

Sachbericht zum Verwendungsnachweis

Teil 1 – Kurzbericht (max. 2 Seiten)

Vorhabenbezeichnung: PolySafe – Steigerung der Sicherheit von Lithium-Ionen-Batterien durch Metall-Polymer-Komposit-Stromkollektoren	
Zuwendungsempfänger: Brückner Maschinenbau GmbH	Förderkennzeichen 03XP0408C
Projektleiter Alois Körber	Laufzeit 01.08.2021-31.07.2024

1. Ursprüngliche Aufgabenstellung

Ziel des Teilprojekts der Brückner Maschinenbau GmbH war die Entwicklung und Bereitstellung von Polymerfolien mit einem für die Metallisierung sowie für die Anwendung in Metall-Polymer-Komposit-Stromkollektoren optimierten Eigenschaftsprofil.

Die Schwerpunkte der Substratentwicklung lagen im Erreichen einer geringen Folienstärke, einer hohen mechanischen Festigkeit und einer hohen thermischen Stabilität.

2. Ablauf des Vorhabens

Die Polymersubstrate wurden auf den Technikumsanlagen der Fa. Brückner entwickelt, optimiert und produziert. Auf der Laborextrusionsanlage wurden Castfilm-Rollen im Labormaßstab hergestellt. Folienmuster aus diesen Castfilm-Rollen wurden im Anschluss auf dem Laborreckrahmen im diskontinuierlichen Reckprozess verstreckt. So konnten die Verstreckbarkeit und das Verarbeitungsfenster sowie die Eigenschaften der verstreckten Folien charakterisiert und im Labormaßstab beurteilt werden. Mittels Coextrusion wurden auch Mehrlagenfolien mit funktionalen Außenschichten hergestellt, im Folienlabor charakterisiert und bewertet.

Auf der Pilotanlage wurden mehrere Kampagnen kontinuierlicher Reckversuche mit unterschiedlichen Zielstellungen durchgeführt. Es wurden Musterrollen sowohl im simultan-biaxialen als auch im sequenziell-biaxialen Reckmodus hergestellt. Die Eigenschaften der produzierten Folienrollen wurden im Folienlabor ausgewertet und der Einfluss des Reckmodus auf die Folieneigenschaften bewertet. Zudem wurde die Homogenität der Folieneigenschaften entlang der Breite der Folienbahn bewertet und der Einfluss der Reckparameter auf die Homogenität der Eigenschaften untersucht. Mittels Inline-Coating-Technologie wurde einseitig eine funktionale Schicht im laufenden Reckverfahren aufgetragen, um den Einfluss der haftvermittelnden Beschichtung auf die Qualität der anschließenden Metallisierungsprozesse zu untersuchen.

3. Wesentliche Ergebnisse

Im Folienlabor wurden zunächst kommerzielle Polyester-Folien analysiert, welche am Markt als Benchmark für Ableiterfolien eingesetzt werden. Die so ermittelten Folieneigenschaften wurden zunächst als Ziel für die in den Musterrollen zu erreichenden Folieneigenschaften übernommen.

Durch die Coextrusions-Versuchsreihen an der Laborextrusionsanlage und der Verstreckung der Folien am Laborreckrahmen konnte ein für Dünnsfolien optimales Antiblock-Masterbatch identifiziert werden. Dieses Antiblock-Masterbatch wurde anschließend auch bei allen Kampagnen an der Pilotanlage eingesetzt.

In einer ersten Kampagne an der Pilotanlage wurden zunächst mit Standard-Einstellungen 10 und 8 μm dicke Folienbahnen hergestellt. Die Folienbahnen wurden anschließend bei Kampf auf die erforderliche Breite zugeschnitten und zur Beschichtung an das Fraunhofer FEP verschickt. Zur Herstellung noch dünnerer Folien im Bereich von 6 μm wurde das Anlagen-Setup optimiert und ein Reckprozess hierfür entwickelt.

In weiteren Kampagnen wurde der Einfluss von Reckparametern und Reckverfahren auf die Folieneigenschaften untersucht. Folieneigenschaften wie z.B. der Folienschwund und die mechanischen Eigenschaften wurden im Hinblick auf die Anwendung in Polymer-Komposit-Stromkollektoren optimiert. Die Erhöhung des Längsreckverhältnisses führte zu höheren Festigkeiten aber auch zu einer Verringerung der Bruchdehnung in Längsrichtung der Folienbahn. Im Hinblick auf die Folieneigenschaften konnten in simultan biaxial verstreckten Folienbahnen keine Vorteile gegenüber den wirtschaftlicher herstellbaren, sequenziell biaxial verstreckten Folienbahnen gefunden werden.

Zur Untersuchung des Einflusses der Haftungseigenschaften wurden an der Pilotanlage Reckversuche mit einer Inline-Beschichtungseinheit durchgeführt und einseitig mit Haftvermittlern beschichtete Folienrollen hergestellt. Durch die Metallisierung dieser Folienrollen im Fraunhofer FEP sollte analysiert werden, ob die Beschichtung zu einer verbesserten Metallisierbarkeit im Elektronenstrahl-Verdampfungsverfahren führt. Rückmeldungen hierzu stehen zum Zeitpunkt der Erstellung des Berichts noch aus.

Sachbericht zum Verwendungsnachweis

Teil 2 – Eingehende Darstellung (max. 20 Seiten)

Vorhabenbezeichnung: PolySafe – Steigerung der Sicherheit von Lithium-Ionen-Batterien durch Metall-Polymer-Komposit-Stromkollektoren	
Zuwendungsempfänger: Brückner Maschinenbau GmbH	Förderkennzeichen 03XP0408C
Projektleiter Alois Körber	Laufzeit 01.08.2021-31.07.2024

1. Durchgeführte Arbeiten und erzielte Ergebnisse des Teilvorhabens

Eingehende Darstellung der Aufgaben gemäß der ursprünglichen Aufgabenstellung (gem. UAP der TVB).

Übergeordnetes Ziel des Teilvorhabens der Brückner Maschinenbau GmbH („BM“) war die Entwicklung von Polymersubstraten für den Einsatz in Metall-Polymer-Komposit-Stromkollektoren.

