

future**TEX**

Zukunft unternehmen!

TourAtlas

TexBATT

Nachwuchssicherung
Maschinen
Umwelt
Zukunftsprodukt
Innovations-
management
Ressourceneffizienz
Industrie 4.0
Wertschöpfungsketten
Arbeitsorganisation
Wissensmanagement
Chemie
Bau
Medizin
Landwirtschaft

Zukunft unternehmen!

Unsere Anwendungsfelder



Automotive



BuildTech



InduTech



Luftfahrt



MedTech



MobilTech



SportTech



Windenergie

➤ Über das Forschungsprojekt futureTEX

Das Projekt futureTEX ist ein Gewinner im Programm „Zwanzig20 – Partnerschaft für Innovation“ des Bundesministeriums für Bildung und Forschung. Bis 2022 arbeiten wissenschaftliche Einrichtungen, Unternehmen und Verbände an der Entwicklung wesentlicher Bausteine eines Zukunftsmodells für Traditionsbranchen. Das Projektkonsortium futureTEX verfolgt das Ziel, die führende Position bei der Umsetzung der vierten industriellen Revolution im Textilmaschinenbau und in der Textilindustrie zu erringen und damit beispielhaft bis 2030 das modernste textilindustrielle Wertschöpfungs-

netzwerk Europas aufzubauen. Mit der Entwicklung eines Zukunftsmodells werden die Forschungsschwerpunkte Ressourceneffizienz und Kreislaufwirtschaft, kundenintegrierte flexible Wertschöpfungsketten, textile Zukunftsprodukte, Wissens- und Innovationsmanagement sowie Arbeitsorganisation und Nachwuchssicherung gemeinschaftlich mit Partnern aus Wissenschaft und Wirtschaft bearbeitet. Das Konsortium umfasst aktuell über 300 Partner, darunter 70 Prozent aus der Industrie. Das Projekt futureTEX ist Preisträger im Wettbewerb „Ausgezeichneter Ort“ im Land der Ideen 2016.

➤ Abschlussdokumentation Umsetzungsvorhaben TexBATT

Entwicklung von Anoden mit dreidimensionaler Aktivpartikelanordnung auf Textilbasis für die Batterietechnologien der 3. Generation

Laufzeit: 1. Mai 2019 – 30. April 2021

TexBATT war eines von insgesamt 28 Umsetzungsvorhaben des Projekts futureTEX im Rahmen des Programms „Zwanzig20 – Partnerschaft für Innovation“ des Bundesministeriums für Bildung und Forschung.

Inhalt

Management Summary	6
Partner	7
Problemstellung und Motivation	8
Beitrag zur Realisierung der futureTEX-Ziele	9
Lösungsansatz	10
Ergebnisse	11
Verwertung und wirtschaftliche Bedeutung	15
Ausblick	16

➤ Management Summary

Lithium-Ionen-Batterien werden derzeit auf Basis von Graphitanoden hergestellt. Da diese Anoden die Energiedichte (Wh/L) der Zellen jedoch stark limitieren, wird intensiv an alternativen Anodenkonzepten geforscht. Hierunter fallen Silizium-basierte Ansätze, sowie Anoden basierend auf metallischem Lithium. Derartige Ansätze versprechen hohe Energiedichten (bis zu 1.000 Wh/L im Vergleich zu ca. 600–700 Wh/L im Stand der Technik), weisen jedoch Herausforderungen aufgrund struktureller Veränderungen während des Zyklisierens der Zellen und somit mechanische Beanspruchung auf, welche zum vorzeitigen Versagen der Zellen führen.

Das Ziel des Vorhabens: TexBATT stellte die Integration und Fixierung von Batterieanodenaktivmaterial in dreidimensionalen Textilsubstraten dar. Dabei sollten geeignete Vliesstoffe, Vliesstoffverbunde und Drahtgewebe als Trägersubstrate bzw. Stromableiter für Aktivmaterialien zur Herstellung generisch verwendbarer Hochenergieanoden entwickelt und prototypisch eingesetzt werden. Eine signifikante Massen- und Volumenreduktion sollte zur Steigerung der Performance und Kosteneffizienz der Batteriezellen führen.

Im Vorhaben arbeiteten die Partner entlang der Wertschöpfungskette bis zur Batteriezelle. So erarbeiteten die Norafin Industries (Germany) GmbH und das Sächsische Textilforschungsinstitut e.V. (STFI) Ansätze zur Herstellung

innovativer Vliesstoffsubstrate und HAVER & BOECKER OHG entwickelte optimierte Metalldrahtgewebe. Zur Beladung der Substrate mit Aktivmaterialien waren Grenzflächenmodifizierungen erforderlich, welche durch die Technische Universität Dresden vorgenommen wurden. Auf diese Weise konnten Substratmaterialien erzeugt werden, welche speziell für die Abscheidung von Silizium und Lithium durch das Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik IWS ausgerüstet waren. Die Materialspezifikationen wurden im Laufe des Vorhabens gemeinsam unter den Partnern immer weiter verfeinert, sodass vor allem zwei Konzepte als vielversprechend herausgearbeitet und in großen Teilen als Rolle-zu-Rolle Prozesse umgesetzt werden konnten. Dies beruhte einerseits auf einem Kupferdrahtgewebe und andererseits auf einem Nassvliesstoff auf Carbonfaser-Basis. Beide Materialien konnten durch Schmelzbeschichtung mit Lithium beladen werden, wobei nur im Falle des Drahtgewebes alle Prozessschritte erfolgreich in einer kontinuierlichen Prozessführung realisiert werden konnten.

Die prinzipielle Anwendbarkeit derartiger Materialien und Techniken für die Anwendung in einer Lithium-Ionen-Batterie konnte in prototypischen Demonstrator-Batteriezellen mit ca. 900 Wh/L nachgewiesen werden. Das Vorhaben legte damit einen wichtigen Grundstein für die Erschließung Technischer Textilien für die Anwendung in der Batteriezelle.

