



Jahresbericht
2021/2022



Mission Ernährungssicherheit: ConstellR hebt ab

Ziel von ConstellR, dem ersten Spin-off des Fraunhofer EMI, ist es, Daten zu sammeln, um zukünftig durch zielgerichteten Wassereinsatz in der Landwirtschaft die Ernährungssicherheit der Menschen zu gewährleisten. Mithilfe der ConstellR-Technologie könnte der Ernteertrag der Erde um bis zu vier Prozent erhöht werden, ohne dass mehr Wasser verbraucht wird.

Der technische Demonstrator LisR (Longwave Infrared Sensing Demonstrator) liefert derzeit bereits den Beweis, dass das möglich ist – von der Internationalen Raumstation ISS aus.

LisR (Bild oben im Reinraum des Fraunhofer EMI) wurde am an Bord einer Antares-Rakete auf die ISS gebracht. Das Coverbild zeigt den Start der Rakete am 19. Februar 2022 auf Wallops Island, Virginia, USA.

In diesem Jahresbericht lesen Sie ab Seite 60 mehr über unsre Aktivitäten im Geschäftsfeld Raumfahrt.



Transfer im Fokus.«

Liebe Leserinnen und Leser,

»Transfer« ist ein für die Fraunhofer-Gesellschaft enorm wichtiges Schlüsselwort. Wir definieren die Qualität unserer Forschung über den Umfang an Transfer von Wissen, Köpfen und Innovation, der uns Richtung Industrie und Gesellschaft gelingt. Zur Optimierung unserer Transferleistung organisieren und evaluieren wir diese anhand definierter Transferpfade. So werden Erfolge in der Vertragsforschung parallel zu jenen bezüglich erfolgter Lizenzierungen, getätigter Ausgründungen oder auch organisierter Formen der Weiterbildung gemessen.

Der vorliegende Jahresbericht des Fraunhofer EMI ist auch eine Dokumentation unserer herausragenden Transfererfolge. Die stattgefundenen Ausgründungen der Firma ConstellR ist ein Meilenstein für das Institut. Die Tatsache, daß dieser Gründungsaktivität auch gemeinsame Projekte in der Vertragsforschung folgen, ein weiterer. Und daß mit dem ersten Demonstrator LisR völlig neue, weltraumbasierte Optionen zur Gewährleistung der weltweiten Ernährungssicherheit entstehen, spricht in Sachen Transfer in die Gesellschaft für sich.

Sicherheit, insbesondere urbane Sicherheit, ist seit vielen Jahren ein Kernthema am EMI. Mit der nun erfolgenden Beteiligung am Fraunhofer-Zentrum für die Sicherheit Sozio-Technischer Systeme SIRIOS gehen wir einen Schritt weiter und legen den Grundstein für Transfer auf einem Forschungsfeld, das nur interdisziplinär erfolgreich zu gestalten ist. Das EMI integriert hier seine über Jahrzehnte gewachsenen Simulationskompetenzen, mit denen Widerstandsfähigkeit und Regenerationsfähigkeit – mit einem Wort Resilienz – planbar werden.

Voraussetzung für jede Form erfolgreichen Transfers bei Fraunhofer ist exzellente Wissenschaft. Davon berichten wir auch in dieser Ausgabe wieder an verschiedenen Stellen. Besonders erwähnen möchte ich unsere Forschungsergebnisse zur Charakterisierung und Modellierung transparenter Schutzkeramiken. Diese Werkstoffklasse ist eine wesentliche Säule aktueller und künftiger Schutzsysteme gegen ballistische Bedrohungen. Bis zu den bahnbrechenden Arbeiten, die wir ab Seite 16 illustrieren, war es nicht möglich, die Schutzleistung transparenter Keramiken prognosefähig zu simulieren.

Die Sicherheit von Insassen beim Automobilcrash ist nach wie vor Kern unserer Bestrebungen beim Aufbau und Betrieb unserer In-situ-Röntgencrashanlage. Damit beim Betrieb dieser hochkomplexen und hochenergetischen Einrichtung auch alle Beteiligten am Versuch sicher und gesund bleiben, laufen immer noch Installationsarbeiten zur Absicherung der Infrastruktur. Diese werden in wenigen Monaten beendet sein. Dann können Themen wie der hier ebenfalls dokumentierte Röntgen-instrumentierte Rädercrash künftig in weitaus größerer Anzahl stattfinden.

Allen Partnern, Kunden sowie Kolleginnen und Kollegen aus Wissenschaft, Wirtschaft und Politik danke ich für das konstant entgegengebrachte Vertrauen. Ich wünsche Ihnen allen eine anregende und erhellende Lektüre!

Ihr Stefan Hiermaier



Prof. Dr.-Ing. habil. Stefan Hiermaier

Institutsleiter Fraunhofer EMI

Inhalt

**Gastbeitrag Martin Horn,
Oberbürgermeister der Stadt Freiburg** 6



Geschäftsfeld Verteidigung 10



Geschäftsfeld Sicherheit und Resilienz 28



Geschäftsfeld Automotive 44



Geschäftsfeld Raumfahrt 60



Geschäftsfeld Luftfahrt 74

Leistungszentrum Nachhaltigkeit Freiburg 86

Verwaltung und Infrastruktur 102

 Verwaltung 104

 Infrastruktur 112

Das Institut im Profil 118

Publikationen, wissenschaftlicher Austausch, Vorträge 2021/2022 ... 128

Impressum 148





Teil des EMI-Satelliten ERNST: Infrarothauptnutzlast mit Detektor-Kühler-Einheit, Filterrad und Optik in der generativ gefertigten optischen Bank.

Wissenschaft hilft

Martin Horn ist seit 2018 Oberbürgermeister der Stadt Freiburg im Breisgau. Er ist Vorsitzender des Gemeinderats, leitet die Stadtverwaltung und repräsentiert die Stadt nach außen.



Doch. Das geht. Das funktioniert. Das muss möglich sein. Bei Fraunhofer ist der Erfinderinnen- und Forschergeist zu Hause.«



Martin W. W. Horn

Oberbürgermeister der Stadt Freiburg im Breisgau

Der »Doch«-Leitspruch der Fraunhofer-Gesellschaft steht exemplarisch für die Arbeit der Fraunhofer-Institute. Bei Fraunhofer geht es darum, sich nicht mit Bestehendem zufriedenzugeben. Es geht darum, Dinge zu hinterfragen, Neues auszuprobieren und weitgreifender zu denken als andere. Es geht darum, heute schon die Zukunft im Blick zu haben, Grenzen zu verschieben und zu versuchen, das Unmögliche möglich zu machen. Oder kurz gesagt: Bei Fraunhofer ist der Erfinderinnen- und Forschergeist zu Hause.

Damit trägt Fraunhofer entscheidend dazu bei, dass neue Entwicklungen und Produkte entstehen, die unser Leben erleichtern, die uns voranbringen und die gut für unsere Umwelt und das Klima sind.

Aus diesen Gründen sind wir froh und stolz, dass die Fraunhofer-Gesellschaft als europaweit führende Organisation für angewandte Forschung hier in Freiburg so präsent ist. Sie trägt wesentlich zu dem starken Wirtschafts- und Wissenschaftsstandort Freiburg bei. So sind die Institute für uns wichtige Partner unter anderem in den Bereichen Nachhaltigkeit oder Umwelt- und Klimaschutz, die uns mit Rat und Tat unterstützen. Aktuell gilt dies sehr intensiv für das Fraunhofer EMI.

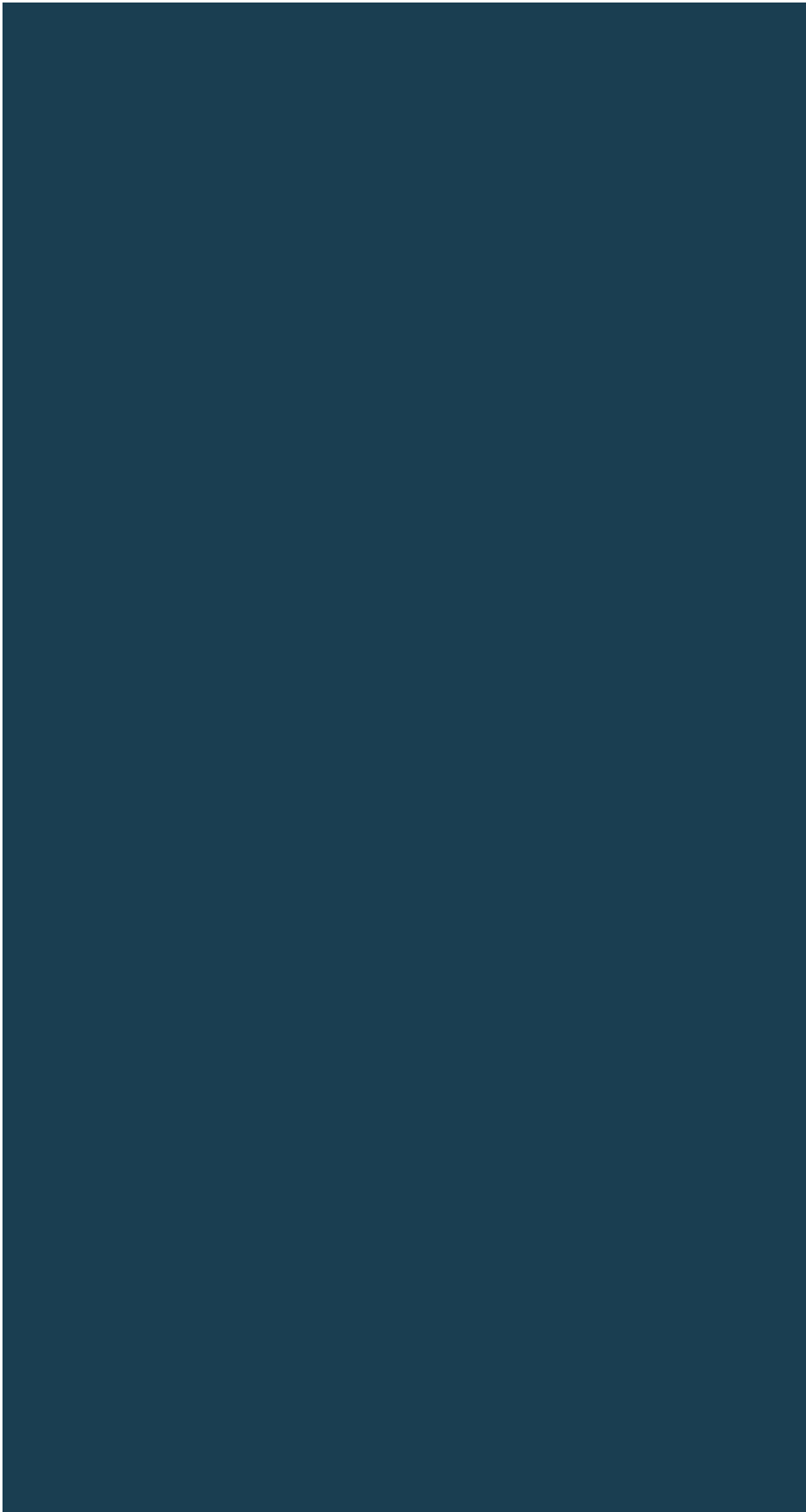
Bei gleich zwei Projekten treffen sich die Digitalisierungsstrategie der Stadt Freiburg sowie die Themen Sicherheit im öffentlichen Raum und digitale Unterstützung von Rettungsdiensten und Feuerwehren mit genau den Forschungsfeldern des EMI. Deswegen hat sich die Stadt Freiburg vergangenes Jahr zusammen mit dem EMI mit dem Projekt »Sicher Leben in Freiburg: Resilienzmanagement für die

Stadt« (FreiburgRESIST) beim Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) beworben. Die erste Phase des Förderprojekts wurde bewilligt, und seit letztem Sommer wird durch das Fraunhofer EMI, das Amt für Digitales und IT (digit), das Amt für Brand- und Katastrophenschutz (ABK) und das Amt für öffentliche Ordnung (AföO) gemeinsam mit dem Center for Security and Society (CSS) der Universität Freiburg der Antrag für die zweite Förderphase ausgearbeitet.

Dabei wird ein Konzept für einen technologiegestützten Umgang mit Großfahrlagen erstellt, um künftig besser auf Katastrophenlagen vorbereitet zu sein. Ziel ist die Demonstration eines digital vernetzten Sicherheitskonzepts in Freiburg. Ein weiteres Projekt, »HERAKLION«, ist am Fraunhofer EMI gerade im Entstehen, bei dem es um Resilienzanalysen für Kommunen mittels Datenraumfunktionalitäten geht und bei dem die Stadt als assoziierter Partner mitwirkt. Dass mit dem Projekt »Daten:Raum:Freiburg« der Stadt Freiburg weitere inhaltliche Verbindungen möglich sind, liegt auf der Hand.

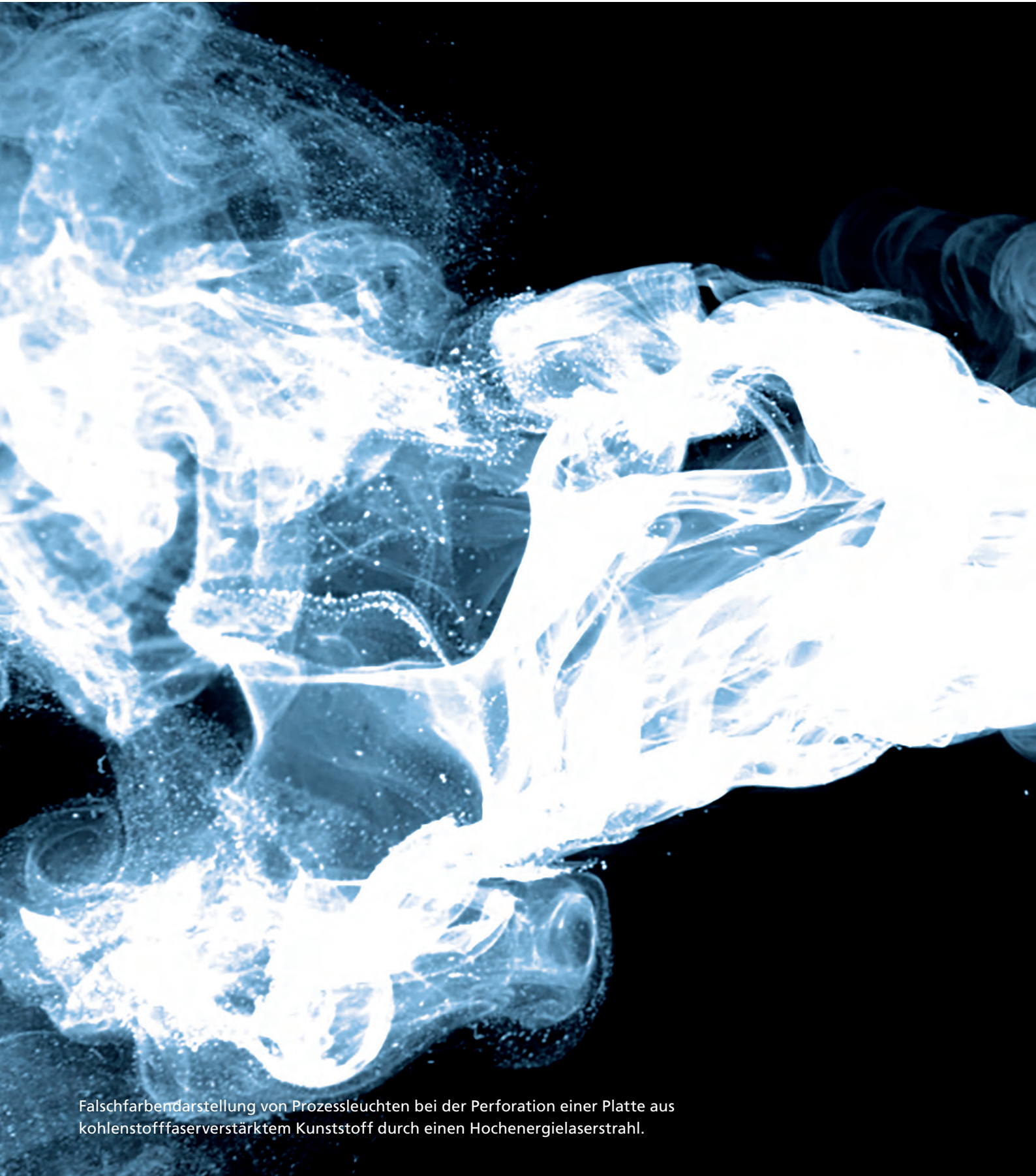
Ergebnisse dieser Projekte zu Resilienz, Sicherheit und Digitalisierung, bei denen Forschung und Kommune Hand in Hand gehen, werden für uns wertvolle Erkenntnisse hervorbringen. Dies dient als gutes Beispiel dessen, was an Potenzialen in der Zusammenarbeit zwischen Instituten und der Stadt möglich ist.

Ich bedanke mich für die überaus vertrauensvolle und sehr enge Kooperation mit dem Ernst-Mach-Institut bei seiner Leitung und allen Mitarbeitenden.



Geschäftsfelder





Falschfarbendarstellung von Prozessleuchten bei der Perforation einer Platte aus kohlenstofffaserverstärktem Kunststoff durch einen Hochenergielaserstrahl.

Geschäftsfeld Verteidigung



Einleitung	12
Menschen im Geschäftsfeld Verteidigung	14
Endballistische Mechanik von transparenten Schutzwerkstoffen	16
Verbesserung der Sicherheit von gepanzerten Fahrzeugen gegen ballistische Bedrohungen.	
MMC-Materialentwicklung mit innovativer 3D-Druck-Anlagentechnik	20
Durch die Kombination zweier Werkstoffe können gewünschte mechanische Kennwerte erreicht werden.	
Das EMI beim DWT-Forum	22
Angewandte Forschung für Verteidigung und Sicherheit in Deutschland – Zukunftstechnologie für die Bundeswehr.	
Prognose der Gefährdungsbereiche bei Munitionslagerung	23
Beschreibung von Abgangsbedingungen bei Bauteilen unter subdetonativer Explosionsbeanspruchung.	
Röntgenvideoanalyse für dynamische Versagensvorgänge im Innern von Lithium-Ionen-Batterien	24
Um die Sicherheit und Robustheit der Energiespeicher zu verstehen, wird dynamisches Röntgen eingesetzt.	
Wie breitet sich der Strahl eines Hochleistungslasers in Wasser aus?	25
Multikontrastaufnahmen machen für das bloße Auge unsichtbare Wasserbewegungen im Laserstrahl sichtbar.	
Fragmentierung effizient simulieren	26
Weiterentwicklung der Methoden für die effiziente Simulation von Fragmentierungsvorgängen.	

Geschäftsfeld Verteidigung



Unsere Forschung zeigt neue Lösungsmöglichkeiten für die Analyse von Ausrüstungsentscheidungen auf – im Hinblick sowohl auf die nationale als auch die europäische Sicherheit.«

Dr. Matthias Wickert

Dr. Matthias Wickert
Geschäftsfeldleiter Verteidigung
matthias.wickert@emi.fraunhofer.de

s.fhg.de/emi-verteidigung

Die Bundeswehr benötigt zukunftsfähige Systeme und Technologien für den Einsatz zu Land, Luft und See sowie im Zuge der Digitalisierung auch für den Cyberraum.

Daher untersucht das Fraunhofer EMI wissenschaftlich-technologische Fragestellungen aus den Bereichen Schutz und Wirkung sowie Sicherheit und Systeme als strategischer Partner des Bundesministeriums der Verteidigung (BMVg) für Forschung und Technologie auf dem Gebiet der Kurzzeitdynamik und extremer Werkstoffbeanspruchung in Verbindung mit modernsten Technologien und Ausnutzung der Möglichkeiten der Digitalisierung.

Unsere Forschung zeigt neue Lösungsmöglichkeiten auf und baut die Wissensbasis aus, die für die Analyse von Ausrüstungsentscheidungen zur Verfügung steht – im Hinblick auf die nationale als auch die europäische Sicherheit.

Im Folgenden berichten Forschende, wie das Verständnis der Werkstoffmechanik für ballistische Lasteinträge in Schutzwerkstoffen vertieft wird und wie dieses Verständnis gezielt für das Design von Werkstoffen für wehrtechnische Anwendungen mit den Möglichkeiten des 3D-Drucks genutzt werden kann.

Kritische Vorgänge werden wissenschaftlich charakterisiert, um die notwendigen Grundlagen für die Einordnung von Gefährdungen bei wehrtechnischen Anwendungen zur Verfügung zu stellen.

Schließlich wird über die Verbesserung der Simulationsmethoden für Fragmentierungsvorgänge berichtet, die bei hohen dynamischen Lasten von großer Bedeutung sind.

Menschen im Geschäftsfeld Verteidigung



Hier lassen wir sechs Forscher aus dem Geschäftsfeld Verteidigung zu Wort kommen – in Vertretung für die vielen anderen, die bei uns exzellente Arbeit leisten.

1 Dr. Steffen Bauer
steffen.bauer@emi.fraunhofer.de

2 Martin Jäcklein
martin.jaeklein@emi.fraunhofer.de

3 Dr. Johannes Schneider
johannes.schneider@emi.fraunhofer.de

4 Dr. Thomas Kisters
thomas.kisters@emi.fraunhofer.de

5 Dr. Stefan Reich
stefan.reich@emi.fraunhofer.de

6 Dr. Pascal Matura
pascal.matura@emi.fraunhofer.de

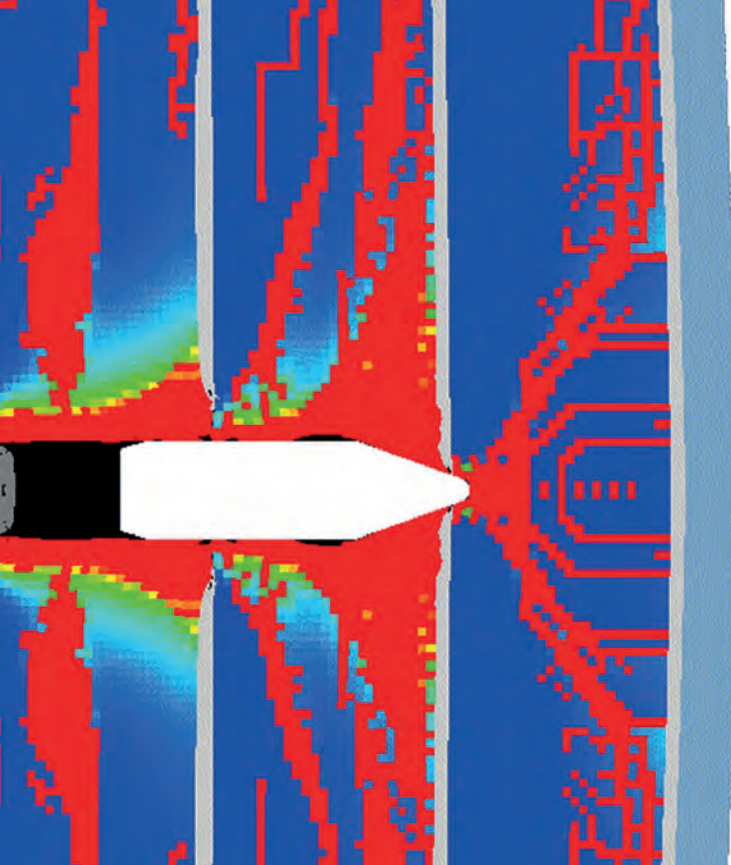
Endballistische Mechanik von transparenten Schutzwerkstoffen

Ein Beitrag von Dr. Steffen Bauer, steffen.bauer@emi.fraunhofer.de

Das Ernst-Mach-Institut untersucht, wie die Sicherheit der Sichtfensterbereiche von gepanzerten Fahrzeugen gegen ballistische Bedrohungen verbessert werden kann. Eine tiefergehende Analyse der dynamischen Impaktprozesse mittels numerischer Simulationen ermöglicht die Steigerung der Schutzwirkung von transparenten Schutzelementen. Zur Verbesserung der Prognosefähigkeit der Simulationsberechnungen wurden für die zugrundeliegenden Materialmodelle der im lagenartigen Aufbau eingesetzten Sprödwerkstoffe neue Charakterisierungsmethoden entwickelt. Diese Methoden ermöglichen erstmals eine experimentelle Bestimmung der notwendigen Modellparameter, welche die mit einem Projektilaufschlag einhergehenden Vorbelastungen mit berücksichtigen.

Die wachsende Bedrohung von gepanzerten Fahrzeugen durch ballistische Projektile und Blast führt zu stetig steigenden Anforderungen an die Schutzsysteme. Um die Insassen effektiv zu schützen, muss die Fahrzeugpanzerung beispielsweise gegen Mehrfachtreffer durch Infanteriemunition, Splitter, explosiv geformte Projektile und unkonventionelle Sprengvorrichtungen (IEDs: improvised explosive devices) ausgelegt sein. Die transparenten

Bereiche werden bei Angriffen besonders ins Visier genommen und gehören bei leichten geschützten Fahrzeugen zu den kritischsten Komponenten der Panzerung. Das Ziel aktueller Arbeiten ist es daher, die Schutzwirkung der transparenten Panzerung zu erhöhen und damit das Leben der Insassen bestmöglich zu schützen. Die besonderen Herausforderungen bei der Auslegung des lagenartigen Aufbaus für transparente Schutzelemente bestehen in der Bestimmung von geeigneten Kombinationsfolgen von spröden und duktilen Materialien (Gläser, Keramiken, Klebstoffe, Kunststoffe) und der geeigneten Festlegung der einzelnen Lagendicken. Der komplexe Aufbau der transparenten Schutzsysteme erfordert für deren Auslegung und tiefergehende Analyse den Einsatz von numerischen Simulationen. Hierbei war die Prognosefähigkeit auf Basis aktueller konstitutiver Materialmodelle, die für eine beliebige Stelle im Material die Beziehung zwischen mechanischer Belastung und Veränderung der Materialeigenschaften beschreiben, noch nicht hinreichend, weil noch nicht geeignete Modellparameter für relevante Werkstoffe vorlagen. Aus diesem Grund wurden am Fraunhofer EMI bestehende Charakterisierungsmethoden für spröde und insbesondere für transparente Schutzmaterialien weiterentwickelt. Die Ergebnisse werden für die Schutzwirkung bei Kleinkaliberbeschuss im Folgenden dargestellt. Der Fokus aktueller Arbeiten liegt hierbei auf



Impaktszenarien gegen Lamine aus Kalk-Natron-Glas. Die hierbei entwickelten Methoden sind zukünftig auch auf andere spröde Materialien anwendbar.

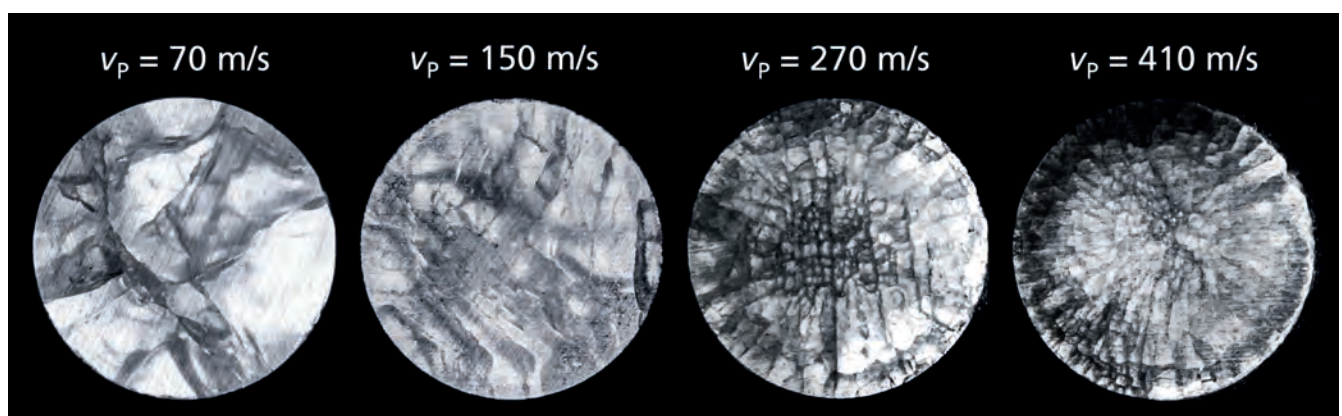
Wichtiger Prozess:

Vorschädigung durch Stoßwellen

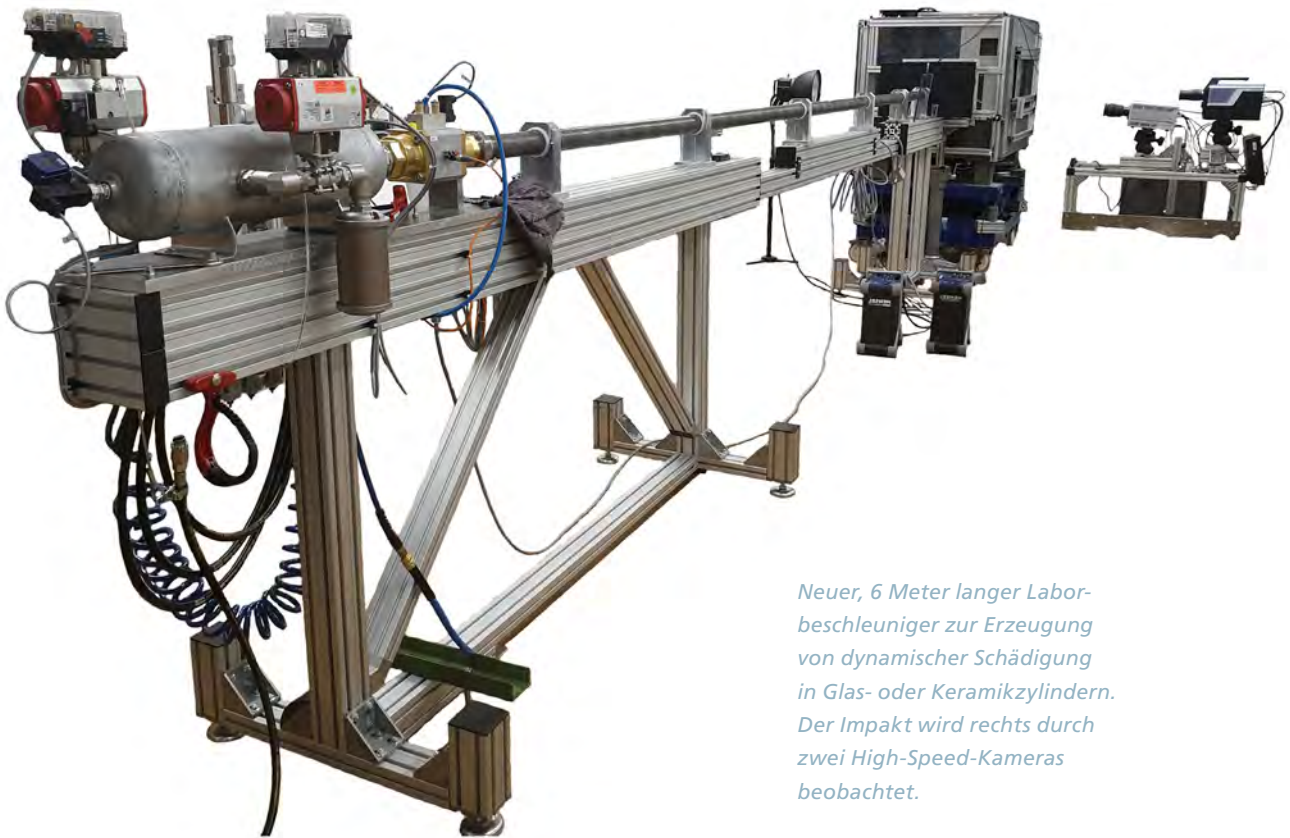
Beim ballistischen Impact eines Projektils, beispielsweise panzerbrechender Munition (AP), werden zusätzlich zu dem Eindringen des Projektils Stoßwellen im Glas ausgelöst, die sich mit sehr hoher Geschwindigkeit

ausbreiten und zu einer Vorschädigung des Glases im Bereich vor dem Projektil führen. Da folglich das Projektil bei spröden Schutzwerkstoffen in vorgeschädigtes Material eindringt, ist die Festigkeit des vorgeschädigten Materials entscheidend für den ballistischen Widerstand der Schutzanordnung. Zur Charakterisierung der Stoßwellenausbreitung wurde eine umfangreiche hochdynamische Beschusserie mit kleinen Glasproben (Glasplättchen mit 5 Millimetern Dicke und bis zu 50 Millimetern Durchmesser) durchgeführt, ►

Mit dem verbesserten Modell (links) konnte für die Prognose des Versagensverhaltens eine hohe Übereinstimmung mit den experimentellen Rissverläufen (rechts) erreicht werden. Zu sehen ist jeweils eine vertikale Schnittebene mittig durch das Projektil und das lagenartig aufgebaute transparente Schutzelement.



Durchlichtaufnahmen von im Experiment dynamisch geschädigten zylinderförmigen Proben eines transparenten Schutzwerkstoffs, hier Glas: Mit steigender Impactgeschwindigkeit v_p nimmt die erzeugte Rissdichte signifikant zu.



Neuer, 6 Meter langer Laborbeschleuniger zur Erzeugung von dynamischer Schädigung in Glas- oder Keramikzylindern. Der Impact wird rechts durch zwei High-Speed-Kameras beobachtet.

und bestehende Analysemethoden wurden verbessert. Bei diesen sogenannten Planar-Platten-Impakt-Versuchen (PPI) wird durch den flächigen Impact einer Metallscheibe ein definierter, eindimensionaler Verzerrungszustand in der Glasprobe erzeugt. Durch sehr hohe Auftreffgeschwindigkeiten von bis zu 3000 Metern pro Sekunde werden im Glas Stoßwellen induziert, die zu einer Kompression mit hoher Verzerrungsrate führen. Der Zusammenhang zwischen dem aufgetragenen Druck und der dynamischen Volumenkompression des Glases (Kompressionskurve) wird dabei, ausgehend von einer laserinterferometrischen Geschwindigkeitsmessung an der Glasprobenrückseite, ermittelt. Hierbei wurde die Genauigkeit der

Analyse durch die Entwicklung einer inkrementellen Auswertemethodik deutlich gegenüber gängigen Auswerteverfahren verbessert.

Eine neu entwickelte Charakterisierungsmethodik beinhaltet zudem den Einsatz von zwei High-Speed-Kameras, die den Impactprozess simultan aus zwei Richtungen beobachten. Hierdurch lässt sich die Ausbreitung von Stoßwellen und Schädigungsfronten in der Glasprobe in bisher unerreichter Qualität visualisieren. Da das Glas gleichzeitig von der Seite und von der Rückseite beobachtet wird, können die Wellenfronten genauer lokalisiert und neue Kenntnisse über die Initiierungsbedingungen ermittelt werden.

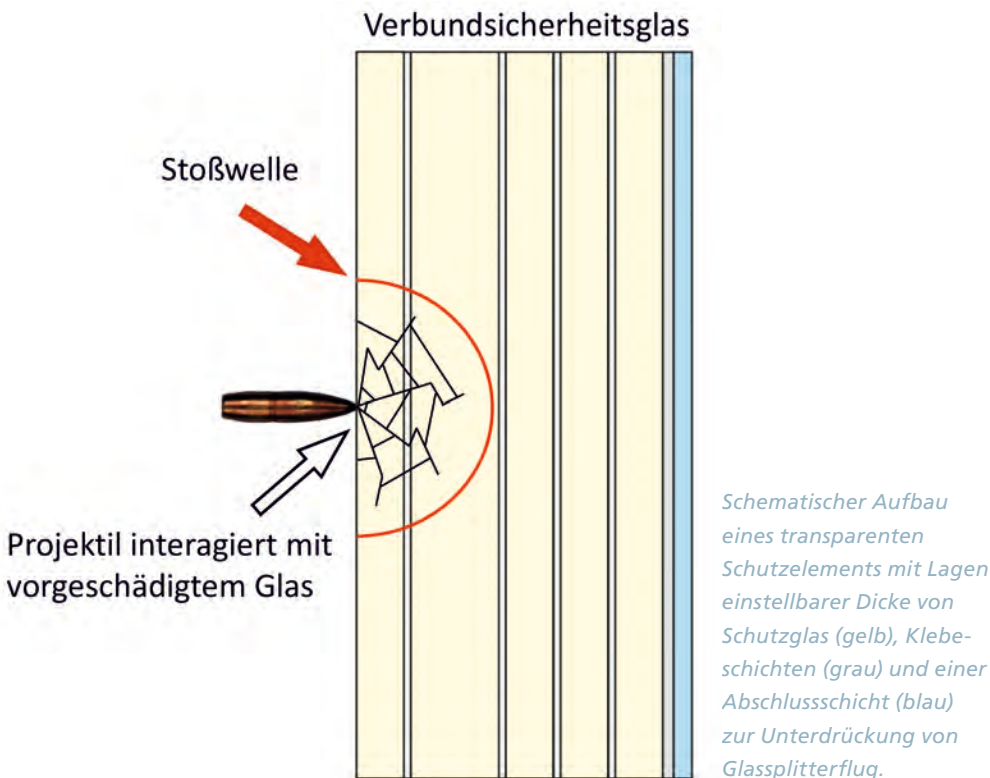
Messung der Festigkeit von dynamisch vorgeschädigtem Glas

Die bisher verfügbaren Literaturdaten für die Festigkeit von vorgeschädigten Gläsern in Impaktszenarien waren für die Ermittlung von konstitutiven Modellparametern unzureichend. Denn bisherige Festigkeitsmessungen sind entweder an losem Quarzsand oder an thermisch geschockten Glasproben durchgeführt worden. In beiden Fällen ist der Grad der Schädigung nicht repräsentativ für das vorgeschädigte Material vor einem ballistischen Projektil. Aus diesem Grund wurde am Fraunhofer EMI eine neue Methodik entwickelt, bei der kleine Glaszylinder (mit 6 Millimetern Höhe und Durchmesser) dynamisch geschädigt werden und anschließend der Schädigungsgrad durch eine Röntgen-Computertomografie (CT) ermittelt wird. Nachfolgend kann für unterschiedliche Schädigungsgrade die Festigkeit der Glasproben in einem triaxialen Druckversuch gemessen werden.

Hierbei wurde der aktuelle Stand der Wissenschaft gleich in mehreren Punkten erweitert:

Zum einen konnte erstmals die Scherfestigkeit von dynamisch vorgeschädigten Glasproben gemessen werden. Zum anderen wurde erstmalig die Festigkeit als Funktion des Schädigungsgrads ermittelt. Darüber hinaus konnte mit den neu gewonnenen Materialdaten ein aus der Literatur bekanntes Modell modifiziert und damit signifikant verbessert werden. Demonstriert wurde dies für ein repräsentatives ballistisches Szenario mit Starrkörperpenetration (AP-Munition) gegen ein transparentes Schutzelement mit 46 Millimetern Gesamtdicke.

Mit den prognosefähigen Modellen können zukünftig effizient die Einflüsse verschiedener Parameter untersucht werden (wie beispielsweise Material, Anzahl oder Dicken der einzelnen Laminatschichten), um neue Schutzanordnungen polyvalent auslegen zu können. Hierzu werden in weiterführenden Untersuchungen verschiedene Glassorten mit den neu entwickelten Methoden charakterisiert und die Konzepte in erweiterter Form auch auf transparente Keramiken angewendet. ■



MMC-Materialentwicklung mit innovativer 3D-Druck-Anlagentechnik

Ein Beitrag von Martin Jäcklein, martin.jaeklein@emi.fraunhofer.de

Metall-Matrix-Verbundwerkstoffe (metal matrix composites, MMCs) bestehen aus einer metallischen Matrixphase, die durch Partikel oder Fasern verstärkt wird. Durch die Kombination der Werkstoffe können MMCs vorteilhafte Eigenschaften der beiden Komponenten vereinen oder im Hinblick auf wehrtechnische Anwendungen sogar bessere mechanische Kennwerte erreichen als die Einzelwerkstoffe allein.

Potenzial und Herausforderung von MMCs

Additive Fertigungsverfahren wie das Pulverbett-basierte Laserstrahlschmelzen (laser powder bed fusion, L-PBF) bieten das Potenzial, neue Verbundwerkstoffe zu designen. Konventionelle Herstellungsmethoden sind oft in Bezug auf Prozesskontrolle, mechanische Eigenschaften oder geometrische Komplexität beschränkt. Daraus ergibt sich eine Limitierung der Werkstoffauswahl für MMCs. Durch innovative Materialkombinationen im 3D-Druck könnten in Zukunft Verbundwerkstoffe mit besseren Eigenschaften entwickelt werden. Durch die gezielte Einstellung von Prozessparametern wie Laserleistung und Belichtungsgeschwindigkeit wird eine Anpassung der mechanischen Eigenschaften für spezifische Anforderungen an Bauteile ermöglicht. Eine lokale Variation von Parametern kann die Eigenschaften auch in definierten Arealen beeinflussen, um so verschiedene Eigenschaftsprofile in unterschiedlichen Bereichen eines Bauteils zu erreichen.

Durch die Kombination verschiedener Werkstoffe wird der Herstellungsprozess jedoch komplexer. Es muss beispielsweise vermieden werden, dass sich an den Grenzflächen der Werkstoffe unerwünschte Phasen, das heißt chemische Verbindungen mit unvorteilhaften Eigenschaften, bilden. Für eine kontrollierte Herstellung von MMCs ist deshalb eine Weiterentwicklung der Prozesstechnologie wünschenswert, wie sie mit speziellen Materialentwicklungsstationen möglich ist.

Neue 3D-Druckanlage mit neuer Prozess- und umfangreicher Messtechnik

Mit der neu installierten Materialentwicklungsstation des Typs Aconity Midi+ hat das Fraunhofer EMI eine für Forschungszwecke weltweit einzigartig konfigurierte L-PBF-Anlage in Betrieb genommen. Der modulare Aufbau des Systems ermöglicht einen vielseitigen Einsatz der Anlage. Die vier eingebauten Laser können simultan oder nacheinander (im sogenannten Master-Slave-Betrieb) arbeiten. Es können Bauplattformverkleinerungen eingesetzt werden, um in der Materialentwicklung mit kleineren Materialchargen arbeiten zu können. Verschiedene Bauplattformheizungen ermöglichen ein Aufheizen bis zu Temperaturen von 1200 Grad Celsius. Zur Ausstattung gehört außerdem umfangreiche Messtechnik für die Prozessüberwachung und Unterstützung spezieller Versuchsaufbauten, beispielsweise eine Hochgeschwindigkeitskamera, mit der das Aufschmelzverhalten des Materials im Prozess beobachtet werden kann. Weiterhin bieten zwei Pyrometer die Möglichkeit, die Temperatur des Materials in



situ zu messen. Durch die Verfügbarkeit von mehreren freien Schnittstellen kann bei Bedarf leicht weitere Diagnostik aufgebaut werden. Neben weiteren neuen Prozessfunktionen, wie der variablen Einstellung des Laserfokus, gibt es auch auf der Softwareseite mehr Freiheiten in Bezug auf die Prozesssteuerung als bei kommerziellen Systemen.

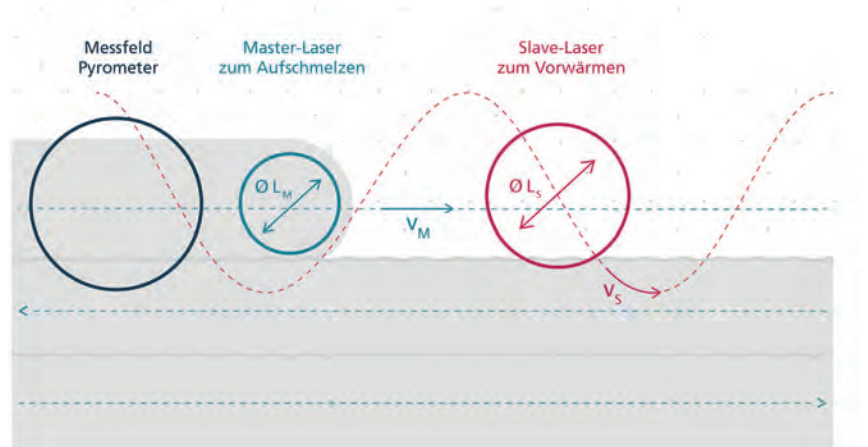
Materialentwicklung von neuen MMCs

Kombinationen aus Wolframpartikeln und Stählen oder Tantal als Matrix stellen den bisherigen Fokus der Untersuchungen zu Metall-Matrix-Verbundwerkstoffen am Fraunhofer EMI dar. Spezielle Materialkombinationen wie aus Tantal und Wolfram mit geringem Unterschied in den Schmelztemperaturen der Komponenten erfordern besondere Strategien, um das Matrixmaterial im Prozess aufzuschmelzen, die Verstärkungspartikel jedoch als solche zu erhalten. Für die Herstellung eines solchen Materialsystems wurden in ersten Versuchen zwei Laser im Master-Slave-Betrieb verwendet. Ein Laser heizt dabei das Pulverbett vor, der zweite Laser folgt in einem definierten Abstand und schmilzt das Pulver auf. Hierfür musste zunächst in Vorversuchen bestimmt werden, bei welchen Prozessparameterkombinationen aus Laserleistung und Belichtungs-geschwindigkeit, das heißt bei welchem Energieeintrag, das eingesetzte Pulver nur erwärmt, aber nicht aufgeschmolzen wird.

Auf dieser Basis werden aktuell in Master-Slave-Experimenten unter Verwendung der diagnostischen Mittel wie der Pyrometrie mögliche Prozessfenster evaluiert.

Das Potenzial der neuen Anlagentechnik besteht darin, sehr viele Prozesseinstellungen selbst wählen zu können, erhöht dabei jedoch die Komplexität der Forschungsaufgaben. Ziel der Versuche ist die Entwicklung von Methoden für eine effiziente Parameterentwicklung für neue MMC-Materialsysteme.

Mikrostruktur eines Stahl-Wolfram-MMCs.



Der Master-Slave-Betrieb ermöglicht eine komplexe Prozessführung mit bis zu vier sich folgenden Lasern. Ein Slave-Laser kann zum Vorwärmen des Pulverbetts, ein weiterer zum Aufschmelzen und eine dritte Optik für Temperaturmessungen mittels Pyrometrie verwendet werden.

Das EMI beim DWT-Forum

»Angewandte Forschung für Verteidigung und Sicherheit in Deutschland – Zukunftstechnologie für die Bundeswehr«



Bei der begleitenden Ausstellung zeigte der Fraunhofer-Leistungsbereich Verteidigung, Vorbeugung und Sicherheit VVS Exponate aus der Forschung.

Vom 8. bis zum 10. März 2022 fand in Bonn das DWT-Forum »Angewandte Forschung für Verteidigung und Sicherheit in Deutschland – Zukunftstechnologie für die Bundeswehr« statt. Die Konferenz ist die größte wehr- und sicherheitstechnische Tagung Deutschlands im Bereich Forschung und Technologie. Übergeordnete Fragestellungen waren der Erhalt und Ausbau technologischer Souveränität im Bereich Verteidigung, der gezielte Einsatz von Forschungsmitteln für den Bedarf der Bundeswehr und der Blick auf technologische Trends und künftige Herausforderungen für die Streitkräfte.

Eine große Bandbreite von Themen wurde in 32 Fachsessions und Postersessions behandelt, bei denen das EMI in unterschiedlichen Bereichen Präsenz zeigte. Dr. Matthias Wickert war Chair der Session zum Thema Schutz und hielt einen Vortrag zur Robustheit zukünftiger Kampfflugzeuge gegenüber Hochenergie-Lasereinwirkung und Hydraulic-Ram-Effekten.

Marcin Jenerowicz sprach über Verletzungsprognosen durch Simulation mit Menschmodellen und Experimente mit bio-fidelen Dummies für den Schutz im Einsatz und den Arbeitsschutz im Dienst, und Professor Frank Schäfer stellte den EMI-Satelliten ERNST und die Demonstrationsmission für leistungsstarke Kleinsatelliten vor. Professor Werner Riedel und Dr. Robbert Rietkerk waren mit dem Titel »Maschinelles Lernen für Schutz und Wirkung: Modellierung des hochdynamischen Verhaltens von Werkstoffen und Bauteilen unter Beschuss und Anspannung« vor Ort.

Die Veranstaltung wurde von der Studiengesellschaft DWT mbH in Abstimmung mit dem Fraunhofer-Leistungsbereich Verteidigung, Vorbeugung und Sicherheit VVS, dem Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), dem Bundesverband der deutschen Sicherheits- und Verteidigungsindustrie (BDSV) sowie dem Bundesministerium der Verteidigung (BMVg) abgestimmt. Veranstaltung, Organisation und Durchführung lag bei der Studiengesellschaft der Deutschen Gesellschaft für Wehrtechnik (SGW).



Im Versuch werden Stahlplatten durch die Explosion hochgeschleudert, ihre Geschwindigkeit wird mittels High-Speed-Kameras bestimmt.

Prognose der Gefährdungsbereiche bei Munitionslagerung

Ein Beitrag von Dr. Johannes Schneider, johannes.schneider@emi.fraunhofer.de

Beschreibung von Abgangsbedingungen bei Bauteilen unter subdetonativer Explosionsbeanspruchung

Munition ist bei ihrer Lagerung potenziellen Gefahren beispielsweise durch Feuer oder Beschuss ausgesetzt, was entweder eine Detonation oder eine weniger intensive Deflagration nach sich zieht.

Die Trümmerabgangsgeschwindigkeit von herausgeschleuderten Bauteilen bei Innenraumexplosionen ist, neben der Trümmermasse und dem Abgangswinkel, der wesentliche Parameter zur Beschreibung der Trümmerflugbahn und somit Grundlage für entsprechende Gefährdungs- und Risikoberechnungen. Während die Trümmerabgangsgeschwindigkeit (debris launch velocity, DLV) bei Detonationen durch das Fraunhofer EMI in der Vergangenheit empirisch hergeleitet wurde, ist die DLV im subdetonativen Bereich von Explosionen, das heißt in der Regel Deflagrationen, gekennzeichnet durch Umsetzung des explosionsfähigen Stoffs unterhalb der Schallgeschwindigkeit, bisher nicht ausreichend betrachtet worden. Dies bedeutet, dass im Falle der Munitionslagerung die möglichen Gefährdungen auf der Basis des Modells für massendetonationsfähige Munitionsartikeln bereits relativ gut eingeschätzt werden

können. Für die von der Bundeswehr vermehrt eingesetzte nicht-massendetonationsfähige Munition werden die Modelle jetzt ergänzt. Es ist davon auszugehen, dass entsprechende Modellrechnungen aufzeigen, dass geringere Gefährdungsbereiche hinreichend sind.

Ziel der Arbeiten ist es, Einflussparameter für die DLV bei Deflagrationsereignissen näher zu bestimmen und Datenpunkte für die Herleitung analytischer Gleichungen zu generieren, mit denen die Trümmerabgangsgeschwindigkeiten bei Deflagrationen berechnet werden können. Dies leistet einen wichtigen Beitrag zur sicheren Lagerung von Munitionsartikeln durch die Bundeswehr.

Dazu wurden am Fraunhofer EMI umfangreiche Versuchsserien durchgeführt, basierend auf einem mit deflagrativ umsetzenden Sprengstoffen besetzten Versuchsbehälter. Als Abdeckung – und Versuchskörper zur Bestimmung der Trümmer-Abgangsgeschwindigkeit – kamen Stahlplatten unterschiedlicher Massen zum Einsatz. Mittels Hochgeschwindigkeitskameras wurde die Abgangsgeschwindigkeit der Stahlplatten bestimmt und diese mit dem Energiegehalt, den Abbrandcharakteristiken sowie dem resultierenden Explosionsdruck in Beziehung gesetzt.

Röntgenvideoanalyse für dynamische Versagensvorgänge im Innern von Lithium-Ionen-Batterien

Ein Beitrag von Dr. Thomas Kisters, thomas.kisters@emi.fraunhofer.de

Ein detailliertes Verständnis von Versagensprozessen im Innern von Batteriezellen ist zentral wichtig, um die Sicherheit und Robustheit dieser Energiespeicher zu erhöhen. Für diesen Zweck wird auch dynamisches Röntgen eingesetzt, wie zum Beispiel am Synchrotron ESRF in Grenoble, mit dem das EMI zusammenarbeitet. Diese Technologie bildet einen wichtigen Meilenstein für die Analyse von Batterieversagen, da sie optisch unzugängliche zellinterne Vorgänge sichtbar werden lässt. Bislang waren diese Untersuchungen auf sehr kleine Zellen begrenzt, da eine versagende Batterie eine nicht unerhebliche Gefahr darstellt. Gerade die mit großen Herausforderungen verknüpfte Untersuchung deutlich größerer Zellen, wie sie für wehrtechnische Anwendungen zu erwarten sind, ist jedoch hochgradig praxisrelevant.

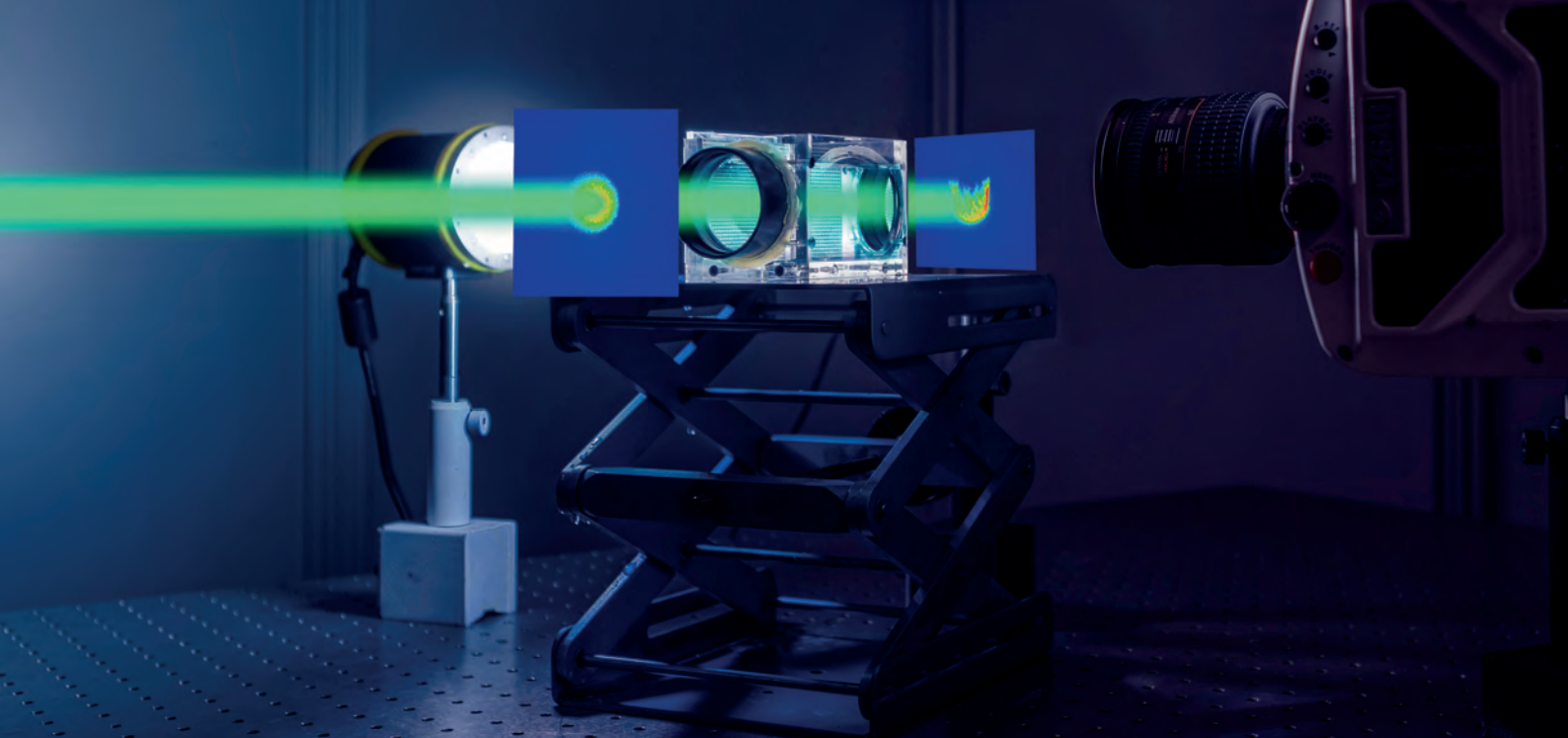
Aus diesem Grund wurde am EMI eine neue Methode zur Untersuchung des Versagens von Lithium-Ionen-Zellen größerer Bauart unter extremen Bedingungen etabliert. Hierfür wird eine Drehanodenröhre eingesetzt, mit der Videoaufzeichnungen von bis zu fünf Sekunden Dauer und Bildraten von bis zu 2000 Bildern pro Sekunde möglich sind. Zur Untersuchung von

Penetrationsvorgängen wurde eine Nagelvorrichtung aufgebaut, mit der Zellen unterschiedlicher Formate (Rundzellen, prismatische Zellen und Pouch-Zellen) durch Anstechen beschädigt und dadurch ins Versagen, einen sogenannten Thermal Runaway, getrieben werden können. Videoaufnahmen eines solchen Versuchs lassen Beobachtungen zu verschiedenen Zeitpunkten nach dem Anstechen zu: Der Nagel (im ersten Bild links unten, blauer Kreis) tritt in die Zelle ein, vier Sekunden nach dem Anstechen beginnt sich der gesamte Zellwickel zu bewegen und drückt aus dem Gehäuse nach oben.

Neben den Nagelversuchen wurden auch Tests zur Initiierung eines Thermal Runaway mittels Überhitzen durchgeführt. Zu diesem Zweck wurden an den Zellen angebrachte Heizfolien verwendet, um die Zellen bis über die kritische Temperatur zu erhitzen. Es wird zurzeit daran gearbeitet, eine lokale Aufheizung mittels Laser zu realisieren, wodurch die kritische Temperatur an einem bestimmten Ort deutlich schneller auftritt.



Videobilder der zellinternen Vorgänge nach dem Anstechen einer geladenen Zelle mit einem Nagel (blauer Kreis links unten im ersten Bild), aufgenommen mit 1000 Bildern pro Sekunde.



Bei der Transmission eines Hochleistungslasers durch Wasser verändert sich dessen Strahlform. Dies wurde mithilfe von Multikontrastbildung sichtbar gemacht.

Wie breitet sich der Strahl eines Hochleistungslasers in Wasser aus?

Ein Beitrag von Dr. Stefan Reich, stefan.reich@emi.fraunhofer.de

Multikontrastaufnahmen machen für das bloße Auge unsichtbare Wasserbewegungen im Laserstrahl sichtbar und dienen der Kalibration von Simulationen.

Für Anwendungen von Laserstrahlung hoher Leistung kann der Einfluss des Transportmediums auf die Strahlausbreitung eine wichtige Rolle spielen. Speziell für die Propagation in Wasser wurden am Fraunhofer EMI Untersuchungen mit einem Laserstrahl mit einer Leistung von bis zu 7,5 Kilowatt bei einer Wellenlänge von 1070 Nanometern durchgeführt. Dabei führen Absorptionsprozesse zu einer Erhitzung des Wassers im Bereich des Laserstrahls. Darüber hinaus kommt es zu Verwirbelungen im aufsteigenden heißen Wasser. Da heißes Wasser jedoch andere optische Eigenschaften besitzt als kaltes Wasser, verformt sich auch der Laserstrahl. Für die Untersuchung wurde von Fraunhofer EMI eine indirekte Messmethodik realisiert.

Mithilfe der Multikontrastbildung mittels Hartmannmaske können nun bislang unsichtbare Kontraste sichtbar gemacht werden. Die Maske generiert dabei eine Vielzahl kleiner Lichtpunkte, die senkrecht zur Ausbreitungsrichtung des Laserstrahls auf einen Detektor abgebildet werden. Aus der Veränderung ihrer Lage können die lokalen Änderungen der optischen Eigenschaften sichtbar gemacht werden.

Mithilfe von multiphysikalischen Simulationen, bestehend aus Strahlenoptik, Wärmefluss und Strömungsmechanik, wurden die Experimente simulativ abgebildet. Dabei dienten die Daten der Multikontrastbildung zur Validierung der Simulationen. Diese Simulationen erlauben es nun, auch im Experiment nicht zugängliche Parameter, wie zum Beispiel die lokale Temperatur des Wassers im Laserstrahl, Strömungsprozesse oder den Wärmefluss im Wasser, zu analysieren.

Fragmentierung effizient simulieren

Ein Beitrag von Dr. Pascal Matura, pascal.matura@emi.fraunhofer.de

Weiterentwicklung der Methoden für die effiziente Simulation von Fragmentierungsvorgängen

Die Beschreibung der Fragmentierung von Festkörpern stellt ähnlich große Herausforderungen an Modellierung und numerische Simulation wie turbulente Fluidströmungen.

Wird ein Material weit über seine Festigkeitsgrenze belastet, entstehen Risse, die sich ausbreiten, verzweigen und letztendlich – bei entsprechend hoher dynamischer Belastung – auch zu einer vollständigen Fragmentierung führen können. Wie bei einem Trinkglas, das am Boden zerspringt, können die entstehenden Fragmente viele Größenordnungen umfassen: von einigen größeren Bruchstücken bis hin zu feinsten, kaum noch mit dem Auge wahrnehmbaren Splittern.

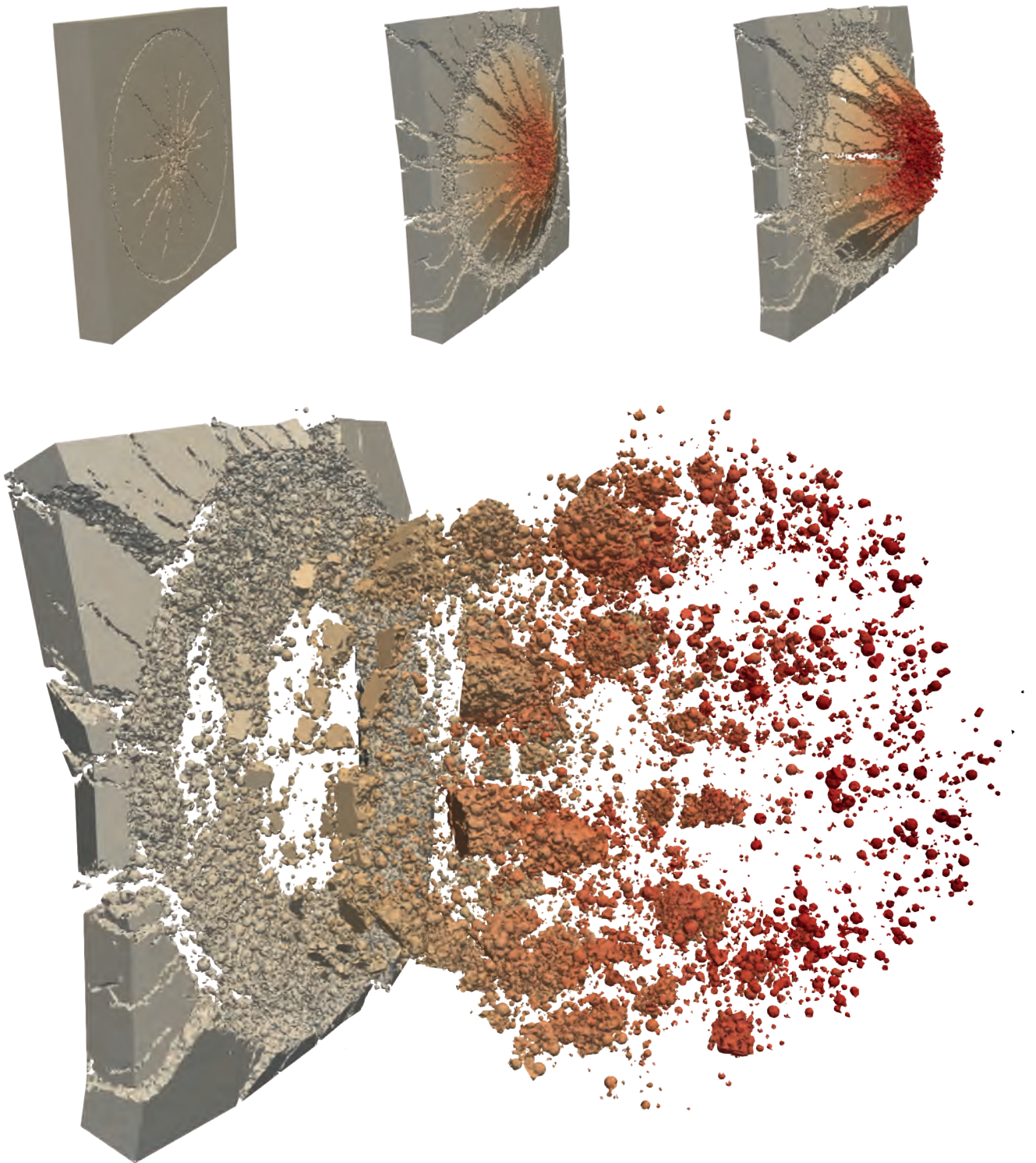
Fragmentierungsvorgänge treten häufig bei Impakt- und Explosionsereignissen auf. Möchte man sie numerisch simulieren, so müssen neben einer adäquaten Modellierung des Materialverhaltens auch spezielle Methoden verwendet werden, welche die mit dem Rissfortschreiten und der Fragmentierung einhergehende Schaffung neuer Oberflächen als Bruchflächen erfassen können.

Der am EMI entwickelte Strukturdynamikcode SOPHIA bietet dazu ein Verfahren an, das die Vorgänge im Bereich der Bruchzone mittels sogenannter Kohäsivzonenelemente beschreibt. Diese speziellen Elemente erfassen die zunehmende Materialschädigung und erlauben bei vollständiger Schädigung die Schaffung neuer Bruchflächen. Das Besondere dabei ist: Sie werden erst während der Simulation an jenen Stellen im Material eingefügt, an denen die Materialfestigkeit überschritten wird.

Ausgesprochen herausfordernd ist die Fragmentierungsmodellierung in einem homogenen Material, in denen mögliche Rissverläufe nicht von vornherein bekannt sind, sondern scheinbar zufällig entstehen und sich auffächern. In dieser Hinsicht stellt der am EMI entwickelte Kohäsivzonenansatz eine innovative Methode dar, die Rissbildung in einem solchen Material adäquat und physikalisch genau zu modellieren. Die Effizienz und die numerische Stabilität des Verfahrens konnten hierbei durch aktuelle Arbeiten deutlich gesteigert werden.

Einen weiteren, völlig anderen Weg der Fragmentierungssimulation beschreiten wir mit dem am EMI entwickelten Code MD-Cube, der auf der Diskrete-Elemente-Methode beruht. Hierbei wird, vereinfacht gesagt, das abzubildende Material durch eine Vielzahl von Partikeln repräsentiert, die über Verbindungselemente miteinander verknüpft sind und deren Interaktionen über materialspezifische Gesetzmäßigkeiten beschrieben werden. Die Fragmentierung wird dabei auf natürliche Weise dadurch ermöglicht, dass diese Verbindungselemente brechen können. Durch eine hochparallelisierte Implementierung in MD-Cube können Modelle selbst mit vielen zehn Millionen Partikeln effizient simuliert werden.

Die komplexen und numerisch anspruchsvollen Simulationen erfordern auch auf der Hardwareseite eine moderne IT-Infrastruktur, deren zentraler Bestandteil das Scientific-Linux-Hochleistungsrechencluster des EMI ist.



Fragmentierung einer Betonplatte unter Druckstoßbelastung im zeitlichen Verlauf. Farblich dargestellt ist die Geschwindigkeit der Fragmente senkrecht zur Platte. Um ein realistisches Fragmentierungsverhalten zu erhalten, wurden in der Modellierung die Zuschlagskörner, hier insgesamt etwa 57 000, explizit berücksichtigt. Kohäsivzonelemente stellen eine ideale Formulierung dar, um die schwache Bindung zwischen Zementmatrix und Zuschlagskorn zu berücksichtigen, während die Risse durch die Zementmatrix am effektivsten mit einem sogenannten Smeared-Crack-Ansatz beschrieben werden. Die Simulation wurde von Christoph Grunwald mit der EMI-Software SOPHIA durchgeführt.



Das Hochwasser im Ahrtal hat gezeigt, wie verwundbar unsere vernetzten Infrastrukturen sind. © Adobe Stock



Geschäftsfeld Sicherheit und Resilienz



Einleitung	30
Menschen im Geschäftsfeld Sicherheit und Resilienz ...	32
Fraunhofer-Zentrum SIRIOS	34
Urbane komplexe Sicherheitsszenarien erleb- und beherrschbar machen.	
Multisafe: Sicherheit im urbanen Straßenverkehr	38
Aufnahme und Simulation von Verkehrsszenarien im Vergleich analysieren.	
Resiliente Stromnetze für die Energiewende – RESIST ...	39
Resilienz des Stromversorgungssystems in Echtzeit überwachen und optimieren.	
SATIE: Sicherheit für Europas Flughäfen	40
Gefährdungsszenarien an Flughäfen effektiv begegnen.	
Multischutz – Sicherheit vor den Auswirkungen von Terroranschlägen	42
Personen durch beschussichere und sprengwirkungshemmende Elemente aus Faserverbundwerkstoff schützen.	

Geschäftsfeld Sicherheit und Resilienz

Die eigene Resilienz zu quantifizieren fällt vielen Unternehmen noch schwer. Angesichts zunehmend komplexer Herausforderungen ist es aber in vielen Fällen nicht mehr die Frage, ob, sondern vielmehr wann es zu Störungen oder Ausfällen im eigenen System kommt. Darauf kann man sich mit unseren Tools gut vorbereiten: Mithilfe unserer Resilienz-Assessment-Tools unterstützen wir Unternehmen dabei, den Schritt zur Quantifizierung der eigenen Resilienz zu machen und damit Investitionen in Resilienz besser bewerten zu können.

Tauchen Sie in den nun folgenden Artikeln ein in ausgewählte Themen unserer aktuellen Aktivitäten im Geschäftsfeld Sicherheit und Resilienz.

In Berlin arbeitet seit Januar 2022 das neugegründete Fraunhofer-Zentrum für die Sicherheit Sozio-Technischer Systeme SIRIOS daran, komplexe Sicherheitsszenarien für die urbane Sicherheit erleb- und beherrschbar zu machen. Im Projekt Multisafe liegt der Fokus auf der Sicherheit im urbanen Straßenverkehr. Die Notwendigkeit resilienter Stromnetze für die Energiewende wird im Projekt RESIST adressiert, und die Sicherheit weiterer kritischer Infrastruktur wie Europas Flughäfen liegt im Kern der Arbeiten des Projekts SATIE. Wie beschusssichere und sprengwirkungshemmende Elemente aus Faserverbundwerkstoff Personen in gefährdeten Gebäuden und auf öffentlichen Plätzen schützen, wird abschließend im Beitrag zum Projekt Multischutz besprochen.



**Unsere Kunden haben erkannt,
dass Resilienz als Teil ihrer
Strategie ihren Wettbewerbs-
vorteil erhält.«**

Daniel Hiller

Daniel Hiller

Geschäftsfeldleiter Sicherheit und Resilienz
daniel.hiller@emi.fraunhofer.de

s.fhg.de/emi-sicherheit-resilienz

Menschen im Geschäftsfeld Sicherheit und Resilienz



Hier lassen wir vier
Forscherinnen und Forscher
aus dem Geschäftsfeld
Sicherheit und Resilienz zu
Wort kommen – in Vertretung
für die vielen anderen, die bei
uns exzellente Arbeit leisten.

- 1 *Daniel Hiller*
daniel.hiller@emi.fraunhofer.de
- 2 *Dr. Corinna Köpke*
corinna.köpke@emi.fraunhofer.de
- 3 *Prof. Dr. Alexander Stolz*
alexander.stolz@emi.fraunhofer.de
- 4 *Dr. Julia Rosin*
julia.rosin@emi.fraunhofer.de

Fraunhofer-Zentrum SIRIOS – EMI entwickelt urbane Sicherheit und Resilienz in der Hauptstadt weiter

Ein Beitrag von Daniel Hiller, daniel.hiller@emi.fraunhofer.de

Das Fraunhofer-Zentrum für die Sicherheit Sozio-Technischer Systeme SIRIOS nimmt in Berlin seinen Betrieb auf.

Klimabedingte Extremereignisse, Industrieunfälle, Terroranschläge – die öffentliche Sicherheit der Zukunft steht vor großen Herausforderungen. Seit Januar 2022 wird im neugegründeten Fraunhofer-Zentrum für die Sicherheit Sozio-Technischer Systeme SIRIOS daran gearbeitet, komplexe Sicherheits-szenarien erleb- und beherrschbar zu machen.

Moderne Gesellschaften sind hochvernetzt, komplex und vielfältig abhängig. Durch diese Abhängigkeiten zwischen Menschen, Technik und Infrastrukturen wird die Gewährleistung öffentlicher Sicherheit schwierig zu überblicken und nur schwer zu beherrschen. Werden solche sozio-technische Systeme gestört, können Folgen beispielsweise die Grundversorgung mit Wasser, Strom, Logistik und Internet betreffen. Mögliche Gründe für solche Störungen sind extreme Wetterereignisse, Industrieunfälle, Terroranschläge oder Paniklagen bei Großveranstaltungen. Um auf solche Ernstfälle bestens vorbereitet zu sein, arbeiten die Forschenden des Fraunhofer

SIRIOS an neuartigen und umfassenden Simulationssystemen dieser gesellschaftlichen wechselseitigen Abhängigkeiten.

Simulation – Transfer – Impact

Fraunhofer SIRIOS versteht sich als Inkubator für neue Technologien der öffentlichen Sicherheit. Mittels gekoppelter Simulationen und neuartiger Modelle können die Entstehung und Auswirkungen komplexer sozio-technischer Bedrohungs- oder Schadenslagen erfasst und wissenschaftlich fundierte Maßnahmen abgeleitet werden. In unterschiedlichen Szenarien werden relevante Parameter und Interdependenzen moderner Gesellschaft identifiziert und in Simulationen exemplarisch durchgespielt. Durch die Auswertung der Simulationsergebnisse werden vorhandene Sicherheits-schwachstellen deutlich. Dies schafft Raum für neue Abwehr- und Resilienzstrategien, welche folgend zusammen mit den Bedarfsträgerinnen und -trägern aus der Sicherheit in die Praxis überführt werden können. Diese neuen Lösungsansätze für gesellschaftliche Gefahrenlagen unterstützen die Bewert- und



Beherrschbarkeit neuer Technologien im Ernstfall und können so in Zukunft den Schutz von Daten- und Persönlichkeitsrechten besser sicherstellen. Dadurch kann auch das subjektive Sicherheitsgefühl von Bürgerinnen und Bürgern erhöht werden.

In den nächsten vier Jahren sollen Trainings- und Simulationsmöglichkeiten entstehen, in denen Sicherheitsbehörden und Rettungskräfte, aber auch Industrie- und Forschungspartner praxisnahe Einsätze in virtueller Realität durchführen können. Darüber hinaus sollen neue oder bereits vorhandene Systeme für die Einsatzunterstützung und Lagevisualisierung getestet und weiterentwickelt werden. Diese Überführungen in die Praxis sind essenzieller Teil der Arbeit des Zentrums. Gemeinsam mit Netzwerkmitgliedern aus Behörden, Industrie, Forschung und Politik werden neue Modelle von technischen Systemen und menschlichen Verhaltensweisen in komplexe Szenarien integriert, in Simulationen erprobt und im

Rahmen eines Transfernetzwerks ausgewertet. Bisher bietet keine andere wissenschaftliche oder kommerzielle Simulationsplattform ähnlich umfassende Unterstützung.

»Die öffentliche Sicherheit ist eine wesentliche Säule für eine resiliente und souveräne Gesellschaft. Sie umfasst nicht nur Strategien zur Reaktion auf Ereignisse, sondern auch das konsequente Vorausdenken und die Vorsorge für unerwartete Bedrohungslagen in einer digitalisierten Welt. Das neue Fraunhofer-Zentrum für die Sicherheit Sozio-Technischer Systeme SIRIOS wird diese Herausforderungen mit wissenschaftlicher Exzellenz adressieren und neue Lösungen und Ansätze entwickeln, um die Resilienz Deutschlands nachhaltig zu stärken«, sagt Professor Reimund Neugebauer, Präsident der Fraunhofer-Gesellschaft. ►

Das Fraunhofer-Zentrum für die Sicherheit Sozio-Technischer Systeme SIRIOS hat seinen Sitz in den Räumlichkeiten des Fraunhofer FOKUS in Berlin.

© M. Zalewski, Fraunhofer FOKUS



Extremwetterlagen, wie schwere Gewitter, können Kommunen vor große Herausforderungen stellen. © Adobe Stock

Extreme Wetterereignisse und Schadenslagen bei Großveranstaltungen

Im Fokus der aktuellen Forschung stehen zunächst zwei spezielle Bedrohungsszenarien: die Auswirkungen eines extremen Wetterereignisses wie Stürme oder Überschwemmungen in einer Großstadt sowie eine durch Menschen verursachte Schadenslage bei einer Großveranstaltung. Die Schwerpunkte liegen entsprechend in der Simulation von Schäden

in Gebäuden, Versorgungsnetzen und Infrastrukturen wie der Stromversorgung sowie den daraus folgenden Störungen, beispielsweise durch Ausfall des Internets, der Telekommunikation oder der Logistikketten. Um in Paniksituationen bei Großveranstaltungen ideal eingreifen zu können, ist es von enormer Wichtigkeit, das Verhalten der Menschenmenge antizipieren zu können. SIRIOS will dieses Verhalten und die Einbindung von

Schnelle Alarmierung und Reaktionszeit von Rettungskräften sind entscheidende Faktoren bei Einsätzen. Beides gilt es zu optimieren.

© M. Heyde, Fraunhofer FOKUS



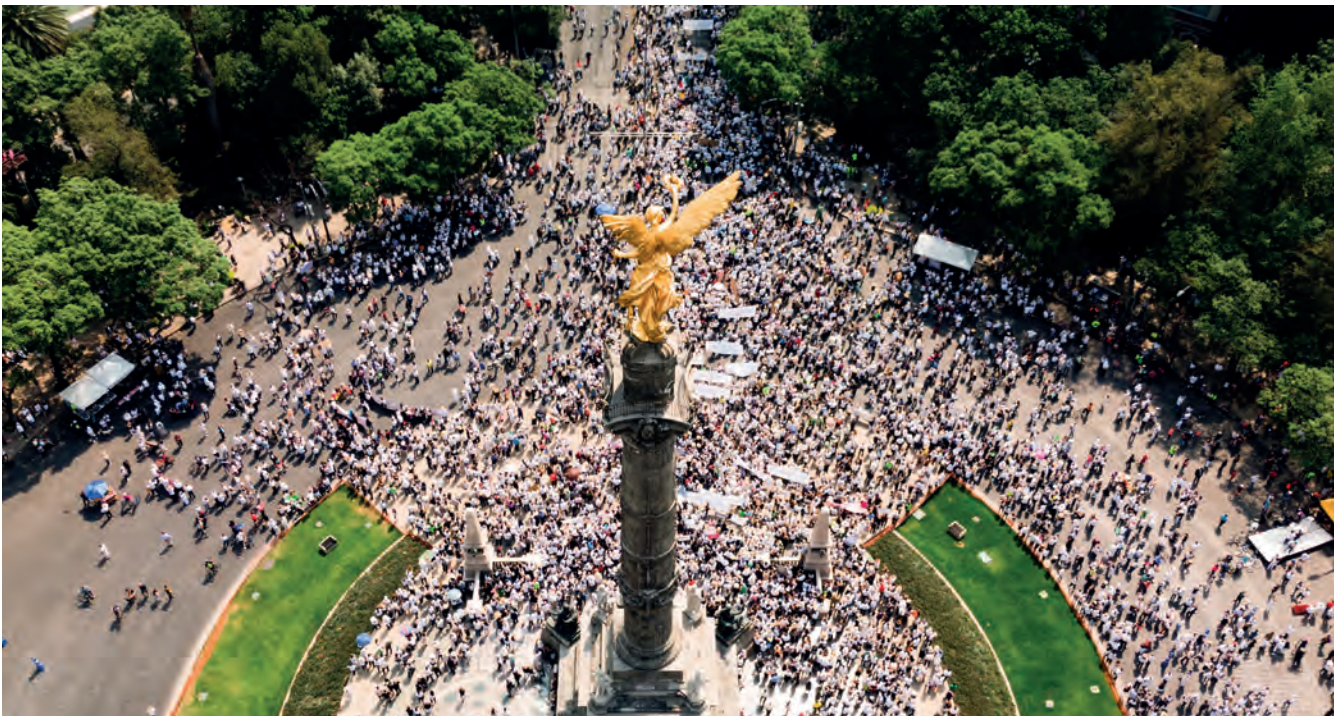
Helfenden simulieren, damit so im Ernstfall adäquat reagiert werden kann. »Gefahrenlagen wie diese sind traurige Realität und werden uns wohl auch in Zukunft treffen. Deswegen ist es so wichtig, das Zusammenwirken von Technik, Infrastruktur, Einsatzkräften und Bevölkerung noch besser zu erforschen und die Erkenntnisse auch auf andere oder neue Bedrohungen zu übertragen«, so Daniel Hiller, Geschäftsführer des Fraunhofer SIRIOS.

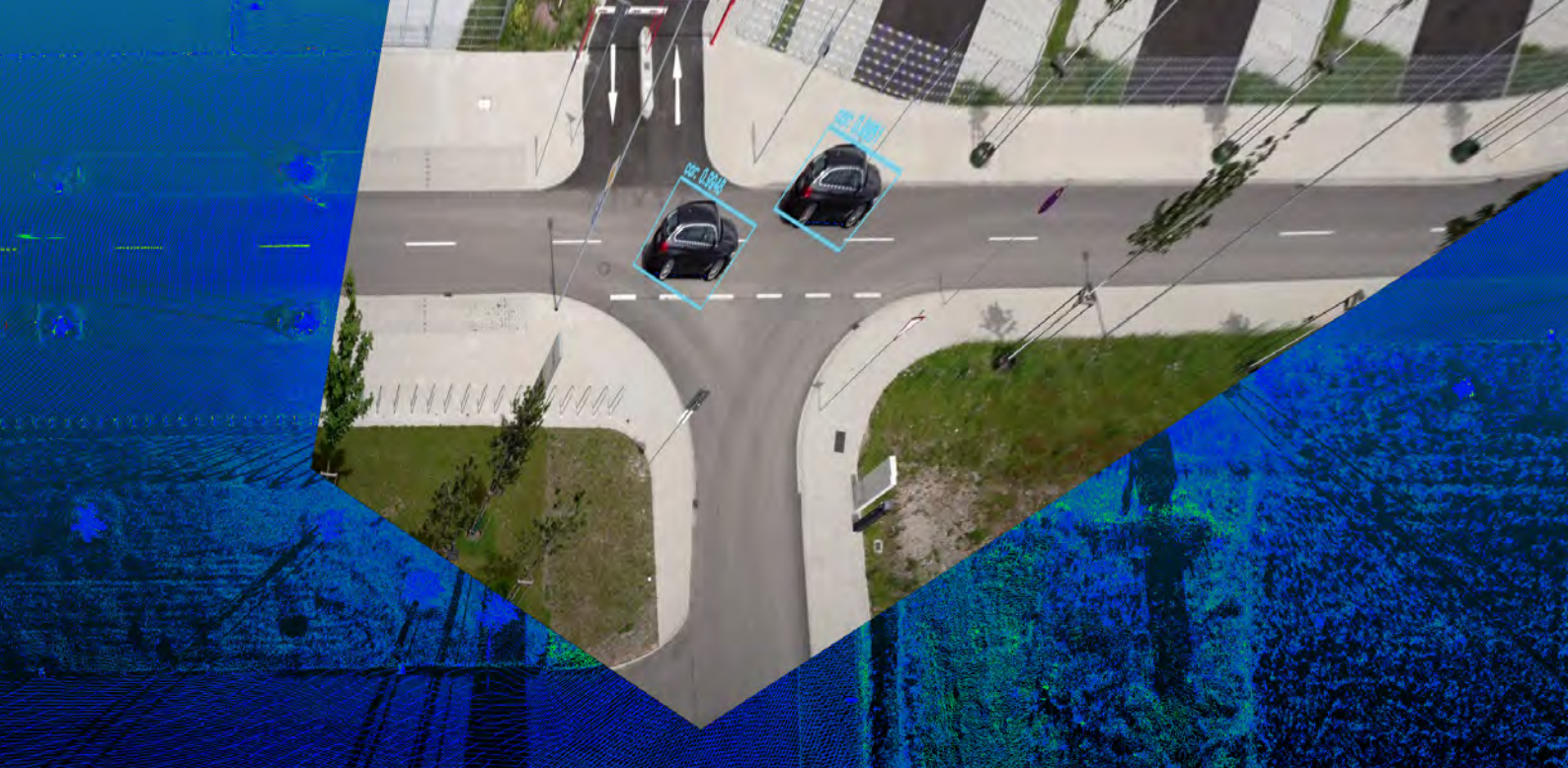
Das Team SIRIOS

Ein wachsendes Team aus Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Fraunhofer-Instituts für Kurzzeitdynamik, Ernst-Mach-Institut, EMI,

des Fraunhofer-Instituts für Offene Kommunikationssysteme FOKUS, des Fraunhofer-Instituts für Optronik, Systemtechnik und Bildauswertung IOSB sowie des Fraunhofer-Instituts für Verkehrs- und Infrastruktursysteme IVI arbeitet während der Aufbauphase in gemeinsamen und institutsübergreifenden Forschungs- und Entwicklungsprojekten unter dem Dach des Fraunhofer SIRIOS am Standort Berlin. Geschäftsführend wird das Zentrum durch Daniel Hiller vom Fraunhofer EMI geleitet. Sprecher ist Professor Manfred Hauswirth, Institutsleiter des Fraunhofer FOKUS. Bis 2026 erhält das neue Fraunhofer-Zentrum eine Anschubfinanzierung durch das Land Berlin und den Bund und soll sich danach als Einrichtung der Fraunhofer-Gesellschaft verstetigen. ■

Großveranstaltungen können bei Anschlägen oder Unfällen zur Gefahr werden. © Adobe Stock





Überholvorgänge, abbiegende Fahrzeuge, Bremsmanöver, Fuß- und Fahrradverkehr machen Straßenkreuzungen gefährlich.

Multisafe: Sicherheit im urbanen Straßenverkehr

Ein Beitrag von Dr. Corinna Köpke, corinna.koepke@emi.fraunhofer.de

Im Projekt Multisafe (Smart Multimodal Intersection for Traffic Safety) wurden urbane Verkehrssituationen aufgenommen und simuliert.

Das Projekt Multisafe wurde im Rahmen des Projekts Smart Urban Road Safety – SURF – der Transferinitiative Österreich des Leistungszentrums Nachhaltigkeit über eine zwölfmonatige Laufzeit im Jahr 2021 gefördert. Beteiligt waren das Fraunhofer-Institut für Physikalische Messtechnik IPM sowie das Fraunhofer EMI. Gemeinsam wurden zunächst urbane Verkehrsszenarien an einer T-Kreuzung definiert, die unter anderem Überholvorgänge, abbiegende Fahrzeuge und Bremsmanöver, aber auch den Fuß- und Fahrradverkehr beinhalteten.

Aufnahme von Verkehrssituationen

Die Szenarien wurden am Fraunhofer IPM mit einer Sony-Alpha-R7-Kamera von schräg oberhalb der Kreuzung aufgenommen. Mithilfe eines Laserscanners wurden die aus Videos extrahierten Bilder in die Straßenebene projiziert. Anhand eines neuronalen

Netzes wurden die Verkehrsteilnehmenden detektiert und deren Schwerpunkte auf der Straße berechnet. Aus den Positionen der Schwerpunkte in den Bildern konnten die Fahrzeugpositionen auf der Straße bestimmt und so die Trajektorien zusammengestellt werden.

Simulation der Szenarien

Am Fraunhofer EMI wurden die Szenarien mittels ASAM-Standard OpenDRIVE nachgebildet und in der Simulationsumgebung OpenPASS umgesetzt. Die vorhandenen Verhaltensmodelle für Verkehrsteilnehmende wurden auf ihre Eignung untersucht, die Szenarien abbilden zu können. Der Vergleich von gemessenen und simulierten Trajektorien ausgewählter Szenarien ergab gute Übereinstimmungen. Außerdem konnten erste Verkehrssituationen mit Interaktion zwischen Autofahrenden und Fußgängern und Fußgängerinnen simuliert werden. Der Fokus des Projekts lag vor allem auf den nicht motorisierten Verkehrsteilnehmenden, deren Schutz in Zukunft erhöht werden soll.

Resiliente Stromnetze für die Energiewende – RESIST

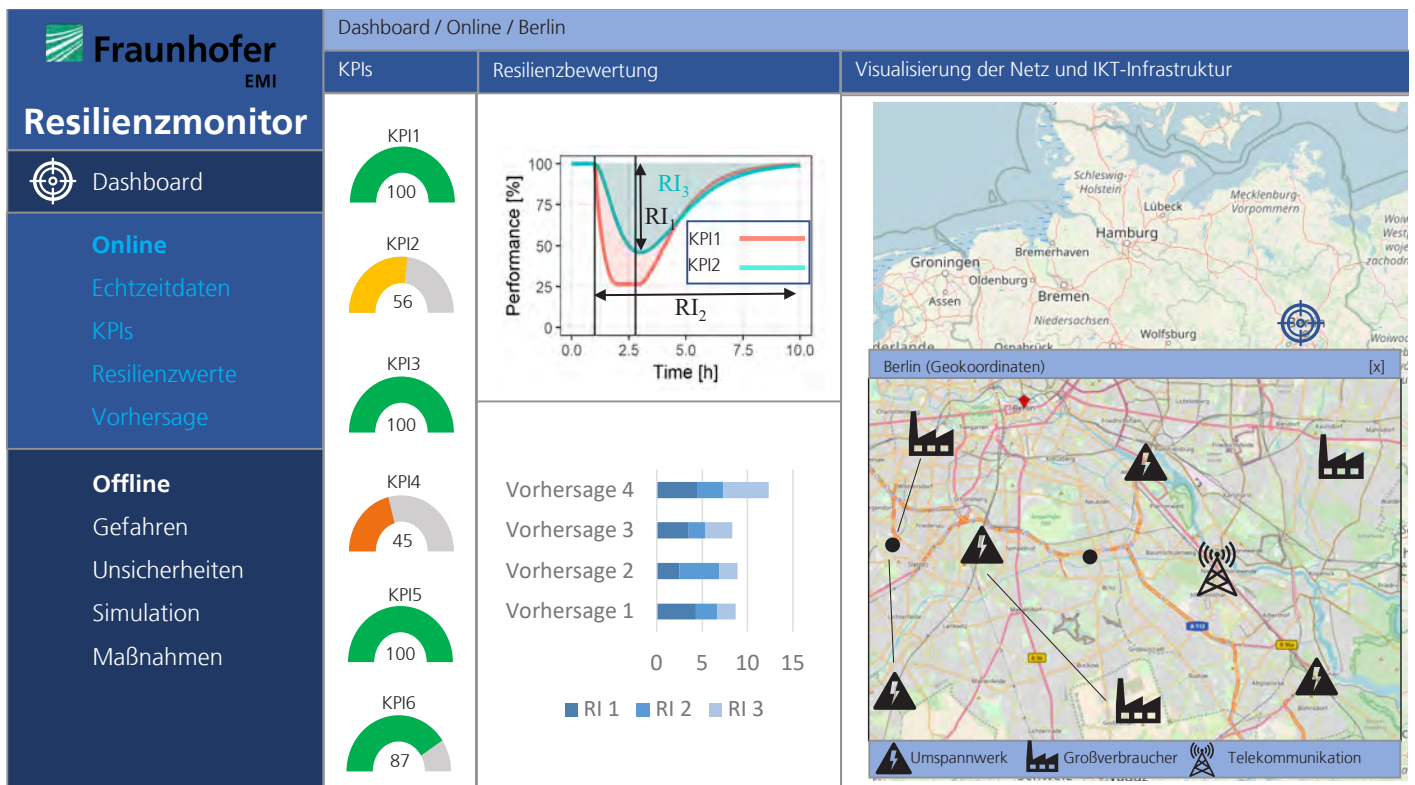
Ein Beitrag von Prof. Dr. Alexander Stolz, alexander.stolz@emi.fraunhofer.de

Der Energiesektor in Deutschland steht vor gravierenden Umbrüchen. Als ein Kernelement der Energiewende wird eine völlig neue Struktur des Stromnetzes entstehen, gekennzeichnet durch neue erneuerbare und dezentrale Quellen sowie den Wegfall großer Kraftwerke. Hinzu kommt, dass die Folgen des Klimawandels in Form von zunehmenden Extremwetterereignissen einen Stressor für die zuverlässige Stromversorgung darstellen. Resilient, das heißt: ihre Funktion auch während und nach einer Disruption aufrechterhaltend, ist eine zukünftige Stromversorgung nur dann, wenn sie über massive Störungen und unerwartbare Ereignisse hinweg kontinuierlich verfügbar bleibt.

Kommt es zum Ausfall, sind viele Menschen, Unternehmen und Lieferketten elementar betroffen. Aufgrund der zu

erwartenden Veränderungen im gesamten System lautet die entscheidende Frage: Wie kann man Resilienz quantifizieren und technisch wie organisatorisch operationalisieren, um eine Resilient-by-Design-Stromversorgung sicherzustellen?

Übergeordnetes Ziel des RESIST-Projekts ist die Steigerung der Resilienz der Stromversorgung. Der Anspruch ist hierbei, ausgehend von der derzeitigen Struktur und dem Betrieb der Stromversorgung, in Deutschland einen Werkzeugkasten zu entwickeln, der Resilienz in allen Phasen der anstehenden Transformation hin zur Energiewende integriert und damit die Resilienz des Stromversorgungssystems messbar macht, sie in Echtzeit darstellen lässt und Handlungsoptionen zur Optimierung der Systemresilienz über kritische Phasen hinweg aufzeigt.



Mögliche Darstellung eines Resilienzmonitors.

SATIE: Sicherheit für Europas Flughäfen

Ein Beitrag von Dr. Corinna Köpke, corinna.koepke@emi.fraunhofer.de

Das Projekt SATIE (Security of Air Transport Infrastructure of Europe) entwickelte eine neue Philosophie für Sicherheitsorganisationen in Flughäfen.

Der SATIE-Werkzeugkasten

Mit einer Laufzeit von Mai 2018 bis Oktober 2021, einem Gesamtbudget von fast 10 Millionen Euro und 19 Projektpartnern wurde in SATIE ein Werkzeugkasten entwickelt, um die Sicherheit von Flughäfen zu erhöhen. Die Ergebnisse des Projekts wurden in Zusammenarbeit mit drei europäischen

Flughäfen – Athen (AIA), Milan Malpensa und Zagreb – erarbeitet. Im Rahmen der Demonstrationen der entwickelten Gefährdungsszenarien wurden die Endnutzer durch den SATIE-Werkzeugkasten entsprechend unterstützt.

Der EMI-Beitrag

Vom Fraunhofer EMI waren 16 Mitarbeitende an der Entwicklung einer Software beteiligt, die Vorhersagen aus Warnmeldungen des SATIE-Werkzeugkastens berechnet: Die Auswirkungen bestimmter Störungen auf die Flughafeninfrastruktur



Am Flughafen Zagreb stand das Gepäckabfertigungssystem im Mittelpunkt eines Gefährdungsszenarios. © SATIE



Die Teilnehmenden der Abschlusskonferenz von SATIE auf Kreta im Oktober 2021. Die Veranstaltung fand in Kombination mit dem 3S Clustering Event statt. Bei beiden Events stand die Sicherheitsforschung im Mittelpunkt. © SATIE

werden abgeschätzt und in einer Benutzeroberfläche visualisiert, zusätzlich werden Reaktionsmöglichkeiten anhand einer Resilienzbewertung verglichen. Die Software beruht auf einem Netzwerkmodell und einem agentenbasierten Modell. Am EMI entstanden innerhalb der Projektlaufzeit vier Konferenzbeiträge über die wissenschaftliche Arbeit sowie zwei erfolgreich abgeschlossene Masterarbeiten.

Das Projekt erhielt eine Förderung vom EU-Forschungs- und Innovationsprogramm »Horizon 2020« unter der Zuwendungsvereinbarung Nummer 832969. Diese Publikation spiegelt ausschließlich die Sichtweisen der Autoren wider, und die Europäische Union kann für jegliche Nutzung der enthaltenen Informationen nicht verantwortlich gemacht werden. Weitere Informationen zum Projekt: satie-h2020.eu





Multischutz – Sicherheit vor den Auswirkungen von Terroranschlägen

Ein Beitrag von Dr. Julia Rosin, julia.rosin@emi.fraunhofer.de

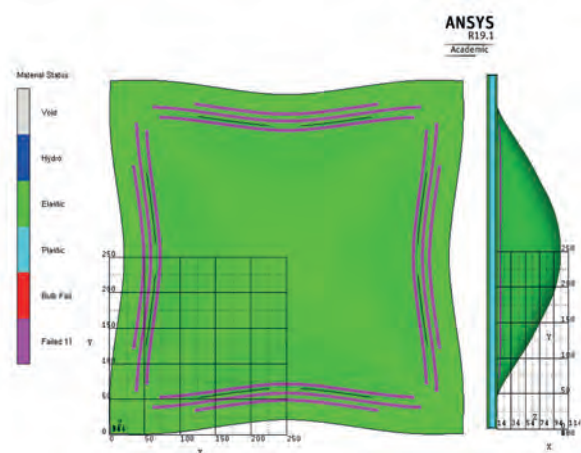
Beschuss sichere und sprengwirkungshemmende Elemente aus Faserverbundwerkstoff schützen Personen in gefährdeten Gebäuden und auf öffentlichen Plätzen.

Die gesellschaftspolitischen Veränderungen der letzten Jahre zeigen: Das Risiko für terroristische Anschläge in Europa ist real. Wer ein Konzert oder ein Sportereignis besucht oder den öffentlichen Nah- und Fernverkehr nutzt, bewegt sich im öffentlichen Raum, in dem ein Attentat zumindest denkbar ist. Im vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) geförderten Projekt »Multifunktionales Bauteilsystem zum Schutz von Personen vor Explosionsereignissen« hat das Fraunhofer EMI in Zusammenarbeit mit der Mehler Engineered Defence GmbH und dem Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (BBK) ein variables Schutzsystem für den zivilen Bereich entwickelt. Das Schutzsystem ist dafür vorgesehen, sensible Bauteile nachträglich zu verstärken, soll aber auch im mobilen Einsatz Aufenthaltsräume größerer Menschenmengen gegen Spreng- und Splitterwirkung schützen. In Zusammenarbeit mit den Projektpartnern wurden Systeme aus Faserverbundwerkstoffen entwickelt, die am Fraunhofer EMI experimentell und numerisch hinsichtlich spezifischer Schutzziele untersucht wurden.

Faserverbundmaterialien eignen sich aufgrund ihres geringen Gewichts und hohen Energieabsorptionsvermögens hervorragend für Anwendungen zum Schutz vor hochdynamischen Einwirkungen. Ihr Lagen- und Schichtenaufbau lässt sich zudem abhängig vom Bedrohungsszenario anpassen. Mithilfe

von Stoßrohr- und Freifeldexplosionsversuchen konnte die Schutzwirkung nachgewiesen werden. Rückschlüsse auf den genauen Versagensmechanismus wurden mit versuchsbegleitenden Simulationen gewonnen. Dies ermöglicht eine Strukturauslegung für beliebige Belastungsszenarien. Weiteres Designoptimierungspotenzial konnte außerdem für die Bereiche Verbindungsmittel und Herstellung aufgezeigt werden. Für Anwendungen in der Praxis wurde ein Softwaretool entwickelt. Dadurch kann die effizienteste Konfiguration eines Schutzsystems in Form leichter Trennwände, Personenleitsysteme, einer Neubaufassade oder eines Retrofits von Bestandsgebäuden ermittelt werden.

Gegenüber: Freifeldexplosionsversuche mit dem Schutzaufbau auf dem Versuchsgelände des Fraunhofer EMI in Efringen-Kirchen. Oben vor und unten nach dem Versuch.



Simulationsergebnis der numerischen Berechnungen zum Explosionsversuch.



Das Risiko von Kopf-, Nacken-, Brust- und Bauchverletzungen wird unter Einsatz des Dummys THOR-50M im Röntgencrash untersucht.



Geschäftsfeld Automotive



Einleitung	46
Menschen im Geschäftsfeld Automotive	48
E-Scooter-Unfälle – Dummies und Menschmodelle im Einsatz	50
Überraschende Ergebnisse bei der Untersuchung von Unfallparametern.	
Weltweit erste Röntgenaufnahmen bei Rädercrash	54
Neuer Versuchsaufbau für Rädertest verschafft Durchblick.	
Schubverhalten unverstärkter Thermoplaste	56
Alternativer Versuchstyp ermöglicht zuverlässige Bestimmung des Schubversagen duktiler Thermoplaste.	
Biointelligentes Daten- und Wissensmanagement für die hybride KI	58
Daten- und Wissensmanagement nach dem Vorbild biologischer Systeme effizient gestalten.	
MAVO fastXcrash – der Röntgenblick auf verborgene Strukturdeformationen	59
Innovative Verfahren und dynamische Röntgendiagnostik optimieren Crashsimulationen.	

Geschäftsfeld Automotive



Neue Technologietrends und die Verkürzung von Entwicklungszyklen führen zu permanent steigenden Anforderungen an die Fahrzeugentwicklung. «

Dr. Jens Fritsch



Dr. Jens Fritsch

Geschäftsfeldleiter Automotive
jens.fritsch@emi.fraunhofer.de

s.fhg.de/emi-automotive

Mobilität ist ein wesentliches Merkmal einer modernen Gesellschaft. Eine entscheidende Voraussetzung für die Zulassung wie auch für die Akzeptanz neuer Fahrzeuge ist nach wie vor deren Sicherheit. Dabei erleben wir aktuell eine deutliche Erweiterung dieses Begriffs von der klassischen passiven Fahrzeugsicherheit – also der Crashesicherheit – hin zur aktiven Fahrzeugsicherheit und der Sicherheit autonomer Fahrfunktionen. Dabei führen neue Technologietrends wie alternative Antriebe sowie die stetige Verschärfung von Zulassungskriterien und Ratings und die kontinuierliche Verkürzung von Entwicklungszyklen zu permanent steigenden Anforderungen an die Fahrzeugentwicklung. Um diesen Anforderungen zu begegnen, bedarf es einer zunehmenden Digitalisierung und Virtualisierung in der Absicherung der Sicherheit aller Verkehrsteilnehmenden.

Diese Herausforderungen werden im Geschäftsfeld Automotive in den unterschiedlichen Arbeitsgruppen adressiert. In der Gruppe Human Body Dynamics wird beispielsweise der Schutz verletzlicher Verkehrsteilnehmender (vulnerable road user, VRU) als kritischer Aspekt der Verkehrssicherheit durch den Einsatz und die Weiterentwicklung von Menschmodellen in Hard- und Software erforscht. In Kombination mit den Möglichkeiten des Crashzentrums der Fraunhofer-Gesellschaft am EMI können so neue, relevante Unfallszenarien, beispielsweise im multimodalen, urbanen Verkehr, im Detail untersucht und bewertet werden.

Menschen im Geschäftsfeld Automotive



Hier lassen wir acht Forscher aus dem Geschäftsfeld Automotive zu Wort kommen – in Vertretung für die vielen anderen, die bei uns exzellente Arbeit leisten.

- 1 *Dr. Matthias Boljen*
matthias.boljen@emi.fraunhofer.de
- 2 *Patrick Matt*
patrick.matt@emi.fraunhofer.de
- 3 *Dr. Malte Kurfß*
malte.kurfiss@emi.fraunhofer.de
- 4 *Yann Leost*
yann.leost@emi.fraunhofer.de

- 5 *Thomas Haase*
thomas.haase@emi.fraunhofer.de
- 6 *Simon Bessler*
simon.bessler@emi.fraunhofer.de
- 7 *Martin Huschka*
martin.huschka@emi.fraunhofer.de
- 8 *Dr. Jens Fritsch*
jens.fritsch@emi.fraunhofer.de

E-Scooter-Unfälle – Dummys und Menschmodelle im Einsatz

Ein Beitrag von Dr. Matthias Boljen, matthias.boljen@emi.fraunhofer.de, und Patrick Matt, patrick.matt@emi.fraunhofer.de

Untersuchung von Unfallparametern bei E-Scooter-Alleinunfällen mit teilweise überraschenden Ergebnissen

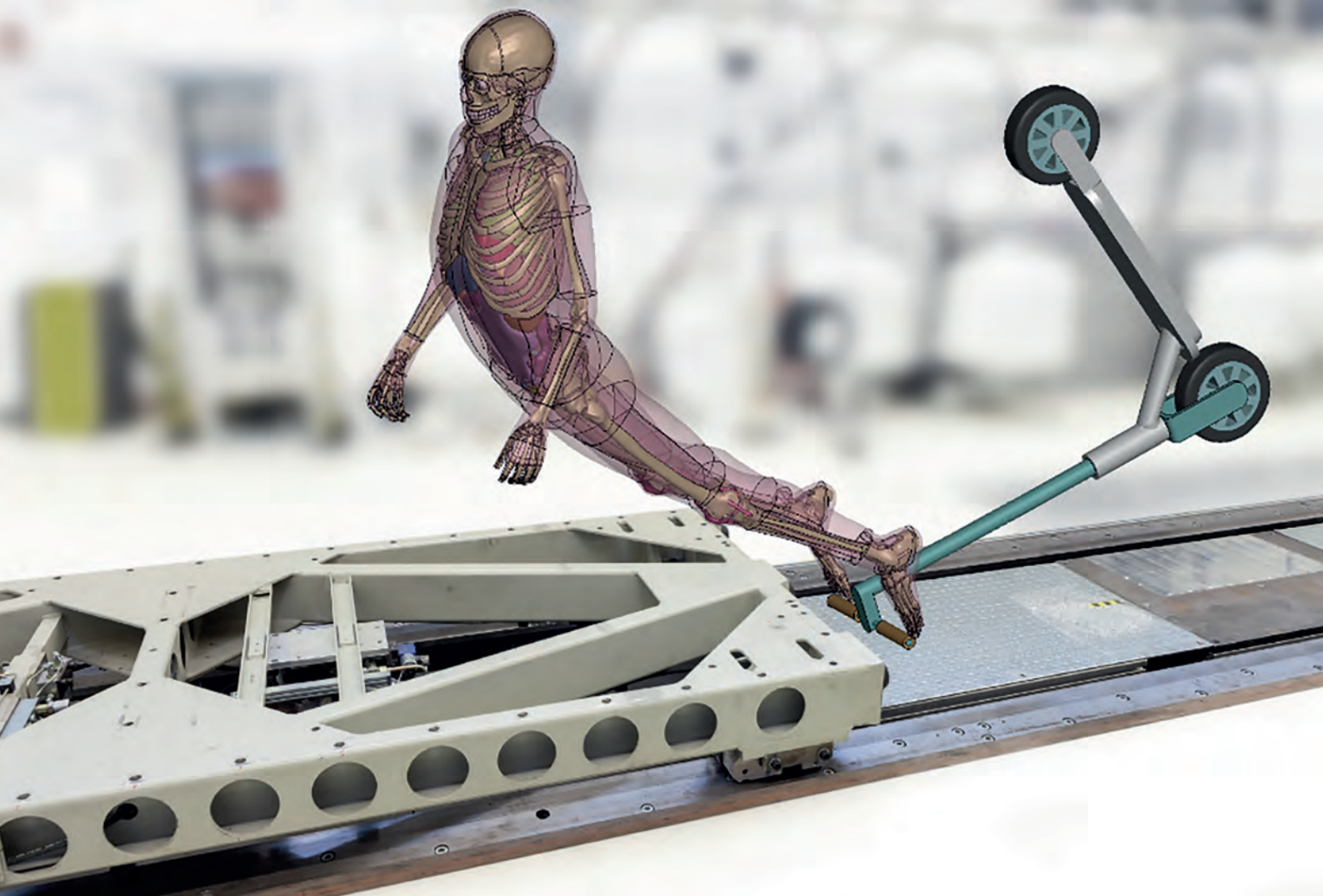
Die Fahrt mit einem E-Scooter ist nicht ungefährlich. Die Unfallstatistik 2021 des Statistischen Bundesamts hat gezeigt, dass fast die Hälfte aller Unfälle in Deutschland mit Personenschaden durch Alleinunfälle abgebildet wird. Grund genug, sich Unfälle dieser noch jungen Gruppe verletzungsgefährdeter Verkehrsteilnehmender (VRU) an einem konkreten Szenario genauer anzusehen.

In einem gemeinsamen Forschungsprojekt mit dem Fraunhofer-Institut für Werkstoffmechanik IWM wurden am Fraunhofer-Institut für Kurzzeiddynamik, Ernst-Mach-Institut, EMI, Kollisionen von E-Scooter-Fahrenden mit Bordsteinkanten experimentell und simulativ nachgestellt. Besonderes Interesse galt dabei der Frage, ob bei Stürzen, die durch dieses spezielle Szenario entstehen, bestimmte Körperregionen gefährdet sind und ob und in welchem Maße man sich hierbei durch Protektoren schützen kann. Während sich die Kollegen am IWM primär auf werkstoffwissenschaftliche Themen rund um die in dieser Studie untersuchten Helme und Knieprotektoren konzentrierten, widmeten sich die Kollegen am EMI dem Einsatz des

Fußgängerdummys PRIMUS in Experimenten am Crashzentrum der Fraunhofer-Gesellschaft und des Menschmodells THUMS in Simulationen in der Gruppe Human Body Dynamics. Gemeinsames Ziel war es, den Unfallvorgang selbst sowohl experimentell als auch numerisch nachstellen und bewerten zu können.

Testumfang und Simulationsmatrix

Für die Simulation des Unfalls wurden Teilmodelle für den E-Scooter, den Helm, die Knieprotektoren und die Bordsteinkante erstellt. Zentraler Bestandteil der Simulationen war jedoch der menschliche Fahrer selbst, dessen Körper ebenfalls über ein Teilmodell abgebildet wurde. Das Menschmodell wurde in Vorabsimulationen mit Protektoren ausgestattet, in die richtige Körperhaltung bewegt und auf dem Scooter eingestanden, damit zum Zeitpunkt des Impakts die richtige Kontaktkraft zwischen E-Scooter und Fahrer wirkt. Die Crashstudie umfasste Kollisionsrechnungen bei unterschiedlichen Geschwindigkeiten (10, 20 und 30 Kilometer pro Stunde) und unterschiedlichen Aufprallwinkeln mit der Bordsteinkante (60 Grad und 90 Grad zur Fahrtrichtung). Wie im Experiment auch wurden in den Simulationen



Beschleunigungsprofile im Innern des Kopfs und im Innern des Knies aufgezeichnet, die im Anschluss an die Berechnungen mithilfe verschiedener Verletzungskriterien ausgewertet wurden.

Kinematik des Sturzes

Der Sturz selbst lief in allen untersuchten Szenarien verhältnismäßig gleich ab. Bei einem Aufprallwinkel von 90 Grad zur Fahrtrichtung blockiert das Vorderrad des E-Scooters zwischen Bordsteinkante und Gefährt. Der E-Scooter wirkt aufgrund seiner Massenträgheit hier wie ein Hebel gegenüber dem Fahrer und katapultiert diesen je nach Konfiguration unterschiedlich stark in die Höhe. Bei einem Aufprallwinkel von 60 Grad tritt dieser Effekt weniger ausgeprägt auf. Hier rutscht das Vorderrad an der Bordsteinkante entlang, der Lenker verkantet seitlich, und der Scooter klappt nach unten weg, was den Sturz für

den Fahrer jedoch nur marginal glimpflicher ablaufen lässt. Die Dauer des Sturzes beträgt je nach Geschwindigkeit etwa zwischen einer halben und einer Dreiviertelsekunde, die Sturzweite zwischen zwei und fünf Metern.

Relation zu Prüfnormen

Die Kopfaufprallgeschwindigkeiten lagen bei allen getesteten Konfigurationen über den Geschwindigkeiten des Scooters. Das ist insbesondere deshalb interessant, da die durch den Unfall über die Simulation prognostizierten Kopfaufprallgeschwindigkeiten da beginnen, wo die für die Abnahme von Fahrradhelmen durch die deutsche Prüfnorm DIN EN 1078 vorgeschriebenen Impaktorgeschwindigkeiten aufhören, nämlich bei etwa 5,4 Metern pro Sekunde. Das ist eine wichtige Erkenntnis, die sich Helmhersteller beim Design ihrer Produkte zu eigen machen können. Darüber hinaus ►

Konzeptskizze zum Aufbau eines inversen Crashversuchs. Der Crasheschlitten fährt gegen den stehenden Fußgängerdummy auf dem E-Scooter (hier: visualisiert durch ein numerisches Modell).

können die Kontaktstellen am Helm relativ genau ermittelt werden, da die Simulationen die Trajektorien des Fahrers vor dem Aufprall auf dem Boden beschreiben können, was gegenüber standardisierten Prüfnormen ebenfalls einen erheblichen Vorteil hinsichtlich der Dimensionierung und Gestaltung des Helms darstellt.

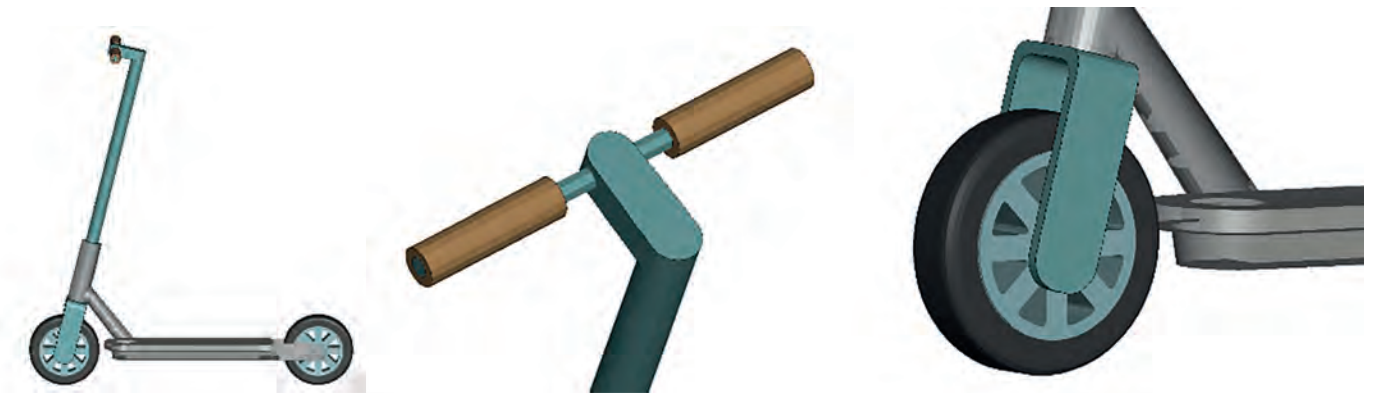
Einschränkungen und Diskussion

Eine Limitation der bisherigen Untersuchungen war, dass sowohl Menschmodell als auch Dummy als methodische Werkzeuge während des Sturzes absolut reaktionslos fallen. Reflexbewegungen, wie man sie in der Realität erwarten könnte und die die Verletzungsschwere reduzieren würden, konnten nicht abgebildet werden. Erfreulicherweise konnte mit Ausnahme von einem Szenario in allen anderen Szenarien nachgewiesen werden, dass die maximalen translatorischen Beschleunigungen auf den Kopf durch den Einsatz eines Helms um deutliche 51 Prozent bis 72 Prozent reduziert werden konnten. Die Simulationen konnten jedoch auch zeigen, dass die untersuchten Geschwindigkeits- und Winkeländerungen zu unterschiedlichen Lastbedingungen führen, sodass aus einem Verletzungskriterium allein keine uneingeschränkt allgemeingültige Aussage abgeleitet werden kann. In der Quintessenz kann dies durchaus zu

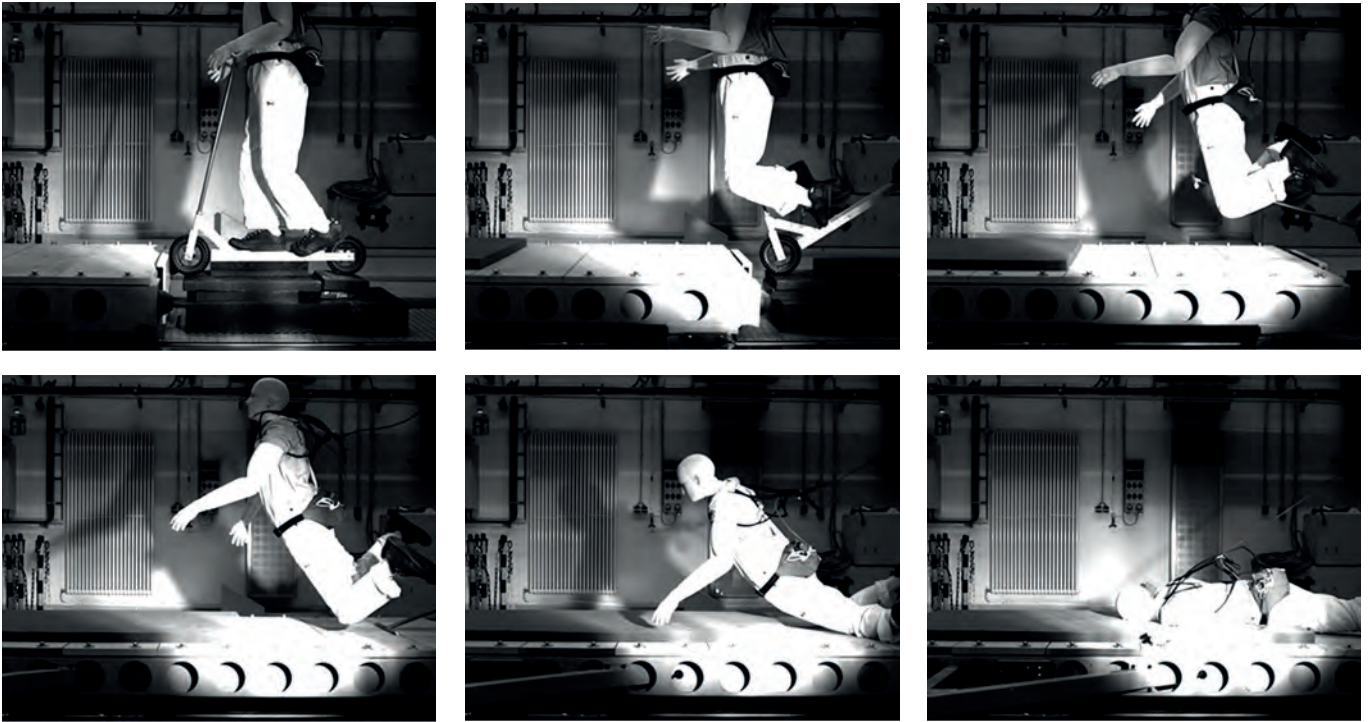
einem Dilemma führen: Was nützt der verunfallenden Person die Prognose, dass sie wegen eines getragenen Helms einerseits (gemäß head injury criterion, HIC) sehr wahrscheinlich keinen Schädelbasisbruch erleiden wird, andererseits (gemäß brain injury criterion, BrIC) aber so oder so erheblichen rotatorischen Beschleunigungsanteilen auf den Kopf ausgesetzt werden würde, die möglicherweise bleibende Hirnverletzungen zur Folge hätten?

Erkenntnis und mögliches Folgeprojekt

Gewiss ist, dass alle untersuchten Szenarien einen Mehrwert dahingehend geliefert haben, als dass aus realen Unfallszenarien die bisher geltenden Prüfvorschriften für Protektoren selbst unter die Lupe genommen werden können, da die realen Belastungsrandbedingungen und Belastungsorte aus dem Unfallvorgang selbst relativ genau abgeleitet werden können und statistisch erfassbar werden. Während die experimentelle Testreihe im Crashzentrum derzeit noch nicht abgeschlossen ist, konnten die bisher bereits vorliegenden Versuchsergebnisse die numerischen Prognosen im Wesentlichen bestätigen. Die Limitation der bisher noch fehlenden Reflexbewegung der oberen Extremitäten betrifft sowohl Experiment als auch Simulation und soll daher Gegenstand eines möglichen Folgeprojekts werden.



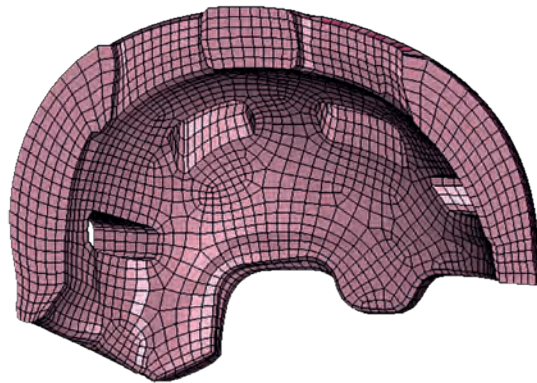
E-Scooter-Modell. Dem Xiaomi M365 nachempfundenes E-Scooter-Modell mit am Original validierter Massenverteilung, rotierbaren Rollen und drehbarer Lenkstange.



Crashversuch mit dem Fußgängerdummy PRIMUS von CTS. Die Bildfolge visualisiert den inversen Crash bei einer Schlittengeschwindigkeit von 30 Kilometern pro Stunde und einer um 90 Grad zur Bewegungsrichtung gedrehten Aufprallkante (Bildabstand etwa 100 Millisekunden).

Ausblick und Fazit

Bis dahin sei E-Scooter-Fahrenden geraten, die drei laut Statistischem Bundesamt häufigsten Fehler bei Unfällen mit Personenschaden möglichst nicht zu begehen, das heißt, positiv formuliert: Es ist ratsam, besser die richtige Straßenverkehrsfläche zu benutzen, mit den Gegebenheiten angemessener Geschwindigkeit zu fahren und nur nüchtern am Straßenverkehr teilzunehmen! Ein Helm kann darüber hinaus zusätzlichen Schutz bieten, sollte aber nicht als hinreichende Bedingung für vollständigen Schutz missinterpretiert werden. ■



Longitudinalschnitt durch das Helmmodell. Per Reverse Engineering modellierten und charakterisierten die Kollegen vom Fraunhofer IWM die Geometrie und die Materialdaten eines aktuellen Fahrradhelms. © Fraunhofer IWM

Weltweit erste Röntgenaufnahmen bei Rädercrash

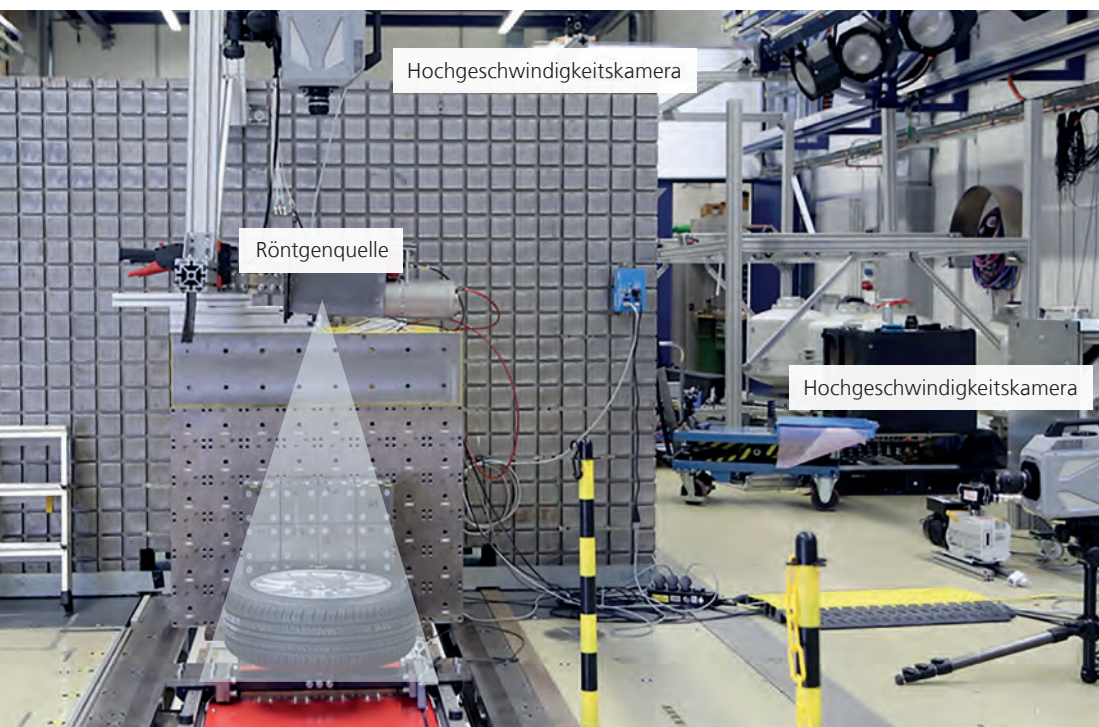
Ein Beitrag von Dr. Malte Kurfiß, malte.kurfiss@emi.fraunhofer.de, und Yann Leost, yann.leost@emi.fraunhofer.de

Die Räder eines Autos spielen bei einem Fahrzeugcrash eine wichtige Rolle, insbesondere beim Frontalcrash mit geringer Überdeckung. Am Fraunhofer EMI sind nun im Rahmen einer Studienarbeit die weltweit ersten Röntgenbilder von Rädern während des Crashes entstanden. Die Versuche wurden in einem eigens dafür konzipierten Aufbau im Crashzentrum der Fraunhofer-Gesellschaft am Fraunhofer-EMI-Standort Efringen-Kirchen durchgeführt. So entstanden spektakuläre Bilder.

Am Crashzentrum der Fraunhofer-Gesellschaft in Efringen-Kirchen wurde im Rahmen einer Studienarbeit von Benjamin Schütz ein

Versuchsaufbau für Rädertests entwickelt, bei dem die Röntgenaufnahmen gemacht wurden. Diese Aufnahmen sind die weltweit ersten Röntgenbilder von Autorädern im Moment des Crashes.

Dr. Malte Kurfiß, Betreuer der Arbeit, ist stolz: »Mit solchen Aufnahmen bekommen wir viel Aufmerksamkeit in der Fachcommunity. Die OEMs (original equipment manufacturer) haben starkes Interesse daran, auch verborgene Strukturen während des Crashes zu beobachten und damit die Fahrzeugsicherheit weiter zu optimieren. Einige Kunden stehen schon in der Schlange und warten darauf, dass unsere neue Röntgenquelle, ein Linearbeschleuniger, in Betrieb geht.«



Das Bild zeigt den Versuchsaufbau mit den Hochgeschwindigkeitskameras, der Röntgenquelle und dem Versuchsobjekt.



Links: das Rad in Ruhe vor dem Versuch. Mitte: Röntgenbild des nicht destruktiven Tests. Der Reifen wird elastisch verformt, die Luft im Reifen komprimiert; es erfolgt kein sogenannter Durchschlag, und das Felgenhorn berührt nicht die Impactplatte. Rechts: Röntgenbild des destruktiven Tests. Dafür wurde das Rad um 90 Grad gedreht, die Speichenstellung ist somit anders. Auf dem Bild ist zu sehen, wie das Felgenhorn verformt wird und Teile ausgebrochen sind. Die Stahlseile im Reifen wurden verschoben und sind stellenweise abgeschert.

Für Benjamin Schütz war die Arbeit im Crashzentrum mit Röntgenblitztechnik spannendes Neuland: »Für mich war es aufregend und erfüllend, einen solchen Versuchsaufbau zu konzipieren und dann auch die geplanten Versuche erfolgreich umsetzen zu können. Dadurch ergab sich mir die Möglichkeit, viele neue Erkenntnisse zu gewinnen und an diesen persönlich zu wachsen«.

Die Arbeit baut auf vorhandenem Know-how am Fraunhofer EMI auf. Simulationen an Fahrzeugfelgen wurden am Fraunhofer EMI bereits von Yann Leost durchgeführt.

Basierend auf diesen Simulationen wurden die Rahmenbedingungen des Versuchsstands festgelegt, sodass die Ergebnisse der Crashtests mit den Simulationen vergleichbar sind. Neu dabei ist die Instrumentierung mit Röntgenblitztechnik.

Wie auf dem Foto zu sehen, gehören zum Versuchsaufbau zwei Hochgeschwindigkeitskameras, die Bilder von oben und von der

Seite aufnehmen, sowie eine Röntgenquelle, die von oben nach unten röntgt. Derzeit ist es am EMI möglich, mithilfe der Multianodenröhre bis zu acht Röntgenaufnahmen während eines Versuchs zu machen. Der Linearbeschleuniger Linac ist inzwischen in Betrieb genommen worden. Im neuen Linac-Labor, kurz LiLa, (Seite 116) kann das Team als Erweiterung des Crashzentrums solche Vorgänge auch per Röntgenvideos mit einem Kilohertz beobachten und dokumentieren.

Link zum Video des dritten, destruktiven, Versuchs. Hier ist zu sehen, wie sich Reifen und Felgenhorn verformen, wie die Luft aus dem Reifen entweicht und zwei Felgenstücke ausbrechen.



s.fhg.de/video-raedercrash

Schubverhalten unverstärkter Thermoplaste

Ein Beitrag von Thomas Haase, thomas.haase@emi.fraunhofer.de

Mittels biaxialer Schubversuche konnte das Verhalten eines unverstärkten Thermoplasts bis hin zum eintretenden Schubversagen charakterisiert werden.

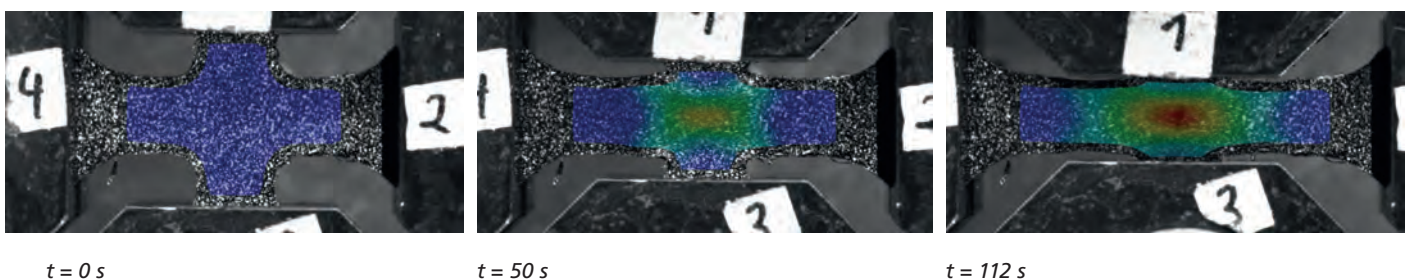
Duktile Thermoplaste: eine experimentelle Herausforderung

Unverstärkte Thermoplaste werden aufgrund ihrer hohen Duktilität häufig im Automobilbau eingesetzt. Diese hohe Duktilität und die geringe Neigung zum Schubversagen sorgen jedoch dafür, dass die mechanische Charakterisierung der Materialeigenschaften mit Problemen verbunden ist. Insbesondere die Messung der Versagensdehnung unter Schubbelastung ist experimentell schwierig, da sich typische Schubproben so stark verformen, dass am Ende kein Schubspannungszustand mehr vorliegt. Das Versagen tritt stattdessen häufig unter Zugbelastung in Kerben auf. Für eine Kalibrierung von Versagensmodellen solcher Materialien ist die Bestimmung des Schubversagens jedoch erforderlich.

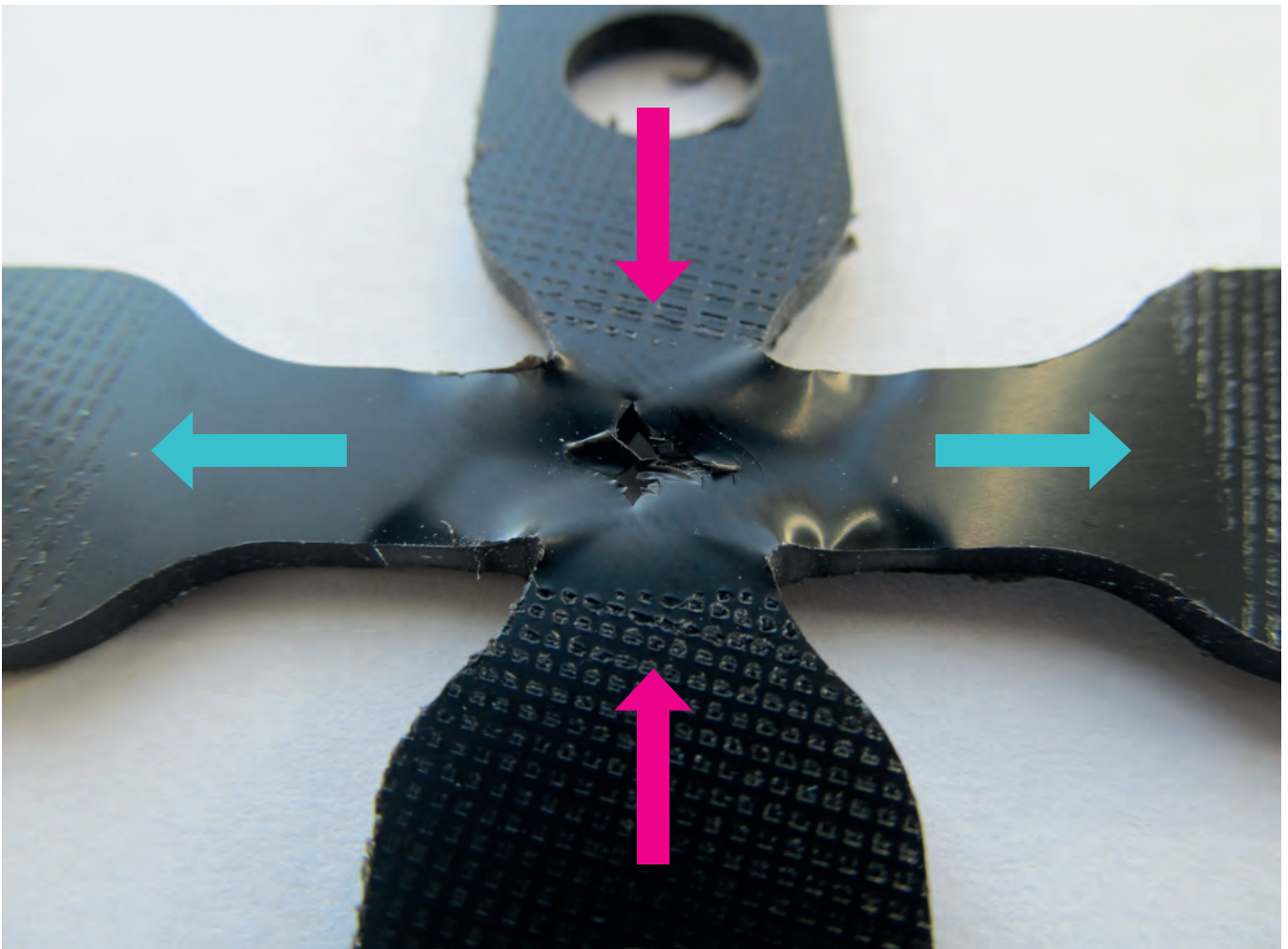
Biaxiale Schubversuche als alternativer Versuchstyp

Am Fraunhofer EMI wurde daher als Alternative zu typischen Scherzugversuchen ein Schubversuch an einem Biaxialprüfstand entwickelt. Dabei wird eine kreuzförmige Probe in einer Richtung gezogen und senkrecht dazu gestaucht. Im Probenzentrum entsteht dabei ein Schubspannungszustand. Mithilfe von Finite-Elemente-Simulationen und Optimierungssoftware konnten die Probengeometrie und die Verfahrenswege der Aktuatoren des Prüfstands dahingehend optimiert werden, dass dieser Schubzustand auch bei sehr hohen Verformungen des Materials aufrechterhalten wird, bis letztendlich ein Riss in der Probenmitte auftritt. Mit diesem alternativen Versuchstyp kann das Schubversagen duktiler Thermoplaste zuverlässig bestimmt werden.

Die gesamten Forschungsergebnisse sind in der Veröffentlichung »FAT-Schriftenreihe 353« öffentlich zugänglich.



Verlauf eines Biaxial-Schubversuchs vom Versuchsbeginn (links) bis zum Schubversagen in der Probenmitte (rechts). Farblich überlagert ist die Schubdehnung auf der Probenoberfläche.



Biaxial-Schubprobe nach dem Versuch: Die Probe wurde in horizontaler Richtung gezogen und in vertikaler Richtung gestaucht. In der Mitte ist der Riss deutlich erkennbar.

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

AiF

Forschungsnetzwerk
Mittelstand

IGF

Industrielle
Gemeinschaftsforschung

FAT

Forschungsvereinigung
Automobiltechnik

Das IGF-Vorhaben 20418 N der Forschungsvereinigung Automobiltechnik e. V. (FAT) wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung und -entwicklung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Biointelligentes Daten- und Wissensmanagement für die hybride KI

Ein Beitrag von Simon Bessler, simon.bessler@emi.fraunhofer.de, und Martin Huschka, martin.huschka@emi.fraunhofer.de

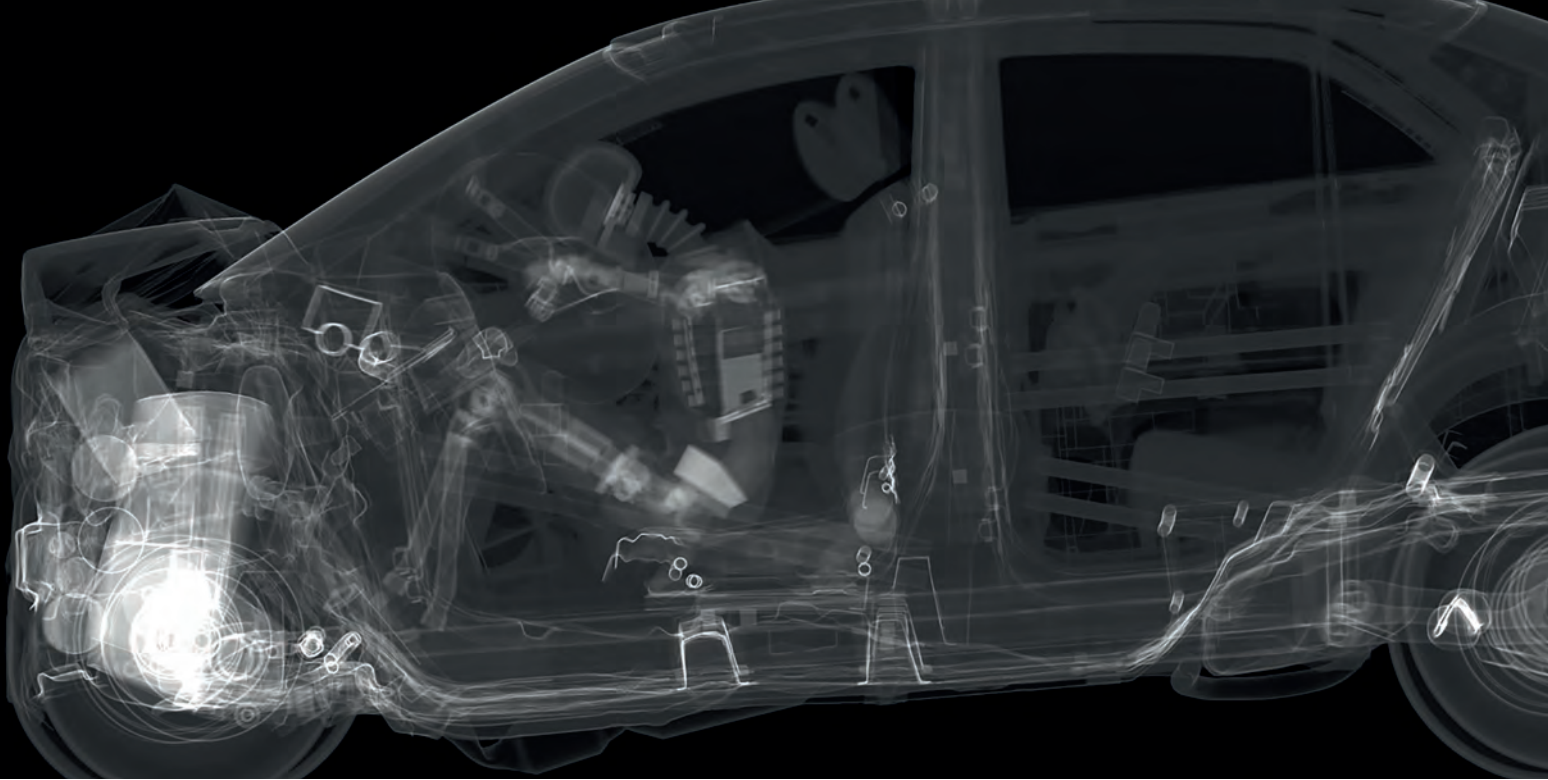
Daten- und Wissensmanagement effizient gestalten – biologische Systeme sind der Technik weit voraus.



Biologische Konzepte der Daten- beziehungsweise Wissensverwaltung werden identifiziert, abstrahiert, und die Machbarkeit eines Übertrags auf das technische DWM-System wird geprüft. © Adobe Stock

Konventionelle Methoden künstlicher Intelligenz (KI) weisen wesentliche Defizite bezüglich Robustheit, Erklärbarkeit und der Abhängigkeit von verfügbaren Massendaten auf. Diese Nachteile sollen durch eine neue Generation hybrider, das heißt daten- und wissensbasierter, KI aufgelöst werden. Hierzu ist es notwendig, Daten und zugehöriges Expertenwissen digitalisiert zugänglich zu machen und gemeinsam zu verwalten. Dass dies in den Materialwissenschaften und in der Werkzeugtechnik bereits möglich ist, konnte durch das Fraunhofer EMI bereits in verschiedenen Projekten demonstriert werden. Um die Vorteile der hybriden KI voll ausschöpfen zu können, müssen die vorliegenden Technologien für Daten- und Wissensmanagement (DWM) jedoch weiter effizienzoptimiert werden.

Biologische Systeme verwerten Informationen besonders effizient, indem die beteiligten Prozesse dynamisch, adaptiv und vor allem systemisch vernetzt sowie selbstorganisiert interagieren. Die Idee hinter dem Projekt DaWin ist es deshalb, mittels biologischer Transformation eine vernetzte Wertschöpfung sowohl der Daten als auch des Wissens zu ermöglichen und ein systemeffizientes DWM zu etablieren. Dabei werden biologische Regulationsmuster – zum Beispiel das der Genexpression – abstrahiert und in einem konkreten Anwendungsfall auf das DWM im Bereich der generativen Fertigung von Aluminiumleichtbaukomponenten übertragen. Ziel ist ein biointelligentes DWM zur Befähigung der hybriden KI.



Auf Crashsimulation basierende Visualisierung der dynamischen Röntgendiagnostik. Betrachtet wird ein Toyota Yaris mit einem Insassen (Hybrid-III-Dummy). Die Simulationen wurden mit der Software LS-DYNA (Livermore Software Technology Corp.) am 2010 Toyota Yaris Finite Element Model (CCSA) durchgeführt.

MAVO fastXcrash – der Röntgenblick auf verborgene Strukturdeformationen

Ein Beitrag von Dr. Jens Fritsch, jens.fritsch@emi.fraunhofer.de

Eine neue Methode der räumlich und zeitlich hochaufgelösten Sichtbarmachung von dynamischen Deformationsprozessen innenliegender Crashmanagementstrukturen wurde entwickelt.

Erfolgreicher Projektabschluss des Fraunhofer-internen MAVO-Forschungsprojekts fastXcrash

Im Rahmen des Fraunhofer-internen Forschungsprojekts MAVO fastXcrash wurde gemeinsam mit dem Fraunhofer-Entwicklungszentrum für Röntgentechnologie EZRT ein neuartiges Mess- und Auswerteverfahren entwickelt, das unter Einsatz von Röntgendiagnostik die Beobachtung des dynamischen Verhaltens verborgener Fahrzeugstrukturen unter Crashbelastung ermöglicht. Mithilfe eines solchen Verfahrens können während des Fahrzeugcrashes wertvolle Informationen zur Validierung und Optimierung von numerischen Crashsimulationen erfasst werden.

In Zusammenarbeit mit den Partnern am EZRT entwickelten die Forschenden die zur Anwendung eines solchen Verfahrens notwendigen Hard- und Softwarekomponenten. Im Bereich der Messtechnik konnte ein für den speziellen Anwendungsbereich optimierter Röntgendetektor erfolgreich entwickelt und in Einsatz gebracht werden.

Es ist gelungen, eine neue Methode zur Erzeugung simulierter Röntgenbilder, basierend auf Finite-Elemente-Crashsimulationen, zu entwickeln und zu nutzen. Sie ermöglicht die Optimierung des Versuchsaufbaus sowie den späteren Vergleich von numerischer Crashsimulation und dem Experiment im Röntgenbild. Mithilfe von im Projekt entwickelten Algorithmen zur automatisierten Erkennung und Nachverfolgung von markanten Fahrzeugmerkmalen können die erhobenen Bilddaten ausgewertet werden.

Auf diese Weise kann das Deformationsverhalten ausgewählter Crashstrukturen im Experiment rekonstruiert und mit der zugehörigen Crashsimulation verglichen werden.



Das Fraunhofer EMI entwickelt seinen eigenen Nanosatelliten ERNST.



Geschäftsfeld Raumfahrt



Einleitung	62
Menschen im Geschäftsfeld Raumfahrt	64
LisR erfolgreich auf der Internationalen Raumstation ISS angekommen	66
Das Messgerät LisR liefert Daten für die effizientere Bewässerung von landwirtschaftlichen Flächen.	
Versuche für einen entspannten Blick ins All	70
Test von Fenstermodulen für das Artemis-Programm.	
Neuer Reinraum für die Raumfahrt	71
Ein Labor für die Arbeit an Raumfahrtprojekten.	
ERNST – das Flugmodell entsteht	72
Die Entwicklung des Nanosatelliten ERNST geht in seine finale Phase.	

Geschäftsfeld Raumfahrt



Mit einzigartigen Methoden erhöhen wir die Sicherheit in der Raumfahrt und entwickeln wissenschaftliche Nutzlasten und resiliente Kleinsatellitensysteme für innovative Anwendungen in der Erdbeobachtung.«

Prof. Dr. Frank Schäfer

Prof. Dr. Frank Schäfer
Geschäftsfeldleiter Raumfahrt
frank.schaefer@emi.fraunhofer.de

s.fhg.de/emi-raumfahrt

Seit dem 21. Februar 2022 befindet sich LisR, ein neu entwickeltes wissenschaftliches Messinstrument zur Bestimmung des Wasserbedarfs von Agrarnutzpflanzen, auf der Internationalen Raumstation ISS. LisR ist eine Wärmebildkamera, die zweifarbige Aufnahmen der Erdoberfläche im thermalen Infrarotspektrum des Lichts macht. LisR ist unter Federführung des EMI und dessen Ausgründung ConstellR sowie unter Mitwirkung des Fraunhofer IOF und der Firma SPACEOPTIX entstanden. Das EMI und seine Ausgründung ConstellR haben mit dem Messgerät LisR den Grundstein für eine zukünftige Satellitenkonstellation gelegt, die es ermöglichen wird, die Landoberflächentemperatur unserer Erde täglich zu vermessen und damit den Einsatz von Wasser in der Landwirtschaft zu optimieren. Am EMI setzen wir mit LisR konsequent die Entwicklung kompakter wissenschaftlicher Nutzlasten auf der Basis von leistungsstarken kommerziellen Komponenten fort.

Ein wichtiger Meilenstein für alle Forschungsprojekte im Bereich der Satellitentechnik waren Aufbau und Inbetriebnahme des Reinraumlabs im EMI Satellite Lab im Frühjahr 2021. Derzeit findet dort die Integration des Flugmodells des EMI-Satelliten ERNST statt.

Mit dem Artemis-Programm verfolgt die NASA zum ersten Mal seit Apollo 17 wieder das Ziel, Astronauten auf dem Mond zu landen und eine Mondbasis aufzubauen. Für die lange Flugphase benötigt die Crew Fenster, um das Panorama genießen und Aufnahmen machen zu können. Unser Beitrag am EMI ist die Untersuchung der Sicherheit der Fenster gegen Einschläge von Meteoroiden und Weltraumschrott. Wir führen quantitative Risikoanalysen durch und beraten unsere Industriepartner bei der Verbesserung des Schutzes gegen Hypervelocity Impact für ihre Raumfahrtsysteme. Mit unseren Laborbeschleunigern untersuchen wir die Vorgänge beim Hypervelocity Impact detailliert. Mit numerischen Simulationstools können wir auch komplexe Kollisionsszenarien berechnen. Durch die zunehmende Anzahl von Satelliten in erdnahen Umlaufbahnen werden Risikobetrachtungen für Satelliten immer bedeutender.

Menschen im Geschäftsfeld Raumfahrt



Hier lassen wir vier Forscher aus dem Geschäftsfeld Raumfahrt zu Wort kommen – in Vertretung für die vielen anderen, die bei uns exzellente Arbeit leisten.

- 1 *Marius Bierdel*
marius.bierdel@emi.fraunhofer.de
- 2 *Robin Putzar*
robin.putzar@emi.fraunhofer.de
- 3 *Clemens Horch*
clemens.horch@emi.fraunhofer.de
- 4 *Dr. Martin Schimmerohn*
martin.schimmerohn@emi.fraunhofer.de

LisR erfolgreich auf der Internationalen Raumstation ISS angekommen

Ein Beitrag von Marius Bierdel, marius.bierdel@emi.fraunhofer.de



Seit dem 21. Februar 2022 befindet sich LisR, ein neu entwickeltes Messinstrument zur Messung des Wasserbedarfs von Agrarnutzpflanzen, auf der Internationalen Raumstation ISS.

Was 2017 mit einer Idee begann, ist nun Realität geworden. Das Fraunhofer EMI und dessen Ausgründung ConstellR haben mit dem Messgerät LisR den Grundstein für eine zukünftige Satellitenkonstellation gelegt, die es ermöglichen wird, die Landoberflächentemperatur unserer Erde täglich zu vermessen und damit den Einsatz von Wasser in der Landwirtschaft zu optimieren.

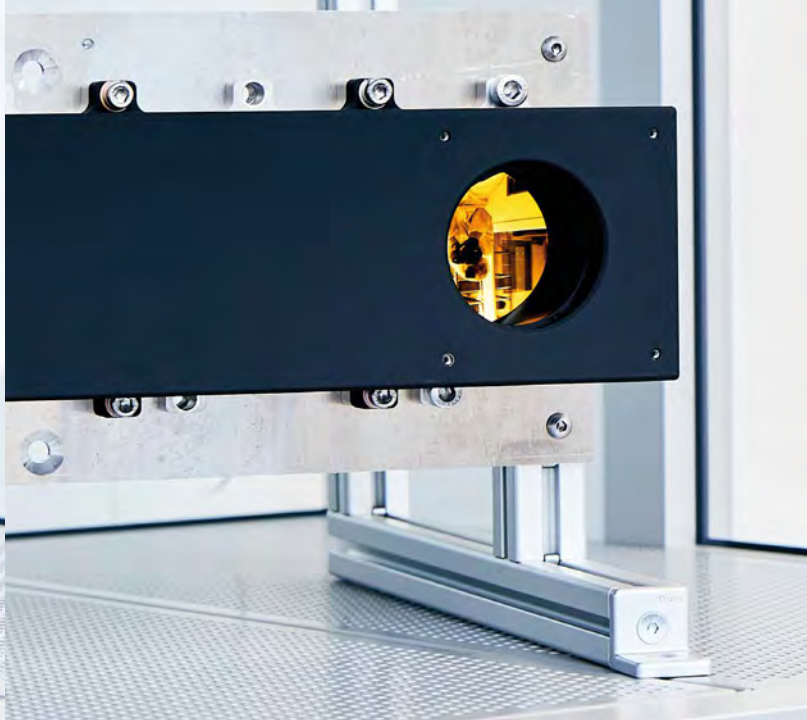
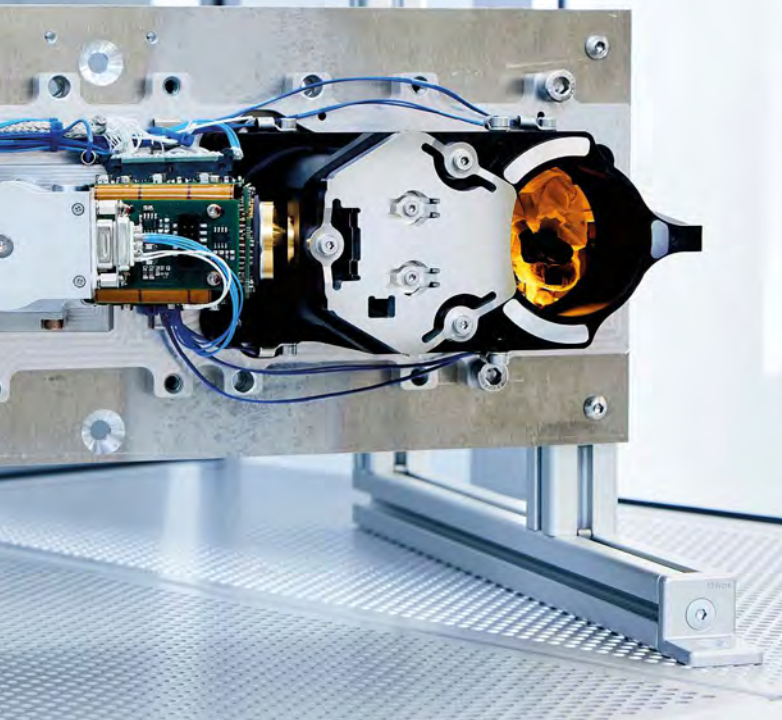
Wassersparnis in der Landwirtschaft: »More Crop per Drop«

Das Ziel von ConstellR ist es, ab 2023 eine Konstellation von Kleinsatelliten aufzubauen, mit deren Hilfe die Agrarwirtschaft und dadurch die Nahrungstabilität effizienter gestaltet werden kann. Die gemessene Oberflächentemperatur der Erde ist ein wichtiger Faktor für die Gesundheit von Agrarflächen. Die neuen Messsysteme liefern hochpräzise Thermalinfrarotaufnahmen, mit denen Gesundheitszustand und Wasserbedarf von Nutzpflanzen bestimmt werden können.

Eine drohende Dürre kann so frühzeitig erkannt und durch gezielte Bewässerung verhindert werden. Durch diese Methode wird der Wasserverbrauch bei der Bewässerung von Feldern verringert und gleichzeitig der Ernteertrag pro verwendetem Liter Wasser erhöht. »More Crop per Drop« (deutsch: mehr Ernte pro Tropfen) lautet dabei die Devise. Die Daten der Landkartenaufnahmen sind bis auf 50 Meter genau und sollen an Smart-Farming-Firmen weitergegeben werden, die dann die Betreibenden der landwirtschaftlichen Flächen informieren können.

LisR-Mission auf der ISS demonstriert neu entwickelte Technologie zum hochgenauen Vermessen der Landoberflächentemperatur

Einen wichtigen Schritt für den Aufbau der Satellitenkonstellation stellt die Technologie-demonstration auf der ISS dar. Mithilfe dieser Mission wird das technologische Risiko des Aufbaus der Satellitenkonstellation drastisch reduziert. Dabei wird die grundsätzliche Funktionsweise der späteren Satelliten schon innerhalb der LisR-Mission demonstriert, ohne dabei einen ganzen Satelliten entwickeln, bauen und in den Orbit schicken zu müssen.



Das Messinstrument LisR besteht im Wesentlichen aus drei unterschiedlichen Kernkomponenten, der Datenverarbeitungs- beziehungsweise Stromversorgungseinheit, dem Thermalinfrarotdetektor und der Metallspiegeloptik. All diese Komponenten sind von einem speziell lackierten Aluminiumgehäuse umschlossen, welches durch die schwarze Farbe einen effizienten Abtransport der Wärme garantiert.

Bevor LisR jedoch auf die ISS kam, musste das Messinstrument ausführliche Tests am Fraunhofer EMI, bei Airbus, bei der NASA und Nanoracks durchlaufen.

Die Tests umfassten die Software, Elektronik und Mechanik des Messinstruments. Dabei wurden unter anderem die Belastungen, die während des Starts durch Vibrationen der Rakete auftreten, auf einem sogenannten Rütteltisch simuliert, und es wurde das Verhalten des Messinstruments bei niedrigen und hohen Temperaturen unter Vakuumbedingungen in einer Thermalvakuumkammer am Fraunhofer EMI getestet. Die finalen Tests zur Charakterisierung der elektromagnetischen Eigenschaften wurden vom 15. November 2021 bis zum 1. Dezember 2021 im Space Center in Houston, USA, durchgeführt. Nach den erfolgreichen Tests in Deutschland und den USA wurde LisR am 17. Dezember 2021 offiziell der NASA übergeben.

Erfolgreicher Start zur ISS und Inbetriebnahme des Technologie-demonstrators LisR

Und dann war es so weit: Am 19. Februar 2022 wurde LisR an Bord einer Antares-Rakete von Wallops Island, Virginia, USA, aus mit dem Versorgungsflug NG-17 auf die ISS geflogen. Das Team rund um die Gründer Max Gulde, Christian Mittermaier und Marius Bierdel durfte den Launch vor Ort erleben und sich über einen Bilderbuchstart der Rakete freuen. ►

Das Messgerät offen (links) und in seiner Box (rechts), in der es auf die Plattform der ISS angeschraubt wurde.



Die Optik des Messinstruments besteht aus speziell geformten Metallspiegeln, die auf Nanometer genau bearbeitet und mit einer Goldschicht überzogen wurden.
© Fraunhofer IOF



Nach finaler Qualitätskontrolle wird die Spiegeloptik im Reinraum des Fraunhofer IOF von Henrik von Lukowicz (links) und Matthias Beier (rechts) an Marius Bierdel (Mitte) übergeben. © Fraunhofer IOF

Die Installation von LisR auf der externen Plattform von Nanoracks (Nanoracks External Platform, NREP) erfolgte am 9. März 2022 durch die US-amerikanische Astronautin Kayla Barron. Dafür wurde die NREP-Plattform mithilfe eines Roboterarms in das Innere der ISS transportiert, um danach das neue Messinstrument LisR darauf zu installieren. Nach der erfolgreichen Installation wurde LisR erstmalig am 16. März 2022 aktiviert und nimmt seitdem erste Daten auf. Nach einer vierwöchigen Kommissionierungsphase, in der verschiedene Systemtests durchgeführt werden, wird LisR ab Mitte April 2022 kontinuierlich die Landoberflächentemperatur unserer Erde überwachen. Diese Daten werden dann regelmäßig zur Weiterverarbeitung an die Erde geschickt und bilden die Grundlage für die verschiedenen Anwendungsziele von ConstellR: unter anderem das Erkennen von Veränderungen der Pflanzengesundheit, die effizientere Bewässerung von landwirtschaftlichen Flächen und am Ende einen höheren Ernteertrag.

*Gründungsteam ConstellR
(von links nach rechts): Marius Bierdel (CTO), Dr. Max Gulde (CEO) und Christian Mittermaier (CFO) feiern nach dem erfolgreichen Start ihrer ersten Weltraummission auf Wallops Island, Virginia, USA.
© ConstellR*

Dieses ambitionierte Projekt wäre nicht ohne die Hilfe eines breiten Unterstützernetzwerks möglich gewesen

Die Realisierung des LisR-Projekts in weniger als zwölf Monaten war nur durch eine enge Kooperation des Fraunhofer EMI mit seinem Spin-off ConstellR möglich. Mit der Unterstützung des Digital Innovation Hub Photonics (DIHP) wurde ein Teil des Messinstruments, nämlich die Optik, durch das Fraunhofer IOF entwickelt und durch dessen Spin-off SPACEOPTIX gefertigt. Gefördert wurde das LisR-Projekt durch die EXIST-Förderung des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi), jetzt: Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BWK).



What's next? Große Zukunftspläne mit kleinen Satelliten

Ein Blick in die Zukunft: LisR ist ein technischer Demonstrator. Im nächsten Schritt werden Ende 2023 zwei Mikrosatelliten in den Orbit gebracht, zwei weitere folgen 2024.

Durch die skalierbare, kommerzielle Überwachung des Wasserbedarfs von Nutzpflanzen und eine intelligente Landwirtschaft soll das Ziel von mehr Nahrungssicherheit für die Menschen erreicht werden.

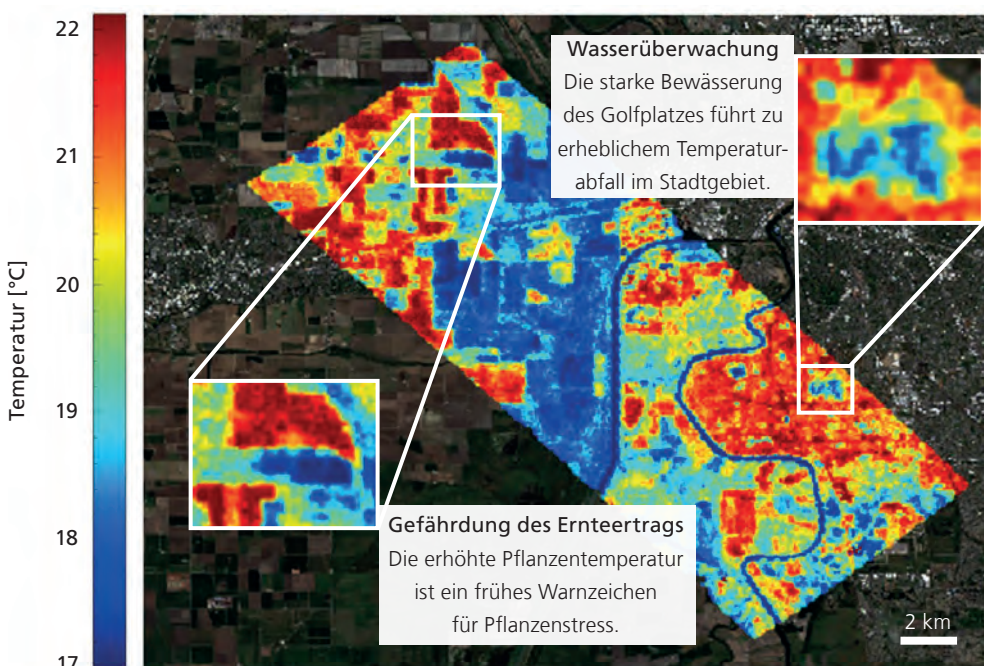
Bis zum Jahr 2028 sollen 16 Satelliten mit der ConstellR-Technologie im Erdorbit die Bewässerung von Agrarflächen unterstützen. Die dabei fortschreitende Miniaturisierung der dafür notwendigen Technik ermöglicht es, sogenannte Mikrosatelliten von der Größe etwa eines Schuhkartons leistungs- und widerstandsfähig zu entwickeln, um derartige Satellitenkonstellationen kostengünstig zu realisieren. Bisherige Satellitensysteme zur Überwachung der Oberflächentemperatur der Erde sind häufig so groß wie ein Bus und kosteten teilweise mehr als eine Milliarde Euro pro Mission. Durch die ConstellR-Technologie ist es möglich, entsprechende Missionen für einen Bruchteil der Kosten durchzuführen. Ein ConstellR-Satellit kostet dabei nur circa drei Millionen Euro. Ab 2026 könnten bereits jährlich 180 Milliarden Tonnen Wasser und 94 Million Tonnen CO₂ eingespart werden, während sich der globale Ernteertrag ohne höheren Wasserverbrauch um bis zu vier Prozent erhöhen könnte. Dies entspräche Nahrung für über 350 Millionen Menschen. ■

Fakten zum Messinstrument – LisR

- LisR – Longwave Infrared Sensing Demonstrator
- Gewicht nicht mehr als 6 Kilogramm
- Größe circa 40 Zentimeter mal 10 Zentimeter mal 10 Zentimeter
- Launch-Datum 19. Februar 2022
- Installation auf externer Plattform von Nanoracks (NREP) 9. März 2022 durch die Astronautin Kayla Barron
- Inbetriebnahme am 16. März 2022
- Erste Landoberflächentemperaturdaten seit Mitte April 2022
- Nanoracks ist der Serviceprovider, der die Testplattform außen an der ISS bereitstellt



www.constellr.space



Eine der ersten Aufnahmen von LisR zeigt Temperaturdaten von Sacramento in Kalifornien, USA. © ConstellR

Versuche für einen entspannten Blick ins All

Ein Beitrag von Robin Putzar, robin.putzar@emi.fraunhofer.de



Darstellung des Lunar Orbital Platform-Gateway, der Raumstation des Artemis-Programms. © NASA, A. Bertolin

Am Fraunhofer EMI wurden Fenster für die Rückkehr der Menschen zum Mond gegen Meteoroideneinschläge qualifiziert.

Auf langen Flügen durch den Weltraum ist es sinnvoll, Module für Astronautinnen und Astronauten mit Fenstern auszustatten. Dort können, wie auf der gesamten Außenwand, sowohl Mikrometeoroiden verschiedenster Größen als auch in erdnahen Umlaufbahnen zusätzlich Weltraumschrott einschlagen. Aufgrund ihrer hohen Bahngeschwindigkeit um die Sonne können selbst wenige Millimeter große Teilchen erheblichen Schaden an Raumfahrzeugen verursachen. Damit die Besatzung auch bei solchen Kollisionen gut geschützt ist, müssen die Fenster, genau wie die restlichen Teile der Außenwand, vorab getestet werden.

Am Fraunhofer EMI wurden im Auftrag von Thales Alenia Space Fenstermodule für das Artemis-Programm getestet. Mit diesem Programm möchte die NASA gemeinsam mit ihren

Partnern wieder zum Mond fliegen. Diese Fenster bestehen aus drei Schichten: Ganz außen befindet sich Quarzglas, das eine sehr niedrige Temperaturschwankung hat und dadurch die starken Temperaturschwankungen im Weltall gut verträgt. Da Quarzglas spröde ist, ist eine zweite Schicht erforderlich, um die bei einem Impakt auftretenden hohen Energien aufzufangen. Diese Schicht ist aus Acrylglas und befindet sich in einem Abstand hinter dem Quarzglas. Die dritte, innerste Schicht besteht ebenfalls aus Acrylglas mit einem Kratzschutz auf der Innenseite. Diese Schicht muss dem Innendruck standhalten, der durch die Atmosphäre im Innern des Moduls entsteht, und darf daher bei einem Impakt nicht beschädigt werden.

In den Tests wurde die Widerstandsfähigkeit der Fenstermodule gegen Impakte von Mikrometeoroiden genau bestimmt. Darauf aufbauend können nun Einschlagsrisiken für die Besatzung genau bewertet werden.



Die Arbeit im Reinraum erfolgt unter strengen Regeln, um die Konzentration von luftgetragenen Teilchen gering zu halten.

Neuer Reinraum für die Raumfahrt

Ein Beitrag von Clemens Horch, clemens.horch@emi.fraunhofer.de

Im EMI Satellite Lab gibt es seit Frühjahr 2021 ein Reinraumlabor für die Arbeit an Raumfahrtprojekten. Derzeit findet dort die Integration des Flugmodells des EMI-Satelliten ERNST statt.

Seit Frühjahr 2021 hat das Fraunhofer EMI einen eigenen Reinraum für die Raumfahrtforschung. Reinräume werden in der Raumfahrtentwicklung benötigt, um die Reinheitsanforderungen für Optiken und Mechanismen während des Zusammenbaus von Flughardware und der Durchführung wichtiger Qualifikations- und Funktionstests vor dem Flug einhalten zu können. Schon kleinste Staubpartikel könnten die Leistungsfähigkeit empfindlicher Weltrauminstrumente beeinträchtigen. Die größte Quelle für Staub in der Raumluft sind in der Regel der Mensch und seine Kleidung. Daher gehören neben den Anlagen zur Filterung der Luft insbesondere auch spezielle Arbeitskleidung und Reinigungsprozeduren für Werkzeug und Material zum Betrieb eines Reinraums.

Der Reinraum am EMI entspricht der Klassifizierung ISO 7. Pro Kubikmeter Luft dürfen demnach nicht mehr als etwa 3000 Partikel größer als 5 Mikrometer enthalten sein. Dies stellt für die Projekte des EMI einen sinnvollen Kompromiss dar. Noch höhere Reinraumklassen, wie sie beispielsweise in der Halbleiterproduktion eingesetzt werden, erhöhen die Kosten für Bau und Betrieb signifikant. Für alle relevanten Arbeiten, insbesondere im Bereich New Space, ist die gewählte Klasse angemessen und eine signifikante Erweiterung der Möglichkeiten des EMI.

Zurzeit läuft die Systemintegration, also der Zusammenbau des EMI-Nanosatelliten ERNST. Die Hauptnutzlast von ERNST ist eine Infrarotkamera zur Detektion von Raketenstarts. Zuvor wurde bereits die ISS-Nutzlast LisR, die in Kooperation von EMI und der EMI-Ausgründung ConstellR entstanden ist, im Reinraum erfolgreich integriert und getestet.

ERNST – das Flugmodell entsteht

Ein Beitrag von Dr. Martin Schimmerohn, martin.schimmerohn@emi.fraunhofer.de

Die Entwicklung des Nanosatelliten ERNST geht im Jahr 2022 mit der Integration, den Tests und der Auslieferung des Flugmodells in seine finale Phase.

Der Nanosatellit ERNST vollbringt in mehreren Bereichen Pionierleistungen: Er ist das erste vollständig von Fraunhofer entwickelte Satellitensystem, der erste Kleinsatellit zur Unterstützung militärischer Aufgaben der Bundeswehr und der erste CubeSat von der Größe einer halben Bierkiste, der mit kryogekühlter Infrarotkamera so komplexe Aufgaben wie die Detektion von Raketenstarts durchführen wird.

Im vergangenen Jahr konnten trotz Beeinträchtigungen durch die pandemische Situation und daraus resultierender Lieferengpässe die Konstruktion des Satelliten und die Implementierung seiner Subsysteme abgeschlossen werden. Nach dem Design-Freeze des Gesamtsystems erfolgte der Übergang in die Integrationsphase, zunächst auf Ebene der Subsysteme und Nutzlasten. Wichtige Komponenten wie die Kühler-Detektor-Einheit,



Die Filter des Filterrads werden in den optischen Strahlengang zwischen Optik und Detektormodul gedreht, um den Sichtbereich in verschiedenen Spektralbereichen aufzunehmen.



Integrierte ERNST Infrarothauptnutzlast mit Detektor-Kühler-Einheit, Filterrad und Optik in der generativ gefertigten optischen Bank.

das Lageregelungssystem oder auch ein entfaltbares Bremssegel wurden für die Flugmission fertiggestellt und Funktionstests unterzogen. Mit der zusätzlichen Bereitstellung des Reinraums und erweiterter Testvorrichtungen steht der Integration des ERNST-Flugmodells, des nach den Entwicklungsprototypen für den Raketenstart vorgesehenen eigentlichen Satelliten, nichts mehr im Wege.

Wegen Entwicklungsverzögerungen der neuen Version der flugzeugbasierten LauncherOne-Rakete verschiebt sich der Starttermin von Juni 2022 in den Januar 2023. Für ERNST bedeutet das mehr Spielraum für umfangreiche Systemtests mit dem Flugmodell vor dessen Auslieferung nach Kalifornien zum Ende des Jahres.



Kollisionsszenarien von Drohnen und Flugzeugen stellen eine wachsende Gefahr im Flugverkehr dar. © Adobe Stock



Geschäftsfeld Luftfahrt



Einleitung	76
Menschen im Geschäftsfeld Luftfahrt	78
Drohnenalarm: Können Hobbydrohnen den Flugverkehr gefährden?	80
Aerosolen auf der Spur – Fraunhofer vs. Corona	82
Human Body Modeling für Kleinkinder – Rückhalte- systeme in Flugzeugen	84
»Zusammenprall mit Drohnen«: Vortrag von Markus Jung beim AIAA-SciTech-Forum	85

Geschäftsfeld Luftfahrt

Jedes Jahr verreisen Millionen von Menschen mit dem Flugzeug – sei es, um Geschäftspartner zu treffen oder mit der Familie in den Urlaub zu fliegen. Es ist daher nicht verwunderlich, dass die Sicherheit der unzähligen Passagiere für die regulierenden Behörden, wie zum Beispiel die EASA, und für die Luftfahrtindustrie von höchster Bedeutung ist. Doch auch die Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen am Fraunhofer EMI haben es sich zum Ziel gesetzt, die Sicherheitsstandards in der zivilen Luftfahrt hochzuhalten und darüber hinaus Verbesserungsmöglichkeiten zu identifizieren. Die beiden nachfolgenden Beiträge befassen sich mit neuen sicherheitsrelevanten Szenarien für die Luftfahrt.

Im ersten Beitrag werden Untersuchungen zur Bedrohung der zivilen Luftfahrt durch Hobbydrohnen beschrieben, welche im Kollisionsfall zu Schäden an Flugzeugen oder Helikoptern führen können. Diese Arbeiten wurden auf einer internationalen Fachtagung vorgestellt und stießen dort auf großes Interesse (siehe letzter Beitrag). Der zweite Beitrag befasst sich mit einer Thematik, welche die Welt in den vergangenen zwei Jahren in Atem gehalten hat: die Aerosolausbreitung in geschlossenen Räumen, wie zum Beispiel einem Klassenzimmer oder einem Flugzeug.

Der dritte Beitrag widmet sich der Entwicklung eines prototypischen Gurtsystems zur Verbesserung der Sicherheit von Kleinkindern im Falle einer ungeplanten, harten Landung.

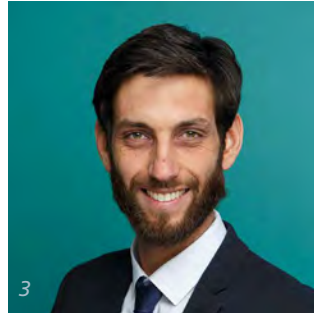
Ich wünsche Ihnen viel Spaß beim Schmökern.



Dr. Michael May
Geschäftsfeldleiter Luftfahrt
michael.may@emi.fraunhofer.de

s.fhg.de/emi-luftfahrt

Menschen im Geschäftsfeld Luftfahrt



Hier lassen wir fünf Forscher aus dem Geschäftsfeld Luftfahrt zu Wort kommen – in Vertretung für die vielen anderen, die bei uns exzellente Arbeit leisten.

- 1 Dr. Michael May
michael.may@emi.fraunhofer.de
- 2 Dr. Pascal Matura
pascal.matura@emi.fraunhofer.de
- 3 Dr. Mathieu Imbert
mathieu.imbert@emi.fraunhofer.de
- 4 Dr. Matthias Boljen
matthias.boljen@emi.fraunhofer.de
- 5 Markus Jung
markus.jung@emi.fraunhofer.de

Drohnenalarm: Können Hobbydrohnen den Flugverkehr gefährden?

Ein Beitrag von Dr. Michael May, michael.may@emi.fraunhofer.de

Im deutschen Luftraum operieren etwa 400 000 Hobbydrohnen. Unbeabsichtigte Kollisionen mit Flugzeugen oder Hubschraubern sind vorprogrammiert.

Stille in Gatwick

Im Dezember 2018 ist es lange Zeit mucksmäuschenstill am Flughafen Gatwick, einem der zehn größten Flughäfen Europas. Was ist geschehen? Nach Drohnensichtungen in der Nähe des Flugfelds wurde der Flugverkehr für zwei Tage ausgesetzt. Wie gefährlich sind Hobbydrohnen für Flugzeuge und Hubschrauber? Diese Frage adressieren die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des Fraunhofer EMI im Rahmen des vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz geförderten Vorhabens RumTrain.

Erste Ergebnisse

Im Vergleich zu Vögeln, deren Gefährdungspotenzial bekannt ist und in der Auslegung von Luftfahrzeugen berücksichtigt wird, weisen Drohnen aufgrund der verbauten Komponenten (zum Beispiel Batterien, Motoren, Kameras) höhere Steifigkeiten und Festigkeiten auf und verursachen somit im Kollisionsfall höhere Schäden. Zur Beurteilung des Schädigungspotenzials wurden im Rahmen von RumTrain verschiedene Komponenten einer Hobbydrohne vom Typ DJI Mavic 2 Zoom unter quasistatischen und dynamischen Bedingungen geprüft.

Die ersten Ergebnisse zeigen, dass unter den ausgewählten Komponenten der Drohne (Batterie, Motoren, Kamera) die Batterie aufgrund ihrer hohen Masse und Steifigkeit das höchste Gefährdungspotenzial für Luftfahrtstrukturen birgt. Folgearbeiten werden daher darauf fokussieren, das Verhalten der Batterien unter Impaktbelastung prognosefähig zu simulieren, um einen wichtigen Beitrag zur Sicherheit der Luftfahrt leisten zu können.



Die DJI Mavic 2 Zoom – eine repräsentative Hobbydrohne in der 1-Kilogramm-Drohnenklasse.



Kollisionsszenarien von Drohnen und Flugzeugen stellen eine wachsende Gefahr im Flugverkehr dar. © AdobeStock



Kollision einer Drohne mit einer Plexiglasscheibe.



Klassenzimmer sind ein Paradebeispiel für Räume, in denen täglich viele Menschen über einen langen Zeitraum zusammenkommen. © Adobe Stock

Aerosolen auf der Spur – Fraunhofer vs. Corona

Ein Beitrag von Dr. Pascal Matura, pascal.matura@emi.fraunhofer.de

Welche Rolle spielen Atemaerosole in der Coronapandemie, wie breiten sie sich in Innenräumen aus, und welche Schutzmaßnahmen helfen effektiv?

Eine Übertragung des SARS-CoV-2-Virus kann nicht nur über größere Tröpfchen erfolgen, die vor allem beim Niesen oder Husten ausgestoßen werden, sondern vor allem auch über sehr kleine Aerosolpartikel, die vorwiegend beim Sprechen oder Atmen entstehen. Dieser Übertragungsweg ist von großer Bedeutung, da sich Aerosolpartikel aufgrund ihrer langen Verweildauer in der Luft über weite Distanzen ausbreiten und sich somit insbesondere in schlecht durchlüfteten Innenräumen über die Zeit akkumulieren können.

Die Ausbreitung und Verteilung der Aerosole hängt dabei von den typischen Strömungsverhältnissen in den betrachteten Innenräumen ab, die in Flugzeugkabinen, Großraumbüros oder Klassenzimmern sehr unterschiedlich sind. Daher braucht es wirksame und praktische Schutzmaßnahmen, die den Besonderheiten der entsprechenden Innenräume gerecht werden. Während Klimaanlageanlagen in Flugzeugkabinen durch Zufuhr von Frischluft und entsprechend gefilterter Umluft einen wertvollen Beitrag zur Innenraumhygiene leisten können, verfügen nur die allerwenigsten Schulen in Deutschland über zentrale



Lüftungsanlagen. Hier drängt sich somit die Frage auf, wie einer Anreicherung der Aerosolpartikel effektiv entgegengewirkt und somit das Infektionsrisiko gesenkt werden kann.

Daher haben wir mittels experimenteller Methoden, detaillierter Literaturstudien zu Atemaerosolen und komplexer numerischer Strömungssimulationen die Aerosolausbreitung am Beispiel eines Klassenzimmers näher beleuchtet: So konnten wir systematisch die Effektivität von Fensterlüftungsvarianten und vor allem auch die Wirkung eines Raumluftreinigers und den Einfluss seiner Positionierung auf die Aerosolkonzentration untersuchen.

Fazit

Die Untersuchungen zeigen: Raumluftreiniger und richtiges Lüften können die Aerosolkonzentration in Innenräumen deutlich reduzieren und somit das Infektionsrisiko signifikant senken. Mit Blick in die Zukunft sollte das Thema Raumluftthygiene einen entsprechenden Stellenwert in der Planung und Umsetzung von Um- und Neubauprojekten einnehmen – nicht nur für Schulgebäude.

Übrigens: Die entwickelten Methoden lassen sich grundsätzlich auch auf andere Innenräume anwenden, beispielsweise Theater, Supermärkte und Flugzeugkabinen.

Freiwillige Hausaufgabe: Besuchen Sie doch unsere Webseite, um mehr über unsere Arbeiten im AVATOR-Projekt zu erfahren.



s.fhg.de/emi-avator

Human Body Modeling für Kleinkinder – Rückhaltesysteme in Flugzeugen

Ein Beitrag von Dr. Mathieu Imbert, mathieu.imbert@emi.fraunhofer.de, und Dr. Matthias Boljen, matthias.boljen@emi.fraunhofer.de

Human Body Modeling wurde eingesetzt, um Möglichkeiten zu untersuchen, Rückhaltesysteme für Kleinkinder sicherer zu gestalten.

Derzeit sind im europäischen Luftraum sogenannte Loop-Belts als Mindestsicherheitsstandard zum Ansnallen von Kindern unter 24 Monaten vorgeschrieben. Dabei wird das Kleinkind auf den Schoß der erwachsenen Person gesetzt und durch einen um den Bauch geschnallten Zusatzgurt am Beckengurt dieser Person »gesichert«. Diese Doppelsitzplatzbelegung bietet ökonomische Vorteile für die Reisenden und ökologische Vorteile aufgrund der höheren Auslastung des Flugzeugs. Sie ist jedoch aus Sicherheitsgründen nicht optimal, weil im Fall einer Notlandung gefährliche Belastungen im Bauchbereich des Kindes wirken können. In diesem Zusammenhang wurde am Fraunhofer EMI ein alternatives Rückhaltesystem für die Doppelsitzplatzbelegung entwickelt mit dem Ziel, eine bessere

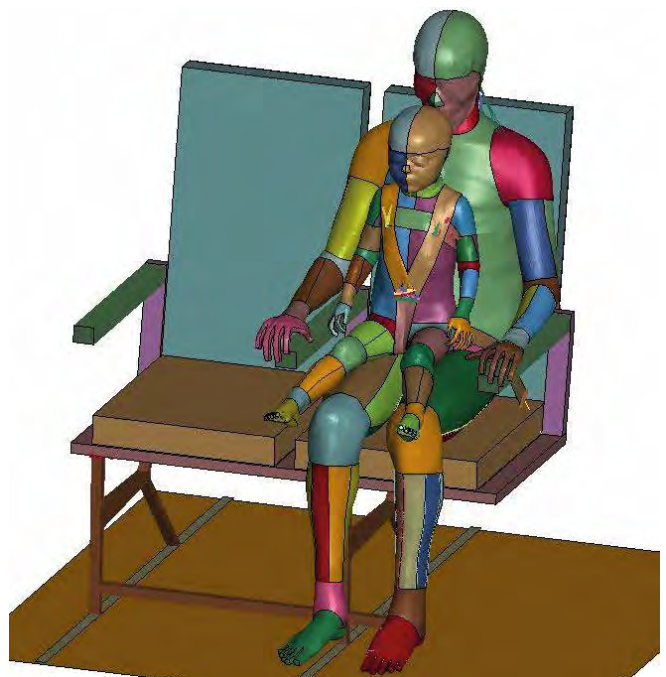
Verteilung der Kräfte auf den Körper des Kindes im Fall einer Notlandung zu erreichen.

Human Body Modeling wurde eingesetzt, um die Kinematik und die induzierten Belastungen auf Kind und Begleitperson bei einer normierten Verzögerung zu quantifizieren. Dafür wurden für Kind und erwachsene Person THUMS-Menschmodelle eingesetzt.

Die Simulation zeigte, dass das neue Konzept zwar die Belastungen im Bauchbereich des Kindes deutlich reduziert, jedoch konnte aufgrund der veränderten Körperkinematik ein Zusammenstoß zwischen den Körpern des Kindes und des Erwachsenen nicht verhindert werden. Diese Ergebnisse zeigen, dass aus Sicherheitsgründen für Kinder ein eigener Sitz mit dezidiertem Rückhaltesystem der Doppelsitzplatzbelegung vorzuziehen ist.



Prototyp des numerisch untersuchten Rückhaltesystems.



Darstellung der positionierten Kind- und Erwachsenen-THUMS-Menschmodelle mit Rückhaltesystem vor der Verzögerung.



Die Drohne wird für den dynamischen Impakttest mit Punktmarken präpariert, sie dienen der späteren Auswertung der Hochgeschwindigkeitsaufnahmen.

»Zusammenprall mit Drohnen«: Vortrag von Markus Jung beim AIAA-SciTech-Forum

Ein Beitrag von Markus Jung, markus.jung@emi.fraunhofer.de

Das Thema Verwundbarkeit von Flugzeugstrukturen beim Zusammenprall mit Drohnen beschäftigt die Luftfahrtindustrie. Zu dieser Problematik hat Markus Jung vom Fraunhofer EMI beim AIAA-SciTech-Forum des American Institute of Aeronautics and Astronautics am 4. Januar 2022 digital vorgetragen.

Der größte Schaden beim Drohnenschlag wird durch ihre schweren und steifen Komponenten verursacht, also Kamerasystem, Batterie und Motor. Ihre Auswirkung beim Impakt wurde am Fraunhofer EMI in statischen und dynamischen Testkampagnen bei unterschiedlichen Impaktgeschwindigkeiten untersucht. Mehrere Tests bei gleichen Versuchsparametern zeigten trotz komplexer Randbedingungen dieselben Ergebnisse, sie weisen also eine hohe Reproduzierbarkeit auf.

Über die spannenden Ergebnisse dieser Forschung berichtete Markus Jung bei seinem

Vortrag mit dem Titel »Vulnerability of aerostuctures to drone impact – characterization of critical drone components«.

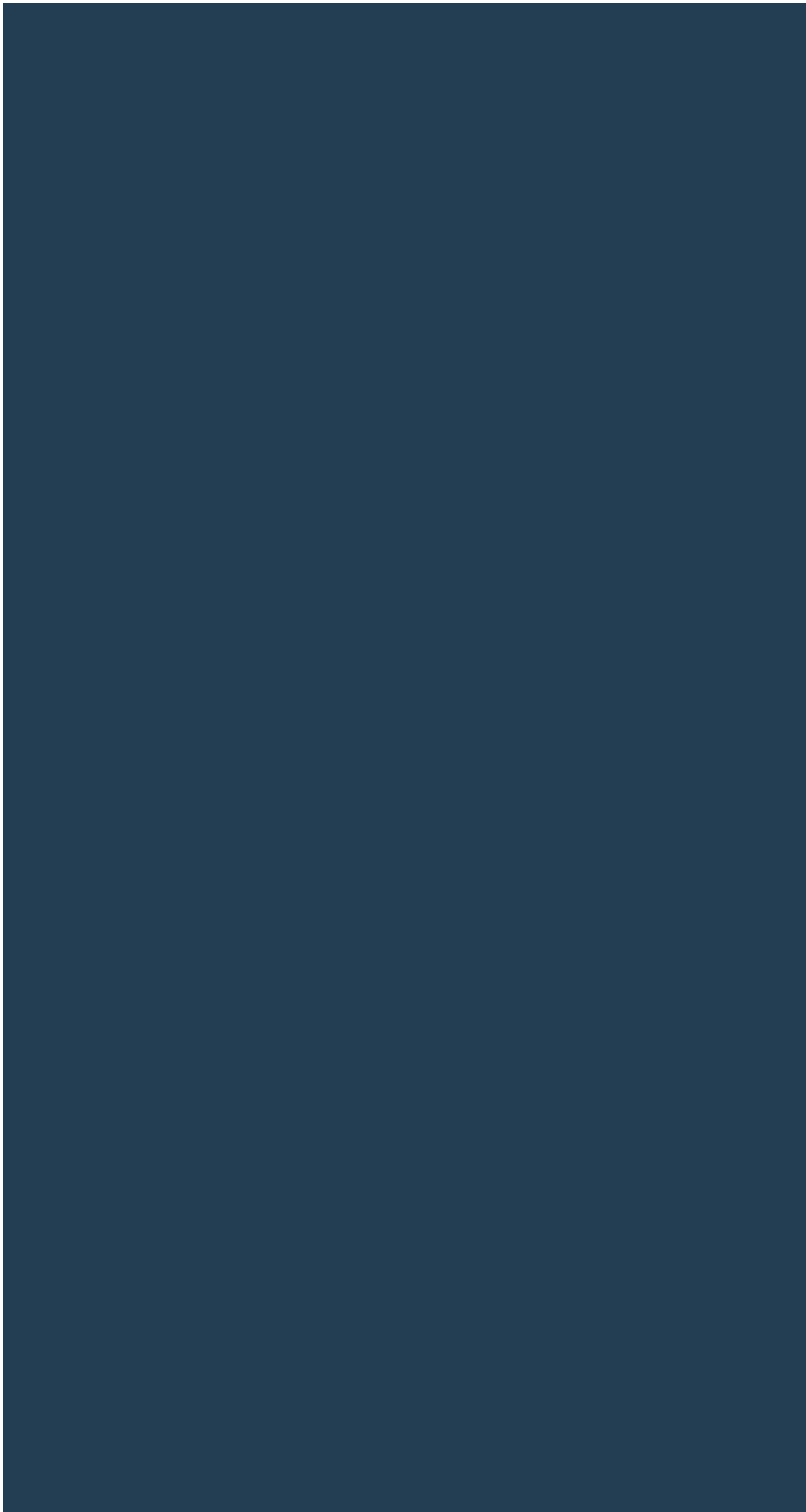
Fördergeber des Forschungsvorhabens war das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz.

Mehr Informationen zum Projekt finden Sie im Beitrag »Drohnenalarm: Können Hobbydrohnen den Flugverkehr gefährden?« auf Seite 80.

Das Video zeigt die Hochgeschwindigkeitsaufnahme eines der Versuche:



s.fhg.de/AIAA-SciTech-Forum



Leistungszentrum
Nachhaltigkeit
Freiburg





LEISTUNGSZENTRUM NACHHALTIGKEIT FREIBURG

Eine gemeinsame Initiative der Fraunhofer-Gesellschaft und der Universität Freiburg

Im Leistungszentrum Nachhaltigkeit Freiburg werden Lösungen für eine nachhaltige Zukunft entwickelt. © Adobe Stock



Leistungszentrum Nachhaltigkeit Freiburg

Einleitung	90
Menschen im Leistungszentrum Nachhaltigkeit Freiburg	92
Peeling-basiertes Recycling thermoplastischer Faserverbundwerkstoffe	94
Erschließen eines geschlossenen Werkstoffkreises für thermoplastische Faserverbundwerkstoffe.	
Servicestelle Weiterbildung und Wissenstransfer – SWW	98
Unterstützung in Konzeption, Durchführung und Evaluation für neue Standards in der Weiterbildung.	
Videoreihe über das Leistungszentrum Nachhaltigkeit Freiburg	99
LZN erreicht verstärkte Aufmerksamkeit auf Social-Media-Kanälen.	
Intelligence for Cities – intelligente Klimaanpassung für Städte	100
Freiburg dient als Trainingsobjekt für Wetterprognosen durch KI.	
Transfer durch Köpfe – das INATECH	101
Das INATECH steht für eine einzigartige Kooperation der Fraunhofer-Institute mit der Universität Freiburg.	

Leistungszentrum Nachhaltigkeit Freiburg



Durch die Verstetigung der Leistungszentren besteht nun Planungssicherheit für strategisch angelegte Forschungsprojekte und Transferaktivitäten von nachhaltigkeitsorientierter Forschung am Fraunhofer-Standort Freiburg.«

Dr. Juri Lienert



Dr. Juri Lienert

Leiter der Geschäftsstelle des Leistungszentrums Nachhaltigkeit
juri.lienert@emi.fraunhofer.de

www.leistungszentrum-nachhaltigkeit.de

Das Leistungszentrum Nachhaltigkeit Freiburg

Das Leistungszentrum Nachhaltigkeit Freiburg (LZN) ist eine Kooperation der Freiburger Fraunhofer-Institute EMI, IAF, IPM, ISE und IWM, der Albert-Ludwigs-Universität (ALU) Freiburg und weiterer außeruniversitärer Forschungseinrichtungen und Partner. Gemeinsam wird das Ziel verfolgt, Lösungen für eine nachhaltige Entwicklung zu erforschen und in die Anwendung zu bringen. Die Institute werden hierbei von der Geschäftsstelle unterstützt, welche am Fraunhofer EMI angesiedelt ist. Somit steht dem LZN-Netzwerk eine umfassende Transferinfrastruktur mit passgenauen Transfermaßnahmen zur Verfügung.

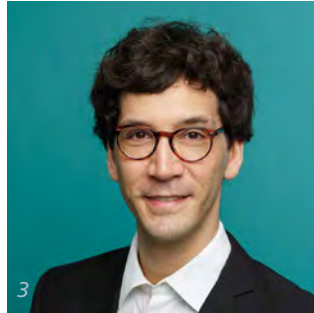
Die Verstetigung des Leistungszentrums Nachhaltigkeit Freiburg

Von 2022 bis 2024 ist die Finanzierung des LZN mit insgesamt vier Forschungsprojekten und einer attraktiven Transferinfrastruktur gesichert. Gemeinsam mit 19 weiteren Leistungszentren der Fraunhofer-Gesellschaft in Deutschland wird das LZN über die kommenden drei Jahre die Sichtbarkeit des Forschungsstandorts Freiburg im Bereich interdisziplinärer Nachhaltigkeitsforschung erhöhen und Transferleuchttürme bauen, um Forschung in Wirtschaft und Gesellschaft zu transferieren.

Internationalisierung des LZN

Auch dieses Jahr sind zwei Internationalisierungsinitiativen Teil des LZN. Im Rahmen der Transferoffensive »Internationalisierung der Leistungszentren« adressiert die Transferinitiative Österreich mit dem Projekt SURF (Smart Urban Road Safety) das Thema Verkehrssicherheit. Die Transferinitiative Finnland FORESEE (Forest Resilience) beleuchtet das Thema nachhaltige Bewirtschaftung der Wälder. Beteiligt sind neben dem Fraunhofer EMI das IPM und das IWM.

Menschen im Leistungszentrum Nachhaltigkeit Freiburg



Hier lassen wir vier Forscherinnen und Forscher aus dem Leistungszentrum Nachhaltigkeit Freiburg zu Wort kommen – in Vertretung für die vielen anderen, die bei uns exzellente Arbeit leisten.

- 1 *Dr. Mathieu Imbert*
mathieu.imbert@emi.fraunhofer.de
- 2 *Jeanette Kristin Weichler*
jeanette.weichler@ise.fraunhofer.de
- 3 *Dr. Juri Lienert*
juri.lienert@emi.fraunhofer.de
- 4 *Christiane Felder*
christiane.felder@emi.fraunhofer.de

Peeling-basiertes Recycling thermoplastischer Faserverbundwerkstoffe

Ein Beitrag von Dr. Mathieu Imbert, mathieu.imbert@emi.fraunhofer.de

Erschließen eines geschlossenen Werkstoffkreises für thermoplastische Faserverbundwerkstoffe

Im Gegensatz zu den meisten klassischen Recyclingverfahren für Hochleistungsfaserverbundwerkstoffe erhält das am Fraunhofer EMI untersuchte Peeling-basierte Recycling die Durchgängigkeit der Fasern aufrecht. Somit werden die Grundlagen für ein Recycling ohne Downcycling und für das Schließen des Werkstoffkreises gelegt.

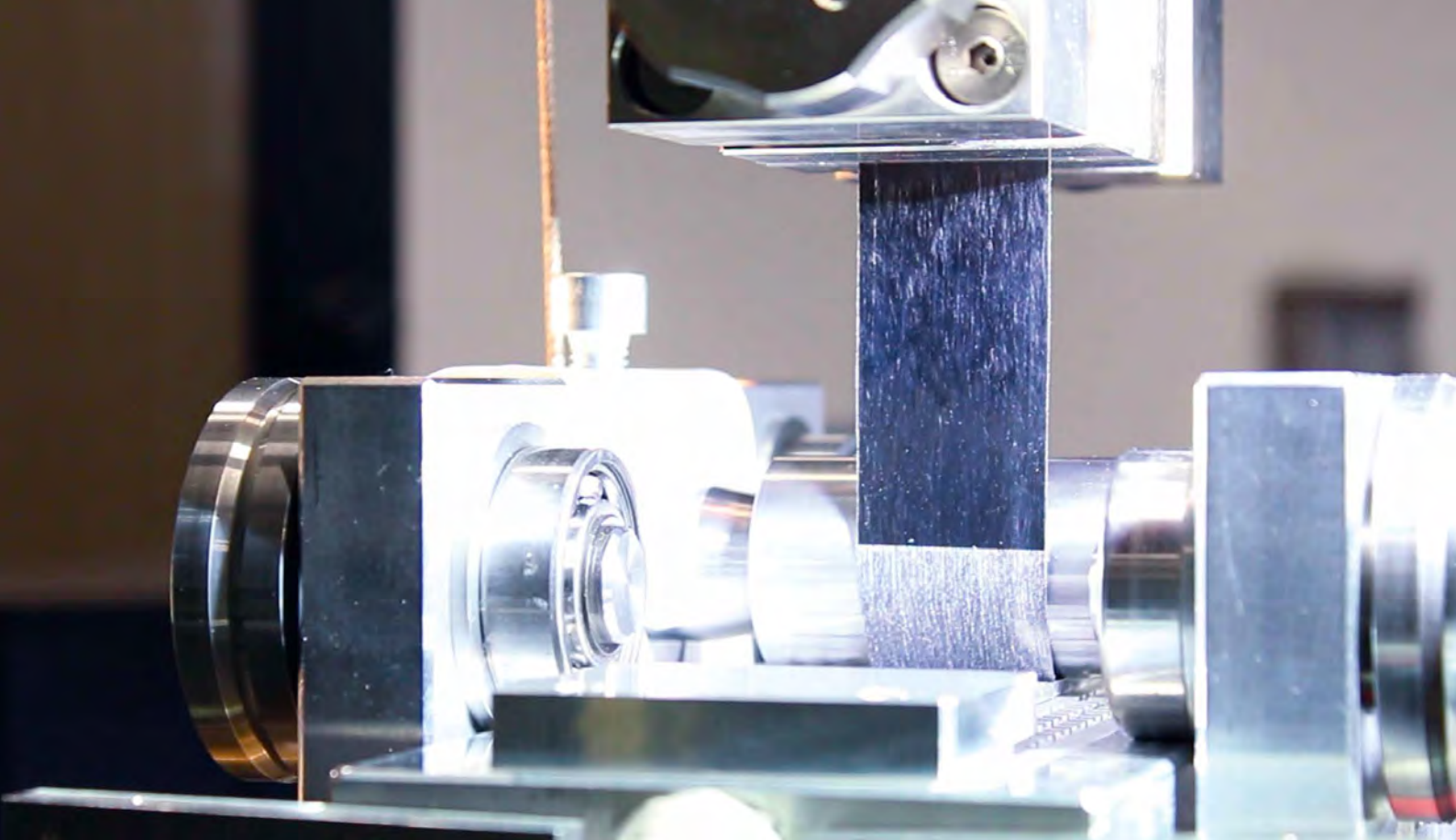
Kontext

Hochleistungsfaserverbundwerkstoffe sind Leichtbaumaterialien und erlauben somit wertvolle Gewichtseinsparungen in Fahrzeugstrukturen oder in Druckbehältern für den Transportbereich. Der Faserkunststoffverbund (FKV) besteht aus zwei Komponenten unterschiedlicher Natur: kontinuierliche Fasern in Form von Lagen, die durch ihre Länge und Ausrichtung die Steifigkeit und die Festigkeit des Materials sicherstellen, und eine polymere (thermoplastische oder duroplastische) Matrix, in der die Fasern eingebettet sind. Für das Recycling stellt diese heterogene Zusammensetzung jedoch eine aufwendige verfahrenstechnische Herausforderung dar: Welche und wie können wiederverwendbare Halbzeuge aus Verschnitt oder End-of-Life-Bauteilen erzeugt werden? Bei duroplastischen Faserverbundwerkstoffen

ist die Faser-Matrix-Trennung eine Voraussetzung, weil die Matrix nicht schmelzbar ist. Für thermoplastische Faserverbundwerkstoffe bietet das Schmelzen der Matrix hingegen mehr Potenzial hinsichtlich des Recyclings, weil keine Faser-Matrix-Trennung erforderlich ist. In diesem Zusammenhang ist eine pragmatische Recyclingroute für die thermoplastischen FKV das Zerkleinern oder das Schreddern des Materials. Daraus entstehen Bruchteile, gröbere oder feinere Pulver aus Polymer und kurzen Fasern. Diese Materialien lassen sich gut mit Press- oder Spritzgussverfahren erneut weiterverarbeiten, jedoch führt das Zerkleinern des Materials zum Verlust der Faserlänge und der Faserausrichtung und somit zu einem sehr deutlichen Downcycling. Die FKV sind jedoch wertvolle Werkstoffe (in der Regel liegt der Preis bei mehr als 15 Euro pro Kilogramm für carbonfaserverstärkte Kunststoffe) und bieten hiermit einen größeren wirtschaftlichen Spielraum für aufwendigere Recyclingverfahren, wenn diese eine hohe Qualität für das Rezyklat ermöglichen.

Untersuchtes Konzept

In diesem Zusammenhang ist der am Fraunhofer EMI untersuchte Recyclingansatz, die Einzellagen der thermoplastischen FKV kontrolliert und möglichst unbeschadet



zurückzugewinnen. Dafür wird die bestehende Expertise im Themenfeld Bruchmechanik von FKV gezielt eingesetzt, um die effektivsten Belastungen anzuwenden, die das Trennen der einzelnen Schichten der FKV ermöglichen.

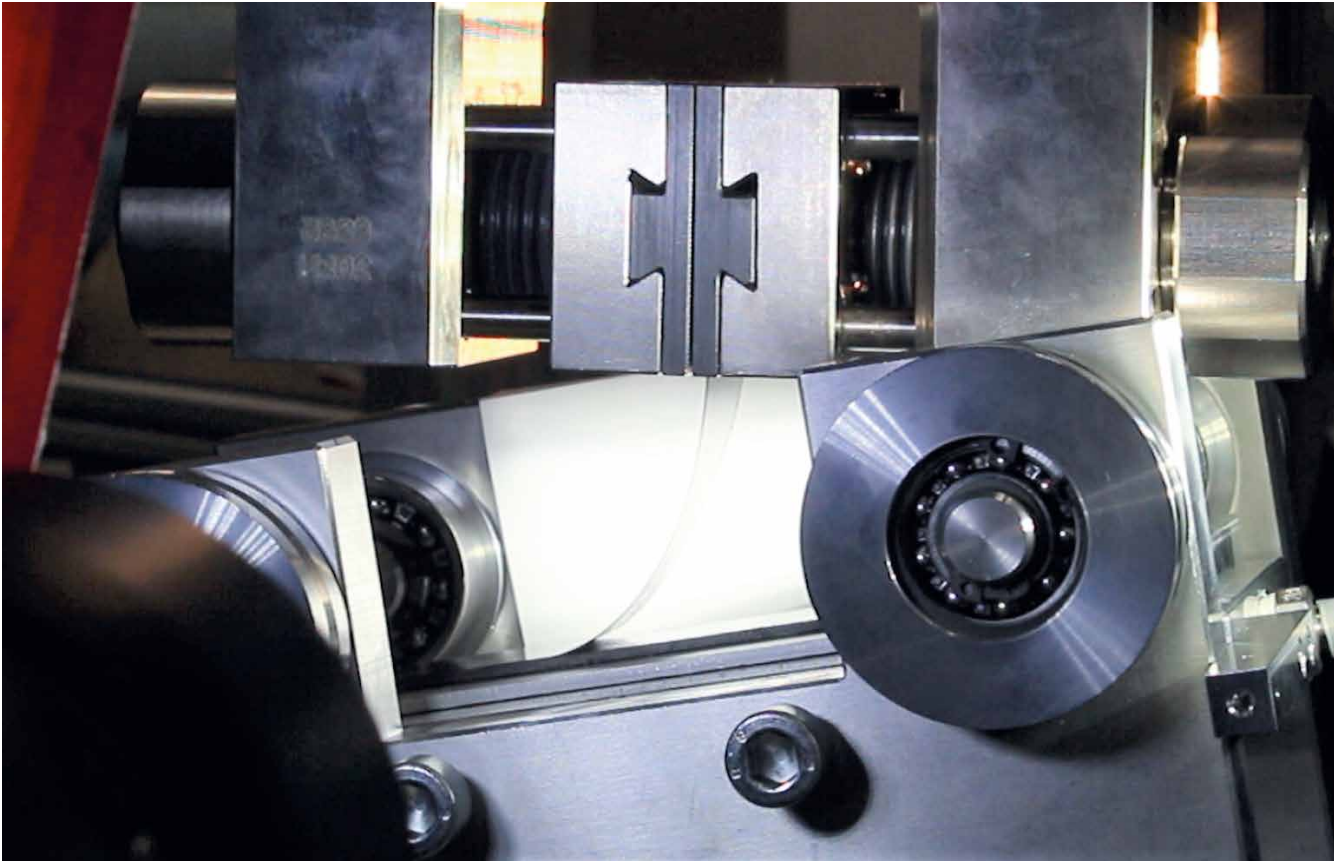
Ein erster Konzeptnachweis hat bewiesen, dass Einzellagen von thermoplastischen Faser-verbundkunststoffen, die eine gewobene Verstärkungsstruktur aufweisen, ohne signifikante Reduzierung ihrer Eigenschaften zurückgewonnen werden konnten. Basierend auf diesem vielversprechenden Ergebnis, wurde der Fokus auf gewickelte Strukturen gesetzt.

Das Wickeln ist ein kontinuierliches Herstellungsverfahren, in dem ein mit Polymer imprägnierter Faden (Tape) auf einen Kern gewickelt wird, und findet Anwendung im Druckbehälterbau. Diese anfängliche Durchgängigkeit des Tapes als Voraussetzung ist im Kontext des Recyclings besonders interessant, weil sie ermöglicht, ein wiederum kontinuierliches und wiederverwendbares Tape zurückzugewinnen.

Im Rahmen des Projekts »MultiTrace: Digitale Traceability für effizientes Recycling von Composite-Tapes« (Finanzierung: Leistungszentrum Nachhaltigkeit Freiburg) wurde diese kontinuierliche Rückgewinnung erforscht. Das untersuchte Material bestand aus mehreren Lagen unidirektionaler Carbonfaser-PA6-Tapes.

Für das Projekt wurde ein Peeling-Prüfaufbau entwickelt, und es wurden Versuche unter quasistatischen Bedingungen in einer elektromechanischen Prüfmaschine durchgeführt. Der Prüfaufbau besteht aus einem Vakuumtisch, auf dem die Probe platziert wird und der sich horizontal frei bewegen kann. Die zu trennende Lage wird in der oberen Spannbacke der Prüfmaschine fixiert und nach oben abgezogen. Unterschiedliche Peeling-Bedingungen wurden untersucht (mit und ohne Umlenkrolle, mit unterschiedlichen horizontalen Gegenkräften, mit unterschiedlichen Winkeln des Vakuumtischs zur Abziehrichtung). Aus Gründen der Energieeffizienz wurde das Peeling zunächst bei Raumtemperatur und quasistatischer Prüfgeschwindigkeit durchgeführt. Innerhalb dieser Bedingungen wurden die schonendsten Peeling-Bedingungen identifiziert. Abschließend wurden die zurückgewonnenen Lagen unter Zugbelastung zur Ermittlung der mechanischen Eigenschaften geprüft. ►

Peeling-Prüfanlage mit Umlenkrolle.



Peeling-Prüfanlage ohne Umlenkrolle. Die Probe weist einen 80-Grad-Winkel zur Peeling-Richtung auf.

Erhaltene Ergebnisse

Der Vergleich der Eigenschaften der zurückgewonnenen Tapes mit dem originalen Tape zeigte, dass eine Schädigung der getrennten Lagen bei Raumtemperatur und quasistatischen Peeling-Bedingungen nicht verhindert werden kann.

Recycelte Tapes wiesen nach dem Peeling und vor jeglicher Nachbearbeitung eine reduzierte Zugfestigkeit von circa 500 Megapascal (circa einem Drittel der initialen Festigkeit) und eine Steifigkeit von circa 45 Gigapascal (circa der Hälfte der initialen Steifigkeit) auf. Mikroskopische Untersuchungen an den getrennten Lagen zeigten zwei Hauptschädigungsmechanismen: Zum einen Faserbrückenbildung: Beim Peeling blieben einige Fasern der getrennten Lage an der Oberfläche des restlichen Materials zurück. Diese verlorenen Fasern können aber nicht alleine die Eigenschaftsreduzierung des Rezyklats erklären. Zum andern kam es zu einer starken Krümmung der Lage während des Verfahrens: Beim Peeling wurde ein lokales Versagen von Fasern unter Zug- oder Druckbelastung aufgrund der Biegung des Tapes verursacht. Dieser Mechanismus wurde als wesentlicher Grund für die

Reduzierung der Tape-Eigenschaften identifiziert. Weitere Optimierungen der Peeling-Bedingungen werden in der Zukunft durchgeführt, um diese Schädigungsmechanismen zu reduzieren. Es sei angemerkt, dass die erhaltenen residualen Eigenschaften des Materials vergleichbar sind mit Rezyklaten von optimierten klassischen Schredder-Recyclingverfahren, bei denen eine Wiederausrichtung der Fasern durchgeführt wird. Das Peeling-basierte Recyclingverfahren bietet aber viel Potenzial für den Erhalt der Eigenschaften des Materials und somit für das Erreichen eines geschlossenen Werkstoffkreises. Dieses Verfahren wird also in der Zukunft am Fraunhofer EMI weiteruntersucht und optimiert werden.

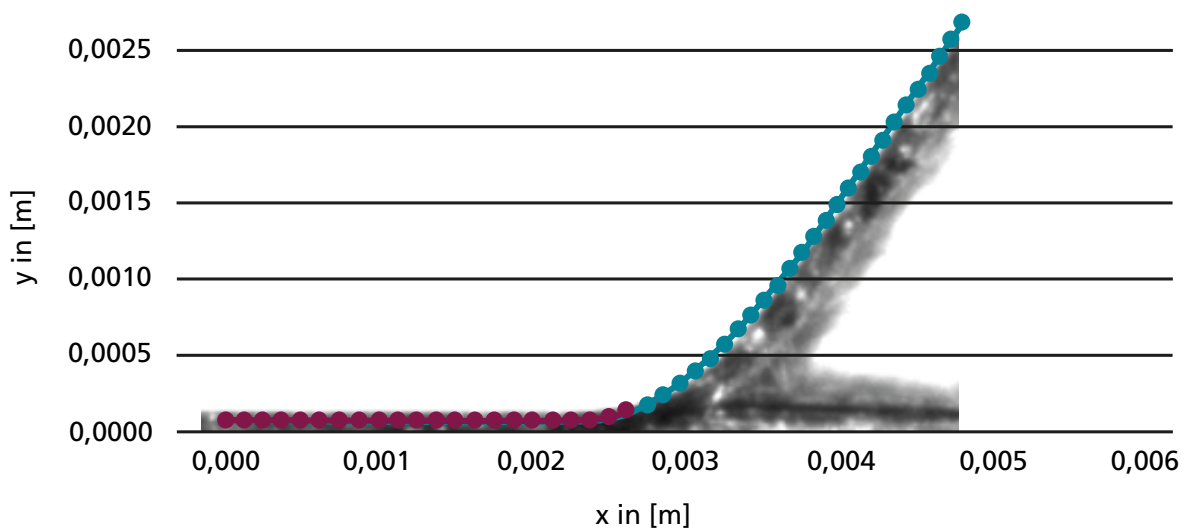
Simulation des Verfahrens

Das Peeling, betrachtet als ein Recyclingverfahren, ist ein neues Verarbeitungsverfahren für Faserverbundwerkstoffe. Dieses Verfahren verfügt über viele zusammenhängende Parameter: Peeling-Winkel, Temperatur und Geschwindigkeit. In diesem Zusammenhang ist eine Unterstützung der

Prozessparameterbestimmung durch numerische Simulationen wünschenswert. Dafür wurde am Fraunhofer EMI ein innovativer Modellierungsansatz entwickelt. Dieser Ansatz ermöglicht sowohl die klassische direkte Modellierung (Eingangswerte sind die Materialeigenschaften und die Randbedingungen, die mechanische Antwort des Materials wird berechnet) als auch die inverse Modellierung (die aktuelle oder gewünschte Verformung des Materials sind Eingangswerte, und die Materialeigenschaften oder die Randbedingungen – zum Beispiel die einzubringende Peeling-Kraft – werden berechnet). Das Ziel dieses Modells ist es, anhand von Prozessdaten, optimierte Prozessparameter idealerweise in Echtzeit anpassen zu können. Mit diesem Modell wurden Vergleiche zwischen Experiment und Simulation durchgeführt. Dabei wurden beispielsweise, basierend auf der Krümmung des Peeling-Arms, die Eigenschaften des Materials automatisch vom Modell berechnet, was wertvolle Informationen über die Schädigung des Materials liefert. ■



Bruchfläche zwischen dem getrennten Tape und dem Rest des Materials.



Vergleich des Simulationsergebnisses des neuen Modellierungsansatzes mit dem Peeling-Experiment. In Rot: unbeschädigtes Material. In Blau: Material mit reduzierten mechanischen Eigenschaften.



Die SWW unterstützt die Freiburger Fraunhofer-Institute in Konzeption, Durchführung und Evaluation von Weiterbildungsangeboten.

Servicestelle Weiterbildung und Wissenstransfer – SWW

Ein Beitrag von Jeanette Kristin Weichler (Fraunhofer ISE), jeanette.weichler@ise.fraunhofer.de

Als integraler Bestandteil des Leistungszentrums Nachhaltigkeit Freiburg bietet die neue Servicestelle für Weiterbildung und Wissenstransfer (SWW) zentrale Dienstleistungen für den Transfer von Forschung in die Wirtschaft und Gesellschaft an.

Bei der Planung, Umsetzung und Realisierung von Weiterbildungen oder im Kontext der Wissensvermittlung in FuE-Projekten kommt es immer wieder zu Verzögerungen und Schwierigkeiten, sofern wesentliche Aspekte nicht angemessen adressiert werden. Zu diesem Zweck wurde die Servicestelle Weiterbildung und Wissenstransfer (SWW) eingerichtet, die den fünf Freiburger Fraunhofer-Instituten beratend und mit professioneller Unterstützung zur Seite steht.

Services und Kompetenzen der SWW

Als Anlaufstelle für die Freiburger Fraunhofer-Institute deckt die SWW sämtliche Bereiche der Weiterbildung ab. So umfassen die Services unter anderem die interne und externe Kommunikation und Beratung, die Umsetzung der rechtlichen Rahmenbedingungen für Weiterbildungsangebote, die Sicherung qualitativer und technischer Standards der Bildungsangebote sowie Unterstützung beim didaktischen Aufbau von Weiterbildungen und deren Umsetzung mit digitalen Medien.

Betreuung von FuE-Projekten

Im Zuge der Stärkung der Wissenschaftskommunikation und des Wissenstransfers zwischen Forschung und Gesellschaft bietet die SWW die Begleitung von FuE-Projekten an. Die Expertise und die Referenzen der SWW ermöglichen es, sowohl die Qualität von Projektanträgen als auch die Chancen auf eine Bewilligung von Projekten durch die Berücksichtigung der Prioritäten und Bewertungskriterien der Ministerien und der EU zu steigern. Konkret reicht das Angebot von der Aufklärung über die aktuellen Anforderungen der Ministerien und der EU für Projektanträge mit Weiterbildungsanteilen über die Antragstellung und die Projektbearbeitung bis hin zum Projektabschluss mit einer Verstetigung der gewonnenen Ergebnisse in Form von vielerlei Weiterbildungskonzepten.

»Für eine nachhaltige Verstetigung von Weiterbildungsangeboten müssen sowohl die Bedarfe der Kunden Berücksichtigung finden als auch die Inhalte hohe Qualitätsstandards erfüllen und auf dem aktuellsten Stand der Forschung sein. Bei diesen Herausforderungen unterstützt Sie das Team der SWW.«

M. Sc. Jeanette Kristin Weichler, Leiterin SWW und Fraunhofer Academy Regionalbüro Freiburg

Videoreihe über das Leistungszentrum Nachhaltigkeit Freiburg

Ein Beitrag von Dr. Juri Lienert, juri.lienert@emi.fraunhofer.de

In elf Videos wurden neben acht spannenden Demonstratorprojekten die Ziele und bisherigen Erfolge des Leistungszentrums Nachhaltigkeit Freiburg präsentiert.

Mit dem Ziel, die abgeschlossenen Demonstratorprojekte des LZN zu bewerben und dabei den wissenschaftlichen Wert und das Potenzial der Projekte der Öffentlichkeit zu präsentieren, ließ das LZN elf professionelle Imagefilme produzieren, welche in einer zweiwöchigen Videoreihe in den sozialen Medien veröffentlicht wurden. Dies stellte außerdem eine schöne Alternative zu einer Abschlussveranstaltung in Präsenz dar, die aufgrund der Coronapandemie nicht stattfinden konnte.

Förderphasen 1 bis 3, Demonstratorprojekte und Gründungsunterstützung

Zu Beginn wurden in einem Video zu den Förderphasen 1 und 2 die Grundidee, die Ziele und die Themenschwerpunkte des Leistungszentrums Nachhaltigkeit präsentiert, woraufhin jedes der acht Demonstratorprojekte der Förderphase 2 in einzelnen Videos porträtiert wurde. Darüber hinaus wurde im Video zur Förderphase 3 auf die neuen internationalen Projekte und die angestrebte Verstetigung der Forschungsergebnisse sowie die Einbindung von Industriepartnern eingegangen. Abschließend beleuchtete ein Video über die Initiative »Gründungsunterstützung« die Angebote des LZN, die Start-up-Szene rund um Freiburg mit Beratung sowie finanziellen Mitteln zu unterstützen und angehende Start-ups auf dem Weg zur Ausgründung zu begleiten.

Resonanz auf die Videoreihe

Im Zuge der Veröffentlichungen der Videos gelang es dem LZN, verstärkt Aufmerksamkeit auf sich und die Projekte zu ziehen sowie in hoher Zahl Reaktionen und neue Follower und Followerinnen auf den genutzten Social-Media-Kanälen LinkedIn und YouTube zu

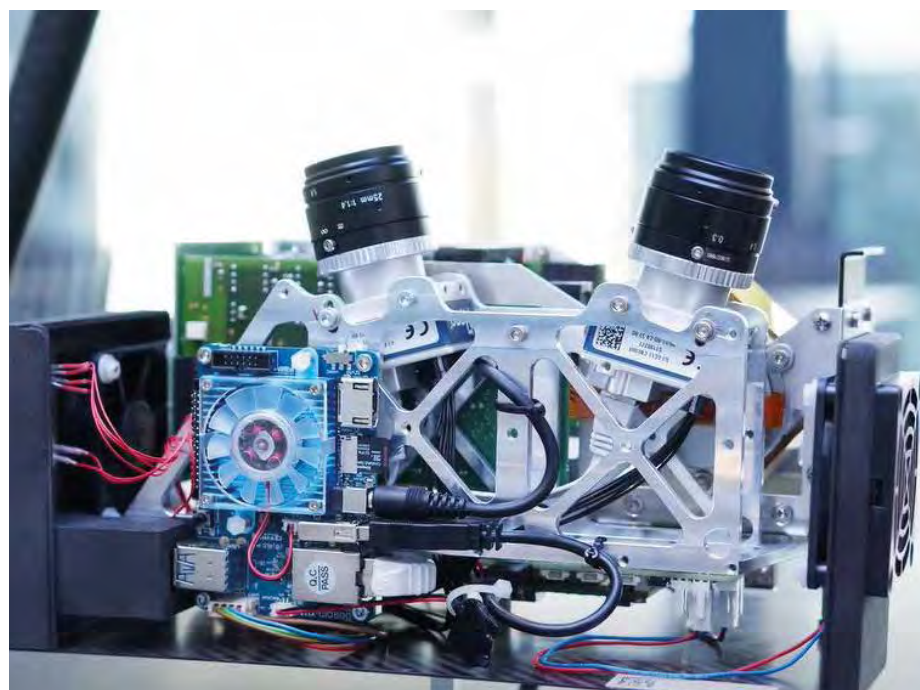
gewinnen. Zudem wurden allein auf YouTube die Videos knapp 1700 Mal aufgerufen. Damit kann die Videoreihe als voller Erfolg gewertet werden.

Die Filme sind abrufbar unter folgendem Link:



s.fhg.de/LZN-Videos

Im Demonstratorprojekt SwInG liefert eine Drohne Informationen zu Geo-Risiken wie Waldschäden mit dem Ziel, rechtzeitig gegen-zusteuern. © Fraunhofer IPM



Intelligence for Cities – intelligente Klimaanpassung für Städte

Ein Beitrag von Christiane Felder, christiane.felder@emi.fraunhofer.de



Im Projekt I4C werden digital-ökologische Innovationen in Form von Methoden der künstlichen Intelligenz (KI) entwickelt. © A. Lipinski, Fraunhofer IPM

Mit Unterstützung von künstlicher Intelligenz (KI) werden lokal präzise Wettervorhersagemodelle für Städte möglich, die zugleich die Komplexität urbaner Systeme abbilden und eine zukunftsorientierte Stadtplanung ermöglichen.

Urbane Räume sind besonders anfällig für die Auswirkungen des Klimawandels, wie zum Beispiel extreme Wetterereignisse, Hitzewellen, Hochwasser und Stürme. Eine zukunftsorientierte Stadtplanung ist angewiesen auf lokal präzise Wettervorhersagemodelle einerseits und auf eine gute Datenbasis zur Abschätzung planerischer Maßnahmen andererseits. Methoden der künstlichen Intelligenz (KI) können die Planung von Maßnahmen zur verbesserten Anpassungsfähigkeit von Städten an Extremereignisse unterstützen. In dem vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV) geförderten Verbundvorhaben, das noch bis Ende 2023 läuft, entwickeln die Fraunhofer-Institute für Physikalische Messtechnik IPM, Solare Energiesysteme ISE und Kurzzeitdynamik, Ernst-Mach-Institut, EMI, und die Universität Freiburg unter Koordination des Leistungszentrums

Nachhaltigkeit Freiburg gemeinsam verschiedene KI-Tools für die Klimaanpassung von Städten.

Risiken analysieren und vorhersagen mit künstlicher Intelligenz

Mittels Simulationen werden die Daten für die Umweltvorhersage generiert. Zunächst werden abstrakte Simulationsdaten zu Hitze, Wasser und Wind für ausgewählte Trainingsgebiete als Zeitreihen auf verschiedenen räumlichen Skalen erzeugt. Die Ergebnisse dienen in der Folge als Trainingsdaten für die Entwicklung eines effizienten, feinmaschigen KI-Vorhersagemodells: In einem tiefen künstlichen neuronalen Netz (KNN) wird anhand von Messdaten und Ergebnissen der Simulationen mit existierenden, numerisch-physikalischen Modellen gelernt, um approximative Simulationsergebnisse über das tiefe KNN im Anschluss wesentlich schneller berechnen zu können. Ausgehend von den Simulationsergebnissen der Trainingsgebiete, kann durch die KI ein feinmaschiges Vorhersagemodell für das gesamte Stadtgebiet Freiburg in kurzer Zeit erstellt werden.

Weitere Informationen finden Sie unter s.fhg.de/verbundprojekt-I4C



Ingenieurwissenschaftliche Forschung für eine nachhaltige Zukunft ist für viele Studierende attraktiv. © INATECH, K. Krieb

Transfer durch Köpfe – das INATECH

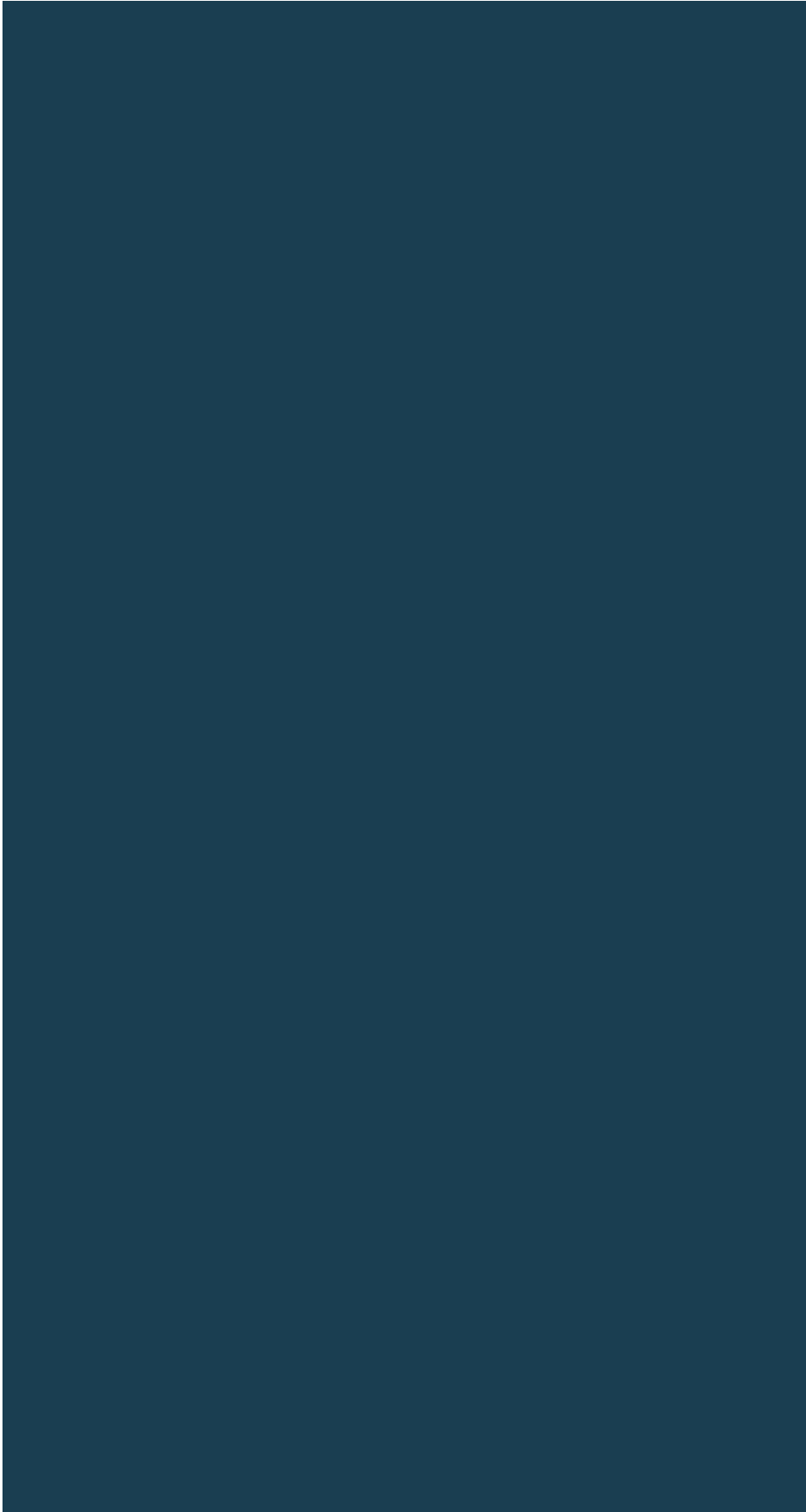
Ein Beitrag von Dr. Juri Lienert, juri.lienert@emi.fraunhofer.de

Das Institut für Nachhaltige Technische Systeme mit Fokus auf ingenieurwissenschaftliche Forschung und Lehre steht im LZN für die einzigartige Kooperation der Fraunhofer-Institute mit der Universität Freiburg.

Als ingenieurwissenschaftlicher Kern des Leistungszentrums Nachhaltigkeit Freiburg steht das Institut für Nachhaltige Technische Systeme (INATECH) am Wissenschafts- und Wirtschaftsstandort Freiburg weiterhin für eine in Deutschland einzigartige Zusammenarbeit von Fraunhofer-Instituten mit der Universität in Lehre und Forschung. Dabei gelingt es dem INATECH in deutschlandweit außergewöhnlicher Weise, die Themenfelder Nachhaltigkeit und Resilienz gleichermaßen zu adressieren und zu verknüpfen. Langfristig wird dabei weiterhin das Ziel verfolgt, in Freiburg einen international renommierten Standort für ingenieurwissenschaftliche Nachhaltigkeits- und Resilienzforschung zu etablieren.

Vor diesem Hintergrund spielte das INATECH auch im vergangenen Jahr 2021 eine wichtige Rolle in der Ausbildung von Fachkräften. Der deutschsprachige Bachelorstudiengang »Sustainable Systems Engineering« war mit 75 Studierenden erneut eine beliebte Entscheidung bei Studienanfängern und Studienanfängerinnen. Der gleichnamige englischsprachige Masterstudiengang konnte mit 57 Studierenden zudem weiter ausgebaut werden, um der enormen Nachfrage besser gerecht zu werden. Darüber hinaus sind am INATECH 15 exzellente Köpfe des Fraunhofer EMI in der Lehre vertreten. Die vom INATECH gemeinsam mit dem LZN veranstalteten »Sustainability Talks« ermöglichen Interessierten aus dem Universitäts- sowie Fraunhofer-Kontext zudem einen Einblick in die ingenieurwissenschaftliche Forschung internationaler und renommierter Dozierender – getreu dem Motto »Transfer durch Köpfe«.

Weitere Informationen finden Sie unter www.inatech.de



Verwaltung und Infrastruktur



Die Prozesse in der Verwaltung schaffen die Rahmenbedingungen für die Forschung am EMI. © Adobe Stock



Verwaltung

Einleitung	106
Bereich Personal	108
Bereich Finanzen	110

Verwaltung



**Eine Krise ist eine Chance
für neue und bessere
Lösungen, von denen wir
langfristig profitieren.«**

Dr. Tobias Leismann

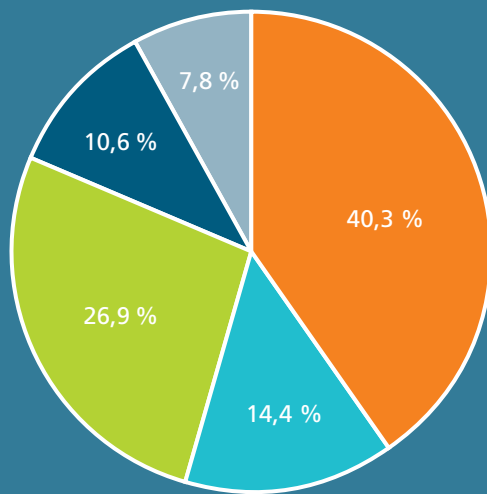
Dr. Tobias Leismann
Kommissarischer Verwaltungsleiter
tobias.leismann@emi.fraunhofer.de

Das neue Normal brachte im zweiten Jahr der Pandemie neue Herausforderungen mit sich. Und wir wären nicht, wer wir sind, wenn wir das nicht auch als Chance für das Entwickeln neuer und besserer Strukturen und Abläufe begriffen hätten.

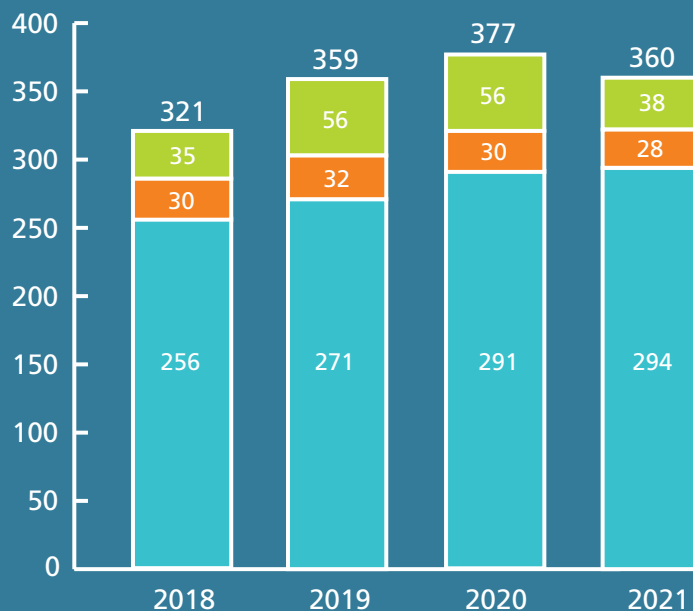
Die digitale und hybride Zusammenarbeit erleichtert vieles, aber sie stellt uns insbesondere beim Onboarding neuer Kolleginnen und Kollegen auch vor neue Aufgaben. Deshalb haben wir, begleitet von der Arbeitsgruppe »New Work«, gemeinsam neue Regeln zum mobilen Arbeiten entwickelt, in deren Zentrum das Vertrauen in unsere Mitarbeitenden steht und die deren Bedürfnis nach Freiheit und dem gleichzeitigen Erhalt von Teamgeist und Zusammenarbeit vereinen. So haben wir es geschafft, unsere Mitarbeitenden während der Pandemie bestmöglich zu schützen und trotzdem das gemeinsame Arbeiten in den Teams zu ermöglichen. Von diesen neu entwickelten Lösungen werden wir langfristig profitieren.

Eine unserer Kernkompetenzen ist es zu erforschen, wie Krisen optimal überstanden werden können und wir anschließend sogar gestärkt aus ihnen hervorgehen. Deshalb waren wir während der Pandemie ein gefragter Forschungspartner: Wir stehen und standen Firmen und Institutionen beratend zur Seite, die ihre Resilienz verbessern wollen, um für die nächste Krise gut vorbereitet zu sein.

Die Fraunhofer-weite Einführung von SAP verändert alle Prozesse der Verwaltung. Das kostet uns sehr viel Kraft und Durchhaltevermögen. Der Prozess ist stellenweise eine Zerreißprobe. Dass wir alle Aufgaben gemeinsam erfolgreich lösen können, lässt mich optimistisch in die Zukunft blicken: Wir werden auch künftig Krisen mit Resilienz begegnen und uns für weitere Veränderungen aufstellen. Ich möchte mich bei allen Mitarbeitenden aus der Verwaltung für ihren Einsatz herzlich bedanken.



- Wissenschaftliche Mitarbeitende in Fachabteilungen
- Nichtwissenschaftliche Mitarbeitende in Fachabteilungen
- Leitung und Infrastruktur
- Wissenschaftliche Hilfskräfte, Praktikantinnen und Praktikanten
- Auszubildende, DHBW-Studierende



- Wissenschaftliche Hilfskräfte, Praktikantinnen und Praktikanten
- Auszubildende, DHBW-Studierende
- Mitarbeitende Stammpersonal

Bereich Personal



Ende 2021 waren am Fraunhofer EMI insgesamt 360 Personen beschäftigt: 294 Mitarbeitende als Stammpersonal, 28 Auszubildende und DHBW-Studierende und 38 wissenschaftliche Hilfskräfte, Praktikantinnen und Praktikanten. Vom Stammpersonal waren 197 Mitarbeitende direkt in der Forschung und 97 Mitarbeitende im Bereich Leitung und Infrastruktur tätig. Der Anteil der weiblichen Beschäftigten des Stammpersonals lag bei 25,2 Prozent.

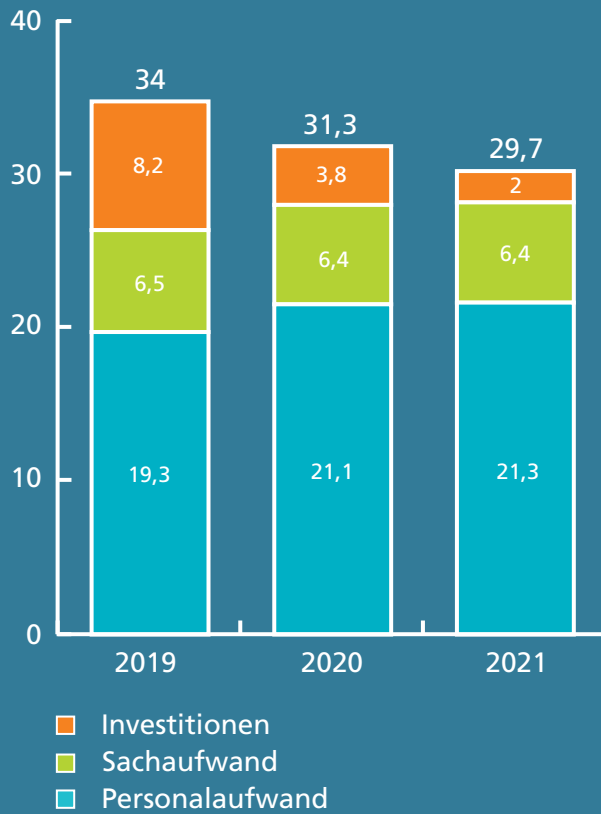
Von den insgesamt 28 Auszubildenden waren 20 in den Bereichen Feinwerkmechanik, Elektronik, Mediengestaltung und Verwaltung tätig. 8 Mitarbeitende wurden zum Zweck ihrer Berufsausbildung oder im Rahmen ihres Studiums an der Dualen Hochschule Baden-Württemberg am Fraunhofer EMI beschäftigt.

Bereich Finanzen

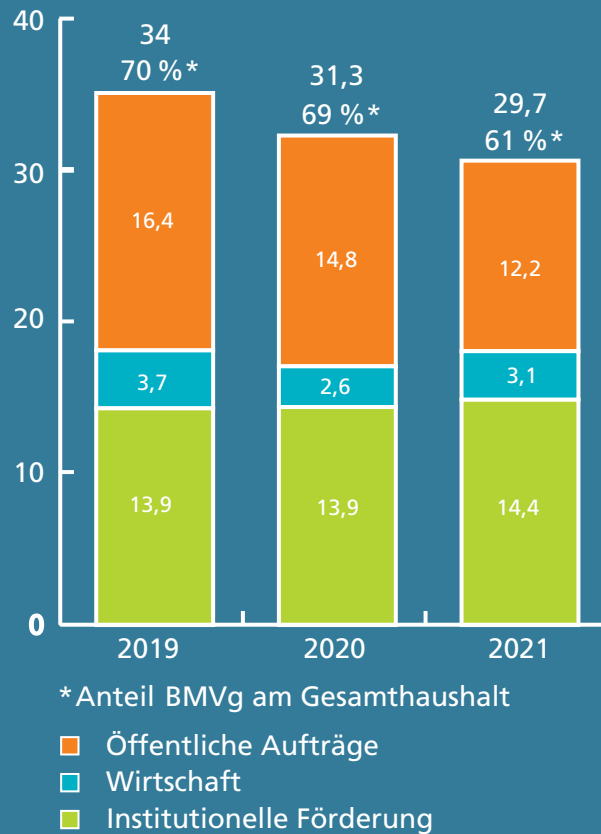


Der Gesamthaushalt des Fraunhofer EMI ist im Jahr 2021 mit circa 30 Millionen Euro etwas kleiner als im Vorjahr. Gewachsen ist der Betriebshaushalt mit 27,6 Millionen Euro (Personal- und Sachaufwendungen), während die laufenden Investitionen mit 2 Millionen Euro um 40 Prozent niedriger ausfielen. Hier spielt eine wichtige Rolle, dass es aufgrund der Pandemie bei fast allen Investitionsprojekten zu massiven Verzögerungen kam. Der Haushalt wird finanziert durch externe Erträge aus Industrie und öffentlicher Hand sowie durch die institutionelle Förderung (Grundfinanzierung) durch das Bundesministerium der Verteidigung (BMVg) und das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF). Mit 15,3 Millionen Euro externer Erträge wurde ein guter Wert erreicht, insbesondere sind die Aufträge von Industriekunden von 2,6 Millionen Euro (2020) auf jetzt 3,1 Millionen Euro (2021) angewachsen. Die zurückgehende Auftragslage im Verteidigungsbereich wurde durch starkes Wachstum im Bereich Sicherheit und Resilienz kompensiert. Dennoch: Der größte Teil des Betriebs- und des Investitionshaushalts wurde auch 2021 vom BMVg und nachgeordneten Dienststellen mit einem Anteil von 61 Prozent finanziert (2020: 69 Prozent).

Finanzierung Gesamthaushalt in Millionen Euro



Gesamthaushalt in Millionen Euro





Die Abteilung Infrastruktur ist eine interne, zentrale Dienstleistungseinheit. © Adobe Stock



Infrastruktur

Einleitung 114

Mehr Durchblick im Crashversuch 116

Der Ausbau des Fraunhofer-Crashzentrums mit dem Linearbeschleuniger Linac erweitert die Forschungsmöglichkeiten erheblich.

Infrastruktur

Arbeiten im Hintergrund, um anderen den Weg zu ebnen

Die Abteilung fasst die Themengebiete Werkstätten zur mechanischen Fertigung und Bearbeitung von Werkstoffen, Elektronik-Labor, Instandhaltung, technische Dienste, Bau und Arbeitsschutz am EMI zusammen. Für alle drei Standorte des EMI werden von 47 Mitarbeitenden (überwiegend) interne Dienstleistungen und Beratungskompetenz zur Verfügung gestellt, die die grundlegenden Anforderungen der forschenden Kollegen und Kolleginnen an ihren Arbeitsplätzen erfüllen und so die Arbeit am EMI unterstützen. Die beiden Werkstätten sowie das Elektronik-Labor sorgen ebenfalls kontinuierlich für die praktische Ausbildung in den betrieblichen Belangen jüngerer Personen, die einen Berufseinstieg anstreben. Über die Funktionen der Baubeauftragten und der Fachkraft für Arbeitssicherheit werden zentrale und übergeordnete Aufgaben wahrgenommen und koordiniert.



**Wenn man wüsste, was man tut,
wäre es keine Forschung.«**

Terry Pratchett (1948–2015),
britischer Humorist, Satiriker und Autor

Christophe Weishar
Abteilungsleiter Infrastruktur
christophe.weishar@emi.fraunhofer.de

Mehr Durchblick im Crashversuch

Ein Beitrag von Christophe Weishar, christophe.weishar@emi.fraunhofer.de

Der Ausbau des Fraunhofer-Crashzentrums mit dem Linearbeschleuniger Linac erweitert die Forschungsmöglichkeiten erheblich.

Die Bildgebung mit Röntgenstrahlung ist immer durch die Möglichkeiten der Strahlungsquellen begrenzt. Speziell bei der zeitlich aufgelösten Aufnahme schneller Prozesse hilft die Steigerung der Photonenenergie um den Faktor 20 durch das neue System Linac (linear accelerator) dem EMI, in völlig neue Bereiche vorzustoßen.

Zeitlich und räumlich hochauflösende Röntgenbilder sind eine der zentralen Kompetenzen des EMI von Beginn der Institutsgeschichte an. Die Möglichkeiten auf diesem Gebiet sollen mit dem Linearbeschleuniger Linac noch deutlich ausgeweitet werden. Die Technologie soll im Regelbetrieb Röntgenaufnahmen mit 1000 Bildern pro Sekunde ermöglichen, bei denen alle gängigen im Automobilbereich genutzten Materialien durchstrahlt werden können. Das wird möglich durch einen kontinuierlichen Strom von Röntgenpulsen, die durch einen hohen Kontrastumfang trotz verschiedenster Materialien eine Bildgebung möglich machen. Für spezielle Bildgebungen können Einzelteile im LiLa-Gebäude (LiLa: kurz für Linac-Labor) auch mit langen Belichtungszeiten untersucht werden. Außerdem eröffnet sich im LiLa damit die Perspektive für drei- oder sogar vierdimensionale Computertomografie. Ein solcher Linearbeschleuniger stellt sowohl in der Planung als auch in der baulichen Umsetzung große Anforderungen an die Planenden und beteiligten Firmen. Die

Komplexität des Vorhabens wird mitunter dadurch deutlich, dass 2022 nun ein acht Jahre andauerndes Projekt zum Abschluss gebracht wird. Koordiniert wird die Entwicklung des Projekts vor Ort unter anderem von Mitarbeitenden der Abteilung Infrastruktur in Bauübersicht und Abstimmung der Beteiligten.

Das Projekt besteht aus den beiden Teilen LiLa und Linac, wobei der Linac das Linearbeschleunigergerät selbst ist und das LiLa das Gebäude, also die Räumlichkeiten mit der gesamten Infrastruktur inklusive der Strahlenschutzmaßnahmen bezeichnet. Das LiLa als Gebäude ist 2021 komplett fertiggestellt und hinsichtlich des Strahlenschutzes in einer Sachverständigenprüfung im Dezember erfolgreich abgenommen worden. Hierfür wurde die Sicherheitssteuerung getestet und der Linac selbst kurzfristig in Betrieb genommen, um Strahlenschutzmessungen durchzuführen zu können. Erfreulicherweise hat der Linac direkt innerhalb der erwarteten Parameter funktioniert, sodass die Höhe der Strahlenbelastung im Experimentalbetrieb nachgestellt werden konnte. Nach Erledigung der letzten Arbeiten erwarten wir die Genehmigung zum Betrieb des Linac durch die Genehmigungsbehörde im Juni 2022.

Eines der Einsatzgebiete des Linac wird am Ende des Projekts die Bildgebung im Rahmen von Crashversuchen in der Crashhalle des Fraunhofer EMI sein. Damit der Linac hier

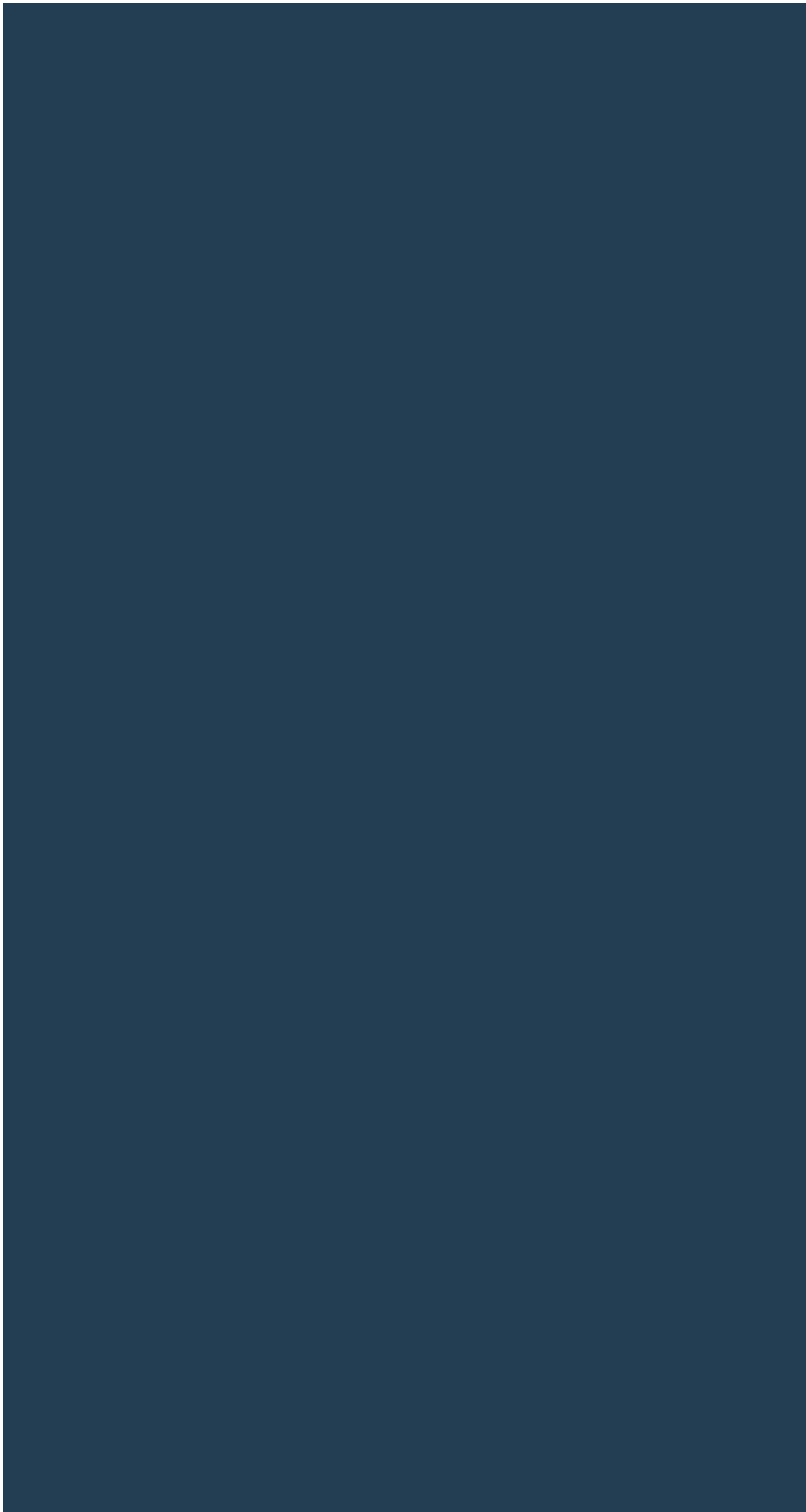


Außenansicht des neuen Linac-Labors LiLa, in dem sich der Linearbeschleuniger befindet.

eingesetzt werden kann, muss auch dieses Gebäude an die Anforderungen des Strahlenschutzes für diese Hochleistungsstrahlungsquelle angepasst werden. Die komplette Hallenwand zum Hof und die nördliche Seitenwand erhalten hierfür eine vollflächige Vorsatzwand aus Beton in 30 Zentimetern Stärke. Die Fenster und Türen müssen durch strahlenschutzsichere Alternativen ersetzt werden. So wurde zum Beispiel ein zusätzliches Tor mit einem Gewicht von 85 Tonnen installiert. Durch Bleiabschirmungen werden bestimmte Bereiche zusätzlich gegen die auftretende Strahlung gesichert, sodass die Bedienenden über das vom Strahlenschutzgesetz geforderte Maß geschützt werden. Die baulichen Maßnahmen müssen aber auch durch organisatorische Änderungen ergänzt und flankiert werden. Hierzu werden zusätzliche Bereiche im Strahlbetrieb gesperrt, was wiederum Anpassungen der Sicherheitstechnik an Türen und bei den Warnsignalen nach sich zieht. Da es hierbei eine große Anzahl an Regeln und Vorschriften aus dem Strahlenschutz zu beachten gibt und ein Projekt dieser Größenordnung immer von vielfältigen Wechselwirkungen, Planungsunsicherheiten und Zielkonflikten geprägt ist, stellt es für Planende, Firmen und Beteiligte des EMI eine große Herausforderung dar. Aufgrund regelmäßiger Abstimmung und einer intensiven Zusammenarbeit aller Beteiligten konnten bislang alle auftretenden Herausforderungen gemeistert werden.



Linearbeschleuniger Linac im Testbetrieb bei der Sachverständigenprüfung.



Das Institut im Profil



Ansprechpersonen



Institutsleiter
**Prof. Dr.-Ing. habil.
Stefan Hiermaier**

Telefon 0761 2714-101
stefan.hiermaier@emi.fraunhofer.de



Geschäftsführer
Stellvertretender Institutsleiter
Kommissarischer Verwaltungsleiter
Dr. Tobias Leismann

Telefon 0761 2714-102
tobias.leismann@emi.fraunhofer.de



Stellvertretender Institutsleiter
Geschäftsfeldleiter Raumfahrt
Prof. Dr. Frank Schäfer

Telefon 0761 2714-421
frank.schaefer@emi.fraunhofer.de



Abteilungsleiter Infrastruktur
Christophe Weishar

Telefon 07628 9050-700
christophe.weishar@emi.fraunhofer.de



Wissenschaftlicher Referent
des Institutsleiters
Leiter der Geschäftsstelle des
Leistungszentrums Nachhaltigkeit
Dr. Juri Lienert

Telefon 0761 2714-100
juri.lienert@emi.fraunhofer.de



Leiterin Strategisches Management
Dr. Birgit Drees

Telefon 0761 2714-466
birgit.drees@emi.fraunhofer.de



Geschäftsfeldleiter Verteidigung
Dr. Matthias Wickert

Telefon 0761 2714-120
matthias.wickert@emi.fraunhofer.de



Geschäftsfeldleiter
Sicherheit und Resilienz
Daniel Hiller

Telefon 0761 2714-488
daniel.hiller@emi.fraunhofer.de



Geschäftsfeldleiter Automotive
Dr. Jens Fritsch

Telefon 0761 2714-472
jens.fritsch@emi.fraunhofer.de



Geschäftsfeldleiter Luftfahrt
Dr. Michael May

Telefon 0761 2714-337
michael.may@emi.fraunhofer.de



Abteilungsleiterin Kommunikation
Birgit Bindnagel

Telefon 0761 2714-366
birgit.bindnagel@emi.fraunhofer.de



Kuratorium

Die Kuratorien der einzelnen Fraunhofer-Institute stehen der Institutsleitung und dem Vorstand der Gesellschaft beratend zur Seite. Das Kuratorium fördert die Kontakte des Instituts zu Organisationen und zur Industrie.

Hanna Böhme
Geschäftsführerin Freiburg Wirtschaft
Touristik und Messe GmbH & Co. KG,
FWTM, Freiburg

Dipl.-Ing. Thomas Gottschild (Vorsitz)
Geschäftsführer Wehrtechnik MBDA
Deutschland GmbH, Schrobenhausen

MinRin Sabine ten Hagen-Knauer
Referatsleiterin 524: Zivile Sicherheits-
forschung, Bundesministerium für Bildung
und Forschung, Bonn

Rainer Hoffmann
Geschäftsführer carhs.training GmbH,
Alzenau

MinR Dipl.-Phys. Claus Mayer
Leiter des Referats 33: Automobil- und
Produktionsindustrie, Logistik, Ministerium
für Wirtschaft, Arbeit und Tourismus
Baden-Württemberg, Stuttgart

Prof. Dr. Merith Niehuss
Präsidentin Universität der Bundeswehr
München, Neubiberg

Michael Schätzle
Leiter Produkt und Konzept (EP), Porsche AG,
Stuttgart

Oberst i. G. Jürgen Schmidt
Abteilungsleiter Kampf, Bundesamt für Aus-
rüstung, Informationstechnik und Nutzung
der Bundeswehr (BAAINBw), Koblenz

Dr. Tobias Schmidt
Abteilungsleiter und Leiter Entwicklung am
Standort Unterlüß, Rheinmetall Waffe und
Munition GmbH, Unterlüß

Prof. Dr.-Ing. Rodolfo Schöneburg
Road Safety Counselor, RSC Safety
Engineering, Hechingen

Dr. Isabel Thielen
Geschäftsführerin, Thielen Business
Coaching GmbH, München

MinR Dr. Dirk Tielbürger
Referatsleiter A III 6, Bundesministerium der
Verteidigung, Bonn

Die Fraunhofer-Gesellschaft

Rechts: die Fraunhofer-Zentrale in München.

Die Fraunhofer-Gesellschaft mit Sitz in Deutschland ist die weltweit führende Organisation für anwendungsorientierte Forschung. Mit ihrer Fokussierung auf zukunftsrelevante Schlüsseltechnologien sowie auf die Verwertung der Ergebnisse in Wirtschaft und Industrie spielt sie eine zentrale Rolle im Innovationsprozess. Sie ist Wegweiser und Impulsgeber für innovative Entwicklungen und wissenschaftliche Exzellenz. Mit inspirierenden Ideen und nachhaltigen wissenschaftlich-technologischen Lösungen fördert die Fraunhofer-Gesellschaft Wissenschaft und Wirtschaft und wirkt mit an der Gestaltung unserer Gesellschaft und unserer Zukunft.

Interdisziplinäre Forschungsteams der Fraunhofer-Gesellschaft setzen gemeinsam mit Vertragspartnern aus Wirtschaft und öffentlicher Hand originäre Ideen in Innovationen um, koordinieren und realisieren systemrelevante, forschungspolitische Schlüsselprojekte und stärken mit werteorientierter Wertschöpfung die deutsche und europäische Wirtschaft. Internationale Kooperationen mit exzellenten Forschungspartnern und Unternehmen weltweit sorgen für einen direkten Austausch mit den einflussreichsten Wissenschafts- und Wirtschaftsräumen.

Die 1949 gegründete Organisation betreibt in Deutschland derzeit 76 Institute und Forschungseinrichtungen. Mehr als 30 000 Mitarbeitende, überwiegend mit natur- oder ingenieurwissenschaftlicher Ausbildung, erarbeiten das jährliche Forschungsvolumen von 2,9 Milliarden Euro. Davon fallen 2,5 Milliarden Euro auf den Bereich Vertragsforschung. Rund zwei Drittel davon erwirtschaftet Fraunhofer mit Aufträgen aus der Industrie und mit öffentlich finanzierten Forschungsprojekten. Rund ein Drittel steuern Bund und Länder als Grundfinanzierung bei, damit die Institute schon heute Problemlösungen entwickeln können, die in einigen Jahren für Wirtschaft und Gesellschaft entscheidend wichtig werden.

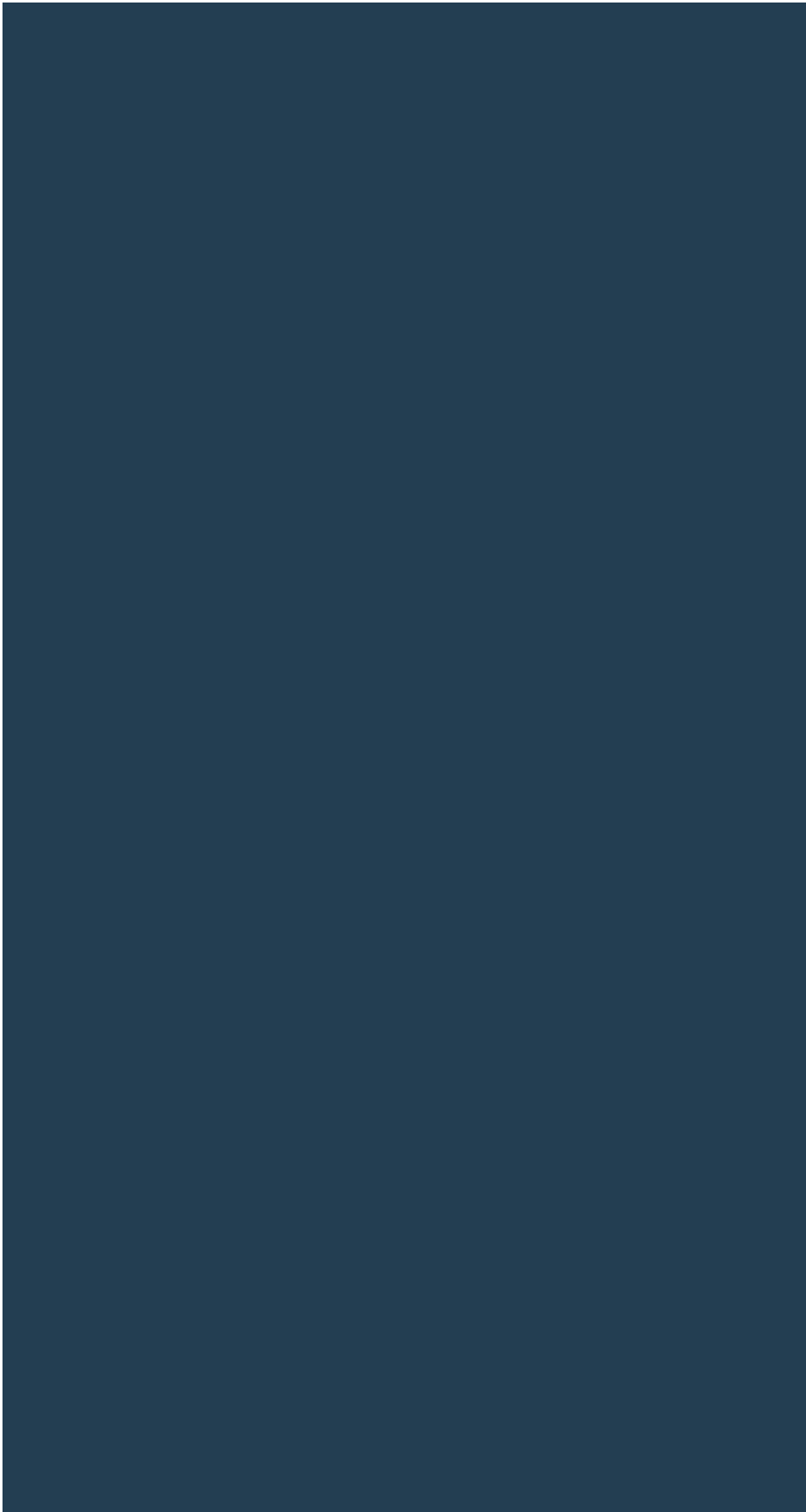
Die Wirkung der angewandten Forschung geht weit über den direkten Nutzen für die Auftraggeber hinaus: Fraunhofer-Institute stärken die Leistungsfähigkeit der Unternehmen, verbessern die Akzeptanz moderner Technik in der Gesellschaft und sorgen für die Aus- und Weiterbildung des dringend benötigten wissenschaftlich-technischen Nachwuchses.

Hochmotivierte Mitarbeitende auf dem Stand der aktuellen Spitzenforschung stellen für uns als Wissenschaftsorganisation den wichtigsten Erfolgsfaktor dar. Fraunhofer bietet daher die Möglichkeit zum selbstständigen, gestaltenden und zugleich zielorientierten Arbeiten und somit zur fachlichen und persönlichen Entwicklung, die zu anspruchsvollen Positionen in den Instituten, an Hochschulen, in Wirtschaft und Gesellschaft befähigt. Studierende eröffnen sich aufgrund der praxisnahen Ausbildung und des frühzeitigen Kontakts mit Auftraggebern hervorragende Einstiegs- und Entwicklungschancen in Unternehmen.

Namensgeber der als gemeinnützig anerkannten Fraunhofer-Gesellschaft ist der Münchner Gelehrte Joseph von Fraunhofer (1787–1826). Er war als Forscher, Erfinder und Unternehmer gleichermaßen erfolgreich.

Weitere Informationen finden Sie unter www.fraunhofer.de





Publikationen,
wissenschaftlicher
Austausch, Vorträge
2021/2022

Publikationen

Veröffentlichungen in Monografien, Fachzeitschriften und Proceedings mit Peer Review

Bauer, S.; Bagusat, F.; Strassburger, E.; Sauer, M.; Hiermaier, S. (2021): New insights into the failure front phenomenon and the equation of state of soda-lime glass under planar plate impact. In: *Journal of Dynamic Behavior of Materials* 7 (1), S. 81–106. DOI: 10.1007/s40870-020-00268-2.

Becker, M.; Balle, F. (2021): Multi-spot ultrasonic welding of aluminum to steel sheets: process and fracture analysis. In: *Metals* 11 (5), S. 779. DOI: 10.3390/met11050779.

Bessler, S.; Hess, K.; Weigt, H.; Ramin, M. von (2021): Biological transformation-battery protection inspired by wound healing. In: *Bioinspiration & biomimetics* 16 (5). DOI: 10.1088/1748-3190/ac1249.

Blanke, F.; Boljen, M.; Lutter, C.; Oehler, N.; Tischer, T.; Vogt, S. (2021): Does the anterolateral ligament protect the anterior cruciate ligament in the most common injury mechanisms? A human knee model study. In: *The Knee* 29, S. 381–389. DOI: 10.1016/j.knee.2021.02.026.

Butz, I.; Moser, S.; Nau, S.; Hiermaier, S. (2021): Data assimilation of structural deformation using finite element simulations and single-perspective projection data based on the example of X-ray imaging. In: *SN Applied Sciences* 3 (5), S. 155. DOI: 10.1007/s42452-021-04522-7.

Contell Asins, C.; Landersheim, V.; Laveuve, D.; Adachi, S.; May, M.; Wacker, J.-D.; Decker, J. (2021): Analysis and design of a leading edge with morphing capabilities for the wing of a regional aircraft – gapless chord- and camber-increase for high-lift performance. In: *Applied Sciences* 11 (6), S. 2752. DOI: 10.3390/app11062752.

D’haen, J. J. A.; May, M.; Boegle, C.; Hiermaier, S. (2022): Damage evolution analysis on compression-loaded

multidirectional carbon fiber laminates using ex-situ CT scans. In: *Journal of Composites Science* 6 (2), S. 63. DOI: 10.3390/jcs6020063.

D’haen, J. J. A.; May, M.; Knoll, O.; Kersch, S.; Hiermaier, S. (2021): Strain acquisition framework and novel bending evaluation formulation for compression-loaded composites using digital image correlation. In: *Materials* 14 (20). DOI: 10.3390/ma14205931.

Del Linz, P.; Fung, T. C.; Lee, C. K.; Riedel, W. (2021): Response mechanisms of reinforced concrete panels to the combined effect of close-in blast and fragments: An integrated experimental and numerical analysis. In: *International Journal of Protective Structures* 12 (1), S. 49–72. DOI: 10.1177/2041419620923129.

Domaneschi, M.; Cimellaro, G. P.; Xie, L.; Bruneau, M.; Wu, Z.; Didier, M. et al. (2021): Present and future resilience research driven by science and technology. In: *International Journal of Sustainable Materials and Structural Systems* 5 (1/2), S. 50. DOI: 10.1504/IJSMSS.2021.115783.

Finger, J.; Ross, K.; Häring, I.; Restayn, E.-M.; Siebold, U. (2021): Open chance and risk management process supported by a software tool for improving urban security. In: *European Journal for Security Research* 6 (1), S. 39–71. DOI: 10.1007/s41125-021-00072-6.

Fischer, G.; Bordoy, J.; Schott, D. J.; Xiong, W.; Gabbrielli, A.; Höflinger, F. et al. (2022): Multimodal indoor localization: fusion possibilities of ultrasonic and Bluetooth low-energy data. In: *IEEE Sensors Journal* 22 (6), S. 5857–5868. DOI: 10.1109/JSEN.2022.3148529.

Fischer, G.; Zeqiri, F.; Gabbrielli, A.; Schott, J. D.; Bordoy, J.; Xiong, W. et al. (2021): Localization of acoustic gas leakage sources with a circular microphone array. In: *Proceedings of the 2021 International Conference on Indoor Positioning and*

Indoor Navigation (IPIN). Lloret de Mar, Spain, 29.11.–2.12.2021: IEEE, S. 1–7.

Fischer, K.; van der Woerd, J. D.; Harwick, W.; Stolz, A. (2021): Dynamic bearing capacity of point fixed corrugated metal profile sheets subjected to blast loading. In: *International Journal of Protective Structures* 48, S. 1–22. DOI: 10.1177/20414196211059201.

Gabbrielli, A.; Xiong, W.; Schott, D. J.; Fischer, G.; Wendeberg, J.; Höflinger, F. et al. (2021): An echo suppression delay estimator for angle-of-arrival ultrasonic indoor localization. In: *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement* 70, S. 1–12. DOI: 10.1109/TIM.2021.3083558.

Ganter, S.; Balbi, A.; Finger, J.; Schäffer, L.; Bolletta, F.; Fuggini, C. et al. (2021): Conceptual model and CONOPS for secure and resilient gas critical infrastructure. In: J. Soldatos, I. Praça und A. Jovanović (Hg.): *Cyber-Physical Threat Intelligence for Critical Infrastructures Security*: Now Publishers, S. 309–326.

Gärtner, M.; Ebert, M.; Schimmerohn, M.; Hergarten, S.; Schäfer, F.; Kenkmann, T.; Gulde, M. (2021): The first micro-seconds of a hypervelocity impact. In: W. U. Reimold und C. Koeberl (Hg.): *Large Meteorite Impacts and Planetary Evolution VI*, Bd. 10, S. 407–417.

Grunwald, C.; Durr, N.; Sauer, M.; Riedel, W.; Hiermaier, S. (2021): A concurrent two-scale coupling for wave propagation using direct solution schemes with explicit time integration. In: *International Journal for Numerical Methods in Engineering* 37 (1), S. 23. DOI: 10.1002/nme.6795.

Hahn, P.; Channammagari, H.; Imbert, M.; May, M. (2022): High-rate mode II fracture toughness testing of polymer matrix composites using the Transverse Crack Tension (TCT) test. In: *Composites Part B: Engineering* 233 (10–11), S. 109636. DOI: 10.1016/j.compositesb.2022.109636.

Häring, I. (2021): *Technical Safety, Reliability and Resilience*. Singapore: Springer Singapore.

Häring, I.; Fehling-Kaschek, M.; Miller, N.; Faist, K.; Ganter, S.; Srivastava, K. et al. (2021): A performance-based tabular approach for joint systematic improvement of risk control and resilience applied to telecommunication grid, gas network, and ultrasound localization system. In: *Environment Systems and Decisions* 117 (2), S. 286–329. DOI: 10.1007/s10669-021-09811-5.

Häring, I.; Lüttner, F.; Frorath, A.; Fehling-Kaschek, M.; Ross, K.; Schamm, T. et al. (2022): Framework for safety assessment of autonomous driving functions up to SAE level 5 by self-learning iteratively improving control loops between development, safety and field life cycle phases. In: *Proceedings of the IEEE ICCP 2021, 17th International Conference on Intelligent Computer Communication and Processing*. Cluj-Napoca, Romania, 28.–30.10.2021.

Häring, I.; Schäfer, J.; Vogelbacher, G.; Fischer, K.; Riedel, W.; Faist, K. et al. (2021): From event to performance function-based resilience analysis and improvement processes for more sustainable systems. In: *International Journal of Sustainable Materials and Structural Systems* 5 (1/2), S. 90. DOI: 10.1504/IJSMSS.2021.115784.

Häring, I.; Schäffer, L.; Restayn, E.-M.; Vogelbacher, G.; Stolz, A.; Finger, J. (2021): Formalization of questionnaire-based score card risk control and resilience assessment for critical infrastructure operators and companies countering Covid-19. In: *Proceedings of the 31st European Safety and Reliability Conference (ESREL)*. Unter Mitarbeit von B. Castanier, M. Cepin, D. Bigaud und C. Berenguer (Hg.), S. 2862–2869.

Heilig, G.; May, M. (2021): Hydrodynamic ram effect driven by a hollow spherical hypervelocity projectile. In: *Results in Engineering* 11 (1), S. 100269. DOI: 10.1016/j.rineng.2021.100269.

- Heine, A.; Wickert, M. (2021): Note on: "Ballistic model for the prediction of penetration depth and residual velocity in adobe: A new interpretation of the ballistic resistance of earthen masonry". In: *Defence Technology* 14, S. 607. DOI: 10.1016/j.dt.2021.09.003.
- Imbert, M.; Hahn, P.; Jung, M.; Balle, F.; May, M. (2022): Mechanical laminae separation at room temperature as a high-quality recycling process for laminated composites. In: *Materials Letters* 306, S. 130964. DOI: 10.1016/j.matlet.2021.130964.
- Jain, A. K.; Schott, D. J.; Scheithauer, H.; Häring, I.; Höflinger, F.; Fischer, G. et al. (2021): Simulation-based resilience quantification of an indoor ultrasound localization system in the presence of disruptions. In: *Sensors* 21 (19). DOI: 10.3390/s21196332.
- Jakkula, P.; Ganzenmüller, G. C.; Beisel, S.; Hiermaier, S. (2021): Investigating slow shock in low-impedance materials using a direct impact Hopkinson bar setup. In: *EPJ Web of Conferences* 250, S. 6009. DOI: 10.1051/epjconf/202125006009.
- Jakkula, P.; Ganzenmüller, G. C.; Beisel, S.; Rühnick, P.; Hiermaier, S. (2021): The Symmpact: A direct-impact Hopkinson bar setup suitable for investigating dynamic equilibrium in low-impedance materials. In: *Experimental Mechanics* 6 (2), S. 113. DOI: 10.1007/s11340-021-00785-8.
- Jakkula, P.; Ganzenmüller, G. C.; Gutmann, F.; Pfaff, A.; Mermagen, J.; Hiermaier, S. (2021): Strain rate sensitivity of the additive manufacturing material Scalmetalloy®. In: *Journal of Dynamic Behavior of Materials*. DOI: 10.1007/s40870-021-00298-4.
- Kisters, T.; Gilaki, M.; Nau, S.; Sahraei, E. (2022): Modeling of dynamic mechanical response of Li-ion cells with homogenized electrolyte-solid interactions. In: *Journal of Energy Storage* 49, S. 104069. DOI: 10.1016/j.est.2022.104069.
- Kisters, T.; Keshavarzi, M.; Kuder, J.; Sahraei, E. (2021): Effects of electrolyte, thickness, and casing stiffness on the dynamic response of lithium-ion battery cells. In: *Energy Reports* 7 (2020), S. 6451–6461. DOI: 10.1016/j.egy.2021.09.107.
- Kisters, T.; Kuder, J.; Töpel, A.; Langkemper, R.; Nau, S.; Schopperer, S. (2021): Strain-rate dependence of the failure behavior of Lithium-Ion pouch cells under impact loading. In: *Journal of Energy Storage* 41 (100550), S. 102901. DOI: 10.1016/j.est.2021.102901.
- Köpke, C.; Eberhardt, D.; Fehling-Kaschek, M.; Papagianopoulos, N.; Stolz, A. (2021): Impact of distance rules on infrastructure resilience. In: *Proceedings of the 31st European Safety and Reliability Conference (ESREL)*. Unter Mitarbeit von B. Castanier, M. Cepin, D. Bigaud und C. Berenguer (Hg.), S. 3155–3162.
- Köpke, C.; Srivastava, K.; König, L.; Miller, N.; Fehling-Kaschek, M.; Burke, K. et al.: Impact propagation in airport systems. In: H. Abie (Hg.): *Cyber-Physical Security for Critical Infrastructures Protection*. CPS4CIP 2020, Bd. 12618 (Lecture Notes in Computer Science 12618), S. 191–206.
- Köpke, C.; Srivastava, K.; Miller, N.; Branchini, E. (2022): Resilience quantification for critical infrastructure: exemplified for airport operations. In: *Computer Security. ESORICS 2021 International Workshops*. ESORICS 2021. Lecture Notes in Computer Science, Bd. 13106: Springer, S. 451–460.
- Langkemper, R.; Moser, S.; Büttner, M.; Rakus, D.; Sättler, A.; Nau, S. (2022): A priori information based time-resolved 3D analysis of the trajectory and spatial orientation of fast-moving objects using high-speed flash X-ray imaging. In: *Journal of Imaging* 8 (2). DOI: 10.3390/jimaging8020028.
- Ledford, N.; Imbert, M.; May, M. (2021): High-rate in-plane shear testing of CFRP using the Split Hopkinson Tension Bar. In: *AIAA Journal*. DOI: 10.2514/6.2021-0167.

- Ledford, N.; Imbert, M.; May, M. (2021): High-rate in-plane shear testing of IM7/8552 using the Split Hopkinson Tension Bar. In: *AIAA Journal* 59 (10), S. 4257–4263. DOI: 10.2514/1.J060269.
- May, M.; Arnold-Keifer, S.; Landersheim, V.; Laveuve, D.; Contell Asins, C.; Imbert, M. (2021): Bird strike resistance of a CFRP morphing leading edge. In: *Composites Part C: Open Access* 4 (1129), S. 100115. DOI: 10.1016/j.jcomc.2021.100115.
- May, M.; Kilchert, S. (2021): The effect of loading rate on the in-plane shear strength of tri-axial braided composites. In: *Journal of Composite Materials*. DOI: 10.1177/00219983211047687.
- May, M.; Kilchert, S.; Gerster, T. (2021): A modified compact tension test for characterization of the intralaminar fracture toughness of tri-axial braided composites. In: *Materials* 14 (17). DOI: 10.3390/ma14174890.
- Mielniczek, J.; Köpke, C.; Srivastava, K.; Schröder, E. (2021): Cyber-physical security and resilience for offshore wind farms. In: *Proceedings of the European Workshop on Maritime Systems Resilience and Security (MARESEC 2021)*. Bremerhaven.
- Miller, N.; Satsrisakul, Y.; Faist, K.; Fehling-Kaschek, M.; Crabbe, S.; Poliotti, M. et al. (2021): A risk and resilience approach for railway networks. In: *Proceedings of the 31st European Safety and Reliability Conference (ESREL)*. Unter Mitarbeit von B. Castanier, M. Cepin, D. Bigaud und C. Berenguer (Hg.), S. 2071–2078.
- Mylo, M. D.; Hofmann, M.; Balle, F.; Beisel, S.; Speck, T.; Speck, O. (2022): Biomechanics of the parasite-host interaction of the European mistletoe. In: *Journal of experimental botany* 73 (4), S. 1204–1221. DOI: 10.1093/jxb/erab518.
- Okafor, C. E.; Kebodi, L. C.; Kandasamy, J.; May, M.; Ekengwu, I. E. (2022): Properties and performance index of natural fiber reinforced cross-ply composites made from *Dioscorea alata* stem fibers. In: *Composites Part C: Open Access* 7 (4), S. 100213. DOI: 10.1016/j.jcomc.2021.100213.
- Oliveira, P. R.; Kilchert, S.; May, M.; Panzera, T. H.; Scarpa, F.; Hiermaier, S. (2021): Environmental assessment of discarded plastic caps as a honeycomb core: An eco-mechanical perspective. In: *Journal of Industrial Ecology* 41 (2), S. 133. DOI: 10.1111/jiec.13211.
- Oliveira, P.; Kilchert, S.; May, M.; Panzera, T.; Scarpa, F.; Hiermaier, S. (2021): Numerical and experimental investigations on sandwich panels made with eco-friendly components under low-velocity impact. In: *Journal of Sandwich Structures & Materials*. DOI: 10.1177/10996362211020428.
- Oliveira, P.; May, M.; Kilchert, S.; Ávila de Oliveira, L.; Panzera, T. H.; Placet, V. et al. (2021): Eco-friendly panels made of autoclaved flax composites and upcycled bottle caps core: experimental and numerical analysis. In: *Composites Part C: Open Access* 4 (1–3), S. 100114. DOI: 10.1016/j.jcomc.2021.100114.
- Rae, A. S. P.; Kenkmann, T.; Padmanabha, V.; Poelchau, M. H.; Schäfer, F.; Dörfler, M. A.; Müller, L. (2022): Dynamic compressive strength and fragmentation in sedimentary and metamorphic rocks. In: *Tectonophysics* 824, S. 229221. DOI: 10.1016/j.tecto.2022.229221.
- Ramírez-Agudelo, O. H.; Köpke, C.; Guillouet, Y.; Schäfer-Frey, J.; Engler, E.; Mielniczek, J.; Sill Torres, F. (2021): An expert-driven probabilistic assessment of the safety and security of offshore wind farms. In: *Energies* 14 (17), S. 5465. DOI: 10.3390/en14175465.
- Reich, S.; Schäffer, S.; Lück, M.; Wickert, M.; Osterholz, J. (2021): Continuous wave high-power laser propagation in water is affected by strong thermal lensing and thermal blooming already at short distances. In: *Scientific reports* 11 (1), S. 22619. DOI: 10.1038/s41598-021-02112-6.

- Rey-de-Pedraza, V.; Ruiz Ripoll, M. L.; Roller, C.; Cendón, D. A.; Gálvez, F. (2022): Validation of two different analysis techniques to obtain dynamic mechanical properties of concrete using a modified Hopkinson Bar. In: *International Journal of Impact Engineering* 161 (1), S. 104107. DOI: 10.1016/j.ijimpeng.2021.104107.
- Sauer, C.; Bagusat, F.; Ruiz Ripoll, M.-L.; Roller, C.; Sauer, M.; Heine, A.; Riedel, W. (2022): Hugoniot data and equation of state parameters for an ultra-high performance concrete. In: *Journal of Dynamic Behavior of Materials* 8 (1), S. 2–19. DOI: 10.1007/s40870-021-00315-6.
- Schäfer, K.; Horch, C.; Busch, S.; Schäfer, F. (2021): A heterogeneous, reliable onboard processing system for small satellites. In: *2021 IEEE International Symposium on Systems Engineering (ISSE)*. Wien, Österreich, 13.9.–13.10.2021: IEEE.
- Schäffer, L.; Föhrenbacher, E.; Waseem, A.; Häring, I.; Finger, J.; Stolz, A. (2021): Large scale landslide and flooding hazard susceptibility assessment using semi-automated frequency ratio (FR) model. In: *Proceedings of the 31st European Safety and Reliability Conference (ESREL)*. Unter Mitarbeit von B. Castanier, M. Cepin, D. Bigaud und C. Berenguer (Hg.), S. 896–903.
- Scholz, J.-A.; Oertwig, N.; Delleske, C.; Fischer, K.; Knothe, T.; Stolz, A.; Kohl, H. (2021): Situation awareness monitor and liquidity assessment for enterprise resilience management. Unter Mitarbeit von My University, David Herberger und Marco Hübner. In: *CONFERENCE ON PRODUCTION SYSTEMS AND LOGISTICS CPSL 2021; 2nd Conference on Production Systems and Logistics*. Online verfügbar unter <https://www.repo.uni-hannover.de/bitstream/handle/123456789/11359/Scholz%202021%20-%20Situation%20Awareness%20Monitor%20And%20Liquidity%20Assessment%20-%20CPSL%202021.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- Schott, D. J.; Gabbrielli, A.; Xiong, W.; Fischer, G.; Höflinger, F.; Wendeberg, J. et al. (2021): Asynchronous chirp slope keying for underwater acoustic communication. In: *Sensors* 21 (9), Article No. 3282. DOI: 10.3390/s21093282.
- Schott, D. J.; Saphala, A.; Fischer, G.; Xiong, W.; Gabbrielli, A.; Bordoy, J. et al. (2021): Comparison of direct intersection and sonogram methods for acoustic indoor localization of persons. In: *Sensors* 21 (13). DOI: 10.3390/s21134465.
- Signetti, S.; Heine, A. (2021): Characterization of the transition regime between high-velocity and hypervelocity impact: thermal effects and energy partitioning in metals. In: *International Journal of Impact Engineering* 151 (2), S. 103774. DOI: 10.1016/j.ijimpeng.2020.103774.
- Stilz, M.; Plappert, D.; Gutmann, F.; Hiermaier, S. (2021): A 3D extension of pantographic geometries to obtain metamaterial with semi-auxetic properties. In: *Mathematics and Mechanics of Solids*, 108128652110333. DOI: 10.1177/10812865211033322.
- Suarez-Del Fueyo, R.; Junge, M.; Lopez-Valdes, F.; Gabler, H. C.; Woerner, L.; Hiermaier, S. (2021): Injury patterns within clusters of seriously injured occupants comparing real-world crashes in the United States and the European Union. In: *Traffic injury prevention*, S. 1–10. DOI: 10.1080/15389588.2020.1862805.
- Sutherland, C.; Reynaert, E.; Sindall, R. C.; Riechmann, M. E.; Magwaza, F.; Lienert, J. et al. (2021): Innovation for improved hand hygiene: Field testing the Autarky handwashing station in collaboration with informal settlement residents in Durban, South Africa. In: *The Science of the total environment* 796, S. 149024. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.149024.
- Trippel, A.; Gutmann, F.; Ganzenmüller, G. C.; Hiermaier, S. (2021): 2D numerical simulation of auxetic metamaterials based on global DIC. In: *EPJ Web of Conferences* 250 (12), S. 2002. DOI: 10.1051/epjconf/202125002002.
- Trube, N.; Riedel, W.; Boljen, M. (2021): How muscle stiffness affects human body model behavior. In: *Biomedical engineering online* 20 (1), S. 53. DOI: 10.1186/s12938-021-00876-6.

Tu, H.; Fung, T. C.; Tan, K. H.; Riedel, W. (2022): An analytical model to predict spalling and breaching of concrete plates under contact detonation. In: *International Journal of Impact Engineering* 160 (S1), S. 104075. DOI: 10.1016/j.ijimpeng.2021.104075.

Varga, M.; Herr, M.; Widder, L.; Campos, L. A. de; Mermagen, J. (2021): Ceramic-rubber hybrid materials – A knowledge-based design concept. In: *Wear* 267 (1), S. 203735. DOI: 10.1016/j.wear.2021.203735.

Wolfrum, J.; Eibl, S.; Oeltjen, E.; Osterholz, J.; Wickert, M. (2021): High-energy laser effects on carbon fiber reinforced polymer composites with a focus on perforation time. In: *Journal of Composite Materials* 55 (16), S. 2249–2262. DOI: 10.1177/0021998320988885.

Xiong, W.; Bordoy, J.; Gabbrielli, A.; Fischer, G.; Schott, D. J.; Höflinger, F. et al.: Two efficient and easy-to-use NLOS mitigation solutions to indoor 3-D AOA-based localization. In: *Proceedings of the 2021 International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN)*, S. 1–8.

Xiong, W.; Bordoy, J.; Schindelbauer, C.; Gabbrielli, A.; Fischer, G.; Schott, D. J. et al. (2021): Data-selective least squares methods for elliptical localization with NLOS mitigation. In: *IEEE Sensors Letters* 5 (7), S. 1–4. DOI: 10.1109/LENS.2021.3087422.

Zalitis, I.; Dolgicers, A.; Zemite, L.; Ganter, S.; Kopustinskas, V.; Vamanu, B. et al. (2021): A linearized numerical solution for steady-state simulations of gas networks. In: *Latvian Journal of Physics and Technical Sciences* 58 (3), S. 137–153. DOI: 10.2478/lpts-2021-0022.

Zehetner, J.; Häring, I.; Weber, U.; Riedel, W. (2021): Eye-tracking based quantification of the safety of human-machine interfaces of complementary protective system functions. In: *International Journal of Occupational and Environmental Safety* 5 (2), S. 1–13. DOI: 10.24840/2184-0954_005.002_0001.

Veröffentlichungen in Monografien, Fachzeitschriften und Proceedings ohne Peer Review

Altes, A.; Schaufelberger, B.; Matura, P. (2021): Modeling the mechanical behavior of a Li-ion pouch cell under three-point bending. In: *Proceedings of the 13th European LS-DYNA Conference 2021*. Ulm.

Busch, S.; Horch, C.; Schäfer, K.; Schimmerohn, M.; Schäfer, F. (2021): A flexible test and operations automation framework for agile satellite engineering. In: *Workshop on Simulation and EGSE for Space Programmes (SESP)*, 30.3.–1.4.2021.

Gutmann, F. (2021): Pantographische Struktur mit mikroskopischen Gelenken als programmierbares Metamaterial. In: *Newsletter Fraunhofer Kompetenzfeld Additive Fertigung*, Bd. 2.

Herr, M.; Varga, M.; Mermagen, J.; Rödinger, S.; Harwick, W. (2021): Ceramic-rubber hybrid materials – A way to sustain abrasive heavy impact applications. In: *Proceedings of the 13th European LS-DYNA Conference 2021*. Ulm.

Heß, S. (2021): Potenzial der Digitalisierung für die Gefechtsausbildung auf Truppenübungsplätzen mit scharfem Schuss. In: *Wehrwissenschaftliche Forschung Jahresbericht 2020*. Wehrwissenschaftliche Forschung für die deutschen Streitkräfte.

Jacka, C.; Peña, S.; Ordonez, R. C.; Lingard, D.; Neudegg, D.; Stamatescu, V. et al. (2021): Demonstration of a hybrid space architecture during RIMPAC 2020. In: *Proceedings of the 35th Small Satellite Conference*.

Kappe, K. (2021): Sustainable design with topology optimization for laser powder bed fusion of metals. In: *Newsletter Fraunhofer Kompetenzfeld Additive Fertigung*, Bd. 1.

Kappe, K.; Bihler, M.; Morawietz, K.; Pfaff, A.; Bierdel, M.; Huber, J. et al. (2021): Investigation of additively manufactured structurally integrated heat pipes for CubeSats. In: *Proceedings*

of the 72nd International Astronautical Congress (IAC). Dubai, 25.–29.10.2021.

Kappert, H.; Schopferer, S.; Döring, R.; Ziesche, S.; Olowinsky, A.; Naumann, F. et al. (2021): Smart sensor systems for extremely harsh environments. In: Proceedings of the SMSI 2021, Sensor and Measurement Science International. Digital Conference, 3–6 May, 2021. Wunstorf, 3.–6.5.2021: AMA Service, S. 81–82.

Labusch, C.; Matura, P.; Schaufelberger, B. (2022): Strömungssimulationen eines Klassenzimmers – Aerosolausbreitung und Lüftungskonzepte im Kontext der Corona-Pandemie. In: 15. Anwendertreffen der FDS Usergroup – Tagungsband. Berlin, 4.–5.11.2021, S. 99–110.

n. a. (2021): Lego-Auto-Crash mit Highspeed-Röntgendiagnostik. In: c't (1). Online verfügbar unter <https://www.heise.de/select/ct/2021/1/2031410504421478307>.

Putzar, R.; Schäfer, F. (2021): Vulnerability of spacecraft nickel-cadmium batteries to hypervelocity impacts. In: Proceedings of the 8th European Conference on Space Debris.

Reich, S.: Application Note des Herstellers: Messung der Oberflächenveränderungen durch Laser-Bestrahlung (700 °C). In: Micro-Epsilon 2021.

Sauer, C.; Heine, A.; Riedel, W. (2022): Development of numerical models for the ballistic response of building materials. In: Periodic Bulletin of the International Ballistics Society (11), S. 8–9.

Schaufelberger, B.; Matura, P. (2021): Ausbreitung exhalierter Aerosole in Innenräumen – Strömungssimulationen im Hinblick auf SARS-CoV-2. In: 14. Anwendertreffen der FDS Usergroup – Tagungsband, S. 77–87.

Schimmerohn, M.; Ledford, N.; Putzar, R.; Horch, C.; Busch, S.; Millinger, M.; Schäfer, F. (2021): LArID: Concept of a large area low resource integrated impact detector. In: Proceedings of the 72nd International Astronautical Congress (IAC). Dubai, 25.–29.10.2021.

Zakharova, M.; Mikhaylov, A.; Reich, S.; Plech, A.; Kunka, D. (2021): Bulk morphology of porous materials at submicrometer scale studied by multi-modal X-ray imaging with Hartmann masks. Online verfügbar unter <https://arxiv.org/pdf/2110.07475.pdf>.

Wissenschaftlicher Austausch, Vorträge

Vorträge auf Tagungen, Symposien, Kolloquien, auswärtigen Seminaren und wichtigen Arbeitssitzungen

Altes, A.; Schaufelberger, B.; Matura, P. (05.2021): Modeling the Mechanical Behavior of a Li-Ion Pouch Cell under Three-Point Bending. 13th European LS-DYNA Conference. Ulm, 5.–7.10.2021.

Arnold-Keifer, S.; Imbert, M.; Groß, N.; May, M. (2021): Towards controlled peeling as a process to recover reusable organosheet laminae. 8th ECCOMAS Thematic Conference on the Mechanical Response of Composites: COMPOISTES 2021. Online, 22.9.2021.

Aurich, H.; Strobl, M.; Denefeld, V. (2021): Sprengphysik am Ernst-Mach-Institut (EMI) am Beispiel Munitionssicherheit. Explosivstoffgespräch 2021 (EXG21). Online, 26.4.2021.

Boljen, M.; Klein, H.; Jenerowicz, M.; Trube, N. (2021): How to Combine 3D Textile Modeling with Latest FE-HBM. ECCOMAS Congress & 14th WCCM, 11.1.2021.

Boljen, M.; Lienhard, J. (2021): Untersuchungen zur Crashsicherheit von E-Scooter-Fahrern – das Projekt HUMAD. *crashMAT-Workshop*, 29.9.2021.

Busch, S. (2021): A flexible test and operations automation framework for agile satellite engineering. Workshop on Simulation and EGSE for Space Programmes (SESP), 30.3.2021.

Crabbe, S. (2021): Präsentation von SAFETY4RAILS. 9. Sitzung der EU rail and passenger security platform (RAILSEC). Online, 16.2.2021.

Crabbe, S. (2021): Präsentation von SAFETY4RAILS unter der Schirmherrschaft der Community of European Research and Innovation for Security (CERIS). Online, 5.5.2021.

Crabbe, S. (2021): Präsentation von SAFETY4RAILS unter der Schirmherrschaft der Community of European Research and Innovation for Security (CERIS). Online, 14.6.2021.

Crabbe, S. (2021): Präsentation von SAFETY4RAILS bei einem virtuellen Treffen zwischen der DG MOVE SECURITY und European Organisation for Security (EOS) (Integrated Border Security and Soft Target and Critical Infrastructure Protection Working Groups). Online, 10.9.2021.

Denefeld, V.; Aurich, H. (2021): Einbettung einer skalierten Ladung im Quarzsand. WTD 91. Meppen, 9.6.2021.

Finger, J.: Stadtsicherheit 3D. Vierteilige Prävarreihe März bis Mai 2021. Deutscher Präventionstag.

Finger, J.; Schilling, A. (2021): Bewertung der urbanen Sicherheit mit 3D-Stadtmodellen. 26. Deutscher Präventionstag. Deutscher Präventionstag gemeinnützige GmbH. Online, 5.10.2021. Online verfügbar unter <https://www.praeventionstag.de/nano.cms/vortraege/id/5329>.

Gutmann, F. (2021): Additive manufacturing of non-assembly systems. SCHARF Kolloquium. Carl-Zeiss-Stiftung, 28.7.2021.

Gutmann, F. (2021): Promotion Florian Gutmann. CPM-Vernetzungstag, Fraunhofer Forschungscluster Programmierbare Materialien, 26.10.2021.

Heldt, C.; Nau, S. (2021): Future Combat Training System, Sicheres Üben in realitätsnahen, komplexen Szenarien im scharfen und simulierten Schuss. DWT, SGW-Forum: Wirkung und Schutz #neu, Klassische und künftige Aspekte, Wechselwirkungen und Resilienz. Bonn, 20.9.2021.

Heunoske, D.; Lück, M.; Wickert, M.; Osterholz, J. (2021): Spectroscopic and interferometric investigation of plasma dynamics in high-power cw laser-matter interaction. Global Summit and Expo on Laser Optics and Photonics (GSELOP). Paris, 2021.

- Heusinger, V. (2021): Interview mit der Wissenschaftlerin und Gruppenleiterin am EMI Dr. Victoria Heusinger »Traut Euch!« Über eine Karriere in der Forschung, 2021. Online verfügbar unter <https://www.emi.fraunhofer.de/de/karriere/-traut-euch---interview-mit-dr--victoria-heusinger.html>.
- Hoschke, K. (2021): Sustainable design for structural components, Process-specific topology optimization with SLM resource modeling. Rapid.Tech, Fraunhofer-Fachforum »Nachhaltigkeit durch additive Fertigung«, 22.6.2021.
- Jenerowicz, M. (2021): Aktuelle Forschungsarbeiten am EMI – Blastbelastungen, Knochensurrogate, Wheelcharity, dynamisches Röntgen. CTS Dummy-Crashtest-Konferenz, 30.9.2021.
- Kappe, K. (2021): Additive manufacturing of structurally integrated heat pipes for cubesats. 5th ESA CubeSat Industry Days Industry CubeSat Subsystems, Products and Technologies, 1.6.2021.
- Kappe, K. (2021): Investigation of additively manufactured structurally integrated heat pipes for cubeSats. 72nd International Astronautical Congress (IAC). Dubai/Online, 25.10.2021.
- Köpke, C. (2021): Impact of Distance Rules on Infrastructure Resilience. ESREL 2021. Online, 19.9.2021.
- Köpke, C. (2021): Resilience Quantification for Critical Infrastructure: Exemplified for Airport Operations. ESORICS 2021 CPS4CIP 2021. Online, 4.10.2021.
- Leost, Y.; Bösl, P.; Butz, I.; Kurfiß, M.; Heilmaier, J.; Griese-mann, J.; Salamon, M. (2021): The Gap Between Experiment And Simulation Thanks To X-Ray Car Crash: Example Of A MPDB Based Scenario. Cahrs CAE Grand Challenge 2021. Hanau, 1.10.2021.
- Matura, P. (2021): Aerosolen auf der Spur! Von der Forschung zum effizienten Infektionsschutz. Lunch-&-Learn-Veranstaltung der Simulationsfirma HTCO GmbH, 19.10.2021.
- Mert, D. (2021): Test stand for combined temperature and vibration loads. eHarsh-Seminar. Online, 30.11.2021.
- Miller, N. (2021): A Risk and Resilience Approach for Railway Networks. ESREL 2021. Online, 19.9.2021.
- Nau, S.; Pilous, N. (2021): Zünder für moderne Schutz- und Munitionskonzepte, Fragen zur Technik und zu normativen Randbedingungen. 8. Nationaler Workshop für Zündertechnologie: Schwerpunkt »Alternative Zündkette«. Unterlüß, 21.9.2021.
- Patil, S. (2021): Towards programming the strain rate dependency into mechanical metamaterials. 13th International Conference on Mechanical and Physical Behaviour of Materials under Dynamic Loading: DYMAT 2021. Madrid, 20.9.2021.
- Pfaff, A. (2021): Metal additive manufacturing: application concepts for effectors and protection. European Military Additive Manufacturing Symposium. Bonn, 12.10.2021.
- Ramin, M. von (2021): Methodology for classifying building damage in dynamically loaded structures. Seismic Design of Industrial Facilities, SeDIF. Online, 1.–2.3.2021.
- Riedel, W. (2021): Persönliche Schutzausrüstung für zukünftige Anforderungen: besondere ballistische Bedrohungen, neue Materialien und ihre Projektilinteraktion. Symposium System Soldat. WIWeB Erding. Online, 9.11.2021.
- Riedel, W.; Boljen, M.; Straßburger, E.; Lahm, K. U. (2021): Virtuelle Methoden zur Auslegung von Körperschutz – von individueller Anpassung bis zum Response Design mit einem Human Body Model. DWT-Tagung Wirkung und Schutz #neu. Bonn, 20.9.2021.
- Schaukelberger, B.; Matura, P. (2021): Ausbreitung exhalierter Aerosole in Innenräumen – Strömungssimulationen im Hinblick auf SARS-CoV-2. 14. Anwendertreffen der FDS Usergroup. Online, 6.5.2021.

Schauvelberger, B.; Matura, P.; Labusch, C. (2021): Strömungssimulationen eines Klassenzimmers – Aerosolausbreitung und Lüftungskonzepte im Kontext der Corona-Pandemie. 15. Anwendertreffen der FDS Usergroup. Berlin, 4.11.2021.

Schauvelberger, B.; Trondl, A.; Kisters, T.; Altes, A.; Fehrenbach, C.; Sun, D.-Z. et al. (2021): BATTmobil und Battmobil-2, Projektübersicht. Workshop zur Kooperation im Rahmen der Transferinitiative SURF (Smart Urban Road Safety). Freiburg, 21.10.2021.

Schimmerohn, M. (2021): Numerical simulations of collisional fragmentations. 1st European Hypervelocity Impact Risk Assessment Forum, 24.11.2021.

Schneider, J.; Ramin, M. von (2021): Derivation of a debris launch velocity equation for deflagration type explosions. MSIAC Technical Meeting – 1.3 issues. Online, 7.12.2021.

Schneider, J. et al. (2021): Physics based injury model for blast overpressure effects to the thorax. Blast Injury Conference 2021. Online, 9.7.2021.

Schopferer, S. (2021): Dynamic pressure sensor characterization by shock tube tests. eHarsh-Seminar. Online, 30.11.2021.

Shrivastava, K. (2021): Impact Propagation Simulation. 3S Clustering Event, Satie and SecureGas final conference. Fodele, Kreta, Greece, 12.10.2021.

Stolz, A. (2021): Sicherer in unsicheren Zeiten mittels effizienter Resilienz. Fachtagung Sicherheit und Gesundheit in der Warenlogistik. Dresden, 13.9.2021.

Stolz, A. (2021): Aufbruch in eine resiliente Gesellschaft. Local Lounge Gesellschaftliche Resilienz im Spiegel wirtschaftlicher, digitaler und soziologischer Veränderungen. Tax Excellence Network München, 28.9.2021.

Stolz, A. (2021): Impulsreferat Resilience Engineering – mehr Sicherheit bei großer Unsicherheit ermöglichen. ETG-CIRED-Workshop 2021 (D-A-CH) Innovationen im Verteilernetz. München, 2.–3.11.2021.

Straßburger, E. (2021): Transparent Armor – Proposal of test configurations for the assessment of new materials. Israel-German Collaboration Meeting. Fraunhofer IKTS. Dresden, 27.10.2021.

Seminarvorträge im EMI

Günther, S. (2021): Das neue europäische Forschungsrahmenprogramm Horizon Europe. EMI-Hausseminar, 20.5.2021.

Hoschke, K. (2021): Nachhaltiges Design für die additive Fertigung. Ein methodischer Rahmen und Modelle für die Automatisierung. EMI-Doktorandenseminar, 26.2.2021.

Hoschke, K. (2021): Probevortrag zur Disputation »Nachhaltiges Design für die additive Fertigung. Ein methodischer Rahmen und Modelle für die Automatisierung«. EMI-Doktorandenseminar, 15.10.2021.

Jäcklein, M. (2021): Entwicklung von Metall-Matrix-Verbundwerkstoffen im LPBF-Verfahren. EMI-Doktorandenseminar, 17.9.2021.

Langkemper, R. (2021): Die V|tome|x beschert uns tiefe und detaillierte Einblicke oder: Rund um die neue CT-Anlage. EMI-Hausseminar, 15.7.2021.

Pfaff, A. (2021): Probevortrag zur Disputation »Bestimmung von Abkühlraten zur Realisierung gradiert L-PBF Werkstoffe (+Metallografie)«. EMI-Doktorandenseminar, 17.12.2021.

Reich, S. (2021): 2D-Triangulation als Messtechnik für in-situ Oberflächenmessung bei Laserbeschuss möglich. EMI-Hausseminar, 25.11.2021.

Lehrgänge der Carl-Cranz-Gesellschaft

Busch, S. (2021): Introduction to Machine Learning and Visual Pattern Recognition. 21IN-5.18, 5.10.2021.

Häring, I. (2021): Bestimmung von SIL-Anforderungen im Vergleich. Funktionaler Sicherheitsnachweis für wehrtechnische Systeme. Online, 9.2.2021.

Lehrgänge des Bildungszentrums der Bundeswehr, Mannheim

Nau, S. (2021): Messtechnik. Laufbahnlehrgang Fachgebietsbezogene Wehrtechnik, Systembewaffnung und Effektoren (SBE), A/HAT-WT: FWT/SBE 01-21 123./124. htD, LG-Nr. 904435. Mannheim, 20.1.2021.

Nau, S. (2021): Messtechnik. Laufbahnlehrgang Fachgebietsbezogene Wehrtechnik, Systembewaffnung und Effektoren (SBE), A/GT-WT: FWT/SBE 01-21, LG-Nr. 902356. Online, 5.5.2021.

Lehrveranstaltungen

Balle, F. (Sommersemester 2021): Lab Course Engineering Materials and Testing Methods. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Sommersemester 2021.

Balle, F. (Sommersemester 2021): Nachhaltige Materialien. Vorlesung und Übung. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Sommersemester 2021.

Balle, F. (Sommersemester 2021): Ringvorlesung Methoden der Materialwissenschaften. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Sommersemester 2021.

Balle, F. (Sommersemester 2021): Sustainable Systems Engineering. Studienprojekt. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Sommersemester 2021.

Balle, F. (Sommersemester 2021): Technische Funktionswerkstoffe. Vorlesung und Übung. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Sommersemester 2021.

Ganzenmüller, G. C. (Sommersemester 2021): Angewandte FEM für die Strukturmechanik. Vorlesung und Seminar. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Sommersemester 2021.

Häring, I. (Sommersemester 2021): Functional Safety: Active Resilience. Vorlesung. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Sommersemester 2021.

Häring, I. (Wintersemester 2021/2022): Quantification of Resilience. Vorlesung. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Wintersemester 2021/2022.

Häring, I. (Wintersemester 2021/2022): Resilience and Risk Analysis and Management. Vorlesung. Furtwangen University, Wintersemester 2021/2022.

Hiermaier, S. (Sommersemester 2021): Climate Change. Vorlesung. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Sommersemester 2021.

Hiermaier, S. (Sommersemester 2021): Grundlagen resilienter Systeme. Vorlesung. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Sommersemester 2021.

Hiermaier, S.; Ganzenmüller, G. C. (Sommersemester 2021): Werkstoffdynamik: Werkstoffcharakterisierung / Dynamics of Materials: Material Characterization. Vorlesung und Übung. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Sommersemester 2021.

Hiermaier, S.; Kilchert, S. (Wintersemester 2021/2022): Life Cycle Analysis. Vorlesung und Übung, Wintersemester 2021/2022.

Hiermaier, S.; Kilchert, S. (Sommersemester 2021): Material Flow Analysis. Vorlesung. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Sommersemester 2021.

Hiermaier, S.; Kilchert, S. (Wintersemester 2021/2022): Material Life Cycles. Vorlesung und Übung. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Wintersemester 2021/2022.

Imbert, M. (2021): Vorlesung zur dynamischen Prüfung von Faserverbundwerkstoffen. Lehrveranstaltungsprogramm zur Weiterbildung zum Composite Engineer, Modul »Material- und Bauteilcharakterisierung«, Fraunhofer IFAM.

Matura, P. (Wintersemester 2021/2022): Numerische Methoden in der Mathematik. Vorlesung. DHBW Lörrach, Wintersemester 2021/2022.

Matura, P.; Hiermaier, S. (Wintersemester 2021/2022): Kontinuumsmechanik. Vorlesung und Übung. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Wintersemester 2021/2022.

May, M. (Sommersemester 2021): Adhesive Bonding. Vorlesung. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Sommersemester 2021.

May, M. (Sommersemester 2021): Dynamics of Materials. Vorlesung. Universität de Girona, Sommersemester 2021.

May, M.; Imbert, M. (Wintersemester 2021/2022): Composite Materials. Vorlesung. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Wintersemester 2021/2022.

Osterholz, J. (Sommersemester 2021): High-Energy-Density Physics. Vorlesung. Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf, Sommersemester 2021.

Ramin, M. von (Sommersemester 2021): Lehrbeauftragter im Masterstudiengang »Katastrophenvorsorge und -Management«, Unterrichtseinheit »Bauliche Prävention im Bevölkerungsschutz« im Modul »Ausgewählte Konzepte und Maßnahmen der Katastrophenvorsorge«. Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn, Sommersemester 2021.

Riedel, W. (Wintersemester 2021/2022): Schutz kritischer Infrastrukturen. Vorlesung. Furtwangen University, Wintersemester 2021/2022.

Sauer, M. (Wintersemester 2021): Laborpraktikum. Universität der Bundeswehr München, Wintersemester 2021.

Sauer, M. (Wintersemester 2021): Numerische Simulationsverfahren. Vorlesung. Universität der Bundeswehr München, Wintersemester 2021.

Sauer, M. (Wintersemester 2021): Werkstoffcharakterisierung. Vorlesung. Universität der Bundeswehr München, Wintersemester 2021.

Schäfer, F. (Wintersemester 2021): Charakterisierung von Geomaterialien unter Stoßbelastung I, Characterization of Geomaterials under Shock Loads I. Vorlesung. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Wintersemester 2021.

Schäfer, F. (Sommersemester 2021): Charakterisierung von Geomaterialien unter Stoßbelastung II, Characterization of Geomaterials under Shock Loads II. Vorlesung. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Sommersemester 2021.

Schimmerohn, M. (Wintersemester 2021/2022): Satellite Technology – Micrometeoroids and Space Debris. Vorlesung in der Lehrveranstaltung Spacecraft System Analysis im Masterstudiengang Space Science and Technology. Julius-Maximilians-Universität Würzburg, Wintersemester 2021/2022.

Stolz, A. (Sommersemester 2021): Design and Monitoring of large Infrastructures. Vorlesung. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Sommersemester 2021.

Stolz, A. (Sommersemester 2021): Resilience of Supply Networks. Vorlesung und Übung. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Sommersemester 2021.

Stolz, A. (Wintersemester 2021/2022): Robustness of Structures. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Wintersemester 2021/2022.

van der Woerd, J. D. (Wintersemester 2021/2022): Spezielle Kapitel aus dem Massivbau. Hochschule Augsburg, Wintersemester 2021/2022.

Gastwissenschaftler und Gastwissenschaftlerinnen im EMI

Amlung, Elena 21.6.2021–13.9.2021.

Ballal, Niranjan 1.8.2021–31.12.2021.

Fransson, Matilda, European Synchrotron Radiation Facility (ESRF), Grenoble, 20.9.2021–1.10.2021.

Hofmann, Julia 21.6.2021–13.9.2021.

Jain, Atin 16.11.2020–31.8.2022.

Nasr, Engy 1.3.2021–28.2.2022.

Oliveira, Pablo Resende 1.6.2018–31.5.2022.

Padmanabha, Vivek 15.4.2019–14.12.2021.

Plappert, David 15.5.2021–30.4.2023.

Schalm, Tobias 1.1.2022–31.7.2022.

Schmidt, Steffen 21.6.2021–13.9.2021.

Song, Billy 7.7.–9.7.2021.

Trippel, Antonina 16.1.2019–31.12.2022.

Vattem, Lalita Yamini 1.12.2021–31.3.2022.

Yu-Sheng, Tang 15.3.2021–14.9.2021.

Promotionen

Bauer, S. (2021): Novel Experimental and Analytical Concepts for the Characterization and Modeling of Soda-Lime Glass under Impact Conditions. Dissertation. Universität der Bundeswehr, München.

Hoschke, K. (2021): Sustainable Design with Topology Optimization for Laser Powder Bed Fusion of Metals. Dissertation. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg.

Bachelor-, Master- und Diplomarbeiten

Altas, C. (2021): Implications of COVID-19 Spread for Critical Infrastructure Implications of COVID-19 Spread for Critical Infrastructure - Identifying Change Points and Inferring Relations to COVID-19 Interventions. Master Thesis. EMI Report A 03/21. Universität Basel.

Amlung, E. (2021): Numerische Simulationen der Wechselwirkung von Hartkern-Projektilen mit geneigten Zielstrukturen. Bachelorarbeit. EMI-Bericht A 44/21. DHBW Mannheim.

Arunagiri, H. H. P. (2021): Multi-Objective Optimization of Crash-Box Filled with Functionally Graded Cellular Lattice Structures. Master Thesis. EMI Report A 15/21. Universität Duisburg Essen.

Bhatnagar, M. (2021): Discrete-event Simulation of Border Control Points using Monte-Carlo Methods. Master Thesis. EMI Report A 22/21. Hochschule Heidelberg.

- Bihler, M. (2021): Investigation of wick structures of 3D-printed heat pipes for CubeSat applications. Master Thesis. EMI Report A 16/21. Universität Stuttgart.
- Bruneau, A. (2021): Innovative recycling method for Organosheets. Master Thesis. EMI Report A 45/21. École Centrale de Nantes.
- Elaprolu, S. (2021): Reliability and safety analysis of ground and aerial chemical plant inspection robots. Master Thesis. EMI Report A 53/21. Hochschule Heidelberg.
- Elgazzar, R. (2021): Spray pyrolysis of novel material system for cost-effective production processes in photovoltaics. Master Thesis. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg.
- Feix, W. (2021): Smart Coating – Materialcharakterisierung von Polyurea als Beschichtung zum Explosionsschutz. Masterarbeit. EMI-Bericht A 54/21. Technische Hochschule Mittelhessen.
- Felde, R. (2021): Numerische Simulation und Optimierung stationärer Gasflüsse. Masterarbeit. EMI-Bericht A 56/21. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg.
- Groß, N. (2021): Methodenuntersuchung des Peeling-Tests zur Risspropagation an Faserverbundwerkstoff. Bachelorarbeit. EMI-Bericht A 33/21. DHBW Lörrach.
- Hagner, N. (2021): Calculating Radiative Exchange Factors for Spacecraft with Monte Carlo Raytracing. Bachelorarbeit. EMI Report A 09/21. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg.
- Hofmann, A. (2021): Charakterisierung und Modellierung der Charakterisierung und Modellierung der mechanischen Eigenschaften thermisch vorbelasteter POM-Zugproben. Masterarbeit. EMI-Bericht A 04/21. Technische Hochschule Mittelhessen.
- Hofmann, J. A. (2021): Auslegung und Charakterisierung von Infrarot-Messtechnik für Untersuchungen zur Wirkung hochenergetischer Laserstrahlung. Bachelorarbeit. EMI-Bericht A 43/21. DHBW Mannheim.
- Hörnle, O. (2021): Thermo-hydraulische Simulationen zum Vergleich von Trinkwarmwasser-Systemvarianten für Mehrfamilien-Bestandsgebäude. Masterarbeit. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg.
- Huang, T.-T. (2021): Enhancing Safety and Performance of State-of-the-Art Mixed Transition Metal Oxide battery by incorporating a novel additive with boron-nitrogen-oxygen alkyl group in electrolyte. Masterarbeit. EMI-Bericht A 23/21. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg.
- König, L. (2021): Weiterentwicklung und Inbetriebnahme einer Webanwendung zur Bestimmung der Resilienz von Unternehmen. Bachelorarbeit. EMI-Bericht A 58/21. DHBW Lörrach.
- Kretschmann, D. (2021): Analytical-empirical determination of the fragmentation process for rectangular improvised explosive devices Using Autodyn with user subroutines to create fragment data within the project SUSQRA. Bachelor Thesis. EMI Report A 41/21. Hochschule Stralsund.
- Lamsairhi, R. (2021): The impact of photovoltaic module building process on the interconnection joint properties for shingled cells. Master Thesis. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg.
- Linnenberg, M.: Manufacturing and characterization of functionally graded steel microstructures. Master Thesis. Karlsruher Institut für Technologie.
- Manam, B. U. (2021): Measuring the Mixed-Mode-I/II Fracture Toughness in Composite Materials Using Wedge Loaded Asymmetric DCB Specimen. Master Thesis. EMI Report A 01/21. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg.

- Marx, N. (2021): Konstruktion einer Vorrichtung zur aktiven Beeinflussung des Abgangszustands von Geschossen. Bachelorarbeit. DHBW Mannheim.
- Mauler, N. (2021): Untersuchung des Peeling-Prozesses als innovatives Recycling-Verfahren für Faserverbundwerkstoffe – Investigation of the peeling process as an innovative recycling process for composites. Bachelorarbeit. EMI-Bericht A 57/21. Universität Stuttgart.
- Mert, D. (2021): Kombination von Schlierentechnik und Licht-schnittverfahren zur Strömungssimulation für die Untersuchung von Aerosol-Ausbreitung. Masterarbeit. EMI-Bericht A 48/21. Wilhelm Büchner Hochschule.
- Molina, P. (2021): Separation of aluminum bonded joints by thermo-mechanical loadings. Master Thesis. EMI Report A 55/21. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg.
- Montague, W. (2021): The State of the Art of Modeling and Simulating Urban Climate Resilience. Master Thesis. EMI Report A 21/21. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg.
- Mues, J. B. (2021): Umsetzung einer Krisenmanagement-Funktion in einer bestehenden Geoinformations-Software. Bachelorarbeit. EMI-Bericht A 47/21. DHBW Lörrach.
- Murali, K. (2021): Development of a 2D-triangulation setup for in-situ sample surface measurement during high power laser penetration. Master Thesis. EMI Report A 32/21. Leibniz Universität Hannover.
- Pulaparathi, V. P. K. (2021): Experimental Characterization and Numerical Simulation of Heat Transfer when measuring Surface Temperatures with Thermocouples. Master Thesis. EMI Report A 18/21. Universität Duisburg Essen.
- Rajendran, R. S. (2021): Local micro analysis of the mechanical PCB performance under shock and impact loading. Master Thesis. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg.
- Sangam, R. (2021): Effects of tool geometry on ultrasonic welding of Al-Cu dissimilar metals – a FEM studies. Master Thesis. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg.
- Savin, E. (2021): Strukturauslegung einer optischen Nutzlast für den Einsatz auf der Internationalen Raumstation. Masterarbeit. EMI-Bericht A 20/21. Hochschule München.
- Sayed, B. (2021): Detektion und Bewertung von Explosionsereignissen mittels Beschleunigungssensoren. Bachelorarbeit. EMI-Bericht A 34/21. Hochschule Düsseldorf.
- Schlager, M. (2021): Additiv gefertigter 17-4PH-Stahl – L-PBF-Prozessparameterentwicklung und Werkstoffbewertung. Bachelorarbeit. EMI-Bericht A 35/21. DHBW Lörrach.
- Schmidt, S. (2021): Erprobung neuer Ansätze zur Verarbeitung von reinem Kupfer mittels SLM-Verfahren. Bachelorarbeit. EMI-Bericht A 42/21. DHBW Mannheim.
- Shrivastava, S. (2021): Agent-Based Modelling with Group Behaviour and Social Distancing. Master Thesis. EMI Report A 14/21. TU Chemnitz.
- Siewert, T. (2021): Entwicklung eines Kinderrückhaltesystems für Flugzeuge mit doppelter Sitzplatzbelegung. Bachelorarbeit. EMI-Bericht A 40/21. DHBW Lörrach.
- Tang, Y.-S. (2021): Modeling of the failure of a single-lap hybrid joint under tensile loading. Master Thesis. EMI Report A 50/20. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg.
- Tritschler, F. (2021): Nutzerorientierte Gestaltung eines Nutzerorientierte Gestaltung eines Livestreams für ein hybrides Webinar am Fraunhofer EMI. Bachelorarbeit. EMI-Bericht A 10/21. DHBW Mannheim.
- Turhan, E. (2021): The Effect of Technical Risks on the Achievement of Goals for Distributed Energy Supply Concepts in Residential Neighbourhoods. Master Thesis. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg.

Völk, F. (2021): Optimierung eines Solargenerators für 12U-Nanosatelliten. Masterarbeit. EMI-Bericht A 51/21. Universität Bayreuth.

Wagenfeldt, A. (2021): Evaluation zur Beschichtung von Perowskitschichten für die Anwendung von Tandemsolarzellen. Masterarbeit. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg.

Weiland, P. (2021): Auslegung einer optischen Nutzlast für den Einsatz auf der Internationalen Raumstation (ISS) – Design of an optical payload for operation on the International Space Station (ISS). Master Thesis. EMI Report A 39/21. Universität Stuttgart.

Patente

Imbert, M.; Hahn, P.: Verfahren und Vorrichtung zum Recyclen eines mehrere Lagen umfassenden Verbundwerkstoffes. Angemeldet durch Fraunhofer-Gesellschaft. Veröffentlichungsnummer: EP 20 206 012.5, 5.

Patil, S.; Ganzenmüller, G. C.: A deformable structure. Angemeldet durch Fraunhofer-Gesellschaft. Anmelde nummer: EP21196326.9.

Straßburger, E. (2021): Transparente Verbundscheibe mit erhöhter Wirkung gegen Projektilen mit Hartmetallkern. Angemeldet durch Fraunhofer-Gesellschaft am 26.10.2021. Veröffentlichungsnummer: 2021102610305900DE.

Workshops und Veranstaltungen

EMI-Inhouseseminar zur EU-Forschungsförderung: Das neue EU-Forschungsrahmenprogramm Horizon Europe 19.5.2021.

Imbert, M. (2021): Laborbesichtigung und Präsentation der letzten Aktivitäten zum Thema Recycling. KMU@science. EMI Freiburg, 29.6.2021.

Mitwirkung in Fachgremien, Fachverbänden und Programmkomitees

Günther, S.: Mitglied im Technischen Rat der Fraunhofer-Gesellschaft für Clean Sky 2.

Günther, S.: Mitglied in WG 4 Safety and Security in ACARE (Advisory Council for Aeronautics Research in Europe).

Günther, S.: Repräsentanz der Fraunhofer-Gesellschaft im Steering Committee des JTI Clean Sky 2 Airframe ITD.

Günther, S.: Vertretung des Institutsleiters Prof. Dr.-Ing. S. Hiermaier im Institutsleitungsrat (ILR) der Fraunhofer-Gesellschaft für Clean Sky 2.

Heine, A.: LWAG Lightweight Armour Group.

Jenerowicz, M.: WTD 52 GF 320 »Nichtletale Wirkmittel«: Arbeitsgruppe »Surrogat zur technischen Untersuchung von Letalitätsgrenzen«.

Köpke, C.: Mitgliedschaft in der »Young academy for sustainability research« des FRIAS der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg.

Leismann, T.: Vorsitz des Expertenkreises Sicherheitsforschung des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF).

May, M.: American Institute of Aeronautics and Astronautics – International Activities Advisory Committee.

May, M.: American Institute of Aeronautics and Astronautics – International Honors and Awards Development Committee.

May, M.: Scientific Committee VIII Conference on Mechanical Response of Composites ECCOMAS 2021, 22.–24.9.2021.

May, M.: Stellvertretender Vertreter der Fraunhofer-Gesellschaft im Steering Committee Clean Sky 2 AIRFRAME.

May, M.: Stellvertretender Vertreter Fraunhofer VVS im FCAS Masterplan.

May, M.: Vertreter der Fraunhofer-Gesellschaft im Programme Management Clean Sky 2 AIRFRAME.

Putzar, R.: Past Chairman der Aeroballistic Range Association (ARA).

Putzar, R.: Repräsentant des Ernst-Mach-Instituts in der Aeroballistic Range Association (ARA).

Ramin, M. von: Mitarbeit in der Klotz Group.

Ramin, M. von: Mitarbeit in der NATO PFP(AC/326-SG/C) AASTP-4 Custodian Working Group.

Ramin, M. von: Mitglied im Editorial Board »International Journal of Protective Structures«.

Ruiz Ripoll, M. L.: Mitglied der European Structural Integrity Society (ESIS).

Ruiz Ripoll, M. L.: Mitglied der Grupo Español de Fractura (GEF).

Schimmerohn, M.: Chairman of Working Group 3 of the Inter-Agency Space Debris Coordination Committee (IADC), external DLR Delegate.

Schopferer, S.: EDA CnGE (CapTech non-Governmental Expert) for CapTech Components.

Stolz, A.: Appointed International Member im Standing Committee on Critical Transportation Infrastructure Protection, AMR10 im Transportation Research Board USA.

Evaluierte Exzellenzforschung – Projekte, die vom DFG, BMBF oder European Research Council gefördert werden

DFG-Projekt »Synergien zum thermomechanischen Ermüdungsverhalten von Polymer-Verbundwerkstoffen im Bereich sehr hoher Lastzyklen«.

DFG-Projekt »Verformungsratenabhängige Spröddeformation von Gestein während der Impaktkraterbildung: Verknüpfung mechanischer Daten mit Mikrostrukturen (DFG SCHA 1612/2-1 Verformungsraten)«.

DFG-Projekt »Multifunktionale Metall-C-Faser-Kunststoff-Verbunde (MCFK) für schadenstolerante und elektrisch leitfähige Leichtbaustrukturen«.

DFG-Projekt in der Linie »Neue Geräte für die Forschung«, Förderzeitraum 2021–2023.

Impressum

Redaktion

Birgit Bindnagel (verantwortlich), Heide Haasdonk

Redaktionelle Mitarbeit

Johanna Holz, Felix Kainzbauer

Layout und grafische Bearbeitung

Deborah Kabel, Sonja Weber

Bildredaktion

Birgit Bindnagel, Heide Haasdonk, Deborah Kabel, Sonja Weber

Redaktionsanschrift

Fraunhofer-Institut für Kurzzeitdynamik, Ernst-Mach-Institut, EMI
Presse und Öffentlichkeitsarbeit
Ernst-Zermelo-Straße 4
79104 Freiburg

Telefon 0761 2714-366
birgit.bindnagel@emi.fraunhofer.de

Druck

Fraunhofer Verlag, gedruckt auf FSC-zertifiziertem Papier.

© Fraunhofer EMI, Freiburg 2022

Hier halten wir Sie auf dem Laufenden:



s.fhg.de/emi-jahresberichte



s.fhg.de/fraunhofer-emi-linkedin



s.fhg.de/fraunhofer-emi-youtube

Fraunhofer-Institut für Kurzzeitdynamik,
Ernst-Mach-Institut, EMI

Ernst-Zermelo-Straße 4
79104 Freiburg
Telefon +49 761 2714-0
info@emi.fraunhofer.de
www.emi.fraunhofer.de

Standorte
Freiburg, Efringen-Kirchen und Kandern

