



Abschlussbericht zum Projekt

Impuls-Projekt 4 (IP4): SEANCe: Sicherere Elektromobilität: vor, während und Nach einem Crash

im Rahmen der FH-Impuls-Partnerschaft „SAFIR: Safety for all – Innovative Research Partnership on Global Vehicle and Road Safety Systems“ der Technischen Hochschule Ingolstadt

Zuwendungsempfänger: Technische Hochschule Ingolstadt
Zentrum für Angewandte Forschung (ZAF)
Esplanade 10
85049 Ingolstadt

Projektpartner: DEKRA Automotive GmbH
EDAG Engineering GmbH
ELOGplan GmbH

Förderkennzeichen: 13FH7I04IA

Projektleitung: Prof. Dr. Hans-Georg Schweiger
☎ 0841/9348-4500
✉ hans-georg.schweiger@thi.de

Projektlaufzeit: 01.01.2017-31.07.2021



Inhalt

I.	Kurzdarstellung	1
1.	Aufgabenstellung.....	1
2.	Ausgangslage und Stand der Wissenschaft und Technik	2
3.	Planung und Ablauf des Vorhabens	7
1.1.	Teilprojekt I. Nutzung von Fahrzeugsteuergeräten als Unfalldatenrekorder für Hybrid- und Elektrofahrzeuge	7
1.2.	Teilprojekt II. Integration von HV Batteriesystemen in die Crashstruktur von PKW8	
1.3.	Teilprojekt III. Wiederverwendung von Batteriesystemen aus Unfall- und Altfahrzeugen	9
4.	Zusammenarbeit mit anderen Stellen.....	10
II.	Eingehende Darstellung.....	11
1.	Erzielte Ergebnisse	11
1.1.	Teilprojekt I. Nutzung von Fahrzeugsteuergeräten als Unfalldatenrekorder für Hybrid- und Elektrofahrzeuge	11
1.2.	Teilprojekt II. Integration von HV Batteriesystemen in die Crashstruktur von PKW	15
1.3.	Teilprojekt III. Wiederverwendung von Batteriesystemen aus Unfall- und Altfahrzeugen	23
2.	Erläuterung Verwendungsnachweiß der wichtigsten Positionen im zahlenmäßigen Nachweis.....	31
3.	Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit.....	31
4.	Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit des Ergebnisses (Fortschreibung des Verwertungsplanes).....	32
4.1.	Erfindungen / Schutzrechtsanmeldungen und erteilte Schutzrechte.....	32
4.2.	Wirtschaftliche Projektaussichten.....	32
4.3.	Wissenschaftliche und/oder technische Erfolgsaussichten.....	33
4.4.	Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit	33
5.	Fortschritte auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen während der Durchführung.....	35
6.	Geplante und erfolgte Veröffentlichungen im Rahmen des Vorhabens.....	35

6.1. Liste der im Projektzeitraum erfolgten Veröffentlichungen.....	35
6.2. Liste der im Projektzeitraum erfolgten Abschlussarbeiten	37
6.3. Liste der im Projektzeitraum erfolgten Dissertationen.....	38
III. Erfolgskontrollbericht	39
IV. Kurzfassung/Berichtsblatt	40



I. Kurzdarstellung

1. Aufgabenstellung

Die thematische Ausrichtung des Impuls-Projektes „SEANCe: Sicherere Elektromobilität: vor, während und Nach einem Crash“ liegt in der Fahrzeugsicherheit von Hybrid- und Elektrofahrzeugen und deckt damit ein hochaktuelles Thema ab. Obwohl zur Abwehr bekannter Gefahren, wie Batteriebrand oder berührungsfählicher Spannungen, eine Reihe von etablierten Lösungen existieren, entstehen durch den Einsatz von Hochvoltenergiespeichersystemen neue Gefährdungspotentiale, die im Zusammenhang mit einem Unfall eines Hybrid- oder Elektrofahrzeugs zu erheblichen Personen- und/oder Sachschäden führen können.

Vor einem Unfall können gefährliche Situationen dadurch entstehen, dass wesentliche elektronische Komponenten für die Fahrzeugsicherheit, wie zum Beispiel das ESP-Steuergerät oder elektronische Assistenten ausfallen, Fehlfunktionen aufweisen oder durch externe Manipulationen wie einen Hackerangriff korrumpiert werden, wodurch letztendlich ein Unfall verursacht werden kann. Mit dem zunehmenden Einsatz von (teil-)autonomen Systemen im Fahrzeug geht auch eine zunehmende Gefährdung durch Ausfall und vor allem durch Fehlfunktionen dieser Systeme einher. Diese Gefährdung wird sowohl durch den zunehmenden Grad der Elektrifizierung (Ausfall der Energieversorgung) des Fahrzeugs als auch durch den zunehmenden Grad an autonomen Funktionen verschärft.

Wird die HV-Batterie eines Fahrzeugs bei einem Unfall beschädigt, so kann es bei mechanischer Beschädigung der Batterie zu einem Brand des Fahrzeugs kommen. Diese Gefahr nimmt mit zunehmender Größe der Batterie, die eine Grundvoraussetzung für zunehmende Reichweiten ist, stark zu. Auch der Einsatz von zukünftigen Post-Lithium-Ionen-Systemen, wie zum Beispiel Lithium-Schwefel oder Lithium-Luft, wird diese Thematik aufgrund der erheblich höheren Energiedichten solcher Systeme noch zusätzlich verschärfen.

Auch nach dem Unfall eines Fahrzeugs bestehen Gefährdungspotentiale durch möglicherweise beschädigte HV-Batteriesysteme. Dies ist zum Beispiel durch einen Brand eines Chevrolet Volt lange Zeit nach einem Crashtest belegt. Es ist also auch nach einem Unfall wichtig für einen sicheren Umgang mit dem Batteriesystem bis zum stofflichen Recycling oder einer anderen Wiederverwertung des Batteriesystems zu sorgen.

Die beiden Megatrends der Automobilindustrie, das autonome, vernetzte Fahren und die Elektromobilität, führen also zu einer Zunahme dieser Gefährdungen in der Zukunft und erfordern

daher die Erforschung von Lösungsansätzen schon in der Gegenwart. Es besteht hier also großes Potential für die Partnerschaft der THI mit den an SEANCe beteiligten Unternehmen für die Lösung aktueller Probleme, wie auch eine langfristige Perspektive für die Zusammenarbeit, da die Herausforderung auf diesem Themenfeld, bedingt durch die globalen Entwicklungstrends in der Fahrzeugindustrie auch in Zukunft stark zunehmen werden. Diese Zusammenhänge sind schematisch auf Abbildung 1 dargestellt.



Abbildung 1: Schematische Darstellung der Aufgabenstellung

2. Ausgangslage und Stand der Wissenschaft und Technik

Bei Verkehrsunfällen mit Schwerverletzten oder Toten beziehungsweise mit erheblichem Sachschaden werden in der Bundesrepublik Deutschland zur Aufklärung der Unfallursachen in der Regel Sachverständige durch die zuständige Staatsanwaltschaft hinzugezogen. In zunehmendem Maße wird auch bei zivilrechtlichen Streitigkeiten, bei denen Verkehrsunfallabläufe zu klären sind, die Expertise von Unfallanalytikern vor Gericht in Anspruch genommen¹.

¹ M. Weber, „Das Query Projekt - Empfehlungen für das Berufsbild des Unfallanalytikers,“ EVU Hauptverein, Hamburg, 2006.

In der letzten Dekade hat sich dabei die in den verunfallten Fahrzeugen verbaute Technik grundlegend gewandelt. Eine Vielzahl technischer Innovationen hat Einzug quer durch alle Fahrzeugklassen gehalten. Neben neuentwickelten Antriebskonzepten (Elektromobilität, Hybridsysteme) sind dabei aus unfallanalytischer Sicht vor allem die Einführung aktiver / autonomer Fahrzeugsicherheitssysteme zu nennen².

In diese Kategorie fallen, neben den altbekannten Assistenten wie ABS/ESP-Systeme mittlerweile auch Assistenzsysteme, die aktiv einen Unfall verhindern sollen. Diese Systeme, wie etwa Spurhalteassistenten, adaptive Abstandsassistenten, Notbremsassistenten und viele weitere mehr greifen dabei heute schon aktiv in das Verkehrsgeschehen ein. Können diese einen Unfall nicht verhindern, so ist eine genaue Kenntnis der der Aktivitäten dieser Systeme in Kombination mit dem Verhalten des Fahrers notwendig, um den Unfall in der Retrospektive vollumfänglich rekonstruieren zu können. Hier stoßen die Verkehrssachverständigen jedoch zu Beginn des Projekts SAFIR SEANCe an ihre Grenzen, da die Regeleingriffe nicht protokolliert werden und sich dadurch dem erforderlichen herstellerunabhängigen Zugriff entziehen.

Erste Schritte, um dieses Dilemma aufzulösen, wurden in den USA durch die Einführung des EDR (Event Data Recorder) eingeschlagen, der seit 2014 verpflichtend in neu in Verkehr gebrachte Fahrzeuge zu integrieren ist³. Die dabei protokollierten Daten sind jedoch insbesondere im Hinblick auf die rasante Entwicklung der aktiven/ autonomen Systeme als nicht ausreichend anzusehen, um den Unfallablauf zweifelsfrei aufklären zu können. Auf dem Gebiet der Europäischen Union sollte ein erweiterter EDR etwa um das Jahr 2020 eingeführt werden [6], tatsächlich verzögerte sich dieser Termin nun auf Juli 2022. Dabei zeigten schon zu Beginn des Projekts die wissenschaftlichen Veröffentlichungen zur möglichen Ausgestaltung dieser EDR-Variante, dass auch die dort gespeicherten Daten nicht ausreichen werden, um Unfälle mit automatisierten Elektrofahrzeugen analysieren und aufklären zu können.

Auch im Rahmen von technischen Untersuchungen, die regelmäßig bei schweren Verkehrsunfällen durch die Staatsanwaltschaft beauftragt werden, sind, bei stark beschädigten Fahrzeugen, Aussagen über die ordnungsgemäße Funktionsweise der aktiven/automatisierten Systeme nur äußerst eingeschränkt möglich, da bis dato keine umfassende, eigenständige Prüfmöglichkeit von Steuergeräten außerhalb einer intakten Fahrzeugumgebung für den Sachverständigen zur Verfügung stand.

² K.-U. Schmitt und B. Jordan, „Pilotprojekt: Ältere FahrzeuglenkerInnen und Fahrassistenzsysteme,“ AGU Zürich, AXA Winterthur, bfu - Beratungsstelle für Unfallverhütung, Schweiz, 2013.

³ N. R. Nason, „Event Data Recorders - 49 CFR Part 563,“ National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA), Department of Transportation (DOT)., DEPARTMENT OF TRANSPORTATION

Zudem gewinnen Fragen, ob durch externe Datenmanipulation – Stichwort: Hackerangriff/Cyber Security - ein Unfall beeinflusst wurde immer mehr an Bedeutung, da die Vernetzung der Fahrzeuge und deren Internetanbindung stetig voranschreitet. Nach Zahlen, die durch die OEMs im Rahmen der IAA 2015 in Frankfurt bekannt gegeben wurden, wurde damit gerechnet, dass bereits 2017 rund 70% der neu in Verkehr gebrachten Fahrzeuge mit Internetanbindung ausgestattet sein werden⁴.

Außerdem ist anzumerken, dass bis jetzt noch kein auf dem Markt befindliches Unfall-Rekonstruktions-Programm in der Lage ist, die Funktionsweise der von den Systemen verwendeten Sensorik (Kamera-/ Radar-/ Lasersysteme) so nachzubilden, dass bei Bekanntgabe von Trigger-Schwellen bzw. Regelalgorithmen durch die Hersteller die Systeme auch virtuell nachgebildet werden können. Dies ist jedoch unverzichtbar, um speziell auch Fragen zur Vermeidbarkeit des Unfalles beantworten zu können.

Vor diesem Hintergrund erschien eine neue Herangehensweise an die Aufklärung/Rekonstruktion von Verkehrsunfällen mit einem interdisziplinären und herstellerunabhängigen Lösungsansatz als zwingend erforderlich. Dies gilt vor allem im Hinblick auf die Akzeptanz von automatisierten Fahrzeugen durch die Verkehrsteilnehmer. Denn wenn ein solches Fahrzeug verunfallt, der Unfallablauf durch neutrale Sachverständige nicht aufzuklären ist und somit ein technisches Versagen des Systems nicht ausgeschlossen werden kann, bestehen erhebliche Zweifel, ob sich solche Systeme durchsetzen können. Ganz zu schweigen von den unklaren rechtlichen Folgen.

Nach dem aktuellen Stand der Technik kann durch Auslesen von Steuergeräten nach einem Unfall das Geschehen, welches zum Unfall geführt hat, also nur schwer bis gar nicht rekonstruiert werden^{5,6}. Die für die Auswertung benötigten Daten liegen entweder vor und können nicht herstellerunabhängig ausgelesen werden oder die Daten/Datenträger sind beschädigt und müssen mit neuen Technologieansätzen rekonstruiert werden. Weiterhin sind die nötigen Funktionen und abgelegten Daten auch nicht für den Zweck der Auswertung vorgesehen. Dies gilt ebenso für die Steuergeräte von konventionellen Fahrzeugen wie auch für die Steuergeräte

⁴ M. Hucko, „Spiegel Online AUTO,“ Spiegel Online, 03 10 2015. [Online]. Available: <http://www.spiegel.de/auto/aktuell/autos-mit-internet-zugang-autobauer-muessen-umsteuern-a-1051815.html>.

⁵ BAST, DEKRA, UDV and VDA, „Safety of Light Commercial Vehicles,“ Verband der Automobilindustrie e. V. (VDA), Berlin, 2013.

⁶ W. A. Larl, „Digitale Spuren in der Airbag-Steuerung,“ www.unfallaufnahme.info, [Online]. Available: <http://www.unfallaufnahme.info/content/beitraege-anderer-autoren/digitale-spuren-in-der-airbag-steuerung/>.

und Komponenten wie Batteriesysteme von Hybrid- und Elektrofahrzeugen. Die Weiterentwicklung des Stands der Technik erfolgte im **Teilprojekt I**.

Durch den Einsatz von Hochvoltsystemen im Antriebstrang von Hybrid- und Elektrofahrzeugen kommen weitere Gefahrenquellen in das Fahrzeug⁷. Durch Isolationsüberwachung, Batteriemanagementsysteme und weiteren Sicherheitsfunktionen, lassen sich diese Gefahren wie elektrischer Schlag und Brand im normalen Betrieb eines Fahrzeugs sehr gut beherrschen^{8,9}. Die mechanische Konstruktion der Batterie trägt genauso einen großen Anteil zur Batteriesicherheit bei. Hier gibt es umfangreiche Konzepte zur elektrischen Isolation und vor allem zum Schutz der Batterie vor mechanischen Beschädigungen¹⁰. Diese führen aber meist zu einer deutlichen Zunahme des Gewichts der Batterie und damit zur Reduktion der Reichweite. Zum Teil liegt der Anteil der mechanischen und regelungstechnischen Komponenten eines Batteriesystems bei 40 % der Masse der Batterie. Ebenso bestehende umfangreiche Normen und Standards, mit denen die Sicherheit der Batterie im Normalbetrieb gewährleistet wird. Lösungen hierzu wurden im **Teilprojekt II** erforscht.

In aktuellen Hybrid- und Elektrofahrzeugen wird das Traktionsbatteriesystem umfangreich gegenüber mechanischen Gefährdungen geschützt. Ansätze dazu sind der Verbau in möglichst crashsicheren Bereichen wie dem Fahrzeuginnenraum oder dem Fahrzeugunterboden. Durch den beschränkten Bauraum wird häufig die mögliche Batteriegröße und damit auch die Reichweite beschränkt. Das kann auch zur Einschränkung der Nutzbarkeit des Fahrzeugs führen. Durch den Trend zu höheren Reichweiten nimmt auch die Batteriegröße zu, wodurch dieser Ansatz an seine Grenzen stößt. Ein anderer Ansatz besteht darin, die Batterie mit einer zusätzlichen Crash-Struktur zu versehen, die diese vor Beschädigungen schützt. Dies führt insbesondere bei großen Batteriesystemen zu einer erheblichen Zunahme des Batteriegewichts oder bei einem gleichbleibenden Batteriegewicht zu einer Reduktion der möglichen Anzahl an Zellen und damit zu einem Verlust an Reichweite.

⁷ M. Lammermann, C. Gillen und L. Eckstein, Integration of safety-critical loads in high-voltage vehicle electrical systems., Hochschule Aachen: fka Forschungsges. Kraftfahrwesen Aachen, 2012.

⁸ L. H. Saw, Y. Ye und A. A. O. Tay, „Integration issues of lithium-ion battery into electric vehicles battery pack,“ Journal of Cleaner Production, Nr. 113, pp. 1032 - 1045, 2016.

⁹ H. Köpf, E.-D. Wilkening, C. Klosinski und M. Kurrat, „Breaking performance of protection devices for automotive dc powertraings with a voltage of 450V,“ in 27th International Conference on Electrical Contacts, Dresden, 2014.

¹⁰ R. Kern, R. Bindel und R. Uhlenbrock, „Durchgängiges Sicherheitskonzept für die Prüfung von Lithium-Ionen-Batteriesystemen.,“ ATZ-Elektronik, Bd. 4, Nr. 5, pp. 22-29, 2009.

Zu Beginn des Projekts wurden verunfallte Hybrid- und Elektrofahrzeuge wie auch Altfahrzeuge mit großem Aufwand und unter einer großen Anzahl an Sicherheitsmaßnahmen geborgen. Insbesondere die Sicherung, Transport und Lagerung des Traktionsbatteriesystems steht dabei im Fokus. Schon bei Bagatellschäden wurden dabei durch große Vorsicht oft übertriebene Maßnahmen eingesetzt, wie zum Beispiel speziell gesicherte Transporte mit vollautomatischen Lösch- und umfangreichen Überwachungseinrichtungen. Zum Teil wurden die Batterien auch am Ort des Unfalls deaktiviert, wozu sogar Löschwasser in nicht brennende Batterien eingeleitet wird¹¹. Mit zunehmender Marktdurchdringung von Hybrid- und Elektrofahrzeugen sind diese Ansätze dann nicht mehr wirtschaftlich vertretbar und erschweren auch das stoffliche Recycling und andere sinnvolle Wiederverwendungsalternativen von Batterien. Teilweise wurden/werden ebenso umfangreiche Ansätze beim Bergen von Batteriesystemen aus Altfahrzeugen eingesetzt. Dadurch wird eine wirtschaftliche Wiederverwendung dieser Batteriesystemen sehr erschwert. Ziel der Forschungsaktivitäten im **Teilprojekt III** war es, hierfür Lösungsansätze zu finden. Somit ergibt sich folgendes Drei-Säulenmodell der Teilprojekte (Abbildung 2)

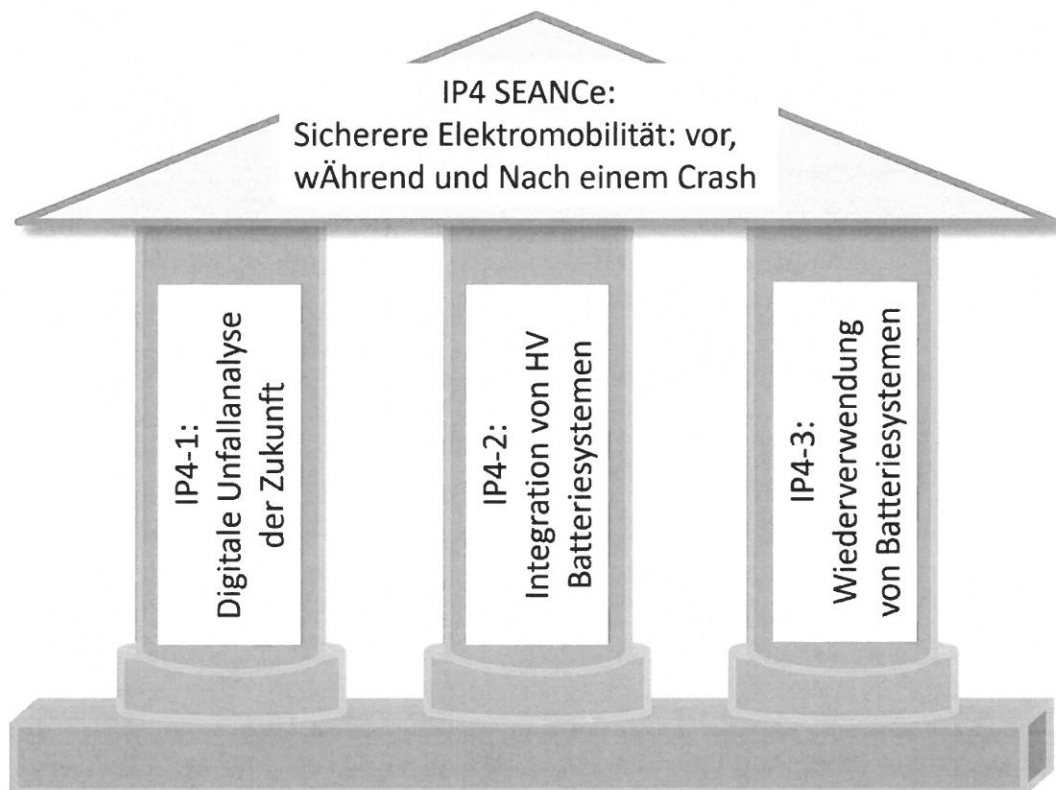


Abbildung 2: Drei-Säulen-Modell der Teilprojekte

¹¹ B. HARALD, B. OLAF, D. HARRY, S. HANS-GEORG und W. MICHAEL, „Arrangement and method for safely discharging an energy accumulator“. Patent US000009246338B2, 2016.

1.3. Teilprojekt III. Wiederverwendung von Batteriesystemen aus Unfall- und Altfahrzeugen

In Teilprojekt 3 ergab sich aus Personalgründen ein Verzug von 6 Monaten, welcher durch eine kostenneutrale Laufzeitverlängerung bis 30.06.2019 ausgeglichen werden konnte. Zur Einarbeitung des neuen Mitarbeiters wurde dessen Masterarbeit thematisch an das Teilprojekt angelehnt. Die zeitliche Planung der Bearbeitung der Arbeitspakete wurde daher im Vergleich zum ursprünglichen Plan verändert. Die Änderung ist dem folgenden Plan zu entnehmen (in grün dargestellt).

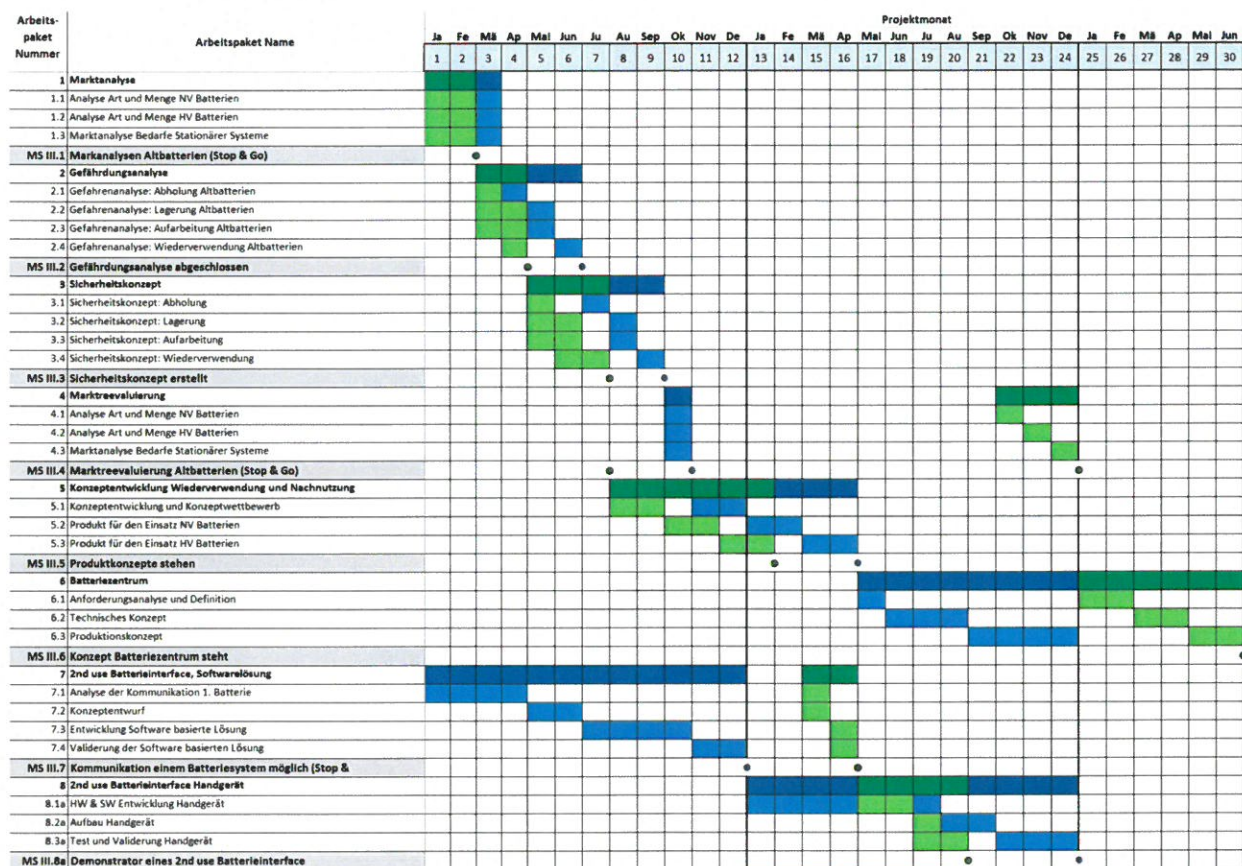


Abbildung 6: Gesamtübersicht Arbeitsplan Teilprojekt 3

4. Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Zusätzlich zu den im Projektantrag genannten Unternehmen DEKRA, EDAG und ELOGplan ergaben sich im Laufe des vierjährigen Projekts zahlreiche neue Kooperationen mit anderen Stellen, die teilweise auch als neue Projektpartner für die anschließende Intensivierungsphase gewonnen werden konnten.

Durch die im Zuge von Teilprojekt 1 gegründete Arbeitsgruppe AHEAD (Aggregated Homologation-proposal for EventRecorderData for Automated Driving) wurde die Teilnahme als Experten der Unfallanalytik am EU- und UNECE-Gesetzgebungsverfahren zum EDR und DSSAD ermöglicht¹². Dabei wurde auch eine enge Kooperation mit der europäischen Vereinigung für Unfallanalyse und Unfallforschung (EVU) gepflegt.

Darüber hinaus konnte durch eine äußerst fruchtbare Zusammenarbeit mit der FSD Fahrzeugsystemdaten GmbH, neben den Fahrzeugen der THI, auch auf Versuchsfahrzeuge aus umfangreichen Fahrzeugpool der FSD zurückgegriffen werden. Auf dieser Grundlage konnten einige Publikationen durchgeführt werden^{13, 14}.

¹² K. Böhm, D. Paula, H.-G. Schweiger, AHEAD - Aggregated Homologation-proposal for EventRecorderData for Automated Driving: Rechtssicherheit und Datenschutz für alle. [Online] Verfügbar unter: <https://www.thi.de/for-schung/carissma/technologiefelder/sichere-elektromobilitaet/ahead/>

¹³ D. Paula, K. Böhm, H.-G. Schweiger, „Reconstruction of traffic accidents with automated and electrified vehicles“, März 2020, ISBN 978-3-658-29943-9

¹⁴ D. Paula, K. Böhm, T. Kubjatko, H.-G. Schweiger; „Autonomous Emergency Braking (AEB) experiments for traffic accident reconstruction“; Proceedings of 25th International Scientific Conference. Transport Means, S. 108 – 112. ISSN 2351-7034. Online: <https://transportmeans.ktu.edu/wp-content/uploads/sites/307/2018/02/Transport-Means-2021-Part-I.pdf>; 07. Oktober 2021

II. Eingehende Darstellung

1. Erzielte Ergebnisse

1.1. Teilprojekt I. Nutzung von Fahrzeugsteuergeräten als Unfalldatenrekorder für Hybrid- und Elektrofahrzeuge

Im Zuge des Teilprojekts 1 konnten Erfolge in der Extraktion von unfallrelevanten Daten aus Fahrzeugsteuergeräten zur Nutzung in der Forensik erzielt werden. Dies erfolgte auch anhand von mehreren sehr aufwendig und tiefgreifend analysierten realen Unfällen. Im Fokus standen hierbei die Analyse von Airbag-Steuergeräten, Motor-Steuergeräten, Infotainment-Steuergeräten, eCall-Steuergeräten, ABS-/ESP-Steuergeräten sowie Fahrerassistenzsystem-Steuergeräte.

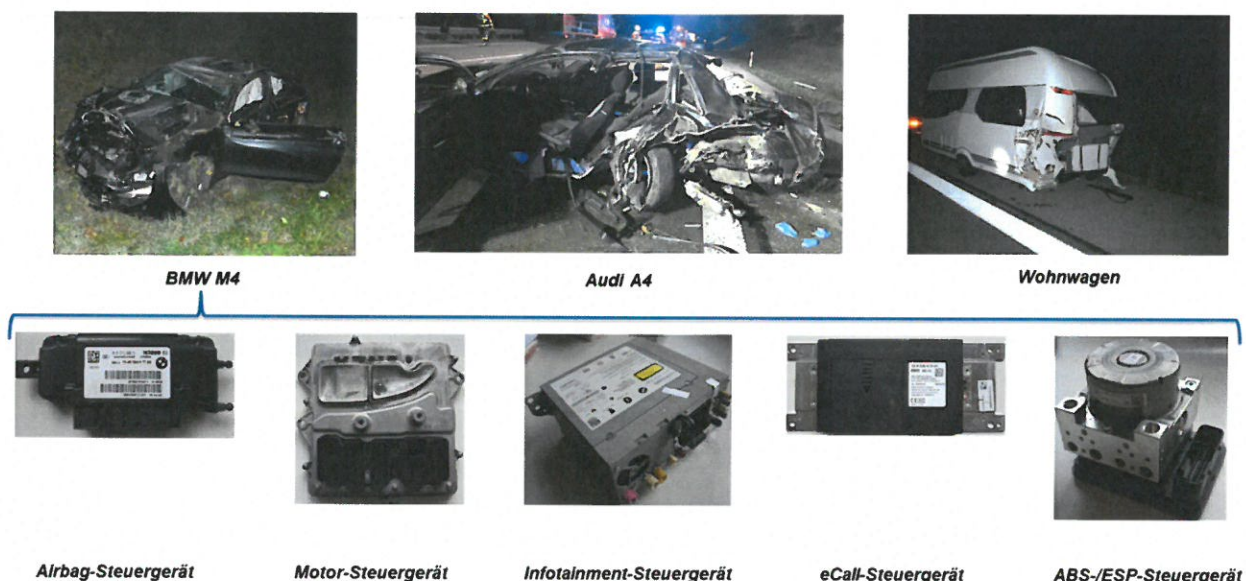


Abbildung 7: Auszug der untersuchten Steuergeräte verunfallter Fahrzeuge

Demnach konnten aus den Steuergeräten digitale Spuren zu den fahrdynamischen Parametern wie beispielsweise Geschwindigkeits- und Beschleunigungsverläufe extrahiert werden. Teilweise konnten auch Videos vom Unfallablauf, die durch die Systemkameras des Fahrzeugs aufgezeichnet wurden, extrahiert werden. Eine detaillierte Beschreibung der Untersuchungen kann der Dissertation „Methoden zur Extraktion und Verwendung von Systemkamera- und Sensor(fusions)-Daten für die Verkehrsunfallrekonstruktion“ von Klaus Böhm, die im Rahmen des Forschungsprojekts entstanden ist, entnommen werden.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass durch die entwickelten Methoden eine Vielzahl unfallrelevanter digitaler Spuren aus den untersuchten Fahrzeugen extrahiert werden konnten. Dieser Erfolg zeigte zugleich die damit auftretende immens große Datenflut, die es im Rahmen einer vollumfänglichen Unfallrekonstruktion allein schon aus Gründen der Beweissicherungspflicht auszuwerten gilt. Der damit einhergehende deutlich erhöhte

Arbeitsaufwand für alle im juristischen Prozess Beteiligten, vor allem für die involvierten Sachverständigen, aber auch für die Fahrzeug- bzw. Steuergerätehersteller der unfallbeteiligten Fahrzeuge, führt zu prozessökonomisch nicht wünschenswerten Konstellationen hinsichtlich der zu erwartenden Kosten und Prozessdauern. Zudem besteht die Gefahr, dass ohne standardisierte, vertrauenswürdige Datenpunkte sich teilweise widersprechende digitale Spuren ergeben, die nicht zu mehr Rechtssicherheit führen, sondern die im juristischen Prozess die Beteiligten verunsichern. Das Grundproblem bei der Verwendung der ausgelesenen Daten im Rahmen einer juristischen Aufarbeitung eines Verkehrsunfalls ist darin zu sehen, dass die Datenpunkte oftmals nicht standardisiert sind und auch nicht originär für die Aufklärung von Verkehrsunfällen konzipiert wurden. Obwohl im Zuge der Auswertung der extrahierten digitalen Spuren diverse Fehlerberechnungen durchgeführt wurden hat dies zur Folge, dass in den meisten Fällen keine belastbaren Fehlertoleranzen angegeben werden können. Sind jedoch Videos vorhanden, so können diese als Kontroll- und Plausibilisierungsinstanz herangezogen werden.

Zu den Einflüssen von automatisierten Systemen (z.B. Notbremsassistent) war es bei den bisher untersuchten realen Unfällen nicht möglich, aus den Steuergeräten digitale Spuren zu extrahieren. Deshalb wurden in den Einrichtungen des CARISSMA Test- und Forschungszentrums Laborversuche durchgeführt, die zum einen mögliche Methoden für einen zerstörungsfreien Zugang zu den relevanten digitalen Spuren aufzeigen sollten und zum anderen den Einfluss der Systeme auf den Unfallablauf am Beispiel des Notbremsassistent näher aufklären.



Abbildung 8: Durchgeführte Laborversuche mit einem Tesla Model X

Beim Tesla wurden neben den Fahrdaten und den damit erfassten Systemeingriffen insbesondere im Hinblick auf Bremsverzögerung und Verzugszeiten des Notbremsassistent zusätzlich auch die angezeigten Piktogramme und Systemmeldungen im Kombiinstrument ausgewertet. Über die Positionsbestimmung, die neben den verwendeten Messsystemen auch durch die Nutzung des Kameraoptimierungsmoduls in PC-Crash verfeinert wurde, konnte eine Verknüpfung zwischen der Anzeige im Kombiinstrument und der tatsächlichen Position der unfallbeteiligten Verkehrsteilnehmer bestimmt werden.

Zusammenfassend konnten im Zuge der Auswertungen die Aktivitäten des Notbremsassistent sehr präzise analysiert werden, allerdings konnte keine belastbarere Aussage darüber getroffen werden, was das System zu welchem Zeitpunkt detektiert hat und was der Grund für die getroffene Handlungsauswahl (z.B. nicht zu bremsen) war. Dies würde sich bislang nur mit einem Echtzeitmitschnitt der Objektlisten auf den Bussystemen des Fahrzeugs realisieren lassen, wobei diese Busnachrichten nicht ohne Unterstützung des Fahrzeugherstellers entschlüsselt werden können.

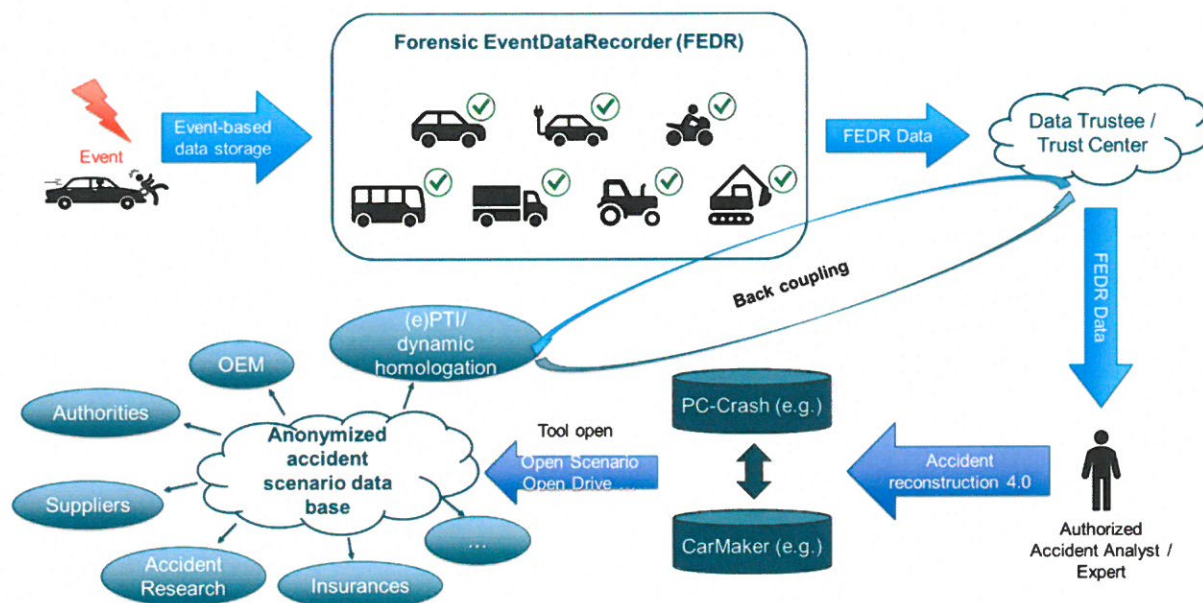


Abbildung 9: Gesamtkonzept Forensic Event Data Recorder (FEDR)

Die Ergebnisse zur Extraktion von unfallrelevanten Daten aus Fahrzeugsteuergeräten zeigte eindrucksvoll, dass auf politischer Ebene eine technische Möglichkeit geschaffen werden muss, in der im Falle einer Kollision unfallrelevante Daten in einem standardisierten Format gespeichert werden. Diesbezüglich wurde die Arbeitsgruppe AHEAD gegründet, ein Gesamtkonzept für einen Forensic Event Data Recorder (FEDR) entwickelt sowie ein Positionspapier zu diesem Thema

veröffentlicht¹⁵. Das in Abbildung 9 dargestellte Gesamtkonzept des FEDR sieht die Speicherung von digitalen Spuren bzw. Datenelemente zu den vor- und nachkollisionären Aktivitäten von Fahrerassistenzsystemen und des Fahrers mit entsprechender Authentizität, Integrität und Vollständigkeit vor. Weiterer integraler Bestandteil dieses Gesamtkonzeptes ist es, dass die FEDR-Daten über eine Cloud-Lösung an einen Datentreuhänder oder ein Trust Center übermittelt werden und so über Zugriffsberechtigungen die autorisierten Unfallsachverständigen barrierefrei und schnell an alle hinterlegten Daten gelangen können. In Verbindung mit modernen virtuellen Unfallrekonstruktionstools lassen sich unter Verwendung offener Schnittstellen (z. B. Open Scenario, Open Drive) diese präzise rekonstruierten realen Unfallszenarien schnell in anonymisierte Unfallszenarien-Datenbanken überführen. Damit hätte eine ganze Reihe von Shareholdern die Möglichkeit, auf sehr genaue reale Unfallszenarien zuzugreifen. Zusätzlich ließe sich damit schnell auf eventuell in der Fahrzeugentwicklung bisher unberücksichtigte Corner Cases speziell im Rahmen der Entwicklung automatisierter Fahrfunktionen reagieren und die beteiligten Fahrzeughersteller hätten die Möglichkeit, auch auf Unfallszenarien zurückzugreifen, bei denen ihre Fahrzeuge nicht beteiligt waren. So könnten alle Hersteller und die sonstigen im Entwicklungsprozess Beteiligten auch von den *Lessons Learned* der Mitbewerber profitieren. Darüber hinaus lässt sich mit diesem Konzept die Verkehrsinfrastruktur vor allem im Hinblick auf sicherheitskritische Smart Infrastructure verbessern und es trägt zur Entschärfung von Unfallschwerpunkten bei, was ebenfalls den Veröffentlichungen zum FEDR entnommen werden kann¹⁶¹⁷¹⁸¹⁹. Darüber hinaus wurden in Zusammenarbeit mit der Polizeihochschule Münster auch die rechtlichen Aspekte zur Nutzung von Fahrzeugdaten, die aus Fahrzeugsteuergeräten extrahiert wurden, untersucht und veröffentlicht²⁰. Um die im FEDR gespeicherten Daten validieren zu können wurde eine Methode zur visuellen Korrelation zwischen den extrahierten Systemkamera- und Sensor(fusions)-Daten und einer sehr genauen 3D-Unfallstellenvermessung

¹⁵ Positionspapier AHEAD, <https://www.thi.de/forschung/carissma/technologiefelder/sichere-elektromobilitaet/ahead>

¹⁶ K. Böhm, D. Paula, T. Kubjatko und H.-G. Schweiger, Hg., New developments on Event Data Recorder for automated vehicles, March 2020

¹⁷ K. Böhm, D. Paula, L. Wech und H.-G. Schweiger, Hg., Event Data Recorder (EDR) for accidents with automated vehicles – the accident analysis of the future, Nov. 2019

¹⁸ K. Böhm und M. Kreutner, „What should a EDR for automated vehicles look like from the accident analyst's point of view“. Ingolstadt, März 2018

¹⁹ H.-G. Schweiger und K. Böhm, „Event data recorder for autonomous and electric vehicles“. Berlin, Juni 2019

²⁰ C. Fother, K. Böhm, D. Paula; „Kann die Verwendung digitaler Fahrzeugdaten zur Rekonstruktion von Verkehrsunfällen unterhalb der Schwelle schwerster Unfälle verhältnismäßig sein?“, NZV, 2020

entwickelt, die in der Dissertation „Methoden zur Extraktion und Verwendung von Systemkamera- und Sensor(fusions)-Daten für die Verkehrsunfallrekonstruktion“ von Klaus Böhm beschrieben wird. Grundlage bildet hierfür eine entwickelte und veröffentlichte photogrammetrische Methode²¹. Darüber hinaus besteht die Möglichkeit bei dejustierten Sensoren oder einer fehlerhaften Kalibrierung der Sensoren durch diese Methode derartige Sensorproblematiken im Rahmen der Unfallanalyse zu detektieren. Damit konnte nachgewiesen werden, dass durch die Methode der visuellen Korrelation die Genauigkeit und Aussagekraft einer wissenschaftlich fundierten Unfallrekonstruktion deutlich verbessert und deshalb Systemkameradaten im Rahmen eines zukünftig verpflichtenden EDR als standardisierter Datenpunkt mitberücksichtigt werden sollten.

1.2. Teilprojekt II. Integration von HV Batteriesystemen in die Crashstruktur von PKW

Im Zuge des Teilprojektes 2 wurde ein Anforderungsprofil basierend auf den Sicherheitsanforderungen der Elektrofahrzeuge und den Prüfnormen und Richtlinien für Batteriesysteme, für die Integration von HV-Batteriesystemen in die Fahrzeugstruktur erarbeitet, siehe Tabelle 1²².

Tabelle 1: Materialauswahl für die Crashstruktur

Material / Eigenschaften	Stahl	Aluminium	CFK UD	CFK SMC	GFK SMC
Mechanische Eigenschaften	+	o	+	o	-
Leichtbaupotential	-	o	+	+	-
Energieabsorption	-	o	+	+	o
Chemische Beständigkeit	-	o	+	+	+
Temperatur Beständigkeit	+	+	o	o	o
Elektrischer Widerstand	-	o	o	o	+
Herstellbarkeit	+	+	o	+	+
Wirtschaftlichkeit	+	o	-	+	o

²¹ K. Böhm, K. Iwig, D. Paula, T. Kubjatko, H.-G. Schweiger, "Beweisfotoauswertung mittels Fotogrammetrie", Znalectvo 2/2020 - Fachzeitschrift der Universität Žilina, ISSN 1335 – 809X, EV 549/08

²² J. Lausch, „Ermittlung der mechanischen Eigenschaften von carbonfaserverstärkten Sheet Molding Compounds und Erstellung der zugehörigen Materialkarten für die Crash Simulation“. Masterarbeit, Technische Hochschule Ingolstadt, Ingolstadt, 2018.

Auf Basis der Anforderungen wurde das Material „carbonfaserverstärkte SheetMoldingCompound“ für die Crashesicherheit ausgewählt. Hierbei liegt der Schwerpunkt in der Energieabsorption im Falle eines Unfalls, damit die Zellen einen maximal möglichen Schutz erhalten. Abbildung 10 zeigt mehrere Anwendungsbeispiele, bei denen das Material in der Automobilindustrie bereits zum Einsatz kommt.

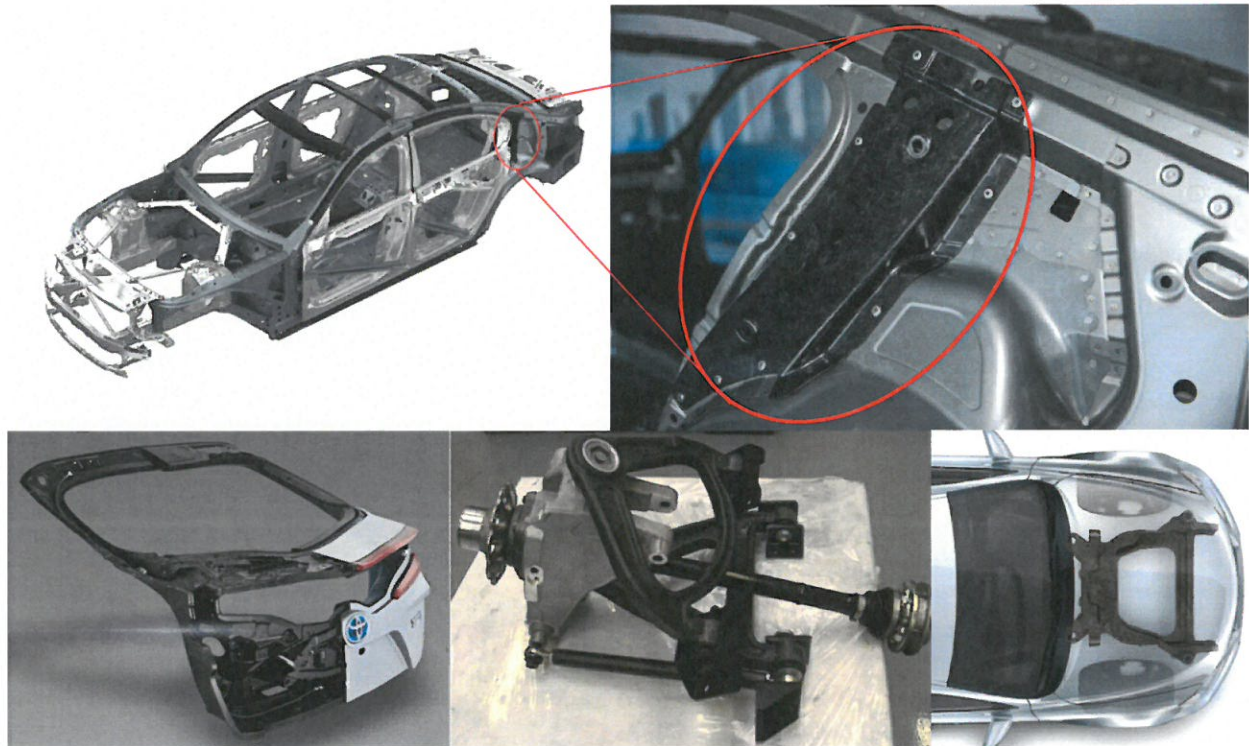


Abbildung 10: Anwendungsbeispiele von CF-SMC

Oben: BMW 7er Serie – SMC als Verstärkung C-Säule²³

Unten: Einsatz von CF-SMC im Toyota Prius PHV²⁴

Querlenker aus Forged Composites für den Lamborghini Sesto Elemento²⁵

Ford / Magna Subframe Design²⁶.

²³ <https://www.kfz-betrieb.vogel.de/bmw-7er-technologisches-schaustueck-a-507148/> und https://www.researchgate.net/publication/348110343_Composite_Material_Recycling_Technology_-_State-of-the-Art_and_Sustainable_Development_for_the_2020s

²⁴ <https://www.plasticstoday.com/automotive-and-mobility/smc-adopted-rear-door-frame-toyotas-new-prius-phv>

²⁵ <https://www.semanticscholar.org/paper/LAMBORGHINI-%E2%80%9C-FORGED-COMPOSITE-%C2%AE-%E2%80%9D-TECHNOLOGY-FOR-Feraboli-Gasco/d2f9d693a724335d9baa884c397b2c5b40681145>

²⁶ <https://www.compositesworld.com/cdn/cms/Magna-frame-diagram.JPG>

Für die Erstellung einer Materialkarte wurde zunächst eine umfassende Charakterisierung der Zug-, Druck- und Biegeeigenschaften durchgeführt, sowie eine erste Abschätzung der spezifischen Energieabsorptionseigenschaft untersucht, siehe Abbildung 11. Auf der 18 NAFEMS Dach Conference wurde ein Vortrag²⁷, über die Schwierigkeiten bei der Simulation von carbonfaserverstärkte SheetMoldingCompound gehalten. Zusätzlich wurde ein Beitrag²⁸ im NAFEMS Online Magazin platziert.

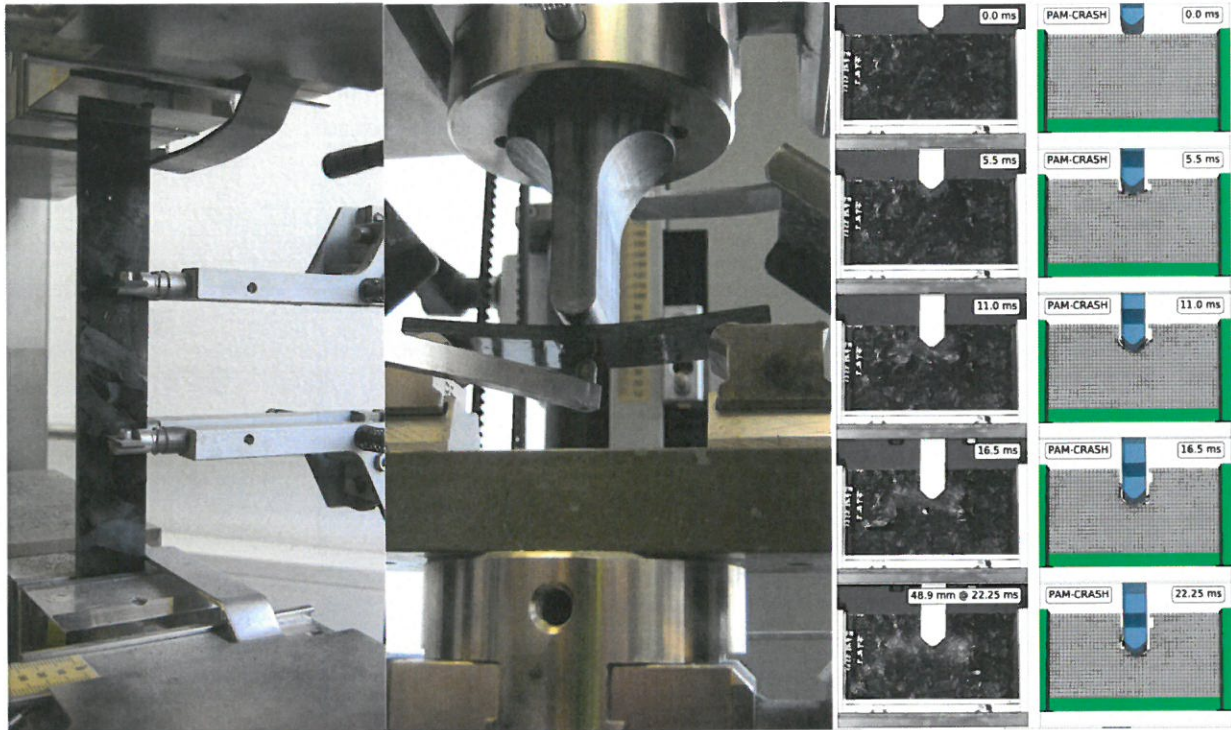


Abbildung 11: Materialcharakterisierung für die Materialkartenerstellung der Simulation

Für die Bestimmung der Energieabsorptionseigenschaften wurde zunächst eine neue Methode zur Charakterisierung von Platten Material entwickelt und im Journal Composites Part B veröffentlicht²⁹. Mithilfe dieser Methode kann die spezifische Energieabsorptionseigenschaft

²⁷ J. Lausch and H.-G. Schweiger, "Carbonfaserverstärkte Sheet Molding Compounds - Simulation und Realität," presented at NAFEMS 18 Dach Conf., Bamberg Germany, May 14-16, 2018.

J. Lausch and H.-G. Schweiger, "Carbon Fiber Reinforced Sheet Molding Compounds - Simulation and Reality," in Proc. of the NAFEMS 18 DACH Conference, Bamberg, Germany, May 14-16, 2018, pp. 109-112.

²⁸ J. Lausch and H.-G. Schweiger, „Carbonfaserverstärkte Sheet Molding Compounds - Simulation und Realität,“ NAFEMS Online Magazin, vol. 49, no. 1, pp. 68-73, Jan. 2019. [Online]. Available: <https://www.nafems.org/publications/magazin/>

²⁹ J. Lausch, M. Takla, H.-G. Schweiger, "Crush testing approach for flat-plate fibrous materials," Compos Part B Eng 2020;200:108333. doi:10.1016/j.compositesb.2020.108333.

vollständig eingespannter Faserverbundwerkstoffe ermittelt werden, ohne dass es zu einer Beeinflussung aufgrund der Einspannvorrichtung kommt. Plattenwerkstoffe sind zwar einfacher herzustellen und damit kostengünstiger in der Anschaffung, haben jedoch gegenüber selbsttragenden Strukturen einen wesentlichen Nachteil aufgrund einer benötigten Einspannvorrichtung. Hierbei macht die Methode sich den Umstand zunutze, dass bei Änderungen der Probenbreite die Beeinflussung durch die Einspannvorrichtung gleichbleibt und somit herausgerechnet werden kann, siehe hierzu Abbildung 12.

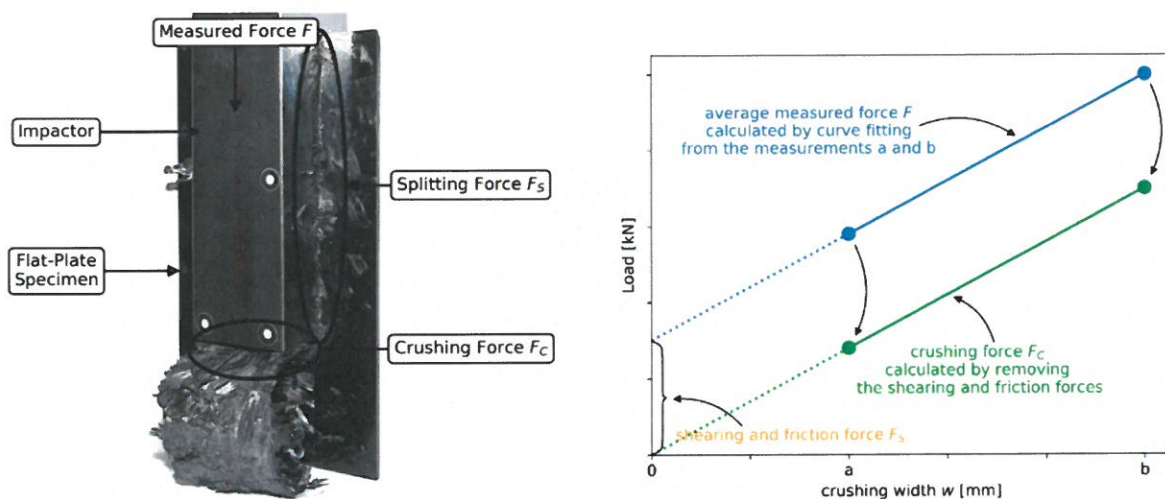


Abbildung 12: Schematische Darstellung der Methode zur Bestimmung der spezifischen Energieabsorptionsfähigkeit von Plattenförmigen Faserverbundwerkstoffen

Mittels der Methode wurde eine umfangreiche Versuchsreihe bezüglich der mechanischen Eigenschaften, Einfluss der Faserlänge, des Fasermassengehaltes und der Faserorientierung aufgrund des Herstellungsprozesses des diskontinuierlichen Carbonfaserwerkstoffes durchgeführt. Außerdem wurde der Einfluss der Proben dicke auf die Materialeigenschaften sowie die dehnratenabhängigkeit bei typischen Seitencrash Geschwindigkeiten untersucht. Die Ergebnisse wurden im Journal Composites Part A: Applied Science and Manufacturing veröffentlicht³⁰. Siehe Abbildung 13 für eine Übersicht der Versuche und Ergebnisse.

³⁰ J. Lausch, M. Takla, H.-G. Schweiger, "Crush Characteristics of Flat-Plate Discontinuous Carbon Composites," Composites. Compos Part A Appl Sci Manuf 2021:106431. doi:10.1016/j.compositesa.2021.106431 [in press].

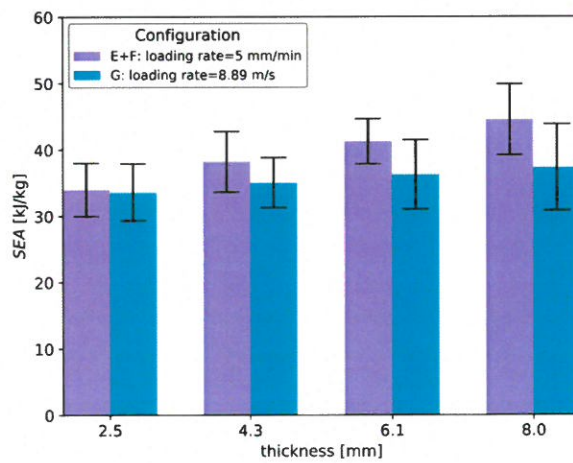
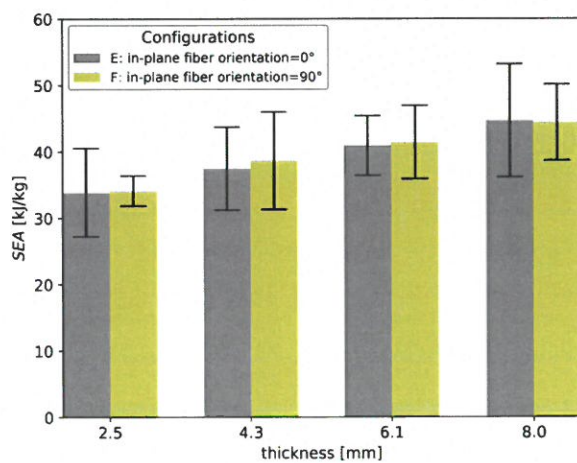
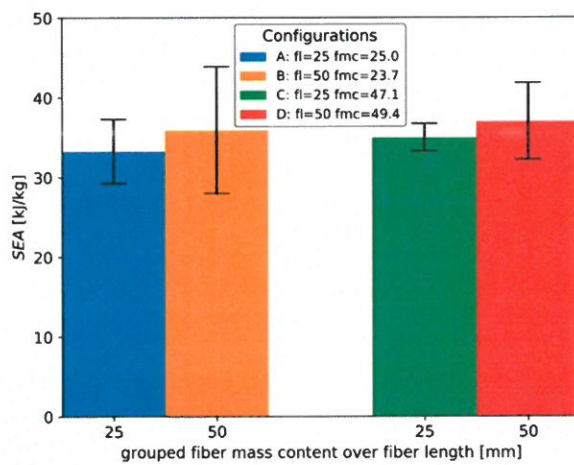
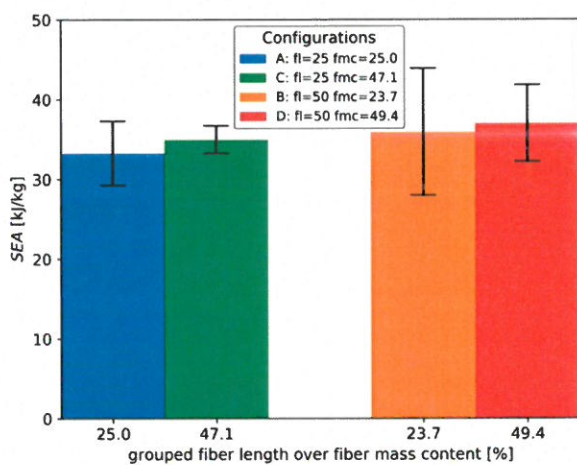
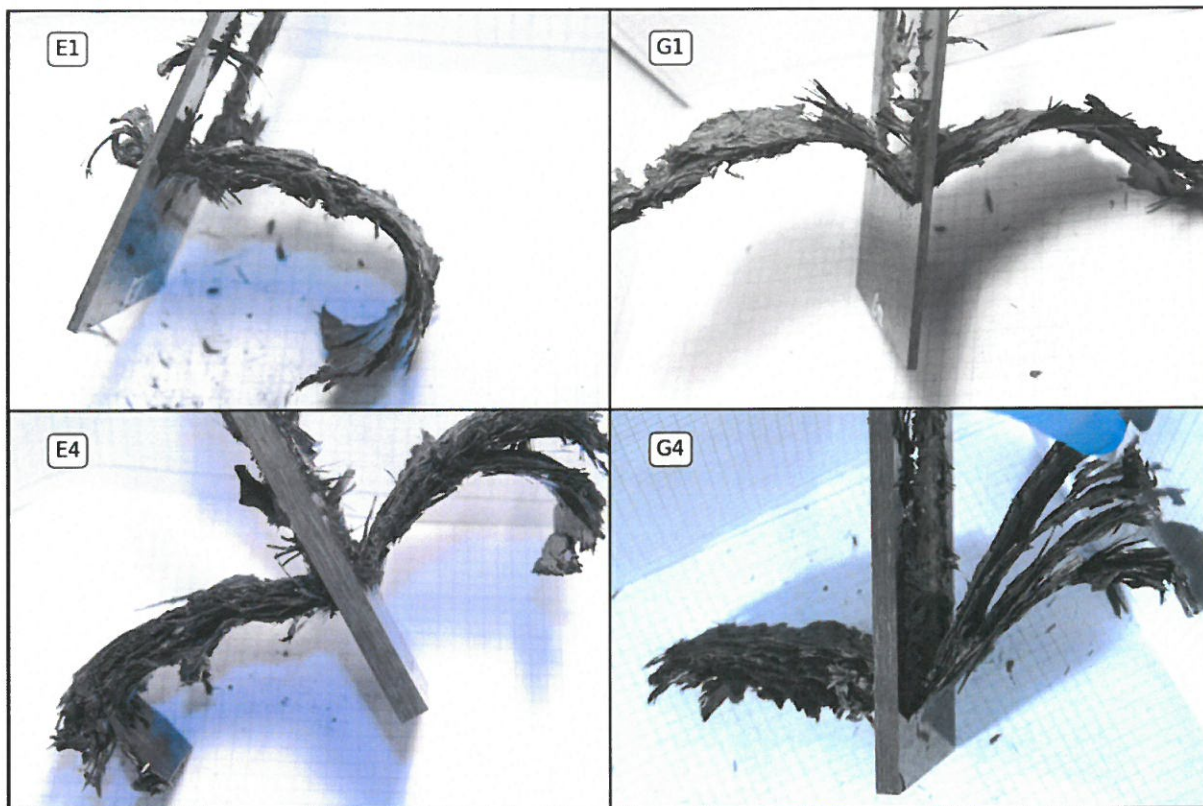


Abbildung 13: Übersicht der Materialcharakterisierung

Mithilfe des gewonnenen Wissens und basierend auf den Ergebnissen der Studie wurde ein Demonstrator in Form einer Fahrzeugstruktur entwickelt. Als Ausgangsbasis dient die Seitenschweller Struktur der Edag E-Plattform, siehe Abbildung 14.

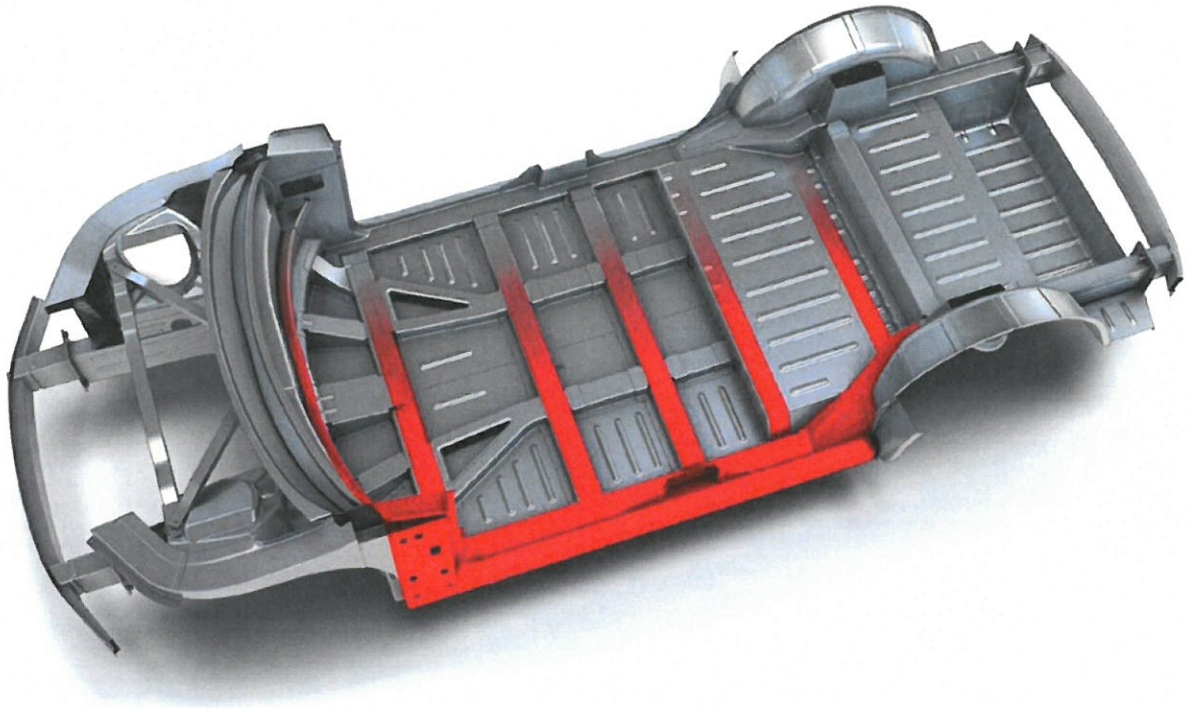


Abbildung 14: EDAG E-Plattform mit markierten Lastpfaden beim Seitencrash

Hierfür wurden verschiedene Konzepte ausgearbeitet, die die Ausgangsschwellerstruktur aus Stahl mit einem Bauteil aus CF-SMC ersetzen sollen, siehe Abbildung 15. Hierbei zeigten vor allem Konzept 1 und 3 potential für eine mögliche Anwendung in der Fahrzeugstruktur.

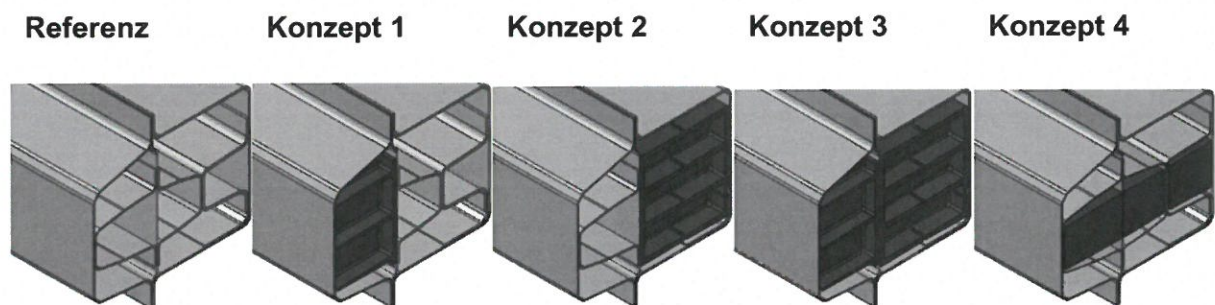
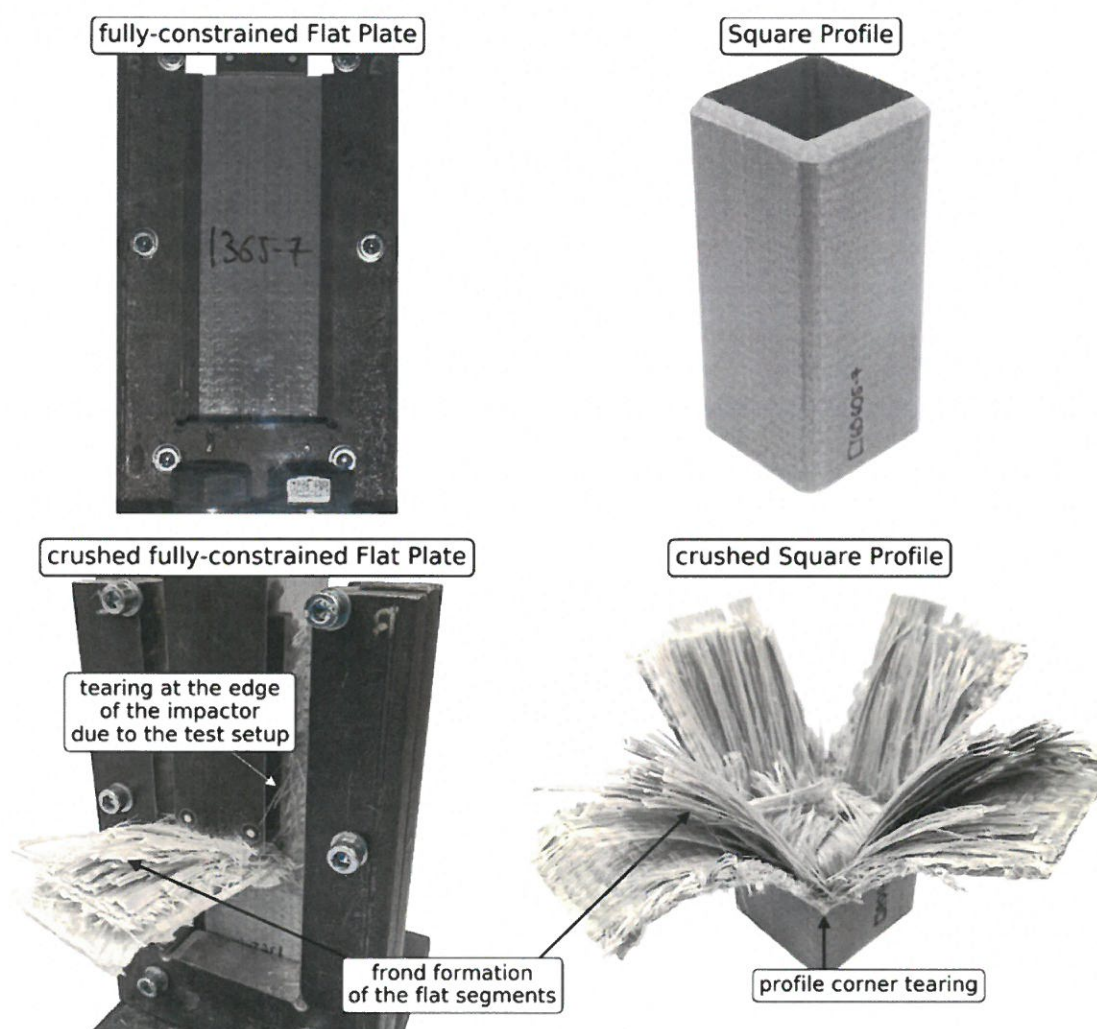


Abbildung 15: Übersicht der verschiedene Schwellerkonzepte

Um weitere Materialcharakterisierungen und zusätzliche Iterationsschleifen zu vermeiden wurde eine weitere Methode zur Charakterisierung der spezifischen Energieabsorptionseigenschaften von Profilen entwickelt und die Zusammenhänge zwischen den Plattentests dargestellt. Die

Methode und Ergebnisse wurden im Journal Composite Part B veröffentlicht ³¹. Hierbei konnte aufgezeigt werden, dass das aufreißen der Profile an den Ecken unabhängig der Profilbreite ist und mittels linearer Regression separiert werden kann, siehe hierzu Abbildung 16. Im Vergleich stellte sich heraus, dass die Energieabsorptionseigenschaften von Platten und der geraden Segmente der Profile nahezu identisch sind. Zusätzlich zeigte sich aber auch, dass die Energie aufgrund des Aufreißens der Ecken bei gleicher Eckgeometrie identisch ist. Hierdurch können mittels eines einfachen Tests Szenarios, die Eigenschaften der flachen Segmente und Ecken bestimmt werden. Anschließend lässt sich jede beliebige Geometrie, unter Annahme der gleichen Eckgeometrie, bestimmen. Eine Besonderheit stellen Rundprofile dar, da hier zusätzliche Effekte auftreten. Zum einen gibt es keine Ecken, an denen das Profil initial aufreißt, zusätzlich kommt es aufgrund des Profil Radius zu einer Zunahme des Biege widerstands der Spreizwedel.



³¹ Lausch J, Takla M, Schweiger H-G. Insight into crush performance comparison of composite profiles and flat plates. Compos Part B Eng 2022;233:109643. doi:10.1016/j.compositesb.2022.109643.

Abbildung 16: Vergleich der Versagensmoden von vollständig eingespannten Platenproben und Profile

Durch die zusätzlich gewonnenen Erkenntnisse konnte eine Optimierung der Konzepte 1 und 3 für die beste Performance bei gleichem Gewicht bzw. die geringste Masse bei gleicher Performance durchgeführt und simulativ überprüft werden. Als Simulationsmodell diente hierbei ein vereinfachtes Freischnittmodell der Seitenschwellerstruktur, siehe hierzu Abbildung 17 und für die Ergebnisse Tabelle 2. Aufgrund der Bauart eignet sich Konzept 1 als zusätzliches Anbauteil, welches je nach Ausstattungsvariante hinzugefügt werden kann. Konzept 3 hingegen bedarf einer aufwändigeren Integration in den Prozessablauf für die Montage der Rohkarosse, da das Material nach der Kathodentauchbadlackierung angebracht werden muss.

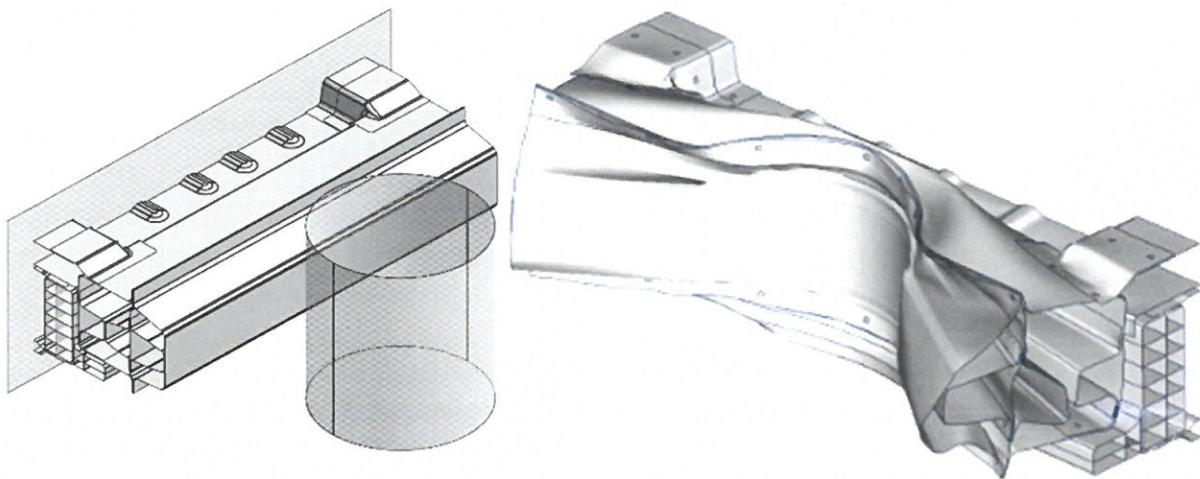


Abbildung 17: Ersatzlastfall und Simulation der Referenz aus Stahl

Tabelle 2: Simulationsergebnisse der Schwellerkonzepte aus CF-SMC

	Massenunterschied Ersatzlastfall [%]	Masseunterschied Gesamtfahrzeug [kg]	Maximale Intrusion [%]
Referenz	100	-	100
Konzept 1 Performance optimiert	100	-	93
Konzept 1 Gewicht optimiert	97	2.3	100
Konzept 3 Performance optimiert	100	-	86
Konzept 3 Gewicht optimiert	90	6.4	100

Zur Darstellung des performance-optimierten Konzepts zeigt Abbildung 18 den Schweller Demonstrator im Vergleich zu der Stahl-Variante. Aufgrund des hohen Energieabsorptionsvermögens des CF-SMC kommt es zu einer ca. 14% geringeren Intrusion. Dieser Zugewinn an Bauraum kommt nicht nur der Sicherheit und damit dem Insassen zugute, sondern auch der Batteriegröße.

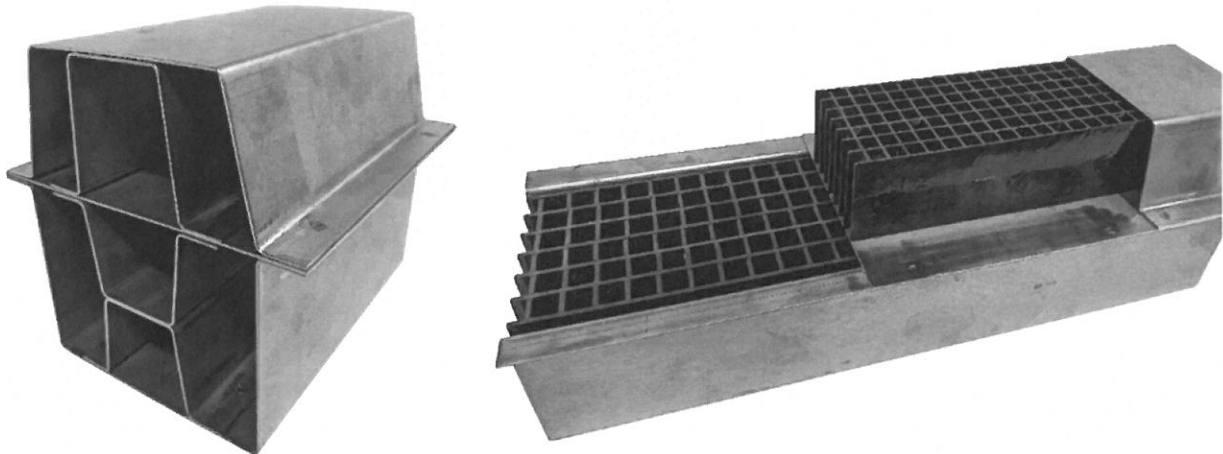


Abbildung 18: Gegenüberstellung Referenz Stahl Schweller und performance-optimiertem Schweller aus CF-SMC

1.3. Teilprojekt III. Wiederverwendung von Batteriesystemen aus Unfall- und Altfahrzeugen

Das Teilprojekt 3 beschäftigt sich zentral mit der Fragestellung, wie und in welchem Umfang künftig anfallende Altbatterien – sei es aus verunfallten Fahrzeugen oder Altfahrzeugen – weiterverwendet werden könnten und welche Aufwände (personell, finanziell) damit verbunden wären. Dabei lieferte der Projektpartner ElogPlan GmbH wertvollen Input aus Sicht des Anwenders, indem Aspekte des Tagesgeschäfts als Verwertungs- und Logistikunternehmen eingebracht wurden.

Im Zuge des Teilprojekts 3 wurden daher neben einer Marktanalyse zu anfallenden Altbatterien mehrere weitere Teilergebnisse erzielt. So wurde ein Demonstrator eines mobilen Interfaces zur Kommunikation mit Lithium-Ionen-Batterien zum Zwecke der Sicherheitsbewertung entwickelt. Außerdem diente ein umfassendes Sicherheitskonzept als Basis für die Erstellung eines Entwurfes für ein Batteriezentrum, innerhalb welchem Altbatterien gesammelt und weiterbearbeitet werden können. Dieses Batteriezentrum als Hauptergebnis führte die Ergebnisse zusammen, sodass beispielsweise der entwickelte Demonstrator fester Bestandteil der Arbeitsabläufe innerhalb des Batteriezentruns ist.

Zum Arbeitspaket der Marktanalyse wurde ein Rechenmodell zur Prognose der Anzahl an Altbatterien aus Unfall- und Altfahrzeugen basierend auf vorhandenen bzw. prognostizierten Zulassungszahlen entwickelt.

Neben den Zulassungszahlen wurden auch Unfallraten sowie die Lebensdauer von Fahrzeugen mit einbezogen, um die Zahl der Unfall- bzw. Altfahrzeuge möglichst belastbar prognostizieren zu können. Daher wurden diverse Quellen recherchiert und für die verschiedenen Faktoren des Modells berücksichtigt.

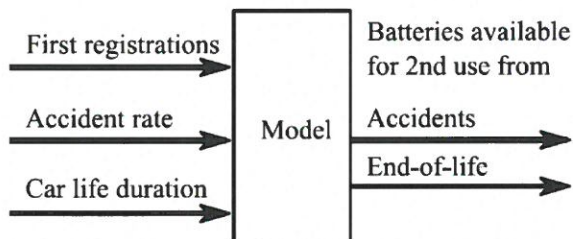


Abbildung 19: Modelleingabe- und Ausgabeparameter zur Prognose der Anzahl an Unfall- und Altfahrzeugen [33]

Aufgrund der Vielfalt der Quellen zur Prognose künftiger Zulassungszahlen und der Vielfalt an Fahrzeugkonzepten mit E-Antrieben, welche nicht selten unter dem Terminus EV zusammengefasst werden, wurden drei Szenarien (optimistisch, medium, pessimistisch) sowie eine Untergliederung in HEV, PHEV und BEV-Fahrzeuge durchgeführt.

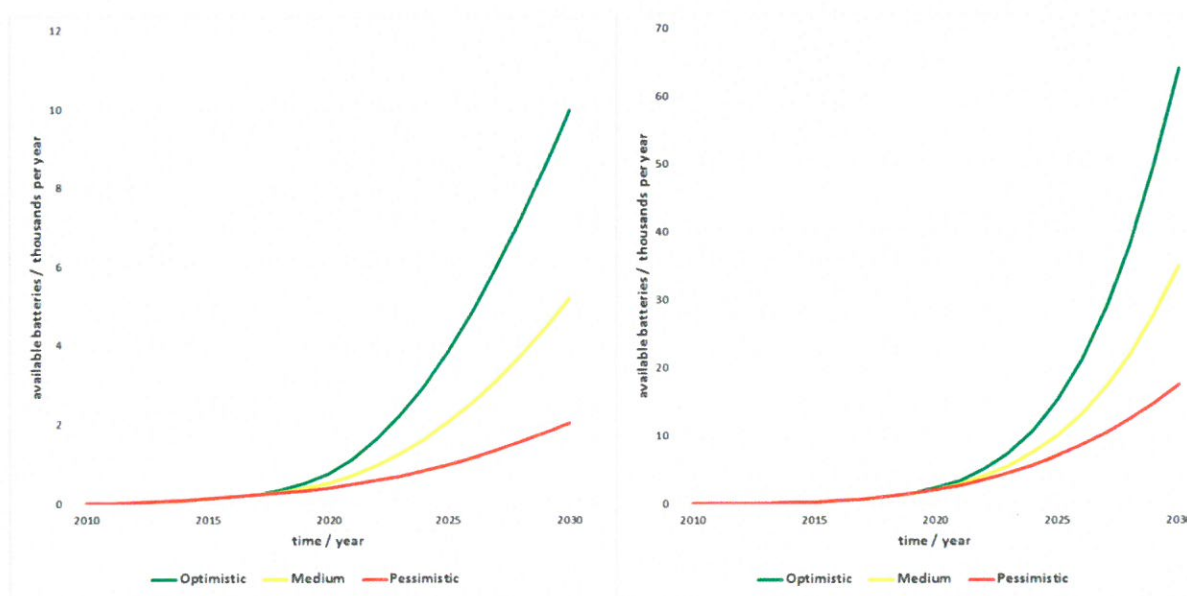


Abbildung 20: Prognosen der Anzahl von BEV-Fahrzeugen aus Unfällen (links) sowie BEV-Fahrzeugen am Ende des Lebenszyklus (rechts) [33]

Diese Ergebnisse wurden auf einer Konferenz präsentiert³².

Zusammen mit den Ergebnissen der Marktreevaluation waren diese Daten Grundlage für eine eingereichte und akzeptierte Veröffentlichung³³.

Eine der Kernfragestellungen des Teilprojekts war die Handhabung der prognostizierten Altbatterien. Für den Projektpartner ElogPlan stand dabei vor allem die sichere Handhabung während des Transportes, der Lagerung sowie der regelmäßigen Prüfung im Vordergrund. Hierzu sollten auch mögliche benötigte Personal- und Kostenaufwände abgeschätzt werden.

Daher wurde zunächst untersucht, welche Kernvoraussetzungen für eine sichere Handhabung von Altbatterien getroffen werden müssen. Wesentlicher Bestandteil hierbei ist eine möglichst umfassende Einschätzung des Sicherheitszustandes der Batterien, welche zudem für eine wirtschaftliche Anwendbarkeit und möglichst ohne detailliertes Fachwissen leicht anwendbar sein sollte. Hierfür wurde – im Rahmen einer thematisch angegliederten Abschlussarbeit³⁴ - ein Demonstrator eines mobilen Interfaces zur Kommunikation mit Lithium-Ionen-Speichern entwickelt. Dieses besteht aus einer mobilen Hardware, welche an Energiespeicher angeschlossen wird und relevante Batteriedaten via Bluetooth Low-Energy an eine dazugehörige Smartphone-App übermittelt, wo diese sodann ausgewertet werden.

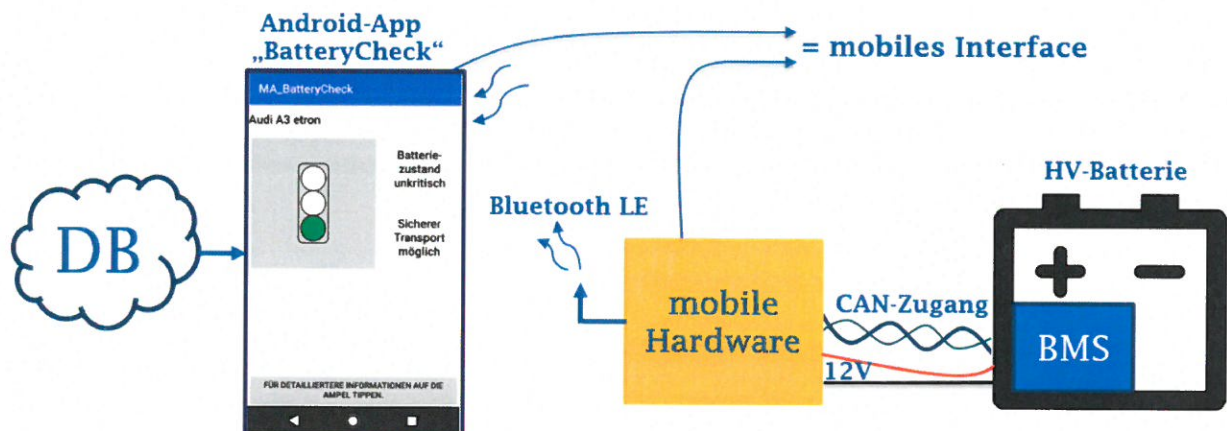


Abbildung 21: Prinzip des mobilen Interfaces: eine Hardware wird an den Kommunikationszugang einer HV-Batterie angeschlossen und sendet die Daten an eine Smartphone-App

³² E. Machuca, H.-G. Schweiger, Availability of high voltage batteries from HEV, PHEV and BEV in Germany from accidents and end of life for recycling and/or second use: a forecast from 2010 till 2040, Batteries 2017, Nice 2017

³³ E. Machuca, F. Steger, J. Vogt, K. Brade and H.-G. Schweiger, Availability of lithium ion batteries from hybrid and electric cars for second use: How to forecast for Germany until 2030, Journal of Electrical Engineering, accepted 04/2018

³⁴ •D. Koch, „Entwicklung eines mobilen Interface zur Kommunikation mit Lithium-Ionen-Energiespeichern“. Masterarbeit, Technische Hochschule Ingolstadt, Ingolstadt, 2018.

Neben dieser Anschlussmethode wurde auch die Möglichkeit einer umfassenden elektrischen Prüfung der Altbatterien auf beispielsweise einem Batterieprüfstand evaluiert. Diese würde zwar einen Mehrwert an Information bedeuten, zur Aktivierung der Batterie ist aber ohnehin eine CAN-Verbindung nötig, um beispielsweise die Hauptschütze zur Testdurchführung zu schließen. Die Testausführung selbst würde wiederum ein technisches Vorwissen in diesem Bereich bedingen, was eingangs erwähnter, einfacher Anwendbarkeit widersprechen würde. Daher greift das mobile Interface ausschließlich auf die vom BMS gesendeten Daten zu, welche sodann interpretiert und dem Benutzer angezeigt werden können.

Durch ein erweiterbares Datenbank-Konzept der App-Softwarestruktur können verschiedene Modelle eingepflegt werden. Dies ist wegen eines noch fehlenden Standards notwendig. Vor allem durch die angestrebte Lagerung und Bearbeitung von Altbatterien verschiedener Modelle ist diese Eigenschaft wichtig, damit das entwickelte Interface umfassend Anwendung finden kann.

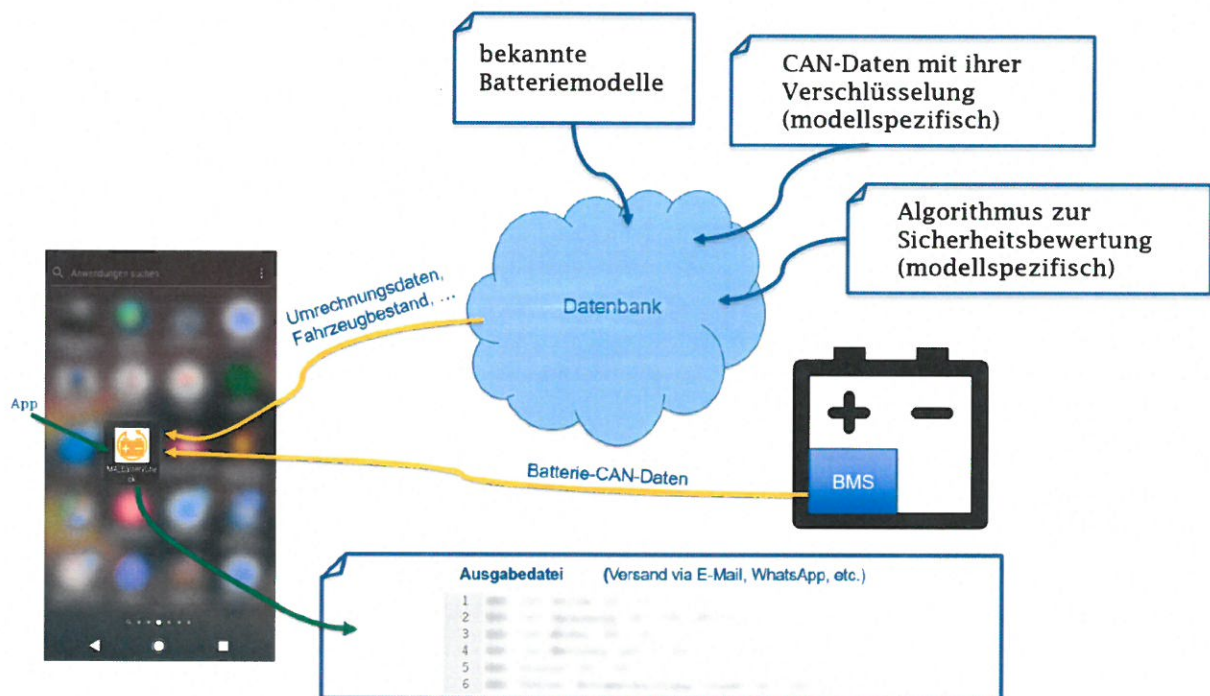


Abbildung 22: Konzept des Informations-Kontextes der mobilen Anwendung mit der erweiterbaren Backend-Datenbank zur Speicherung verschiedener Batterie-Modelltypen

In der Smartphone-Anwendung, welche der Darstellung der empfangenen und ausgewerteten Daten dient, kann sich der Nutzer zudem weitergehend über mögliche Empfehlungen informieren. Da – in Absprache mit dem Projektpartner – der Transport von Altbatterien unbekannter Herkunft einen wesentlichen Teil der offenen Fragestellungen ausmachte, wurde der Fokus der Auswertung von batterieinternen Daten vor allem auf diesen Transportfall ausgelegt. Die Smartphone-Anwendung gibt daher gezielte Hinweise beispielsweise zur Verpackung bzw. generellen Handhabung von Altbatterien im Transportfall, welche mit den zur Zeit der Entwicklung geltenden ADR-Vorschriften abgeglichen wurden.

Dieser Fokus während des Projektes auf den Transportfall tut der allgemeinen und universellen Anwendbarkeit des Interfaces jedoch keinen Abbruch. Durch die erweiterbar gestaltete Datenstruktur sowie die Auswertelogik der ausgelesenen Daten kann der Fokus jederzeit an die konkrete Anwendung angepasst werden. Hierzu wurde ein Entscheidungsbaum als Auswertelogik für die Batteriedaten gewählt, welcher ausschließlich auf den CAN-Botschaften und damit auf den ausgelesenen Daten basiert.

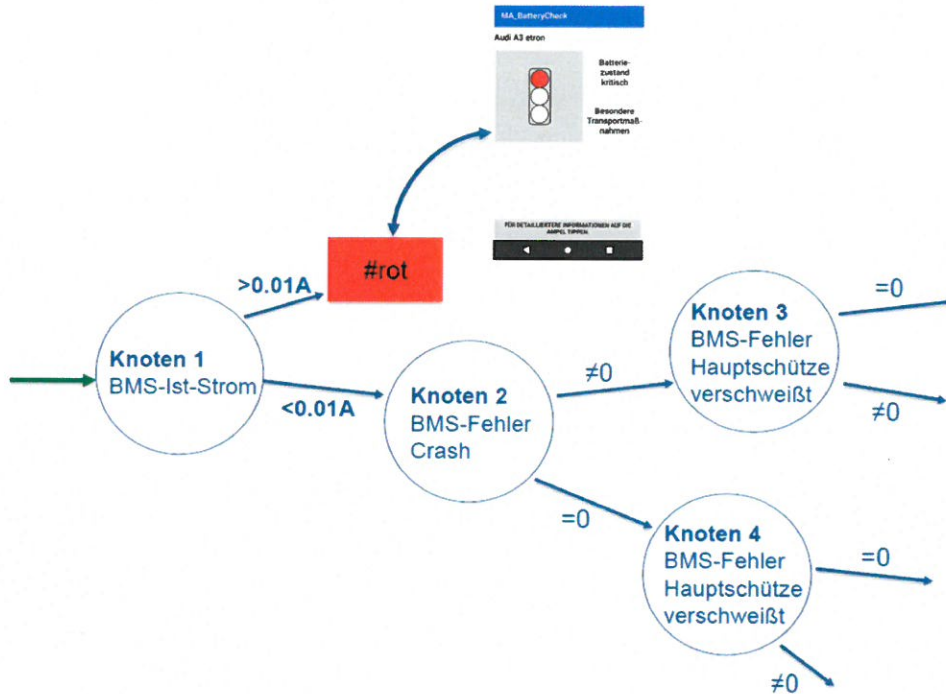


Abbildung 23: Auswertelogikbeispiel empfangener BMS-Daten in Form eines Entscheidungsbaums

Durch die direkte Auswertung der Nutzwerte empfangener BMS-Daten ist zum einen eine Nachvollziehbarkeit des Ergebnisses möglich, zum anderen aber auch die zuvor genannte Anpassung der Auswertelogik nach Anwendung. So können beispielsweise spezifische Algorithmen zur Einschätzung im Transportfall sowie auch zum regelmäßigen Checkup während der Lagerung hinterlegt werden. Komplettiert wird der Einsatz durch eine intuitive Benutzeroberfläche der Smartphone-Anwendung.

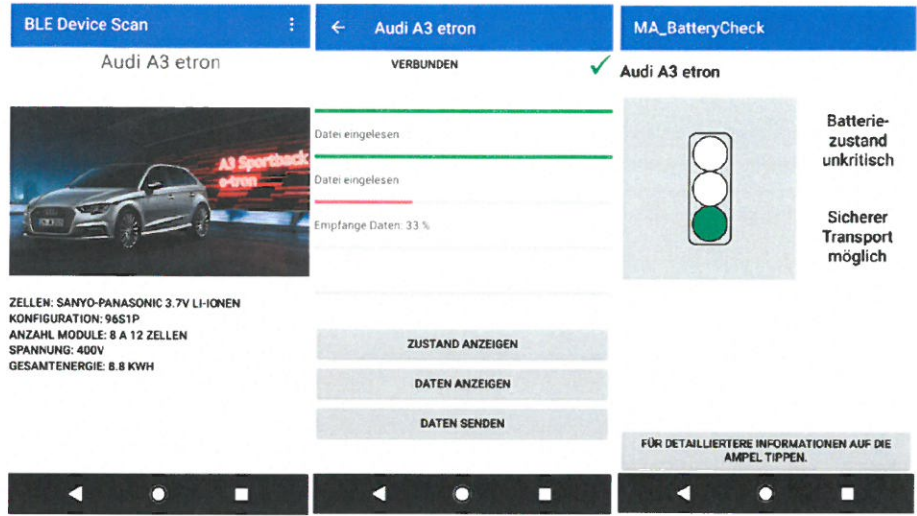


Abbildung 24: Benutzeroberfläche der Smartphone-Anwendung des mobilen Interfaces

Das Gerät ermöglicht es also, vor einem Transport den sicherheitsbezogenen Zustand eines Energiespeichers zu bewerten, um entsprechende Transportmaßnahmen ergreifen zu können sowie später in einem Batteriezentrum die Kategorisierung von Speichern zu ermöglichen. Desweiteren wird damit auch die Einordnung für mögliche Second-Life-Anwendungen vereinfacht. Das entwickelte mobile Interface soll in einer Publikation im Februar 2022 veröffentlicht werden.

Im Zusammenhang mit Second-Life Anwendungen wurden in Teilprojekt 3 auch verschiedene Konzepte diskutiert. So wurden im Wesentlichen drei Batteriesegmente ausgewählt: große Batteriespeicher aus Flaggship-Fahrzeugen wie dem Tesla Model S, Batterien aus dem Mittelklasse-Segment wie dem Renault Zoe sowie kleinere Batterien in hoher Stückzahl aus Fahrzeugen wie dem Toyota Prius (Hybrid). Basierend auf den zur Zeit der Analyse aktuellen Bestandszahlen wurden drei Second-Life Szenarien betrachtet und evaluiert: Altbatterien als Hausenergiespeicher (niedrige bis mittlere Energieanforderung), Batteriepark zur Bereitstellung von Primärregelleistung (hohe Energie- und Leistungsanforderung) sowie Pufferbatterien für Schnellladesäulen (mittlere bis hohe Leistungsanforderung). Für diese Anwendungen wurden die maximalen Anschaffungspreise der Altbatterien unter verschiedenen Aspekten errechnet, wie beispielsweise Stromeinsparungen aus Kundensicht, Randbedingung des Neu-Produktpreises oder Amortisationsdauer. Neben diesen Faktoren wurden auch mögliche Risiken bei den Annahmen herausgearbeitet, die zu einer reduzierten Anzahl an Altbatterien führen könnten, die dann nicht für eine Second-Life Anwendung zur Verfügung stünden. Dies könnten beispielsweise höhere Lebensdauern im Ersteinsatz als angenommen sein, geringere Zulassungszahlen als prognostiziert oder auch Konzepte wie Batteriemieten, die den Speicher zu einem dauerhaften

Eigentum der OEMs machen. Die Ergebnisse sowie die Vorgehensweise sind in einer thematisch angegliederten Masterarbeit ausgeführt³⁵.

Im letzten Abschnitt des Teilprojekts 3 wurden diverse Aspekte im Tagesgeschäft eines Verwertungsdienstleisters mit Bezug zur Gefährdung und Sicherheit der Abläufe und Mitarbeiter zusammengetragen. Basierend hierauf wurde ein Konzept für ein Batteriezentrum erstellt, welches die Anforderungen an eine sichere Sammlung/Lagerung von Energiespeichern erfüllen sollte. Dieses Konzept umfasst alle Prozesse, von der Sammlung/Transport, der Eingangskontrolle sowie der Bearbeitung und Lagerung innerhalb des Batteriezentrums unter sämtlichen Gesichtspunkten der Sicherheit für alle Beteiligten. Das Konzept des Transports von Batterien wurden daher in Einklang mit den Vorschriften des ADR erstellt, welcher unter anderem eine Einschätzung der Speicher vor Ort fordert, um entsprechende Transportmaßnahmen zu ergreifen. Deshalb wurde die Entwicklung des oben beschriebenen mobilen Kommunikationstools in das Konzept des Batteriezentrums mit eingeflochten, welches auch innerhalb des Bearbeitungs-/Lagerungsprozesses Anwendung findet (regelmäßige Überwachung des Zustands zur Gewährung der Sicherheit). Bezüglich der Lagerung von Energiespeichern wurden aufbauend auf Empfehlungen der Gesellschaft deutscher Versicherer (GdV) ein Sicherheitskonzept abgeleitet. Zusammenfassend gibt das Batteriezentrumskonzept Handlungsempfehlungen zum Umgang mit gebrauchten Energiespeichern, der Datenpflege sowie zu sinnvollen Qualifikationen aller im Prozess Beteiligten. Im Weiteren wurden auch Abschätzungen zu benötigten Kapazitäten/Ressourcen im Falle der Firma ElogPlan angestellt und evaluiert. Das Konzept des Batteriezentrums soll als Grundlage für die Erschließung weiterer Geschäftsfelder von ElogPlan dienen.

Zunächst wurden basierend auf den zuvor durchgeführten Prognosen künftiger Zulassungszahlen von Elektrofahrzeugen die verschiedenen Szenarien kritisch evaluiert. Hierbei wurden zahlreiche Einflussfaktoren identifiziert, die zu einer größeren Unsicherheit bei den prognostizierten Zahlen führen. Daher verstehen sich die Vorhersagen zu benötigten Kapazitäten im Falle der ElogPlan als reine „Hausnummer“, um eine erste Wirtschaftlichkeitsprüfung zu ermöglichen. Hierbei wurde angenommen, dass etwa 1 % der anfallenden Batterien pro Jahr in die Region 10 entfallen, was einer geschätzten Menge von etwa 500 – 1000 Batterien/Jahr entspricht. Für die Kapazitäten ergaben sich daher geschätzte Zahlen von 2-4 Mitarbeitern im Batteriezentrum, ca. 50 m² benötigte Lagerfläche sowie ca. 1-2 Transportfahrzeuge zur Sammlung der Altbatterien. Zusätzlich wurden hier auch die Unsicherheitsfaktoren bewertet, die zu Abweichungen der Schätzungen in beide Richtungen führen könnten. So würde es eine erheblich höhere Anzahl an Altbatterien bedeuten, wenn beispielsweise Altbatterien eines

³⁵ •C. Fehringer, „Erstellung von Second-Use Konzepten für Traktionsbatterien mit Rentabilitäts- und Risikenbetrachtung“. Masterarbeit, Technische Hochschule Ingolstadt, Ingolstadt, 2018.

Herstellers exklusiv an ElogPlan abgegeben würden. Erheblich weniger auf ElogPlan entfallende Batterien wären es dagegen im Falle längerer Lebensdauern bzw. längerer Nutzungszeit durch die Besitzer der Batterien.

Zur Strukturierung des Batteriezentrams wurde im Anschluss jede Phase einzeln betrachtet: Sammlung/Transport, Eingangskontrolle, Bearbeitung, Lagerung. Für jede der Phasen wurden entsprechende Prozessbestandteile sowie benötigte Sicherheitsausrüstung für die Mitarbeiter definiert. Ein großes Augenmerk lag dabei auf der Erhebung von Informationen über den Status der Altbatterie – einer Teilaufgabe mitunter im Sammlungs-/Transportprozess, aber auch bei der Eingangskontrolle. Hierbei wurde das entwickelte mobile Interface fest in den Prozessablauf integriert. Für den Schritt der Bearbeitung einer Altbatterie, also beispielsweise der elektrischen Prüfung, wurde zudem ein Vorschlag für die Gestaltung und Ausstattung eines Arbeitsplatzes innerhalb des Batteriezentrams erarbeitet.

Für die Lagerung wurden zwei wesentliche Fälle unterschieden: nicht-kritische und kritische Batterien. Im ersten Fall wurden mögliche räumliche Anforderungen für ein Lager innerhalb des Zentrums definiert; für den kritischen Fall ein externes Lager mit der Möglichkeit einer Wasserflutung.

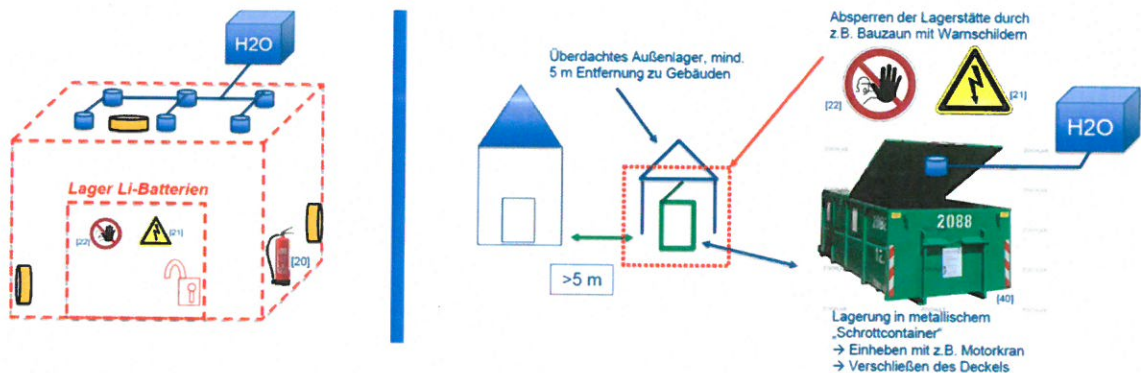


Abbildung 25: Innenlager (links) und Außenlager (rechts) für die Aufbewahrung von Altbatterien in einem Batteriezentrum

Zuletzt wurden noch Empfehlungen zu Schulungen/Qualifikationen der Mitarbeiter sowie Vorschläge zur Datenpflege innerhalb des Batteriezentrams ausgearbeitet. Letztere integriert wiederum das mobile Interface und dessen Möglichkeit zum Versand von Batteriedaten. Damit können beispielsweise Informationen aus eingesammelten Altbatterien ins Batteriezentrum übermittelt werden, bevor diese dort eintreffen. Dies ermöglicht weiteren Mitarbeitern eine entsprechende Vorbereitung. Neben diesen „Erstinformationen“ stellte sich dabei auch die akribische Dokumentation während des Bearbeitungsprozesses heraus (z.B. Sichtprüfungen, elektrische Tests). Die Gesamtheit der Daten könnte dann beispielsweise als Basis für die Erstellung eines Produktdatenblattes dienen, welches die Teilnahme an einer fortlaufenden Wertschöpfungskette ermöglichen würde.

Zusammenfassend wurden die Teilergebnisse aus Teilprojekt 3 durch die Konzeption des Batteriezentrums optimal kombiniert. Somit wurden nicht nur die Grundlagen für eine qualifizierte Aufwandsschätzung eines solchen Zentrums erarbeitet, sondern auch Prozesse und Notwendigkeiten für einen wirtschaftlich rentablen und vor allem sicheren Betrieb für alle Beteiligten definiert.

2. Erläuterung Verwendungsnachweiß der wichtigsten Positionen im zahlenmäßigen Nachweis

Die im Projekt erworbenen Geräte über 800€ werden im Folge Projekt SAFIR IP5 AVENUE weiterverwendet. Hierbei gibt es zwei Ausnahmen. Bei der erworbenen Software handelt es sich um laufzeitbegrenzte Lizenzen, wodurch eine Weiterverwendung nicht möglich ist. Der Hochgeschwindigkeits-Laser-Triangulations-Sensor wurde vorerst in den Fallturm Aufbau des CARISSMA integriert und soll zudem für den geplanten Outdoor Fallturm des Folge Projekts SAFIR - CRAVE (Projekt aktuell noch nicht beantragt) hergenommen werden.

Tabelle 3: Übersicht Gegenstände über 800€

1	CAN-Interface Karten inkl. Software (Vector C)	Verwendung in SAFIR IP5 AVENUE
2	Software Ansa und Meta der Fa. Beta Cae für 36 Monate	Lizenz abgelaufen
3	CDR Auslese Tool (Fa. Bosch) inkl. Schulung	Verwendung in SAFIR IP5 AVENUE
4	Riftek Hochgeschwindigkeits-Laser-Triangulations-Sensor	Verwendung Fallturm CARISSMA
5	CDR 900	Verwendung in SAFIR IP5 AVENUE
6	CDR Software	Lizenz abgelaufen
7	Diagnosegerät	Verwendung in SAFIR IP5 AVENUE
8	GoPro MAX	Verwendung in SAFIR IP5 AVENUE
9	4-Kanal-CAN-Router mit Datenlogger	Verwendung in SAFIR IP5 AVENUE

3. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

An der THI stehen Mittel für Forschungsaufgaben nur in begrenztem Umfang zur Verfügung und sind größtenteils bereits gebunden. Außerdem ist das wissenschaftliche Personal an Hochschulen für angewandte Wissenschaften, anders als bei Universitäten, nicht grundfinanziert. Vor diesem Hintergrund können Projekte wie SEANCe: Sicherere Elektromobilität: vor, während und nach einem Crash aufgrund ihrer Komplexität und ihres inhaltlichen und finanziellen Umfangs an der THI ohne staatliche Förderung nicht begonnen und schon gar nicht erfolgreich bewältigt werden.

4. Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit des Ergebnisses (Fortschreibung des Verwertungsplanes)

4.1. Erfindungen / Schutzrechtsanmeldungen und erteilte Schutzrechte

Im Zuge des Teilprojekts 1 erfolgte eine europäische Patentanmeldung mit der Nummer 21 163 675.8 und dem Titel „Physical fingerprint for a battery system“. In diesem wird ein Verfahren zur Detektion von unfall- und gewährleistungsrelevanten Manipulationen am Hochvoltsystem eines Elektrofahrzeugs beschrieben. Die unmittelbare Bekundung der Erteilungsabsicht wurde in Aussicht gestellt.

Aus Teilprojekt 3 wurde eine Erfindungsmeldung bezüglich der Konzeptidee des entwickelten Kommunikations- /Auslesetool erstellt, jedoch abgelehnt.

4.2. Wirtschaftliche Projektaussichten

Nach dem Ende von Teilprojekt I und schon jetzt können insbesondere Unfallanalytiker die Ergebnisse sofort in der täglichen Arbeit bei der Aufklärung von Verkehrsunfällen heranziehen. Da auf diesem Gebiet der forensischen Unfallrekonstruktion mit Fokus automatisierte und vernetzte Fahrzeuge keine vergleichbaren, relevanten Forschungen durchgeführt werden, ist zu erwarten, dass die Ergebnisse auch aufgrund der Notwendigkeiten bei der zukünftigen Unfallanalyse durch den Projektpartner DEKRA wirtschaftlich umgehend verwertet werden. Da DEKRA deutschlandweit mit Abstand die meisten Unfallanalytiker beschäftigt sind die Verwertungsperspektiven in Bezug auf das Marktvolumen sehr hoch. Durch die starke Vernetzung mit der EVU sollen die Ergebnisse ebenfalls als Keimzelle für die Initiierung einer institutionellen Instanz auf EU-Ebene für die Unfallanalytik und Fahrzeugsicherheit dienen. Weiterhin wurde eine Zusammenarbeit mit polizeilichen Arbeitsgruppen initiiert, wodurch der Grundstein für die Unfallaufnahme der Zukunft gelegt, sowie Verbesserungen für die Zusammenarbeit zwischen Polizisten und Unfallanalytikern an der Unfallstelle bearbeitet wurden. Hierfür konnte der leitende Polizeidirektor a. D., Herr Rüdiger Wollgramm, im Rahmen eines Gestattungsvertrags mit der TH Ingolstadt für die Netzwerkbildung in polizeilichen wie auch politischen Gremien gewonnen werden.

Ab Projektende lassen sich die erzielten Ergebnisse im Teilprojekt 2, speziell die Materialmodellierung sowie die Strukturen zur Absorption von Crashenergie, direkt in Serienentwicklungsprojekte der EDAG für die Integration der Batteriesysteme in die Fahrzeugstruktur einbinden. Allgemein können die Methoden aber auch überall Anwendung finden, in denen eine Materialcharakterisierung bzw. Strukturen zur Energieabsorption designend werden. Mittels der neu entwickelten Methoden wurden nicht nur einen vereinfachten und Kostengünstigen Ansatz durch die Charakterisierung von Flachplatten ermöglicht, sondern auch die Transition zwischen Platten und Profilen geschaffen. Ein wesentliches Ergebnis stellt sich in Bezug auf die Energieabsorptions Eigenschaften von Profilen dar. Hierbei konnte aufgezeigt

werden, wie das Verhalten verschieden geformte Profile miteinander zusammenhängt. Wodurch beliebige Strukturen anhand weniger Tests ausgelegt werden können und somit sich der experimentelle Aufwand erheblich verringert.

Die Ergebnisse aus dem Teilprojekt 3 fließen schon jetzt in die Konzeptionierung des Batteriezentrums der Firma Elogplan ein. Außerdem dienen sie als Basis für die Definition eines Standards für Batteriedatenschnittstellen in Fahrzeugen, um eine schnelle und unkomplizierte Lösung zur Bewertung von Energiespeichern zu ermöglichen. Das 2nd-use-Batterieinterface kann schon jetzt, durch adaptierbare Datenbank-Informationen, an beliebigen Herstellermodellen angewandt werden, sofern relevante Informationen (wie z.B. CAN-DBC-Dateien) bekannt sind oder in Erfahrung gebracht werden können. Die Entwicklung des 2nd-use-Batterieinterfaces wird aktuell im Rahmen des EU-Projektes SENSEBAY (EFRE) weiter vorangetrieben.

4.3. Wissenschaftliche und/oder technische Erfolgsaussichten

Die gewonnenen Ergebnisse aus den Teilprojekten wurden und sollen auch nach dem Projekt weiterhin auf nationalen und internationalen Kongressen präsentiert und in wissenschaftlichen Journalen veröffentlicht werden.

Klaus Böhm, wissenschaftlicher Mitarbeiter in IP4-1 und Unfallanalytiker sowie Prüflingenieur bei DEKRA wurde zum 15.02.2022 zum Professor für Sachverständigenwesen und Fahrzeugaufbau an der Hochschule München berufen. Er ist seit Beginn der Aufbauphase von SAFIR im Jahr 2017 an der THI beschäftigt und hat, unter der Führung von Prof. Dr. Schweiger, die Forschungsgruppe Unfallanalyse/ Hauptuntersuchung (PTI) maßgeblich aufgebaut. Dazu konnte er als langfristige Forschungspartner DEKRA und die FSD Fahrzeugsystemdaten GmbH gewinnen. Zudem hat er mit den Professoren Wech und Binder die Vorlesungsreihe Unfallanalyse als Wahlpflichtfach für verschiedenen Masterstudiengänge etabliert.

Ein kooperatives Promotionsverfahren fand mit dem Institut für Gerichtsingenieurwesen der Universität Žilina (Slowakei) statt. Die Arbeit trägt den Titel „Methoden zur Extraktion und Verwendung von Systemkamera- und Sensor(fusions)-Daten für die Verkehrsunfallrekonstruktion“.

Die Berufung zeigt, dass die wissenschaftliche Arbeit in SAFIR auch von anderen Universitäten anerkannt wird und damit SAFIR-Doktoranden beste Berufsaussichten auch in Forschung und Lehre haben.

Auch nach der Berufung ist eine enge Zusammenarbeit zwischen der THI und Klaus Böhm geplant.

4.4. Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit

Auf den Ergebnissen von SAFIR IP4-1 wurde das SAFIR Impulsprojekt 5 AVENUE – Automatisierte und vernetzte Elektrofahrzeuge vor, während und nach einem Unfall – aufgebaut.

Dieses Projekt trägt zur Realisierung von Vision Zero bei, indem die Fahrzeugsicherheit erhöht und folglich die Anzahl von Verkehrstoten auf deutschen Straßen reduziert werden soll. In dem Impulsprojekt sollen Unfallanalytiker dazu befähigt werden, Verkehrsunfälle, bei denen automatisierte und vernetzte Fahrzeuge involviert sind, lückenlos und forensisch sicher rekonstruieren zu können. Im Fokus stehen hierbei Untersuchungen zum Einfluss von Fahrerassistenzsystemen (FAS) und automatisierten Fahrfunktionen (AF) auf das Verhalten des Fahrers und der Fahrdynamik des Fahrzeugs mittels Versuche und einer Simulatorstudie. Um das komplexe Zusammenspiel der Aktivitäten der einzelnen Systeme und des Fahrers sowie weiterer Unfallbeteiligten inklusive möglicher Vermeidbarkeitsszenarien verständlich und nachvollziehbar vermitteln zu können, werden Mixed-Reality-Lösungen entwickelt, die insbesondere vor Gericht eingesetzt werden können. Darüber hinaus besteht die Notwendigkeit, die Ergebnisse von aufgeklärten Verkehrsunfällen in Bezug auf das Zusammenspiel des Fahrers mit FAS und AF zukünftig mittels spezieller Datenbanken zur Verfügung zu stellen, so dass diese in der Fahrzeugentwicklung, aber auch bei der Spezifikation der Systeme durch die Straßenverkehrsbehörde und bei der Homologation berücksichtigt werden können, um die Fahrzeugsicherheit nachhaltig erhöhen zu können. Außerdem sollen die Prüforganisationen in die Lage versetzt werden, die Funktionalitäten dieser Fahrzeuge vollumfänglich prüfen zu können, um möglichen Gefährdungen durch die Systeme vorbeugen zu können. Um diese komplexe Fragestellung bestmöglich beantworten zu können, ist eine intensive Zusammenarbeit mit allen SAFIR-Beteiligten vorgesehen. Insbesondere die Eigenschaft der Unfallanalyse /-forschung als Querschnittsdisziplin ist prädestiniert, einen umfassenden Austausch innerhalb von SAFIR zu fördern.

Das SAFIR IP4-2 soll im Rahmen des Impulsprojekt CRAVE - Crashesicherheit von HV Batterien und Elektrofahrzeugen weiter ausgebaut werden. Hierbei sollen technische Lösungen erforscht werden, um die Unfallfolgerisiken für Insassen, Verkehrsteilnehmer, aber auch Rettungskräfte zu minimieren und das von verunfallten Elektrofahrzeugen ausgehende Folgerisiko bewerten zu können. Diese Ziele sind mitentscheidend für die Realisierung von Vision Zero und den Erfolg der sicheren Elektromobilität. Zunächst wird der Einfluss von unfallnahen Beschleunigungskräften nach Euro NCAP auf die mechanisch – elektrische Stabilität von Lithium-Ionen Akkumulatoren untersucht. Die Ergebnisse dienen als Grundlage zur Definition neuer Sicherheitskonzepte um Brandursachen präventiv abzuwenden, indem das Batteriesystem strukturell in die Fahrzeugarchitektur integriert wird. Außerdem wird ein Modell reduzierter Ordnung eruiert, welches die Risikobewertung des Batteriesystems ermöglicht. Dadurch lässt wiederum der präventive Einsatz von Löschmitteln reduzieren was sich positiv auf die Umweltbilanz und den Kosteneinsatz auswirkt. Selbige Information steht auch Werkstätten zur Verfügung und kann im Rahmen einer partiellen Reparatur des Systems genutzt werden. Die zentral erfasste Risikoanalyse des Gesamtsystems liefert zudem auch für künftige Crashversuche eine Grundlage zur Risikobewertung neuer Batteriesysteme. Diese Lösungen

wirken sich positiv auf die Akzeptanz der Elektromobilität in der Gesellschaft aus und stärkt die intelligente, emissionsfreie Fortbewegung signifikant.

Dieses Impulsprojekt ist eng verzahnt mit dem geplanten explorativen Projekt Smart-BAT-CROSS des FHImpuls Projekts SmartPro der HS Aalen. Dort sollen die bei Crashtests an der THI belasteten Batterien auf die resultierenden Schädigungen auf mikroskopischer Ebene detailliert analysiert und mit elektrochemischen Kennwerten abgeglichen (HSA) sowie Langzeittests durchgeführt werden (THI, HSA). Durch die FH-Pulsprojektübergreifende Zusammenarbeit sollen komplementäre Kompetenzen zusammengebracht werden, um auf Basis der Projektergebnisse weiterführende Aktivitäten zu initiieren, wie beispielsweise die Ausgründung eines Batterie-Abuse-Zentrums und die Beantragung von kooperativen EU-Projekten, z. B. zur Entwicklung von modularen, leichtgewichtigen und nachhaltigen Hochvoltspeichersystemen für Elektrofahrzeuge (MARBEL).

5. Fortschritte auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen während der Durchführung

In allen Teilprojekten sind keine neuen Erkenntnisse von Seiten Dritter bekannt geworden, die das Projekt wesentlich beeinflusst hätten.

6. Geplante und erfolgte Veröffentlichungen im Rahmen des Vorhabens

6.1. Liste der im Projektzeitraum erfolgten Veröffentlichungen

- K. Böhm, A. Nitsche, P. Birke, H.-G. Schweiger, "Application of vehicle control units as event data recorders in hybrid and electric vehicles (THI-CARISSMA-DEKRA)," in Proc. of the 26th Annual of the European Association for Accident Research EVU, Haarlem, Netherlands, Januar 2017
- Lausch J. Carbonfaserverstärkte Sheet Molding Compounds - Simulation und Realität. NAFEMS 18 DACH Conf., 2018.
- Lausch J, Schweiger HG. Carbon Fiber Reinforced Sheet Molding Compounds - Simulation and Reality. NAFEMS 18 DACH Conf. Proc., 2018, p. 109–12.
- K. Böhm, C. Fothén, H.-G. Schweiger, „Automatisiertes Fahren: Wie sich Rechtssicherheit erreichen lässt,“ Mar. 2019. [Online]. Available: <https://www.all-electronics.de/automatisiertes-fahren-wie-sich-rechtssicherheit-erreichen-laesst/>
- Lausch J, Schweiger HG, Ingolstadt TH. Carbonfaserverstärkte Sheet Molding Compounds - Simulation und Realität. NAFEMS Online Mag 2019;49:NAFEMS 18 DACH Conf. Proc.
- K. Böhm, D. Paula, L. Wech, H.-G. Schweiger; „Event Data Recorder (EDR) for accidents with automated vehicles – the accident analysis of the future“; VDI-Tagung; Fahrzeugsicherheit – Fahrzeugsicherheit im Umfeld von neuen Rating- und Gesetzesanforderungen; 27. und 28. November 2019; Berlin

- K. Böhm, D. Paula, H.-G. Schweiger; „EDR bei Unfällen mit automatisierten Fahrzeugen“; Tagung der europäischen Vereinigung für Unfallanalyse und Unfallforschung (EVU); Ingolstadt; 11. November 2019
- K. Böhm, D. Paula, L. Wech, H.-G. Schweiger, Event Data Recorder (EDR) for accidents with automated vehicles – the accident analysis of the future; Seite 349 – 364; VDI-Bericht zur 12. VDI-Tagung; Fahrzeugsicherheit – Fahrzeugsicherheit im Umfeld von neuen Rating- und Gesetzesanforderungen; November 2019; Berlin; ISBN 978-3-18-092364-2
- T. Kubjatko, J. Janura, K. Böhm, D. Paula, P. Kudela, J. Novotný, J. Podhorský, M. Hrubizna, O. Hundarenko; “Operating effects on battery life of autonomous vehicles”; Scientific Conference of University of Žilina; Dezember 2019
- K. Böhm, K. Iwig, D. Paula, T. Kubjatko, H.-G. Schweiger, “Beweisfotoauswertung mittels Fotogrammetrie”, Znalectvo 2/2020 - Fachzeitschrift der Universität Žilina, EDIS – vydavateľstvo ŽU v Žiline, ISSN 1335 – 809X, EV 549/08
- K. Böhm, D. Paula, T. Kubjatko, H.-G. Schweiger; “New developments on Event Data Recorder for automated vehicles”; Open Engineering; LOGI Conference, Open Engineering, 10 (1), 2020, doi: 10.1515/eng-2020-0007, März 2020
- D. Paula, K. Böhm, T. Kubjatko, H.-G. Schweiger; „Reconstruction of traffic accidents with automated and electrified vehicles“; 20. Internationales Stuttgarter Symposium; Springer ISBN 978-3-658-29943-9; März 2020
- C. Fother, K. Böhm, D. Paula; „Nutzung digitaler Fahrzeugdaten zur Verkehrsunfallrekonstruktion – Kann die Verwendung digitaler Fahrzeugdaten zur Rekonstruktion von Verkehrsunfällen unterhalb der Schwelle schwerster Unfallereignisse verhältnismäßig sein?“; Neue Zeitschrift für Verkehrsrecht – NZV; Juni 2020
- Lausch J, Takla M, Schweiger H-G. Crush testing approach for flat-plate fibrous materials. Compos Part B Eng 2020;200:108333. doi:10.1016/j.compositesb.2020.108333.
- K. Böhm, D. Paula, H.-G. Schweiger; “Multibody Simulation with PC-Crash”; Workshop on Virtual Development in Passive Safety and Human Models for Future Mobility; 24. September 2020; TH Ingolstadt; organisiert über die Bayerisch-Tschechische Hochschulagentur BTHA
- K. Böhm, D. Paula, H.-G. Schweiger; “Relevance of system camera data for a comprehensive investigation of traffic accidents focusing on automated driving”; Safety Assist 2020 carhs; 16. September 2020; TH Ingolstadt
- Lausch J, Takla M, Schweiger H-G. Crush characteristics of flat-plate discontinuous carbon composites. Compos Part A Appl Sci Manuf 2021;147:106431. doi:10.1016/j.compositesa.2021.106431.
- K. Böhm, D. Paula, T. Kubjatko, H.-G. Schweiger; “Reliability and performance of the AEB system of a Tesla Model X under different conditions”; 29th Annual Congress of the European Association for Accident Research (EVU); Online:

https://www.researchgate.net/publication/355914066_Reliability_and_performance_of_the_AEB_system_of_a_Tesla_Model_X_under_different_conditions; June 2021

- D. Paula, K. Böhm, H.-G. Schweiger; „Beweiserhebliche digitale Spuren in automatisierten Fahrzeugen“, KoMoD-Polizei, 7. – 8. September 2021, Herne
- K. Böhm, D. Paula, T. Kubjatko, H.-G. Schweiger; “Reliability and performance of the AEB system of a Tesla Model X under different conditions”; 29th Annual Congress of the European Association for Accident Research (EVU), 6. – 7. Oktober 2021
- D. Paula, K. Böhm, T. Kubjatko, H.-G. Schweiger; “Autonomous Emergency Braking (AEB) experiments for traffic accident reconstruction”; Proceedings of 25th International Scientific Conference. Transport Means 2021, S. 108 – 112. ISSN 2351-7034. Online: <https://transportmeans.ktu.edu/wp-content/uploads/sites/307/2018/02/Transport-Means-2021-Part-I.pdf>; 07. October 2021
- D. Paula, K. Böhm, T. Kubjatko, H.-G. Schweiger; “Autonomous Emergency Braking (AEB) experiments for traffic accident reconstruction”; Proceedings of 25th International Scientific Conference. Transport Means 2021. 6. – 8. Oktober 2021
- Lausch J, Takla M, Schweiger H-G. Insight into crush performance comparison of composite profiles and flat plates. Compos Part B Eng 2022;233:109643. doi:10.1016/j.compositesb.2022.109643.

6.2. Liste der im Projektzeitraum erfolgten Abschlussarbeiten

- C. Fehringer, „Erstellung von Second-Use Konzepten für Traktionsbatterien mit Rentabilitäts- und Risikenbetrachtung“. Masterarbeit, Technische Hochschule Ingolstadt, Ingolstadt, 2018.
- C. Graef; „Entwicklung eines alternativen Fußgänger-Targets zur Durchführung von Versuchen mit Fahrerassistenzsystemen“, 2018
- D. Koch, „Entwicklung eines mobilen Interface zur Kommunikation mit Lithium-Ionen-Energiespeichern“. Masterarbeit, Technische Hochschule Ingolstadt, Ingolstadt, 2018.
- J. Lausch, „Ermittlung der mechanischen Eigenschaften von carbonfaserverstärkten Sheet Molding Compounds und Erstellung der zugehörigen Materialkarten für die Crash Simulation“. Masterarbeit, Technische Hochschule Ingolstadt, Ingolstadt, 2018.
- A. Slessarenko, Entwicklung hybrider Schweller-Strukturen unter Einsatz von Carbon Fibre Sheet Molding Compound im Kontext der EDAG E-Plattform, Technische Hochschule Nürnberg, 2019
- L. Wohlwend, Ermittlung der mechanischen Eigenschaften abhängig des Fließverhaltens von carbonfaserverstärkten Sheet Molding Compounds und Ableiten der Faserorientierung für die Simulation, Technische Hochschule Ingolstadt, 2019
- B. Geidl; „Methodenentwicklung zur Durchführung von Versuchen mit Fahrerassistenzsystemen“, 2020

- L. Graßl, „Methodenentwicklung zur Rekonstruktion von Verkehrsunfällen unter Beteiligung von E-Scootern“, 2020
- C. Wagner, „Berücksichtigung des Fahrerassistenzsystems „Automatischer Notbremsassistent“ bei der virtuellen Rekonstruktion von Unfällen mit Fußgängern“, TU Dresden, 2020
- C. Hoyer, Bildanalyse einer Neutronentomographie von Lufteinschlüssen in diskontinuierlichen Carbonfaser Werkstoffen, Technische Hochschule Ingolstadt, 2021

6.3. Liste der im Projektzeitraum erfolgten Dissertationen

- Böhm K. Methoden zur Extraktion und Verwendung von Systemkamera- und Sensor(fusions)-Daten für die Verkehrsunfallrekonstruktion. Universität Žilina
- Paula D. Methoden für die forensische Analyse der Einflüsse von Fahrerassistenzsystemen und automatisierten Fahrfunktionen auf einen Verkehrsunfall. Universität Žilina
- Lausch J. Characterizing the Crush Performance of Composite Flat Plates and Profiles. Royal Melbourne Institute of Technology – Australien

III. Erfolgskontrollbericht

Siehe Anhang

IV. Kurzfassung/Berichtsblatt

Siehe Anhang

Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN Veröffentlichung nicht geplant	2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) Schlussbericht
3. Titel Abschlussbericht zum Projekt SAFIR Impulsprojekt 4: SEANCe: Sicherere Elektromobilität: vor, während und Nach einem Crash	
4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)] Schweiger, Hans-Georg Böhm, Klaus Paula, Daniel Koch, Daniel Lausch, Jonas	5. Abschlussdatum des Vorhabens 31.07.2021
	6. Veröffentlichungsdatum
	7. Form der Publikation
8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) Technische Hochschule Ingolstadt Esplanade 10 85049 Ingolstadt DEKRA Automotive GmbH Handwerkstr. 15, 70565 Stuttgart EDAG Engineering GmbH Robert-Bosch-Straße 7a, 85053 Ingolstadt ELOGplan GmbH Robert-Bosch-Str. 1 - 5, 85053 Ingolstadt	9. Ber. Nr. Durchführende Institution
	10. Förderkennzeichen 13FH7104IA
	11. Seitenzahl 41
12. Fördernde Institution (Name, Adresse) Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 53170 Bonn	13. Literaturangaben 35
	14. Tabellen 3
	15. Abbildungen 25
16. Zusätzliche Angaben	
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum)	

18. Kurzfassung

Die thematische Ausrichtung des Impuls-Projektes *SEANCe: Sicherere Elektromobilität: vor, während und nach einem Crash* liegt in der Fahrzeugsicherheit von Hybrid- und Elektrofahrzeugen und deckt damit ein hochaktuelles Thema ab. Obwohl es zur Abwehr bekannter Gefahren wie Batteriebrand oder elektrischen Gefährdungen eine Reihe etablierter Lösungen gibt, entstehen durch den Einsatz von Hochvoltenergiespeichersystemen neue Gefährdungspotentiale, die im Zusammenhang mit einem Unfall eines Hybrid- oder Elektrofahrzeugs zu erheblichen Personen- und/oder Sachschaden führen können.

Mit dem zunehmenden Einsatz von (teil-)autonomen Systemen im Fahrzeug geht auch eine zunehmende Gefährdung durch Ausfall und vor allem durch Fehlfunktionen dieser Systeme einher. Diese Gefährdung wird sowohl durch den zunehmenden Grad der Elektrifizierung (Ausfall der Energieversorgung) des Fahrzeugs als auch durch den zunehmenden Grad an autonomen Funktionen verschärft. Wird die HV-Batterie eines Fahrzeugs bei einem Unfall beschädigt, so kann es bei mechanischer Beschädigung der Batterie zu einem Brand des Fahrzeugs kommen. Diese Gefahr nimmt mit zunehmender Größe der Batterie, die eine Grundvoraussetzung für zunehmende Reichweiten ist, stark zu. Auch nach dem Unfall eines Fahrzeugs bestehen Gefährdungspotentiale durch möglicherweise beschädigte HV-Batteriesysteme. Es ist also auch nach einem Unfall wichtig für einen sicheren Umgang mit dem Batteriesystem bis zum stofflichen Recycling oder einer anderen Wiederverwertung des Batteriesystems zu sorgen. Die beiden Megatrends der Automobilindustrie, das autonome Fahren und die Elektromobilität, führen also zu einer Zunahme dieser Gefährdungen in der Zukunft und erfordern daher die Erforschung von Lösungsansätzen schon in der Gegenwart.

Durch SAFIR IP4 SEANCe wird die Aufklärung von Einflüssen von Fahrerassistenzsystemen und automatisierten Fahrfunktionen auf einen Verkehrsunfallablauf im Rahmen der Verkehrsunfallrekonstruktion deutlich verbessert. Der Fokus liegt hierbei stark auf digitalen Spuren. Die THI hat sich hierfür eine Sonderrolle erarbeitet, insbesondere durch den intensiven Austausch mit der Polizei, Sachverständigen, Überwachungsorganisationen, Universitäten, Versicherungen und dem ADAC als auch durch Veröffentlichungen und der engagierten Teilnahme an Konferenzen und Podiumsdiskussionen. Die entwickelten Methoden zur Nutzung von digitalen Spuren wurden den ca. 400 Unfallanalytikern der DEKRA zur Verfügung gestellt, wodurch deutschlandweit mehr Rechtssicherheit geschaffen wird. Ein Patent ist aktuell in Anmeldung. Durch die Gründung von AHEAD ergeben sich zudem eine beratende Tätigkeit aus unfallanalytischer Sicht bei den Gesetzgebungsverfahren zum EDR und DSSAD auf EU und UNECE-Ebene. Des Weiteren wurden neue Leichtbaumaterialien und Methoden für die Automobilindustrie erforscht. Es entstanden neue Erkenntnisse, die das unterschiedliche Verhalten von platten- und profilmförmigen Faserverbundwerkstoffen erklären und deren Zusammenhang erläutern. Hierdurch ist es möglich, dass Material mithilfe neuer Methoden zu charakterisieren und in den Entwicklungsprozess der Hersteller zu integrieren. Dies hat zu Folge, dass das komplette Potential der Faserverbundwerkstoffe ausgenutzt werden kann und somit ein höheres Sicherheitspotential für die Auslegung von Batteriekonzepten und für die Insassen entsteht. Außerdem kann aufgrund des Leichtbaupotentials des Materials die Reichweite von Elektrofahrzeugen erhöht werden. Durch das entwickelte Batteriezentrum lassen sich Alt-Batterien recyceln und wieder in den Produkt-Lebenszyklus zurückführen, wodurch Ressourcen eingespart werden können.

19. Schlagwörter

20. Verlag

21. Preis