➤ Partner



Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik IWS
Winterbergstraße 28 | 01277 Dresden
Ansprechpartner: Dr. Benjamin Schumm
T: +49 351 83391-3714 | benjamin.schumm@iws.fraunhofer.de

Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik IWS

Das Fraunhofer IWS hat in den letzten Jahren als anwendungsorientiertes F&E-Institut ein Batteriezentrum mit Fokus auf Material- und Prozesskonzepte für zukünftige Energiespeichergenerationen etabliert. In den BMBF-Projekten „DryLiZ“ und „AlkaSuSi“ wurden grundlegend neue Erkenntnisse zur Verwendung textilbasierter Substrate für die Kathodenherstellung gewonnen. Die langjährigen Erfahrungen zu Lithiumanoden für Lithium-Schwefel-Batterien fließen in die vorgeschlagenen Weiterentwicklungen ein. In dem internen Fraunhofer Projekt „LiSCell“ wurde zudem das große Potenzial kolumnarer und stabiler Siliziumanoden identifiziert. Am IWS ist man in der Lage, neuartige Materialinnovationen in kurzen Innovationszyklen aus dem Labormaßstab in anwendungsnahe Prototyp-batteriezellen zu überführen und dort zu bewerten.



Norafin Industries (Germany) GmbH
Gewerbegebiet N 3 | 09456 Mildenaue
Ansprechpartner: Marc Jolly
T: +49 3733 5507-239 | marc.jolly@norafin.com

Norafin Industries (Germany) GmbH

Norafin, ein innovativer Vliesstoffproduzent, hat sich seit Jahren darauf spezialisiert, seinen zahlreichen Kunden im In- und Ausland umfassende Lösungskonzepte für die Anwendung von Vliesstoffmaterialien in den verschiedensten Hightech-Bereichen anzubieten. Das bedingt eine konsequente und stetige Forschung auf den Gebieten der Faserauswahl, der Fasermischung, der Vliesstoffherstellung sowie der Vliesstoffausrüstung zum Zwecke seiner Funktionalisierung. Zahlreiche Forschungsarbeiten zur Entwicklung und Herstellung neuartiger funktionalisierter Spezialvliesstoffe wurden erfolgreich in den verschiedensten Anwendungsbereichen in Industrie und Technik realisiert.



HAVER & BOECKER OHG
DIE DRAHTWEBER
Ennigerloher Straße 64 | 59302 Oelde
Ansprechpartner: Frank Meyer
T: +49 2522 30-219 | f.meyer@haverboecker.com

HAVER & BOECKER OHG DIE DRAHTWEBER

HAVER & BOECKER entwickelt und fertigt auf eigens hergestellten Webmaschinen Drahtgewebe aus Drähten unterschiedlichster Metalle und Legierungen mit Drahtdurchmessern zwischen 0,013 mm und 22 mm. Diese Drahtgewebe werden in vielen Branchen (u. a. Automotive, Luft- und Raumfahrt, Pharmazie, Chemie usw.) und Anwendungen (z. B. Siebdruck, Filtration, Absiebung,



**TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DRESDEN**

Technische Universität Dresden
Institut für Anorganische Chemie
Bergstraße 66 | 01069 Dresden
Ansprechpartner: Prof. Dr. Stefan Kaskel
T: +49 351 463 34885 | stefan.kaskel@tu-dresden.de



Sächsisches Textilforschungsinstitut e.V. (STFI)
Annaberger Straße 240 | 09125 Chemnitz
Ansprechpartner: Wolfgang Schilde
T: +49 371 5274-155 | wolfgang.schilde@stfi.de

Akustik uvm.) eingesetzt und zu Halbfertig- und Fertigprodukten konfektioniert. Seit über 30 Jahren beliefert HAVER & BOECKER Firmen, die sich mit der Herstellung von Batterien und Akkumulatoren (Li-Ionen, NiMH, Zn-Luft usw.) beschäftigen.

Technische Universität Dresden, Institut für Anorganische Chemie

Die Entwicklung funktionaler Materialien zur Energieumwandlung und Energiespeicherung stellt einen Forschungsschwerpunkt am Lehrstuhl für Anorganische Chemie I dar. Precursorsynthesen zur Oberflächenfunktionalisierung und die entsprechende Charakterisierung zählen dabei zu den Kernkompetenzen der Gruppe.

Sächsisches Textilforschungsinstitut e.V. (STFI)

Das STFI ist ein industrienaher Forschungsdienstleister und befasst sich mit der Entwicklung Technischer Textilien allgemein und über das Kompetenzzentrum Vliesstoffe mit der Entwicklung von Vliesstoffen und deren Herstellungsverfahren. In zahlreichen Forschungsprojekten wurden in Zusammenarbeit mit der Industrie Vliesstoffe entwickelt, hergestellt und getestet. Zur Lösung wissenschaftlicher Problemstellungen stehen dafür Maschinen und Anlagen im kleintechnischen Maßstab zur Verfügung.

➤ Problemstellung und Motivation

Durch die wachsende Bedeutung der Elektromobilität erhöht sich der Bedarf an geeigneten, mobilen Batteriesystemen drastisch. Gegenwärtig begrenzt die Energiedichte der Batteriezellen die Reichweite der Elektrofahrzeuge und stellt das Hauptkriterium für die Weiterentwicklung der Zellen dar. Die Substitution gegenwärtig eingesetzter Grafitanoden durch Silizium- oder Lithium-

Metall-Anoden ist dafür ein notwendiger Technologiesprung, der in den nächsten zehn Jahren erwartet wird. Das Potenzial zur Erhöhung der Energiedichte auf Zellebene liegt bei bis zu 40 Prozent, sofern maßgebliche technologische Herausforderungen dafür gelöst werden. Bei der Auslegung der Elektroden muss die große Volumenänderung beim Lade- und Entladevorgang sowohl

von Lithium als auch von Silizium berücksichtigt werden. Als Trägersubstrate bzw. Stromableiter werden leichte, hochleitfähige, flexible Materialien benötigt, die eine gute elektrische und mechanische Anbindung an die Aktivmaterialien erlauben. Dreidimensionale textile Trägersubstrate bzw. Stromableiter werden hier als Lösungsansatz vorgeschlagen und bilden die Schlüsselkomponente für Hochenergie-Anoden auf Basis von Silizium und metallischem Lithium. Das Gesamtziel dieses Vorhabens stellt die Integration und Fixierung von Anodenaktivmaterial in

dreidimensionalen Textilsubstraten dar. Dabei sollen geeignete Vliesstoffe und Drahtgewebe als Trägersubstrate bzw. Stromableiter für Aktivmaterialien zur Herstellung generisch verwendbarer Hochenergieanoden eingesetzt werden (schematisch, vgl. *Abbildung 1*). Strukturoptimierungen sollen zur signifikanten Massen- und Volumenreduktion sowie Steigerung der Kosteneffizienz führen. Dieser Ansatz wird dazu beitragen, den Wachstumsmarkt „Batterieproduktion“ mit Technischen Textilien zu erschließen.

