

Projektskizze

zur Vorlage im Gemeinschaftsausschuss Klebtechnik,
Sitzung am 18.06.2024

1. Thema

Methodenentwicklung zum Entfügen im strukturellen Batteriekasten (Design4Recycling)

2. Wissenschaftlich / technische Problemstellung und wirtschaftliche Problemstellung

In strukturellen Batteriekästen sind die Zellen Teil der lasttragenden Struktur. Dies wird durch Zellgehäuse mit größerer Wandstärke und das vollflächige Vergießen der Zellen mit strukturellen, thermisch leitfähigen Klebstoffen erreicht [1], siehe Abbildung 1. Dieser Ansatz bietet unterschiedliche Möglichkeiten, die Eigenschaften elektrischer Fahrzeuge zu verbessern: Eine höhere Packungsdichte, strukturelle Eigenschaften sowie der Verzicht auf die Subsysteme der Modulbauweise ermöglichen eine deutliche Reduktion des Batteriegewichts und des Platzbedarfs durch Erhöhung des Anteils der aktiven Batteriematerialien gegenüber den inaktiven Bestandteilen. Außerdem sind günstigere Zellchemien wie LFP [2] oder Natrium [3], die weniger seltene Rohstoffe verwenden, deren geringere Energiedichte ohne den Einsatz struktureller Batteriepakete aber bisher einen Reichweittennachteil mit sich brachte, möglich. Gleichzeitig steigt durch die Verwendung struktureller Batteriebauweisen die passive Sicherheit durch eine erhöhte Crashbelastbarkeit [4]. Beides führt in der Elektrifizierung des Straßenverkehrs zu signifikanten Vorteilen.



Abbildung 1:
Geöffnete strukturelle Batterie mit
vergossenen Zellen
(Quelle: Youtube: MunroLive)

Herausfordernd beim Einsatz struktureller Batteriekonzepte ist derzeit das Vorgehen bei Reparatur und Recycling. Die vollflächigen Klebungen zwischen Gehäuse und Batteriezellen verhindern einerseits die Öffnung des Batteriekastens und die strukturelle Vergussmasse um die Batteriezellen macht andererseits einen Austausch einzelner Zellen für die Reparatur der Batteriepakete unmöglich [13]. Die gesamte Batterie, welche in der Produktion einen hohen Energie- und Ressourceneinsatz erfordert, kann nur durch Schreddern stofflich verwertet werden. Dies widerspricht dem Anspruch, hergestellte Produkte möglichst lange in der Nutzungsphase zu halten und danach einer zweiten Verwendung, wie dem Einsatz als stationärer Speicher, zu überführen, sowie der Möglichkeit der Lebenszeitverlängerung durch Reparatur. Vor allem Recycling- und Reparaturbetriebe, welche den KMU zuzuordnen sind, müssen durch geeignete und erforschte Methoden auf den Trend der strukturellen Batterien vorbereitet werden. In der Literatur sind unterschiedliche Ansätze dargestellt, um Klebverbindungen „on demand“ zu lösen [6], [7], [8], [11]. Oft genannt werden die Nutzung reversibler Klebstoffsysteme, elektrisch induziertes Debonding sowie reaktive Füllstoffe wie Nanomaterialien und Mikropartikel. Das elektrisch induzierte Lösen eines Epoxidharzes mit ionischer Flüssigkeit von Aluminiumsubstraten wird in [5] und [12] beschrieben, wobei die Interfaceschicht zwischen Metall und Klebstoff durch die Spannung chemisch verändert wird. In [10] wird das Lösen durch thermisch expandierende Partikel (TEP) beschrieben, deren Reaktion durch Induktionserwärmung ausgelöst wird. Auf das Debonding von Batteriezellen bezogen, wird in [9] einschränkend festgestellt, dass insbesondere durch die Temperaturbeschränkungen der Batteriezellen sowie die schlechte Zugänglichkeit und die UV-Undurchlässigkeit ein Debonding im Bereich geklebter Batteriezellen schwierig umzusetzen ist. In [12] wird hingegen das elektrochemisch induzierte Debonding auf großflächige Pouchzellen angewendet und eine verformungsfreie Lösung des mit ionischer Flüssigkeit und Ethylenglykol versetzten Klebstoffes durch Anlegen einer Spannung ermöglicht.