Im Arbeitspaket 0.1 Technische Projektspezifikation erfolgte zunächst die technische Spezifikation der Polymerfolie. Zusammen mit den Verbundpartnern wurden die Eckdaten der zu entwickelnden Polymersubstrate erarbeitet. Der Fokus bei der Wahl des Polymertyps wurde auf Polyethylenterephthalat („PET“) gelegt. Daraus hergestellte biaxial verstreckte PET-Folien (kurz: „BOPET“-Folien“) bieten in mehrererlei Hinsicht gute Voraussetzungen für den Einsatz in Metall-Polymer-Komposit-Stromkollektoren. Einerseits sind BOPET-Folien auf Grund ihrer teilkristallinen Struktur bis zu einer Einsatztemperatur von 150°C nahezu temperaturstabil. Andererseits besitzen BOPET-Folien allgemein gute mechanische Eigenschaften. Dazu zählen ein für Polymerfolien vergleichsweise hoher Elastizitätsmodul und eine hohe Reißfestigkeit bei gleichzeitig geringer Sprödigkeit der Folien. Durch eine geschickte Wahl der Reckparameter können die Eigenschaften im Folienherstellungsprozess noch weiter verbessert und für die Anwendung in Metall-Polymer-Komposit-Stromkollektoren optimiert werden. Aus anderen Anwendungsbereichen von BOPET Folien wie z.B. dem Verpackungsbereich ist bekannt, dass zwischen aufgedampften Metallschichten und der BOPET-Folie eine ausreichend gute Haftung sichergestellt werden kann. Metallisierte BOPET Folien sind im Verpackungsbereich Stand der Technik, allerdings sind hier die BOPET Folien mit 12 µm deutlich dicker und die benötigten Metallschichtdicken mit 0,05 bis 0,10 µm deutlich dünner als es für die Anwendung in Metall-Polymer-Komposit-Stromkollektoren erforderlich ist.

Die Dicke der auf der Pilotanlage herzustellenden BOPET Foliensubstrate wurde auf 6, 8 und 10 µm spezifiziert. Der Fokus sollte laut Fraunhofer FEP dabei aus Gründen der leichteren Prozessführung bei der Elektronenstrahlbedampfung auf 8 µm liegen. Die Reißfestigkeit in Längsrichtung der Folienbahn wurde für 8 µm dicke BOPET Folien auf mindestens 160 bis 180 MPa spezifiziert. Für BOPET Folien in diesem Dickenbereich und mit der spezifizierten

Reißfestigkeit wurde angenommen, dass bei der Beschichtung auf der CoFlex600 im Fraunhofer FEP die für das „Glatt-Ziehen“ der Folienbahn notwendigen Bahnzüge in die Folie eingebracht werden können, ohne einen Folienriss zu verursachen. Stellvertretend für die Temperaturstabilität der BOPET Folien wurde der „Schrumpf“ mit <1 % in Längs- und Querrichtung der Folienbahn bei den für BOPET üblichen 150°C und einer Lagerdauer im Schrumpfen von 30 Minuten spezifiziert. Weitere Spezifikationen betrafen die erwartete Rollenlänge (5000 m), die Bahnbreite (500 bis 620 mm) und den Hülsendurchmesser (6 Zoll).

Die wirtschaftlichen Anforderungen an die auf der Pilotanlage hergestellten BOPET-Folien traten zunächst in den Hintergrund. Eine allgemeine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung inklusive der Betrachtung der Anforderungen an die Herstellungskosten der Polymersubstrate für die Anwendung in Metall-Polymer-Komposit-Stromkollektoren erfolgte im Rahmen des Arbeitspaketes 6 *Wirtschaftlichkeitsbetrachtung Polymerfolienherstellung*.

Das Arbeitspaket 1 *Entwicklung von Polymerfolien* umfasste die Gesamtheit der praktischen Arbeiten der Fa. Brückner im Rahmen des Förderprojekts „PolySafe“.

Im Arbeitspaket 1.1 *Anpassung Folieneigenschaften im Labormaßstab* wurden zunächst Untersuchungen zu den Grundlagen der Verstreckbarkeit dünner PET-Castfolien durchgeführt. In umfangreichen Testreihen wurden verschiedene Antiblock-Masterbatch Typen zum PET-Rohstoff zudosiert und Castfolien im Labormaßstab extrudiert. Die extrudierten Castfolien wurden am Laborreckrahmen verstreckt und die verstreckten Muster anschließend im Labor analysiert. Neben der klassischen, taktilen Messung des Reibungskoeffizienten wurden die Folien auch mit einem Laser Scanning Mikroskop untersucht. So konnte die Gleichmäßigkeit der Partikelgröße und die Partikelverteilung beurteilt werden.

Tabelle 1: Rauheitsdaten von BOPET Folien mit unterschiedlichen Antiblock-Masterbatch Typen.

%-Anteil Antiblock-Masterbatch	Antiblock-Masterbatch (Typ)	Partikelhöhe (µm)	Ra (µm)	Rz (µm)
0	Ohne	-	-	-
4	PTAB040	2.02	0.13	1.33
6	PTAB040	1.90	0.17	1.49
4	PTAB042	1.96	0.14	1.57
6	PTAB042	3.05	0.23	2.06
4	PTAB050	1.21	0.06	0.70
6	PTAB050	1.65	0.11	1.14
4	PTAB094	0.74	0.08	0.72
6	PTAB094	1.18	0.12	1.31
4	T dc S616C	1.34	0.10	0.52
6	T dc S616C	1.83	0.18	1.08
4	T dc S718	0.80	0.05	0.28
6	T dc S718	1.36	0.16	1.11
4	T dc S725	2.38	0.19	1.47
6	T dc S725	2.18	0.19	1.46

Auch die Höhe der größten Partikel an der Folienoberfläche und die Rauheitswerte (Mittenrauheit Ra, max. Rautiefe Rz) der Folienoberflächen wurden mittels LSM-Software ermittelt (siehe Tabelle 1). Auf Basis dieser Ergebnisse wurde das T dc S718 für die weiteren Versuche an der Pilotanlage ausgewählt.

Das Arbeitspaket 1.2 *Oberflächenbehandlung* wurde im Rahmen der dritten Versuchskampagne an der Pilotanlage bearbeitet. Ziel der Oberflächenbehandlung war die Verbesserung der Haftung zwischen Polymerfolie und Metallbeschichtung. Die Technologie zur Inline-Beschichtung von Polyesterfolien ist im Verpackungsbereich Stand der Technik. Auch BOPET Folien für den Verpackungsbereich werden inline mit Haftvermittlern beschichtet, um bei der anschließenden Metallisierung eine bessere Haftung der Metallschicht zur Polymerfolie zu erreichen. Durch die verbesserte Haftung ergeben sich weniger Fehlstellen in der aufgedampften Metallschicht und damit auch eine deutlich verbesserte Wasserdampf- und Sauerstoffbarriere. Ein weiterer Vorteil der inline-Beschichtung im biaxialen Folienreckprozess ist, dass man mit der inline-Beschichtung deutlich kleinere Antiblock-Partikel in die Folien einbringen kann als dies mit der Coextrusion von Antiblock-haltigen Masterbatches der Fall ist (siehe Abbildung 1). Da die trockene Beschichtungsdicke auf der fertigen Folie im Bereich zwischen 0,05 und 0,10 μm liegt wird bereits mit Partikeln im Größenbereich von $<100\text{ nm}$ eine ausreichend gute Antiblock-Wirkung erreicht. Derartige Antiblock-Partikel werden synthetisch hergestellt und können mit einer sehr engen Partikelgrößenverteilung produziert werden. Dagegen sind in den ca. 1 μm dicken coextrudierten Skinlayern Partikel von mindestens 0,7 bis 1 μm notwendig. Da es sich hierbei oftmals um Silika-Partikel handelt, weisen diese auch eine deutlich breitere Partikelgrößenverteilung sowie eine kantige Kontur auf.

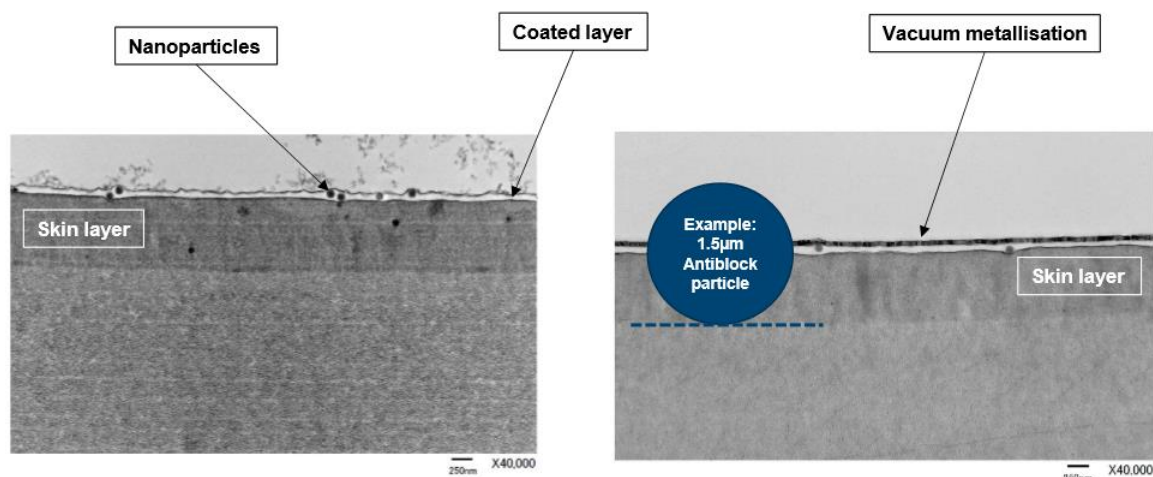


Abbildung 1: Effekt der inline-Beschichtung mit Antiblock-Partikeln im Folienherstellungsprozess.

Übertragen auf die Anwendung von Metall-Polymer-Komposit-Stromkollektoren könnte man durch die inline-Beschichtung eine verbesserte Leitfähigkeit der Metallschicht nach dem Beschichtungsschritt erwarten. Die inline-Beschichtung an der Pilotanlage wurde nur an der Unterseite der Folienbahn vorgenommen. Dadurch besteht die Möglichkeit zum Vergleich der Qualität der Metallschichten mit und ohne inline-Beschichtung der Folienoberfläche.

Im Rahmen der dritten Versuchskampagne wurden neben einer unbeschichteten Referenzfolienbahn auch Folienrollen mit unterschiedlichen Beschichtungsmaterialien inline beschichtet. Die einseitig inline beschichteten Folienrollen wurden anschließend bei der Fa. Kampf auf die erforderliche Breite zugeschnitten und dann dem Fraunhofer FEP für Metallisierungsversuche

zur Verfügung gestellt. Eine Rückmeldung zur Wirkung der inline-Beschichtung auf die Metallisierbarkeit der Folien durch das Fraunhofer FEP steht zum Zeitpunkt der Berichterstellung noch aus.

Tabelle 2: Übersicht zu den Musterrollen aus der 3. Versuchskampagne.

Roll ID	Länge (m)	Coating
0B221215 1108	2810	NeoCryl BT-67 ST*: 40; Haze: 0,3 %
0B221215 1209	3480	NeoCryl BT-67 ST: 40; Haze: 0,4 %
0B221215 1347	5050	Uradil ZW-16760 ST: 48; Haze: 0,4 %
0B221216 1158	5110	Ohne Haze: 8,4 %

Im Arbeitspaket 1.3 *Entwicklung Rolle-zu-Rolle-Prozess* wurden mehrere Versuchskampagnen durchgeführt. In einer ersten Kampagne wurden mittels sequenziell biaxialer Verstreckung mehrere Folienrollen im Dickenbereich zwischen 6 und 10 µm und Rollenlängen zwischen 1500 und 5000 m hergestellt. Ebenso wurde dabei der Einfluss des Verstreckgrades in Maschinenrichtung (MDx) und quer zur Maschinenrichtung (TDx) untersucht (Tabelle 3). Hierbei wurde ein deutlicher Einfluss des MDx auf die Reißfestigkeit („Tensile Strength“ in Tabelle 3) beobachtet. Bei den Folien mit einer Dicke von 10 µm führt ein Reckverhältnis von 3 x 3,4 (MDx: 3; TDx: 3,4; Roll-ID 0B211119 1421) zu einer Reißfestigkeit von 232 MPa in Längsrichtung, ein Reckverhältnis von 3,2 x 3,7 (Roll-ID 0B211122 0926) führt bereits zu einer deutlichen Erhöhung der Reißfestigkeit in Längsrichtung auf 266 MPa. In Querrichtung bleibt die Reißfestigkeit dagegen konstant bei 300 MPa.

Bei den Folien mit einer Dicke von 8 µm wurde derselbe Zusammenhang festgestellt. Die Reißfestigkeit in Längsrichtung steigt durch die Erhöhung des MDx von 3,2 (Roll-ID 0B211122 1126) auf 3,7 (Roll-ID 0B211122 1505) von 244 auf 295 MPa. Somit stellt das Längsreckverhältnis einen wesentlichen Parameter bei der Optimierung der Folieneigenschaften für deren Anwendung als Metall-Polymer-Komposit-Ableiterfolien dar.

Tabelle 3: Rollenübersicht aus der ersten Kampagne sequenzieller Reckversuchen an der Pilotanlage der Fa. Brückner.

Roll-ID	Roll length	Width	Thickness	Tensile Strength		Elongation		E-Modulus		COF T/T		Thermal Shrinkage	
				MD	TD	MD	TD	MD	TD	µs	µk	MD	TD
				MPa	MPa	%	%	MPa	MPa	-	-	%	%
0B2111191421	3700	800	10.1	232	299	158	102	4529	6157	0.5	0.5	1.5	1.6
0B2111220926	5000	800	10.3	266	300	144	92	4568	5594	0.5	0.5	2.0	1.9
0B211122 1126	5000	800	8.5	244	328	132	91	4378	5653	0.5	0.5	1.8	1.7
0B211122 1505	1500	800	7.9	295	272	120	82	4774	5238	0.5	0.5	1.7	1.5
0B211123 0834	3000	800	7.4	294	320	129	90	4543	5357	0.7	0.6	2.4	1.8
0B211123 1036	4000	800	6.1	279	308	135	93	4540	5475	0.7	0.6	1.8	1.8
0B211123 1200	4000	800	6.1	254	295	122	91	4489	5356	0.5	0.5	1.8	1.9

In der zweiten Versuchskampagne wurden mittels simultan biaxialer Verstreckung weitere Musterrollen für nachfolgende Beschichtungsversuche hergestellt (siehe Tabelle 4). Die simultan biaxiale Verstreckung unterscheidet sich von der sequenziell biaxialen Verstreckung in der Abfolge der Längs- und Querverstreckung, der daraus resultierenden Morphologie und der Molekulanordnung in der verstreckten Folie und damit auch in dem daraus resultierenden Eigenschaftsprofil der Folien. Die simultan biaxiale Verstreckung bietet zudem die Möglichkeit, durch eine Längsrelaxierung der Folienbahn im Bereich der Thermofixierung den Längsschrumpf zu minimieren. Vergleicht man das Eigenschaftsprofil von BOPET Folien aus der sequenziellen Verstreckung mit simultan verstreckten Folien fallen zwei Unterschiede auf. Erstens kann durch die bereits erwähnte Möglichkeit der Längsrelaxierung im Bereich der Thermofixierung der Schrumpf in Längsrichtung auf etwa 0,5 % reduziert werden (siehe Musterrolle 0B2204071249). Sequenziell verstreckte Folien mit einer ähnlichen Zugfestigkeit von ca. 260 MPa haben dagegen einen Schrumpf von 1,8 % (0B2111231200) bis 2,0 % (0B2111220926). Die zweite Auffälligkeit ist in der deutlich höheren Bruchdehnung in Querrichtung der simultan biaxial verstreckten Folien zu finden. Während die Bruchdehnung in Querrichtung der sequenziell verstreckten Folien meist deutlich unter 100 % liegt, ist diese für simultan biaxial verstreckte Folien auch bei einer Zugfestigkeit in Querrichtung von etwa 270 MPa noch bei 120 (0B2204081117) bis 140 % (0B2204071213).

Tabelle 4: Rollenübersicht aus der zweiten Versuchskampagne (simultan biaxiale Verstreckung).

Roll-ID	Roll length	Width	Thickness	Tensile Strength		Elongation		E-Modulus		COF T/T		Thermal Shrinkage - 150/30		
				MD	TD	MD	TD	MD	TD	μs	μk	MD	TD	
				MPa	MPa	%	%	MPa	MPa	-	-	%	%	
0B220407 1027	5000	800	9.8	248	251	150	143	4184	4264	#	#	0.3	1	0.8
0B220407 1213	1600	800	9.7	246	269	147	140	4124	4397	0.3	0.3	1.2	1.1	1.1
0B220407 1249	5000	800	10.0	256	262	153	139	4187	4560	0.3	0.3	0.5	0.9	0.9
0B220407 1429	1100	800	7.3	245	273	139	136	4190	4488	0.3	0.3	1.2	1.1	1.1
0B220407 1510	480	800	8.0	250	246	140	113	4151	4468	0.3	0.3	1.1	1.1	1.1
0B220408 0936	4200	800	7.9	212	257	187	104	3786	4871	0.3	0.3	0.9	1.1	1.1
0B220408 1117	5000	800	7.9	256	266	123	119	4367	4611	0.4	0.4	0.8	1.2	1.2
0B220408 1328	5000	800	8.0	271	250	130	154	4475	4135	0.3	0.3	0.8	0.6	0.6

In einer weiteren Versuchskampagne wurde die Veränderung der Eigenschaften entlang der Arbeitsbreite untersucht. Auf Grund der abweichenden Moleküllorientierungsrichtung entlang der Arbeitsbreite sind die längs und quer zur Folienlaufrichtung gemessenen Folieneigenschaften in der Regel nicht konstant. Abweichungen der mechanischen Eigenschaften entlang der Arbeitsbreite führen in Verarbeitungsprozessen wie der Bedruckung oder Metallisierung zu unterschiedlichen Bahnzügen in der Folie und damit zu unterschiedlichen Bedruckungs- oder Beschichtungsergebnissen. Aus diesem Grund wird stets eine möglichst gleichmäßige Verteilung der Eigenschaften entlang der Arbeitsbreite der Folienbahnen angestrebt. Die Darstellung in Abbildung 2 zeigt beispielhaft den Effekt der veränderlichen Zugfestigkeit (gemessen parallel zur Folienlaufrichtung) entlang der Arbeitsbreite der Musterrolle 0B2307030904 aus der Versuchskampagne vom Juli 2023. Im Gegensatz dazu sind die längs und quer zur Folienlaufrichtung gemessenen Zugfestigkeitswerte der Musterrolle 0B2307031317 entlang der Arbeitsbreite sehr gleichmäßig (Abbildung 3).

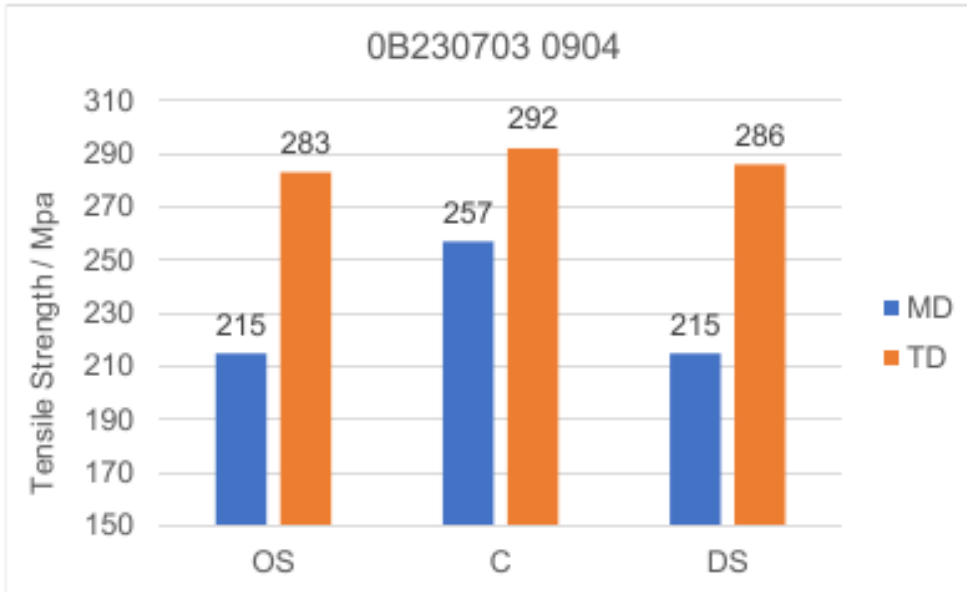


Abbildung 2: Niedrigere Zugfestigkeit in Längsrichtung (MD) an den Rändern (OS: Folienrand Bedienseite; DS: Folienrand Antriebsseite) als in der Mitte der Folienbahn (C) in Musterrolle OB230703 0904.

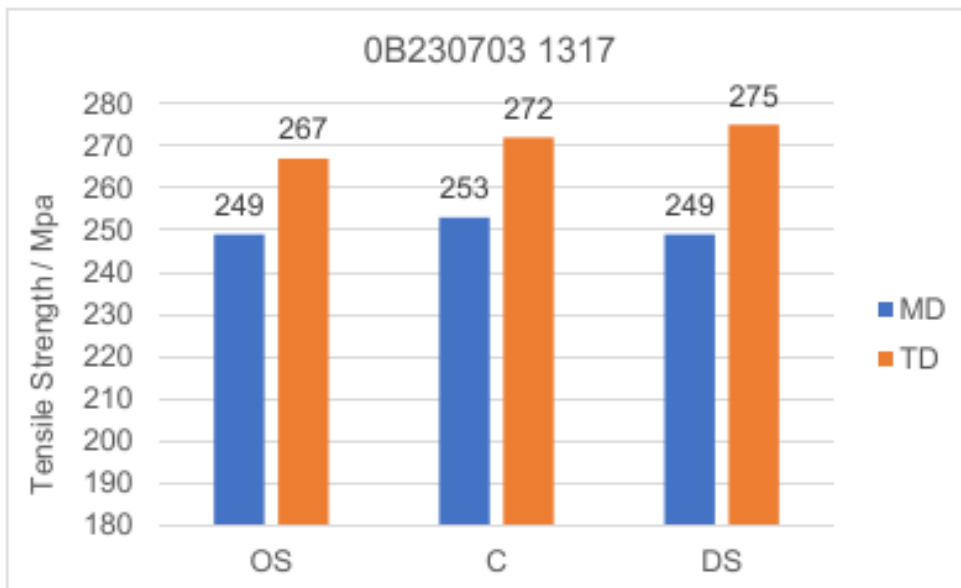


Abbildung 3: Ausgeglichene Zugfestigkeit in Längsrichtung (MD) und Querrichtung (TD) entlang der gesamten Arbeitsbreite in Musterrolle OB230703 1317.

In einer weiteren Versuchskampagne wurden Folien mit einseitiger inline-Beschichtung hergestellt. Details dazu wurden bereits weiter oben unter den Ausführungen zum Arbeitspaket 1.2 Oberflächenbehandlung dargestellt.

In einer weiteren Versuchskampagne wurden die Wickelparameter bei der Herstellung von 6 µm BOPET Folien optimiert. Durch die Optimierung der Wickelparameter konnte die Wickelqualität deutlich verbessert werden (siehe hierzu die Musterrollen in Abbildung 4 und Abbildung 5 im Vergleich).

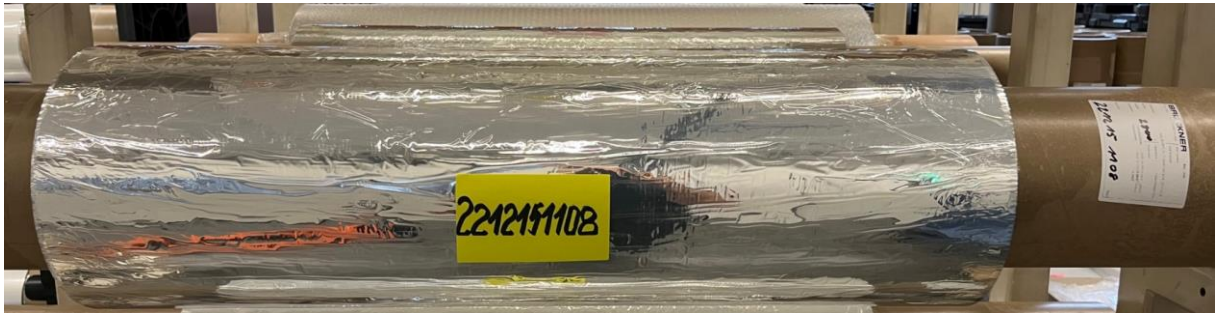


Abbildung 4: Musterrolle vor der Optimierung der Wickelparameter (Dez 2022).



Abbildung 5: Mit optimierten Wickelparametern gewickelte Musterrolle (Okt 2023).

Dem Arbeitspaket 1.4 Analytik Polymersubstrate sind alle Tätigkeiten rund um die Auswertung von Folieneigenschaften zugeordnet.

Um einen Eindruck über typische Eigenschaftsprofile von BOPET-Folien im Dickenbereich von 6 und 8 µm zu erhalten wurden zunächst kommerzielle BOPET-Folien (= Stand der Technik) verschiedener Hersteller analysiert. Die Ergebnisse sind Tabelle 5 zu entnehmen. Hervorzuheben sind hier die in Längsrichtung der Folienbahn gemessenen hohen Werte der Zugfestigkeit (bzw. Reißfestigkeit) bei der „PET 8 µm“ Folie sowie bei der „Folie A“. Der Folientyp „Mylar C 6 µm“ zeigt dagegen für BOPET Verpackungsfolien typische Zugfestigkeitswerte in Längs- und in Querrichtung der Folienbahn. Bei den Rauheitswerten (Ra, Rz) und der Temperaturstabilität („Thermal Shrinkage 150/30“) zeigt keine der Folien besondere Auffälligkeiten. Die optischen Kennwerte der Folien (Transmittance, Haze, Clarity und Gloss) zeigen ebenfalls keine Auffälligkeiten, sind für die Anwendung in Metall-Polymer-Komposit-Stromkollektoren aber auch nicht relevant.

Tabelle 5: Ergebnisse der Analyse von kommerziellen 6 und 8 µm BOPET Folien. MD: Machine Direction / Folienlaufrichtung; TD: Transverse Direction / Querrichtung zur Folienlaufrichtung.

Sample			Folie A 6 µm	Folie B 6 µm	Folie B 6 µm	Mylar C 6µm	PET 8µm	
Description		Unit	Average	Average	Average	Average	Average	Method
Thickness - nom. Value		µm	6.0	6.0	6.0	6.0	8.0	
Thickness	TD	µm	6.15	6.12	6.45	5.93	8.00	DIN ISO 4593
Tensile Strength	MD	MPa	274	244	243	220	293	ASTM D 882
	TD	MPa	260	243	223	252	252	ASTM D 882
Elongation at Break	MD	%	85	93	82	118	97	ASTM D 882
	TD	%	101	106	108	93	113	ASTM D 882
Modulus of Elasticity	MD	MPa	5799	5573	6157	5037	5460	ASTM D 882
	TD	MPa	5171	5240	4979	5677	4698	ASTM D 882
F 5 - Value	MD	MPa	123	115	119	110	120	ASTM D 882
	TD	MPa	107	103	105	110	105	ASTM D 882
Surface Roughness upside	Ra	µm	0.2	0.2	0.3	0.1	0.2	DIN EN ISO 4287
	Rz	µm	1.3	1.3	1.7	0.6	1.1	DIN EN ISO 4287
	Rmax	µm	1.8	2.1	2.4	0.9	1.6	DIN EN ISO 4287
	Rt	µm	1.8	2.1	2.4	0.9	1.6	DIN EN ISO 4287
Surface Roughness downside	Ra	µm	0.2	0.2	0.3	0.1	0.2	DIN EN ISO 4287
	Rz	µm	1.4	1.4	1.7	0.6	1.2	DIN EN ISO 4287
	Rmax	µm	1.9	1.9	2.2	1.1	1.8	DIN EN ISO 4287
	Rt	µm	2.0	2.0	2.3	1.1	1.8	DIN EN ISO 4287
Transmittance		%	91	92	90	90	91	ASTM D 1003
Haze		%	4.2	4.3	3.9	4.7	4.4	ASTM D 1003
Clarity		%	95	94	94	97	95	ASTM D 1003
Gloss	upside	45°	120	106	120	117	121	ASTM D 2457
	downside	45°	118	108	122	115	121	ASTM D 2457
Thermal Shrinkage 150/30	MD		1.9	1.6	2.0	2.0	3.0	BMS TT 1.1
	TD		0.2	-0.1	0.3	1.0	2.0	BMS TT 1.1
Corona Treatment	upside	mN/m	>58	40	46 - 48	52	>58	ASTM 2578
	downside	mN/m	46 - 48	40	46 - 48	54	54	ASTM 2578

Neben der klassischen Rauheitsmessung mit einem taktilen Messverfahren wurden die Oberflächen der kommerziellen Folien auch in einem Laser-Scanning-Mikroskop („LSM“) analysiert. Die mit dem LSM erstellten Bildaufnahmen (siehe Abbildung 6) lassen Rückschlüsse auf die verwendeten Antiblock¹-Masterbatch-Typen zu. Während die maximale Partikelgröße bei „Folie A“, „Folie C“ und bei „PET 8 µm“ auf beiden Folienoberflächen im Bereich mehrerer Mikrometer liegt, zeigt die „Mylar C 6 µm“ Folie eine deutlich feinere Struktur an der Oberfläche. Dies spiegelt sich auch in den geringeren Rauheitswerten der „Mylar C 6 µm“ wider. Für die Anwendung in Metall-Polymer-Komposit-Stromkollektoren ist eine möglichst glatte Oberfläche zu bevorzugen. Auch wenn die Dicke der Metallbeschichtung mit >1 µm etwa dem 10 bis 20-Fachen der Beschichtungsdicke von metallisierten BOPET-Verpackungsfolien entspricht, ist dennoch zu erwarten, dass Partikel, welche einen Mikrometer oder mehr aus der Folienoberfläche herausragen, die Leitfähigkeit der aufgetragenen Metallschichten beeinflussen, z.B. verursacht durch Dünnstellen der Metallschicht an den steilen Flanken der aus der Oberfläche hervorstehenden Partikel.

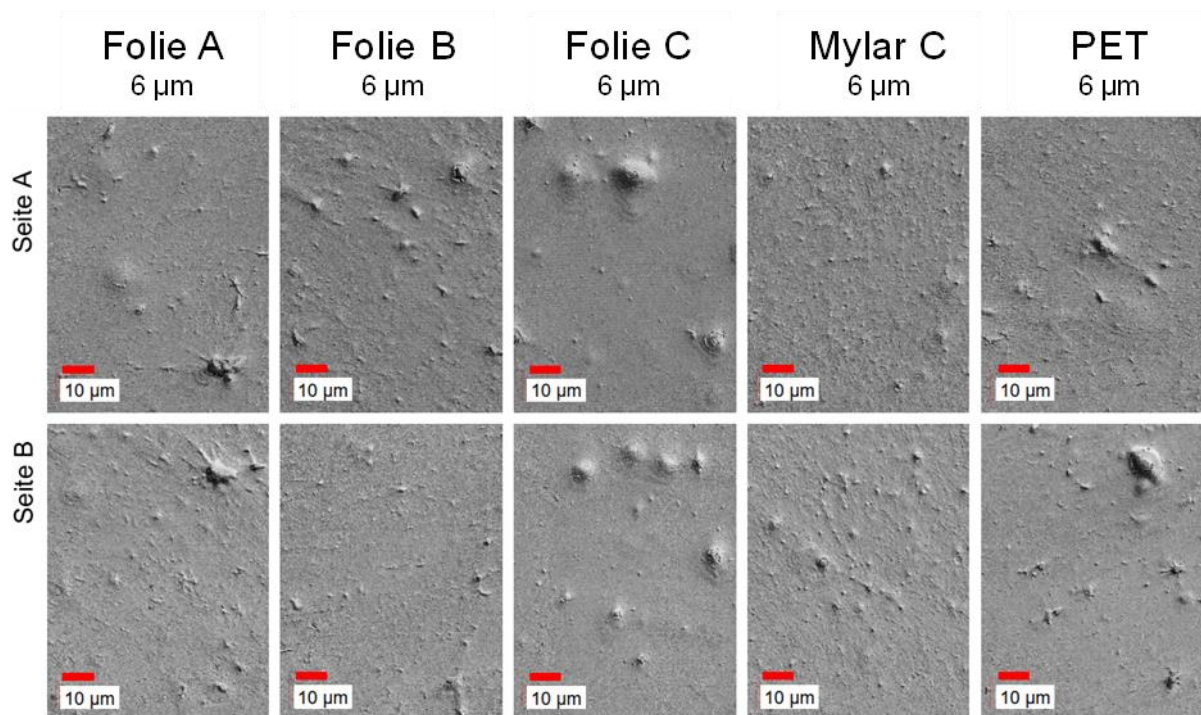


Abbildung 6: Folienoberflächen im Laser-Scanning-Mikroskop.

¹ Antiblock-Partikel sind Partikel, die der Folie meist in die oberflächen-nahen Schichten zugegeben werden. Sie wirken als Abstandshalter zwischen den Folienlagen beim Auf- und Abwickeln der Folienbahnen. BOPET-Folienbahnen, die keine Antiblock-Partikel enthalten, würden durch Verblocken bereits beim Aufwickeln, spätestens aber beim Ab- oder Umwickeln der Folienrollen beschädigt. Das Ein- oder Aufbringen von Antiblock-Partikeln kann entweder durch Zudosieren eines Antiblock-Partikel enthaltenden Masterbatches oder durch inline-Beschichtung der Folienbahn mit einer Antiblock-Partikel enthaltenden Beschichtungsflüssigkeit erfolgen.

Weitere Arbeiten im Bereich der Polymeranalytik wurden im Zusammenhang mit den Versuchen im Labor- und im Pilotmaßstab durchgeführt. Die Ergebnisse dazu wurden bereits in den jeweiligen vorangegangenen Kapiteln beschrieben.

2. Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Hier sind die für das Vorhaben wichtigsten Positionen des VN aufzuzeigen und ggf. Abweichung (Minderbedarf, Mehrbedarf, Mittelumwidmungen während der Laufzeit) zu nennen und zu begründen.

Ein detaillierter zahlenmäßiger Nachweis über die Verwendung der bereitgestellten Fördermittel wird dem Projektträger mit dem Formular „Zahlenmäßiger Nachweis gem. Nr. 4.1 NKBF 2017“ übermittelt.

Gemäß dem Arbeitsplan lag seitens der Brückner Maschinenbau GmbH das Hauptaugenmerk auf der Folienherstellung und der Foliencharakterisierung. Die zur Verfügung gestellten Mittel wurden zur Bearbeitung der entsprechenden Arbeitspakete verwendet.

Die Technologie der Metall-Polymer-Komposit-Stromkollektoren war der Brückner Maschinenbau zu Beginn des Projekts völlig neu. Die mit dem Projekt vertrauten Ingenieure und Techniker mussten sich von Grund auf in die Hintergründe, den Stand der Technik, die Herstellungs- und Verarbeitungsprozesse sowie in die betreffende Materialkunde einarbeiten.

Für die Herstellung von biaxial verstreckten Polymerfolien ist der Bezug von Rohstoffen und der Betrieb von verschiedenen Maschinen und Anlagen erforderlich. Bei Brückner stehen zur Verarbeitung von Kunststoffen eine Laborextrusion, ein Laborreckerahmen sowie eine Pilotanlage zur kontinuierlichen Herstellung von biaxial verstreckten Folien zur Verfügung. Insbesondere beim Betrieb der Pilotanlage fallen neben Kosten für den Betrieb der Anlage entsprechend hohe Materialkosten und hohe Personalkosten an. Die hohen Personalkosten bei der Durchführung von Versuchen an der Pilotanlage begründen sich zum einen darin, dass für einen reibungslosen Betrieb der Anlage ein 8-köpfiges Team notwendig ist und zum anderen die erzeugten Folien während und nach den Versuchen im gut ausgestatteten Labor bei Brückner von Fachpersonal hinsichtlich verschiedenster Folieneigenschaften ausgewertet werden. Im haus-eigenen Labor wurden neben den bei Brückner hergestellten Folien auch Folien charakterisiert, die von den Projektpartnern zur Verfügung gestellt wurden. Folglich sind auch hier Personalkosten bei der Durchführung der Foliencharakterisierung und Auswertung angefallen.

Die Planung und Auswertung von Untersuchungen und Versuchen erfolgte durch ausgebildete Ingenieure.

3. Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse

Wie können die Projektergebnisse zukünftig genutzt werden? Wie wurden die Ergebnisse möglicherweise schon genutzt (bspw. bei Konferenzteilnahme)? Welche konkreten Planungen bestehen zur Nutzung der Ergebnisse nach Projektende.

Ein wichtiger Aspekt für die Teilnahme der Brückner Maschinenbau GmbH an diesem Projekt war, dass man neben der bekannten Herstellung von Batterien und Separatorfolien einen detaillierten Einblick in die Wertschöpfungskette der Batterieherstellung erhält. Der Einblick in verschiedene Prozessstufen wie Metallisierung, Kalandrieren und Batterieherstellung führte zu einem besseren Verständnis hinsichtlich der notwendigen Anforderungen an Folien für deren Verwendung in Metall-Polymer-Komposit-Stromkollektoren.

Durch die gewonnenen Erkenntnisse ist es Brückner möglich, Reckanlagen für Folien im Anwendungsbereich Metall-Polymer-Komposit-Stromkollektoren auszulegen und anzubieten. Für die kommerzielle Umsetzung dieser Technologie und deren Ausbreitung im Batteriemarkt sind Folienreckanlagen notwendig, welche Dünnstoffolien von höchster Qualität mit hoher Produktivität produzieren können. Thermische und mechanische Eigenschaften dieser Folien müssen an die Anforderungen der Weiterverarbeitung zu Metall-Polymer-Komposit-Stromkollektoren angepasst und entsprechend optimiert werden. Durch das im Rahmen dieses Förderprojekts erarbeitete verfahrenstechnische Know-How ist es Brückner nicht nur möglich die bestmöglichen Reckanlagen anzubieten, sondern es können auch Kunden bei der Herstellung der Folien und der Optimierung der Folieneigenschaften unterstützt werden.

Polyethylenterephthalat ist auf Grund seiner sehr guten mechanischen und thermischen Eigenschaften im Moment der Favorit für die Wahl des Polymers für Substrate, die zur Herstellung von Metall-Polymer-Komposit-Stromkollektoren Verwendung finden. Sollte die Entwicklung bei der Substratwahl zukünftig aus Kostengründen z.B. in Richtung Polypropylenfolien gehen², können die in diesem Projekt gewonnenen Erkenntnisse auch bei der Auslegung von BOPP-Anlagen (Biaxial Orientiertes Polypropylen) genutzt werden.

Der Vertrieb von Reckanlagen für technische Anwendungen wie Metall-Polymer-Komposit-Stromkollektoren ist für Brückner bereits jetzt ein wichtiges Standbein. Die Bedeutung der Reckanlagen für technische Anwendungsfelder wird auf Grund des zunehmenden internationalen Wettbewerbs für Reckanlagen im Commodity-Bereich (dazu zählen z.B. Reckanlagen für Standard-Verpackungen im Bereich Polypropylen oder Polyethylenterephthalat) sogar noch zunehmen. Die Teilnahme beim Förderprojekt „PolySafe“ und der Einstieg in die Technologie polymerbasierter Batterie-Ableiterfolien trägt somit auch zur Sicherung des Fortbestehens der international agierenden und erfolgreichen Firma Brückner bei.

² Polypropylen hat auf Grund seiner im Vergleich zu Polyethylenterephthalat geringeren Dichte einen Vorteil in der Materialeffizienz: zur Produktion von 1 Mio m² einer 6 µm dicken Folie sind (ohne Berücksichtigung von Ausschuss etc.) 8400 kg Polyethylenterephthalat, aber nur 5400 kg Polypropylen erforderlich. Die Rohstoffpreise liegen dabei auf einem ähnlichen Niveau.

4. Während der Laufzeit bekannt gewordene, relevante Ergebnisse Dritter

Hier sind Ergebnisse (bspw. Publikationen) zu nennen, die die Projektarbeit während der Laufzeit deutlich beeinflusst haben oder ggf. die Ergebnisnutzung nach Projektende beeinflussen. Es muss nicht jede Publikation genannt werden, die ähnliche Arbeiten verfolgt!

Der Brückner Maschinenbau sind keine derartigen Ergebnisse oder Publikationen Dritter bekannt.

5. Erfolgte und geplante Veröffentlichungen

Hier sind Publikationen (Paper, Poster, Präsentationen) zu nennen, bei denen während der Laufzeit Projektergebnisse veröffentlicht wurden. Zudem sind die geplanten und ggf. bereits eingereichten Publikationen zu nennen.

Die von der Brückner Maschinenbau erstellten Präsentationen dienten dem internen Informationsaustausch mit den Projektpartnern im Rahmen von Projekttreffen.

Darüber hinaus wurden von der Brückner Maschinenbau keine Poster oder Präsentationen veröffentlicht.

Fachartikel

Lfd. Nr.	Autoren	Titel	Journal, Volume, Issue, Page	DOI	Datum
1					
2					

Konferenzbeitrag

Lfd. Nr.	Autoren	Titel	Typ (Poster, Präsentation)	Konferenz/Tagung	Datum
1					
2					