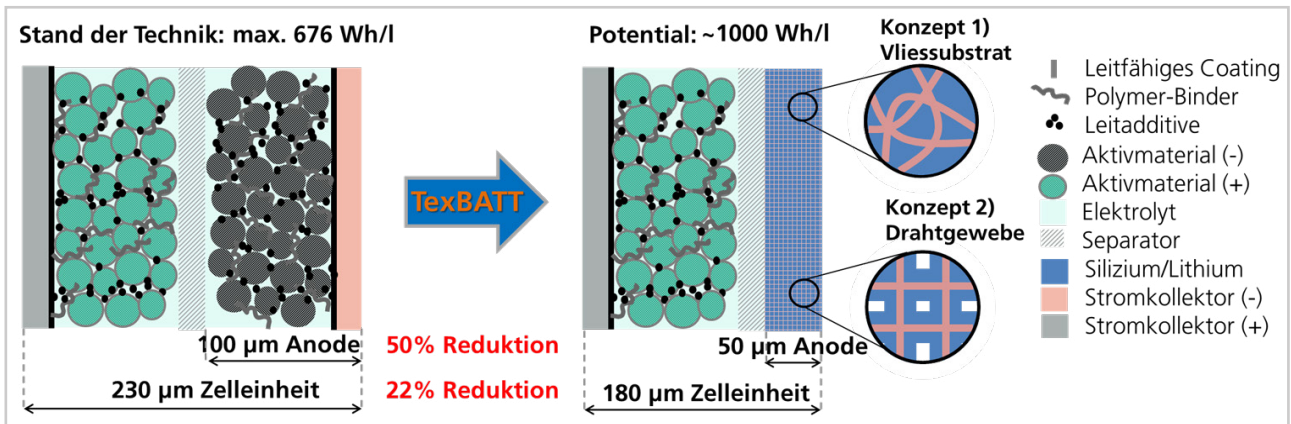


Abbildung 1: Konzeptioneller TexBATT-Ansatz für Batteriezellen mit Hochenergieanoden, Quelle: Fraunhofer IWS

➤ Beitrag zur Realisierung der futureTEX-Ziele

Das Konsortium im Vorhaben TexBATT setzt sich aus Unternehmen mit Kernkompetenzen im Bereich Vliesstoffe (Norafin) und Drahtgewebe (HAVER & BOECKER) sowie Forschungseinrichtungen aus dem Bereich Materialentwicklung und Beschichtung (TU Dresden, STFI) und Batterieentwicklung (Fraunhofer IWS) zusammen. Auf diese Weise werden branchenübergreifend die notwendigen Kernkompetenzen gebündelt, um einen visionären Lösungsansatz zu verfolgen. Damit wird es möglich, den beteiligten Unternehmen der Textilindustrie in Deutschland neue Wachstumsimpulse und -märkte bei der Batterieherstellung zu generieren und so in zukunfts-

weisende MobilTech-Wirtschaftsbereiche, wie z. B. die Elektromobilität oder tragbaren, elektronischen Geräten vorzudringen. So können u. a. in Asien verlorene Marktanteile wieder zurückgewonnen werden. Unterstützend wirkt dabei die enge Verzahnung zum deutschen Maschinen- und Anlagenbau, der wiederum flexible, kosteneffiziente, anwendungsorientierte Lösungen, z. B. im Automobilbau entstehen lässt (InduTech). Bei erfolgreicher Realisierung des ambitionierten Vorhabenansatzes ist mittelfristig (fünf bis zehn Jahre) eine Verdrängung der aktuellen Anodentechnologien und ein Aufbau umfangreicher Kompetenzen für zukünftige Batterietechnologien zu erwarten.

➤ Lösungsansatz

Die Arbeitsteilung innerhalb des Konsortiums war durch den Arbeitsplan geregelt. Als übergeordnete Stelle war hierbei das Fraunhofer IWS als Verbundkoordinator aktiv, welcher die Arbeitsteilung koordinierte, die Vorhabentreffen organisierte und als Ansprechpartner der Partner untereinander und zum Projektträger zur Verfügung stand.

Das Vorhaben TexBATT orientierte sich entlang der Wertschöpfungskette zur Herstellung von Hochenergieanoden für Lithium-Batterien. Angefangen von der Auswahl, Entwicklung und Bereitstellung von textilen Substraten über die Substratfunktionalisierung bis hin zu Aktivmaterialabscheidung und Batteriezellbau trugen die Vorhabenspartner durch Einbringung ihrer jeweiligen Kompetenzen zur Steigerung des Innovationspotenzials und der Wertschöpfung bei. Im Vorhaben sollten stabile Silizium- und Lithiumanoden im Dickenbereich von 10–50 µm mit Hilfe textiler Stromableiter bzw. Stützsubstrate entwickelt werden. Dazu wurden zwei wesentliche wissenschaftlich-technische Arbeitsziele verfolgt.

a) Entwicklung textiler Stützsubstrate für die Fixierung von Anodenaktivmaterialien

Es sollten elektrochemisch beständige und mechanisch stabile Stromableiter bzw. Stützsubstrate zur Abscheidung von Anodenaktivmaterialien entwickelt und in Hinblick auf Flächenmasse und Dicke optimiert werden. Auf Grund der stark unterschiedlichen Eigenschaften der Silizium- und Lithium-Aktivsubstanzen mussten die Materialien (Draht-/Faserart bzw. -mischungen) an die komplexen Aufgaben angepasst werden. Die Materialauswahl bzw. Spezifizierung erfolgte u. a. entsprechend nachfolgenden Kriterien: Beständigkeit (chemisch, elektrochemisch, thermisch), mechanische Stabilität, Draht-/Faserdicke und -masse in einem iterativen Prozess der beteiligten Partner. Die Hauptaufgabe im Vorhaben bestand in der mechanischen Stabilisierung der Anode und deren elektrischer Kontaktierung.