3. Forschungsziel / Ergebnisse / Lösungsweg

Das Ziel des Vorhabens Design4Recycling ist es, die Vorteile einer strukturellen Batterie mit Reparatur- und Recyclingverfahren zu ergänzen. Dies wird durch die Entwicklung von Methoden zum

Lösen von Klebverbindungen zur Sicherstellung der Reparierbarkeit und Demontierbarkeit strukturell geklebter Batteriekästen und Zellverbunde mit dem Ziel der Ressourcenschonung durch längere Nutzbarkeit des Produktes erreicht werden. Dabei werden die unterschiedlichen Verbindungsarten innerhalb der Batterie mit entsprechend wirksamen Trennmethode adressiert.

Kaltentfügen

Das Entfügen struktureller Klebverbindungen durch tiefe Temperaturen zeigt großes Potential für eine effiziente und bauteilschonende Trennung. Aufgrund der ausbleibenden thermischen Einflüsse werden angrenzende Kleb- und Werkstoffe sowie Batteriezellen nicht geschädigt, was dieses Verfahren sowohl für das Recycling als auch die für Reparatur von Komponenten mit hohem Ressourceneinsatz, wie strukturelle HV-Speicher, qualifiziert. Ziel ist es, die Vorteile der geringen Energieaufnahme (semi-)struktureller Klebstoffe bei tiefen Temperaturen in einer Methode zur einfachen Öffnung von strukturellen HV-Speichergehäusen zu nutzen. Die richtige Auswahl und Charakterisierung von Kleb- und Werkstoffen sowie konstruktive Ansätze für den strukturellen Batteriekasten stehen dabei im Mittelpunkt des „Design4Recycling“.

Vorversuche zum Kaltentfügen zeigen vielversprechende Ergebnisse und das Potential, dass sich sowohl strukturelle Epoxidharzklebstoffe als auch semi-strukturelle Polyurethanklebstoffe durch den Einsatz von Kälte kraftarm entfügen lassen. Ergebnisse von Keilschlagprüfungen an einem strukturellen Klebstoff zeigten in abgeschlossenen IGF-Vorhaben, dass durch die Kälte bei -60 °C der Kraftaufwand zur Aufspaltung der Klebschicht um 91 % gesenkt wird [14]. Bei schälender Belastung zur Trennung eines vollflächig geklebten Batteriedeckels, wie im Anwendungsbeispiel der Abbildung 2 dargestellt, fällt die erforderliche Energie zum Trennen des semistrukturellen Polyurethanklebstoffs um 96 %. In bisherigen Forschungsprojekten wurde damit die lokale Entfügbarkeit in der Karosserieinstandsetzung demonstriert. Mit den richtigen Randbedingungen und weiterer Forschung bietet dieses Verfahren die Möglichkeit zur effizienten und bauteilschonenden Öffnung von strukturellen HV-Speichern. Durch eingebrachte Kühlkanäle können beispielsweise die erforderlichen Temperaturen mittels Kältemittel erreicht werden.

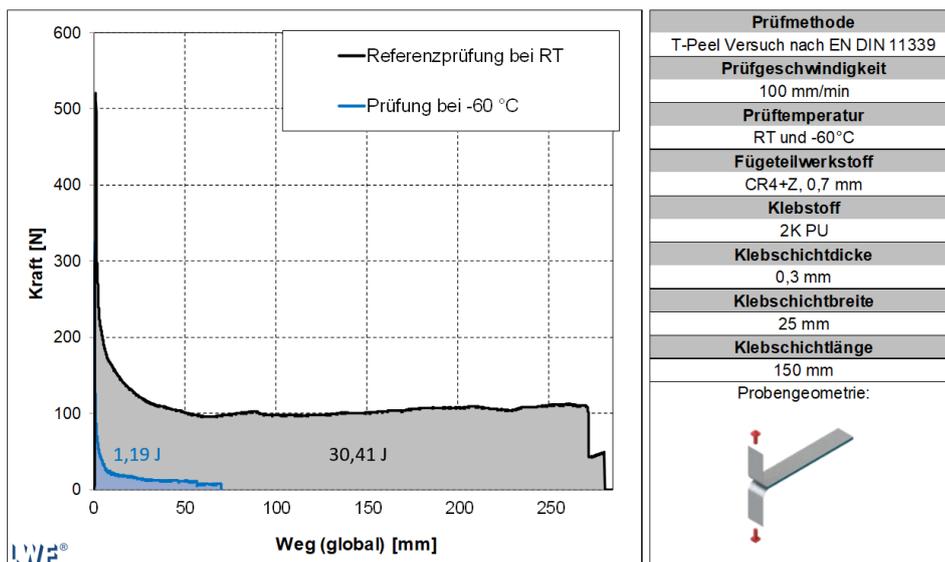


Abbildung 2:
Kraft-Weg-Verläufe von T-Schälprüfungen eines semi-strukturellen Polyurethanklebstoffs bei RT und -60 °C

