, also sulfidische Elektrolyte aller Art, hergestellt werden.

5 Die Festelektrolytmembran 3 wird hierbei ebenfalls durch das beschriebene Verfahren ausgebildet. Ein Pulvergemisch aus mehr als 99,9 Gewichtsprozent Festelektrolyt und 0,1 Gewichtsprozent Polytetrafluorethylen wird bis zur Entstehung eines Films analog zur Kathodenherstellung verarbeitet. Dies resultiert in einem Festelektrolytfilm mit folgenden Eigenschaften:
10 99 Gewichtsprozent bis 99,9 Gewichtsprozent Festkörperelektrolyt und 0,1 Gewichtsprozent bis 1 Gewichtsprozent Polytetrafluorethylen.

Der in Figur 3 in seitlicher schematischer Ansicht gezeigte Zellstapel kann mit einem als Pouchbag oder Hardcase ausgestalteten Batteriegehäuse versehen
15 werden. Anschließend wird der Stapel kompaktiert und verspannt, so dass eine Festkörperbatterie erhalten wird. Es ist somit möglich, alle Schichten der Festkörperbatterie mit dem gleichen Binder aufzubauen und direkt aufeinander zu laminieren bzw. anderweitig zu verbinden. Hierdurch können homogene und kompakte Grenzflächen erhalten werden, die eine Batterieperformance nicht beeinträchtigen. Dennoch ist es möglich, die Komponenten mit
20 auf andere Weise hergestellten Komponenten zu kombinieren.

Das beschriebene Verfahren erlaubt eine Elektrodenherstellung ohne Zusatz von Lösungsmitteln. Da zum Betrieb einer Festkörperbatterie diese mechanisch letztendlich stark verspannt wird, wird die Binderfunktion nur zur Filmbildung, nicht aber zum Stabilisieren der Schichten im Betrieb der fertigen
25 Zelle benötigt.

Figur 4 zeigt eine Rasterelektronenmikroskopaufnahme (REM-Aufnahme) eines Trockenfilms aus NCM, Feststoffelektrolyt (solid electrolyte, SE), Kohlenstofffasern (CNF) im Massenverhältnis 85:13:2 und 0,3 Gewichtsprozent der Gesamtmasse Polytetrafluorethylen (PTFE).
30

In den Figuren 5 bis 9 sind jeweils Entlade-Spannungsprofile von Testzellen der beschriebenen Festkörperbatterie dargestellt. Hierbei ist jeweils eine elektrische Spannung über der Kapazität aufgetragen. In Figur 5 beträgt der
35

Anteil an Polytetrafluorethylen 0 Gewichtsprozent, in Figur 6 0,1 Gewichtsprozent, In Figur 7 0,3 Gewichtsprozent, in Figur 8 0,7 Gewichtsprozent und in Figur 10 1 Gewichtsprozent.

5 In Figur 10 ist in einem Nyquist-Diagramm eine Impedanzmessung dargestellt, bei der ein Imaginärteil über einem Realteil aufgetragen ist. Die Messkurven zeigen eine Testzelle mit einem Binderanteil von 0,1 Gewichtsprozent, 0,3 Gewichtsprozent und 1 Gewichtsprozent. Der Innenwiderstand der jeweiligen Festkörperbatterie steigt mit steigendem Anteil an
10 Polytetrafluorethylen.

In den Figuren 11 und 12 sind entsprechend Figur 4 wiederum Rasterelektronenmikroskopaufnahmen gezeigt. Figur 11 zeigt die zweite Elektrode 4 der Anodeneinheit, die aus Graphit, Festelektrolytwerkstoff und
15 0,7 Gewichtsprozent Polytetrafluorethylen gefertigt wurde. In Figur 12 ist die Festelektrolytmembran 3 aus einem Festelektrolytwerkstoff und 0,7 Gewichtsprozent Polytetrafluorethylen dargestellt.