Norafin hat sich auf die Bereitstellung industriell gefertigter Vliesstoffe fokussiert. Mit dem TexBATT-Ansatz sollte eine Volumenreduktion von $\geq 50\%$ im Vergleich zu konventionellen Anoden erreicht werden. Hierfür waren Substrate mit einer Dicke von $< 50\ \mu\text{m}$ zu entwickeln. Dafür wurden die Entwicklungen im Vorhaben durch Entwicklungen zur Vliesherstellung des STFI ergänzt. Hierdurch

sollte es möglich werden, eine deutlich breitere Vielfalt an Vliesbildungsverfahren, zu evaluieren. Dies erlaubte die Optimierung der Vliesstoffe hin zu deutlich dünneren und leichteren Substraten. Das war im Rahmen des Vorhabens zwar zunächst nur im Labor- und Technikumsmaßstab möglich, jedoch sind diese Substrateigenschaften im Hinblick auf die Ziele der reduzierten Anodendicke von hoher Relevanz. Daher wurden die jeweiligen Entwicklungen von Vliessubstraten von Norafin und STFI in zwei parallelen Arbeitspakete verfolgt. Von HAVER & BOECKER sollten unterschiedliche metallische Werkstoffe in Form von Drahtgeweben mit variierten Geometrien zur Verfügung gestellt und Methoden entwickelt werden, um besonders großmaschige Gewebe realisieren zu können. Von allen Partnern wurden Materialcharakterisierungen an den jeweiligen Proben vorgenommen, die sowohl stoffliche Eigenschaften (Flächenmasse, Leitfähigkeit, Porosität) als auch mechanische Eigenschaften beleuchteten.

b) Entwicklung von Beschichtungsverfahren für Lithium und Silizium auf textilen Substraten

Die Stützsubstrate wurden zur Beschichtung mit Lithium und Silizium eingesetzt. Während Lithium über Schmelzinfiltration aufgebracht werden sollte, war die Siliziumabscheidung durch chemische Gasphasenabscheidung (CVD) vorgesehen.

Für beide Verfahren war eine Vorfunktionalisierung der Substrate zu entwickeln. Dadurch sollte Einfluss auf das Schichtwachstum bei Silizium genommen und ein besseres Benetzungsverhalten der Lithiumschmelze auf dem Substrat erreicht werden. Die chemische Veränderung der Faseroberfläche ist für beide Methoden essenziell und sollte daher mit modernen Analysenverfahren untersucht werden. Diese Aufgabe wurde durch die TU Dresden bearbeitet. Die im Vorhaben zu realisierenden Anoden sollten bei Dicken $< 50\ \mu\text{m}$ Kapazitäten von $> 5\ \text{mAh/cm}^2$ aufweisen. Die Bewertung der elektrochemischen Eigenschaften sowie eine Rückkopplung zu den Materialeigenschaften ist durch das Fraunhofer IWS vorgenommen worden. Diese wurde zunächst mithilfe von Testzellen (Knopfzellen) durchgeführt. Das Potenzial zur Steigerung der Energiedichte mit dem TexBATT-Ansatz sollte in prototypischen Pouchzell-Demonstratoren nachgewiesen werden.

Anhand dieser Arbeitsteilung und wissenschaftlich-technischer Ansätze war es die Aufgabe der beteiligten Unternehmen, wirtschaftliche und kurzfristig im industriellen Maßstab realisierbare Prozesse zur Fertigung der textilen

Substrate zu entwickeln. Die beteiligten Forschungsinstitute wiederum sollten besonders auf Material- und Prozessinnovationen fokussieren, um die Zielstellung von Hochenergiezellen realisieren zu können.

➤ Ergebnisse

Die Partner haben gemeinsam und iterativ folgende Materialspezifikationen für die Abscheidung von Lithium mittels Schmelzabscheidung und Silizium durch Gasphasenabscheidung auf den Stützsubstraten erarbeitet. Für die sich daraus ergebende Materialauswahl standen vor allem Aspekte der chemischen und mechanischen Beständigkeit im Vordergrund. Die durch die Partner STFI,

HAYER & BOECKER und Norafin bereitgestellten Musterproben wurden durch TU Dresden und Fraunhofer IWS auf Ihre Anwendbarkeit hin untersucht. In den nachgelagerten Iterationen sind die aus den Versuchen als vielversprechend hervorgegangenen Kombinationen hinsichtlich Zusammensetzung, Geometrie oder Nachbehandlung weiter optimiert worden.

Eigenschaft	Silizium	Lithium
Material	Kupfer, Stahl, Nickel, Bronze, Inconel, Kohlenstoff	Kupfer, Stahl, Nickel, Bronze, Inconel, Kohlenstoff, Polyimid, Polyamid und verwandte Materialien sollten möglich sein
Dicke	< 100 µm bevorzugt < 50 µm	< 100 µm bevorzugt < 50 µm
Flächengewicht	nicht primär entscheidend	nicht primär entscheidend
Zugfestigkeit	~ 50 N bei 60 mm Breite	~ 50 N bei 60 mm Breite
Dehnung	< 20 % bei o. g. Zugkraft	< 20 % bei o. g. Zugkraft
Chemische Beständigkeit	beständig gegen Wasserstoff, Elektrolyt (Ethylencarbonat, Diethylcarbonat, LiPF ₆)	beständig gegen flüssiges Lithium, Iso-propanol, Elektrolyt (Ethylencarbonat, Diethylcarbonat, LiPF ₆)
Thermische Beständigkeit	400 °C für 3 h	200 °C für 5 s
Elektrische Leitfähigkeit	< 0,1–1 Ohm	nicht primär entscheidend
Porosität	> 80 %	> 80 %
Gleichmäßigkeit	nicht primär entscheidend	nicht primär entscheidend