Warmentfügen

Beim zweiten Ansatz, dem Warmentfügen, wird der Fokus auf der Entnahme einzelner Zellen aus dem strukturell geklebten Verbund liegen, um defekte Zellen entnehmen und ersetzen zu können. Der Lösungsweg besteht hier in der Entwicklung und Optimierung von elektrisch leitfähigen Folien, die mit Hotmelzklebstoffen beschichtet werden. Diese Folien werden um die Batteriezellen appliziert und dienen der späteren Entnahme der Zellen. Dazu werden die Folien kontaktiert und aufgeheizt, was die Festigkeit des Hotmelzklebstoffes und damit die Entfügekräfte stark verringert. Da die Batteriezellen im Laufe des Fertigungsprozesses sowieso lackiert oder foliert werden, um beispielsweise die elektrische Durchschlagfestigkeit zu erhöhen, lässt sich die Folienbeschichtung in bestehende Prozesse integrieren. Bei der Entwicklung und Optimierung der Folien müssen die Anforderungen an die Kosten, den elektrischen Widerstand der Folien, die Wärmeleitfähigkeit und den Schmelzpunkt des Hotmelts so optimiert werden, dass beim Entfügen kein zu hoher Wärmeeintrag in die Zellen erfolgt, die Erweichung des Hotmelts aber auch nicht im Betriebstemperaturbereich des

Batteriekastens liegt. Zudem müssen aber auch die Entfügekräfte gering genug sein, um eine Schädigung der strukturellen Klebstoffe und der umliegenden Strukturen bei der Entnahme der Zelle zu verhindern und ein Wiedereinsetzen einer neuen Zelle zu ermöglichen. Die Vorversuche zum Warmentfügen mit Hilfe von beheizbaren Folien wurden anhand von Zugscherproben durchgeführt. Dabei wurde eine mit Hotmeltklebstoff beschichtete Stahlfolie der Dicke 0,05 mm mit einem Strukturklebstoff an die Füge Teile aus DC01 gefügt, Abbildung 3:

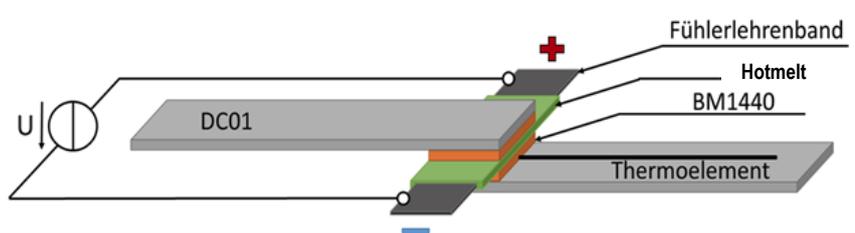


Abbildung 3:

Zugscherprobe mit Hotmelt-beschichtetem Leiter in der strukturellen Klebschicht

Durch Kontaktieren der Stahlfolie mit einer Gleichstromquelle konnte die Folie so weit erhitzt werden, dass der Hotmelt erweicht. Die resultierenden Zugscherspannungen für das Entfügen bei unterschiedlichen Temperaturen sind in Abbildung 4 dargestellt. Es zeigt sich, dass durch den angedachten Ansatz die Entfügekräfte zur Entnahme der Zellen deutlich verringert werden können.

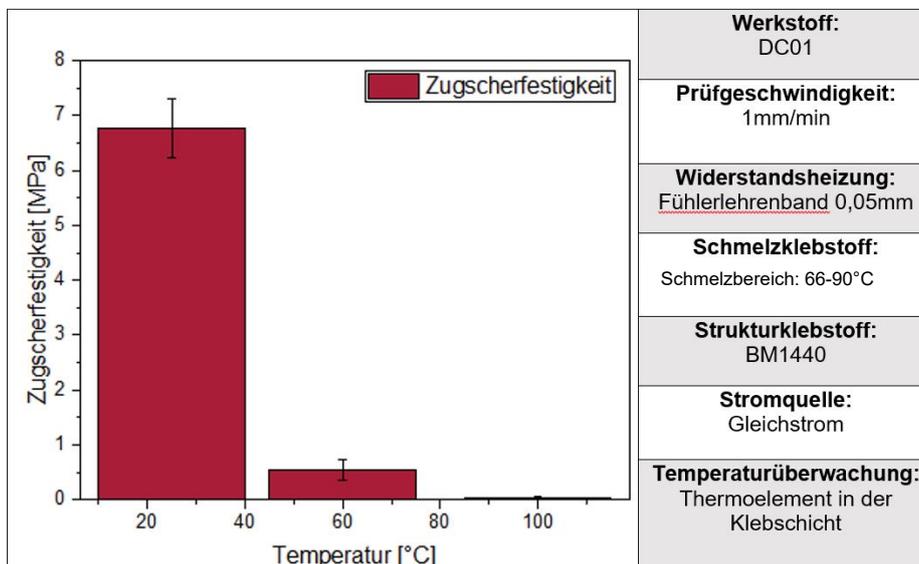


Abbildung 4:

Zugscherfestigkeiten bei definierten Temperaturen

Lösungsweg

Zur effizienten Erreichung des Forschungsziels ist geplant, dass die beiden Forschungseinrichtungen (FE) nach der Definition der einzusetzenden Klebstoffe und Füge teilmaterialien im Arbeitspaket 1 ebenfalls die Anforderungen und Randbedingungen an eine zu entwickelnde Demonstratorstruktur festlegen. Anschließend erfolgt die Charakterisierung der ausgewählten Materialien hinsichtlich ihrer thermomechanischen Eigenschaften mit Hilfe von dynamisch-thermisch-mechanischen Analysen und Kleinteilproben. Arbeitspaket 3 und Arbeitspaket 4 werden darauf aufbauend von den FE getrennt bearbeitet, da hier die spezifischen Technologien zum Entfügen von Vollverklebungen mit Hilfe von Kälte und die Entwicklung der Debondingfolien für die Batteriezellen adressiert werden. Die in den geplanten experimentellen und numerischen Untersuchungen gewonnenen Erkenntnisse der Partner des Forschungsvorhabens zum Kaltentfügen des Batteriedeckels und zum Warmentfügen einzelner Zellen werden anschließend an einer Demonstratorstruktur umgesetzt. Dabei wird mit den entwickelten Verfahren eine batteriekastenähnliche Struktur geöffnet und einzelne, vollflächig geklebte Zellen entnommen. Zudem werden neue Zellen eingebracht, der Deckel wieder klebtechnisch geschlossen und Funktionstests durchgeführt. Die gewonnenen Erkenntnisse werden im Projektverlauf fortlaufend dokumentiert und Transfermaßnahmen, beispielsweise in Form von PA-Sitzungen, wissenschaftlichen Veröffentlichungen und Vorträgen, werden durchgeführt. Die Erkenntnisse werden zudem in einem Merkblatt zur Demontage verschiedener Klebstoffklassen dokumentiert und den Unternehmen zur Verfügung gestellt, Abbildung 5.

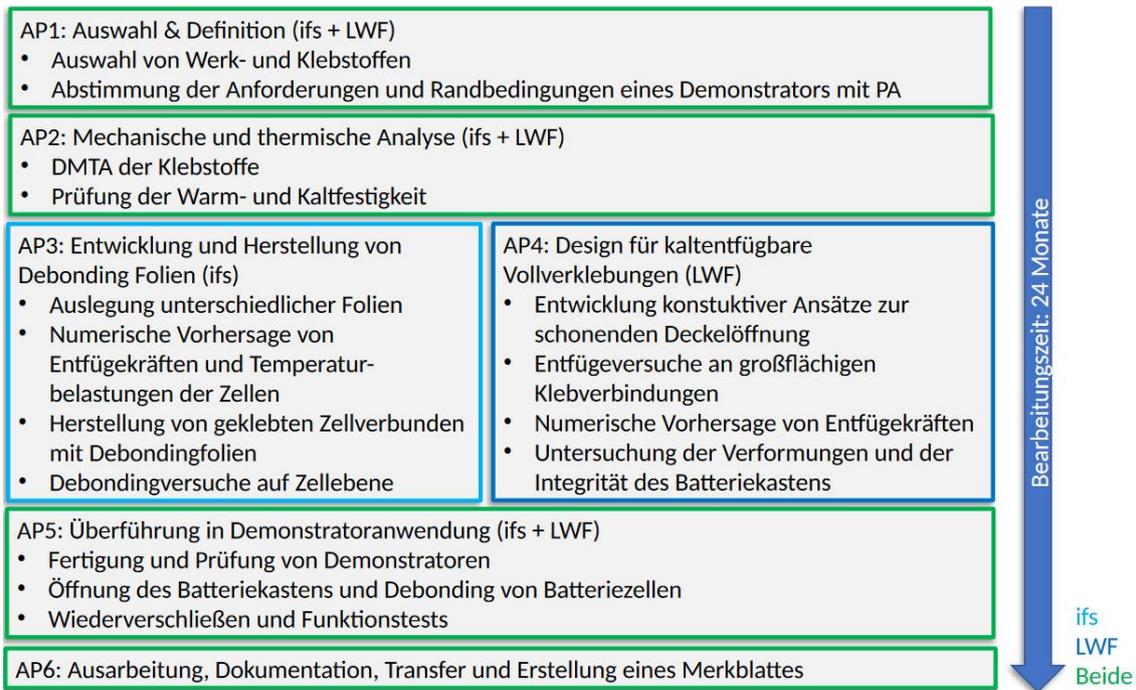


Abbildung 5: Arbeitsplan und geplante Inhalte des Vorhabens "Design4Recycling"

4. Plan zum Ergebnistransfer in die Wirtschaft

Die gemeinsame Arbeit im PA sichert den Transfer der Ergebnisse während der Laufzeit des Projektes. Die im PA beteiligten KMU aus dem Bereich der Batteriesysteme sowie Klebstoffhersteller, Vertreter von Ingenieurbüros mit Consulting-Fokus und Zulieferern der OEM werden dabei als Multiplikatoren fungieren und so auch die Ergebnisse an die am Arbeitskreis nicht beteiligten Firmen transferieren. Das Projekt wird auf der Homepage des LWF und des ifs vorgestellt und steht einer breiten Öffentlichkeit zur Verfügung. Es erfolgt eine Verlinkung zu den sozialen Medien; dadurch besteht die Möglichkeit eines interaktiven Austauschs mit potentiell interessierten Unternehmen, die einen zusätzlichen Input in das Projekt geben können. Durch regelmäßige Veröffentlichungen der Forschungsergebnisse in Vorträgen auf Batterietagungen oder in ausgewiesenen Fachzeitschriften für die Kleb- und Batterietechnik werden weitere Anwender und Entwickler angesprochen. Die Ergebnisse werden auch in Lehrunterlagen und die praktische Hochschulausbildung einfließen. Durch die Bearbeitung von Projekt-, Bachelor- und Masterarbeiten im Rahmen des Forschungsprojektes erfolgt ein entsprechender Wissenstransfer durch die Absolventen. Die auf Basis der Ergebnisse erstellte Merkblattvorschlag mit möglichen Konzepten und klebtechnischen Vorgaben steht dem KMU zum direkten Gebrauch zur Verfügung.

5. Nutzen und wirtschaftliche Bedeutung der angestrebten Forschungsergebnisse für KMU

Derzeit sind Lösungen und Entwicklungen hinsichtlich der Cell-to-Pack Konzepte und strukturell geklebte Batteriesysteme primär im ostasiatischen Bereich zu finden. Die Projektergebnisse werden die Entwicklungen im deutschen und europäischen Raum begleiten und die viel kritisierte Recyclingfähigkeit dieser Konstruktionsansätze sicherstellen, um den wirtschaftlich und umwelttechnisch sinnvollen Einsatz dieser Technologie zu gewährleisten. Deutsche Unternehmen und vor allem innovative KMU können sich mit den Ergebnissen aus dem Projekt international aufstellen, damit den Wirtschaftsstandort Deutschland festigen und ein Gegengewicht gegenüber anderen Märkten bilden. Hierbei eröffnen sich völlig neue Geschäftsfelder für die Zulieferer (Klebstoffhersteller, Batterie- und Batteriesystementwickler) der OEM. Mit dem neuen Konzept einher gehen z.B. Vorteile hinsichtlich der Effizienz von Batteriesystemen, wodurch diese Entwicklungen für alle Anwender von Batterien (stationäre Anwendungen, Nutzfahrzeuge, aber auch für kabellose Werkzeuge), aber auch für die nachgeschalteten OEM deutliche Vorteile mit sich bringen.

Die Forschungsergebnisse stehen vor allem den KMU vorwettbewerblich für die Weiterentwicklung in den Unternehmen zur Verfügung. Der erste visionäre Schritt, der die grundsätzliche Machbarkeit zeigt, ist durch die Projektergebnisse verfügbar. Es entfällt damit für die KMU das Risiko hoher Forschungskosten bei einem deutlichen Wissensvorsprung gegenüber dem Wettbewerb.

6. Projektvolumen / Personaleinsatz / Projektlaufzeit

Die Gesamtlaufzeit beträgt aufgrund der umfangreichen Versuche 24 Monate. Für die Bearbeitung des Projektes wird je FE ein wiss. Mitarbeiter (Gebiet: Konstruktion+Versuch bzw. Prüftechnik) mit insgesamt 24 PM (HPA-A) angesetzt. Hinzu kommt je FE ein techn. Mitarbeiter für die Bearbeitung der Materialanalysen (6 PM, HPA-C) und je FE eine studentische Hilfskraft (6 PM HPA-F). Hierdurch ergeben sich Projektkosten von rund 250.000€ je FE inkl. Pauschalen. Der zeitliche Ablauf ist in Abbildung 6 dargestellt.

	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	
AP 1									
AP 2									
AP 3									
AP 4									ifs
AP 5									LWF
AP 6									Beide

Abbildung 6:

Zeitlicher Verlauf der Projektbearbeitung

7. Bisherige Zusagen zur Mitarbeit im PA

Name	Bereich	KMU	Name	Bereich	KMU
IFF GmbH	Induktionsanlagen	ja	Volkswagen	Automobil	nein
GNS mbH	Num. Berechnung	ja	LB.systems	Batteriemodule	ja
trailerdynamics	Fahrzeugbau	nein	Parker Hannifin GmbH	Klebstoffe	nein
Hinterwaldner Con.	Consulting	ja	Atlas Copco	Dosieranlagen	nein
DOW	Klebstoffe	nein	DOW	Klebstoffe	nein
Saint-Gobain	Baustoffe/Chemie	nein	BMZ Group	Batteriemodule	nein
Dr. Lappe Niemeier Profiltechnik GmbH	Profiltechnik	ja	Henkel AG & Co. KGaA	Klebstoffhersteller	nein
Benteler Automotive Components	Automobilzulieferer	nein			

8. Forschungseinrichtungen

Forschungseinrichtung 1

Technische Universität Braunschweig,
 Institut für Füge- und Schweißtechnik
 Langer Kamp 8, 38106 Braunschweig
 Tel./Fax: 0531 391 955-01/-99,
 Web: www.tu-braunschweig.de/ifs/
 Leiter: Dilger, Klaus, Prof. Dr.-Ing.,
 0531 391 955 -00,
k.dilger@tu-braunschweig.de
 Projektleiterin: Stammen, Elisabeth, Dipl.-Chem., 0241 963-2706,
e.stammen@tu-braunschweig.de

Genehmigt durch den FE-Leiter:
 Braunschweig, den 12.04.2024

Forschungseinrichtung 2

Universität Paderborn, Laboratorium für Werkstoff- und Fügetechnik
 Pohlweg 47-49, 33098 Paderborn
 Tel./Fax; 05251 60-3031 / -3239
 Web: <https://mb.uni-paderborn.de/lwf>
 Leiter: Meschut, Gerson, Prof. Dr.-Ing.,
 05251 60-3030
meschut@lwf.upb.de
 Projektleiter: Chudalla, Nick, M. Sc.
 05251 60-3637
chudalla@lwf.upb.de

Genehmigt durch FE-Leitung:
 Paderborn, den 11.04.2024

Literatur:

- [1] <https://doi.org/10.1016/j.mattod.2022.12.001>;
 [2] <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1179/174328910X12647080902259>
 [3] <https://doi.org/10.1002/ange.201709351> [4] US Patent WO2021102340
 [5] <https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2011.09.003>
 [6] <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2021/sc/d1sc03426j>
 [7] <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2023.106293> [8] <https://doi.org/10.1002/advs.202200264>
 [9] <https://doi.org/10.1039/D1GC03306A> [10] <https://doi.org/10.1080/00218464.2016.1199963>
 [11] <https://doi.org/10.1002/9781119749882.ch2> [12] <https://doi.org/10.1021/acsami.2c12553>
 [13] <https://insideevs.de/news/597917/tesla-model-ybatterie-4680zellenaufbau/>.
 [14] FOSTA P1396/ IGF 20788 N