In Figur 13 ist ein Diagramm eines elektrischen Spannungsverlaufs einer symmetrischen Batteriezelle dargestellt. Über eine Zeit von 200 Stunden wurde die symmetrische Batteriezelle, die aus zwei Lithiumanoden und einer Membran aus Festelektrolytwerkstoff besteht, mit einer Stromdichte von
20 0,1 mA/cm² jeweils für 30 Minuten geladen und entladen, also galvanostatisch zyklert. Der über der Zeit aufgetragene Spannungsverlauf zeigt, dass die Überspannung während der Messung stabil bleibt.
25

In einer Figur 13 entsprechenden Darstellung ist in Figur 14 der Spannungsverlauf für eine mit Batteriezelle mit 0,7 Gewichtsprozent Polytetrafluorethylen in der Membran aus Festelektrolyttrockenfilm gezeigt. Der Messzyklus entspricht dem im Zusammenhang mit Figur 13 beschriebenen Messzyklus und die Überspannung bleibt wiederum während der Messung stabil. Es lässt sich
30 Schlussfolgern, dass Nebenreaktionen des Binders zu vernachlässigen sind.

Figur 15 zeigt Impedanzspektren zur elektrischen Leitfähigkeitsbestimmung des Festelektrolytwerkstoffs bzw. des Festkörperelektrolyts bei Raumtemperatur. Die elektrische Leitfähigkeit der Festelektrolytmembran 3 wird aufgrund
35

des geringen Bindergehalts von 0,7 Gewichtsprozent nur marginal verschlechtert. Nasschemische Ansätze verringern die elektrische Leitfähigkeit teilweise bis um den Faktor 10.

5 Figur 16 zeigt ein Diagramm eines Spannungsverlaufs eines ersten Ladeabschnitts einer Graphit-Trockenfilmelektrode in Kombination mit einem Elektrolyt-Trockenfilm als Festelektrolytmembran 3 und einem Kathodentrockenfilm. Die durchgehende Messkurve bezieht sich auf einen Binderanteil von 0 Gewichtsprozent in allen verwendeten, die gestrichelte Kurve auf einen Binderanteil von 0,3 Gewichtsprozent Polytetrafluorethylen und die gepunktete Messkurve auf einen Binderanteil von 0,7 Gewichtsprozent Polytetrafluorethylen. Unterhalb von 3,4 V nimmt die irreversible Kapazität mit geringerem Bindergehalt ab. Im Umkehrschluss dazu löst sich bis zu einer Abbruchspannung von 4,25 V mehr Kapazität speichern.

15

Lediglich in den Ausführungsbeispielen offenbarte Ausführungsformen können miteinander kombiniert und einzeln beansprucht werden.

Patentansprüche

5

1. Verfahren zum Herstellen einer Festelektrolytmembran (3) oder einer Anodeneinheit für eine Festkörperbatterie, bei dem

10

für die Festelektrolytmembran (3) ein Pulvergemisch aus einem Festelektrolytwerkstoff und Polytetrafluorethylen und für die Anodeneinheit ein Pulvergemisch aus einem Elektrodenwerkstoff, einem Festelektrolytwerkstoff, einem elektrisch leitfähigen Leitadditiv und Polytetrafluorethylen hergestellt wird,

15

zumindest teilweise fibrilliertes Polytetrafluorethylen durch Einwirken von Scherkräften auf das Pulvergemisch ausgebildet wird,

20

und das Pulvergemisch zu einer biegsamen Verbundschicht als der Festkörperelektrolytmembran (3) oder einer auf einer Stromableiterschicht (5) angeordneten Schicht aus einem Verbundwerkstoff (4) der Anodeneinheit umgeformt wird, wobei

das Pulvergemisch maximal 1 Gewichtsprozent Polytetrafluorethylen aufweist.

25

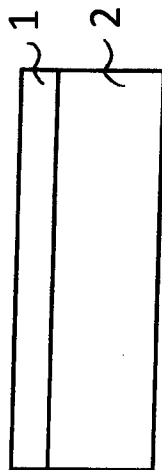
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das zumindest teilweise fibrillierte Polytetrafluorethylen durch Reibmahlen, Vermengen in einer Schneckenwelle oder Vermengen in einer Kalandervalzeinrichtung oder einer Kombination davon ausgebildet wird.

30

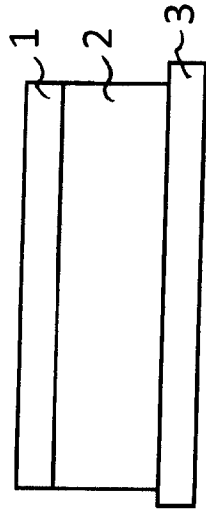
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass das Pulvergemisch durch Walzen, Pressen oder Extrusion zu der biegsamen Verbundschicht umgeformt wird.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Pulvergemisch für die Festelektrolytmembran den Festelektrolytwerkstoff in einer Konzentration von 99 Gewichtsprozent bis 99,9 Gewichtsprozent und das Polytetrafluorethylen in einer Konzentration von 0,1 Gewichtsprozent bis 1 Gewichtsprozent aufweist.
- 5.
5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Polytetrafluorethylen als vollständig monoaxial oder als vollständig biaxial orientiertes Polytetrafluorethylen vorliegt.
- 10.
6. Festelektrolytmembran (3) aufweisend einen Festelektrolytwerkstoff und Polytetrafluorethylen, wobei die Festelektrolytmembran (3) maximal 1 Gewichtsprozent Polytetrafluorethylen aufweist.
- 7.
7. Anodeneinheit aufweisend eine elektrisch leitfähige Stromableiterschicht (5) und eine auf der Stromableiterschicht (5) angeordnete Schicht aus einem Verbundwerkstoff (4), der einen Elektrodenwerkstoff, einen Festelektrolytwerkstoff, ein elektrisch leitfähiges Leitadditiv und Polytetrafluorethylen als Bindemittel aufweist, wobei der Verbundwerkstoff maximal 1 Gewichtsprozent Polytetrafluorethylen aufweist und das Polytetrafluorethylen zumindest teilweise als fibrilliertes Polytetrafluorethylen vorliegt.
- 15.
- 20.
8. Anodeneinheit nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass der Verbundwerkstoff mindestens 0,1 Gewichtsprozent Polytetrafluorethylen aufweist.
- 9.
9. Anodeneinheit nach Anspruch 7 oder Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass der Elektrodenwerkstoff eine auf Partikeln des Elektrodenwerkstoffs aufgebrauchte Schutzschicht aufweist.
- 25.
- 10.
10. Festelektrolytelektrodenverbund, bei dem die Festelektrolytmembran (3) nach Anspruch 6 direkt auf eine aus einer ersten Aktivschicht (2) und einer ersten Trägerfolie (1) gebildeten ersten Elektrodeneneinheit aufgebracht ist.
- 30.

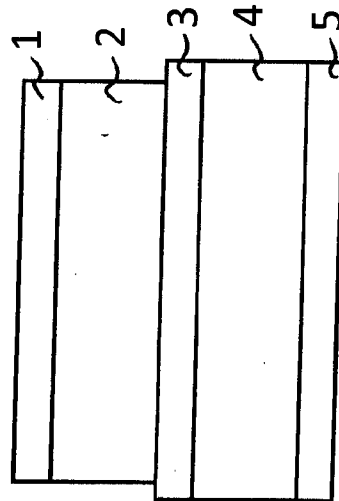
11. Festelektrolytelektrodenverbund nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass die Festelektrolytmembran (3) und die erste Aktivschicht (2) ein Laminat bilden.
- 5 12. Festkörperbatterie mit einem Festelektrolytelektrodenverbund nach Anspruch 10 oder Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass an einer der ersten Elektrodeneinheit gegenüberliegenden Oberfläche der Festelektrolytmembran (3) die Anodeneinheit mit der Stromableiterschicht (5) als einer zweiten Trägerfolie und der Schicht aus einem Verbundwerkstoff (4) als einer zweiten Aktivschicht aufgebracht ist.
10
13. Festkörperbatterie nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass ein Werkstoff der zweiten Trägerfolie (5) von einem Werkstoff der ersten Trägerfolie (1) verschieden ist.



Figur 1

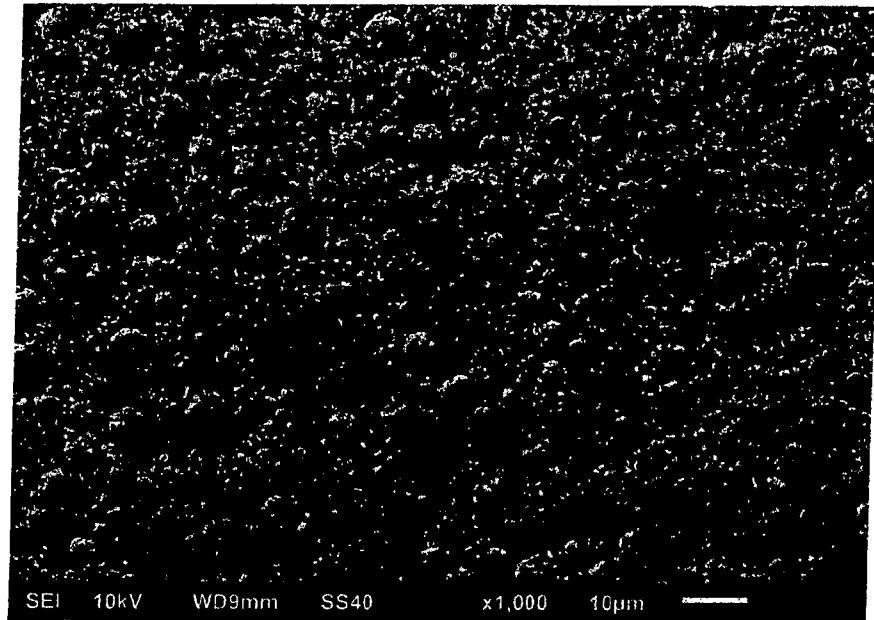


Figur 2

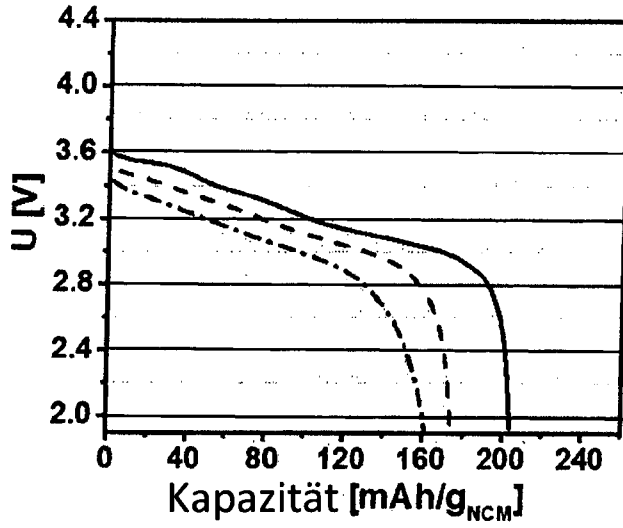


Figur 3

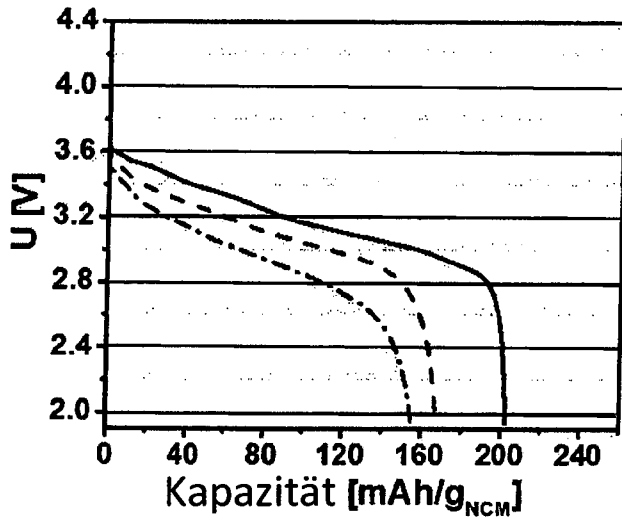
2/10



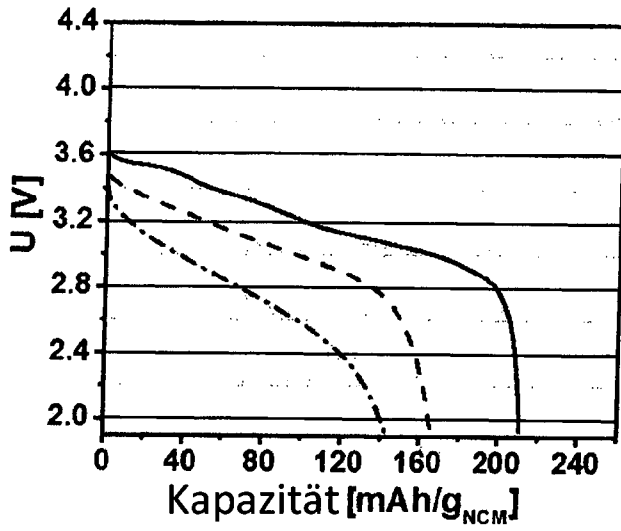
Figur 4



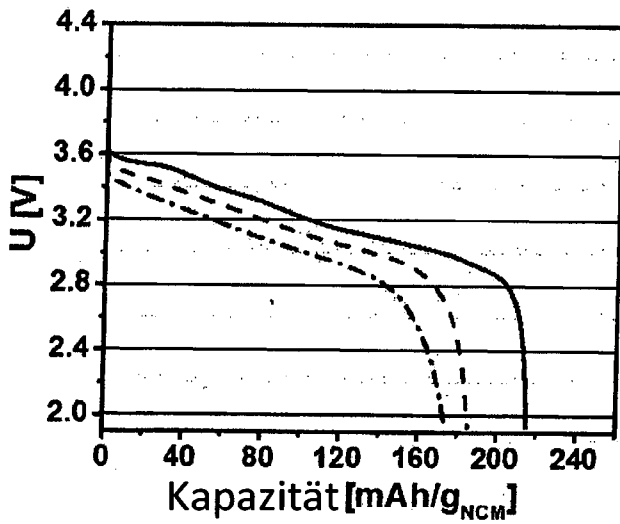
Figur 5



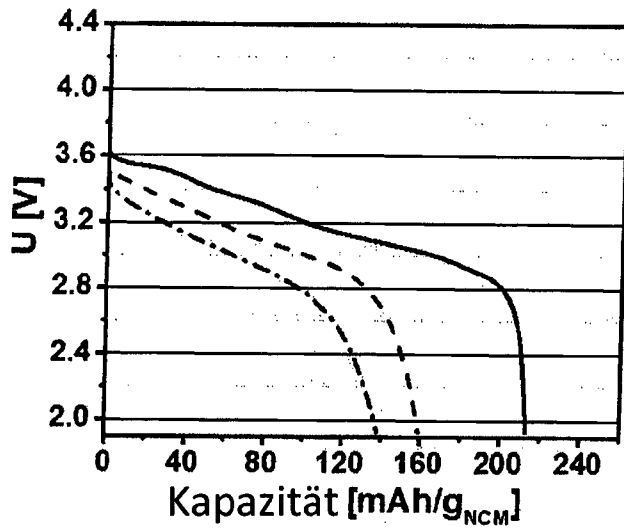
Figur 6



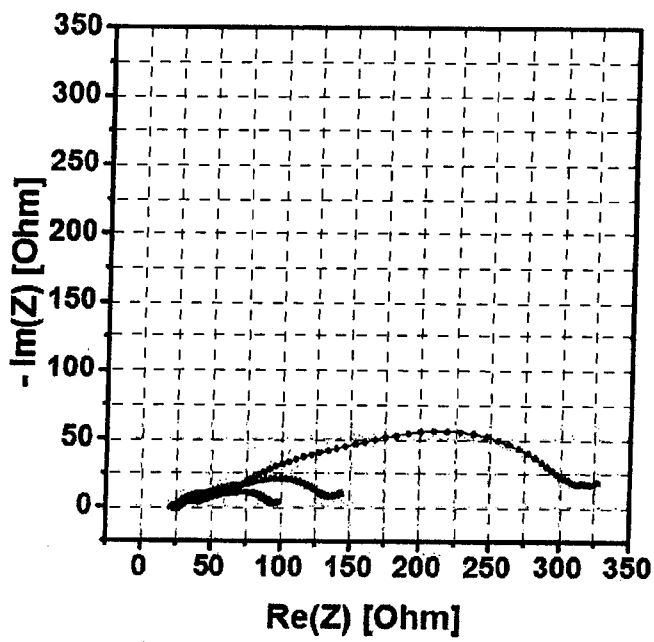
Figur 7



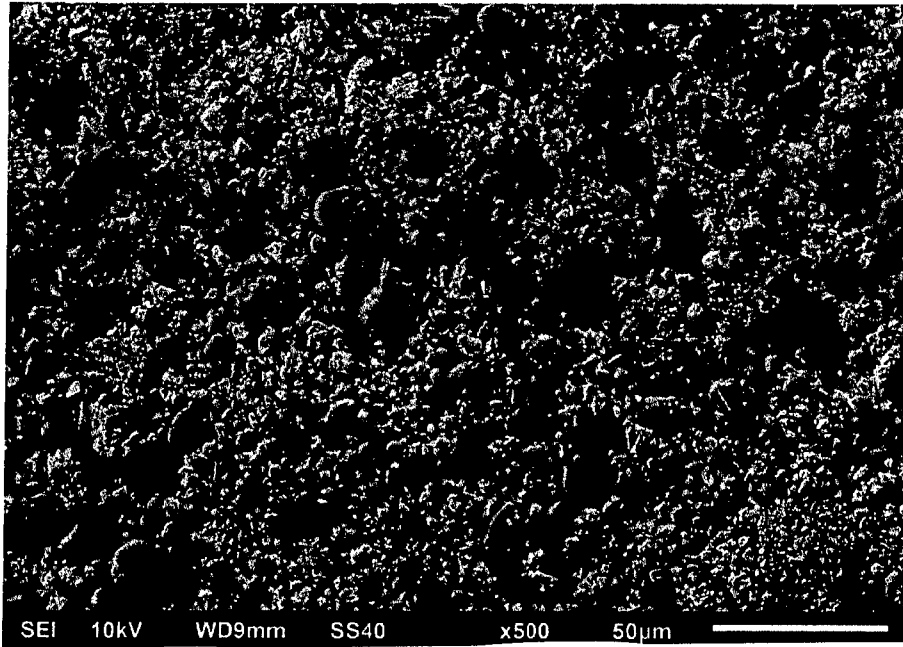
Figur 8



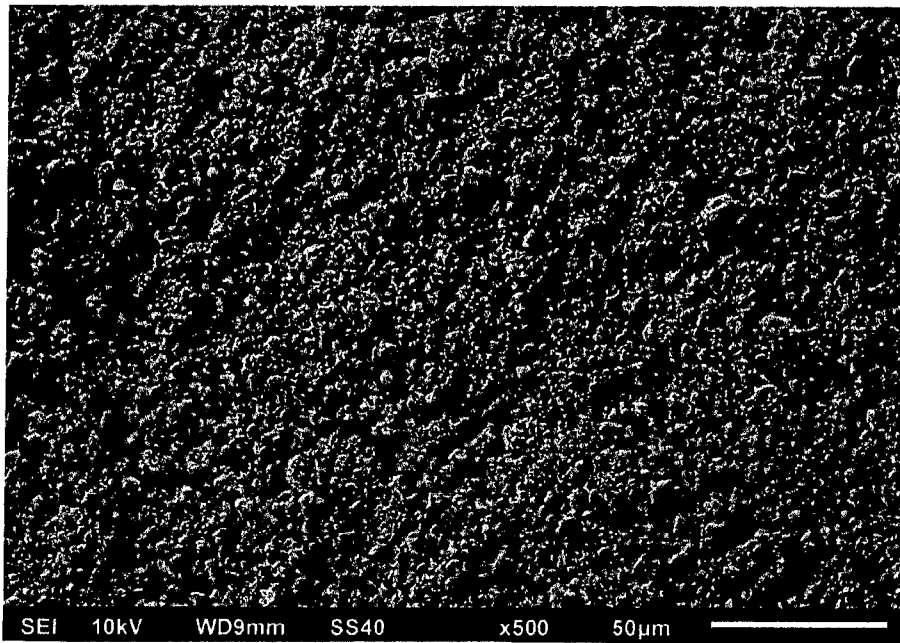
Figur 9



Figur 10

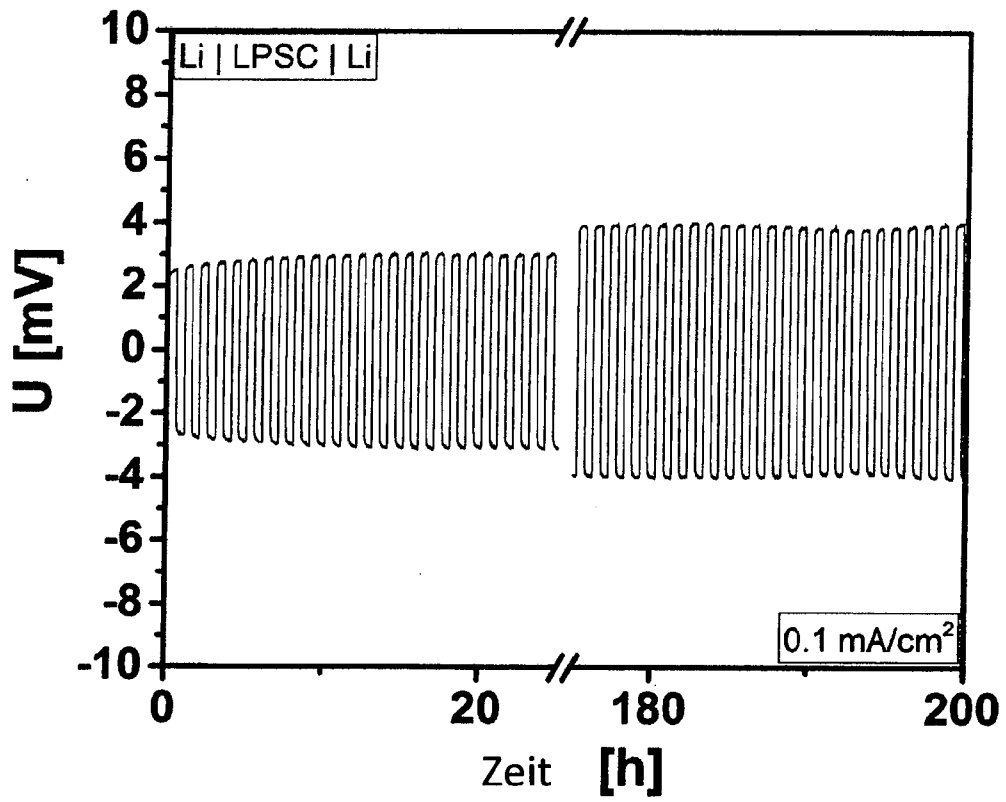


Figur 11



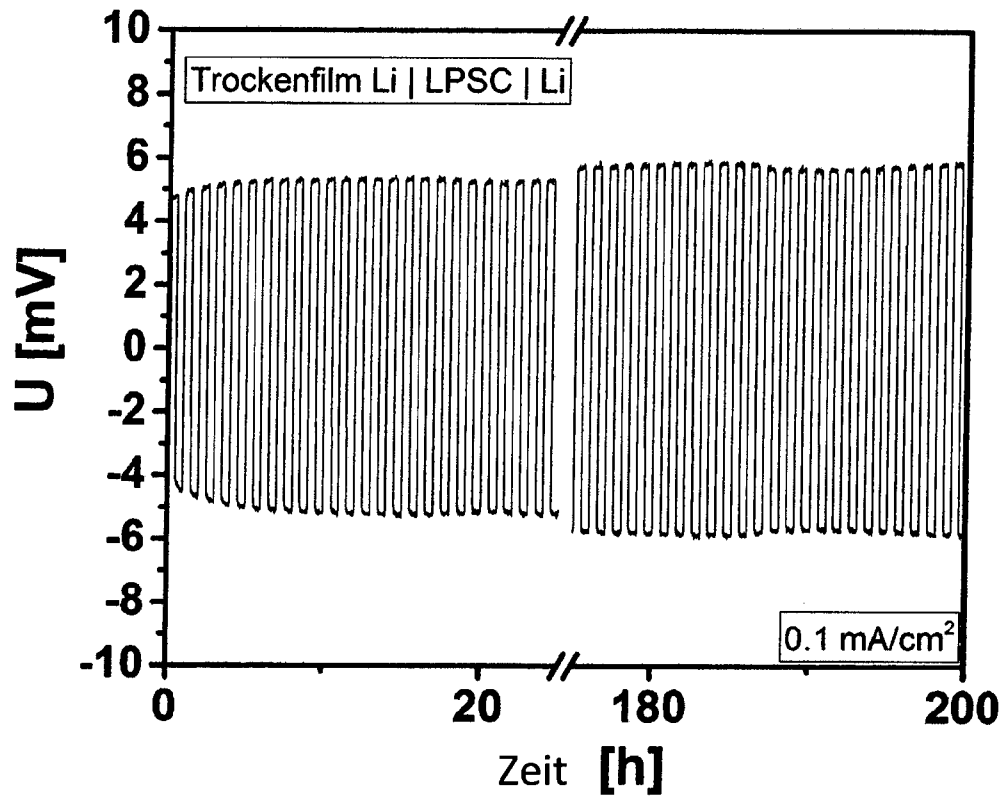
Figur 12

7/10

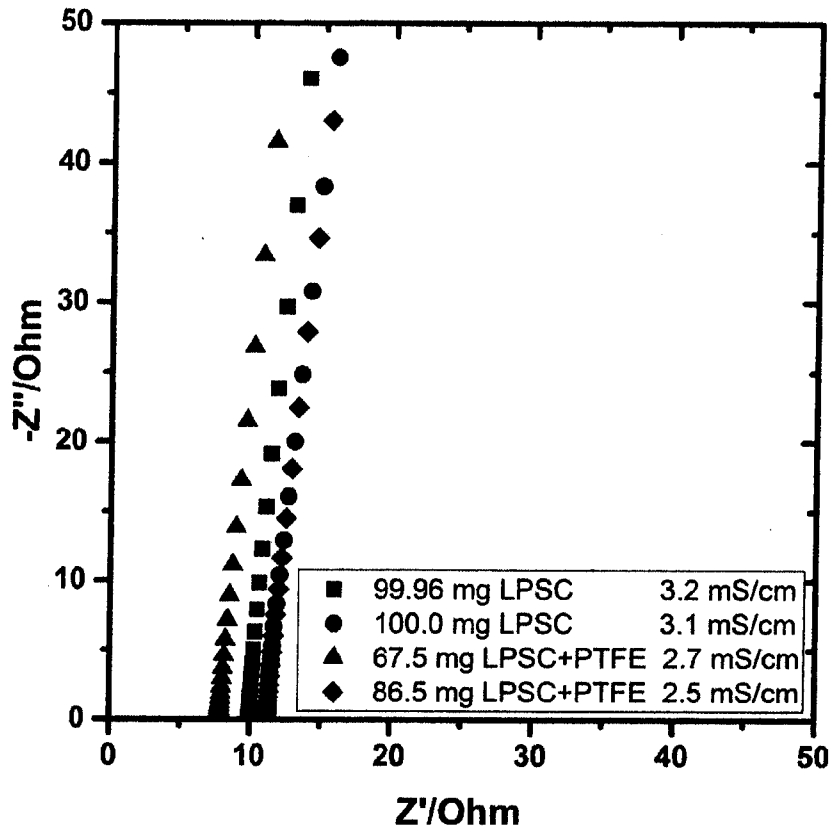


Figur 13

8/10

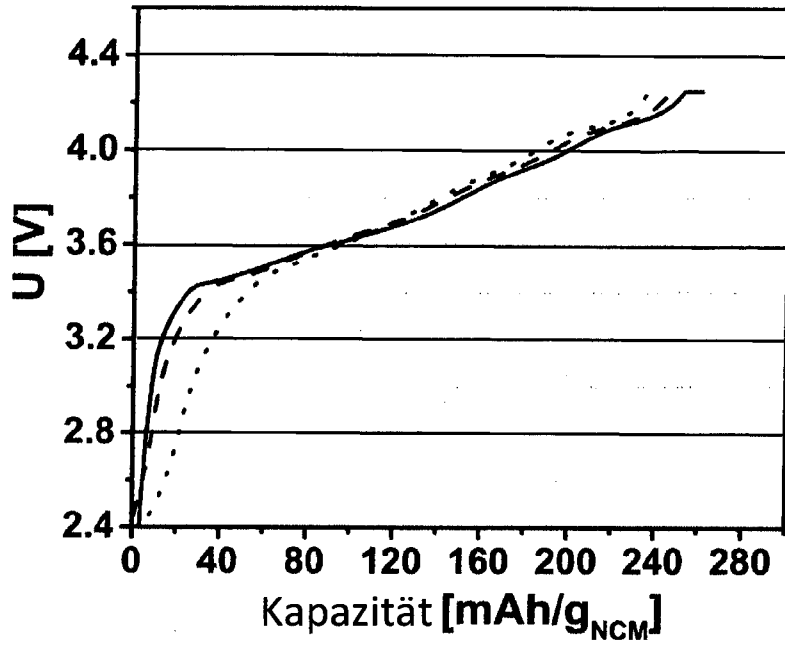


Figur 14



Figur 15

10/10



Figur 16