Eigenschaft	Silizium	Lithium
Luftdurchlässigkeit DIN 9237	> 3.500 l/m ² s	nicht primär entscheidend
Geometrie Drahtgewebe (d/w)	1/1 ... 1/2	1/1 ... 1/10 1/6 bei d = 30 µm
Schrumpf	< 10 %	< 10 %
Faserfeinheit (dTex)	nicht primär entscheidend	nicht primär entscheidend
Porengrößenverteilung	nicht primär entscheidend	nicht primär entscheidend
Nacharbeitung	gereinigt, entfettet; Vliese entschlichten; evtl. später kalandrieren	gereinigt, entfettet; Vliese entschlichten; evtl. später kalandrieren
Rolle/Sheet Format	initial: ~A4 Sheets final: Rollenware	initial: 8 cm breit, > 30 cm lang final: Rollenware

Tabelle 1: Zusammenstellung der primären Anforderungen an die Substrate zur weiteren Beschichtung mit Lithium aus der Schmelze und Silizium aus der Gasphase

Als vielversprechende Materialien wurden Vliesstoffe auf Basis von Carbonfasern, Polyamid und PEEK herausgearbeitet, welche in Reinform, Mischungen oder nachgelagerter Metallisierung untersucht wurden und deren

Vliesbildung in verschiedenen Vliesbildungsverfahren untersucht wurde. Darüber hinaus sind Metalldrahtgewebe auf Basis von Kupfer und Edelstahl als vielversprechend identifiziert und weiterbetrachtet worden.

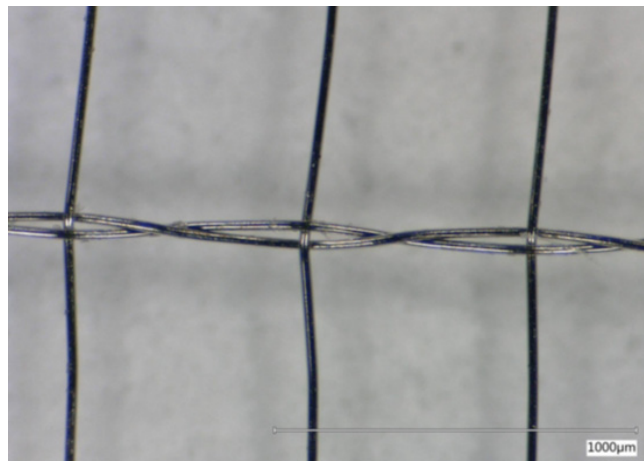
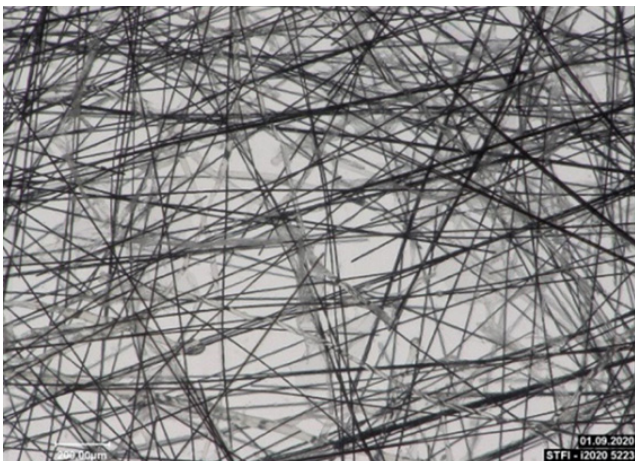


Abbildung 2: Mikroskopaufnahmen der im Vorhaben entwickelten Substrate. Mittels Nassvliesverfahren durch das STFI hergestellter Vliesstoff bestehend aus 70 Prozent Carbonfasern und 30 Prozent Polyamid 6 (links). Dreherdrahtgewebe von HAVER&BOECKER aus Edelstahl mit besonders großer Maschenweite (rechts), Quelle links: STFI, rechts: HAVER & BOECKER

HAVER & BOECKER ist es gelungen, Prozesse und Anlagen für die Herstellung von Drehergeweben mit besonders hoher Maschenweite im Verhältnis zum Drahtdurchmesser zu entwickeln. Im Vorhabenverlauf haben sich aber besonders Drahtgewebe mit vergleichsweise geringen Drahtdurchmessern (< 20 µm) mit Maschenweiten in derselben Größenordnung als anwendungsrelevant

herausgestellt. Derartige Drahtgewebe wurden zur weiteren Abscheidung von Lithium und Silizium untersucht. Zwar konnten für Silizium Funktionalisierungen durch die TU Dresden und Siliziumabscheidungen durch das Fraunhofer IWS realisiert werden, die Ergebnisse der elektrochemischen Untersuchungen zeigten jedoch erheblichen Optimierungsbedarf auf, sodass etwa zur Hälfte der Vor-

habenlaufzeit eine Fokussierung auf die Abscheidung von Lithium vorgenommen wurde. Für diese hat die TU Dresden oxidische Grenzflächenmodifizierungen als besonders geeignet herausgearbeitet. Während diese auf Kupferdrahtgeweben durch thermische Oxidation erhalten werden konnte, kamen für Edelstahl drahtgewebe Zinkoxid-Precursorlösungen zum Einsatz, die in Tauchverfahren appliziert wurden. Die Optimierung der modifizierten Grenzflächen erfolgte auf Basis von Benetzungseigen-

schaften. Hierbei wurde untersucht, wie gut ein Tropfen flüssigen Lithiums auf der jeweiligen Probe spreitet.

Die REM-Aufnahmen in *Abbildung 3* zeigen die Mikrostrukturen des jeweiligen Modifizierungsschrittes. Die Anlagerung der oxidischen Spezies mit lithiophilem Charakter wird durch die EDX-Aufnahmen deutlich. Für beide Stoffsysteme konnten homogene Lithiumbeschichtungen durch das Fraunhofer IWS realisiert werden.

