



JAHRESBERICHT
2018/2019

Titelbild: Das Fraunhofer EMI erforscht neue Anwendungsmöglichkeiten von Nanosatelliten. Dabei steht der vom Geschäftsfeld Raumfahrt entwickelte Nanosatellitendemonstrator ERNST im Mittelpunkt, der unter anderem mit seiner wissenschaftlichen Infrarotkamera im Bereich der Erdbeobachtung eingesetzt werden kann. Auf dem Titelbild ist die additiv gefertigte optische Bank samt Kamerasystem des Nanosatelliten abgebildet.

JAHRESBERICHT
2018/2019



Liebe Leserinnen und Leser,

für gewöhnlich versuche ich, im Vorwort zum Jahresbericht des Fraunhofer-Instituts für Kurzzeitdynamik auf dessen wesentliche inhaltliche Beiträge und herausragende Ereignisse des Berichtszeitraums hinzuführen. Gestatten Sie mir, etwa ein Jahr, nachdem mein Vorgänger und väterlicher Freund Prof. Dr. Klaus Thoma verstorben ist, diesen traurigen Anlaß zum Ankerpunkt meines Vorworts zu machen.

Mit Klaus Thoma wurde das Ernst-Mach-Institut zum Fraunhofer-Institut. Gewiß, dem Namen und der laufenden Nummer aller Institute nach ist das EMI eines der ältesten der Fraunhofer-Gesellschaft. Aber all das, was ein heutiges Institut zum Fraunhofer-Institut macht, entwickelte sich unter seiner Leitung. Ein Drittel des Budgets aus Industrieprojekten erwirtschaften. Strategische Forschungs- und Geschäftsfeldplanung. Dauerhafte Anbindung an eine Universität und konsequente Nutzbarmachung von Promotionen. Moderne Forschungs- und Verwaltungsgebäude.

Neben diesen strukturellen und strategischen Komponenten hat Klaus Thoma die Kernkompetenzen des EMI gezielt aufgebaut und weiterentwickelt. Deshalb sind wir heute gefragter Partner, wenn es darum geht, hochdynamische Prozesse, wie den Automobilcrash, mit gestochen scharfen Bildern aus dem Innern der Strukturen zu analysieren. Röntgencrash, Batterietests und Airbagsysteme sind die Stichwörter, unter denen Sie den aktuellen Stand in diesem Heft dokumentiert finden.

Aktuell, wie seit dem Ende des Kalten Kriegs nicht mehr, sind heute die Themenfelder Ballistik und Detonationsphysik. Mit seinen personellen und anlagenseitigen Voraussetzungen und der jahrzehntelangen Erfahrung ist das EMI erneut zentraler Forschungspartner, um für die Bundeswehr an künftigen Panzeroptionen und Luftfahrzeugen zu forschen.

Eine tragfähige und vielfältige universitäre Anbindung, wie sie heute Standard für ein Fraunhofer-Institut ist, gab es zu Beginn der Ära Thoma für das EMI nicht. Und doch hat er frühzeitig zusammen mit seinem damaligen Institutsleiterkollegen des Fraunhofer ISE, Prof. Dr. Eicke Weber, ein Universitätsinstitut in der Technischen Fakultät angepeilt, in dem alle fünf Freiburger Fraunhofer-Institute vertreten sein sollten. So sehr dies anfangs Wunschdenken zu sein schien, so real und erfolgreich ist es heute. Das Institut für Nachhaltige Technische Systeme – INATECH. Ingenieurkern des Leistungszentrums Nachhaltigkeit und bundesweit einziges Universitätsinstitut, das zur Hälfte von Fraunhofer getragen wird. Nach einer höchst erfolgreichen ersten Phase wurde das Leistungszentrum positiv evaluiert und konnte seine Mission zur Realisierung eines Dualismus aus stetiger Grundlagen- und Anwendungsforschung fortsetzen. Das EMI hat sich erfolgreich um sogenannte Demonstratorprojekte für die gerade angelaufene zweite Phase mit Schwerpunkt »Transfer« beworben. Mehr dazu im Berichtsteil zum Leistungszentrum. Das INATECH hat inzwischen über hundert Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen; nach dem Masterstudiengang ist nun auch ein Bachelorstudiengang zu Sustainable Systems Engineering gestartet.

Ich bin sicher, die aktuellen Entwicklungen des Instituts mit stabilen Indikatoren zur wirtschaftlichen Lage und tollen neuen und alten Forschungsfeldern ist ganz im Sinne von Klaus Thomas Vorstellung von einem zukunftsfähigen EMI. Allen Partnern, Kunden und Kollegen aus Wissenschaft, Wirtschaft und Politik danke ich für das konstant entgegengebrachte Vertrauen. Ich wünsche allen eine angeregte und erhellende Lektüre!

Ihr Stefan Hiermaier



Prof. Dr.-Ing. habil. Stefan Hiermaier
Institutsleiter Fraunhofer EMI



9 GESCHÄFTSFELD VERTEIDIGUNG

- 12 Erstentwicklung von Prozessparametern für den 3D-Druck von Schwermetallen und Sonderwerkstoffen
- 16 Die Expertensoftware BREAS – Blast Response Assessment of Structures
- 20 Das Potenzial von Nanosatelliten für militärische Zwecke
- 23 Skalierbarkeit von Laserwirkung
- 24 LSQRA – Laser Safety Quantitative Risk Analysis
- 25 Hochfester Sicherheitsstahl unter multiaxialer Belastung
- 26 3D-Röntgenanalyse der Treibkäfigablösung
- 27 Co-Simulation für die Fluid-Struktur-Kopplung
- 28 Mechanische Materialmodelle für polymergebundene Sprengstoffe
- 29 Analyse Systemtechnologie
- 30 Charakterisierung von Gläsern für den Einsatz als transparenter Schutz
- 31 eHarsh – Sensorsysteme für raue Umgebungen
- 32 Tragfähigkeit und Funktionalität von Schutzwällen



37 GESCHÄFTSFELD SICHERHEIT

- 40 INACHUS – Unterstützung für Einsatzkräfte bei Erdbeben
- 43 Ein verlassener Koffer – Vergesslichkeit oder Vorsatz: der Alltag eines Entschärfers
- 44 PROMPT – Zeit bedeutet Leben
- 45 GAS-O-CHROM – Brandgasfrüherkennung
- 46 Stadtsicherheit-3D
- 47 RESISTO – resiliente Kommunikation
- 49 Feuer in der U-Bahn – Sensoren zeigen sichere Rettungswege an



53 GESCHÄFTSFELD AUTOMOTIVE

- 56 Relevanz der Muskelsteifigkeit für die Insassensicherheit
- 60 Neue Strahlenquelle für den Röntgencrash X-CC
- 62 Testen von Kunststoffschäumen
- 63 Dynamische Materialcharakterisierung für mehr Sicherheit beim Lkw-Crash
- 64 Crashtests im Röntgenblick
- 65 Airbaggewebe – temperierte Versuche für die Simulation

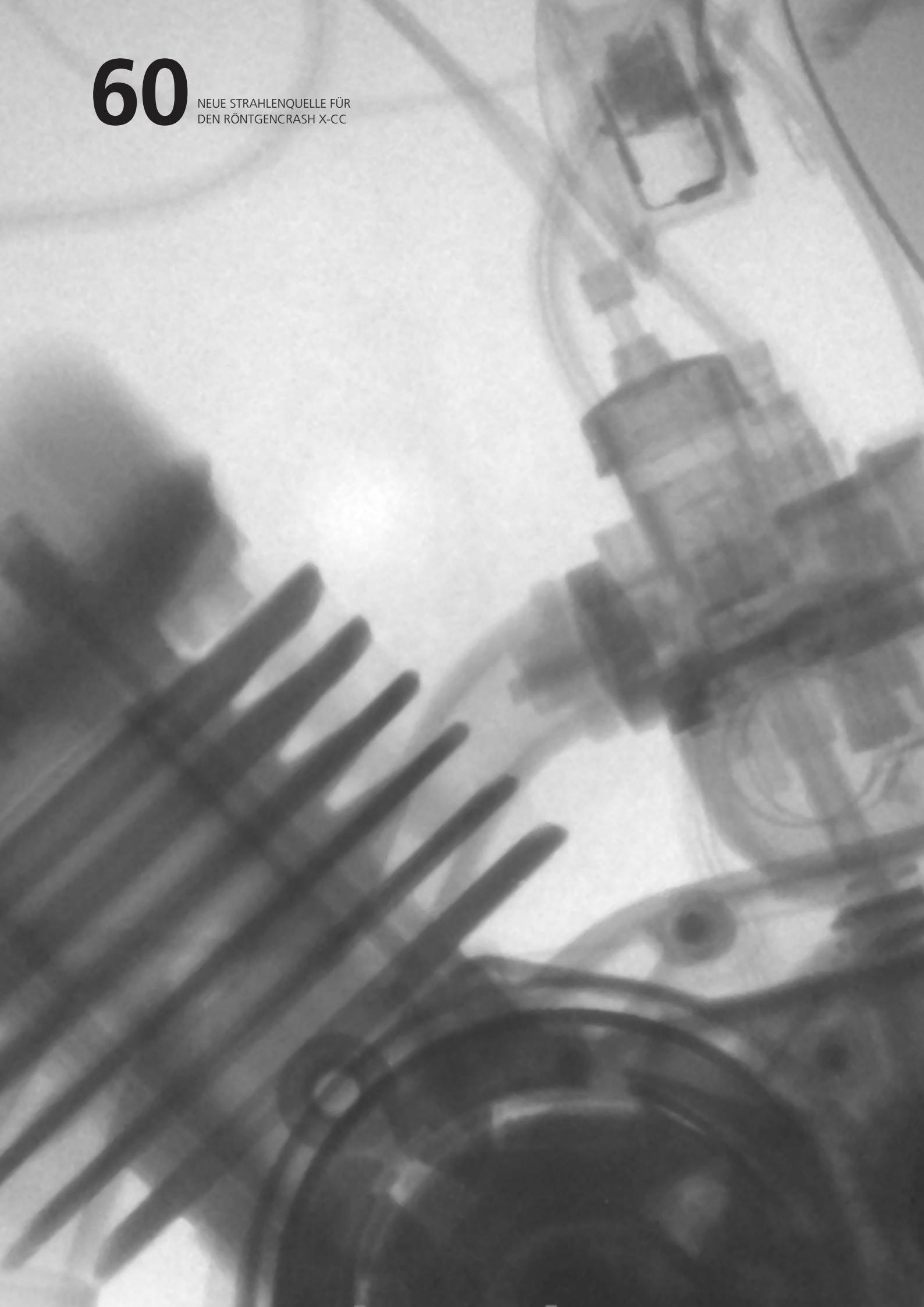
23

SKALIERBARKEIT
VON LASERWIRKUNG



60

NEUE STRAHLENQUELLE FÜR
DEN RÖNTGENCRASH X-CC





69 GESCHÄFTSFELD RAUMFAHRT

- 72 Numerische Untersuchungen von Satellitenkollisionen im Orbit
- 76 ERNST – Technologieentwicklung für den New Space
- 77 3D-Druck für Satellitentechnik
- 78 Entfaltbares Bremssegel für Nanosatelliten
- 79 Gefahr Weltraummüll – Methoden zur Beschreibung von Fragmentierungsereignissen im Orbit
- 80 Impakttests auf Schutzschilde für die zukünftige chinesische Raumstation TianGong



83 GESCHÄFTSFELD LUFTFAHRT

- 86 3D-Druck für leichte, robuste und nachhaltige Flugzeugbauteile
- 89 Simulation von Eis und Hagel
- 90 Dynamischer Rissfortschritt

93 LEISTUNGSZENTRUM NACHHALTIGKEIT FREIBURG

- 96 Demonstratorprojekte im Leistungszentrum Nachhaltigkeit Freiburg
- 97 MERLIN – Multimodale effiziente und resiliente Lokalisierung für Intralogistik, Produktion und autonome Systeme
- 98 ErfASst – Zustandserfassung von Brücken
- 99 Nachhaltige Technologie studieren

101 VERWALTUNG – DAS INSTITUT IN ZAHLEN

- 104 Personal
- 105 Finanzen

107 EMI-MOSAIK

- 108 Prof. Dr. Klaus Thoma – mit Sicherheit dynamisch – ein Leben lang
- 110 GRRN – Global Resilience Research Network: Expertennetzwerk aus aller Welt tagte in Freiburg
- 112 Girls' Day 2019 – das EMI öffnet seine Türen für technikinteressierte Schülerinnen

117 DAS INSTITUT IM PROFIL

- 118 Ansprechpersonen
- 120 Kuratorium
- 122 Die Fraunhofer-Gesellschaft

125 PUBLIKATIONEN, WISSENSCHAFTLICHER AUSTAUSCH UND VORTRÄGE 2018/2019

135 IMPRESSUM

GESCHÄFTSFELD
VERTEIDIGUNG



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

GESCHÄFTSFELD VERTEIDIGUNG

Die Bundeswehr benötigt zukunftsfähige Systeme für Land, Luft und See. Als strategischer Partner des Bundesministeriums der Verteidigung (BMVg) für Forschung und Technologie auf dem Gebiet der Kurzzeitdynamik untersucht das Fraunhofer EMI daher wissenschaftlich-technologische Fragestellungen aus den Bereichen Schutz und Wirkung sowie wehrtechnische Sicherheit und Systeme.

Das Institut besitzt hierzu leistungsstarke Versuchsanlagen, um durch Laborversuche das Verhalten von Materialien, Komponenten und Teilsystemen in extremen Lastsituationen genau erfassen zu können. Hierfür werden dynamische Prozesse mit spezieller Diagnostik für höchste Zeit- und Ortsauflösung beobachtet. Auf dieser Grundlage ist es möglich, geeignete Modellbeschreibungen abzuleiten. Im Anschluss erlaubt es eine prognosefähige numerische Simulation, technologische Lösungen abzuleiten. Im Folgenden werden Forschungsergebnisse vorgestellt, die auf der Grundlage einer Förderung durch das BMVg wissenschaftlich untersucht wurden.

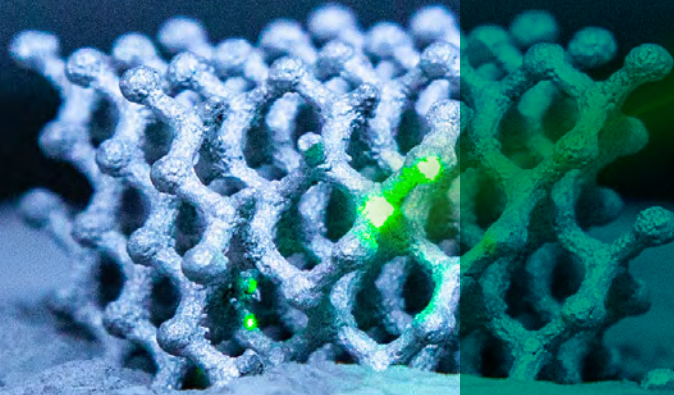


Dr. Matthias Wickert

Geschäftsfeldleiter Verteidigung
matthias.wickert@emi.fraunhofer.de



*Komplexe und strukturierte
Objekte aus dem 3D-Drucker
auch aus Sonderwerkstoffen
wie Wolfram.*



Das pulverbettbasierte Fertigungsverfahren LBM (Laser Beam Melting) ermöglicht es, individuelle, leichte und belastbare Formen herzustellen. Am Fraunhofer EMI wurden eigene Fertigungsparameter für die Verarbeitung von wehrtechnischen Werkstoffen entwickelt. Es wurde gezeigt, dass sich auch Werkstoffe wie Wolfram, die schwer zu verarbeiten sind, im 3D-Druck in hoher Qualität erzeugen lassen.



Aron Pfaff

aron.pfaff@emi.fraunhofer.de



ERSTENTWICKLUNG VON PROZESS- PARAMETERN FÜR DEN 3D-DRUCK VON SCHWERMETALLEN UND SONDER- WERKSTOFFEN

Die additive Fertigung (3D-Druck) hat sich in den letzten Jahren rasant weiterentwickelt und wird zunehmend auch zur Kleinserienfertigung in der Industrie eingesetzt. Aufgrund der verschiedensten Anwendungsfelder wächst das Werkstoffportfolio

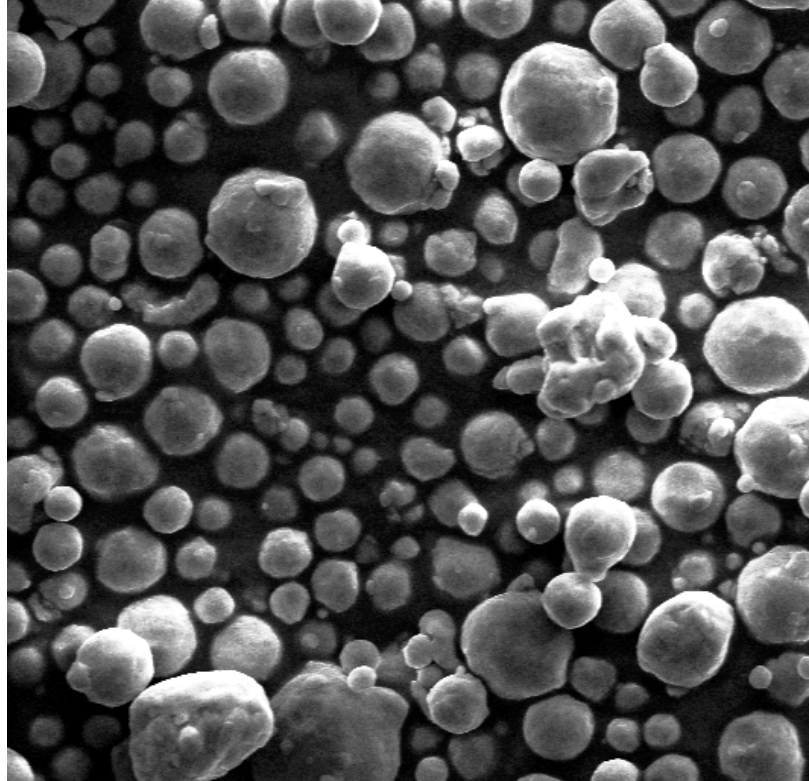


Additiv gefertigte Versuchskörper aus Schwermetall (Wolfram) für die Untersuchung optimierter Prozessparameter.

der vielfältigen 3D-Drucktechnologien stetig. Die besonders ausgeprägte Werkstoffflexibilität des pulverbettbasierten Laserverfahrens LBM (Laser Beam Melting) macht es zum am weitesten verbreiteten metallischen 3D-Druckverfahren. Dünne Schichten von Metallpulver werden bei diesem Verfahren auf ein Substrat aufgetragen, durch Laserenergie lokal aufgeschmolzen und mit der vorherigen Schicht verbunden. Auf diese Weise entsteht aus vielen Schichten ein dreidimensionales Objekt. Durch dieses additive Prinzip ergeben sich neue Freiheitsgrade im Design. Zusätzlich können auch komplexe Formen für Werkstoffe generiert werden, die konventionell zum Beispiel wegen ihrer hohen Härte nur sehr schwer bearbeitet werden können. Weitere Vorteile des LBM sind Flexibilität, die Möglichkeit integraler Bauweisen und Funktionsintegration, verbesserte Logistik, reduzierte Entwicklungszeiten und individuelle Produkte. Grundsätzlich ermöglicht LBM im Vergleich zu konventionellen Verfahren vergleichbare Materialdichte und hervorragende Materialeigenschaften. Die Technologie eignet sich somit sehr gut für die Herstellung hochbelasteter, auf Leichtbau optimierter Maschinenteile oder für Funktionsanwendungen in der Wehrtechnik.

Bislang wenige Legierungen für vielfältige Anwendungsfelder

Aufgrund der momentan aufwendigen Parameterentwicklung neuer Legierungen für den LBM-basierten 3D-Druck kommen vor allem wenige ausgewählte Legierungen für breite Anwendungsfelder zum Einsatz. Aluminium- und Titanlegierungen bedienen den Leichtbaumarkt. Inconel-Legierungen eignen sich für Hochtemperaturanwendungen, Edelstahl für den Maschinenbau und die Herstellung von Kunstobjekten, Cobaltchrom- und



100 μm

Titanlegierungen decken den Markt der Medizintechnik ab, und hochfeste Stähle werden zur Herstellung von Werkzeugen eingesetzt. Einsatzbereiche mit Bedarf nach alternativen Werkstoffen werden momentan nur bedingt bedient. Speziell für dynamische Anwendungen, wie im Bereich Fahrzeugcrash und insbesondere in vielen Bereichen der Wehrtechnik, finden sich kommerziell momentan keine geeigneten Materialien. Das Fraunhofer EMI entwickelt darum eigene Fertigungsparameter für die Verarbeitung von Sonderwerkstoffen. Einen Schwerpunkt bildet hierbei der wehrtechnische Bereich Schutz und Wirkung.

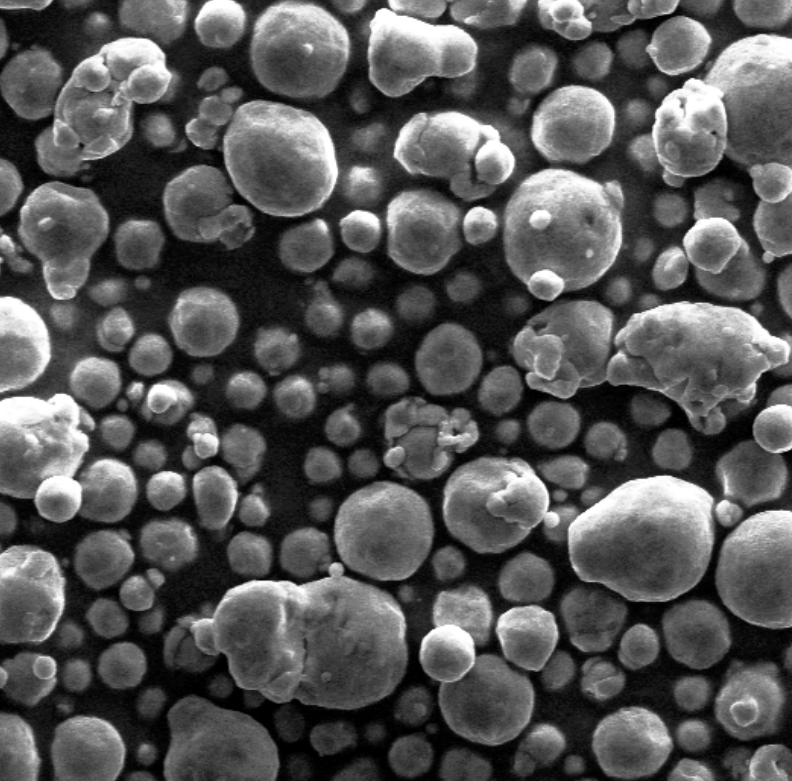
Hochqualitative Schwermetalle aus dem 3D-Drucker

So wurden beispielsweise Parameter zur Herstellung von hochqualitativem Wolfram entwickelt. Das Element zeichnet sich durch seine hohe Dichte und den höchsten Schmelzpunkt aller Metalle aus. Die Verarbeitung von Refraktärmetallen wie Wolfram zeigt hierbei, dass sich im LBM-Verfahren auch konventionell schwierig zu bearbeitende Metalle verarbeiten lassen, obwohl diese generell als schlecht schweißbar gelten und das LBM-

Verfahren im Grundprinzip einem Laserschweißprozess ähnelt. Die Parameterentwicklung für Wolfram stellte die Wissenschaftler am EMI vor besondere Herausforderungen. Aufgrund des hohen lokalen Energieertrags und großen Abkühlraten bei der Bearbeitung mit einem Laserstrahl kommt es im Mikrogefüge zu Rissbildungsprozessen. Die Bildung der Mikrorisse konnte im Zuge der Arbeiten erfolgreich minimiert werden. Das Resultat ist ein Sprödwerkstoff mit einer Dichte von etwa 19,2 Gramm pro Kubikzentimeter, ein stark mikrorissreduziertes und dichteoptimiertes Reinwolfram aus dem 3D-Drucker. Der Werkstoff eignet sich beispielsweise für Munitionsanwendungen oder Spezialanwendungen, wie Kollimatoren für Röntgendetektoren. Weitere Anwendungsbereiche sind Elektrotechnik, Medizintechnik sowie Applikationsfelder mit höchsten thermischen Anforderungen.

Effiziente Parameterentwicklung und Optimierung dank hausinterner Methodik

Für die Entwicklung der Parametersätze kommt eine effiziente, hausinterne Methodik zum Einsatz. Diese ermöglicht eine vergleichsweise schnelle und aufwandsarme Entwicklung der Prozesspara-

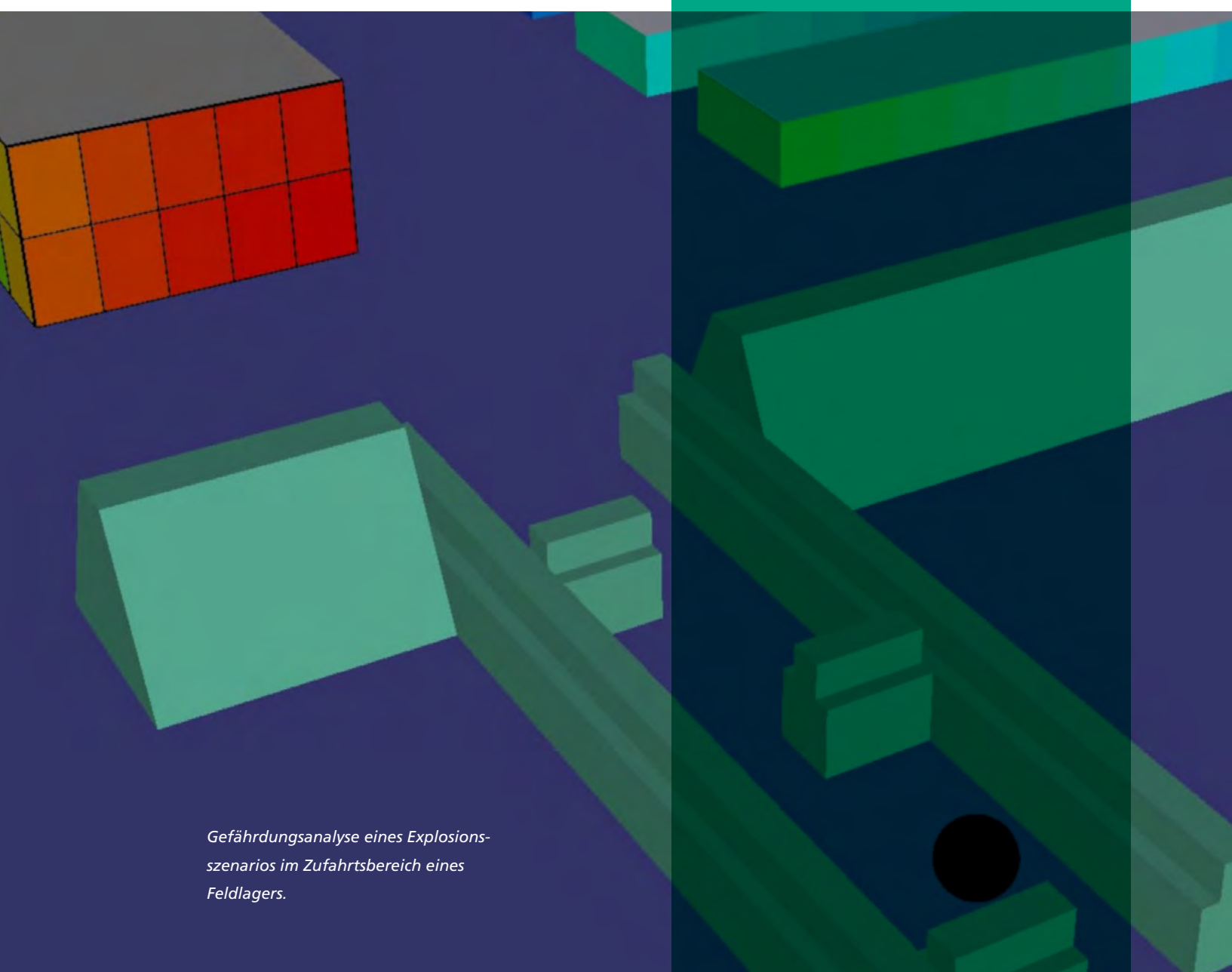


Untersuchung des pulverförmigen Ausgangsmaterials mit dem Rasterelektronenmikroskop.

meter. Auch lassen sich so besonders teure Spezialwerkstoffe deutlich günstiger entwickeln. Die Methodik stützt sich auf die Betrachtung der Interaktion zwischen Laserstrahl und Metallpulver sowie auf statistische Versuchspläne. Die gewonnenen Erkenntnisse dienen später auch der anwendungsspezifischen Parameteroptimierung sowie der Parameteranpassung für spezifische Bauteile und deren Anforderungen an die Fertigung. Für erste Charakterisierungen der resultierenden Materialien kommen schnelle Verfahren, wie die Bestimmung der Dichte, zum Einsatz. Ist der Parametersatz ausgereift, wird das Material mithilfe modernster Messmittel, wie Elektronenrückstreubeugung (EBSD) oder Mikro-CT-Aufnahmen, charakterisiert, und die Parameter werden weiter verfeinert.

Die Entwicklung einer hausinternen Methodik zur Parameterentwicklung für LBM-Werkstoffe ermöglicht eine effiziente Entwicklung von Fertigungsparametern und somit den Einsatz optimaler Werk-

stoffe für spezifische Anwendungsfelder. Es wurde gezeigt, dass sich so auch schwierig zu verarbeitende Werkstoffe in hoher Qualität erzeugen lassen. Denkbar ist in Zukunft zudem die Entwicklung neuartiger Legierungen, welche sich konventionell nicht realisieren lassen. So könnte die hohe Abkühlrate des Prozesses beispielsweise eine höhere Löslichkeit von Legierungselementen und somit neue Werkstoffeneigenschaften ermöglichen. Bei der Auswahl zukünftiger Legierungen ist jedoch nicht nur das Anwendungsgebiet zu berücksichtigen, sondern auch der erweiterte Lösungsraum bezüglich der neu verfügbaren Designfreiheiten. Werden Anforderungen beispielweise konventionell durch Geometrien basierend auf Halbwerkzeugen gelöst (zum Beispiel auf Platten), so werden diese bei der Anwendung additiver Verfahren eventuell effizienter durch alternative Geometrien (zum Beispiel durch Gitterelemente) gelöst. Basierend auf der neuen Geometrie gilt es, einen passenden Werkstoff auszuwählen.



*Gefährdungsanalyse eines Explosions-
szenarios im Zufahrtsbereich eines
Feldlagers.*



Dr. Kai Fischer

kai.fischer@emi.fraunhofer.de

Bei Auslandseinsätzen der Bundeswehr müssen Soldatinnen und Soldaten an ihrem Einsatzort untergebracht werden. Die Lagerung der von ihnen benötigten Munition in ihrer Nähe birgt Gefahren. Die Software BREAS ermöglicht eine detaillierte Schadensbewertung von baulichen Strukturen unter Einwirkung von Detonationsereignissen und schafft damit die Grundlage, um effiziente Schutzmaßnahmen ergreifen zu können.



DIE EXPERTEN- SOFTWARE BREAS BLAST RESPONSE ASSESSMENT OF STRUCTURES

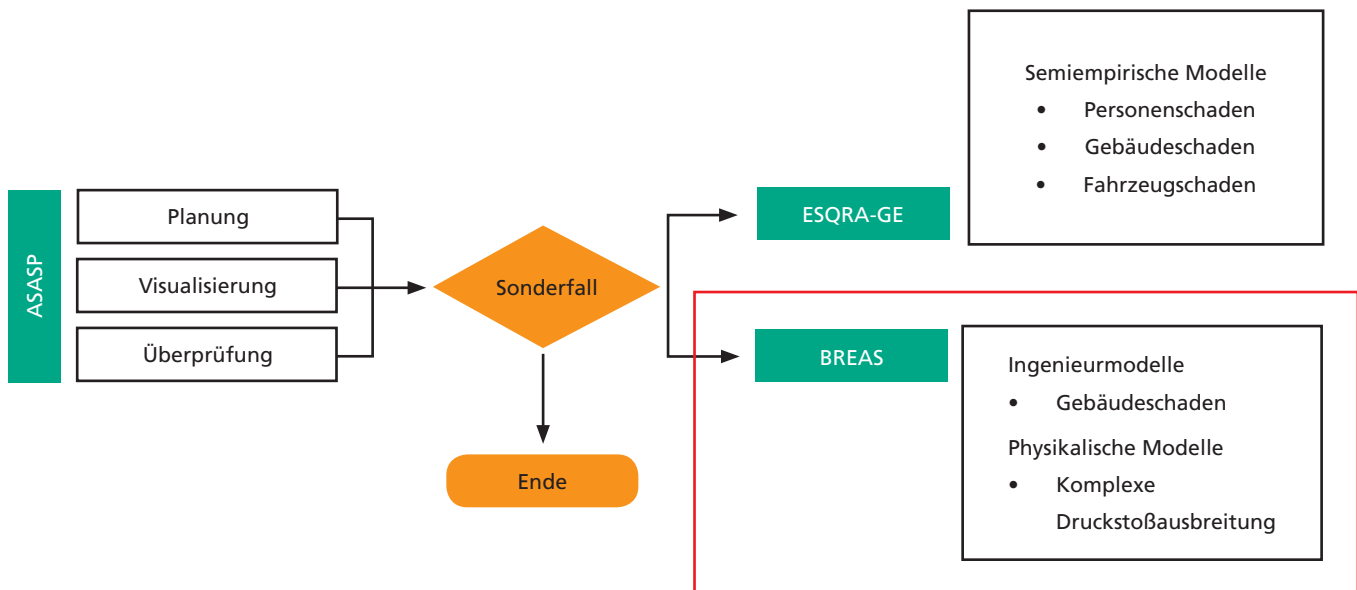
Die Bundeswehr ist gegenwärtig in mehreren Auslandseinsätzen von globaler Bedeutung im Einsatz. Das erfordert die Unterbringung von Personal und der zugehörigen Infrastruktur am jeweiligen Einsatzort. Die Bevorratung von Munition im Einsatz erzeugt eine Gefährdung innerhalb der Unterkunftsinfrastruktur, welche es zu bewerten gilt. Das gleiche

Gefahrenpotenzial birgt auch die Munitionslagerung im Grundbetrieb der Bundeswehr. Im Fall einer Umsetzung von Munition sind Personen oder Objekte erheblich gefährdet.

Das Fraunhofer EMI ist mit seiner Expertise und der Entwicklung von Softwarelösungen Teil eines Gremiums zur Bewertung der Sicherheit von Munitionslagerung. Neben dem EMI als wissenschaftlichem Partner sind Einrichtungen der Bundeswehr aus diesem Themenfeld, wie beispielsweise die Wehrtechnische Dienststelle für Schutz- und Sondertechnik (WTD 52), das Bundesamt für Infrastruktur, Umweltschutz und Dienstleistung, das Kommando für territoriale Aufgaben und das Logistikkommando der Bundeswehr, in diesem Gremium aktiv. Aufgrund der langjährigen und erfolgreichen Zusammenarbeit sind die Ergebnisse der EMI-Studien und die resultierenden Tools mittlerweile im Bundeswehrleitfaden zum Risikomanagement bei der Bevorratung von Munition integriert.

In Abhängigkeit von Truppenstärke und vorliegenden Vorschriften kann der Bedarf und die fachgerechte Lagerung mit der EMI-Software ASASP (Ammunition Storage and Site Planning Tool) bewertet werden. Im Abgleich mit den tatsächlichen räumlichen Gegebenheiten wird geprüft, ob Schutzabstände eingehalten werden können.

Bei Unterschreitung von Schutzabständen ermöglicht das EMI-Tool ESQRA-GE (Explosives Safety Quantitative Risk Assessment Germany) die Bewertung möglicher Risiken zur Entscheidungsunterstützung. Es werden Gefährdungen durch Splitter, Trümmer und Druckstoß und deren Auswirkungen auf Personen, Fahrzeuge und Gebäude abgeschätzt. Speziell die zu erwartenden Schäden an Gebäuden werden nur mit vereinfachten Modellen phänomenologisch betrachtet.



Vom Fraunhofer EMI entwickelte Softwaretools (grün) und deren Einsatzbereiche.

Daher wurde nach einer Möglichkeit gesucht, das Bauteilverhalten unter Druckstoßbelastung praxistgerecht und dennoch genau berechnen zu können. Ergebnis dieses Forschungsprojekts ist das Softwaretool BREAS (Blast Response Assessment of Structures), welches das Portfolio der Bundeswehr an Softwaretools im Rahmen der munitionstechnischen Sicherheit komplettiert.

BREAS ist eine am Fraunhofer EMI entwickelte Expertensoftware zur detaillierten Schadensbewertung von baulichen Strukturen unter Einwirkung von Detonationsereignissen. Anders als die meisten Finite-Elemente-Methoden bietet das Tool BREAS eine schnelle und einfache Bewertung des Bauteilverhaltens unter hochdynamischer Belastung. Gebäude können frei gewählt und auf einer grafischen Oberfläche angeordnet werden.

Es wird nicht nur die reine Tragfähigkeit analysiert, sondern auch eine Schadensbewertung der Infrastruktur mittels Farbskala vorgenommen. Die Bemessungsgrundlage bildet ein Ingenieurmodell bei flächiger Lastannahme. Hierbei wird die kritische Bauteilaußenlenkung bei Detonationsbelastung berechnet und visualisiert.

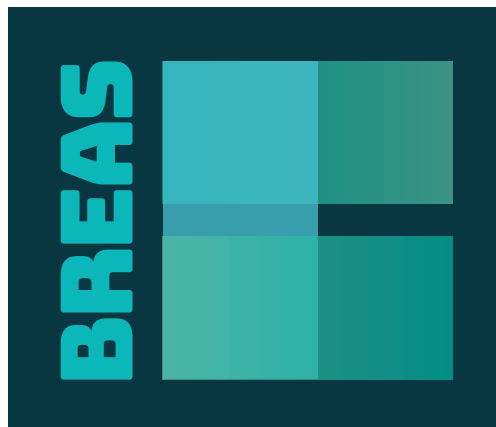
Einzelne Gebäude, aber auch insbesondere Gebäudegruppen, können genauer untersucht werden. Der Benutzer wird dabei durch eine dreidimensionale grafische Oberfläche bei Erstellung und Anordnung unterstützt. Für eine effiziente Schadensanalyse werden sowohl Gebäude als auch Container in ihre Elemente zerlegt und einzeln bewertet. Für die Containertypen sind diese Größen fest vorgegeben, die Gebäude können frei konfiguriert werden. Somit können auch längere Fassadenseiten genauer untersucht werden.

Neben für Feldlager typischen Elementen, wie Containern und Gebäuden, werden auch Schutzmaßnahmen durch Traversen und Erdwälle oder strukturelle Verstärkungsmaßnahmen berücksichtigt. Aufbau und Art der Traversen oder Erdwälle orientieren sich an den gängigen Größen aus dem Leitfaden für die sichere Lagerung von Munition. Die Berechnung von Minderungsfaktoren der Detonationseinwirkung bildet die Grundlage, um die Schutzwirkung von Traversen oder Erdwällen zu berücksichtigen. Darüber hinaus ermöglicht die Verknüpfung mit Kostenfaktoren die Bewertung der Effizienz verschiedener Schutzmaßnahmen.

Die Abschätzung des Gefährdungspotenzials erfolgt über zwei verschiedene Methoden: Mithilfe von semiempirischen Ansätzen kann über Gefahrstoffmenge und Abstand die Belastung am Bauteil oder Gebäude berechnet werden.

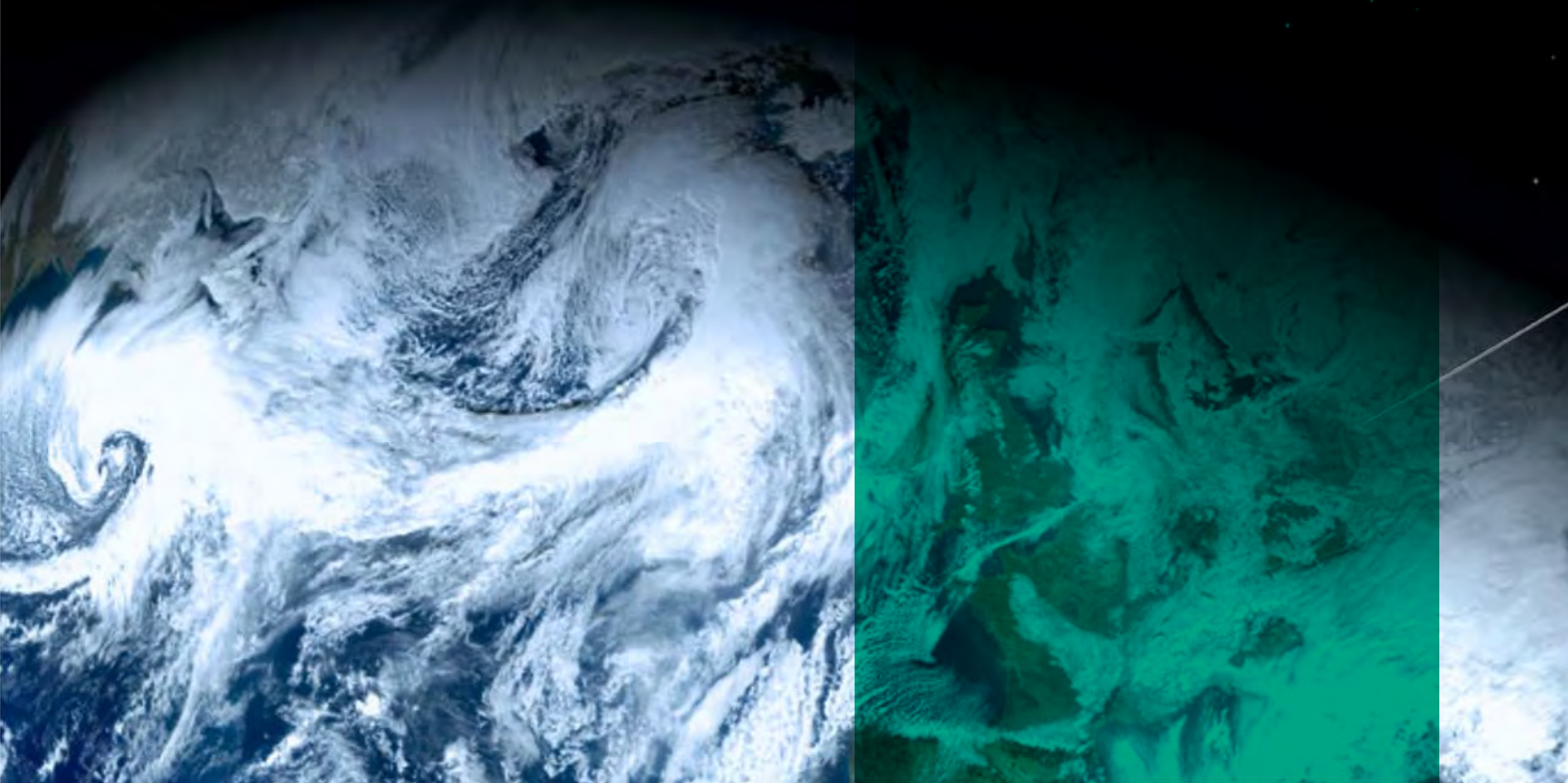
Eine Schnittstelle zur Software APOLLO Blastsimulator ermöglicht über ein Finite-Volume-Verfahren die Berücksichtigung von Fokussierungs- und Abschattungseffekten, wie sie bei komplexer Ausbreitung im bebauten Gebiet auftreten können.

Neben der Bewertung potenzieller Schäden bei der Bevorratung von Munition kann die Software BREAS auch im Bereich der Kampfmittelräumung eingesetzt werden, um mögliche Gefährdungen abzuschätzen und Entscheidungsunterstützung für Räumdienste zu liefern.



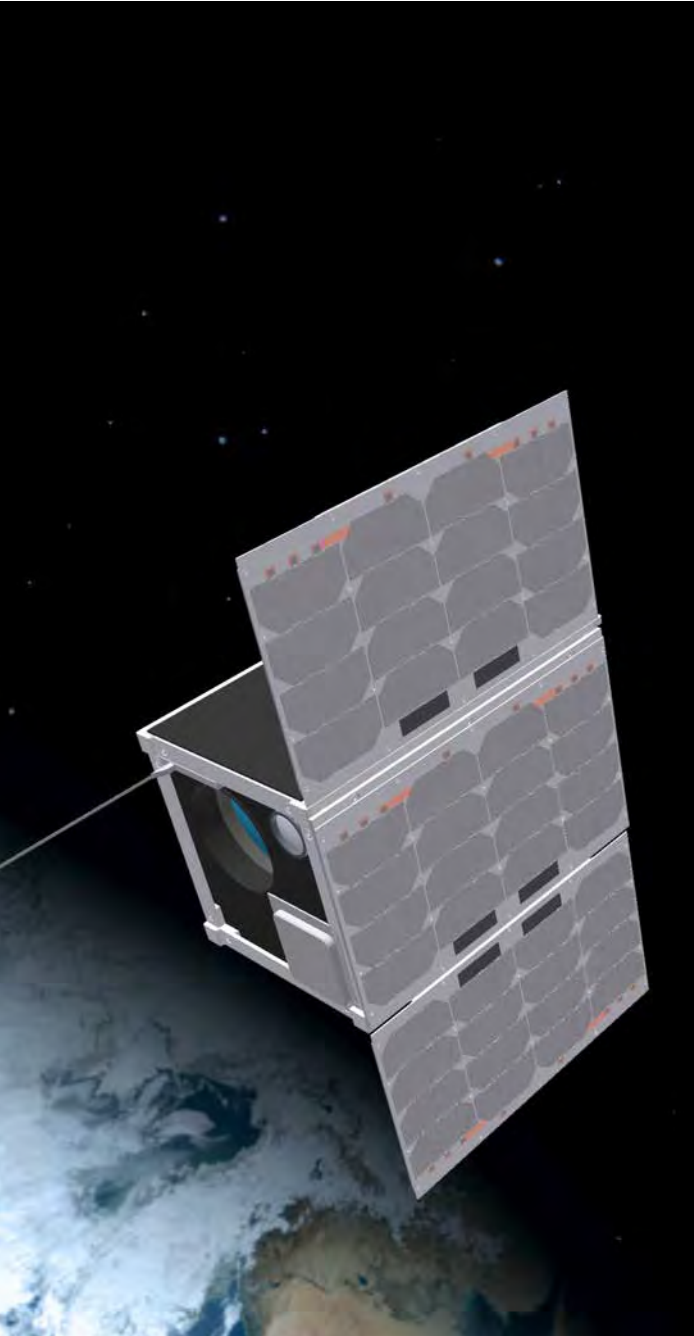
BREAS ist eine am Fraunhofer EMI entwickelte Expertensoftware zur Schadensbewertung an baulichen Strukturen bei Detonationsereignissen.

*Künstlerische Darstellung des
12U-Nanosatelliten ERNST im
Orbit. Der Start ist für den
Beginn des Jahres 2021 geplant.*



Dr. Martin Schimmerohn
martin.schimmerohn@emi.fraunhofer.de

Kleinsatelliten verändern derzeit die Raumfahrt. Der Aufbau großer Satellitenkonstellationen, bestehend aus seriengefertigten Kleinsatelliten und gestützt durch beträchtliche Investitionen, wird Realität. Das Fraunhofer EMI entwickelt den Nanosatelliten ERNST, um den Nutzen dieser aufkommenden Satellitentechnik für militärische Anwendungen zu demonstrieren.



DAS POTENZIAL VON NANOSATELLITEN FÜR MILITÄRISCHE ZWECKE

Die Raumfahrtbranche erfährt aktuell einen Umbruch durch neue Wettbewerber, die hohe Beträge an Wagniskapital für die Entwicklung neuer Raumfahrtssysteme eingeworben haben. Im Bereich der Satellitentechnik zielt die Entwicklung auf das Konzept großer Schwärme von Kleinsatelliten. Als »Kleinsatellit« bezeichnen wir allgemein Satelliten, die weniger als 100 Kilogramm wiegen. Sie sind keine neue Erfindung, sondern werden seit Jahrzehnten von Funkamateuren und später von Universitäten und Forschungsinstituten auch in



Aufnahme des Mars vom NASA-Kleinsatelliten MarCO-B. Zwei dieser nur 13,5 Kilogramm schweren Nanosatelliten überstanden den Flug zum Mars und dienten erfolgreich als Funkrelais zur gelandeten Raumsonde InSight. © NASA

Deutschland entwickelt. Dabei nutzen Kleinsatelliten traditionell die freien Nutzlastkapazitäten von Trägersystemen als Mitfluggelegenheit.

Eine weitere Größenklasse etablierte sich nach der Definition des »CubeSat«-Standards im Jahr 1999. Er umschreibt einen standardisierten, würfelförmigen Satelliten mit nur zehn Zentimetern Kantenlänge und maximal 1,3 Kilogramm Masse beziehungsweise Vielfache dieses Grundmaßes zu einem Nanosatelliten. Bis Ende 2018 sind weltweit mehr als 1000 CubeSats gestartet worden. Getrieben werden die Rekordstartzahlen inzwischen von kommerziellen Anbietern wie Planet Labs, die eine Konstellation von über 150 CubeSats zur Erdbeobachtung im niedrigen Erdorbit installiert haben. Damit steht der Kleinsatellitenbereich derzeit am Wendepunkt von der vorwiegend institutionellen hin zur kommerziellen Nutzung. Einen weiteren Meilenstein markierte die NASA mit ihrer Marsmission InSight, die mit dem erfolgreichen Einsatz von 6U-Nanosatelliten im interplanetaren Raum das technische Potenzial der Nanosatelliten aufzeigte.

Der emergente Aufstieg der Kleinsatelliten wird von deren Protagonisten als Teil der »New Space«-Industrie propagiert. Die hohe Dynamik dieses Markts führt zu der Frage, ob militärische Anwendungen von dieser Entwicklung profitieren können. Einer durch die Größe limitierten Leistungsfähigkeit stehen niedrige Kosten und kurze Umsetzungszeiten gegenüber. Die Entwicklung von Nanosatellitentechnologie folgt der Prämisse »Validierung statt Zertifizierung« und sieht kleine, modulare und robuste Satellitenplattformen in Serienfertigung vor. Diese Systeme enthalten einen relativ hohen Anteil an kommerziellen Komponenten und können so schnell auf Technologietrends reagieren.

Infrarothauptnutzlast des Nanosatelliten ERNST mit Filterpendel und 3D-gedruckter optischer Bank.



Durch die Anwendung in einer Konstellation lassen sich eine globale Abdeckung und eine geringe Latenzzeit realisieren. Schneller und häufiger zur Verfügung stehende Daten geben ein aktuelles Lagebild. Ein weiterer Pluspunkt ist die Systemredundanz, die auf US-Seite, wo die Nanosatellitenentwicklung auch militärisch stark getrieben ist, hervorgehoben wird. Gegenüber einem Einzelsystem ist eine Satellitenkonstellation sehr viel schwieriger angreifbar durch Blendung, Manipulation oder gar Zerstörung.

Um die Machbarkeit des Einsatzes von Nanosatelliten zur Unterstützung der Bundeswehr zu untersuchen, wird vom Fraunhofer EMI der Nanosatellit ERNST gebaut. ERNST ist eine 12U-Plattform mit den Maßen von 236 mal 236 mal 340 Kubikmillimetern. Er trägt drei Nutzlasten: einen kryogekühlten Infrarotdetektor zur Erdbeobachtung in Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer IOSB, eine Kamera zur Erd-

beobachtung im sichtbaren Bereich und einen vom Fraunhofer INT entwickelten Strahlungsdetektor. Derzeit wird das ERNST-Qualifikationsmodell integriert und getestet. Der Start eines Flugmodells ist für den Beginn des Jahres 2021 anvisiert. Technologische Highlights sind eine 3D-gedruckte optische Bank und ein entfaltbares Bremssegel für den beschleunigten Wiedereintritt des Satelliten in die Erdatmosphäre nach Missionsende.

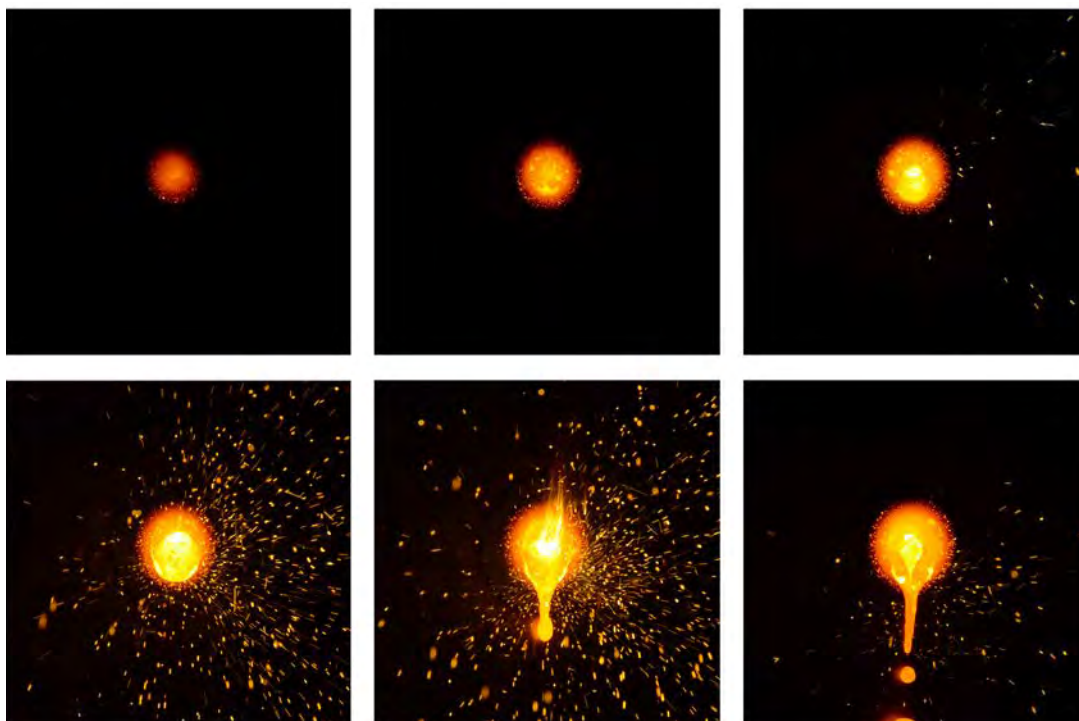
Dabei sehen wir die Entwicklung von Nanosatellitentechnik nicht in Konkurrenz, sondern ergänzend zu den etablierten Hochleistungssatelliten. Kostengünstige und reaktionsschnelle Nanosatellitenmissionen können gerade durch die Kombination mit bestehenden Systemen ein schnelles, umfassenderes Lagebild aus komplementären Daten für die militärische Fernerkundung bereitstellen.

SKALIERBARKEIT VON LASERWIRKUNG

Leistungsfähige Hochenergielaser sind bereits seit langer Zeit etablierte Werkzeuge in Industrie, Forschung und Entwicklung. Neben der Nutzung für Materialbearbeitung und generative Fertigung werden am Fraunhofer EMI auch neuartige Anwendungen in den Bereichen der Sicherheitsforschung und insbesondere der Wehrtechnik erprobt, bei denen die Eigenschaft des Lasers genutzt wird, Energie in stark gebündelter Form auch über große Entfernungen übertragen zu können.

Während viele Verfahren im Bereich der Materialbearbeitung mit Laserleistungen in der Größenordnung von einigen Kilowatt durchgeführt werden,

sind mittlerweile auch sehr leistungsfähige Systeme mit Leistungen von über 100 Kilowatt kommerziell verfügbar. Um das Potenzial derartiger Lasersysteme für verschiedene Anwendungen beurteilen zu können, werden am EMI Analysen zur Skalierung der Laserwirkung durchgeführt. Hierzu werden neben experimentellen Ansätzen auch numerische und analytische Methoden verfolgt, mit denen zum Beispiel die Auswirkung von nicht linearen Effekten auf die Laserwirkung berechnet werden kann. Mit diesen Untersuchungen soll es ermöglicht werden, die Leistungsfähigkeit der Lasersysteme der nächsten Generation je nach Anwendungsfeld einordnen zu können.



Verhalten einer metallischen Probe beim schnellen Aufheizen mittels leistungsstarker Laserstrahlung.



Dr. Jens Osterholz

jens.osterholz@emi.fraunhofer.de

LSQRA

LASER SAFETY QUANTITATIVE RISK ANALYSIS

Hochleistungslaser zeichnen sich durch die Eigenschaft aus, Energie über eine größere Distanz präzise auf ein Objekt übertragen zu können, und haben als Strahlwerkzeuge in der Materialbearbeitung, wie etwa beim Schweißen, Schneiden oder in der Lithografie, ein breites Anwendungsspektrum gefunden. Mittlerweile gewinnen Hochleistungslaser in der Wehrtechnik als Wirkmittel zunehmend an Bedeutung. Seit einigen Jahren gibt es bereits in anderen Staaten Anwendungen zur Entschärfung von Sprengfallen mittels Hochleistungslasern aus sicherer Entfernung, ohne dass sich Beteiligte in die Nähe der Sprengfalle begeben müssen. Großes Potenzial für Hochleistungslaser wird vor allem mittelfristig in der Abwehr von Drohnen (UAV, Unmanned Aerial Vehicles) bei Einsätzen der Bundeswehr gesehen.

Für eine Anwendung von Hochleistungslasern in derartigen Freifeldszenarien ist es notwendig, die Laserpropagation genau zu untersuchen und

mögliche Gefährdungen zu identifizieren. Hierfür entwickelt das Fraunhofer EMI das Sicherheitsanalysetool LSQRA (Laser Safety Quantitative Risk Analysis) zur 3D-visualisierten Simulation von Einsatzszenarien mit Lasereffektoren.

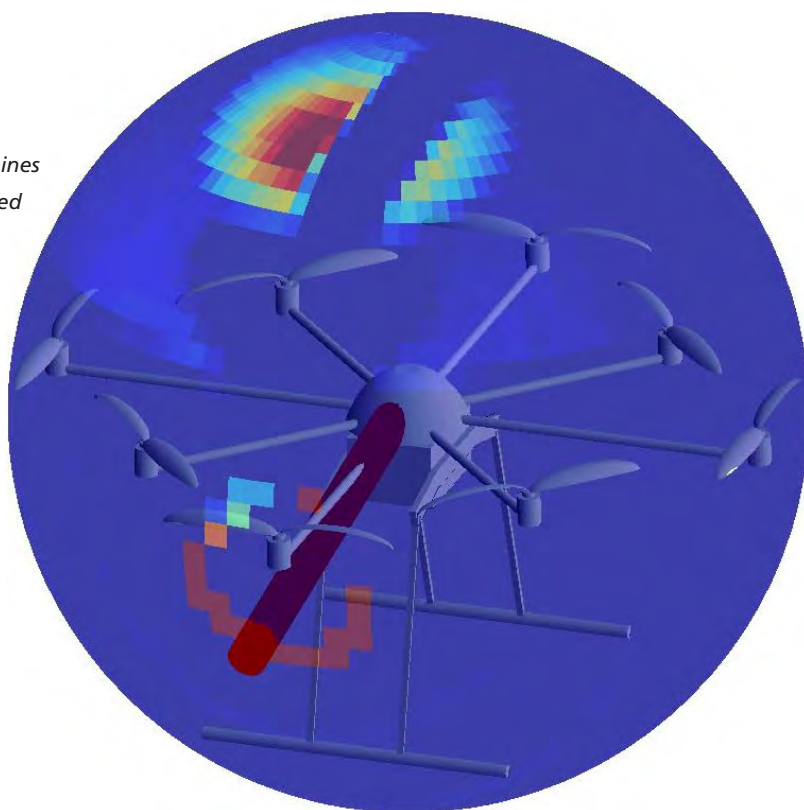
Das Hochenergielaserlabor des Fraunhofer EMI bietet die Möglichkeit, physikalische Modelle zum Aufschmelz- und Reflexionsverhalten von Materie bei Wechselwirkung mit Laserstrahlung zu entwickeln. Zur realitätsnahen Beschreibung der Laserpropagation sind für die Berechnung der Streuung und Absorption nicht nur geeignete Aerosolmodelle für die Verteilung von Partikeln in der Erdatmosphäre, sondern gegebenenfalls auch atmosphärische Turbulenzen mit zu berücksichtigen. Es erfolgt ein intensiver Austausch mit nationalen Forschungsinstituten, um geeignete Verfahrenswesen für die sichere Anwendung von Lasereffektoren in Freifeldszenarien zu entwickeln.

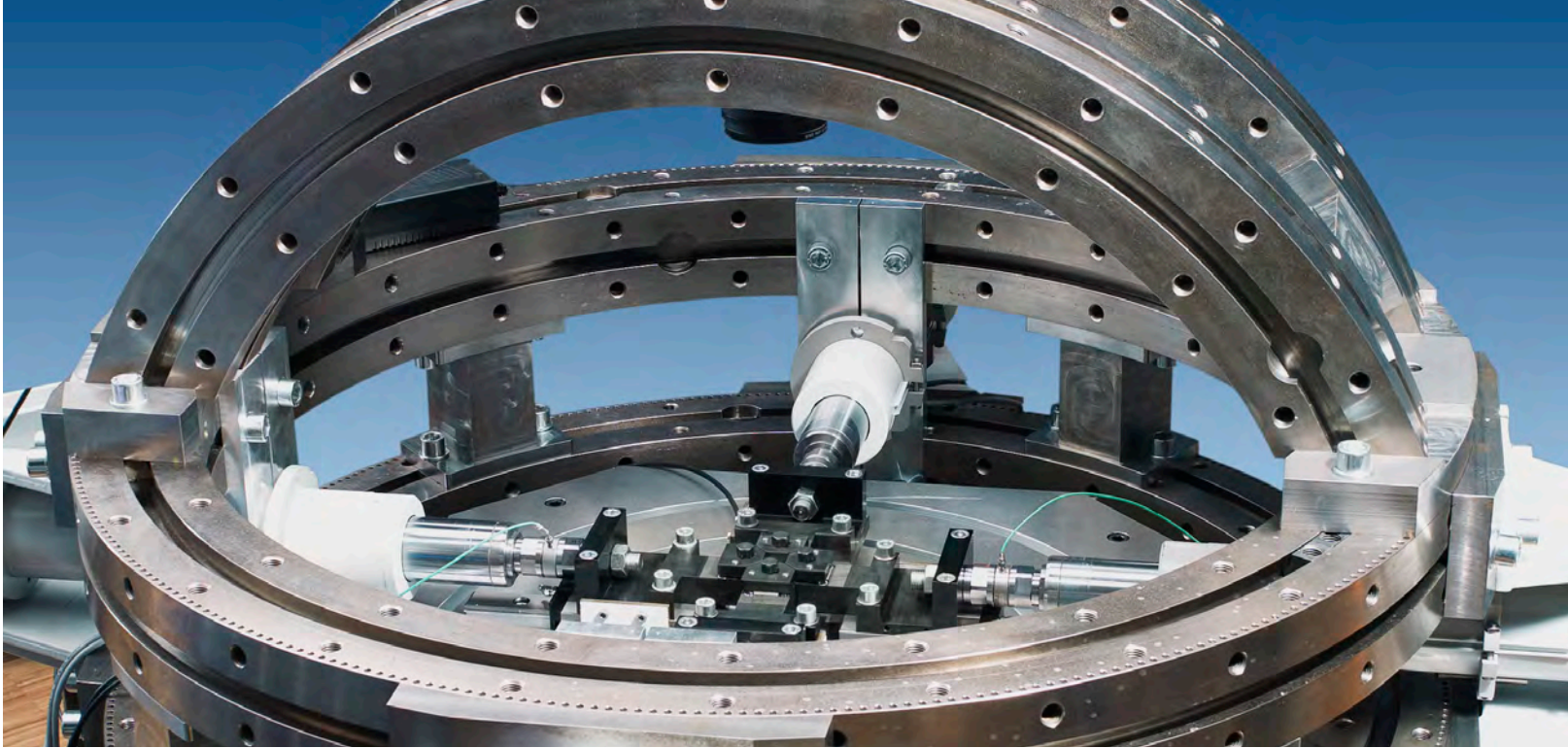
Modellierung der Einwirkung eines Lasereffektors auf ein Unmanned Aerial Vehicle (UAV) innerhalb des Sicherheitsanalysetools.



Wolfgang Niklas

wolfgang.niklas@emi.fraunhofer.de





Der Mehrachsenprüfstand erlaubt Versuche mit vielfältigen Belastungskombinationen.

HOCHFESTER SICHERHEITS-STAHL UNTER MULTIAXIALER BELASTUNG

Das Verformungs- und Versagensverhalten eines Werkstoffs wird experimentell gerne an einfachen Belastungen untersucht. Dazu werden zum Beispiel einachsige Zug- und Druckversuche durchgeführt. In der Realität versagen Werkstoffe aber oft unter komplexen, mehrachsigen Spannungszuständen. Hochfeste Sicherheitsstähle werden eingesetzt, um Fahrzeuginsassen gegen Beschuss mit Handfeuerwaffen zu schützen. Beim Impact eines Projektils stellen sich, zum Beispiel abhängig vom Auftreffwinkel, komplexe Beanspruchungszustände aus Zug und Druck, aber auch Biege- und Scherbelastung ein. Dazu ist ein solches Ereignis ein hochdynamischer Vorgang, der zusätzlich durch starken lokalen Temperaturanstieg geprägt sein kann.



Wilfried Harwick

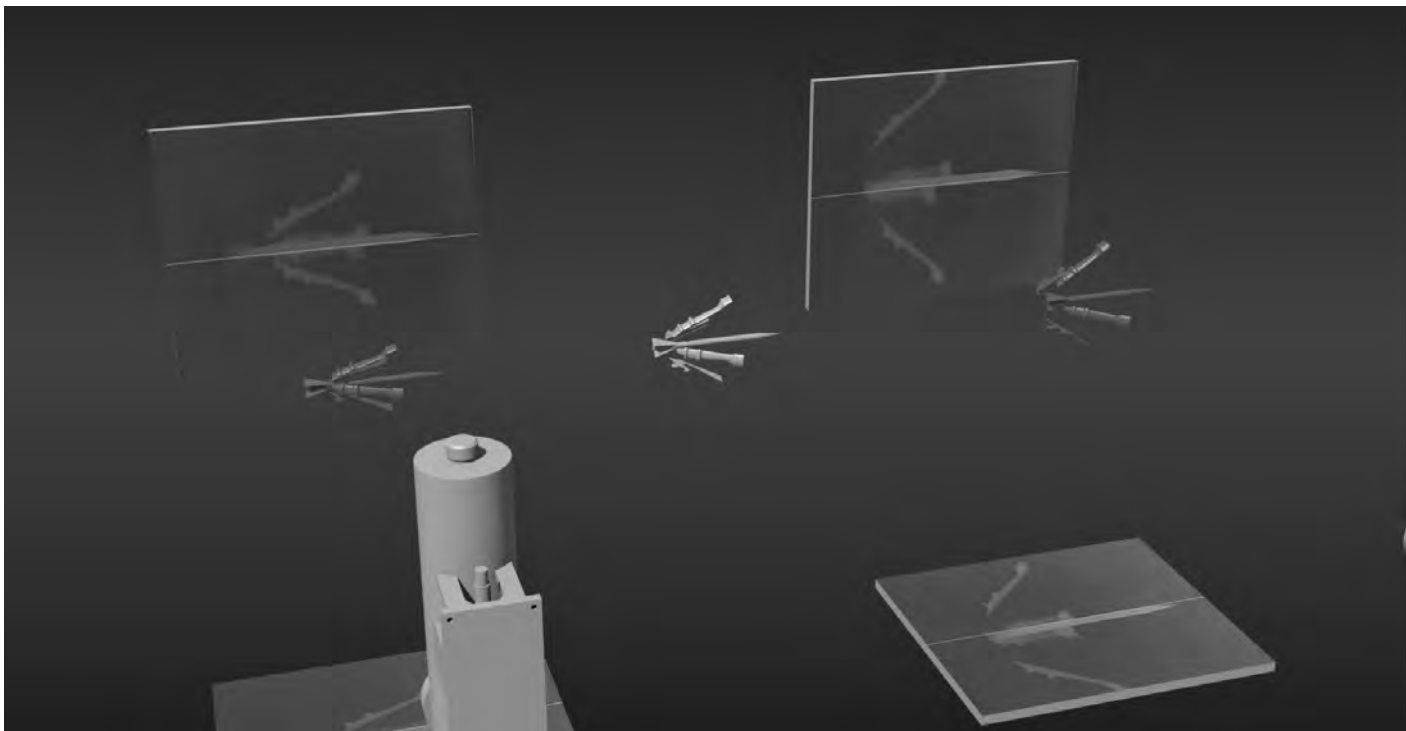
wilfried.harwick@emi.fraunhofer.de

Um solche Belastungen im Labor nachzubilden, werden am Fraunhofer EMI Werkstofftests an einem speziellen Mehrachsenprüfstand durchgeführt. Hierbei können Proben vom Sicherheitsstahl bis hin zum Textilgewebe mithilfe von bis zu sechs einzeln beweglichen Aktuatoren vielfältigen Belastungskombinationen ausgesetzt werden. Die Beanspruchungsgeschwindigkeit kann praxisgerecht über mehrere Größenordnungen von quasistatisch bis dynamisch variiert werden. So wird experimentell eine Datenbasis geschaffen, um konkrete Beanspruchungsszenarien mittels numerischer Methoden genau simulieren zu können. Ziel ist die prognosefähige Modellierung des Verformungs- und Versagensverhaltens, abhängig von Spannungsmehrachsigkeit, Dehnrate und Vorschädigung. Hochfeste Sicherheitsstähle werden so für extreme Einsatzbedingungen und praxisrelevante Bedrohungsszenarien berechenbar.

3D-RÖNTGENANALYSE DER TREIBKÄFIGABLÖSUNG

Zur Untersuchung der Abgangsbalistik von Unterkalibergeschossen wurde eine innovative, röntgenbasierte Messmethode entwickelt, die neue Untersuchungsmöglichkeiten eröffnet. Die Ablösung des Treibkäfigs nach der Rohrmündung ist für die Treffgenauigkeit von entscheidender Bedeutung. Da insbesondere im mündungsnahen Bereich die ausströmenden Pulvergase den optischen Zugang erschweren oder unmöglich machen, wurde die Röntgenblitztechnik gewählt. In mehreren Abständen zur Rohrmündung werden je zwei orthogonale Aufnahmen durchgeführt.

Durch die Verwendung von featurebasierten Registrierungsverfahren können daraus die Positionen der Einzelteile in 3D bestimmt werden. Da diese Daten jedoch nur zu wenigen Zeitpunkten oder Abständen verfügbar sind, müssen die Zwischenschritte durch modellbasierte Interpolation berechnet werden. Hier werden Methoden aus den Bereichen Datenfusion und Datenassimilation eingesetzt. Die neue Messmethode ermöglicht vertiefte Auswertungen und sehr detaillierte Einblicke in die dynamischen Vorgänge.



Dynamik der Treibkäfigablösung eines Modellgeschosses.



Ralph Langkemper

ralph.langkemper@emi.fraunhofer.de



Axel Sättler

axel.saettler@emi.fraunhofer.de

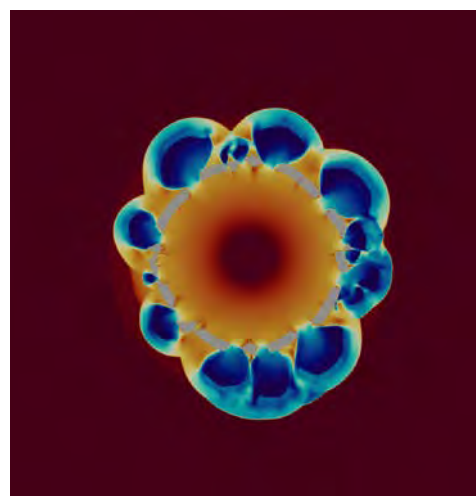
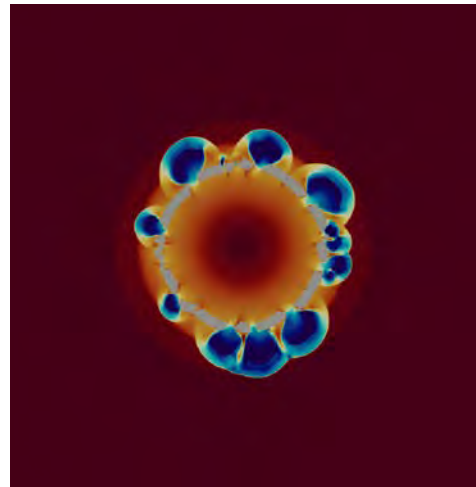
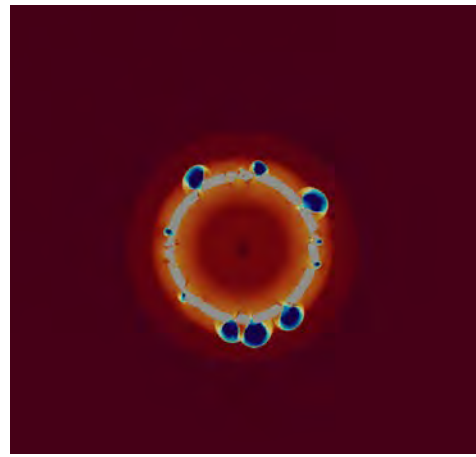
CO-SIMULATION FÜR DIE FLUID-STRUKTUR-KOPPLUNG

Als Co-Simulation wird der Ansatz bezeichnet, ein System durch die parallele, gekoppelte Simulation seiner Komponenten zu modellieren. Am Fraunhofer EMI werden Simulationen mit Schnittstellen für die Co-Simulation von Fluid-Struktur-gekoppelten Systemen entwickelt.

Im Fokus der Anwendung stehen Anlagenkomponenten oder bauliche Strukturen, die Explosionslasten ausgesetzt sind. Dabei interessiert nicht nur die Nachweisführung, dass die untersuchten Objekte den Lasten sicher standhalten können, sondern auch der entgegengesetzte Fall: Für eine Gefährdungsbeurteilung muss das Verhalten der Struktur beurteilt werden, wenn die Festigkeitsgrenzen überschritten werden. Dazu müssen insbesondere die Anzahl, Größenverteilung und Geschwindigkeiten der entstehenden Fragmente analysiert werden.

Grundlage für eine erfolgreiche Verwendung der Simulationsverfahren im Forschungsalltag sind geeignete physikalische Modelle sowie genaue und effiziente numerische Methoden und deren Implementierung als praxismgerechte Software. Daher entwickeln wir unsere Softwareprodukte, den APOLLO Blastsimulator für die Fluidynamik der Explosionsprozesse und den Finite-Elemente-Code SOPHIA für hochdynamisch belastete Strukturen, stetig weiter.

Beide Codes wurden durch eine universelle Schnittstelle für die Co-Simulation Fluid-Struktur-gekoppelter Systeme erweitert. Damit werden neue Perspektiven für die simulationsbasierte Analyse komplexer physikalischer Wechselwirkungen geschaffen.



Die Bildreihe zeigt die simulierte Fragmentierung einer dickwandigen Ringstruktur unter Innendruck und die Überschallausströmung des Hochdruckgases durch die entstehenden Risse.



Dr. Arno Klomfass

arno.klomfass@emi.fraunhofer.de

MECHANISCHE MATERIAL- MODELLE FÜR POLYMER- GEBUNDENE SPRENGSTOFFE

Moderne Munitionen basieren in der Regel auf polymergebundenen Sprengstoffen (Polymer-Bonded Explosive, PBX). Dabei handelt es sich um heterogene Materialien, bei denen die eigentlichen reaktiven Bestandteile (wie Oktogen- oder Hexogenkristalle) in einer Polymermatrix eingebettet sind. Dieser Aufbau bestimmt die besonderen mechanischen Eigenschaften von PBX. Kristalle zeichnen sich durch hohe Steifigkeit und Sprödigkeit aus, während die Polymermatrix ein typisches viskoelastisches Verhalten aufweist. Daneben spielt die Haftung der Matrix an die Kristalle eine entscheidende Rolle für das mechanische Verhalten, aber auch für mögliche reaktive Umsetzungen bei dynamischen Belastungen.

Das Fraunhofer EMI erforscht, wie diese Phänomene bei der Materialbeschreibung von PBX berücksichtigt werden können. Aktuell werden Materialmodelle eingesetzt, die viskoelastisches Verhalten mit Rissbildungsprozessen kombinieren und damit zur Beschreibung von Debonding-Phänomenen zwischen Kristall und Matrix geeignet sind. Für die Bestimmung der Materialparameter stehen die zugehörigen experimentellen Anlagen am Fraunhofer EMI zur Verfügung. Dabei wird neben einer hydraulischen Presse zur Realisierung von hohen Druckbelastungen eine Split-Hopkinson-Pressure-Bar-Anlage für hochdynamische Belastungen eingesetzt. Die daraus abgeleiteten Materialmodelle werden für die Bewertung von Sicherheitsaspekten beim Einsatz von Munition verwendet.



*PBX-Probe für die
Materialcharakterisierung.*



Dr. Norbert Heider
norbert.heider@emi.fraunhofer.de



Am Fraunhofer EMI wird das Gesamtsystem Handfeuerwaffe untersucht, das aus mehreren Subsystemen besteht.

ANALYSE SYSTEM- TECHNOLOGIE

Gesamtheitliche Betrachtung der Wechselwirkung von Waffe, Munition und Anbauteilen

Das Gesamtsystem Handfeuerwaffe besteht in der Regel aus den von unterschiedlichen Herstellern stammenden Subsystemen Waffe, Munition und Optiken, die im Zusammenspiel auch unter dem Einfluss von Umweltbedingungen die von der Bundeswehr gestellten Anforderungen erfüllen müssen.

Um sowohl im Hinblick auf neuartige Anforderungen zu Aspekten der Ballistik sowie der Funktionsicherheit, der Treffleistung und der Wechselwirkung zwischen zum Teil neu miteinander zusammengestellten Komponenten ganzheitlich erfassen zu können, ist eine interdisziplinäre wissenschaftliche Herangehensweise erforderlich.

Ein Schwerpunkt der Arbeiten in der Gruppe Analyse Systemtechnologie liegt daher in der Erarbeitung von Methoden, die für die Analyse und Erprobung von Waffe und Munition sowie von Anbauteilen angewendet werden können. In den letzten Jahren wurden beispielsweise Untersuchungen zu Waffenrohrschwingungen, zur inhomogenen Erwärmung des Gesamtsystems und zur Mündungssignatur durchgeführt. Erkenntnisse daraus sind in die entsprechenden Regelwerke eingeflossen und wurden für die Formulierung von Anforderungen für zukünftige Ausrüstung der Bundeswehr genutzt.



Martin Hunzinger

martin.hunzinger@emi.fraunhofer.de

CHARAKTERISIERUNG VON GLÄSERN FÜR DEN EINSATZ ALS TRANSPARENTER SCHUTZ

Beschussichere Fenster bestehen typischerweise aus mehreren Glasschichten, die mithilfe von Kunststofffolien zu einem Laminat verbunden werden. Trifft ein Projektil auf eine Glasschicht, so werden unmittelbar nach dem Aufschlag Risse gebildet, die sich je nach Glassorte mit Geschwindigkeiten zwischen 1500 Metern pro Sekunde und 2200 Metern pro Sekunde ausbreiten. Die Spannungswellen, die beim Aufschlag des Projektils entstehen, breiten sich mit Geschwindigkeiten zwischen 5600 Metern pro Sekunde und 6500 Metern pro Sekunde aus und führen zu einer zusätzlichen Schädigung des Glases. Daher dringt das Projektil immer in vorgeschädigtes Material ein.

Um die Wechselwirkung zwischen dem vorgeschädigten Glas und dem Projektil beschreiben zu können, werden am Fraunhofer EMI Methoden entwickelt, um Gläser mittels Planarplattenimpakt definiert vorzubelasten, die Schädigung mithilfe röntgentomografischer Untersuchungen quantitativ zu erfassen und die Festigkeitseigenschaften zu bestimmen. Anhand dieser Messungen können verbesserte Materialmodelle entwickelt und die Prognosefähigkeit von Simulationen verbessert werden, insbesondere für die Berechnung des noch vorhandenen Schutzes bei mehreren Treffern.

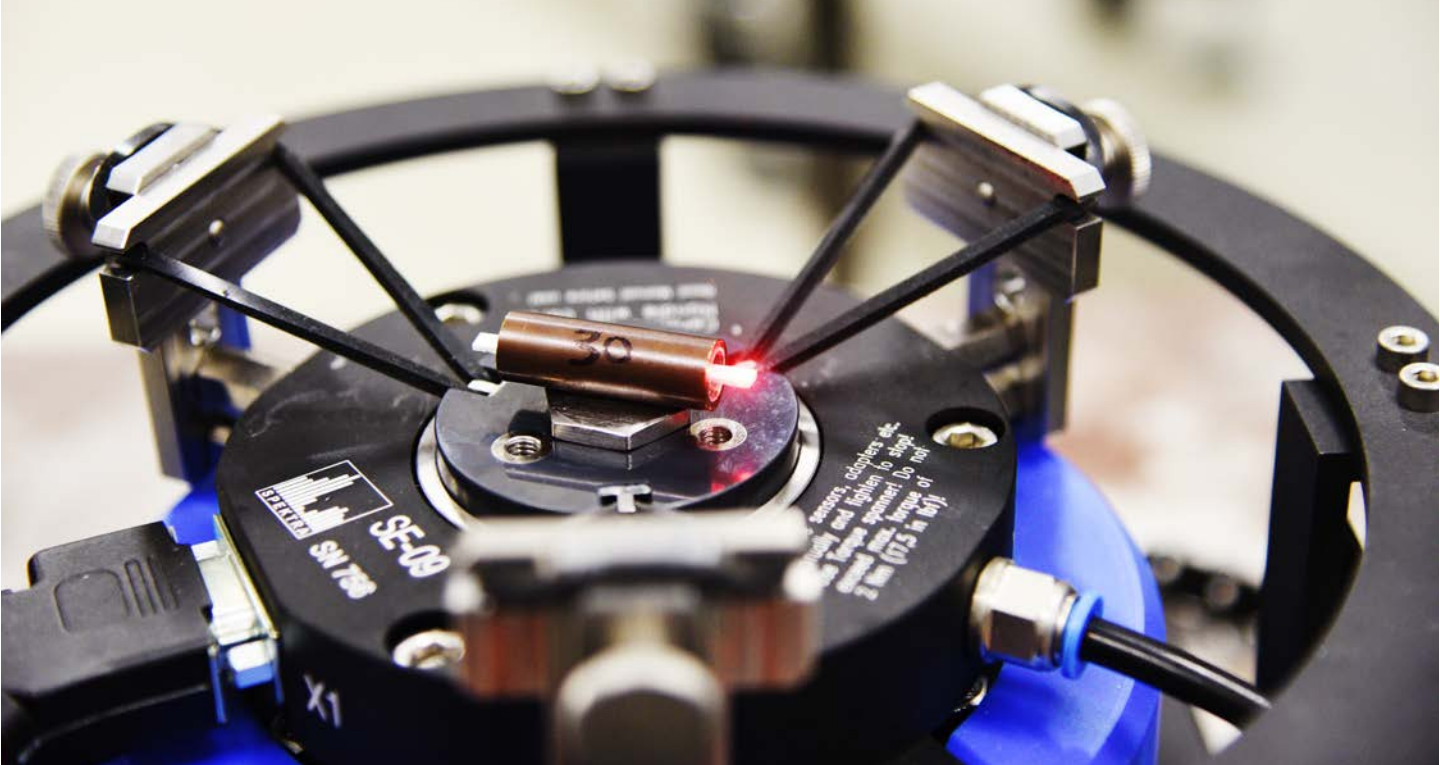


Glaslaminatprobe nach Beschuss.



Elmar Straßburger

elmar.strassburger@emi.fraunhofer.de



*Sensorsystem auf einem Shaker zur Resonanzbestimmung.
Messung der Auslenkung mittels Laservibrometer.*

EHarsh **SENSORSYSTEME FÜR RAUE UMGEBUNGEN**

Ziel des Fraunhofer-Leitprojekts »eHarsh« ist die Entwicklung einer Technologieplattform, auf deren Basis Sensorsysteme für den Einsatz in extrem rauer Umgebung entwickelt und hergestellt werden können. Dazu haben sich acht Fraunhofer-Institute mit ihren jeweiligen Kompetenzen zusammengefunden, um in interdisziplinärer Kooperation eine umfassende Lösung zur Anwendung auf Systemebene bereitstellen zu können.

Im Rahmen des Projekts wird von den beteiligten Instituten eine Vielzahl von Aufbau- und Verbindungstechniken (AVT) und Fügeverfahren entwickelt beziehungsweise weiterentwickelt, welche den spezifizierten Anforderungen, wie einem weiten Temperaturbereich sowie Stoß- und Vibrationsbelastung, standhalten müssen. Es ist daher ein integraler Bestandteil des Projekts,

diese Verbindungstechniken auf ihre Robustheit gegenüber Umweltbelastungen zu prüfen. Hierbei ist insbesondere die Untersuchung der Sensorsysteme unter kombinierten Belastungen wichtig, da hier gegebenenfalls neue Fehlerbilder auftreten können, die bei isolierter Betrachtung nicht – oder nicht so ausgeprägt – vorhanden sind.

Hierzu werden am Fraunhofer EMI spezifische Prüfstände errichtet, zum Beispiel zur kombinierten Prüfung unter Temperatur- und Vibrationsbelastung. Dies ermöglicht sowohl die Untersuchung von vereinfachten Sensorsystemen zur frühzeitigen Bewertung verschiedener AVT- und Fügemethoden als auch den Nachweis der Funktionsfähigkeit der späteren Demonstrator-Sensorsysteme.



Dr. Sebastian Schopferer
sebastian.schopferer@emi.fraunhofer.de



TRAGFÄHIGKEIT UND FUNKTIO- NALITÄT VON SCHUTZWÄLLEN

Zur Umschließung von Schutzzonen werden im Militärbereich einfache, aber effektive Lösungen benötigt, die Personen und Material gegen Extremeinwirkungen wie Detonationsereignisse abschirmen. Oft werden hierbei Korbsysteme eingesetzt, die sich mit vor Ort vorhandenem Erdmaterial befüllen lassen. Dadurch wird schnell und mit geringem logistischem Aufwand ein Wall errichtet, der durch seine hohe Masse den erforderlichen Schutz bietet.

Das Fraunhofer EMI untersucht das Strukturverhalten und die Funktionalität solcher Wallssysteme auf experimentelle und numerische Weise. Zudem werden zur Berechnung auch analytische Ansätze herangezogen. Da die Tragfähigkeit primär von den bodenmechanischen Eigenschaften des verwendeten Füllmaterials und dessen Einbauzustand abhängt, schließt die Analyse die in diesem Zusammenhang erforderlichen Laborversuche mit ein.

Das gewonnene Wissen lässt sich zukünftig weiter nutzen, um beispielsweise vergleichbare Barrieren im nicht militärischen Bereich zu entwickeln, die dann auch den geänderten Anforderungen der zivilen Anwendung Rechnung tragen können.

Untersuchung des Strukturverhaltens eines Schutzwallsystems in einem Sprengversuch (Detonationsereignis im Nahfeldbereich).



Christoph Roller

christoph.roller@emi.fraunhofer.de

EDA-SITZUNG CAPTECH EUROPEAN DEFENCE AGENCY

Vom 16. bis 17. Oktober 2018 fand am EMI in Freiburg das 30. CapTech Meeting »Ammunition Technologies« der EDA (European Defence Agency) mit Teilnehmerinnen und Teilnehmern aus neun Nationen statt. Aufgabe dieser Arbeitsgruppe ist es, ein europäisches Expertennetzwerk im Bereich Munition aufzubauen, um neue Technologien zu identifizieren und gemeinsame Forschungsprojekte zu initiieren.

UN PEACEKEEPING SYMPOSIUM

Das Fraunhofer EMI hat vom 14. bis 18. Mai 2018 am »4th Partnership for Technology in Peace-keeping Symposium« der Vereinten Nationen in Berlin teilgenommen. Mit einem Stand und Exponaten präsentierte das Fraunhofer EMI das Potenzial von Kleinsatelliten zur Unterstützung der friedenserhaltenden UN-Einsätze.



Dr. Martin Schimmerohn im Gespräch mit UN Assistant Secretary-General Lisa Buttenheim, dem Parlamentarischen Staatssekretär Thomas Silberhorn und Oberst i.G. Fritz Urbach (von links nach rechts) am Stand des Fraunhofer EMI.

EMI-STAND AM TAG DER BUNDESWEHR

Beim deutschlandweiten Tag der Bundeswehr am 9. Juni 2018 war das EMI in Mannheim mit einem Ausstellungsstand vertreten. Zu dem familienfreundlichen Programm kamen allein dort knapp 10 000 Gäste. Das EMI zeigte Exponate aus den Bereichen transparenter Schutz und Aluminium-3D-Druck.



Forschung zum Anfassen: Transparente Schutzlaminare und metallische 3D-Druckexponate adressierten wichtige Kernthemen der Bundeswehr.

STARKE ROLLE DER EU ALS SICHERHEITS- UND VERTEIDIGUNGSGARANTIN

Über vier Milliarden Euro wird die EU ab 2020 in Verteidigungsforschung investieren. Aktuell laufen bereits vorbereitende Pilotprojekte und die sogenannte Preparatory Action on Defence Research, an der sich das Fraunhofer EMI beteiligt. Um die vielseitigen Chancen des neuen Programms für die gesamte Fraunhofer-Gesellschaft maximal nutzbar zu machen, hat der Fraunhofer-Verband Verteidigungs- und Sicherheitsforschung (VVS) gemeinsam mit dem Fraunhofer-Vorstand EMI-Mitarbeiter Daniel Hiller zum Koordinator EU-Defence ernannt.

60TH ANNUAL FUZE CONFERENCE

Innovative Aspekte der Zündertechnologie standen im Fokus der jährlich stattfindenden NDIA Fuze Conference. In Cincinnati, USA, stellte das Fraunhofer EMI in diesem Jahr eine neuartige Prüfmaschine für aktivierbare Batterien vor. Bei bis zu 18 000 Umdrehungen pro Minute und mehreren Tausend g Beschleunigung können damit Zünderbatterien einsatznah getestet werden.



Hochleistungstestanlage für aktivierbare Batterien, mit der die Prüflinge einem Drall von bis zu 18 000 Umdrehungen pro Minute und gleichzeitig mehreren Tausend g Beschleunigungslast ausgesetzt werden können.

FUTURE SECURITY

Die Future Security im März 2019 in Berlin stand unter dem Motto »Disruptive Technologien in Verteidigung und Sicherheit«. Die Fachsessions zu den Themen Hochenergielaser, künstliche Intelligenz und autonome Systeme sowie Cyber Defense and Security boten einen umfassenden Überblick über den Stand der Forschung und deren Anwendung in Industrie und Bundeswehr. Dr. Matthias Wickert hat die Session Hochenergielaser als Session Chair geleitet, in der Dr. Jens Osterholz vorgetragen hat.



Mehr Informationen finden Sie unter www.future-security.de



Dr. Matthias Wickert bei der Zusammenfassung der Session auf der Future Security 2019 in Berlin.

GESCHÄFTSFELD
SICHERHEIT



*Sicherheit ist ein
gesellschaftliches
Grundbedürfnis.*

GESCHÄFTSFELD SICHERHEIT

Sicherheit wird oft als Zustand frei von unvermeidbaren Risiken definiert und ist ein gesellschaftliches Grundbedürfnis. Aufgrund der zunehmenden Komplexität unserer Gesellschaft und der damit einhergehenden Risiken bleibt die Gewährleistung von Sicherheit eine andauernde Herausforderung.

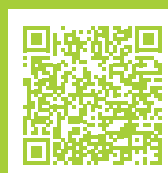
Dabei spielt nicht nur das wissenschaftlich berechnete Risiko eine Rolle, sondern auch dessen Wahrnehmung: Denn obwohl die Sicherheit statistisch gesehen immer weiter ansteigt, ist ein wachsendes Unsicherheitsgefühl zu beobachten. Hier gilt es, die Frage zu beantworten: Wie wird Sicherheit von den Menschen wahrgenommen?

Darüber hinaus wird das Sicherheitsbedürfnis erweitert durch die Forderung nach Resilienz, also der Fähigkeit, sich auch nach unvorhersehbaren Ereignissen schnell wieder zu erholen. Dies stellt gänzlich neue Anforderungen, deren Wirksamkeit und Effizienz es zu erfassen gilt. Die folgenden Beiträge versuchen, Antworten auf diese wichtigen Fragen zu geben.



Dr. Alexander Stolz

Geschäftsfeldleiter Sicherheit
alexander.stolz@emi.fraunhofer.de



*Abschätzung und Visualisierung
zu erwartender Gebäudeschäden
unter Erdbebeneinwirkung.*



Dr. Kai Fischer
kai.fischer@emi.fraunhofer.de

Erdbeben hinterlassen Chaos und Schutt. Für schnelle, lebensrettende Entscheidungen benötigen Such- und Rettungstrupps technische Hilfsmittel für einen besseren Lageüberblick. Lösungen aus dem Projekt INACHUS helfen dabei, Rettungseinsätze zur Ortung und Bergung von Verschütteten mit gesteigerter Reaktionsschnelligkeit zu koordinieren.



INACHUS UNTERSTÜTZUNG FÜR EINSATZKRÄFTE BEI ERDBEBEN

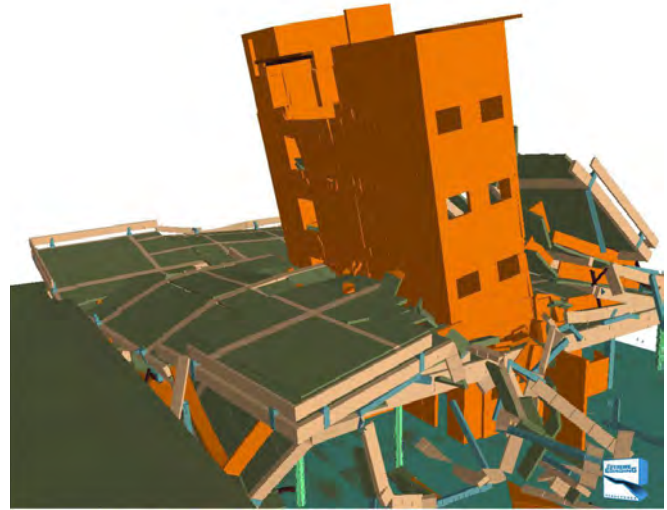
Erdbebenereignisse können schnell zu chaotischen und unübersichtlichen Situationen sowie erschwerten Arbeitsbedingungen für Such- und Rettungstrupps führen, wie beispielsweise das Erdbeben 2009 in L'Aquila gezeigt hat. Es gilt, schnelle Entscheidungen zu treffen, um potenziell verschüttete Personen zu lokalisieren.

Im Rahmen des EU-Projekts INACHUS (Technological and Methodological Solutions for Integrated Wide Area Situation Awareness and Survivor Localization to Support Search and Rescue Teams) hat ein Kon-

sortium von 20 Partnern ein Konzept erarbeitet, das Such- und Rettungstrupps mit technischen Hilfsmitteln einen besseren Überblick über die Situation liefert. Die Lösungen steigern die Reaktionsschnelligkeit bei der Ortung und Bergung verschütteter Personen mithilfe neuer Sensoren, Simulationsmethoden und Möglichkeiten zur Lagebilderstellung. Als Leiter eines Arbeitspakets lieferte das Fraunhofer EMI einen wichtigen Anteil im Bereich der Simulation. Auf zwei verschiedenen Skalen wurden ganze Stadtviertel oder einzelne Gebäude bewertet und folgende Fragen beantwortet:

- Stadtviertelanalyse: Wie muss der Rettungseinsatz priorisiert werden?
- Gebäudeanalyse: Wo befinden sich Hohlräume im kollabierten Gebäude?

Zur Bewertung von ganzen Stadtvierteln wurde die Software VITRUV (Vulnerability Identification Tools for Resilience Enhancements of Urban Environments) weiterentwickelt und eingesetzt, um effizient potenzielle Schäden nach Erdbebenereignissen zu charakterisieren. Hierzu wurde ein funktionaler Zusammenhang zwischen seismischer Aktivität und zu erwartenden Gebäudeschäden entwickelt. Die Europäische Makroseismische Skala, die Berücksichtigung von Echtzeitdaten oder semiempirische Modelle über Magnitude und Epizentrum ermöglichen die Abschätzung der Bodenbeschleunigung an beliebigen Positionen im städtischen Gebiet. Im nächsten Schritt kann mithilfe eines Ingenieurmodells der zu erwartende Schaden abgeschätzt werden. Diese Methodik wurde für eine Vielzahl verschiedener Konstruktionsarten angewandt, um so ein städtisches Gebiet zu bewerten. Darüber hinaus wurde eine Methodik entwickelt, um in Abhängigkeit von Gebäudenutzung, Wochentag und Tageszeit die Anzahl der anwesenden Personen im Gebäude abzuschätzen. Beispielsweise ist an einem Sonntagmorgen in Wohngebäuden im Gegensatz zu Schul- oder Bürogebäuden mit höheren Belegungen zu rechnen. Diese Informationen können mit den prognostizierten Schäden kombiniert werden, um Schwachstellen zu identifizieren und Entscheidungsunterstützung bei der Priorisierung eines Rettungseinsatzes zu liefern.



Detaillierter Vergleich zwischen Simulation (rechts) und realen Gebäudeschäden (links, © dpa Picture Alliance).

Im Rahmen des Projekts wurde eine Kooperation mit einer Firma geschlossen, die 3D-Stadtmodelle erstellt und verwaltet. Ein erster Demonstrator stellte eine Verknüpfung zwischen einem solchen Modell und den Erdbebenalgorithmen her. An dieser Schnittstelle wird weiter gearbeitet, sodass Entscheidungsträger über einen Webservice Zugriff auf Risiko- und Resilienzanalysen erhalten und diese mit 3D-Stadtmodellen, welche bei vielen Kommunen schon vorliegen, koppeln können.

Neben der multiplen Gebäudebewertung wurde das Trag- und Einsturzverhalten von Einzelgebäuden analysiert. Nach der Recherche zu möglichen Einsturzarten und Konstruktionsausführungen lag der Fokus des Forschungsprojekts auf einer Liste spezieller Bauweisen. Hierbei wurde die Relevanz aus der Sicht von Such- und Rettungstrupps berücksichtigt. Im nächsten Schritt wurden verschiedene Simulationsmethoden, wie Finite-Elemente-Methoden, Diskrete-Elemente-Methoden und Applied Element Methods, verglichen und genauer untersucht.

Mithilfe von Validierungsfällen auf Bauteil- und Gebäudeebene konnten Aussagen zur Genauigkeit der jeweiligen Simulationsmethode getroffen werden. Schließlich wurde für eine Vielzahl verschiedener Konstruktionsarten und Belastungsintensitäten der potenzielle Einsturz eines Gebäudes simuliert.

Als weiteres Resultat wurde ein Algorithmus entwickelt, der die dreidimensionalen Kollapssimulationen aufgreift und potenzielle Hohlräume identifiziert. Mithilfe des Cavity Identification Tools kann somit ein dreidimensionales »Negativ« eines Schutthaufens erstellt und visualisiert werden. Die Resultate der Simulationen und der Hohlraumidentifizierung sind in einer Datenbank gespeichert und in der Softwarelösung eines Projektpartners integriert. Diese Informationen liefern einen Beitrag zur georeferenzierten Erstellung von Lagebildern, welche Einsatzkräften im Notfall- und Rettungswesen unterstützend Informationen zur Durchführung eines Bergungseinsatzes liefert.



The research leading to these results has received funding from the European Commission's 7th Framework Program within the EU project INACHUS under grant agreement no. 607522. The authors would like to thank all partners within INACHUS for their cooperation and valuable contribution.

EIN VERLASSENER KOFFER

VERGESSLICHKEIT ODER VORSATZ: DER ALLTAG EINES ENTSCHÄRFERS

Entschärfer haben eine anspruchsvolle Aufgabe: Sie müssen tagtäglich unter Zeitdruck entscheiden, ob ein verdächtiges Objekt gefährlich ist oder nicht. Wichtiges Werkzeug dafür ist ein Roboter. Das vom Fraunhofer EMI koordinierte und vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderte, bilaterale Projekt DURCHBLICK soll diesen Vorgang sicherer machen, indem Roboter mit neuen Detektionstechnologien ausgestattet werden.

Weil das verdächtige Objekt dabei nicht bewegt werden soll, ist es besonders wichtig, dass die Untersuchungsmethoden berührungslos sind. Deshalb stehen solche Technologien im Fokus der Projektpartner in Deutschland und Österreich. Dazu gehört das bildgebende Verfahren der Röntgenrückstreuung, mithilfe dessen man auch in ein Objekt hineinschauen kann, das nur von einer Seite zugänglich ist. Das ist wichtig für den Fall, dass das Objekt in einer Ecke oder in einem Schließfach

steht und kein Röntgendetektor für die klassische Bildgebung dahinter platziert werden kann. Weitere Forschungsschwerpunkte sind die Lokalisierung und Identifizierung radioaktiver Quellen aus der Distanz sowie die optische Erfassung der Einsatzumgebung. Bei allen möglichen technischen Lösungen werden auch immer die ethische und rechtliche Lage sowie die Folgen der Technologien für die Entschärfer und die Allgemeinheit betrachtet.

Der Fokus des EMI liegt hier – neben der Koordination des Gesamtprojekts – auf der Röntgenrückstreuungstechnologie sowie der Datenfusion und -aufbereitung aller gewonnenen Informationen mit dem Ziel, diese für die Entschärfer auch unter großem Stress schnell und eindeutig interpretierbar darzustellen.

Weitere Informationen, auch zum Partnerprojekt in Österreich, unter www.durchblick-projekt.de

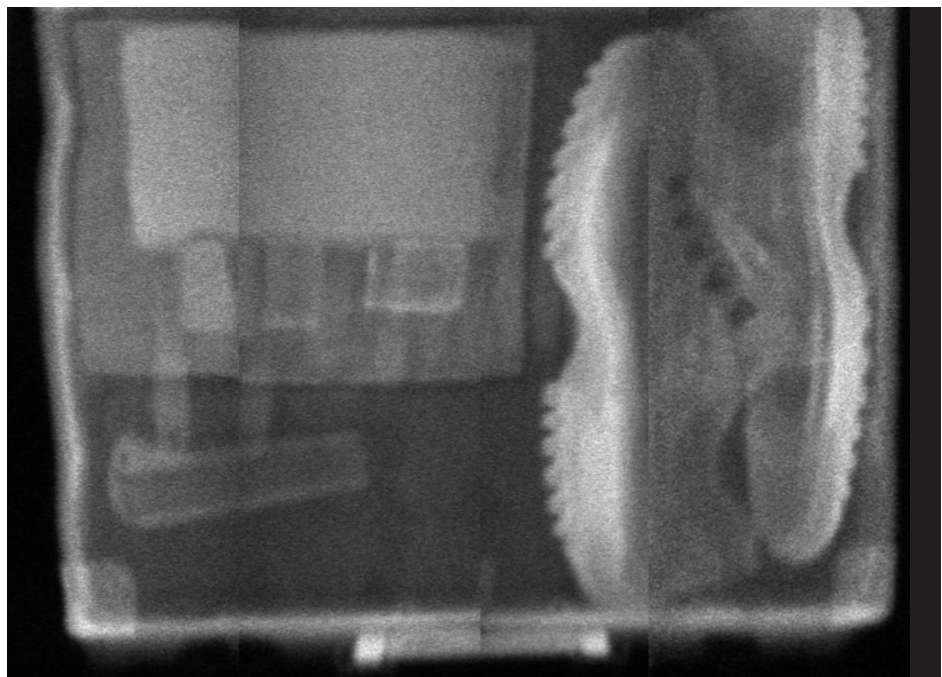


Foto eines Werkzeugkoffers mit verpacktem Simili einer unkonventionellen Spreng- und Brandvorrichtung (USBV).



Dr. Victoria Heusinger

victoria.heusinger@emi.fraunhofer.de



Röntgenrückstreubild des Koffers.

PROMPT

ZEIT BEDEUTET LEBEN

Bei Großschadensereignissen bedeutet Zeitgewinn eine höhere Chance für die Opfer zu überleben. Einsätze von Rettungs- und Hilfskräften werden bei solchen Ereignissen von integrierten Leitstellen als zentrale Knotenpunkte für Informationen koordiniert. Effizient zu koordinieren setzt die Erstellung eines ganzheitlichen Lagebilds voraus. Dafür müssen verschiedenste Informationsquellen berücksichtigt und eingeordnet werden.

Das Projekt PROMPT (Programmatische Auswahl von Sofortmaßnahmen für die Einsatzdisposition bei Großschadensereignissen) verfolgt die Aufgabe, ein System zur umfassenden Lagebilderstellung zu entwickeln, das die Zeit zwischen dem Eintreten

eines Großschadensereignisses bis zur Einleitung zielgerichteter Rettungsmaßnahmen verkürzt.

Basierend auf einem integrierten Fuzzy-Logic-Inferenzsystem werden unscharfe Meldungen, wie zum Beispiel »viele Verletzte«, in interpretierbare und quantifizierbare Informationen umgewandelt. Das System kombiniert dabei alle eingehenden, unscharfen und diskreten Informationen aus sämtlichen Informationsquellen. Anhand eines Regelwerks identifiziert PROMPT zusammenhängende Einzelereignisse und generiert daraus sinnvolle Maßnahmenvorschläge. Als Einsatzunterstützungssystem trägt PROMPT so zum Hauptziel unserer Rettungs- und Hilfsorganisationen bei, Leben zu retten.



Bei Großschadensereignissen sind Leitstellen die Knotenpunkte zur Koordination von Informationen. Im Projekt PROMPT wird dieser Prozess beschleunigt.
© fotolia



Jörg Finger

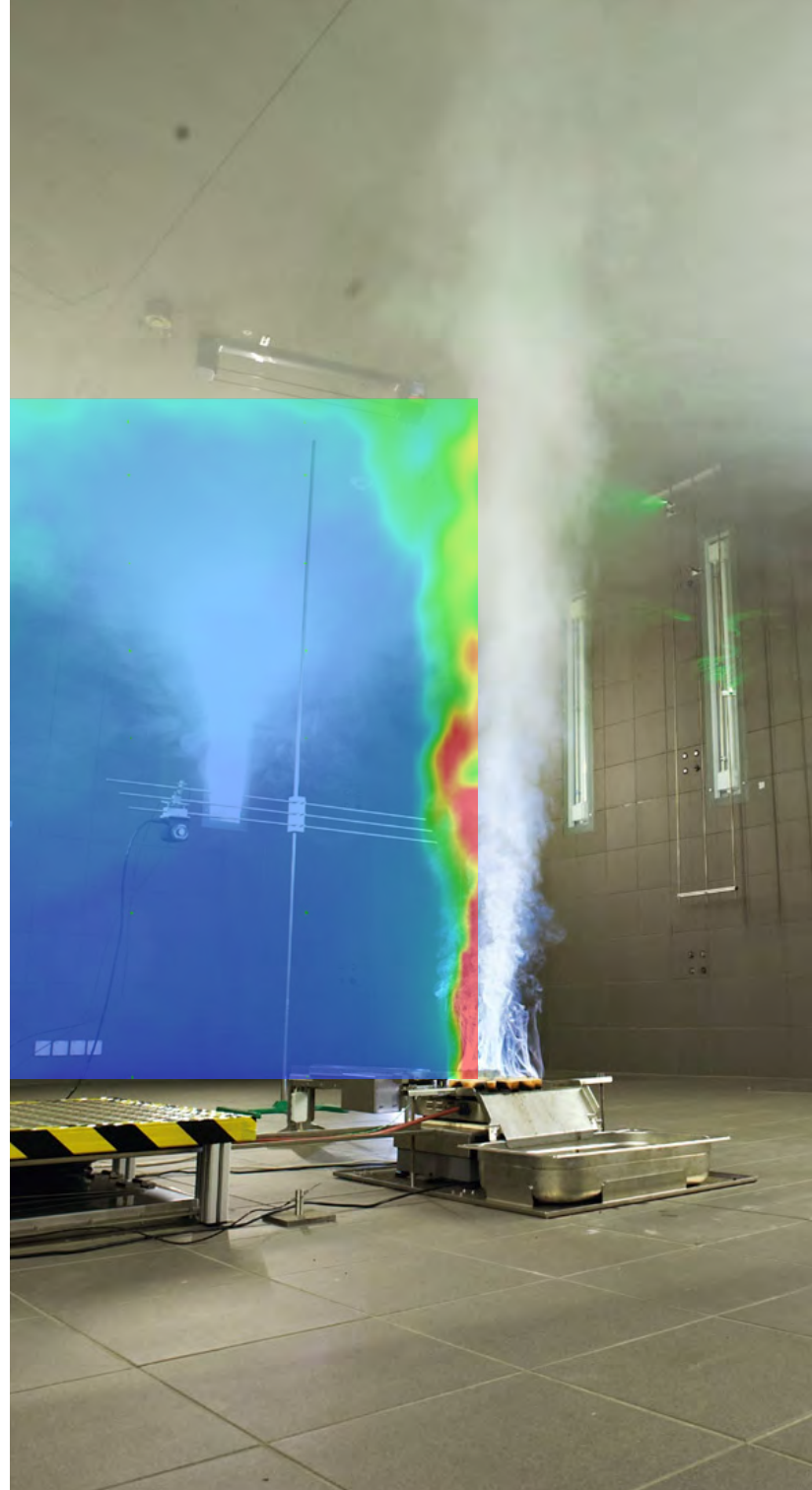
joerg.finger@emi.fraunhofer.de

GAS-O-CHROM

BRANDGAS- FRÜHERKENNUNG

Brände frühzeitig zu detektieren und Alarm auszulösen kann Leben retten und hohe Sachschäden vermeiden. Gerade in der frühen Brandphase, noch vor der Entstehung von Rauch, werden typische Brandgase freigesetzt. Genau hier setzt das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderte Verbundprojekt GAS-O-CHROM an: Ein Konsortium aus Industrie- und Forschungspartnern arbeitet an einem Warnsystem zur Erkennung dieser Brandgase. Dazu wird auch an speziellen Sensoren geforscht, die bei Kontakt mit bestimmten Brandgasen mit einer Farbänderung reagieren. Die Detektion der Farbänderung wird dann zur Alarmauslösung genutzt.

Neben realen Brandversuchen zum Test der Sensorik werden in dem Projekt numerische Methoden eingesetzt. Hierzu arbeitet das Fraunhofer EMI an der Modellierung der Brandgasfreisetzung sowie an der Simulation ihrer Ausbreitung. So wird beispielsweise untersucht, welchen Einfluss die Raumgestaltung und Belüftung auf die Ausbreitung der Brandgase nehmen. Ziel davon ist es, verallgemeinerte Aussagen zum zeitlichen und räumlichen Verlauf der Brandgaskonzentrationen zu gewinnen, um so optimierte Positionen für Brandmelder zu finden.



Buchenholzschwelbrand im Brandlabor mit Überlagerung einer Fire-Dynamics-Simulator(FDS)-Simulation.

© Hekatron Brandschutz



Dr. Pascal Matura

pascal.matura@emi.fraunhofer.de

STADTSICHERHEIT-3D

Im Projekt Stadtsicherheit-3D geht es vor allem um die Bewertung und die Verbesserung des Sicherheitsempfindens der in Städten lebenden Bevölkerung. Es werden baulich-räumliche Faktoren identifiziert und operationalisiert, die die subjektive Wahrnehmung von Sicherheit in urbanen Räumen beeinflussen. Der Fokus liegt dabei auf der Identifizierung von Orten, die als dunkel, nicht einsehbar und nicht hörbar wahrgenommen werden.

Auf Grundlage von Erfahrungen in Best-Practice-Beispielen und konkreten Vor-Ort-Messungen fließen die identifizierten Faktoren in Algorithmen ein, die als Herzstück einer softwaregestützten Planungshilfe dienen.

Die Software kann dann auf vorhandene dreidimensionale Stadtmodelle angewandt werden und ermöglicht so eine verbesserte Sicherheitsbewertung.

Erstmals wird damit ein auf digitalen Daten basierendes Softwaretool entwickelt, mit dessen Hilfe Sicherheitsbewertungen systematisch und empirisch basiert vorgenommen werden können. Das Tool hilft somit insbesondere Stadtplanerinnen und -planern und Sicherheitsexpertinnen und -experten bei der Gestaltung von mehr Sicherheit in urbanen Räumen und lässt sich zudem in partizipativen Entscheidungsprozessen einsetzen.



Wie sicher sich Menschen in Städten fühlen, kann mithilfe einer neuen Software bewertet werden.

© kalafoto/fotolia



Jörg Finger

joerg.finger@emi.fraunhofer.de

RESISTO

RESILIENTE KOMMUNIKATION

Der zuverlässige und sichere Betrieb von Telekommunikationsnetzwerken, insbesondere im Kontext »Internet der Dinge« und der Weiterentwicklung von 4G/LTE-Netzen zu 5G-Netzen, spielt eine bedeutende Rolle für Wirtschaft und Gesellschaft.

Im Rahmen des EU-Projekts RESISTO (Resilience Enhancement and Risk Control Platform for Communication Infrastructure Operators) werden physische, Cyber- und kombinierte cyber-physische Angriffe und Bedrohungen auf aktuelle 4G/LTE-Netze und zukünftige 5G-Kommunikationsnetze betrachtet. Verfahren und Anwendungen zur

Entscheidungshilfe werden den Netzbetreibern in einer Benutzeroberfläche zusammengestellt, um das Hauptziel, eine signifikante Verbesserung der Resilienz in der Telekommunikation, zu erreichen. Eine zentrale Rolle spielt dabei ein erweiterter Risiko- und Resilienzmanagementprozess, basierend auf dem ISO-31000-Standard für Risikomanagement. Mithilfe des Prozesses werden kritische Risiken und potenzielle Gegenmaßnahmen identifiziert, welche durch eine auf die Situation angepasste Simulation des Kommunikationsnetzes hinsichtlich ihrer Resilienz beziehungsweise Verbesserung der Resilienz quantifiziert und damit qualifiziert bewertet werden.



Das Ziel im Projekt RESISTO ist eine verbesserte Resilienz in der Telekommunikation.

© AdobeStock

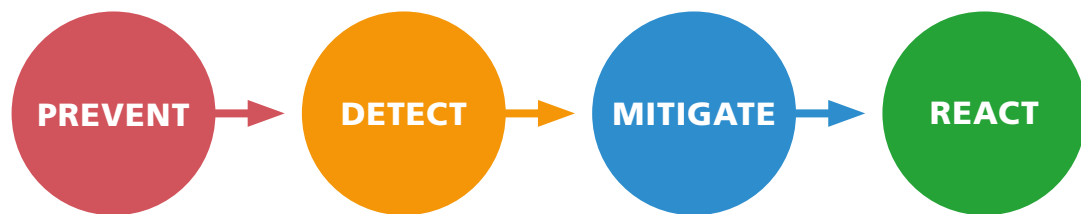


Dr. Mirjam Fehling-Kaschek
mirjam.fehling-kaschek@emi.fraunhofer.de

EXERTER

EIN PANEUROPÄISCHES EXPERTEN- NETZWERK FÜR SICHERHEIT IM UMGANG MIT EXPLOSIVSTOFFEN

Das Netzwerkprojekt EXERTER im Rahmen des EU-Forschungsförderungsprogramms Horizon 2020 bringt Experten für die Sicherheit im Umgang mit Explosivstoffen zusammen. Ziel des Projekts ist es, dass Sicherheitsbehörden und Wissenschaftsorganisationen zusammen den zukünftigen Forschungsbedarf zur Verbesserung des Terrorschutzes in Europa identifizieren. Gemeinsam mit Kolleginnen und Kollegen aus dem Fraunhofer ICT leistet das Fraunhofer EMI durch seine Expertise in der Mitigation von Explosionsgefährdungen den deutschen Wissenschaftsbeitrag in diesem paneuropäischen Netzwerk.



Das Einschleusen von Explosivstoffen verhindern, Gefahrstoffe aufspüren, bedrohliche Szenarien entschärfen und im Ernstfall schnell und richtig reagieren – das sind zentrale Themen im Netzwerk EXERTER.

FEUER IN DER U-BAHN

SENSOREN ZEIGEN SICHERE RETTUNGSWEGE AN

Bei Katastrophen in U-Bahntunneln gehen Rettungskräfte oft nahezu blind in den Einsatz. Im Projekt SenSE4Metro entwickeln Forschende daher Sensoren zur Lagebild-erfassung. Was diese können, erklärt Projektleiter Jonah Vincke im Interview mit [bmbf.de](#).

Bmbf.de: Herr Vincke, Sie entwickeln ein Sicherheitsmanagement- und Notfalleinsatzsystem für U-Bahntunnel: Warum ist das wichtig?

Um Menschen bei Terroranschlägen, Überschwemmungen oder Bränden im Untergrund schneller helfen zu können. Ein Rettungseinsatz in U-Bahntunneln stellt die Helfer vor enorme Herausforderungen: Es gibt meist nur zwei Zugriffswege und keine genauen Informationen über das Geschehen. Mit unserem System wollen wir diese Lücke schließen.

Wie wollen Sie das machen?

Wir entwickeln ein Sensornetzwerk, das bei Katastrophen automatisch Alarm auslöst. Die Sensoren werden alle 50 bis 100 Meter im Tunnel angebracht und können drahtlos sowohl miteinander als auch mit den Einsatzkräften kommunizieren.

... und wann schlagen sie Alarm?

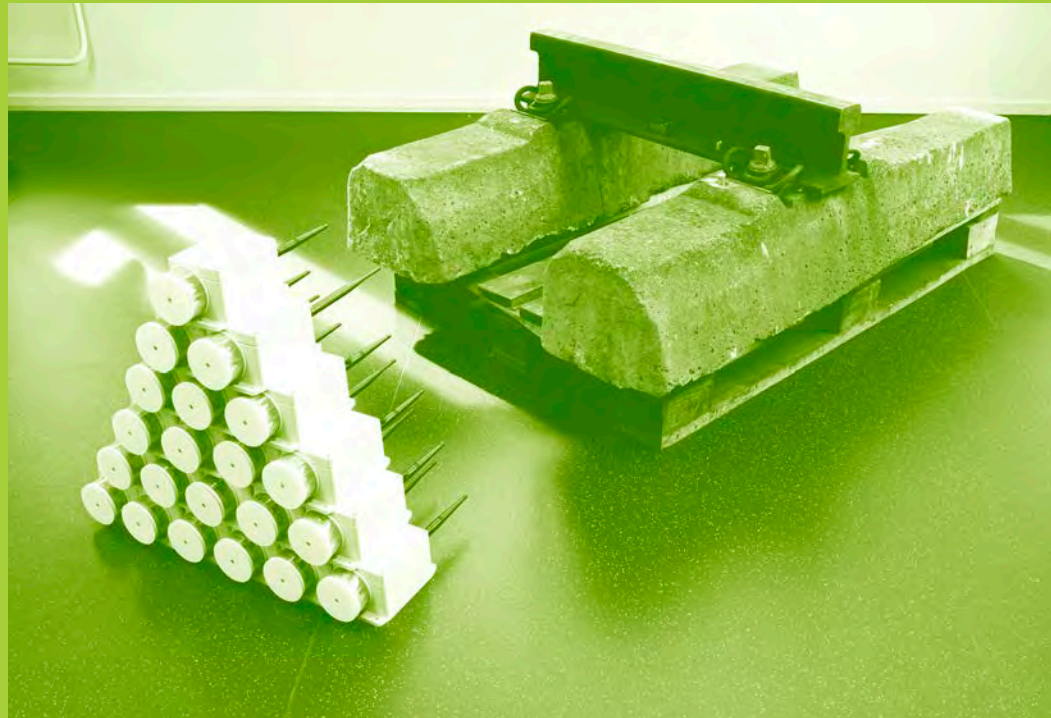
Das System reagiert auf Feuer, Rauch, Überschwemmungen und Explosionen. Es kann beispielsweise den Ort und die Stärke einer Druckwelle erfassen – und anhand dieser Daten könnte abgeschätzt werden, ob bestimmte Streckenabschnitte einsturzgefährdet sind. Bei einem Brand lokalisiert es den Rauch: In Bereichen, wo nur an der Decke Rauch ist, ist eine Evakuierung noch möglich. Befindet er sich in Kopfhöhe, markiert das System den Fluchtweg als unpassierbar.



Rettungseinsätze in U-Bahntunneln sind für die Helfer eine große Herausforderung. Sensoren sollen ihnen dabei helfen, indem sie Ort und Art des Unfalls identifizieren und so sichere Rettungswege aufzeigen.

© Tim Knopf

Sensorknoten zur Detektion von Feuer, Wassereintrich und Explosionen in der Berliner U-Bahn vor dem Einbau in einen aktiv befahrenen U-Bahntunnel.



Wie können die Einsatzkräfte das sehen?

Über einen Monitor in der Einsatzzentrale oder mobil mit einem Tablet: Darauf sehen die Einsatzkräfte eine farbige Karte der Tunnel. Unpassierbare Wege sind rot, freie Wege grün – und gelb zeigt beispielsweise Rauch an der Decke an.

Sehen auch die Menschen im Tunnel, in welche Richtung sie flüchten müssen?

Bisher noch nicht. Das System wird derzeit in einem Berliner U-Bahntunnel erprobt. Kommt es später flächendeckend zum Einsatz, würden wir gerne leuchtende Pfeile in passenden Farben anbringen.

Kann eine Explosion die Sensoren beschädigen – und das ganze System lahmlegen?

Das System besteht aus vielen Knotenpunkten und ist sehr robust. Wird ein Knotenpunkt beschädigt und kann keine Daten mehr weiterleiten, wird er unter Nutzung anderer, noch funktionsfähiger Knoten umgangen. Die Information wird also einfach über einen alternativen Weg weitergeleitet.

Ein Stromausfall könnte doch alle Knoten lahmlegen ...

Nein, die Sensoren sind völlig autark! Sie brauchen nur wenig Strom – und den generieren sie selbst. Die unteren Sensoren haben einen sogenannten »Vibrationsharvester« – also sozusagen einen »Ernter« für Strom. Dieser funktioniert wie folgt: Eine vorbeifahrende U-Bahn versetzt die Schienen in Schwingung. Der »Ernter« wandelt die Vibration in elektrische Energie um. Und der Sensor speichert sie.

Was wollen Sie bis zum Projektende erreichen?

Mehr Sicherheit für alle Beteiligten! Unser Sensornetzwerk ist nur ein Teil des Projekts, an dem deutsche und indische Forscher sowie Unternehmen gemeinsam im Verbund arbeiten. So wird zum Beispiel auch die Wirkung von Explosionen in Zügen und an U-Bahnstationen untersucht. Weitere Partner beschäftigen sich mit dem Sozialverhalten von Menschen bei Katastrophen. Und wieder andere Forschende simulieren die Wirkung extremer Belastungen wie bei einer Explosion auf die baulichen Strukturen von Tunneln. Die Forschungsergebnisse sollen dazu beitragen, Rettungsstrategien zu verbessern.



SICHERHEITSMANAGEMENT- UND NOTFALLEINSATZSYSTEM FÜR U-BAHN-SYSTEME (SENSE4METRO)

Das deutsch-indische SenSE4Metro-Projekt ist Anfang 2015 gestartet und wird nach dreijähriger Laufzeit im Dezember dieses Jahres abgeschlossen. Aufgrund der hohen Sicherheitsstandards sind Notfallsituationen in deutschen U-Bahnen glücklicherweise sehr selten. Bei Notfällen oder Katastrophen sind die Herausforderungen aber ähnlich wie im dicht besiedelten Indien, das insbesondere in den Megastädten den Ausbau der U-Bahnsysteme dynamisch vorantreibt. Das Bundesministerium für Bildung und Forschung fördert das Projekt im Rahmen des Programms »Forschung für die zivile Sicherheit« mit rund 2,6 Millionen Euro. Deutsche Projektpartner sind das Fraunhofer-Institut für Kurzezeitdynamik, Ernst-Mach-Institut, (EMI) in Freiburg, die Berliner Feuerwehr, das Brandenburgische Institut für Gesellschaft und

Sicherheit gGmbH (BIGS) in Potsdam und die ITC Engineering GmbH & Co. KG in Stuttgart. Von indischer Seite beteiligen sich das Indian Institute of Science (IISc) in Bangalore, das Indian Institute of Technology (IITD) in Delhi, das Center for Study of Science, Technology and Policy (CSTEP) in Bangalore, die Bangalore Metro Rail Corporation Limited (BMRCL) sowie die Rail Vikash Nigam Limited (RVNL) in Delhi.

Das im Projekt erforschte System wurde am 7. Oktober 2018 in einem Berliner U-Bahnhof während einer Übung mit Fahrgästen und Einsatzkräften unter realen Bedingungen getestet. Die Ergebnisse des SenSE4Metro-Projekts können in Zukunft dazu beitragen, dass bei Notfalleinsätzen in U-Bahntunneln Menschen weitaus schneller gerettet werden.

Jonah Vincke

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

Jonah Vincke vom Fraunhofer-Institut für Kurzezeitdynamik in Freiburg leitet das Projekt SenSE4Metro. Sein Team entwickelt die Sensoren, die Brände, Überschwemmungen und Erschütterungen registrieren.



Jonah Vincke

jonah.vincke@emi.fraunhofer.de

Quelle: Bundesministerium für Bildung und Forschung, BMBF,
Onlinebeitrag vom 5. Oktober 2018, redaktionell angepasst.

www.bmbf.de/de/feuer-in-der-u-bahn-sensoren-zeigen-sichere-rettungswege-an-7076.html



GESCHÄFTSFELD
AUTOMOTIVE



*Röntgencrash mit
X-ray-Car-Crash-Technologie (X-CC).*

GESCHÄFTSFELD AUTOMOTIVE

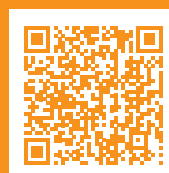
Mobilität ist ein wesentliches Merkmal einer modernen Gesellschaft. Eine entscheidende Voraussetzung zur Zulassung wie auch zur Akzeptanz neuer Fahrzeuggenerationen ist daher deren Crashesicherheit. Allerdings führen neue Technologietrends wie Elektromobilität und autonomes Fahren sowie die stetige Verschärfung von Zulassungskriterien und Ratings und die kontinuierliche Verkürzung von Entwicklungszyklen zu stetig steigenden Anforderungen an die Fahrzeugsicherheit. Um diesen Anforderungen zu begegnen, bedarf es einer zunehmenden Digitalisierung und Virtualisierung der integrierten Auslegung mittels Simulation und Experiment. Dabei ist ein präzises Verständnis nicht nur des Material- und Bauteilverhaltens, sondern auch der Insassenkinematik im Extremlastfall Crash von enormer Bedeutung.

Diese Herausforderungen werden im Geschäftsfeld Automotive durch neuartige Lösungsansätze, wie beispielsweise der In-situ-Hochgeschwindigkeitsröntgendiagnostik und der Weiterentwicklung numerischer Menschmodelle, adressiert.

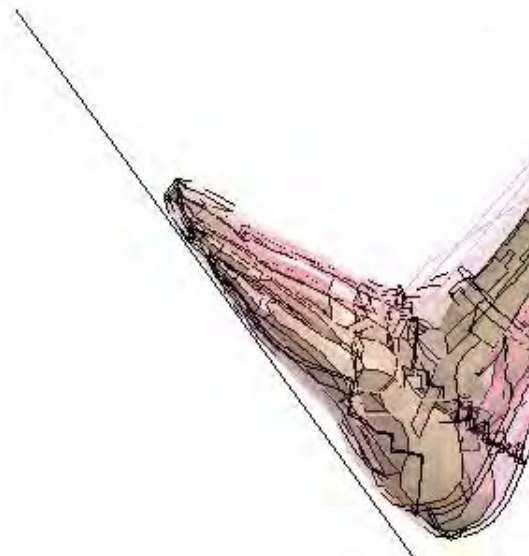


Dr. Jens Fritsch

Geschäftsfeldleiter Automotive
jens.fritsch@emi.fraunhofer.de




Vereinfachte Frontalcrashsimulation
im angespannten Muskelzustand des
THUMS™ Version 5.



Niclas Trube

niclas.trube@emi.fraunhofer.de



Ein Autounfall geschieht oft plötzlich. Trotzdem sind die Insassen manchmal vorbereitet, sie sehen den Unfall kommen und reagieren entsprechend: Sie spannen ihre Muskeln an, drücken das Bremspedal durch und stützen sich am Lenkrad ab. Mit virtuellen Menschmodellen kann Muskelsteifigkeit in verschiedenen Graden abgebildet werden, das lässt realistische Aussagen über das Verletzungsrisiko zu. Gleichzeitig ist es durch solche Modelle möglich, die Sicherheit von Automobilen zu verbessern.



RELEVANZ DER MUSKEL- STEIFIGKEIT FÜR DIE INSASSEN- SICHERHEIT

Nicht nur Materialien und Werkstoffe stehen bei Craschanwendungen im Fokus der Forschung, sondern vor allem der Mensch selbst, den es in einer Vielzahl möglicher Unfallszenarien zu schützen gilt.

Zur Sicherheitsbewertung diverser Belastungsszenarien werden im Bereich Automotive zunehmend Menschmodelle eingesetzt. Ein prominenter Vertreter dieser Menschmodelle ist das kommerziell verfügbare THUMS™ (Total Human Model for Safety), das am EMI in der Version 5 verwendet wird.

Der Mensch im Fokus

Da Unfallopfer häufig auf den Aufprall vorbereitet sind, sind gewisse Muskelgruppen im Moment des Aufpralls nicht relaxiert, sondern angespannt, was durch vergangene Studien belegt wurde. Über kontrahierbare 1D-Elemente, die an die Knochen des THUMS-Modells anbinden, konnte dieser Umstand bereits für die Beeinflussung des Bewegungsapparats in der Vergangenheit umgesetzt werden. Dadurch kann das THUMS in der aktuellen Version erstmals aktive und reaktive Bewegungen während eines Crashpulses abbilden, wie beispielsweise das Abstützen am Lenkrad oder das Durchdrücken des Bremspedals. Diese Bewegungen sind bei realen Fahrern kurz vor und während des Aufpralls typisch.

In der Biologie spielen allerdings nicht nur die Verkürzung des Muskels während der Kontraktion und die daraus resultierende Bewegung des Skeletts eine Rolle, sondern auch eine Änderung der Materialeigenschaften: Der Muskel wird durch die Kontraktion steifer. Das Muskelgewebe im verwendeten Menschmodell ist allerdings in zwei voneinander unabhängige Systeme aufgeteilt: ein System aus kontrahierbaren 1D-Elementen, die die Bewegung des Skeletts an den Gelenken ermöglicht, und ein volumetrisches System, das den dreidimensionalen Muskel abbildet. Die angesprochene Steifigkeitszunahme des 3D-Muskels wird folglich nicht durch die Kontraktion der 1D-Elemente gesteuert. Allerdings ließe sich der Kontraktionsgrad des 1D-Systems für die Definition des Steifigkeitsgrads des 3D-Systems nutzen.

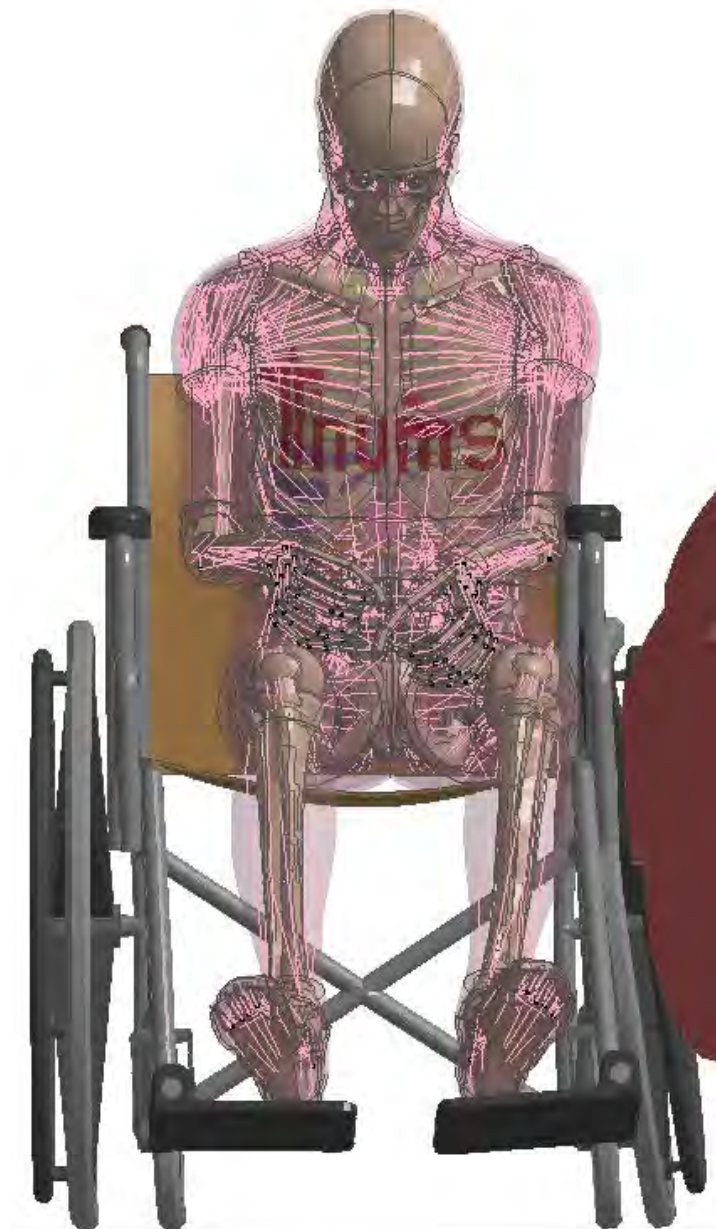
Studien zu 3D-Muskelsteifigkeitseffekten im THUMS™ Version 5

Da im Menschmodell standardmäßig ein entspannter Muskelzustand voreingestellt ist, müssen zunächst die richtigen Parameter für die Steifigkeitsgrade identifiziert werden. Entsprechend einer breiten Auswahl verfügbarer Literaturwerte zur Muskelsteifigkeit, wurde eine Skalierung der Steifigkeiten über mehrere Größenordnungen vorgenommen. Der Einfluss dieser Änderungen wurde anschließend im Rahmen einer Parameterstudie für einen simulierten frontalen Crashpuls untersucht.

Dabei zeigte sich, dass die Muskelsteifigkeit einen wesentlichen Einfluss auf das Verhalten der Fahrzeuginsassen hat und potenziell unterschiedliche Belastungen je nach Steifigkeitsgrad im Crashlastfall zu erwarten sind.

Ausblick

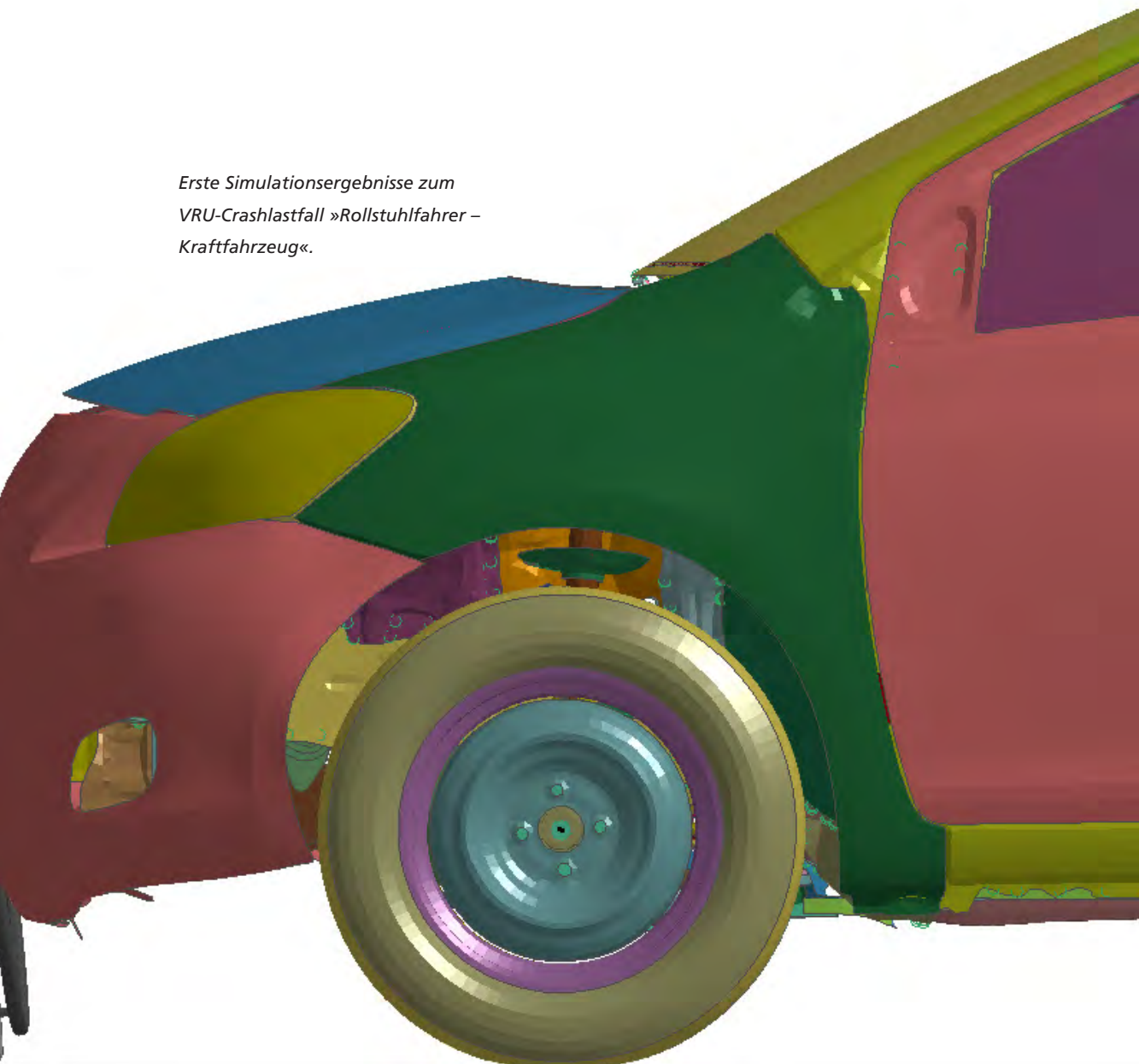
Diese Erkenntnisse bilden die Basis für weitere Anwendungen in individuellen Muskelmodellen, in ganzen Menschmodellen und auch in besonderen Anwendungsbereichen, wie beispielsweise Sitzkomfortanalysen, Studien zur Sicherheit von Vulnerable Road Users (VRU) sowie Anwendungen aus dem Bereich Sport und Medizintechnik. VRU umfassen alle leicht verletzbaren Verkehrsteilnehmer, wie beispielsweise Fußgänger, Rollstuhlfahrer und Radfahrer. Die Berücksichtigung ihrer Sicherheit durch Automobilhersteller ist seit Januar 2019 in den Euro-NCAP-Richtlinien verankert.





Rainer Hoffmann (links),
Geschäftsführer der carhs
GmbH, überreicht Niclas
Trube (rechts) den Young
Scientist Award.
© 2018 carhs.training GmbH

Erste Simulationsergebnisse zum
VRU-Crashlastfall »Rollstuhlfahrer –
Kraftfahrzeug«.



Das weltweit erste Hochgeschwindigkeitsröntgenvideo eines laufenden Motorradmotors sehen Sie auf unserer Webseite, scannen Sie dazu den QR-Code unten rechts.



Dr. Malte Kurfiß

malte.kurfiss@emi.fraunhofer.de

Ein großer Schritt zum durchleuchteten Crashtest ist gelungen: Mit dem Linearbeschleuniger (LINAC) steht dem EMI eine Strahlenquelle zur Verfügung, mit der in Zukunft alle im Fahrzeugbau üblichen Materialien durchleuchtet werden können. Die kurze Röntgenpulsdauer ermöglicht die Aufzeichnung von Deformationsprozessen im Crashtest ohne Bewegungsunschärfe.



Die Craschhalle des Crashzentrums der Fraunhofer-Gesellschaft am Fraunhofer EMI.

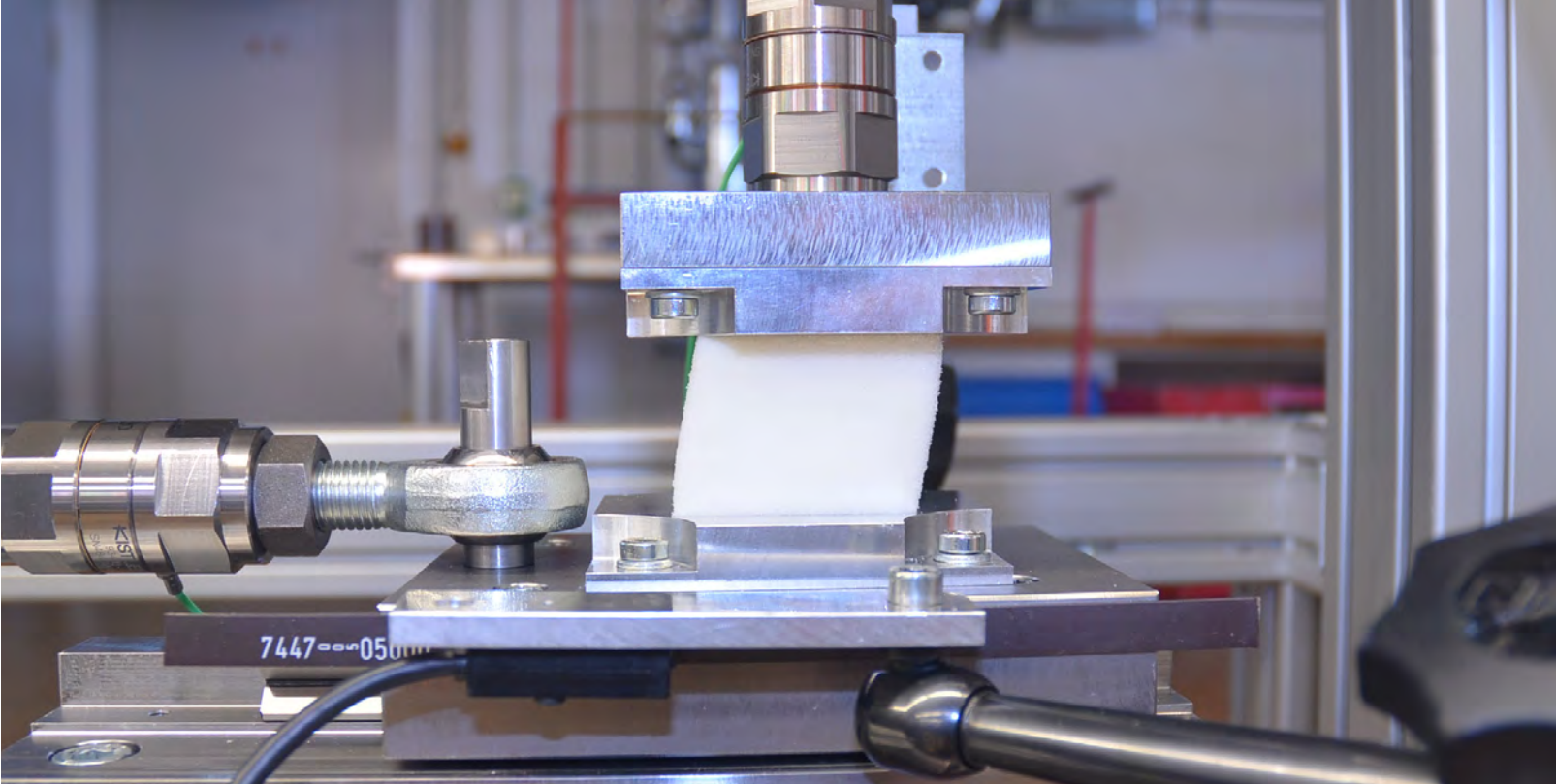
Mit einer Photonenenergie, die mit bis zu 9 Megaelektronenvolt aktuell am EMI vorhandene Systeme um das 20-Fache übersteigt, können in Zukunft alle im Fahrzeugbau üblichen Materialien durchleuchtet werden. Darüber hinaus ermöglicht eine kurze Röntgenpulsdauer von wenigen Mikrosekunden die Aufzeichnung von Deformationsprozessen im Crashtest ohne Bewegungsunschärfe. Vor allem jedoch generiert der LINAC einen kontinuierlichen Strom von Röntgenpulsen zur Bilderzeugung. Durch die Verwendung einer kontinuierlich emittierenden Strahlenquelle wird die bisher existierende Begrenzung auf nur wenige Bilder aufgebrochen.

Diese Eigenschaften ebneten den Weg für das weltweit erste Hochgeschwindigkeitsröntgenvideo eines laufenden Motorradmotors, der als Untersuchungsobjekt ausgewählt wurde. Bei einer Lehlaufdrehzahl von 1900 Umdrehungen pro Minute ist deutlich die Bewegung des Kolbens und der Motorkomponenten zu erkennen. Besonders hervorzuheben sind die gleichzeitige Erkennbarkeit massiver, hochabsorbierender Teile des Motorblocks und leichter Komponenten, wie der Isolation des Zündkabels. Dies zeigt den hohen Kontrastumfang der eingesetzten Technologie, der für die Erkennbarkeit der großen Bandbreite an Materialien im Fahrzeug nötig ist.

NEUE STRAHLEN-QUELLE FÜR DEN RÖNTGEN-CRASH X-CC

Auf dem Weg zum durchleuchteten Crashtest konnte das Fraunhofer EMI den nächsten Meilenstein erreichen. Durch die Beschaffung eines Linearbeschleunigers (LINAC) steht dem Crashzentrum der Fraunhofer-Gesellschaft eine Strahlenquelle zur Verfügung, die sich im Hinblick auf die experimentellen Potenziale von allen bisher verfügbaren Strahlenquellen abhebt.





*Aufbau für Druck-Schub-Versuche
an einem Kunststoffschaum.*

TESTEN VON KUNSTSTOFFSCHÄUMEN

Schaumwerkstoffe werden in sehr vielen Bereichen verwendet. Ihr Einsatzspektrum reicht von Sohlen für Sportschuhe bis hin zu sicherheits- und crashrelevanten Fahrzeugbauteilen. Im Zeitalter der digitalen Entwicklung werden viele Produkte aus Kunststoffschäumen in Form und Verhalten mittels numerischer Finite-Elemente-Simulationen entworfen und getestet. Grundvoraussetzung für prognosefähige Simulationen sind jedoch umfangreiche Materialtests und damit ein für Schaumwerkstoffe umfassendes Verständnis der materialtypischen Besonderheiten.

Das Fraunhofer EMI forscht auf diesem Gebiet seit mehreren Jahrzehnten in enger Zusammenarbeit mit Softwareentwicklern und Berechnungsingenieuren der Automobilindustrie. Die hierfür zur Verfügung stehenden experimentellen Methoden sind einzigartig. Neben dem klassischen Zug-, Druck- und Schubversuch runden zahlreiche Sonderprüfaufbauten inklusive hochgenauer Messtechnik das experimentelle Portfolio ab. Beispielsweise konnte bei offenporigen Sitzschäumen mittels spezieller Durchflussmessungen und Vakuumversuche der Einfluss der im Schaum enthaltenen Luft auf das mechanische Verhalten der Schäume untersucht werden.



Markus Jung

markus.jung@emi.fraunhofer.de

DYNAMISCHE MATERIAL-CHARAKTERISIERUNG FÜR MEHR SICHERHEIT BEIM LKW-CRASH

Gemeinsam mit führenden Fahrzeugherstellern, Zulieferern und kleinen und mittleren Unternehmen (KMU), die sich mit der Simulation von Crashvorgängen befassen, wird am Fraunhofer EMI an der Verbesserung des Crashverhaltens von Nutzfahrzeugen geforscht. Das Projekt der Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen (AiF) thematisiert die Charakterisierung und Modellierung von Gusseisenwerkstoffen, die für sicherheitskritische Bauteile, wie Fahrwerkskomponenten und Lkw-Fahrerhauslager, eingesetzt werden.

Entscheidend ist die genaue Kenntnis des Verformungs- und Versagensverhaltens der Werkstoffe,

um im Crashfall eine kontrollierte Energieabsorption durch das Bauteil sicherzustellen. Dafür werden die Werkstoffe einer Vielzahl von Experimenten unterzogen, um ihr mechanisches Verhalten genau zu studieren. Ergänzend werden bildgebende Verfahren, wie Computertomografie und 3D-Laserscanning, eingesetzt, um Deformationen bei Proben und Bauteilen in 3D zu visualisieren. Solche digitalisierten Daten dienen dazu, die Ergebnisse der Simulationen zu validieren und deren Prognosefähigkeit sicherzustellen. Das Projekt unterstützt so die Optimierung von Bauteildesign und Werkstoffeinsatz bei der Verwendung von Gusseisen und ermöglicht damit ein besseres Crashverhalten von Nutzfahrzeugen.



Am Fraunhofer EMI wird an der Verbesserung des Crashverhaltens von Nutzfahrzeugen geforscht.

© picture alliance/dpa/Julian Stratenschulte



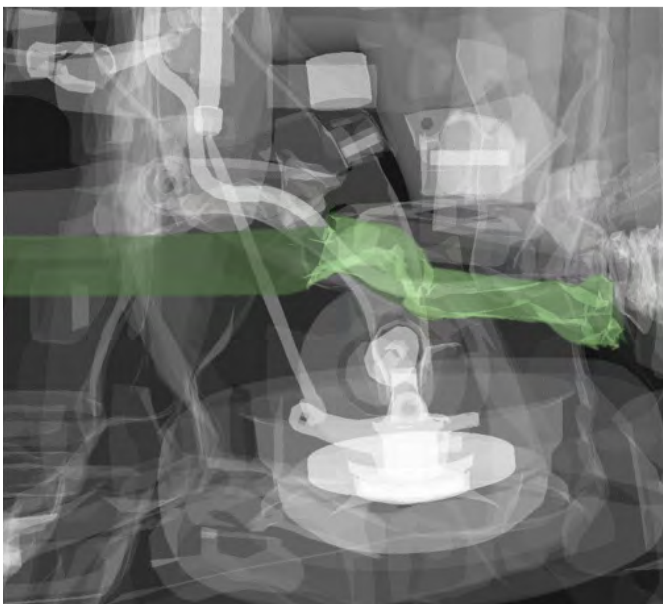
Tobias Gerster

tobias.gerster@emi.fraunhofer.de

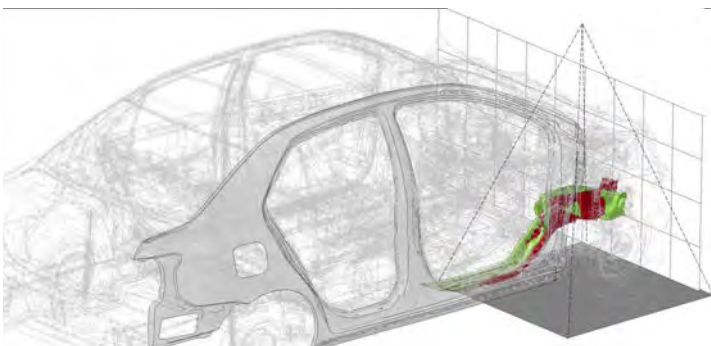
CRASHTESTS IM RÖNTGENBLICK

Was genau passiert, wenn sich die tief im Innern von Fahrzeugen liegenden Strukturen beim Crash verformen, musste bislang verborgen bleiben. Die dynamischen Prozesse können zwar von Simulationen näherungsweise abgebildet werden, jedoch war es bisher sehr schwer, diese auch experimentell zu analysieren. Mithilfe der Technologie des X-ray Car Crash (X-CC) wird am Crashzentrum des Fraunhofer EMI die Möglichkeit erforscht, genau dieses dynamische Verhalten verborgener Strukturen unter Crashbelastung zu beobachten. Das übergeordnete Ziel des Projekts ist dabei die erweiterte Validierung und Optimierung der Prognosefähigkeit von Crashsimulationen.

Im Rahmen des Fraunhofer-internen Forschungsprojekts MAVO fastXcrash entwickeln Forscherinnen und Forscher des EMI sowie des Entwicklungszentrums Röntgentechnik (EZRT, Fraunhofer IIS) dazu ein integrales Mess- und Auswerteverfahren. Die Ziele des Forschungsprojekts reichen von der Entwicklung eines Hochenergieflächendetektormoduls bis hin zur Entwicklung einer umfangreichen Auswertesoftware. Weil diese Methode das Potenzial hat, wertvolle Beiträge für den Automobilentwicklungsprozess zu liefern, werden die Forschungsaktivitäten sowohl mit EMI-Eigenmitteln als auch institutsübergreifend durch die Fraunhofer-Zentrale gefördert.



*Raytracing-Projektion einer Finite-Elemente-Simulation (oben).
Raytracing-Projektion eines »virtuellen Experiments« (unten).*



Die dargestellten Crashsimulationen sowie die synthetischen Röntgenbilder basieren auf dem 2010 Toyota Yaris Finite Element Model, Center for Collision Safety and Analysis at the George Mason University; Federal Highway Administration.



Ines Butz

ines.butz@emi.fraunhofer.de



Thomas Soot

thomas.soot@emi.fraunhofer.de



Handelsübliches Airbaggewebe. Gut zu erkennen ist die prägnante Struktur der textilen Verwebung.

AIRBAGGEWEBE TEMPERIERTE VERSUCHE FÜR DIE SIMULATION

Zur prognosefähigen Simulation von Airbagvorgängen müssen im Berechnungsmodell alle relevanten Materialeigenschaften hinterlegt werden. Um auch den Temperatureinfluss auf das Materialverhalten messen zu können, wurden die experimentellen Möglichkeiten am Fraunhofer EMI dahingehend erweitert, dass alle entscheidenden Charakterisierungsversuche für Airbaggewebe, insbesondere auch Biaxialzugversuche, im Temperaturbereich von -40 Grad Celsius bis +120 Grad Celsius durchgeführt werden können; alles sowohl zyklisch über mehrere Be- und Entlastungsvorgänge als auch dynamisch bis zu Dehnraten von zehn pro Sekunde! Gleichzeitig wurde in einer Studie der Einfluss asymmetrischer, biaxialer Belastungsverhältnisse untersucht, um aktuelle Tendenzen bei der Entwicklung von Materialmodellen einschätzen zu können. Die Studie lieferte die Erkenntnis, dass gängige Formulierungen bereits hinreichend genaue Ergebnisse liefern. Darüber hinaus zeigte sie,

dass beim untersuchten Material die Temperatur einen höheren Einfluss hatte als die Dehnraten und dass der Schlupf der Proben in der Einspannung grundsätzlich genau erfasst und auch virtuell abgebildet werden muss, damit die Versuche in der Simulation exakt wiedergegeben werden können.



Dr. Matthias Boljen

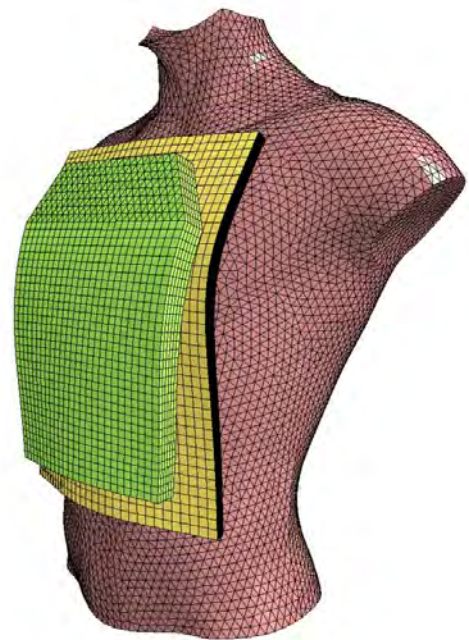
matthias.boljen@emi.fraunhofer.de

NEUE GRUPPE DIGITAL ENGINEERING

Die Gruppe erforscht Lösungen für methodische Herausforderungen aus der Digitalisierung der Werkstoffforschung und des Structural Engineering. Schwerpunkte liegen zum Beispiel in der Entwicklung digitaler Plattformen für den Austausch von Werkstoffdaten und Engineering Services oder im Einsatz intelligenter Algorithmen und Prozesse zur Verwertung von Ergebnisdaten numerischer Crashesimulationen.

NEUE GRUPPE HUMAN BODY DYNAMICS

Wie sich der menschliche Körper unter kurzzeitdynamischen Belastungen verhält, untersucht die neu gegründete Gruppe Human Body Dynamics mittels Finite-Elemente-Menschenmodellen und experimentell gewonnener Daten aus Versuchen mit Biofidel-Dummys. Untersucht werden Fragestellungen aus den Bereichen Automotive (VRU-Unfälle, Rollstuhlfahrer, E-Scooter) und Verteidigung (Körperschutzapplikationen).



Applikation von Komponenten einer Schutzweste an den menschlichen Oberkörper.

NEUER PRÜFSTAND ZUM TEST VON GROSSBATTERIEN

Am Standort Efringen-Kirchen wird ein Sprengbunker für Tests an Großbatterien ausgebaut. Für das Vorhaben wurden 2018 vom Land Baden-Württemberg und dem EMI die nötigen Mittel bewilligt. Das fertige Bauwerk soll ab Anfang 2020 sowohl für Untersuchungen der Bundeswehr als auch für zivile Anwendungen genutzt werden. Im Verteidigungssektor stehen Beschussversuche, im zivilen Bereich Untersuchungen zu batterieinternen Kettenreaktionen von Zelle zu Zelle, sogenannte Propagationsprüfungen, im Vordergrund.

8. FREIBURG-WORKSHOP CRASHMAT

Mit dem Fokus Werkstoffcharakterisierung, Simulation und Bauteilprüfung unter dynamischer Belastung bot der am 8. und 9. Mai von Fraunhofer EMI und Fraunhofer IWM ausgetragene Workshop *crashMAT* auch 2018 wieder eine hervorragende Plattform des Wissenstransfers. In Vorträgen und zahlreichen Diskussionen konnte sich die wissenschaftliche Community der Fahrzeughersteller, Materialhersteller, Zulieferer und Forschungsinstitute über den neuesten Stand von Forschung und Technik austauschen.



GESCHÄFTSFELD
RAUMFAHRT



*2-Unit Engineering Model eines Nanosatelliten.
Das EMI entwickelt einen eigenen Nanosatelliten
sowie Hard- und Software für Satelliten.*

GESCHÄFTSFELD RAUMFAHRT

Die im Rahmen von New Space begonnene digitale Transformation im Weltraum hat zur Entwicklung riesiger Konstellationen kleinster Satellitenplattformen geführt, die zum Ausdruck des tief greifenden Wandels in der Satellitenindustrie geworden sind. Um die Dynamik dieses Wandels mitzugestalten, bündeln wir im Geschäftsfeld Raumfahrt die Kompetenzen des Fraunhofer EMI in den Bereichen wissenschaftliche Nutzlasten, 3D-Druck, Mechanismen, Systemintegration und Raumfahrtqualifizierung, um weiterhin richtungsweisende Lösungen für industrielle und öffentliche Auftraggeber im Bereich der Kleinstsatellitentechnologien anbieten zu können. Unser Flaggschiff ist dabei ERNST, unser Nanosatelliten-demonstrator mit einer wissenschaftlichen Infrarotkamera als Nutzlast, dessen Ingenieursqualifikationsmodell (EQM) dieses Jahr fertiggestellt und raumfahrtqualifiziert wird.

Die Zunahme der Anzahl von Satelliten in erdnahen Umlaufbahnen führt aber auch zu einem erhöhten Kollisionsrisiko zwischen den dort vorhandenen Objekten. Schutzschilde können die Konsequenzen abmildern, schlimmstenfalls jedoch wird der Satellit zertrümmert. Diese komplexen Prozesse untersuchen wir mit einzigartigen Simulationsverfahren, die wir hier vorstellen.

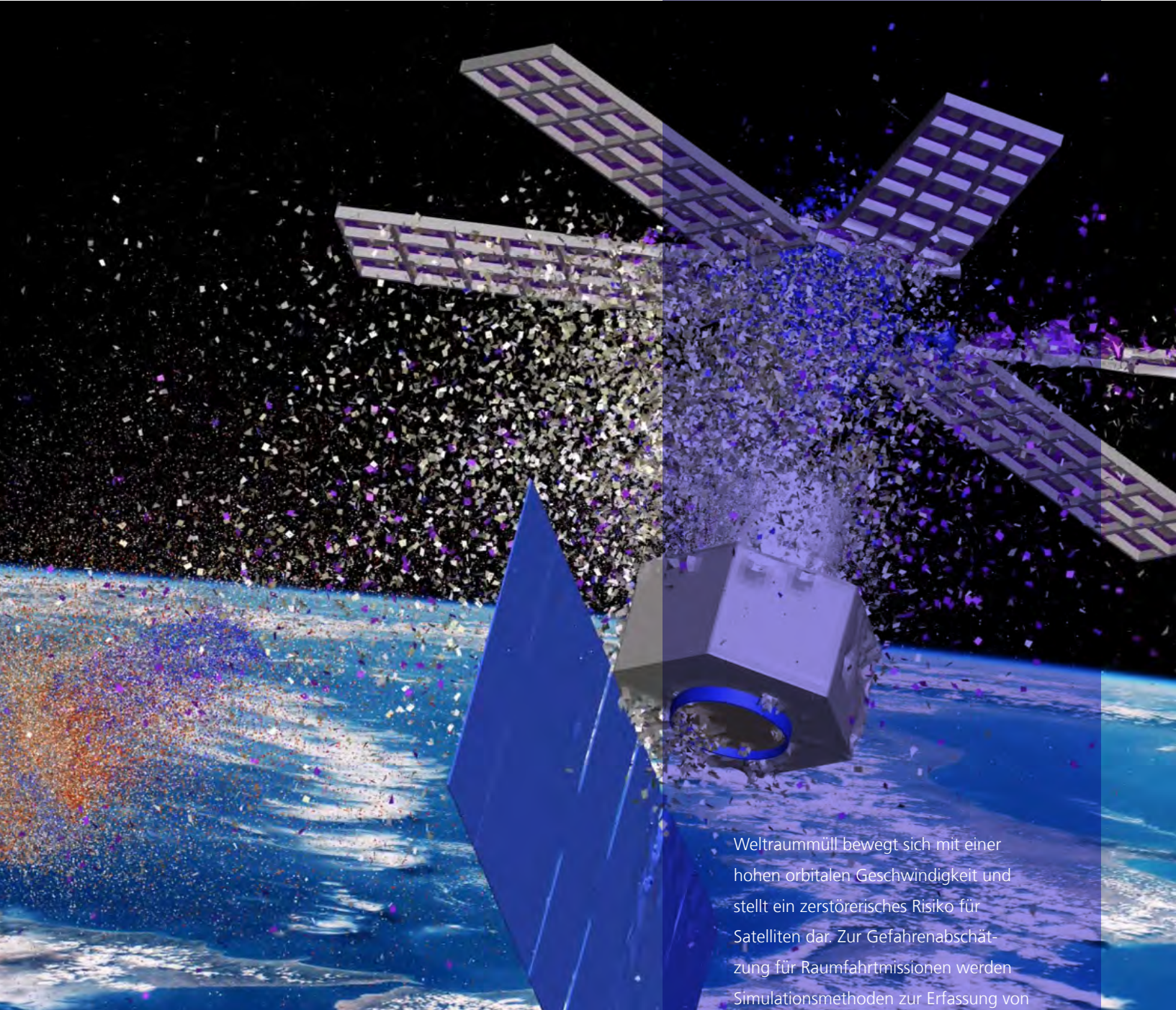


Prof. Dr. Frank Schäfer

Geschäftsfeldleiter Raumfahrt

frank.schaefer@emi.fraunhofer.de





Weltraummüll bewegt sich mit einer hohen orbitalen Geschwindigkeit und stellt ein zerstörerisches Risiko für Satelliten dar. Zur Gefahrenabschätzung für Raumfahrtmissionen werden Simulationsmethoden zur Erfassung von Weltraummüllmengen angewandt, die auf Ereignisdatenbanken und Abschätzungen basieren. Um ein besseres und realitätsnäheres Verständnis des Risikos zu bekommen, werden am Fraunhofer EMI numerische Methoden zur virtuellen Nachstellung von komplexen Kollisionsereignissen im Orbit entwickelt.



Dr. Pascal Matura

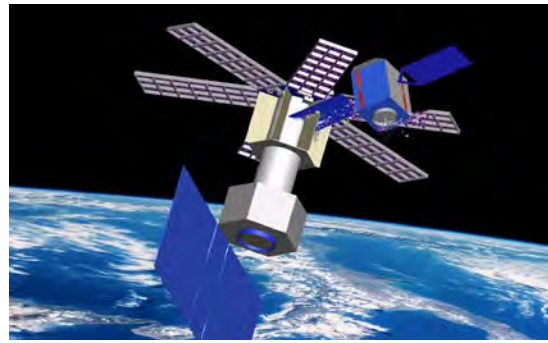
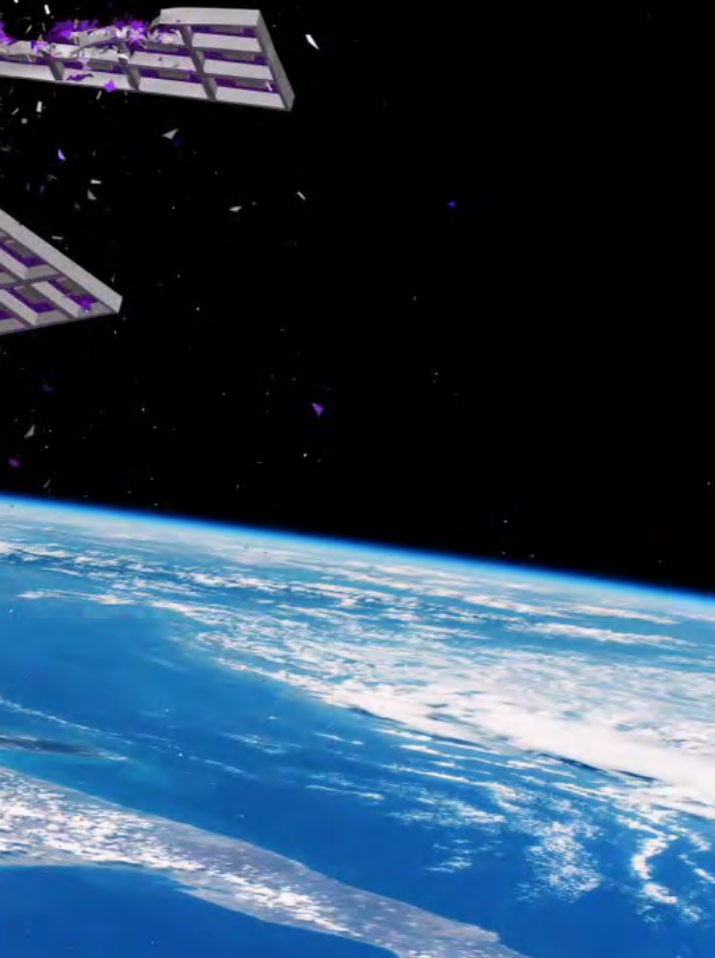
pascal.matura@emi.fraunhofer.de



Dr. Martin Schimmerohn

martin.schimmerohn@emi.fraunhofer.de

ESA-LOFT-Satellit eine Millisekunde nach der simulierten Kollision.



ESA-LOFT-Satellit zu Beginn der simulierten Kollision.

NUMERISCHE UNTERSUCHUNGEN VON SATELLITEN- KOLLISIONEN IM ORBIT

Weltraummüllobjekte sind Rückstände anthropogener Aktivitäten im All. Seit Beginn der Raumfahrt steigt die Zahl dieser Objekte in der Erdumgebung mit der wachsenden Anzahl gestarteter Raumfahrtsysteme kontinuierlich. Fragmentierungsereignisse, verursacht durch explodierende Tanks ausgedienter Oberstufen sowie unbeabsichtigte Kollisionen von Satelliten, kennzeichnen sprunghafte Anstiege in

der Gesamtheit der Raumfahrtrückstände. Solche Fragmentierungsereignisse stellen die größte Quelle von Weltraummüllobjekten dar, wobei speziell für die Kollisionen von Satelliten mittelfristig der weitaus größte Beitrag vorhergesagt wird, wenn die räumliche Dichte der Satelliten ein kritisches Niveau erreicht hat. Dieser Trend wird durch die Installation von großen Satellitenkonstellationen noch verstärkt. Die einzige natürliche Senke, neben dedizierten De-Orbit-Manövern von außer Dienst gestellten Satelliten, ist der Strömungswiderstand der Atmosphäre. Dieser ist aber bereits für relevante Bahnhöhen im niedrigen Erdorbit so gering, dass Objekte dort für Jahrzehnte oder länger verbleiben.

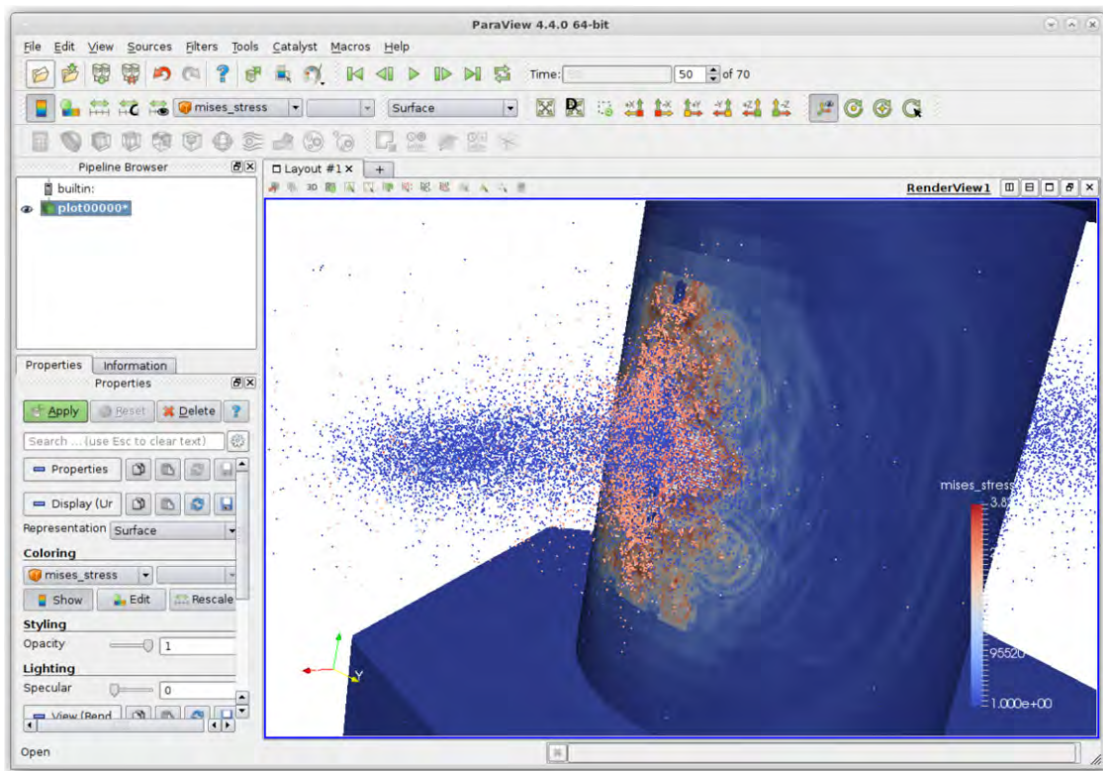
Modellierung der Weltraummüllumgebung

Das Besondere an der Weltraummüllumgebung sind die hohe orbitale Geschwindigkeit ihrer Objekte und die damit einhergehende zerstörerische Wirkung bei einer Kollision. Bei Kollisionsgeschwindigkeiten von mehreren Kilometern pro Sekunde können selbst die Einschläge nur zentimetergroßer Objekte zu katastrophalen Ausfällen von Satelliten führen. Es ist daher wichtig, die Weltraummüllumgebung zu analysieren, um das Risiko für eine Raumfahrtmission abzuschätzen und gegebenenfalls Schutzmaßnahmen zu treffen. Die Weltraummüllumgebung wird auf Grundlage von Ereignisdatenbanken und Katalogen mit erdgestützten Beobachtungsdaten modelliert. Selbst sehr hochauflösende Beobachtungsradare, zum Beispiel das Weltraumbeobachtungsradar TIRA des Fraunhofer FHR, erfassen nur Objekte die größer als fünf bis zehn Zentimeter sind. Alle kleineren Objekte können kaum beobachtet werden, sie werden stattdessen anhand von Modellen abgeschätzt. Für die dominante Quelle der Fragmentierungsobjekte erfolgt dies nach dem derzeitigen Stand der Technik anhand des Standard Satellite Breakup Model der NASA.

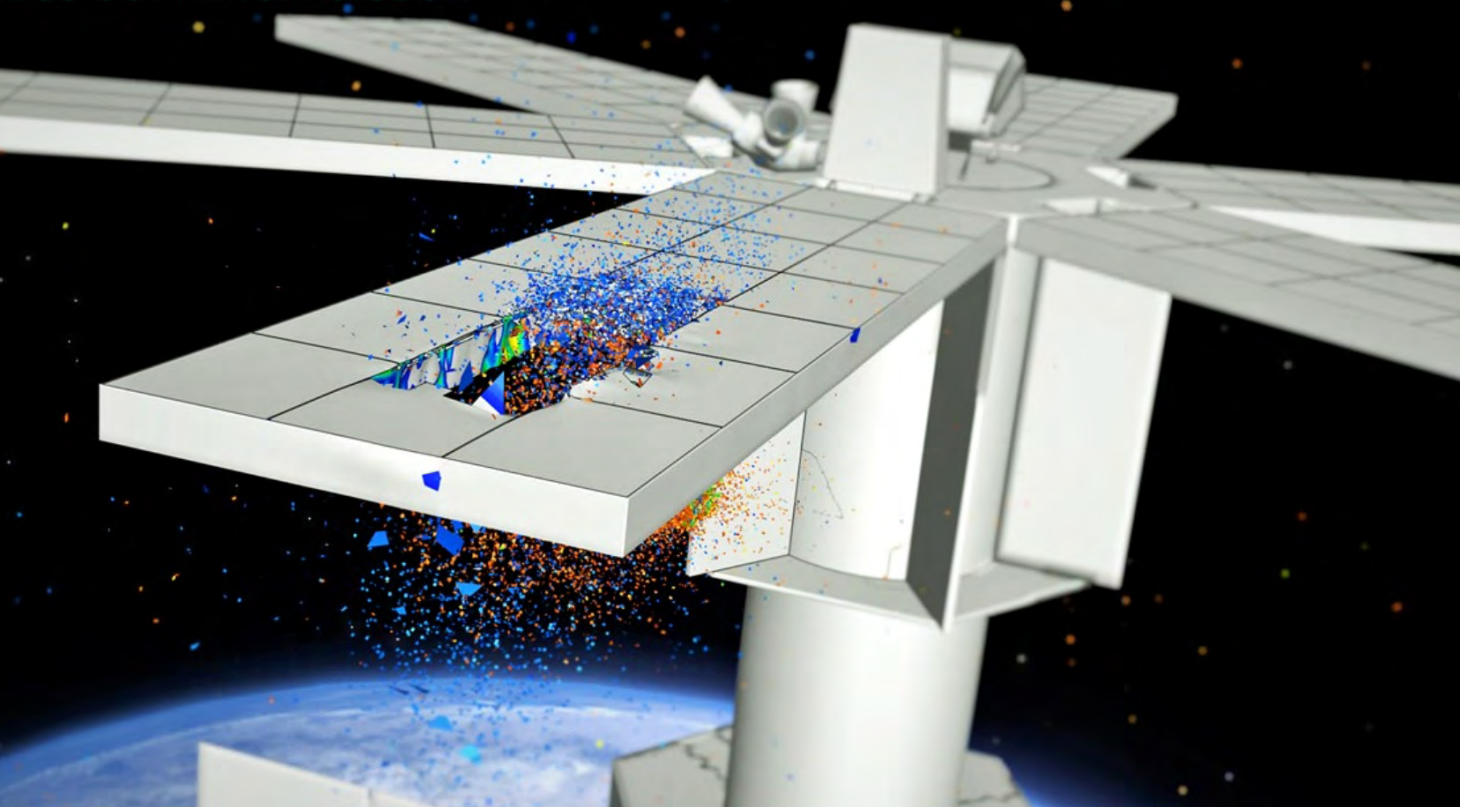
Analyse von Satellitenkollisionen

Das NASA-Breakup-Modell ist ein einfaches empirisches Modell, das nur wenige Eingangsgrößen zulässt: die Massen der kollidierenden Objekte sowie die Kollisionsgeschwindigkeit. Die dem Modell zugrunde liegende statistische Datenbasis ist angesichts der Schwierigkeit der Beobachtung realer Fragmentierungsereignisse im Orbit und des immensen Aufwands der Nachstellung im Labor gering. Beobachtungen von jüngeren Fragmentierungsereignissen im Orbit, wie dem chinesischen

Antisatellitentest Fengyun-1C sowie dem Zusammenstoß der Satelliten Iridium 33 und Kosmos 2251, zeigen daher auch deutliche Abweichungen zu den Vorhersagen des NASA-Breakup-Modells. Um die Datenbasis zu erhöhen und die systematische Analyse von Fragmentierungsereignissen zu ermöglichen, verfolgt das Fraunhofer EMI die Strategie, numerische Methoden zur virtuellen Nachstellung von komplexen Kollisionsereignissen im Orbit heranzuziehen.



Screenshot einer PHILOS-SOPHIA-Anwendung.



PHILOS-SOPHIA-Simulation einer Kollision auf ein Panel des ESA-LOFT-Satelliten.

Numerische Simulationen

Zur Simulation von Satellitenkollisionen nutzen wir den am Fraunhofer EMI entwickelten Hydrocode EMI-SOPHIA, der speziell für die Simulation hochdynamischer strukturmechanischer Prozesse optimiert und durch zahlreiche Experimente validiert wurde. Für die europäische Raumfahrtorganisation ESA wurde SOPHIA zur Simulation von Satellitenfragmentierungen zu PHILOS-SOPHIA erweitert, welches auch Laien erlaubt, Kollisionsszenarien zu erstellen, zu berechnen und Analysen durchzuführen. Das haben wir anhand des ESA-Satelliten LOFT, einer Designstudie eines großen Röntgenteleskops, demonstriert. In verschiedenen Annäherungsszenarien kollidierten wir die numerischen Modelle des LOFT-Satelliten mit einem Kleinsatelliten, um die Anzahl, Eigenschaften und Bahnen der erzeugten Fragmente zu analysieren. Anders als im NASA-Breakup-Modell, das die Geometrie der Kollision nicht berücksichtigt, konnten wir deutliche Unterschiede in der auftretenden Schädigung und Fragmentierung in Abhängigkeit von der Richtung des Zusammenstoßes feststellen. Insbesondere streifende Zusammenstöße können entweder sehr viel größere oder sehr viel kleinere Schäden im Vergleich zu einem zentralen Zusammenstoß erzeugen. Ausschlaggebend hierfür ist die Geometrie der Kollision. Die Orientierung, der Auftreffpunkt und die Richtung der Kollisionspartner

zueinander beeinflussen das Ausmaß, mit dem die entstehenden Trümmerwolken weitere Teile des Satelliten treffen und dadurch erneut Fragmente erzeugen. Mit PHILOS-SOPHIA können solche Prozesse physikalisch konsistent simuliert und die Eigenschaften der individuellen Fragmente vollständig ermittelt und nachverfolgt werden.

Ausblick

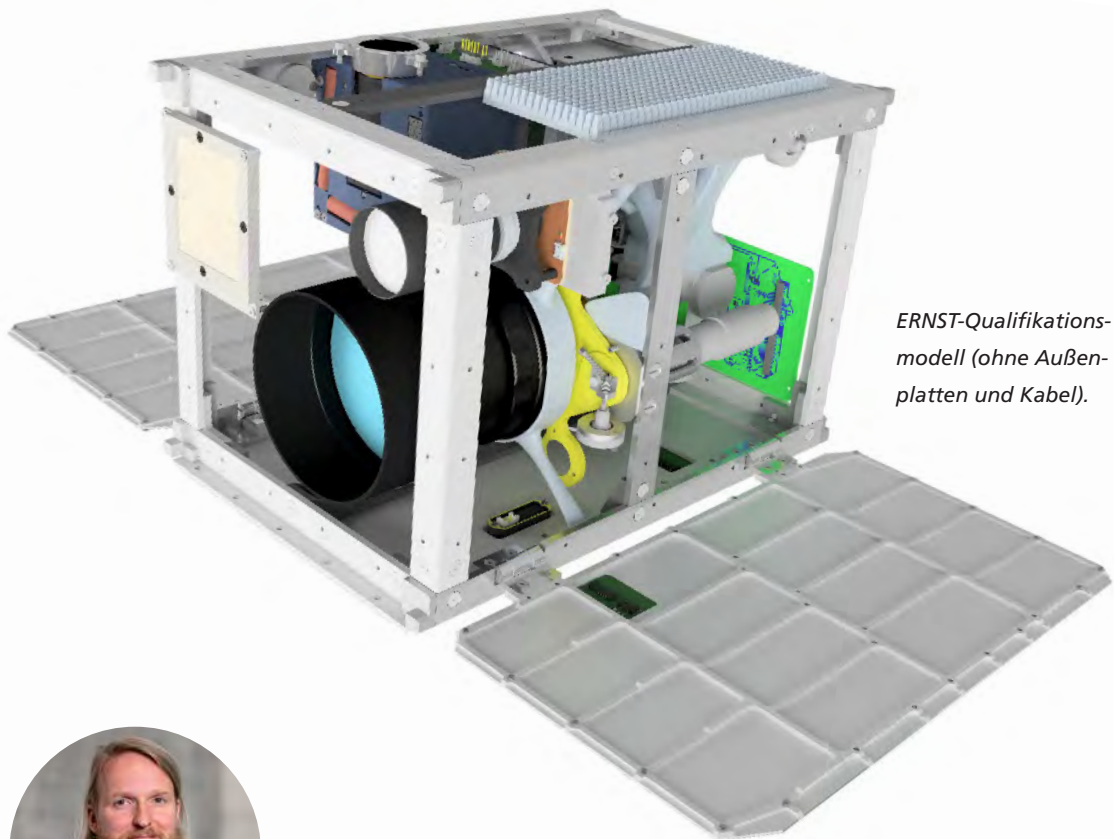
Um die numerischen Verfahren zur Simulation der Fragmentierung von komplexen, großskaligen Satelliten weiter zu verbessern und den Rechenaufwand zu vermindern, entwickeln wir aktuell Ersatzmodelle für Sandwichbauteile mit faserverstärktem Verbundmaterial. Diese kommen auf modernen Satelliten verstärkt zum Einsatz und erzeugen bei Kollisionen, wie Impakttests belegen, viele kleine Fragmente im nicht beobachtbaren Bereich. Anhand vereinfachter Ersatzmodelle, deren Entwicklung durch dedizierte Experimente unter Einsatz moderner Particle-Tracking-Verfahren begleitet wird, sollen die Simulationen effizienter werden und so eine Vielzahl realistischer und systematischer Untersuchungen von komplexen Satellitenkollisionen erlauben. Solche Studien können die Grundlage zur Verbesserung des bestehenden Standard-Breakup-Modells legen und in die Entwicklung eines leistungsstärkeren europäischen Modells münden.

ERNST

TECHNOLOGIEENTWICKLUNG FÜR DEN NEW SPACE

Die Raumfahrtbranche erfährt aktuell einen Umbruch, der von ihren Protagonisten als »New Space« propagiert wird. Dieser beinhaltet, getrieben von beträchtlichen privaten Investitionen, den Aufbau von großen Konstellationen kleiner, seriengefertigter Satelliten. Mit dem Nanosatelliten ERNST entwickelt das Fraunhofer EMI eine eigene modulare Plattform, um die Leistungsfähigkeit dieser Satellitenklasse zu demonstrieren und ebenfalls die Dynamik des Kleinsatellitenmarkts zu nutzen. Dabei sehen wir die Entwicklung von Nanosatelliten nicht in Konkurrenz, sondern komplementär zu den etablierten Hochleistungssatelliten, deren Wertschöpfung durch kostengünstige und reaktionsschnelle Nanosatellitenmissionen ausgeweitet und verstärkt werden kann.

Im nur 236 mal 236 mal 340 Kubikmillimeter großen und 20 Kilogramm schweren ERNST bringen wir einen kryogekühlten Infrarotdetektor zur Beobachtung von Raketenstarts, eine Kamera zur Erdbeobachtung im sichtbaren Bereich und einen vom Fraunhofer INT entwickelten Strahlungsdetektor unter. Derzeit integrieren und testen wir das ERNST-Qualifikationsmodell und entwickeln Software, 3D-gedruckte Strukturen und ein De-Orbit-Bremssegel. Der Start ist für 2021 geplant.



ERNST-Qualifikationsmodell (ohne Außenplatten und Kabel).



Dr. Martin Schimmerohn

martin.schimmerohn@emi.fraunhofer.de

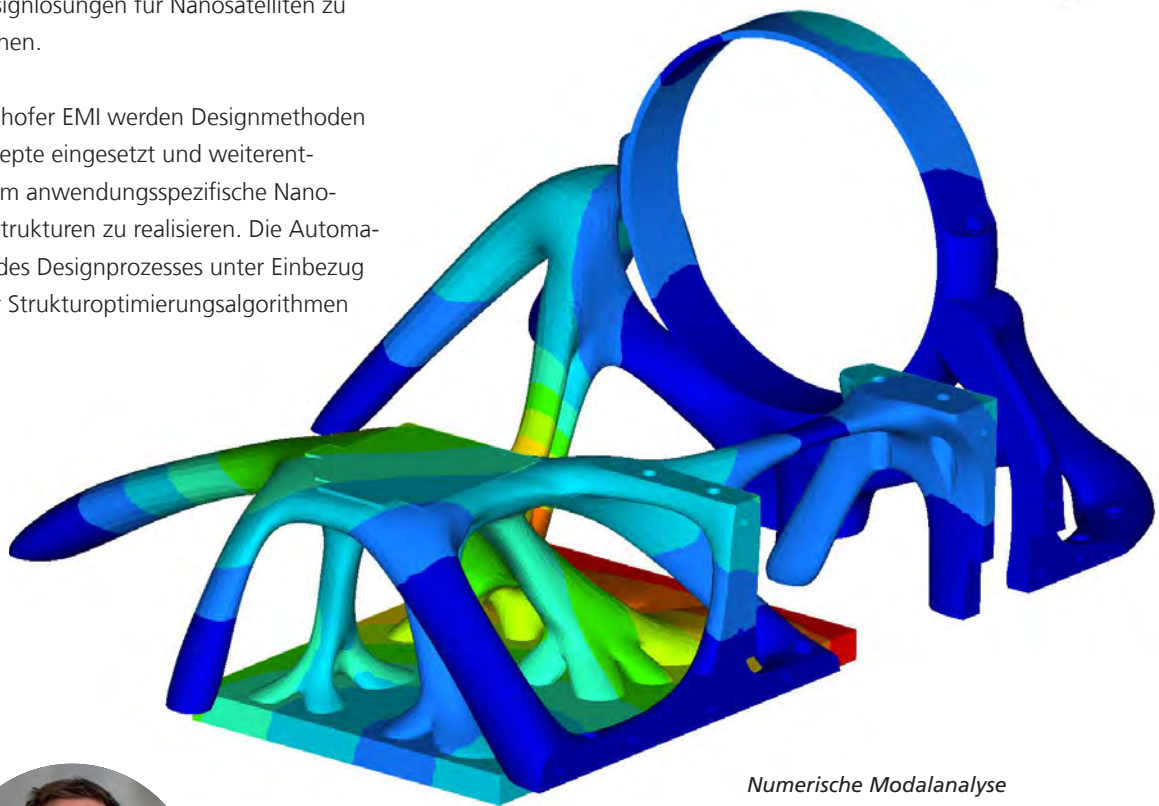
3D-DRUCK FÜR SATELLITENTECHNIK

Satellitengestützte Dienstleistungen wie die Wettervorhersage, Navigation oder Kommunikationsanwendungen prägen unser alltägliches Leben. Um die Entwicklung dieser Dienste noch schneller als bisher voranzubringen, stellt der Einsatz von sogenannten Nanosatelliten, welche üblicherweise die Größe eines Schuhkartons haben, ein enormes Potenzial dar.

Um bessere, flexiblere und kostengünstigere Nanosatelliten in einer kürzeren Entwicklungszeit zu realisieren, bedarf es eines Paradigmenwechsels in der Konstruktion und Produktion von bisherigen Satellitensystemen. Der 3D-Druck mit seiner enormen Designfreiheit ermöglicht es, hochindividualisierte und kompakte Designlösungen für Nanosatelliten zu verwirklichen.

Am Fraunhofer EMI werden Designmethoden und Konzepte eingesetzt und weiterentwickelt, um anwendungsspezifische Nanosatellitenstrukturen zu realisieren. Die Automatisierung des Designprozesses unter Einbezug moderner Strukturoptimierungsalgorithmen

garantiert dabei eine schnelle Anpassung von Designs, die Integration von Funktionen in Bauteilen sowie die Integralbauweise zur Reduzierung von Einzelteilen. Mithilfe des metallischen 3D-Drucks werden damit Bauteile ressourceneffizient aus Aluminium oder Titanlegierungen hergestellt. Am Fraunhofer EMI wird somit stetig daran gearbeitet, den 3D-Druck als Brücke zwischen realer und digitaler Welt auch in der Raumfahrt zu etablieren.



Numerische Modalanalyse der optischen Bank.



Marius Bierdel

marius.bierdel@emi.fraunhofer.de



ENTFALTbares BREMSSEGEL FÜR NANO- SATELLITEN

Um die Anzahl der im Orbit hinterlassenen, als Weltraumschrott bezeichneten Objekte zu begrenzen, müssen Satelliten nach dem Ende ihrer Mission aus der Umlaufbahn entfernt werden. Internationale Richtlinien, an denen auch das Fraunhofer EMI mitwirkt, sehen eine maximale Abstiegszeit von 25 Jahren vor. In höheren Umlaufbahnen ist der Widerstand der Restatmosphäre allerdings zu gering, um diese Abstiegszeiten zu gewährleisten. In diesem Fall benötigt ein Satellit eine Vorrichtung für das De-Orbit-Manöver. Ein solches entwickeln wir am Fraunhofer EMI für unseren Nanosatelliten ERNST.

Das De-Orbit-Subsystem ist ein sogenanntes Bremssegel, das die Fläche des Satelliten vergrößert und so den Strömungswiderstand an der Restatmosphäre erhöht. Dazu wird eine 2,5 Quadratmeter große, mit Aluminium beschichtete Kunststoffolie durch das Entrollen von Bandstahlauslegern entfaltet. Im gefalteten Zustand findet das De-Orbit-System in einem Würfel mit zehn Zentimetern Kantenlänge Platz. Ein erstes Demonstrationsmodell, das gemeinsam mit der HPS GmbH entwickelt wurde, startete am 11. November 2018 mit der Rakete Electron der Firma Rocket Lab. Verlässliche Ergebnisse dieser Erprobung im Orbit erwarten wir für den Sommer 2019.

Rakete Electron der Firma Rocket Lab beim Start am 11. November 2018. Als Nutzlast mit an Bord war das erste Bremssegeldemonstrationsmodell.

© Rocket Lab



Dr. Martin Schimmerohn

martin.schimmerohn@emi.fraunhofer.de

GEFAHR WELTRAUMMÜLL

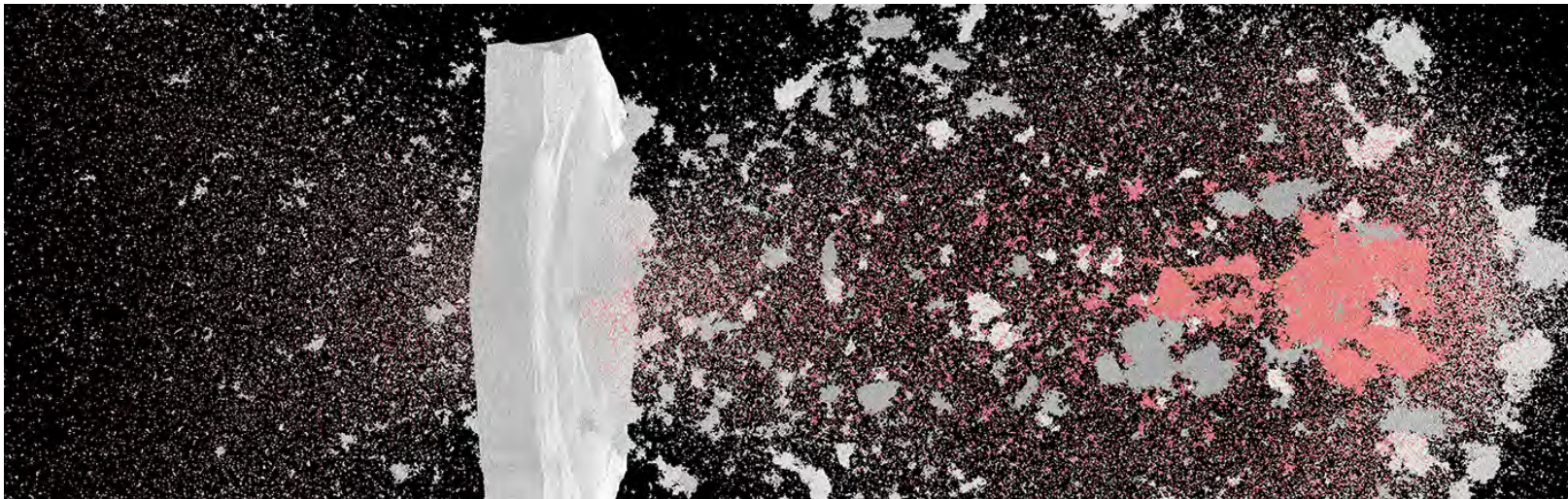
METHODEN ZUR BESCHREIBUNG VON FRAGMENTIERUNGSEREIGNISSEN IM ORBIT

Seit Beginn des Weltraumzeitalters in den 1950er Jahren haben sich in erdnahen Umlaufbahnen eine große Anzahl von Objekten, wie zum Beispiel Reste von Raketenendstufen oder Trümmerreste von Zusammenstößen, angesammelt, die je nach Umlaufbahn mit Geschwindigkeiten zwischen drei und acht Kilometern pro Sekunde die Erde umkreisen. Dieser sogenannte Weltraummüll stellt eine wachsende Bedrohung für aktive Satelliten dar. Im Fall eines Zusammenstoßes von Objekten mit aktiven Satelliten kann es zum Ausfall oder sogar zur Zerstörung von Satelliten kommen.

Für die Beurteilung beziehungsweise realistische Einschätzung des Risikos solcher Kollisionen in der Zukunft ist es wichtig, ein sehr gutes physikalisches Modell für das Materialverhalten eines Festkörpers bei einem Impact mit hoher Geschwindigkeit zur Verfügung zu haben. Wir am Fraunhofer EMI entwickeln solche realitätsnahen Modelle, basierend

auf einer Teilchenmethode, und lösen die dynamischen Gleichungen, die die Physik beschreiben, mithilfe von hochperformanten und parallelisierten Computersimulationen.

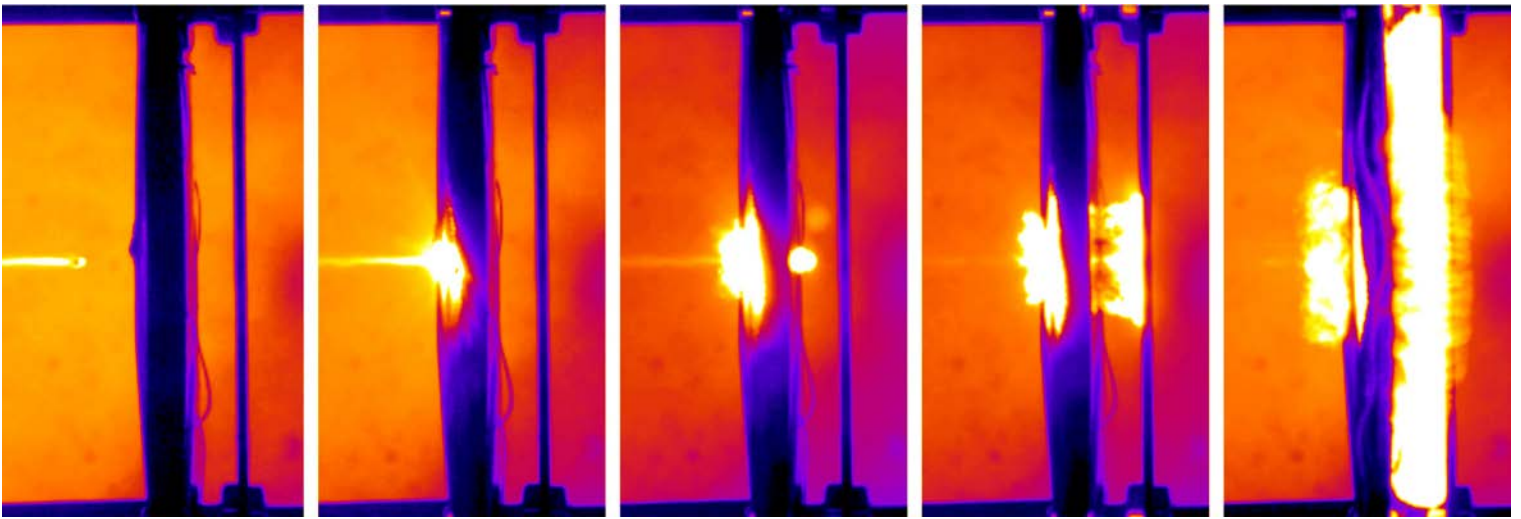
Die gewonnenen Erkenntnisse können von Industriekunden genutzt werden, die zum Beispiel eine Gewichts- und Materialoptimierung bei der Auslegung von Satellitenstrukturen anstreben. Ferner können unsere Computerexperimente wertvolle neue Erkenntnisse zur Optimierung der Schutzwirkung von Satellitengehäusen geben und führen zu einem vertieften Verständnis von Materialversagen bei Hochgeschwindigkeitsimpact. Insofern kann bei der Entwicklung von neuen Satelliten der übliche, sehr teure experimentelle Trial-and-Error-Zugang durch ein deutlich günstigeres, maßgeschneidertes und durch Computersimulationen optimiertes Design ersetzt oder zumindest wesentlich ergänzt werden.



Simulation der Standardgeometrie mit 7,7 Millionen Teilchen. Impact mit einer Geschwindigkeit von fünf Kilometern pro Sekunde.



PD Dr. Martin O. Steinhauser
martin.steinhauser@emi.fraunhofer.de



Bildabfolge eines Impaktversuchs auf einen Schutzschild der chinesischen Raumstation TianGong (in Pseudofarben).

IMPAKTTESTS AUF SCHUTZ- SCHILDE FÜR DIE ZUKÜNFTIGE CHINESISCHE RAUMSTATION TIANGONG

Die experimentelle Simulation des Hochgeschwindigkeitseinschlags von Weltraumschrottobjekten und Mikrometeoroiden auf Raumfahrtsysteme ist eine der vielen besonderen Expertisen des Fraunhofer EMI. Mit zweistufigen Leichtgasbeschleunigern beschleunigen wir Objekte vom Mikrometer- bis Zentimeterbereich auf Impaktgeschwindigkeiten von bis zu zehn Kilometern pro Sekunde.

Diese experimentellen Möglichkeiten, die zum Beispiel bei der Entwicklung des Schutzschields für das europäische Columbus-Modul der Internationalen Raumstation ISS zum Einsatz kamen, waren 2018 auch für Schutzschilde der zukünftigen chinesischen Raumstation TianGong gefragt.

Hintergrund ist eine Kooperation zwischen der europäischen Raumfahrtorganisation ESA (European Space Agency) und der chinesischen Akademie für Raumfahrttechnik CAST (China Academy of Space Technology). Für die chinesischen Wissenschaftler haben wir am Fraunhofer EMI deren Schutzschildkonzept für die bemannte Raumstation experimentell untersucht. Ziel war es, die Schutzwirkung des Schields für verschiedene Einschlagbedingungen zu überprüfen und zu charakterisieren. In insgesamt fünfzehn Experimenten wurden die Schutzschilde getestet und auf Grundlage der Ergebnisse dedizierte Schadensgleichungen zur Beschreibung des Schutzverhaltens der Schilde erstellt.



Dr. Martin Schimmerohn

martin.schimmerohn@emi.fraunhofer.de



FPGA-BASIERTE DATA PROCESSING UNIT

Die Data Processing Unit (DPU) für den Einsatz in Kleinsatelliten wurde erfolgreich auf die neueste Generation leistungsfähiger FPGA (Field Programmable Gate Array) portiert. Damit ist die DPU für zukünftige Anwendungen im Bereich künstlicher Intelligenz vorbereitet. Das Gerät kommt neben dem EMI-Nanosatelliten ERNST bei mehreren Raumfahrtmissionen eines Industriekunden zum Einsatz.



Datenverarbeitungseinheit mit FPGA-Technologie.

GESCHÄFTSFELD
LUFTFAHRT



*Mechanische Materialcharakterisierung:
Ergebnis eines dynamischen Zugversuchs
an einer CFK-Materialprobe.*

GESCHÄFTSFELD LUFTFAHRT

Der Schlüssel zu hoher Performance und Ökoeffizienz moderner Luftfahrzeuge ist – neben einer herausragenden Aerodynamik und effizienten Triebwerken – die Umsetzung eines konsequenten Leichtbaukonzepts. Der nachfolgende Artikel beschreibt die Forschungsaktivitäten des Fraunhofer EMI im Kontext nachhaltiger, innovativer Leichtbaulösungen, welche im Zuge der Verknappung natürlicher Ressourcen stetig an Bedeutung gewinnen.

Nach den Abstürzen zweier Maschinen des Typs Boeing 737 MAX in Indonesien und Äthiopien wird eine Debatte über die Sicherheit kommerzieller Flugzeuge geführt. Am Fraunhofer EMI wird daran geforscht, die hohen Sicherheitsstandards weiter zu verbessern. Im Speziellen befassen sich die Forschenden am EMI mit Themen aus dem Bereich alltäglicher Impaktszenarien, wie zum Beispiel Hagelschlag oder Beschädigung von CFK-Strukturen durch Low-Velocity-Impakt. Die nachfolgenden Kurzberichte geben einen Einblick in dieses spannende und wichtige Forschungsfeld.

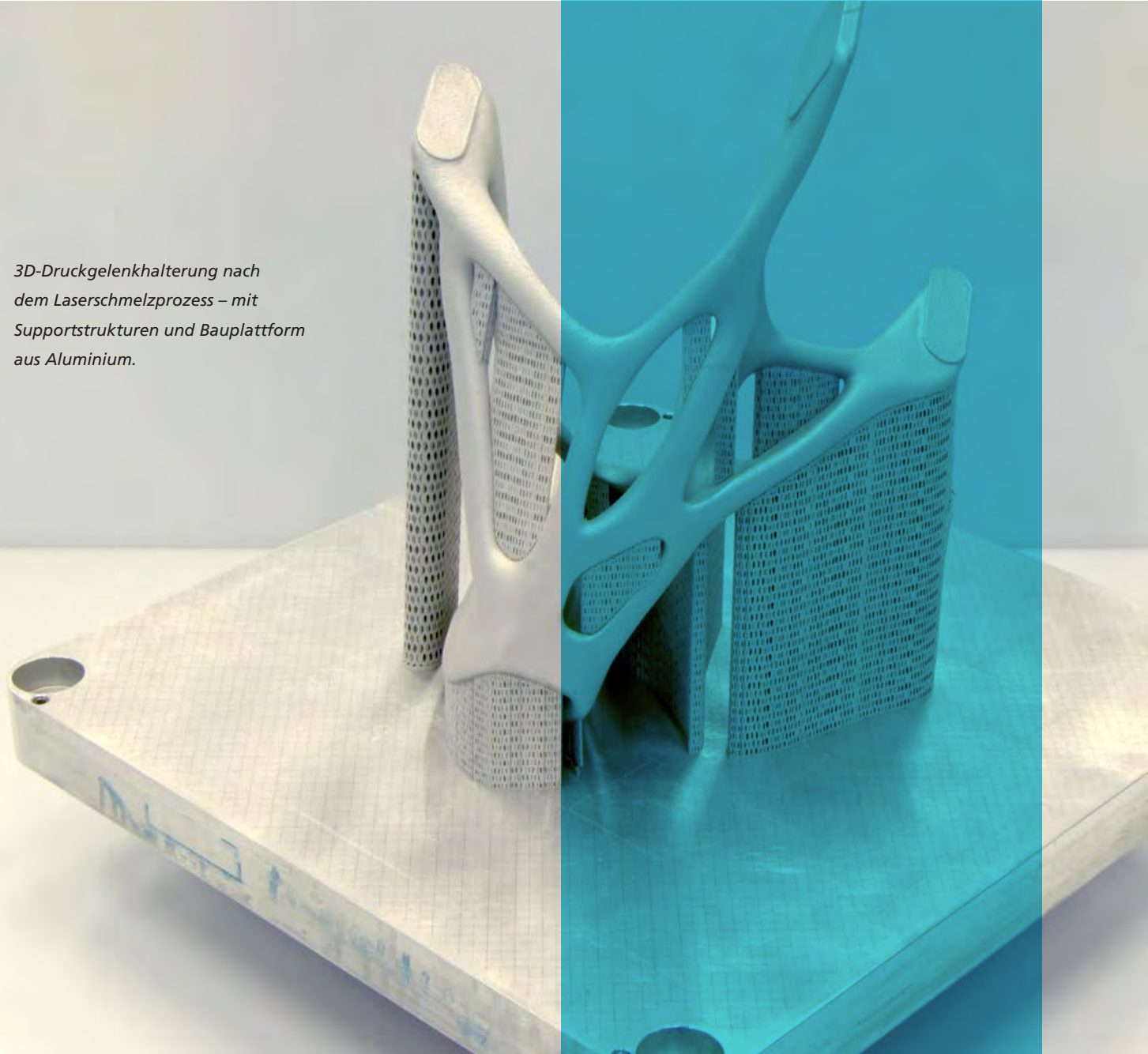


Dr. Michael May

Geschäftsfeldleiter Luftfahrt
michael.may@emi.fraunhofer.de



3D-Druckgelenkhalterung nach dem Laserschmelzprozess – mit Supportstrukturen und Bauplattform aus Aluminium.



Einsatzmöglichkeiten und Leichtbaupotenziale des Aluminium-3D-Drucks für Flugzeugteile stehen im Fokus dieses Clean Sky 2 Joint Undertaking. Nicht nur leicht, sondern auch robust, sicher und nachhaltig sollen die Bauteile sein. Dabei wird mit intelligenten Designmethoden, Lebenszyklusanalysen und Simulationsmodellen gearbeitet, um optimierte und immer effizientere Systeme als Lösung zu erhalten.



Klaus Hoschke

klaus.hoschke@emi.fraunhofer.de



3D-DRUCK FÜR LEICHTE, ROBUSTE UND NACHHALTIGE FLUGZEUG- BAUTEILE

Der nachhaltige Einsatz von Ressourcen bei gleichbleibender oder erhöhter Sicherheit in der Luftfahrt sind Kernziele des zukünftigen ökoeffizienten, sicheren und nachhaltigen Fliegens. Leichtbau und der Einsatz von Hochleistungswerkstoffen ist hierbei ein möglicher Schlüssel, verursacht allerdings ein



hohes Maß an Komplexität von Fertigungsprozessen und auch sehr hohe Kosten. Der 3D-Druck speziell von Leichtmetallen hat dagegen das Potenzial, ressourceneffizienten Leichtbau zu ermöglichen. Hierbei wird für das Bauteil nur das Material additiv generiert, welches auch wirklich für den Einsatz benötigt wird. Im Gegensatz zu anderen Technologien werden keine Formen benötigt oder überschüssiges Material beispielsweise spanend abgetragen. Hinzu kommt, dass im Vergleich zu den geometrischen Restriktionen konventioneller Fertigungsverfahren Ingenieurinnen und Ingenieure mit dem 3D-Druck viel mehr Freiheiten in der Konstruktion besitzen und so potenziell leichtere und leistungsfähigere Systeme entwickeln können.

Designrichtlinien und Lebenszyklusanalysen für den Aluminium-3D-Druck von Gelenkhalterungen bei Flugzeugtüren

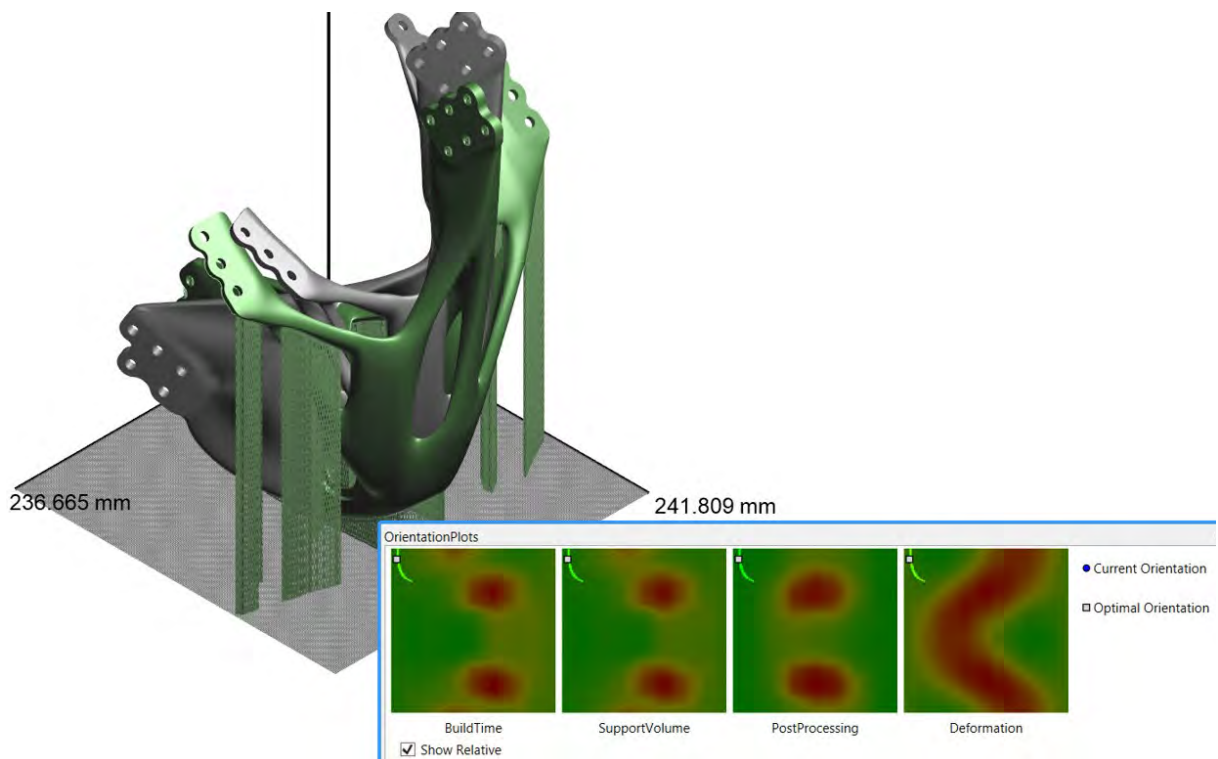
Die Forschenden am Fraunhofer EMI untersuchen zusammen mit Partnern aus der Luftfahrtindustrie, gefördert durch die Europäische Union im gemeinsamen Unternehmen Clean Sky 2 Joint Undertaking, die Einsatzmöglichkeiten für den Aluminium-3D-Druck bei Flugzeugbauteilen. Dabei erschließen sie neue Leichtbaupotenziale durch das Nutzen der geometrischen Freiheiten und ermitteln Designrichtlinien für die effiziente, maßgeblich virtuelle Produktentwicklung. Zusätzlich wird der gesamte Lebenszyklus der Flugzeugkomponenten betrachtet und beispielsweise Energie- und Materialströme während des Fertigungsprozesses gemessen und analysiert. Auf diese Weise stehen bei der Weiterentwicklung von Designrichtlinien nicht nur der Leichtbau und die mechanische Leistung der Bauteile im Vordergrund, sondern auch der nachhaltige Einsatz von Ressourcen in der Fertigung durch den 3D-Druck und im gesamten Lebenszyklus.

Automatisierte Leichtbaukonstruktion durch Nutzen von intelligenten Designmethoden

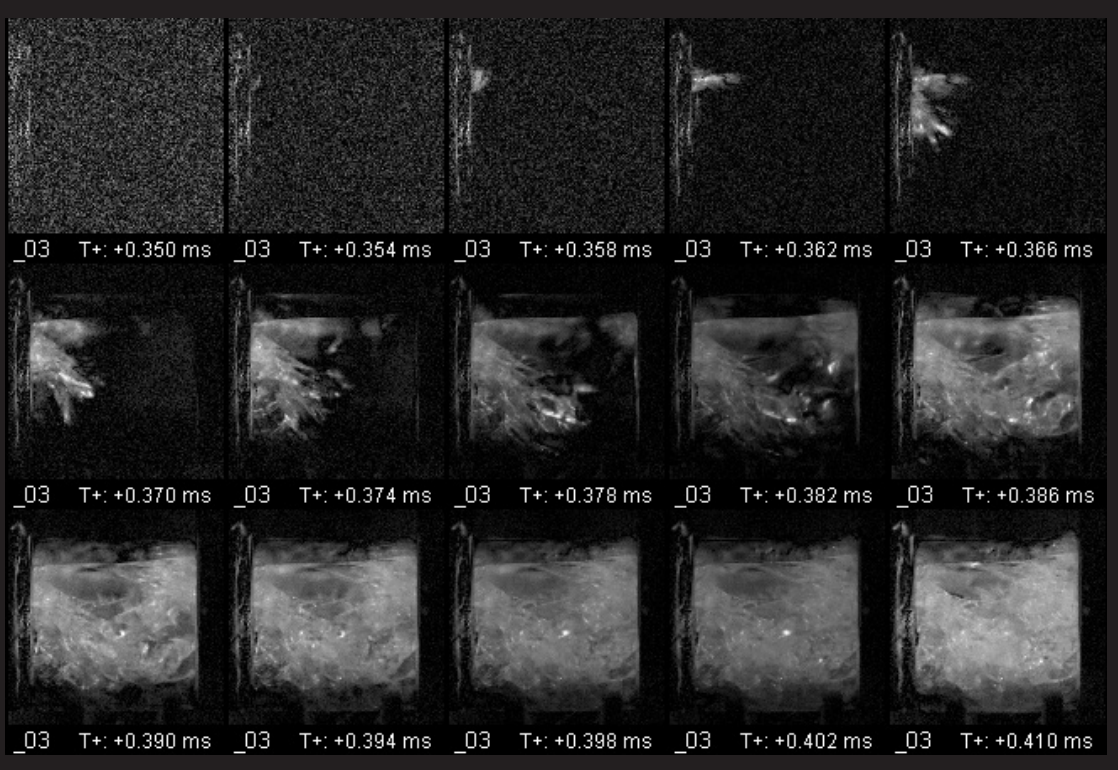
Um Ingenieurinnen und Ingenieure bei der Nutzung der neuen Designfreiheiten durch den 3D-Druck zu unterstützen, sind neue Konstruktionsmethoden notwendig. Das Fraunhofer EMI arbeitet daran, automatisierte Designmodelle auf Grundlage von Simulationen weiterzuentwickeln. Hierbei spielt die Methode der Topologieoptimierung eine entscheidende Rolle. In der Simulation wird die Lastverteilung in einem Bauteil bestimmt und dessen Geometrie optimiert. Ziel ist es, in einem durch Algorithmen automatisierten Prozess eine Designlösung mit effizienterer Lastverteilung bei geringerem Gewicht zu erreichen. Am Fraunhofer EMI arbeiten wir daran, diese Methoden für den Einsatz bei Luftbauteilen weiterzuentwickeln und vor allem die Sicherheit und Robustheit der optimierten Leichtbaulösungen sicherzustellen und zu verbessern. Zusätzlich fließen die Erkenntnisse aus der Lebenszyklusanalyse in die Simulationsmodelle ein. Denn am Ende zählt nicht nur der Leichtbau, sondern auch die Nachhaltigkeit und Sicherheit der Bauteile.

Erhöhte Robustheit und Sicherheit von optimierten 3D-Druckbauteilen

Die Designfreiheit der additiven Fertigung kann nicht nur für den Leichtbau, sondern auch für das Erreichen erhöhter Sicherheit und Robustheit genutzt werden. Am Fraunhofer EMI wird beispielsweise daran gearbeitet, topologieoptimierte Teile »fail-safe« und strukturell redundant zu konstruieren. Dies bedeutet, dass so gestaltete Bauteile bei einem Fehlverhalten oder Teilversagen gutmütig reagieren können. Beispielsweise wird bei einem Riss oder einer Schädigung des Materials die Lastverteilung so umgelenkt, dass der sichere Betrieb weiter gewährleistet ist und die betroffene Komponente rechtzeitig gewartet oder ausgetauscht werden kann. Auf diese Weise lassen sich redundante Bauteile oder Sicherheitsfaktoren stark reduzieren und somit effizientere Systeme entwickeln.



Entwicklung von Designrichtlinien für den Prozess durch Simulationen.



Hochgeschwindigkeitsaufnahme des Rissfortschritts bei druckbelastetem Eiszylinder im Split Hopkinson Pressure Bar.

SIMULATION VON EIS UND HAGEL

Hagelschlag kann zu extensiven Schäden an Primärstrukturen im Luftfahrtbereich führen. Das Ausmaß der durch Hagelschlag verursachten Schäden an einer Leichtbaustruktur wird dabei maßgeblich durch die Eigenschaften des Eisimpaktors (Hagelkörner) und den Typus der eingesetzten Leichtbaustruktur bestimmt. Im Rahmen des EU-Projekts Clean Sky 2 hat das Fraunhofer EMI die Modellierung von Eisimpaktoren aus experimenteller und numerischer Perspektive untersucht.

Wesentliche Erkenntnisse der Studie zeigen ein von Belastungsgeschwindigkeit und Temperatur abhängiges Materialverhalten des Eises. Die wesentlichen Herausforderungen waren dabei die maßgenaue Fertigung von Eisprüfkörpern sowie die Durchführung von Versuchsserien unter temperierten Bedingungen in anspruchsvollen Versuchsaufbauten, wie zum Beispiel am Split Hopkinson Bar und an Hochgeschwindigkeitsbeschleunigern für Hagelschlagszenarien.

Eine weitere relevante Beobachtung war das beträchtliche Streufeld im Materialversagen und in den Schädigungsmechanismen, welches in der numerischen Modellierung über einen stochastischen Ansatz abgebildet werden konnte. In Kombination mit einem ratenabhängigen, spröden Materialmodell konnten das Versagen und die

nachfolgende Fragmentierung der Eisimpaktoren auf nachgebende Leichtbaustrukturen erfolgreich wiedergegeben werden.

Mehr Informationen finden Sie unter www.mdpi.com/1996-1944/12/8/1236



Dr. Sebastian Kilchert

sebastian.kilchert@emi.fraunhofer.de

DYNAMISCHER RISSFORTSCHRITT

Moderne Flugzeuge wie die A350 oder die B787 setzen unter Berücksichtigung des Leichtbau-gedankens verstärkt auf den Einsatz von Verbundwerkstoffen in primären und sekundären Strukturbauteilen. Verbundwerkstoffe zeichnen sich durch exzellente Eigenschaften innerhalb der Laminat-ebene aus, sind aufgrund ihrer Lagenstruktur jedoch anfällig für Schädigung durch Belastungen in Dickenrichtung. Typische Beispiele für derartige Belastungen sind ein Werkzeug, das auf eine Tragfläche fällt, Hagelschäden oder die Kollision mit einem Vogel.

In der Auslegung von Flugzeugstrukturen wird verstärkt auf die Mittel der numerischen Simula-tion gesetzt, um die Sicherheit von Flugzeug-strukturen unter Impaktbelastung zu garantieren.

Als schwierig gestaltet sich dabei oft die Ermittlung verzerrungs-ratenabhängiger Materialkenn-werte, welche jedoch für eine prognosefähige Simulation unverzichtbar sind. Am Fraunhofer EMI wurde gemeinsam mit einem Kunden ein neuartiger Versuchsaufbau für den Hopkinson Bar entwickelt, mit welchem bruchmechanische Kennwerte unter dynamischer Belastung ermittelt werden können. Somit können wichtige Beiträge für die Sicherheit neuer Generationen von Flug-zeugen geleistet werden.



Der Hopkinson Bar am Fraunhofer EMI.



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

AIAA SCITECH FORUM 2019

Das AIAA Science and Technology Forum ist die weltweit größte Fachtagung für Luftfahrttechnik. Die Veranstaltung, die im Januar 2019 in San Diego, USA, stattfand, bot über 4700 Luftfahrtexperten die Gelegenheit, sich über den aktuellen Stand der Forschung auszutauschen. Das Fraunhofer EMI stellte dort neueste Erkenntnisse aus der Vogelschlagsimulation auf Hubschrauber vor.



FRAUNHOFER EMI AUF DEM LS-DYNA & JSTAMP FORUM 2018

Auf dem LS-DYNA & JSTAMP Forum 2018 in Nagoya, Japan, kamen 500 japanische Experten für die Simulation von Crash- und Impaktvorgängen zusammen. Als geladener, internationaler Gast stellte Dr. Michael May eine Strategie zur Berechnung von Vogelschlagevents auf Polycarbonatfenster eines neuartigen Hochgeschwindigkeitshubschraubers vor.



Dr. Michael May bei seinem Vortrag in Nagoya.

© JSOL Corporation

LEISTUNGSZENTRUM
NACHHALTIGKEIT



LEISTUNGSZENTRUM
NACHHALTIGKEIT FREIBURG



*Im Leistungszentrum Nachhaltigkeit werden Lösungen
für eine nachhaltige Zukunft entwickelt.*

© Gettyimages

LEISTUNGSZENTRUM NACHHALTIGKEIT

Leistungszentrum Nachhaltigkeit Freiburg startet neu durch – Transfer im Fokus

Den Transfer wissenschaftlicher Ergebnisse in Wirtschaft und Gesellschaft fördern: Mit diesem Ziel ist das Leistungszentrum Nachhaltigkeit Freiburg (LZN) in seine zweite Phase gestartet. Das Land Baden-Württemberg und die Fraunhofer-Gesellschaft unterstützen das LZN bis Ende 2020 mit sechs Millionen Euro. Damit entwickeln die Forschenden in acht Demonstratorprojekten Technologien in den Bereichen Material, Energie und Resilienz bis zur Marktfähigkeit weiter. In den Projekten des Fraunhofer EMI geht es um zuverlässige und resiliente Lokalisierung in der Logistik und um eine automatisierte Zustandserfassung von Brücken.

Über die Demonstratorprojekte hinaus fördert das LZN den Transfer durch die Unterstützung von Start-ups, verschiedene Veranstaltungsformate wie Science Days, internationale Vernetzung und durch den Aufbau einer Servicestelle für Weiterbildung. Im Bereich Weiterbildung ist das EMI an einem weiteren LZN-Projekt beteiligt.

Mehr zu den Aktivitäten des LZN erfahren Sie in den folgenden Artikeln.

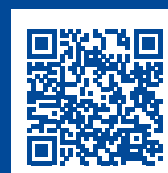


Benjamin Scharte

Leiter Geschäftsstelle

Leistungszentrum Nachhaltigkeit Freiburg

benjamin.scharte@emi.fraunhofer.de



DEMONSTRATORPROJEKTE IM LEISTUNGSZENTRUM NACHHALTIGKEIT FREIBURG

In acht Demonstratorprojekten arbeiten interdisziplinäre Teams von Forscherinnen und Forschern der Fraunhofer-Institute und der Universität Freiburg gemeinsam an der Entwicklung marktfähiger Technologien und Innovationen im Bereich ingenieurwissenschaftlicher Nachhaltigkeitsforschung.

Die Demonstratorprojekte versetzen unsere LZN-Teams in die Lage, aufbauend auf vorangegangenen Forschungsprojekten ihre wissenschaftlichen Ergebnisse so weiterzuentwickeln, dass sie in

Form eines technologischen Demonstrators präsentiert werden können.

Die Projekte werden bis Ende 2020 mit rund 4,5 Millionen Euro durch das Land Baden-Württemberg und die Fraunhofer-Gesellschaft gefördert. Zwei Projekte mit Beteiligung des Fraunhofer EMI stellen wir Ihnen hier vor, eine Übersicht findet sich unter:

www.leistungszentrum-nachhaltigkeit.de/demoprojekte



MERLIN

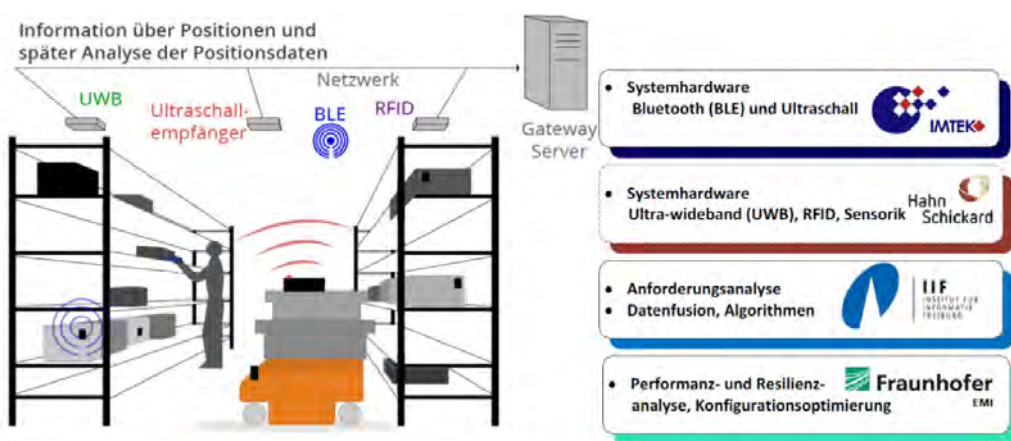
MULTIMODALE EFFIZIENTE UND RESILIENTE LOKALISIERUNG FÜR INTRALOGISTIK, PRODUKTION UND AUTONOME SYSTEME

Über verschiedene Branchen hinweg betragen die Logistikkosten etwa 25 Prozent eines Produkts. Eine ressourcenschonende, zuverlässige und bezüglich Störungen resiliente Lokalisierung von Objekten ist ein aktuell hochrelevantes Thema für europäische KMU und Industrie, um wettbewerbsfähig zu bleiben. Das Projekt MERLIN stellt ein kombiniertes Lokalisierungssystem als technischen Prototyp bereit. Im Projekt sollen Ultraschall-, Bluetooth-, Ultraweitband- und RFID-Lokalisierung in ein verteiltes, teilweise energieautonomes Lokalisierungssystem integriert, die Daten geeignet fusioniert und ausgewertet werden. Das Vorgehen ist bezüglich weiterer Lokisierungstechnologien erweiterbar, wie zum Beispiel Inertialsysteme (Inertial Measurement Unit, IMU) oder optische Verfahren.

Das Projekt adressiert die Herausforderung, optimale Technologiekombinationen zu ermitteln, schnell zu entwickeln und auf den Markt zu bringen.

Dabei werden mithilfe der Konfigurationsanalysefähigkeit die erforderliche Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit und Resilienz der Lokalisierungssysteme in den unterschiedlichsten Anwendungskontexten ressourcenschonend bereitgestellt. Patentfähige Neuerungen werden vor allem in der Kombination aus Algorithmen und verbesserter Hardware erwartet, insbesondere bezüglich ihrer Resilienz gegenüber Störungen.

Mehr Informationen finden Sie unter:
www.leistungszentrum-nachhaltigkeit.de/demoprojekte/merlin



Projektüberblick multimodales Lokalisierungssystem: Das Beispiel-system dient der Überwachung und Prozessunterstützung in der industriellen Intralogistik und Produktion. Das Projekt entwickelt zudem eine validierte Performanzvorhersage unter Berücksichtigung von Störungen in Einsatzszenarien für eine ressourcenschonende Optimierung und schnelle Umsetzung bei Kunden.



Dr. Ivo Häring

ivo.haering@emi.fraunhofer.de

ERFASST

ZUSTANDSERFASSUNG VON BRÜCKEN

Ingenieurbauwerke wie Brücken und Tunnel sind wichtige, aber auch neuralgische Verkehrselemente, deren Ausfall für die Gesellschaft schwerwiegende Folgen haben kann.

Brücken werden durch die Erhöhung des Schwerlastverkehrs erheblich belastet, ihr Ausfall hat enorme Konsequenzen für die Funktionsfähigkeit der Transportnetze. Die Zustandserfassung dieser Brücken stellt derzeit eine große Herausforderung dar, da sie auf vielen kleinteiligen, nicht automatisierten Bewertungsabläufen beruht. Hier setzt das Projekt ErfASst an.

Ziel des Projekts ist die Entwicklung eines teilautomatisierten Zustandsbewertungssystems für die Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit von Brücken. Der Fokus des Projekts liegt auf der

Bewertung von Schädigungen am Beispiel der Betonrisse bei Brückenbauwerken. Hierzu werden neue Verfahren entwickelt, die es ermöglichen, die Risse schnell und zuverlässig zu erfassen und ihre Auswirkungen zu bewerten. Die so gewonnenen Schädigungsdaten werden mithilfe eines zu entwickelnden Algorithmus in Festigkeitsparameter überführt, wie sie zur Nachrechnung der Standsicherheit der Brücke erforderlich sind. Umgesetzt werden die entwickelten Methoden in einem Softwaredemonstrator, der die gewonnenen Ergebnisse in einem Building-Information-Modeling-(BIM)-System visualisiert.

Mehr Informationen finden Sie unter:
www.leistungszentrum-nachhaltigkeit.de/demoprojekte/erfasst



Projektpartner:

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

*Albert-Ludwigs-Universität Freiburg,
Professur für Monitoring von
Großstrukturen*



Alexander Stolz

alexander.stolz@emi.fraunhofer.de

Ein neues Zustandsbewertungssystem soll in Zukunft Auskunft über die Standsicherheit von Brücken geben.

© MEV-Verlag

NACHHALTIGE TECHNOLOGIE STUDIERN

Am Institut für Nachhaltige Technische Systeme (INATECH) der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg gibt es jetzt einen neuen, deutschsprachigen Bachelorstudiengang zur ingenieurwissenschaftlichen Nachhaltigkeitsforschung. Die Studierenden lernen darin sowohl Grundlagen der Werkstoff-, Verfahrens- und Energietechnik als auch den Blick für das große Ganze. Denn Nachhaltigkeit ist eine Systemfrage.

Und deshalb erfordert Nachhaltigkeit auch Resilienz. Ohne Widerstands- und Anpassungsfähigkeit können wir die Herausforderungen der Zukunft nicht meistern. Das Fraunhofer EMI wird aus diesem Grund am INATECH eine Professur

für Resilienz Technischer Systeme finanzieren. Die neue Professur ermöglicht es dem INATECH, auch in diesem Bereich sein Profil und gemeinsam mit dem Fraunhofer EMI den Resilienzforschungsstandort Freiburg weiter zu stärken.

Mit der neuen Professur, dem Bachelorstudiengang und dem sehr erfolgreichen Masterstudiengang hat sich das INATECH mittlerweile etabliert. Es bildet nach wie vor den ingenieurwissenschaftlichen Kern des Leistungszentrums Nachhaltigkeit Freiburg und steht mit diesem exemplarisch für die außergewöhnliche Qualität der Kooperation zwischen Fraunhofer und Universität an einem starken Standort.



*Der Campus der Technischen Fakultät der
Albert-Ludwigs-Universität Freiburg.
© Jürgen Gockel/Universität Freiburg*



Benjamin Scharte

benjamin.scharte@emi.fraunhofer.de

VERWALTUNG –
INSTITUT IN ZAHLEN

ZAHLEN & FAKTEN



VERWALTUNG – INSTITUT IN ZAHLEN

Ein inhaltlich sehr intensives Jahr der internen Strukturierung liegt hinter uns. Diesen Weg werden wir mit weiteren Prozessoptimierungen fortsetzen. Vor allem die geplante Fraunhofer-weite Implementierung von SAP ist dabei eine Herausforderung. Gleichzeitig stehen wir vor der Aufgabe, das Schlagwort »New Work@Fraunhofer« mit Leben zu füllen und unsere Arbeitswelt am Institut weiterzuentwickeln. Nur so werden wir unsere Arbeitgeberattraktivität sichern, aber auch unsere Leistungsfähigkeit in immer komplexeren und institutsübergreifenden Projekten steigern können. Die Einführung von SAP im Zuge des Agenda-Projekts Fraunhofer-Digital gewinnt an Fahrt, und es wird immer deutlicher, dass sich bei Fraunhofer ein übergreifender Prozess- und Strukturwandel vollziehen wird. Um dies erfolgreich am Institut umsetzen zu können, wird ein Schulterschluss mit dem Konzept »New Work« und zielgerichteten Personalentwicklungsmaßnahmen notwendig sein.



Petra Groß

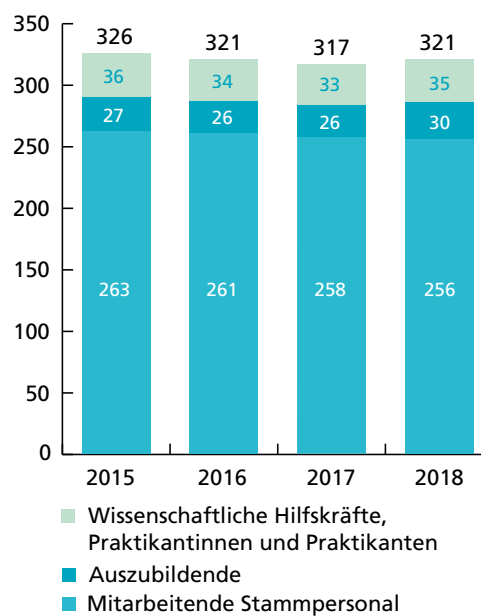
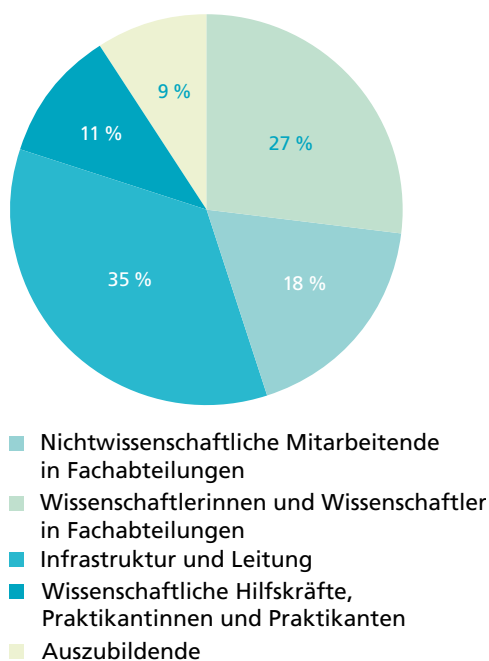
Verwaltungsleiterin

petra.gross@emi.fraunhofer.de

PERSONAL

Ende 2018 waren am Fraunhofer EMI insgesamt 321 Personen beschäftigt: 256 Mitarbeitende als Stammpersonal, 30 Auszubildende und DHBW-Studierende und 35 wissenschaftliche Hilfskräfte, Praktikantinnen und Praktikanten. Vom Stammpersonal waren 169 Mitarbeitende direkt in der Forschung und 87 Mitarbeitende im Bereich Leitung und Infrastruktur tätig. Der Anteil der weiblichen Beschäftigten des Stammpersonals stieg auf 26 Prozent.

Von den insgesamt 30 Auszubildenden waren zehn im Bereich Feinwerkmechanik, sieben im Bereich Elektronik und drei im Bereich Mediengestaltung tätig. Zehn Mitarbeitende wurden zum Zweck ihrer Berufsausbildung oder im Rahmen ihres Studiums an der Dualen Hochschule Baden-Württemberg am Fraunhofer EMI beschäftigt.

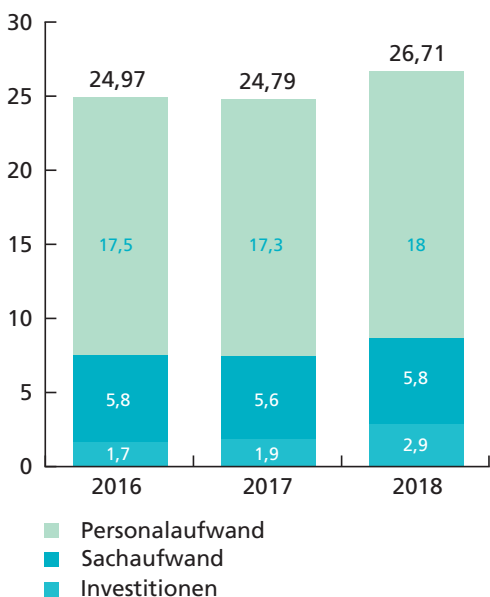


FINANZEN

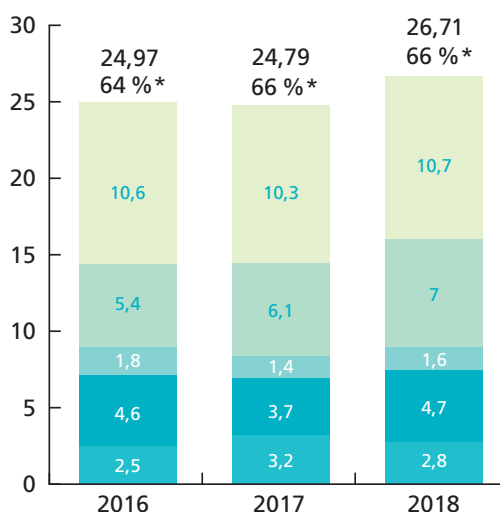
Der Gesamthaushalt des Fraunhofer EMI ist im Vergleich zum vergangenen Jahr auf 26,71 Millionen Euro gestiegen. Davon entfallen 23,8 Millionen Euro auf den Betriebshaushalt (Personal- und Sachaufwendungen) und 2,9 Millionen Euro auf laufende Investitionen. Der Haushalt wird finanziert durch externe Erträge 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)). Der größte Teil des Betriebs- und des Investitionshaushalts wurde auch 2018 vom BMVg mit einem Anteil von 66 Prozent finanziert. Der Industrieertragsteil erreichte in diesem Jahr ein sehr gutes Ergebnis von insgesamt 37,4 Prozent.

Finanzierung Gesamthaushalt in Millionen Euro



Finanzierung Gesamthaushalt in Millionen Euro



*BMVg-Anteil (inklusive nachgeordneter Einrichtungen)

- BMVg-Grundfinanzierung
- BMVg-Projektfinanzierung (inklusive nachgeordneter Einrichtungen)
- Zivile Grundfinanzierung
- BMBF, EU, sonstige
- Industrie

EMI-MOSAİK

PROF. DR. KLAUS THOMA

MIT SICHERHEIT DYNAMISCH – EIN LEBEN LANG

Am 9. Juni 2018 hat uns die traurige Nachricht vom plötzlichen und viel zu frühen Tod unseres ehemaligen Institutsleiters Prof. Dr. Klaus Thoma erreicht. Er hat am Fraunhofer-Institut für Kurzzzeitdynamik, Ernst-Mach-Institut, EMI Werte und Überzeugungen vorgelebt, die wir in seinem Gedenken weitertragen.

Als visionärer Wissenschaftler hat er Zukunftsthemen frühzeitig erkannt und ihre Verwirklichung leidenschaftlich verfolgt. Diplomatisch und sachlich hat er mit und für das Fraunhofer EMI komplexe Herausforderungen gemeistert. Seine kritische und unnachgiebige Grundhaltung ermöglichte es Klaus Thoma, auch bei unangenehmen Fragestellungen eine objektive, für alle nachvollziehbare Entscheidung herbeizuführen.

Professor Thoma stand für Fairness, Offenheit, Geradlinigkeit und absolute Verbindlichkeit. Zu Beginn seines Wirkens am EMI bewahrte er das Institut vor der Schließung. In den fast zwanzig Jahren seines Wirkens hat er das EMI zu einem vollwertigen Fraunhofer-Institut gemacht. Den ständigen Spagat zwischen Forschung, Erfindergeist und Unternehmertum hat Klaus Thoma am EMI eingeführt und vorgelebt. In bester Nachahmung unseres Vorbilds und Namenspatrons Joseph von Fraunhofer.

Zum Ende des Kalten Kriegs hat er die Zeichen der Zeit richtig gelesen und für das EMI neue Forschungsfelder erschlossen. Nach den Terroranschlägen von New York, Madrid und London war er es, der als Mitbegründer

die deutsche und europäische Sicherheitsforschung aufgebaut und bis zu seinem Tod maßgeblich geprägt hat. Für die Fraunhofer-Gesellschaft und für Deutschland war er das Gesicht der Sicherheits- und Verteidigungsforschung.

Auch nach Beendigung seiner Zeit als Institutsleiter stellte sich Klaus Thoma weiterhin mit Rat und Tat in den Dienst seines Instituts. Er hat Abteilungen und Geschäftsfelder in strategischen Fragen beraten und mit ihnen forschungspolitisch relevante Handlungsfelder diskutiert. Daneben wirkte er in der Rolle eines Senior Advisors des Präsidenten der Fraunhofer-Gesellschaft an der Ausgestaltung eines umfassenden europäischen Verteidigungsforschungsprogramms mit. Ähnlich dem Entstehungsprozess der europäischen Sicherheitsforschung entwarf Klaus Thoma dazu strategische Leitlinien im Kontext des ersten Europäischen Verteidigungsfonds (EDF). Bei den relevanten europäischen Institutionen wie im Europäischen Parlament war er dafür ein gefragter Experte.

Wir, seine Kolleginnen und Kollegen und seine Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, sind zutiefst dankbar für die vielen wertvollen Jahre mit Klaus Thoma, für seine Weitsicht, seinen Rat, seinen strategischen Instinkt und seine scheinbar unerschöpfliche Kraft, große Themen mutig und entschlossen voranzubringen.

Wir werden Klaus Thoma ein würdiges, ehrenvolles Andenken bewahren.



*Professor Klaus Thoma war von 1996
bis zu seinem Ruhestand Institutsleiter
des Fraunhofer EMI.*

GRRN

GLOBAL RESILIENCE RESEARCH NETWORK: EXPERTENNETZWERK AUS ALLER WELT TAGTE IN FREIBURG

Freiburg hat sich als internationales Kompetenzzentrum der Resilienzfor- schung etabliert. Das bewies eindrucks- voll der 2nd GRRN Summit 2019, der am 10. und 11. April 2019 in Freiburg- Merzhausen stattfand. Es trafen sich führende Experten und Anwender aus aller Welt, tauschten sich über ihre Erfah- rungen aus und präsentierten innovative Lösungen für mehr Resilienz im täglichen Leben. Der 2nd GRRN Summit 2019 brachte Experten der Resilienzforschung von 26 Universitäten und Forschungs- institutionen aus über 14 Ländern Asiens, Europas und den USA zusammen.

Fruchtbare Diskussionen ergaben sich ins- besondere dadurch, dass auf dem Summit nicht nur theoretisch über Sicherheit und

Resilienz debattiert wurde, sondern weil es um die praktischen Anwendungen der Forschung ging. So waren auch Anwen- der, etwa die Betreiber der Berliner Was- serwerke, Architekten, Städteplaner und Geoinformatiker in Freiburg. Sie diskutier- ten mit Vertretern aus den besonders von Naturkatastrophen betroffenen Regionen, wie den USA, der Karibik und Asien, über deren Erfahrungen und über Verbesse- rungsvorschläge für die Zukunft.

Nicht ohne Stolz kann das Fraunhofer EMI als Veranstalter des 2nd GRRN Summits 2019 auf zwei diskussionsreiche und interessante Konferenztage zurückblicken, in denen bei allen Beteiligten die Aussicht auf eine resilientere Zukunft um ein gutes Stück gewachsen ist.



Fruchtbare Diskussionen entstanden beim 2nd GRRN Summit, weil nicht nur theoretisch über Sicherheit und Resilienz diskutiert wurde, sondern weil es insbesondere um die praktischen Anwendungen der Forschung ging.



GIRLS' DAY AM FRAUNHOFER EMI

GIRLS' DAY 2019 – DAS EMI ÖFFNET SEINE TÜREN FÜR TECHNIKINTERESSIERTE SCHÜLERINNEN

Der Girls' Day am 28. März 2019 am Fraunhofer EMI war für die acht Teilnehmerinnen ein beeindruckendes Erlebnis und für das Institut ein Erfolg: Einige der Mädchen sagten direkt im Anschluss, dass sie sich vorstellen können, einmal in einem der Berufe, die Sie kennengelernt hatten, zu arbeiten.

Beim Girls' Day geht es vor allem darum, Mädchen zu zeigen, dass scheinbar typische Männerberufe auch für Frauen attraktiv sind und dass Mathematik, Informatik, Physik und Technik in der Anwendung Spaß machen! Der bundesweit jährlich durchgeführte Mädchen-Zukunftstag ist ein wichtiger Termin, um mehr Frauen für Forschung und Technologie zu begeistern.

Es gab wieder ein buntes Programm mit Vorträgen zu Informatik, Bauingenieurwesen, DH-Studium und zur Forschung im Weltraum. Die Mädchen lernten die Feinmechanische Werkstatt kennen und durften die Space Gun des Fraunhofer EMI erkunden. Der Bau einer elektronischen Sanduhr, den die Kolleginnen und Kollegen aus dem Elektronik-Labor angeleitet haben, war für die meisten die erste Begegnung mit einem Lötkolben und einer Platine. Entsprechend stolz waren sie, ihr selbst gebautes Gerät am Ende mit nach Hause nehmen zu können.



Birgit Bindnagel

birgit.bindnagel@emi.fraunhofer.de





Ulrike Clausen (oben) begleitet den Girls' Day schon seit einigen Jahren und bringt bereits in der Planung bis zur Durchführung ihre wertvolle Erfahrung mit ein.



Klaus Hoschke (am Bildschirm) zusammen mit Martin Jäcklein (Mitte) und den Chemielehrerinnen und -lehrern im 3D-Drucklabor Metall und Strukturwerkstoffe.

© ChemieBW/Eppler

BESUCH VON CHEMIELEHRERINNEN UND -LEHRERN AM EMI

Eine Abordnung des Lehrerkongresses der chemischen Industrie Baden-Württemberg ließ sich am 27. November 2018 von Klaus Hoschke und Martin Jäcklein durch das 3D-Drucklabor Metall und Strukturwerkstoffe führen. Besonders interessiert waren die Lehrenden am Stand der Technik zu Bionik, Sensorintegration und Materialkombination.

24. OKTOBER UND 28. NOVEMBER 2018: ERFOLGREICHE TEILNAHME DES EMI AN RECRUITING-TAGEN

Auf große Resonanz stieß die Abteilung Systemlösungen bei den Recruiting-Tagen der Hochschule Offenburg und der Universität Stuttgart. Viele Studierende informierten sich am Fraunhofer-Stand über die Karrieremöglichkeiten am Institut und ließen nicht lange mit den Bewerbungen auf sich warten – bereits im Frühjahr 2019 konnte das EMI drei neue Mitarbeitende begrüßen.



Maren Kodet hat die Fragen der Interessierten am EMI-Stand auf dem Recruiting-Tag in Stuttgart beantwortet.

© Fachschaft Luft- und Raumfahrttechnik Uni Stuttgart (FLURUS)

DER EMI-AZUBITAG 2018 AM STANDORT KANDERN

Der diesjährige Azubitag führte die Auszubildenden des Fraunhofer EMI zu einer Besichtigung an den Standort Kanderne, wo Abteilungsleiter Axel Sättler die Forschungsthemen der Abteilung Experimentelle Ballistik vorstellte. Abgerundet wurde der Besuch durch eine Standortführung und die Teilnahme an einem Live-Sprengversuch. Beim anschließenden Imbiss gab es viel zu erzählen.



Die Auszubildenden des Fraunhofer EMI bei ihrer Führung am Standort Kanderne.



Professor Frank Schäfer bei seinem Vortrag für die angehenden Physikerinnen und Physiker.

»TATORT PHYSIK« AM EMI

Im Januar 2019 besuchte die Regionalgruppe Freiburg der jungen Deutschen Physikalischen Gesellschaft (jDPG) im Rahmen ihres Projekts »Tatort Physik« das Fraunhofer EMI. Ziel in diesem Projekt ist es, den Studierenden der Physik Einblicke in Bereiche zu geben, die ihnen nach dem Physikstudium eine berufliche Perspektive bieten können.

Die 25 Studierenden besichtigten die Labore des Geschäftsfelds Raumfahrt und bekamen auch Einblick in die Themen der anderen EMI-Geschäftsfelder.

DAS INTISTUT
IM PROFIL

ANSPRECHPERSONEN



Prof. Dr.-Ing. habil. Stefan Hiermaier

Institutsleiter

Telefon 0761 2714-101

stefan.hiermaier@emi.fraunhofer.de



Dr. Tobias Leismann

Stellvertretender Institutsleiter

Telefon 0761 2714-102

tobias.leismann@emi.fraunhofer.de



Prof. Dr. Frank Schäfer

Stellvertretender Institutsleiter | Geschäftsfeldleiter Raumfahrt

Telefon 0761 2714-421

frank.schaefer@emi.fraunhofer.de



Petra Groß

Verwaltungsleiterin

Telefon 0761 2714-115

petra.gross@emi.fraunhofer.de



Sarah Gnädinger

Referentin des Institutsleiters | Veranstaltungsorganisation

Telefon 0761 2714-100

sarah.gnaedinger@emi.fraunhofer.de



Daniel Hiller

Strategisches Management

Telefon 0761 2714-488

daniel.hiller@emi.fraunhofer.de



Dr. Matthias Wickert

Geschäftsfeldleiter Verteidigung

Telefon 0761 2714-384

matthias.wickert@emi.fraunhofer.de



Dr. Alexander Stolz

Geschäftsfeldleiter Sicherheit

Telefon 07628 9050-646

alexander.stolz@emi.fraunhofer.de



Dr. Jens Fritsch

Geschäftsfeldleiter Automotive

Telefon 0761 2714-472

jens.fritsch@emi.fraunhofer.de



Dr. Michael May

Geschäftsfeldleiter Luftfahrt

Telefon 0761 2714-337

michael.may@emi.fraunhofer.de



Birgit Bindnagel

Presse und Öffentlichkeitsarbeit

Telefon 0761 2714-366

birgit.bindnagel@emi.fraunhofer.de



*Teilnehmende der
Kuratoriumssitzung am
20. Juli 2018 in Freiburg.*

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.

Prof. Dr. rer. nat. Frank Gauterin
Leiter des Instituts für Fahrzeugsystemtechnik,
Karlsruher Institut für Technologie, KIT,
Karlsruhe

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

MinR'in Sabine ten Hagen-Knauer
Referatsleiterin 522: Sicherheitsforschung,
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 Wohnungsbau
Baden-Württemberg, Stuttgart

Prof. Dr. Gunther Neuhaus
Vizekanzler/Prorektor für Forschung,
Albert-Ludwigs-Universität Freiburg

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

Brigadegeneral Thorsten Puschmann
Abteilungsleiter Kampf, Bundesamt für
Ausrüstung, Informationstechnik und Nutzung
der Bundeswehr (BAAINBw), Koblenz

Prof. Dr. Wolf Uwe Reimold
Laboratory for Geochronology, University of
Brasilia, Institute of Geosciences, Brasilien

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

Prof. Dr.-Ing. Rodolfo Schöneburg
Director Passive Safety/Durability/Vehicle,
Daimler AG, Sindelfingen

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

MinR Dipl.-Ing. Norbert Michael Weber
Referatsleiter A II 6, Bundesministerium der
Verteidigung, Bonn

Dr. Rolf Wirtz
Vorsitzender der Geschäftsführung, ThyssenKrupp
Marine Systems GmbH, Kiel

Die Fraunhofer-Zentrale in München.



DIE FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT

Forschen für die Praxis ist die zentrale Aufgabe der Fraunhofer-Gesellschaft. Die 1949 gegründete Forschungsorganisation betreibt anwendungsorientierte Forschung zum Nutzen der Wirtschaft und zum Vorteil der Gesellschaft. Vertragspartner und Auftraggeber sind Industrie- und Dienstleistungsunternehmen sowie die öffentliche Hand.

Die Fraunhofer-Gesellschaft betreibt in Deutschland derzeit 72 Institute und Forschungseinrichtungen. Mehr als 26 600 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, überwiegend mit natur- oder ingenieurwissenschaftlicher Ausbildung, erarbeiten das jährliche Forschungsvolumen von 2,6 Milliarden Euro. Davon fallen 2,2 Milliarden Euro auf den Leistungsbereich Vertragsforschung. Rund 70 Prozent dieses Leistungsbereichs erwirtschaftet die Fraunhofer-Gesellschaft mit Aufträgen aus der Industrie und mit öffentlich finanzierten Forschungsprojekten. Rund 30 Prozent werden von Bund und Ländern als Grundfinanzierung beigesteuert, damit die Institute Problemlösungen entwickeln können, die erst in fünf oder zehn Jahren für Wirtschaft und Gesellschaft aktuell werden.

Internationale Kooperationen mit exzellenten Forschungspartnern und innovativen Unternehmen weltweit sorgen für einen direkten Zugang zu den wichtigsten gegenwärtigen und zukünftigen Wissenschafts- und Wirtschaftsräumen.

Mit ihrer klaren Ausrichtung auf die angewandte Forschung und ihrer Fokussierung auf zukunftsrelevante Schlüsseltechnologien spielt die Fraunhofer-Gesellschaft eine zentrale Rolle im Innovationsprozess Deutschlands und Europas. Die Wirkung der angewandten Forschung geht über den direkten Nutzen für die Kunden hinaus: Mit ihrer Forschungs- und Entwicklungsarbeit tragen die Fraunhofer-Institute zur Wettbewerbsfähigkeit der Region, Deutschlands und Europas bei. Sie fördern Innovationen, stärken die technologische Leistungsfähigkeit, verbessern die Akzeptanz moderner Technik und sorgen für Aus- und Weiterbildung des dringend benötigten wissenschaftlich-technischen Nachwuchses.

Ihren Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern bietet die Fraunhofer-Gesellschaft die Möglichkeit zur fachlichen und persönlichen Entwicklung für anspruchsvolle Positionen in ihren Instituten, an Hochschulen, in Wirtschaft und Gesellschaft. Studierenden eröffnen sich aufgrund der praxisnahen Ausbildung und Erfahrung an Fraunhofer-Instituten 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
2018/2019

PUBLIKATIONEN

Veröffentlichungen in Monografien, Fachzeitschriften und Proceedings mit Peer Review

Angelo, M. de; Spagnuolo, M.; D'Annibale, F.; Pfaff, A.; Hoschke, K.; Misra, A. et al. (2019): The macroscopic behavior of pantographic sheets depends mainly on their microstructure: experimental evidence and qualitative analysis of damage in metallic specimens. In: *Continuum Mechanics and Thermodynamics* 24 (1), S. 1–23. DOI: 10.1007/s00161-019-00757-3.

Behner, T.; Heine, A. (2019): Influence of lateral dimensions, obliquity, and target thickness toward the efficiency of unconfined ceramic tiles for the defeat of rod penetrators. In: *International Journal of Impact Engineering* 123, S. 77–83. DOI: 10.1016/j.ijimpeng.2018.07.006.

dell'Isola, F.; Seppecher, P.; Alibert, J. J.; Lekszycki, T.; Grygoruk, R.; Pawlikowski, M. et al. (2018): Pantographic metamaterials: an example of mathematically driven design and of its technological challenges. In: *Continuum Mechanics and Thermodynamics* 67 (6), S. 1–34. DOI: 10.1007/s00161-018-0689-8.

Durr, N.; Sauer, M.; Hiermaier, S. (2018): Mesoscale investigation of dynamic fracture in quartzite and sandstone and homogenization to macroscale. In: *International Journal of Solids and Structures* 144–145, S. 160–179. DOI: 10.1016/j.ijsolstr.2018.04.024.

Fischer, K.; Hiermaier, S.; Riedel, W.; Häring, I. (2018): Morphology dependent assessment of resilience for urban areas. In: *Sustainability* 10 (6), Art. No. 1800. DOI: 10.3390/su10061800.

Fischer, K.; Stolz, A.; Roller, C. (2019): Experimental and analytical investigation of point fixed corrugated metal sheets subjected to blast loading. In: *Engineering Transactions* 67 (1), S. 133–142. DOI: 10.24423/Eng-Trans.944.20190214.

Fritz, J.; Assis F. V.; Greshake, A.; Holzwarth, A.; Böttger, U. (2019): On the formation of diaplectic glass: Shock and thermal experiments with plagioclase of different chemical compositions. In: *Meteoritics & Planetary Science* 8 (01), S. 230. DOI: 10.1111/maps.13289.

Ganzenmüller, G.; Langhof, T.; Hiermaier, S. (2018): A constant acoustic impedance mount for sheet-type specimens in the tensile Split-Hopkinson Bar. In: E. Buzaud, A. Cosculluela, H. Couque und E. Cadoni (Hg.): *DYMAT 2018 – 12th International Conference on the Mechanical and Physical Behaviour of Materials under Dynamic Loading*. Proceedings, Bd. 183. Arcachon, France, 9.–14.9.2018: edp Sciences, Art. No. 2064. Online verfügbar unter https://www.epj-conferences.org/articles/epjconf/abs/2018/18/epjconf_dymat2018_02064/epjconf_dymat2018_02064.html.

Ganzosch, G.; Hoschke, K.; Lekszycki, T.; Giorgio, I.; Turco, E.; Müller, W. (2018): 3D-measurements of 3D-deformations of pantographic structures. In: *Technische Mechanik* 38 (3), S. 233–245. DOI: 10.24352/UB.OVGU-2018-031.

Gelhausen, P.; Häring, I. (2018): Technical safety and reliability methods for resilience engineering. In: S. Haugen, A. Barros, C. van Gulijk, T. Kongsvik und J. E. Vinnem (Hg.): *Safety and Reliability – Safe Societies in a Changing World – Proceedings of ESREL 2018*. 28th International European Safety and Reliability Conference, ESREL 2018. Trondheim, Norway, 17.–21.6.2018: Taylor & Francis, S. 1253–1260.

Grunwald, C.; Khalil, A. A.; Schaufelberger, B.; Ricciardi, E. M.; Pellecchia, C.; Iulius, E. de; Riedel, W. (2018): Reliability of collapse simulation – Comparing finite and applied element method at different levels. In: *Engineering Structures* 176, S. 265–278. DOI: 10.1016/j.engstruct.2018.08.068.

Hamann, C.; Bläsing, S.; Hecht, L.; Schäffer, S.; Deutsch, A.; Osterholz, J.; Lexow, B. (2018): The reaction of carbonates in contact with laser-generated, superheated silicate melts: Constraining impact metamorphism of carbonate-bearing target rocks. In: *Meteoritics & Planetary Science* 53 (8), S. 1644–1686. DOI: 10.1111/maps.13133.

Harder, J.; Finger, J.; Anastassiadou, K.; Fischer, K.; Stolz, A. (2018): Safety and availability of road infrastructure during extreme natural and man-made events. In: *Proceedings of the 7th Transport Research Arena TRA 2018*. Wien, Österreich, 16.–19.4.2018.

Häring, I.; Ramin, M. von; Stottmeister, A.; Schäfer, J.; Vogelbacher, G.; Brombacher, B. et al. (2018): Validated 3D spatial stepwise quantitative hazard, risk and resilience analysis and management of explosive events in urban areas. In: *European Journal for Security Research* 71 (1), S. 1–37. DOI: 10.1007/s41125-018-0035-y.

Hiermaier, S.; Scharte, B.; Fischer, K. (2019): Resilience Engineering: Chances and challenges for a comprehensive concept. In: M. Ruth und S. Goessling-Reisemann (Hg.): *Handbook on Resilience of Socio-Technical Systems*. Cheltenham, UK, Northampton, MA: Edward Elgar Publishing, S. 155–166.

Hohe, J.; Paul, H.; Beckmann, C. (2018): A probabilistic elasticity model for long fiber reinforced thermoplastics with uncertain microstructure. In: *Mechanics of Materials* 122, S. 118–132. DOI: 10.1016/j.mechmat.2018.04.007.

Hoschke, K.; Pfaff, A.; Fleig, L.; Bierdel, M.; Jäcklein, M.; Riedel, W. et al. (2018): A parametric mesostructural approach for robust design of additive manufacturing parts. In: *Proceedings of the Fraunhofer Direct Digital Manufacturing Conference (DDMC)*. Berlin, 14.–15.3.2018, S. 1–6.

Isakov, M.; Lange, J.; Kilchert, S.; May, M. (2019): In-situ damage evaluation of pure ice under high rate compressive loading. In: *Materials* 12 (8), Article No. 1236. DOI: 10.3390/ma12081236.

Isakov, M.; May, M.; Hahn, P.; Paul, H.; Nishi, M. (2019): Fracture toughness measurement without force data – Application to high rate DCB on CFRP. In: *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing* 119, S. 176–187. DOI: 10.1016/j.compositesa.2019.01.030.

Jäcklein, M.; Pfaff, A.; Bierdel, M.; Hoschke, K.; Wickert, M. (2018): Micro- and macrostructural investigations of AlSiMg produced by laser beam melting. In: *Proceedings of the Fraunhofer Direct Digital Manufacturing Conference (DDMC)*. Berlin, 14.–15.3.2018, S. 1–4.

Kenkmann, T.; Deutsch, A.; Thoma, K.; Ebert, M.; Poelchau, M.; Buhl, E. et al. (2018): Experimental impact cratering: A summary of the major results of the MEMIN research unit. In: *Meteoritics & Planetary Science* 53 (8), S. 1543–1568. DOI: 10.1111/maps.13048.

Klein, H.; Hesse, L.; Boljen, M.; Kampowski, T.; Butschek, I.; Speck, T.; Speck, O. (2018): Finite element modelling of complex movements during self-sealing of ring incisions in leaves of *Delosperma cooperi*. In: *Journal of Theoretical Biology* 458, S. 184–206. DOI: 10.1016/j.jtbi.2018.08.023.

Kuhl, A. L.; Reichenbach, H.; Bell, J. B.; Beckner, V. E. (2018): Explosion-induced ignition and combustion of acetylene clouds. In: *Shock Waves* 28 (5), S. 1031–1037. DOI: 10.1007/s00193-018-0843-z.

Lässig, T.; May, M.; Heisserer, U.; Riedel, W.; Bagusat, F.; van der Werff, H.; Hiermaier, S. (2018): Effect of consolidation pressure on the impact behavior of UHMWPE composites. In: *Composites Part B: Engineering* 147, S. 47–55. DOI: 10.1016/j.compositesb.2018.04.030.

Ledford, N.; Paul, H.; Isakov, M.; Hiermaier, S. (2018): High rate loading of hybrid joints in a Split Hopkinson Tension Bar. In: E. Buzaud, A. Cosculluela, H. Couque und E. Cadoni (Hg.): *DYMAT 2018 – 12th International Conference on the Mechanical and Physical Behaviour of Materials under Dynamic Loading*. Proceedings, Bd. 183. Arcachon, France, 9.–14.9.2018: edp Sciences, Art. No. 02023.

Leroch, S.; Eder, S. J.; Ganzenmüller, G.; Murillo, L. J. S.; Rodriguez Ripoll, M. (2018): Development and validation of a meshless 3D material point method for simulating the micro-milling process. In: *Journal of Materials Processing Technology* 262, S. 449–458. DOI: 10.1016/j.jmatprotec.2018.07.013.

Moser, S.; Nau, S.; Heusinger, V.; Fiederle, M. (2019): Investigation of fragment reconstruction accuracy with in-situ few-view flash X-ray high-speed computed tomography (HSCT). In: *Measurement Science and Technology*. DOI: 10.1088/1361-6501/ab11bb.

Moser, S.; Wickert, M.; Nau, S. (2019): High-speed X-ray imaging and 3D analysis of impact-formed fragments. In: *Proceedings of SPIE*. 32nd International Congress on High-Speed Imaging and Photonics. Enschede, The Netherlands, 8.–12.10.2018, Art. No. 1105100.

Paul, H.; Ledford, N.; Sauer, M.; Okamura, M. (2018): Assessment of test methods for thick and thin layer adhesive joints under high rates of loading. In: *International Journal of Adhesion and Adhesives* 83, S. 123–129. DOI: 10.1016/j.ijadhadh.2018.02.025.

- Pfaff, A.; Jäcklein, M.; Hoschke, K.; Wickert, M. (2018): Designed Materials by Additive Manufacturing—Impact of Exposure Strategies and Parameters on Material Characteristics of AlSi10Mg Processed by Laser Beam Melting. In: *Metals* 8 (7), Art. No. 491. DOI: 10.3390/met8070491.
- Pfaff, A.; Jäcklein, M.; Hoschke, K.; Wickert, M. (2018): LBM process parameter optimization for designed materials. In: *Proceedings of the Fraunhofer Direct Digital Manufacturing Conference (DDMC)*. Berlin, 14.–15.3.2018, S. 1–6.
- Roller, C.; Stolz, A. (2018): Attenuation of blast effects from underwater explosions in built structures. In: *WIT Transactions on the Built Environment*. 15th International Conference on Structures under Shock and Impact, SUSI 2018. Sevilla, 4.–6.6.2018, S. 29–36.
- Rost, L.; Gies, S.; Stein, M.; Fuchs, C.; Nau, S.; Kükelhan, P. et al. (2019): Correlation of optical properties and interface morphology in type-II semiconductor heterostructures. In: *Journal of Physics: Condensed Matter* 31 (1), Art. No. 014001. DOI: 10.1088/1361-648X/aeee93.
- Sandoval Murillo, J. L.; Osen, R.; Hiermaier, S.; Ganzenmüller, G. (2019): Towards understanding the mechanism of fibrous texture formation during high-moisture extrusion of meat substitutes. In: *Journal of Food Engineering* 242, S. 8–20. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2018.08.009.
- Sauer, C.; Bagusat, F.; Heine, A.; Riedel, W. (2018): Plate impact shock experiments and numerical modeling of lightweight adobe masonry material. In: *EPJ Web of Conferences* 183, