

Schneiden von Batterie- und Brennstoffzellenkomponenten

Synergien aus produktionstechnischer Sicht

Ling Ma,
Sebastian Schabel* und
Jürgen Fleischer

Im Kontext der Transformation des verbrennungsmotorischen Antriebsstranges zu nachhaltigeren Mobilitätslösungen bieten sowohl Batterie als auch Brennstoffzellen ein großes Potenzial. Die parallele Entwicklung von Produktionstechnologien zur Nutzung von Synergieeffekten ist für die wirtschaftliche Massenproduktion von entscheidender Bedeutung. Ein zentraler Prozessschritt ist dabei das Schneiden der Einzelkomponenten. Im Rahmen dieses Beitrags werden Prozessketten, Materialmikrostrukturen sowie mechanische Eigenschaften aus produktionstechnischer Sicht zur Diskussion der Synergiepotenziale verglichen.

Einleitung

Elektrifizierte Antriebslösungen stellen einen entscheidenden Erfolgsfaktor zur Erreichung der gesetzten Klimaschutzziele im aktuellen Transformationsprozess der Automobilindustrie dar. Von batterieelektrischen Speichersystemen über Hybridkonzepte bis hin zu Brennstoffzellenanwendungen existieren dabei mehrere Technologiealternativen, deren Anteil an zukünftiger Marktdurchdringung, abhängig verschiedener Anwendungsszenarien, aktuell nur bedingt vorausgesagt werden können. [1]

Während die Batterietechnologie in den vergangenen Jahren durch den starken Ausbau bereits weiter fortgeschritten ist, müssen brennstoffzellenbetriebene Antriebskonzepte zu einer ergänzenden Lösung weiterentwickelt werden.

Insbesondere in Einsatzgebieten mit hohen Anforderungen an die gravimetrische Leistungsdichte oder an schnelle Betankungsvorgänge, wie z. B. im Bereich des Schwerlastverkehrs, bietet die Brennstoffzelle ein großes Potenzial. In den letzten Jahren hat sich das Anwendungsfeld der Brennstoffzellen im Transportsektor auf wasserstoffbetriebene Flugdrohnen, unbemannte Luftfahrzeuge sowie Schiffe erweitert. Trotz der Vielfalt verschiedener Brennstoffzellentechnologien ist lediglich die Polymerelektrolytmembran (PEM)-Brennstoffzelle, aufgrund deren hoher Leistungsdichte sowie des dynamischen Verhaltens, für mobile Anwendungen relevant [2].

In [3] wurden Synergien der Produktionsprozesse von Li-Ionen-Batterien und PEM-Brennstoffzellen analysiert und daraus drei Prozesskombinationen

mit den höchsten Synergiepotenzialzahlen (SPZ) identifiziert. Dazu gehören die Trocknungsprozesse von Elektrodenbeschichtungen, das Zuschneiden der beschichteten Membrane und Batterieelektroden, sowie die Stapelbildungsprozesse. Darauf aufbauend wurden in [4] die Synergiepotenziale der Stapelbildung von Pouch- und Brennstoffzellen näher diskutiert. Sowohl im Rahmen der Batterie- als auch Brennstoffzellenproduktion spielen die Schneideprozesse zum einen aufgrund hoher Ausschussraten und Rohstoffkosten sowie zum anderen der zunehmenden Bedeutung von Produktivität und Qualität eine entscheidende Rolle. Im vorliegenden Beitrag wird der Fokus auf die Gemeinsamkeiten beider Vereinzlungsprozessketten der dünn-schichtigen, in Form von Rollenware vorliegenden Ausgangsmaterialien für die nachfolgende Zella-ssemblierung gelegt.

Industrielle Prozessketten der kontinuierlichen Komponentenvereinzlung

Um die Synergiepotenziale der Schneidverfahren für die Batterie- und Brennstoffzellenproduktion bewerten zu können, werden nachfolgend die industriellen Prozessketten für die Rolle-zu-Blatt-Vereinzlung beider Systeme analysiert.

* Korrespondenzautor

Sebastian Schabel, M. Sc.; Karlsruher Institut für Technologie (KIT), wbk Institut für Produktionstechnik; Kaiserstraße 12, 76131 Karlsruhe; Tel.: +49 (0) 1523 950 2567, E-Mail: sebastian.schabel@kit.edu

Weitere Autor:innen

Ling Ma, M. Sc.; KIT, wbk Institut für Produktionstechnik

Prof. Dr.-Ing. Jürgen Fleischer; KIT, wbk Institut für Produktionstechnik

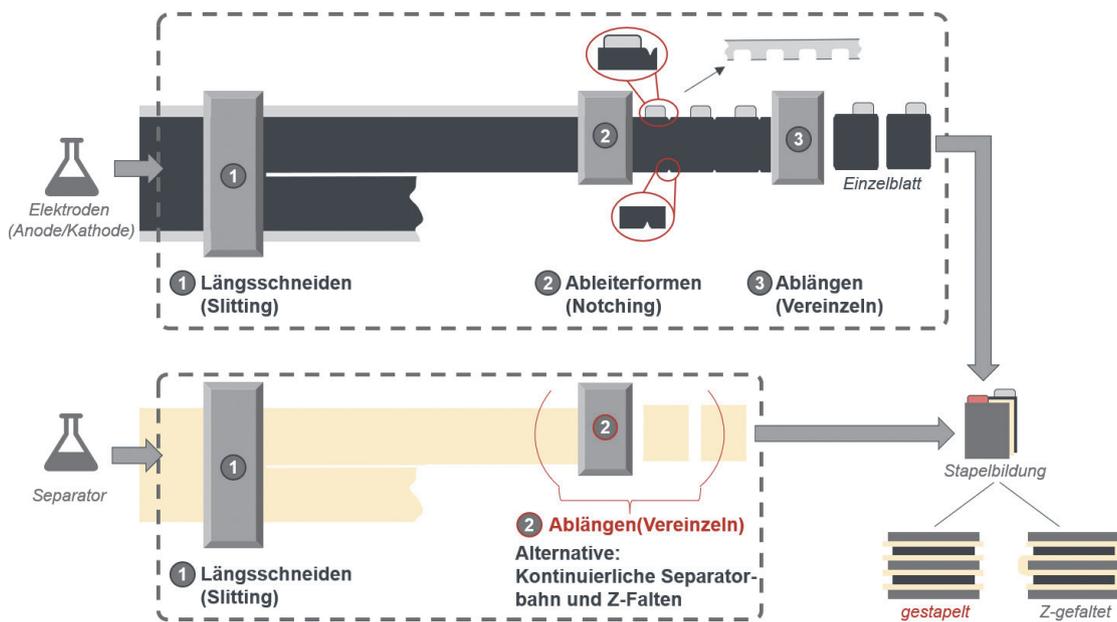


Bild 1. Prozessabfolge zur Konfektionierung von Elektroden- und Separatoreinzelblättern für die Batteriezellproduktion

Schneidprozesse der Batteriezellkomponenten

Für die Assemblierung gestapelter oder gewickelter Li-Ionen-Zellen müssen die bandförmigen Elektrodencoils der Anode und Kathode zu Einzelblättern konfektioniert werden. Zur optimalen Auslastung der vorgelagerten Prozessschritte des Beschichtens, Trocknens und Kalandrierens werden dabei zunächst breite Elektrodencoils als Ausgangsmaterial dem Vereinzelungsprozess zugeführt. Zunächst erfolgt ein Längsschneidprozess für die Breitenkonfektionierung der Elektroden (Bild 1). Dieser kontinuierliche Prozessschritt kann durch das mechanische Scherschneiden mittels rotierender Rundmesser oder durch das thermische Schneiden mittels eines Laserprozesses durchgeführt werden. Die aus dem Prozess resultierenden Elektrodenbahnen können anschließend wieder aufgewickelt oder dem direkten Folgeprozess der Elektrodenvereinzelung zugeführt werden. Hierbei lässt sich in das sequentielle Austrennen in mehreren nachgelagerten Teilschritten oder das vollflächige Ausschneiden in einem Prozessschritt unterscheiden [5]. Wie Bild 1 zeigt, werden im sogenannten Notching-Prozess zunächst die zur späteren Kontaktierung erforderlichen Ableiterbereiche der Stromsammelröhren freigelegt. Zudem werden beidseitig im Elektrodenband Aussparungen eingebracht, die dafür sorgen, dass keine Kollisionen zwischen den Ecken der

Elektrodenblätter und der aus dem Tiefziehprozess resultierenden Radien der Pouchfolien während des Verpackens entstehen [6]. Darüber hinaus ist die Geometrie der eingebrachten Dreiecksnuten derart gestaltet, dass geringfügige prozess-technische Abweichungen beim darauffolgenden Ablängprozess die zulässigen Geometrietoleranzen der Einzelblätter nicht überschreiten. Für die Konfektionierung der Elektroden können sowohl das mechanische Stanzen als auch das thermische Schneiden mittels Laser eingesetzt werden. Wie [7] zeigt, haben beide Technologiealternativen hinsichtlich deren Produktivität, Flexibilität sowie der resultierenden Schnittkantenqualität Vor- und Nachteile, welche in Abhängigkeit des Zielumsatzes und Anforderungsprofils einander gegenübergestellt werden müssen.

Für die elektrische Isolation der einzelnen Anoden- und Kathodenlagen unter gleichzeitiger Gewährleistung des Ionenflusses zwischen den Elektroden werden semipermeable Membrane als Separatoren eingesetzt [8]. Im Gegensatz der zuvor dargestellten Elektrodenvereinzelung sind für den Separator keine komplex geformten Geometrien erforderlich, da dieser in den Zellen ausschließlich die mit Aktivmaterial versehenen Bereiche der Elektroden mit einem umlaufenden Toleranzüberstand bedeckt. Demnach ergeben sich infolge des Längsschneidens zwei Prozessalternativen. Zum einen kann die Separa-

torbahn durch einen zumeist mechanischen Schneidprozess in rechteckige Einzelblätter vereinzel werden, was aufgrund der aufwändigen Materialhandhabung im anschließenden Stapelprozess jedoch nur selten eingesetzt wird. Andererseits kann der Separator als kontinuierliche Bahn in einem Z-Faltprozess weiterverarbeitet werden, wofür keine weitere Schneidoperation erforderlich ist [9].

Schneidprozesse ausgewählter Brennstoffzellenkomponenten

Das Kernelement einer PEM-Brennstoffzelle bildet die sogenannte Membran-Elektroden-Anordnung (MEA), ein Verbund aus mehrlagigen Dünnschichtmaterialien. In der Mitte befindet sich die katalysatorbeschichtete Membran (CCM), auf der die elektrochemischen Reaktionen stattfinden. Zwei Dichtungsrahmen, auch häufig als Subgasket bezeichnet, mit zentralen Ausschnitten für die aktive Fläche werden auf die CCM aufgebracht und miteinander laminiert. Zur weiteren Assemblierung der sogenannten 7-lagigen MEA werden die anoden- und kathodenseitigen Gasdiffusionslagen (GDL) auf die Subgaskets durch Klebeverbindungen appliziert [2].

Die Bipolarplatte (BPP) trägt nicht direkt zu den elektrochemischen Reaktionen bei, weist jedoch komplizierte Konstruktionsmerkmale auf, die diverse Nebenfunktionen, wie z. B. die Gasverteilung,

Stromsammlung und die Separation zweier benachbarten Zellen, leisten sollen. Deren Herstellung findet üblicherweise parallel zur MEA-Fertigung statt [10]. Im Vergleich zu Batterieelektroden ist die Materialstärke der metallischen BPP (ca. 0,2 mm) eine Größenordnung größer als die der Stromsammler (ca. 20 μm). Zusätzlich weichen die Produktionsschritte einer BPP stark von der Elektrodenfertigung ab. Die Kernprozesse der BPP-Fertigung sind das Umformen, das Fügen und das Beschichten, wobei für BPP zumeist das Beschichtungsverfahren aus dem gas- oder dampfförmigen Zustand und für Batterieelektroden das Beschichten aus dem flüssigen Zustand Anwendung finden [11]. Wie [3] zeigt, existieren nur sehr geringe Synergiepotenziale zwischen der BPP-Fertigung und der Batteriezellproduktion, weshalb in diesem Beitrag lediglich das Zuschneiden der MEA-Komponenten detailliert betrachtet wird.

Die Prozesskette der MEA-Assemblierung ist ein Zusammenspiel von Schneid- und Fügetechnologien. Aufgrund sehr hoher Rohstoffkosten (Platin, Ionomer und Kohlenstofffaser) wird auf die Laminierung von kontinuierlichen Warenbahnen aus CCM, Subgasket und GDL verzichtet, da die teuren Materialien dadurch auch in der nicht aktiven Fläche eingebracht werden. Daher werden die CCM und GDL zumeist als Einzelblätter von der Rollenware abgetrennt und anschließend der Subgasket zugeführt [12].

Die Kernkomponente der MEA, die Elektrolytmembran, hat als Aufgabe, die Wasserstoffprotonen durchzulassen und gleichzeitig die Elektronen und Edukte von der Anoden- und Kathodenseite zu trennen. Hierfür wurde die Perfluorsulfonsäure (PFSA)-Ionomermembran, auch Ionenaustauschmembran genannt, unter dem Markennamen Nafion entwickelt und kommerzialisiert [13]. Die Membran wird anschließend vollflächig oder intermittierend mit einem Decal-Verfahren oder direkt mit Katalysatorfarbe beschichtet [14]. Abhängig des Herstellerdesigns werden die CCM-Bahnen in Längsrichtung auf die gewünschte Größe geschnitten. Dieser Schneidvorgang wird auch als Slitting bezeichnet. Die längsgeschnittene CCM-Bahn wird anschließend auf das Endmaß querschnitten und zur weiteren Assemblierung bereitgestellt (Bild 2).

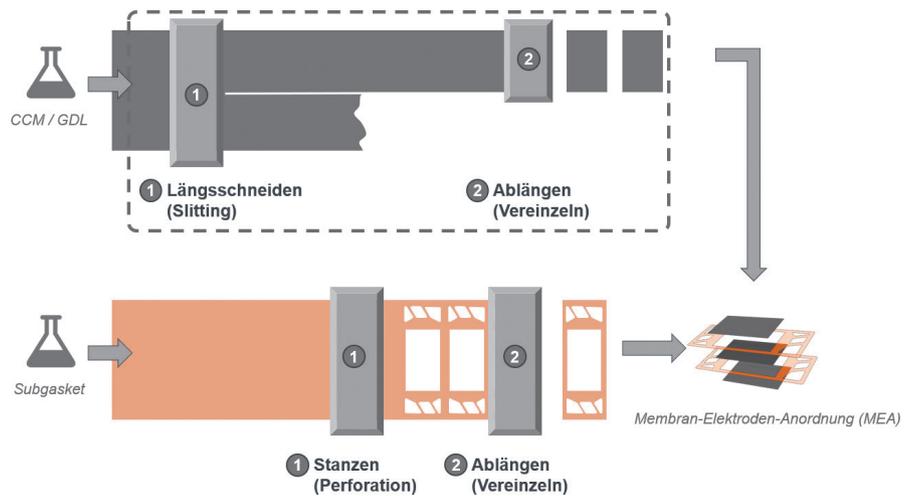


Bild 2. Prozessabfolge zur Konfektionierung von Einzelblättern für die MEA-Fertigung

Wie in [15] und [16] beschrieben, werden hierfür zumeist mechanische Schneidverfahren, wie z. B. das Stanzen, eingesetzt.

Analog der CCM wird die GDL als Rollenware in Längs- und Querrichtung auf das produktspezifische Endmaß konfektioniert. Je nach Herstellungsverfahren können die GDL in Vlies, Papier und Kohlenstofffasergewebe unterteilt werden. Das Gasdiffusionssubstrat wird gemäß dem Stand der Technik mit einer mikroporösen Schicht (MPL) aus Ruß und einem PTFE-Gemisch beschichtet. Die feinporige MPL und PTFE dienen dazu, die Gasverteilung der Edukte sowie die Wasserabfuhr zu optimieren [17]. Zusätzlich schützt die MPL die ultradünne CCM vor Schädigungen, die insbesondere durch die steifen Kohlenstofffasern der GDL hervorgerufen werden können. Bedingt durch die anisotrope Struktur der Kohlenstofffasern kann eine schlechte Schnittkantenqualität der GDL infolge der Schneidprozesse eine Ursache für das Versagen der Brennstoffzellen sein. Zur Vermeidung von Partikelablagerungen an den Oberflächen wird dem mechanischen oder thermischen Schneidprozess der GDL ein Reinigungsprozess nachgeschaltet. Wie Bild 2 zeigt, werden zunächst Aussparungen für die aktive Fläche sowie die Medienkanäle aus der Subgasketbahn ausgelöst [16]. Das anschließende Ablängen zur Vereinzelung der Subgaskets kann sowohl vor als auch nach dem Fügeprozess mit der CCM und/oder der GDL erfolgen.

In Tabelle 1 werden die mechanischen Schneidverfahren nach DIN 8588 und das thermische Laserschneiden nach DIN EN ISO 9013 den einzelnen Batterie- und Brennstoffzellenkomponenten für die in Bild 1 und Bild 2 dargestellten Teilschneidprozesse zugeordnet.

Analyse und Vergleich der Komponentenmikrostrukturen

Infolge der Vereinzelungsprozesse werden die Einzelkomponenten, im Falle der Batterie die Elektroden und der Separator, bei der Brennstoffzelle die CCM, Subgasket und GDL, alternierend gestapelt. Durch die Schneidprozesse hervorgerufene Materialdefekte in den Schnittkantenbereichen, wie z. B. Gratbildungen der Metallfolien oder des Kohlefaservlieses, können im weiteren Produktionsverlauf oder dem späteren Betrieb zu Schädigungen der empfindlichen Separatoren bzw. der CCM-Membranen führen. Für ein besseres Verständnis möglicher Ausschussursachen werden die Kernkomponenten von Batterie und Brennstoffzelle im Hinblick auf deren schichtweisen Lageraufbau und die Mikrostrukturen analysiert und miteinander verglichen. Bild 3 zeigt eine Übersicht der Rasterelektronenmikroskopie (REM)-Aufnahmen der Querschnitte von CCM sowie vliesbasierter GDL.

Im direkten Vergleich zeigt Bild 4 beispielhaft die Querschnitte einer Graphit-Anode und NMC-Kathode sowie eines keramisch beschichteten Separators.

		Mechanisches Schneiden (nach DIN 8588)					Laser-schneiden (nach DIN EN ISO 9013)
		Scherschneiden		Messerschneiden			
		Rundmesser	Fein-stanze	Bandstahl	Rotationsstanze	Rasier Klinge	
Batterie	Elektroden	1,3	2,3	2,3	1	-	1,2,3
	Separator	1,2	-	-	1	1	1,2
<i>Elektroden: 1 Längsschneiden, 2 Ableiterformen, 3 Ablängen</i> <i>Separator: 1 Längsschneiden, 2 Ablängen</i>							
Brennstoffzelle	CCM/GDL	1,2	2	2	1,2	-	1,2
	Subgasket	2	1,2	2	1	-	1,2
<i>CCM/GDL: 1 Längsschneiden, 2 Ablängen</i> <i>Subgasket: 1 Stanzen, 2 Ablängen</i>							

Tabelle 1. Gegenüberstellung eingesetzter Schneidverfahren der Kernkomponenten von Batterie und Brennstoffzelle nach DIN 8588 und DIN EN ISO 9013 [11]

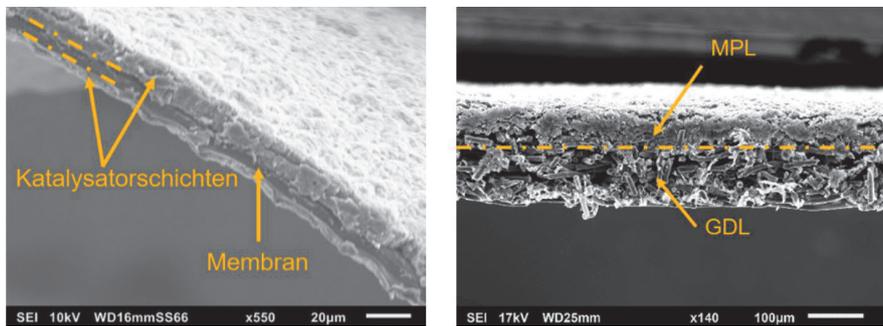


Bild 3. REM-Aufnahme der Querschnitte von CCM (links) und GDL (rechts)

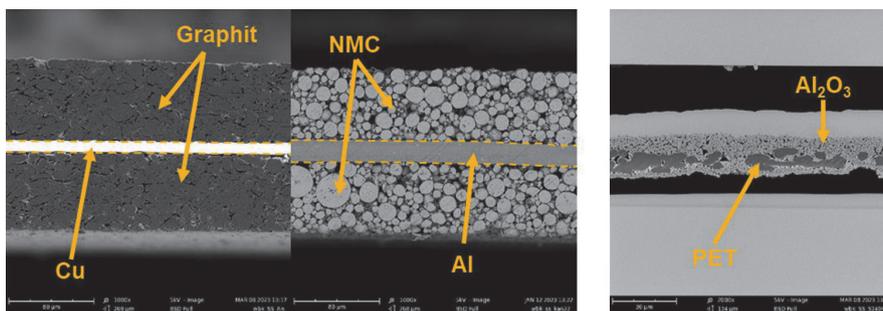


Bild 4. REM-Aufnahmen der Querschnitte von Graphitanode und NMC622-Kathode (links) und Separion S240P20 Separator (rechts)

Aus elektrochemischer Sicht ist die CCM vergleichbar mit den Elektroden der Batterien, da diese die Basis der elektrochemischen Reaktionen zur Stromerzeugung darstellen. Auf der Mikroebene bestehen sowohl die CCM als auch die Elektroden aus einem schichtweisen Lageraufbau mit jeweils drei Einzelschichten, wobei sich in der Mitte ein Substrat mit beidseitiger Aktivmaterialbeschichtung befindet. Jede Schicht trägt elementare Funktionen, zum Beispiel die Beschichtung als Katalysator oder Aktivmaterial bzw. das Substrat als Elektrolyt oder Stromkollektor. Werden hingegen Schädigungsmechanismen aufgrund von Schnittkantendefekten betrachtet, sind Batterieelektroden und GDL die kritischen Komponenten, die zusätzlich eine vergleichbare Größenordnung der Materialdicke aufweisen.

Die Substratmembran der CCM dient ähnlich wie bei Batterieseparatoren der Separierung von Reaktionsgasen bzw. der Elektronen. Da die Materialstärke der beiden zumeist kunststoffbasierten Materialien nur wenige Mikrometer sind diese sehr anfällig für Schädigungen, die aufgrund von Graten der Metallfolien oder durch Kohlenstofffasern hervorgerufen werden können. Eine detaillierte Darstellung der Materialzusammensetzung und Schichtdicken der diskutierten Batterie- und Brennstoffzellenkomponenten kann Tabelle 2 entnommen werden.

Vergleich mechanischer Eigenschaften

In [12] wurde der Schneidprozess für dünne flächige Materialien untersucht und daraus gefolgert, dass der Schneidwiderstand eines Schnittgutes durch den E-Modul und die Reißfestigkeit bestimmen werden kann wohingegen die Abdrängkraft aus der Reißdehnung abgeleitet werden kann. Basierend darauf wurden für die vorliegenden Untersuchungen Zugversuche der Batterie- und Brennstoffzellenkomponenten auf einer ZwickiLine-Universalprüfmaschine, mit einem 500 N Kraftaufnehmer, durchgeführt. Die Zugproben wurden in Anlehnung an ISO 1924-3 für Papier und Pappe sowie ISO 527-3 für Kunststofffolien zugeschnitten und mechanisch charakteri-

	Li-Ionen Batteriezelle			PEM-Brennstoffzelle	
	Anode	Kathode	Separator	CCM	GDL
Layer 1	Stromsammeler		Membran	Elektrolytmembran	Substrat
Material	Kupfer	Aluminium	Kunst- oder Fließstoff (z.B. PE/PP oder Glasfaser)	Perfluorsulfonsäure (PFSA)	Kohlenstofffaser
Dicke	6-12 µm	9-18 µm	5-20 µm	8 – 50 µm	80 – 150 µm
Layer 2/3	Aktivmaterialbeschichtung		Beschichtung	Katalysatorbeschichtung	Beschichtung
Material	Graphit	NMC/LFP/LCO	Keramische Beschichtung (z.B. Al ₂ O ₃)	Ionomer + Platin auf Kohlenstoff-träger	Ruß + PTFE
Dicke	50-90 µm	70-120 µm	0-12 µm	8 – 15 µm	0 – 150 µm
Gesamtdicke	100 – 190 µm	150 – 250 µm	6-22 µm	30 – 80 µm	150 -300 µm

Tabelle 2. Vergleich der Komposition und Geometrie des Lagenaufbaus der Einzelkomponenten

siert [19, 20]. Da die meisten Komponenten anisotrope Eigenschaften aufweisen, wurden die Proben zur besseren Vergleichbarkeit in Bahnrichtung entnommen. Aufgrund der starken Abhängigkeiten der mechanischen Eigenschaften der CCM vom Umgebungsklima (Temperatur und relative Luftfeuchte), wurden die Zugversuche bei Standardklima (23 °C, 50 Prozent relative Luftfeuchte), gemäß dem Stand der Technik für die CCM-Produktion, durchgeführt [21]. Die für die Schneidbarkeit wichtigen mechanischen Eigenschaften können aus den jeweiligen materialspezifischen Spannungs-Dehnungs-Verläufen extrahiert werden und sind in Bild 5 zusammengefasst.

Wie die Gegenüberstellung in Bild 5 zeigt, weisen die Elektroden und die GDL sehr ähnliche mechanische Eigenschaften, sowohl hinsichtlich des E-Moduls als auch der Bruchparameter auf. Sowohl die Elektroden als auch die GDL haben einen hohen E-Modul bei zugleich geringer Reißfestigkeit. Dies kann darauf zurückgeführt werden, dass die jeweiligen Substrate (Metallfolie der Elektroden und Kohlenstofffaservlies der GDL) den E-Modul wesentlich beeinflussen, die Beschichtungsanteile im Lastfall allerdings zuerst versagen. Im Gegensatz dazu weist die CCM einen deutlich geringeren E-Modul bei gleichzeitig geringer Reißspannung auf, was eine hohe Empfindlichkeit gegenüber mechanischen Belastungen bzw. einem geringen Schneidwiderstand entspricht. Aufgrund der relativ hohen Reißdehnung müssen zum Schneiden der CCM vergleichsweise hohe Abdrängkräfte überwunden werden.

Zusammenfassung

Im Rahmen der vorgestellten Arbeiten wurden die Gemeinsamkeiten der Batterie- und Brennstoffzellenkomponenten, die wesentlich auf die zugrundeliegenden Schneidprozesse zurückzuführen sind, einander gegenübergestellt. Dabei konnte gezeigt werden, dass sowohl in der technischen Umsetzung der Schneidprozessketten, als auch im Bereich der Materialmikrostrukturen ein großes Synergiepotenzial beider Energiespeichertechnologien aus produktionstechnischer Sicht besteht. Durch den experimentell aufgestellten Vergleich der mechanischen Eigenschaften auf Einzelkomponentenebene konnte gezeigt werden, dass bestehende Schneidprozesse der Batterieelektroden insbesondere auf

die GDL-Konfektionierung übertragen werden können, wohingegen die CCM ein dem Batterieseparator vergleichbares mechanisches Verhalten aufweist.

Literatur

1. e-mobil BW (Hrsg.): Themenpapier Cluster Elektromobilität Süd-West: Die Produktionskette „Batteriesystem“ und kritische Ressourcen. e-mobil BW GmbH, Stuttgart 2022
2. Töpler, J.; Lehmann, J. (Hrsg.): Wasserstoff und Brennstoffzelle: Technologien und Marktperspektiven. Springer-Vieweg-Verlag, Berlin, Heidelberg 2014
DOI:10.1007/978-3-642-37415-9
3. Peters, S.; Jaeger, K.; Lanza, G.: Ähnlichkeit von Produktionsprozessen bewerten: Eine Metrik für Produktionsprozesse der Brennstoffzellen- und Li-Ionen-Batteriezellenfertigung. wt Werkstattstechnik online 104 (2014) 4, S. 224-229
DOI:10.37544/1436-4980-2014-4-224
4. Schäfer, J.; Weinmann, H. W.; Mayer, D.; Storz, T.; Hofmann, J.; Fleischer, J.: Synergien zwischen Batterie- und Brennstoffzellen. wt Werkstattstechnik online 110 (2020) 10, S. 735-741
DOI:10.37544/1436-4980-2020-10-91
5. Baumeister, M.: Automatisierte Fertigung von Einzelblattstapeln in der Lithium-Ionen-Zellproduktion. Dissertation, Forschungsberichte aus dem wbk Institut für Produktionstechnik, Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Nr. 205. Shaker Verlag, Aachen 2017
6. Weinmann, H. W.: Integration des Vereinzelungs- und Stapelbildungsprozesses in ein flexibel und kontinuierlich arbeitendes Anlagenmodul für die Li-Ionen Batteriezell-

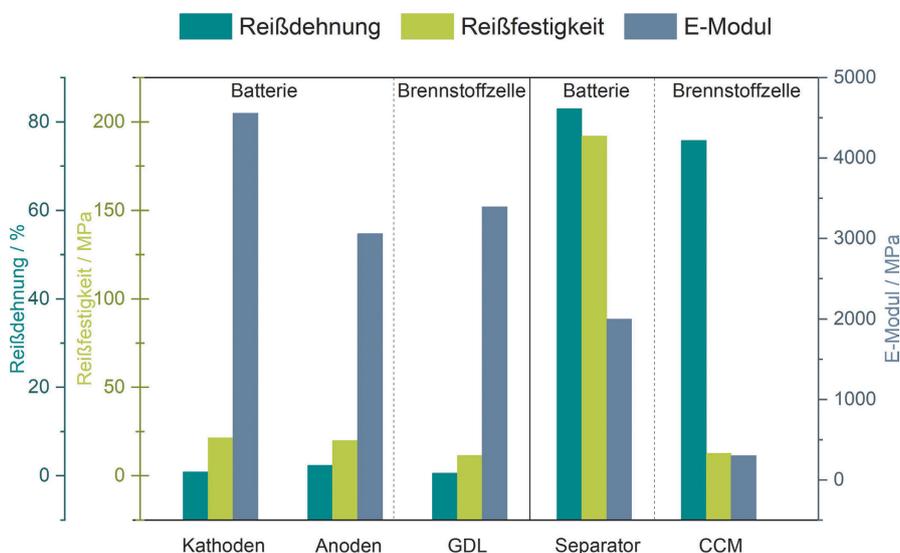


Bild 5. Vergleich der mechanischen Eigenschaften hinsichtlich der Schneidbarkeit von Batterie- und Brennstoffzellenkomponenten

- fertigung. Dissertation, Forschungsberichte aus dem wbk, Institut für Produktionstechnik, Karlsruher Institut für Technologie (KIT) Nr. 259. Shaker Verlag, Aachen 2022
7. Jansen, T.; Kandula, M. W.; Blass, D.; Hartwig, S.; Haselrieder, W.; Dilger, K.: Evaluation of the Separation Process for the Production of Electrode Sheets. *Energy Technology* 8 (2020) 2, 1900519
DOI:10.1002/ente.201900519
 8. Arora, P.; Zhang, Z.J.: Battery Separators. *Chemical Reviews* 104 (2004) 10, S. 4419–4462
DOI:10.1021/cr020738u
 9. Schmitt, J.; Raatz, A.; Dietrich, F.; Dröder, K.; Hesselbach, J.: Process and Performance Optimization by Selective Assembly of Battery Electrodes. *CIRP Annals* 63 (2014) 1, S. 9–12
DOI:10.1016/j.cirp.2014.03.018
 10. Führen, D.; Graw, M.; Kröll, L.; Ilsemann, J.; Robinus, M.; Wienert, P.; Aretz, M.; Janssen, H.; Kersting, M.; Müller, C.: Wertschöpfungskette Brennstoffzelle (Metastudie). NOW GmbH, Berlin 2022
 11. Deutsches Institut für Normung e. V. (Hrsg.): DIN 8580:2003-09: Fertigungsverfahren – Begriffe, Einteilung. Beuth Verlag, Berlin 2003
DOI:10.31030/9500683
 12. Brian, D.; James, Jennie, M.; Huya-Kouadio, C.H.; Daniel, A. DeSantis: Strategic Analysis, Inc. Mass Production Cost Estimation of Direct H2 PEM Fuel Cell Systems for Transportation Applications: 2018 Update
DOI:10.13140/RG.2.2.36532.55683
 13. Arcella, V.; Merlo, L.; Ghielmi, A.: Proton Exchange Membranes for fuel cells. In: Basile, A.; Nunes, S. P. (Hrsg): *Advanced Membrane Science and Technology for Sustainable Energy and Environmental Applications*. WP Woodhead Publ., Oxford 2011, S. 465–495
DOI:10.1533/9780857093790.4.465
 14. Frölich, K.: Der Decal-Prozess zur Herstellung katalysatorbeschichteter Membranen für PEM-Brennstoffzellen. Dissertation, Schriftenreihe des Instituts für Angewandte Materialien, Karlsruher Institut für Technologie, Nr. 47. KIT Scientific Publishing, Karlsruhe 2015
 15. Chen, J.; Liu, H.; Huang, Y.; Yin, Z.: High-rate Roll-to-Roll Stack and Lamination of Multilayer Structured Membrane Electrode Assembly. *Journal of Manufacturing Processes* 23 (2016), S. 175–82
DOI:10.1016/j.jmapro.2016.06.022
 16. Iverson, E. J.; Pierpont, D. M.; Yandrasits, M. A.; Hamrock, S. J.; Obradovich, S. J.; Peterson, D. G.: Fuel Cell Subassemblies Incorporating Subgasketed Thriftless Membranes. Patent: US20100972959; US20090289036P H01M8/10; H01M8/00 (US2011151350 (A1)). USA 2010
 17. Bock, R.; Shum, A. D.; Xiao, X.; Karoliussen, H.; Seland, F.; Zenyuk, I. V.; Burheim, O. S.: Thermal Conductivity and Compaction of GDL-MPL Interfacial Composite Material. *Journal of The Electrochemical Society* 165 (2018) 7, F514-F525
DOI:10.1149/2.0751807jes
 18. Feiler, M.: Ein Beitrag zur Klärung der Vorgänge beim Schneiden dünner flächiger Materialien. Dissertation, Universität Stuttgart (TH), Institut für industrielle Fertigung und Fabrikbetrieb, Stuttgart 1970
 19. Deutsches Institut für Normung e. V. (Hrsg.): DIN 1924-2:2008: Papier und Pappe – Bestimmung von Eigenschaften bei Zugbeanspruchung; Teil 2: Verfahren mit konstanter Dehngeschwindigkeit (20 mm/min). Beuth Verlag, Berlin 2022
 20. Deutsches Institut für Normung e. V. (Hrsg.): DIN 27-3:2018: Kunststoff – Bestimmung der Zugeigenschaften; Teil 3: Prüfbedingungen für Folien und Tafeln. Beuth Verlag, Berlin 2019
 21. Valentine, S.; James, R. L.; Healy, J. P.; Lakshmanan, B.: Manufacture of Unitized Electrode Assembly for PEM Fuel Cells. Patent: US20040960880
H01M6/00; B05D5/12 (US2006075630 (A1)). USA 2004

Die Autor:innen dieses Beitrags

Ling Ma, M. Sc., geb. 1994, studierte Maschinenbau mit Schwerpunkt Kraftfahrzeug- und Produktionstechnik am KIT Karlsruher Institut für Technologie. Seit 2020 ist sie akademische Mitarbeiterin im Bereich „Maschinen, Anlagen und Prozessautomatisierung“ am wbk Institut für Produktionstechnik.

Sebastian Schabel, M. Sc., geb. 1996, studierte Maschinenbau mit Schwerpunkt Kraftfahrzeug- und Produktionstechnik am KIT Karlsruher Institut für Technologie. Seit 2021 ist er als akademischer Mitarbeiter im Bereich „Maschinen, Anlagen und Prozessautomatisierung“ am wbk Institut für Produktionstechnik tätig und seit 2023 Gruppenleiter für die „Automatisierung unreifer Prozesse“.

Prof. Dr.-Ing. Jürgen Fleischer studierte Maschinenbau an der Universität Karlsruhe (TH) und war anschließend von 1985 bis 1989 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebstechnik (wbk) der Universität Karlsruhe (TH). Nach seiner Promotion im Jahre 1989 wurde er Oberingenieur am selbigen Institut. Zwischen 1992 und 1999 war er in verschiedenen leitenden Positionen im Daimler Konzern tätig. Anschließend war er bei Bombardier Transportation als Präsident Regional and Commuter Trains für den Geschäftsbereich Regionalzüge in Europa verantwortlich. 2003 wurde er zum Professor und Leiter des

wbk Instituts für Produktionstechnik der Universität Karlsruhe (TH) berufen. Im Jahr 2008 wurde er aus dem Universitätsdienst beurlaubt, um als Chairman of the Executive Board die verschiedenen Werkzeugmaschinenfirmen der in Europa und USA beheimateten MAG Industrial Automation Systems zu einem globalen Anbieter von Produktionslösungen zusammenzuführen. Seit 2010 ist er am wbk Institut für Produktionstechnik im Rahmen der kollegialen Institutsleitung für den Bereich „Maschinen, Anlagen und Prozessautomatisierung“ verantwortlich.

Abstract

Cutting of Battery and Fuel Cell Components – Synergies from a Production Engineering Perspective. Both lithium-ion batteries and fuel cells offer great potential for transforming the internal combustion engine powertrain into a sustainable mobility solution. The parallel development of production technologies to exploit synergy effects is crucial for economical mass production. A central process step in this context is the cutting of the individual components. In the present work, process chains, material microstructures as well as mechanical properties are compared from a manufacturing perspective to identify synergy potentials.

Förderhinweis

Die Autoren danken dem Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) für die Förderung des Projekts „QualiZell“ mit dem Förderkennzeichen 03XP0355E im Rahmen des Kompetenzcluster Analytik und Qualitätssicherung (AQua) sowie dem Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft (UM-BWL) Baden-Württemberg für die Förderung des Projektes „KontiMEA“ mit dem Förderkennzeichen BWKWHF23107, worin die Forschungsarbeiten entstanden sind. Eingebettet ist das Vorhaben im Center for Electrochemical Energy Storage Ulm & Karlsruhe (CELEST) sowie dem Batterietechnikum (BATEC) des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT).

Schlüsselwörter

Schneiden, Synergiepotenziale, Batterie, Brennstoffzelle, Produktionstechnik

Keywords

Cutting, Synergy Potential, Battery, Fuel Cell, Production Science