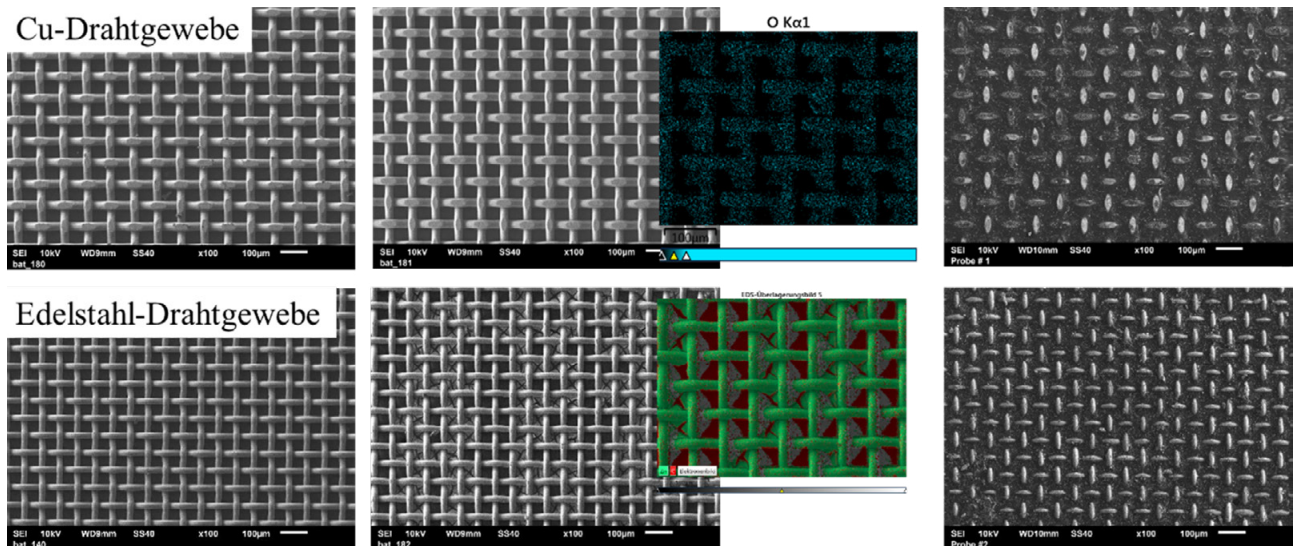


Abbildung 3: REM-Aufnahmen von Kupferdrahtgeweben (oben) und Edelstahldrahtgeweben (unten), jeweils ohne Modifizierung (links), mit oxidischer Funktionalisierung (Mitte) und nach der Beschichtung mit Lithium (rechts). Die eingesetzten EDX-Mapping-Aufnahmen geben die Elementverteilung für Sauerstoff (türkis, oben) und Zink (grün, unten) wieder, Quelle: Fraunhofer IWS

Da die thermische Oxidation aufgrund der Eleganz der Einfachheit prozesstechnische und kostentechnische Vorteile mit sich bringt, wurde sich für die Prozesskettenentwicklung auf diesen Ansatz fokussiert. Die Funktionalisierung des Kupferdrahtgewebes konnte kontinuierlich in Durchlauföfen realisiert werden. Mit einem kontinuier-

lichen Tauchbadverfahren wurde Lithium bei ca. 200 °C Badtemperatur in Schutzgasatmosphäre auf das modifizierte Drahtgewebe aufgebracht. Mittels Laserstrahlschneidens sind aus solchen Bändern einzelne Elektrodenblätter erhalten worden.

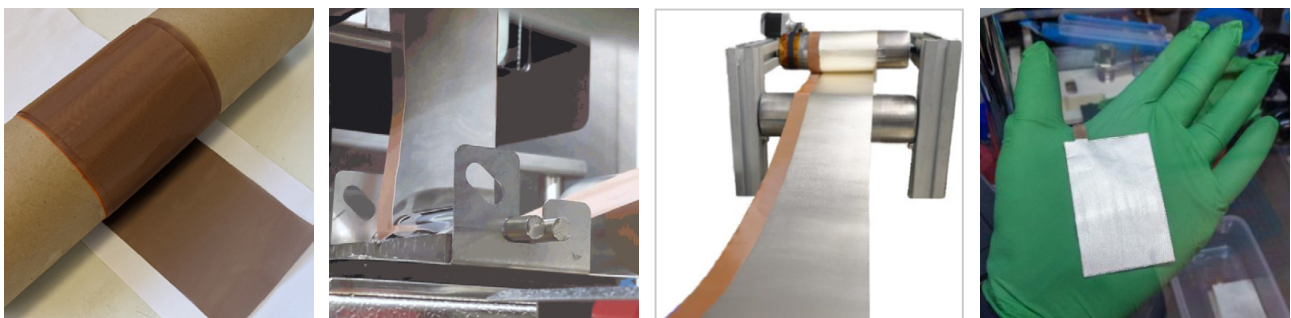


Abbildung 4: Prozesskette zur Herstellung von Lithiumanodenblättern auf Kupferdrahtgeweben. V. l. n. r.: Thermisch modifiziertes Kupferdrahtgewebe; Abscheidung von Lithium auf dem Substrat aus der Schmelze in einem Tauchverfahren; fertig beschichtete Bandware; vereinzelt Elektrodenblatt, Quelle: Fraunhofer IWS

Die auf diese Weise hergestellten Elektrodenblätter wurden zum Aufbau von prototypischen Batteriezellen verwendet. Hierfür wurde ein klassischer Aufbau von Lithium-Ionen-Zellen (NMC-Kathode) gewählt, wobei jedoch anstelle von Graphitanoden die Lithium@Kupferdrahtgewebe-Anoden zum Einsatz kamen. Die Ermittlung der

Energiedichte derartiger Zellen ergab, dass der Stand der Technik (ca. 700 Wh/L) mit 900 Wh/L bei den TexBATT Zellen deutlich übertroffen werden konnte. Zugleich muss jedoch festgestellt werden, dass die Zyklenfestigkeit der Zellen noch deutlich hinter den erhofften Werten zurückbleibt.

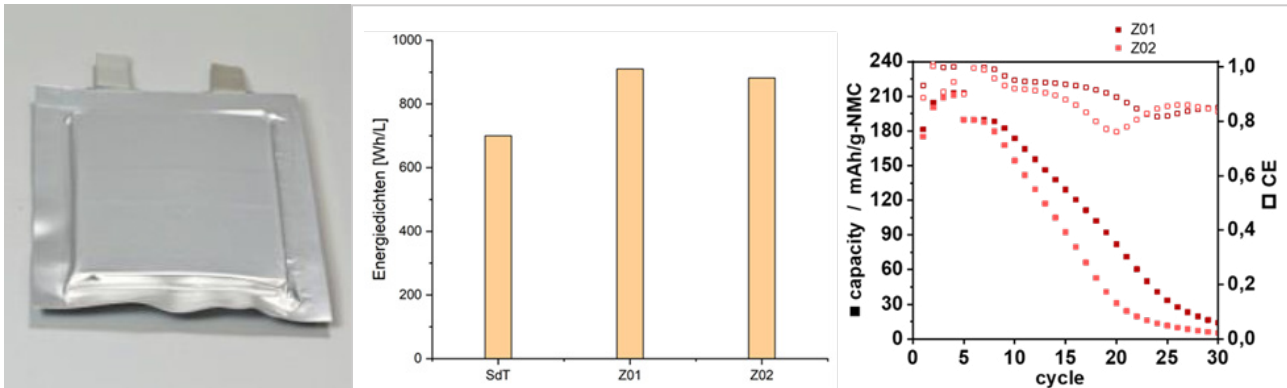


Abbildung 5: Prototypzelle mit Lithium@Kupferdrahtgewebe-Anode (links). Ermittelte Energiedichte zweier solcher Zellen im Vergleich zu Zellen nach dem Stand der Technik (Mitte), Zyklisierverhalten dieser Zellen, Quelle: Fraunhofer IWS

Der vielversprechendste vom STFI maßgeblich vorangetriebene Vliesstoff-Ansatz basierte auf Carbonfasern, welche zur Vliesbildung im Nassvliesverfahren mit PVA-Binder versetzt waren. Derartiges Material konnte durch die TU Dresden im Labormaßstab erfolgreich mit einer Zinkoxidmodifizierung ausgerüstet werden, welche zur Lithiophilisierung des Vliesstoffes führte. Auf Basis dieser Ergebnisse hat das STFI einen Prozess zur Herstellung

von Bandware solcher Vliesstoffe entwickelt und den Partnern entsprechende Rollenware zur Verfügung gestellt. Die kontinuierliche Lithiumbeschichtung des Materials konnte im Rahmen der Vorhabenlaufzeit zwar nicht mehr realisiert werden, dennoch ist das Material aufgrund der Ergebnisse der Vorversuche, seiner Leitfähigkeit sowie seiner strukturellen Eigenschaften als besonders interessant für weitere Entwicklungen anzusehen.

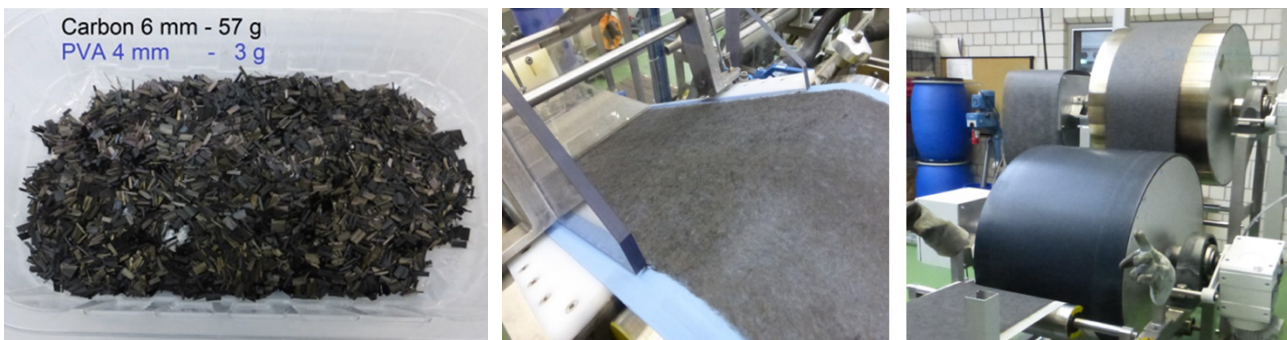


Abbildung 6: Carbonfasern / PVA Ausgangsgemisch (links) und Nassvliesbildung (Mitte, rechts), Quelle: STFI

➤ Verwertung und wirtschaftliche Bedeutung

Im Batteriemarkt, speziell für Lithium-Ionen-Batterien (LIB), wird eine Ablösung der derzeit eingesetzten konventionellen (Graphit-)Anodentechnologien durch Silizium- und Lithium-basierte Hochenergieanoden bis Ende des aktuellen Jahrzehnts erwartet. Da man für den gleichen Zeitraum von einem weiterhin starken Wachstum des LIB-Marktes ausgeht, ist hier ein enormes wirtschaftliches Potenzial abzusehen, welches sich in entsprechender Weise auch auf den Marktanteil im Bereich von Anodentechnologien weiter transportiert.

Die für diese Entwicklungen notwendigen revolutionären Technologien schließen die Etablierung von neuen Verfahren, neuen Materialien und neuen Wertschöpfungsketten ein. Auf diese Weise besteht die Möglichkeit, signifikante Marktanteile und somit auch Arbeitsplätze nach Deutschland und Europa zurückzugewinnen, welche im Bereich konventioneller Batterietechnologien an asiatische Zellhersteller verloren wurden.

Technische Textilien sind derzeit kaum bzw. überhaupt nicht in die Wertschöpfungsketten des LIB-Marktes eingebunden. Entsprechend ist eine große Hürde zu nehmen, derart neue Technologien in den Batteriesektor einzuführen. Die mit TexBATT angestrebten Entwicklungen bewirken durch Eigenschaftskombination von Textil und Aktivmaterial eine deutliche Überlegenheit und Alleinstellungsmerkmale gegenüber Alternativlösungen. Somit wird ein wichtiger Beitrag geleistet, die Vorbehalte des Marktes gegenüber neuen Technologien zu überwinden und die Textilindustrie an den prognostizierten Marktentwicklungen im Batteriebereich zu beteiligen.

Die mit dem Vorhaben gesetzten neuen Impulse führen im Erfolgsfall zunächst zur Schaffung von Arbeitsplätzen in Forschung und Entwicklung und haben mittelfristig ein hohes Arbeitsplatzpotenzial im produzierenden Gewerbe. Zu beachten bleibt jedoch, dass die wirtschaftliche Verwertung von zahlreichen äußeren Einflüssen (Umweltauflagen, Subventionierungen etc.) abhängig sein wird.

Inhaltlich wird eine Technologie adressiert, deren Markteintritt mittelfristig erwartet wird und bei welcher langfristig von einer Etablierung am Markt ausgegangen wird. Entsprechend ist von einer signifikanten wirtschaftlichen Ver-

wertung durch die beteiligten Unternehmen ebenfalls auf dieser Zeitskala auszugehen. Das Konsortium ist entlang der Wertschöpfungskette zur Entwicklung textilbasierter Batterieelektroden aufgestellt. Die am Vorhaben beteiligten Unternehmen sind am Beginn dieser Wertschöpfungskette angesiedelt. Die für eine Anwendung in den beabsichtigten Demonstratorzellen notwendigen Spezifikationen werden durch die Forschungseinrichtungen vorgegeben, welche sich im Vorhabenrahmen am Ende der Wertschöpfungskette befinden und Entwicklungsarbeit leisten, die derzeit noch nicht in diesem Umfang von Industrieunternehmen abgedeckt werden können.

Durch die Einbindung weiterer Partner im Rahmen eines Industriebeirats (Brückner, Mercedes-Benz) wurden die Aspekte der wirtschaftlichen Verwertung der Vorhabenergebnisse weiter gestärkt. Entsprechend konnte durch die so erreichte Innovationskraft des Konsortiums die Wertschöpfung in einem Maße gesteigert werden, welches den beteiligten Unternehmen in diesem Umfang eigenständig nicht möglich war.

Dieses Vorgehen resultiert für die beteiligten Unternehmen u. a. in konkreten verwertungsspezifischen Vorteilen:

- frühzeitige Evaluierung neuer Absatzmärkte,
- frühzeitiges Erkennen wirtschaftlich relevanter technologischer Ansätze,
- frühzeitiges Erarbeiten von Geschäftsmodellen,
- Etablierung von strategischen Partnerschaften zu Maschinen- und Anlagenbauern und zur weiterverarbeitenden Industrie.

Somit ergibt sich für das Verbundkonsortium eine wirtschaftliche Verwertungsstrategie, die auf kurzfristige Optimierung der erarbeiteten Ergebnisse und Technologien und Bemusterung von Anwendern abzielt, um mittelfristig ein Technologieangebot für ein kundenspezifisch angepasstes Hochenergieanodenprodukt etablieren zu können. Entsprechend ist eine Verwertung im Rahmen von Zuliefererverträgen oder als Lizenzgeber für die entsprechenden Technologien als realistisches Szenario anzusehen.

➤ Ausblick

Die im Vorhaben erarbeiteten Erkenntnisse lieferten wichtige Grundlagen für die Erarbeitung eines neuen Anodenkonzeptes für Lithium- und Siliziumanoden, basierend auf dreidimensionalen textilen Substraten. Rund um diese Konzepte wurde im Rahmen des vom BMBF geförderten ExcelBattMat-Zentrums Dresden die Forschungsansätze für das Vorhaben KaSiLi abgeleitet, welches durch Prof. Kaskel (TUD) koordiniert wird und zu einer überregionalen Sichtbarkeit des Batterieforschungsstandortes Dresden beiträgt. Hier werden TexBATT-Ansätze aufgegriffen und auf mechanistisch-materialtechnischer Ebene weiterentwickelt.

Weitere Verwertungen der Ansätze sind auch über F&E-Projekte wie beispielsweise im Rahmen der Forschungsfabrik Batteriezellfertigung Münster denkbar. Dabei könnten vor allem prozesstechnische Fragestellung und Skalierung von Teilprozessen, speziell der besonders weit in TexBATT entwickelten Ansätze auf Drahtgewebe-Basis, im Vordergrund stehen.

Zusätzlich zu den bereits erläuterten Ergebnissen konnten im Rahmen von TexBATT weitere vielversprechende Materialansätze angearbeitet werden. So konnte Norafin mit Hilfe eines externen Partners Silizium-Partikel elektrophoretisch in Vliesstoff-Drahtgewebeverbundsubstrate einbringen. Dem STFI ist es ebenfalls in Zusammenarbeit mit einem externen Partner gelungen, Vliesstoffe zu metallisieren und dabei gleichzeitig lithiophil funktionalisierbar auszurüsten. Derartige Ansätze scheinen durchaus relevant für anknüpfende F&E-Vorhaben.

Insgesamt ist festzuhalten, dass TexBATT bereits frühzeitig Fragestellungen rund um die Batterieentwicklungen aufgegriffen und bereits aus technologisch-wirtschaftlicher Sichtweise beleuchtet hat. Die an TexBATT beteiligten Partner konnten so einen guten Einblick in die Marktsituation und einen Überblick über kommende Trends der Industrie erlangen. Somit können sie gut gerüstet für eine Beteiligung an diesem Wachstumsmarkt aus dem Vorhaben hervorgehen.

➤ Impressum

Konsortialführer Projekt futureTEX:

Sächsisches Textilforschungsinstitut e.V. (STFI)
An-Institut der Technischen Universität Chemnitz
Vorstandsvorsitzender: Dipl.-Ing.Ök. Andreas Berthel
Geschäftsführender Direktor: Dr. Heike Illing-Günther

Postanschrift:

Sächsisches Textilforschungsinstitut e.V. (STFI)
Postfach 13 25
09072 Chemnitz

Besucheradresse:

Sächsisches Textilforschungsinstitut e.V. (STFI)
Annaberger Straße 240
09125 Chemnitz

Kontakt:

Projektleitung: Dirk Zschenderlein
E-Mail: dirk.zschenderlein@stfi.de
Tel.: +49 371 5274-283
Fax: +49 371 5274-153
www.futuretex2020.de

Verbundkoordinator Umsetzungsvorhaben TexBATT:

Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik IWS
Winterbergstraße 28
01277 Dresden
Ansprechpartner: Dr. Benjamin Schumm
Tel.: +49 351 83391-3714
E-Mail: benjamin.schumm@iws.fraunhofer.de

Lektorat und Gestaltung:

P3N MARKETING GMBH
Deubners Weg 10
09112 Chemnitz
Tel.: +49 371 243509-00
Fax: +49 371 243509-19
E-Mail: info@p3n-marketing.de



02/2022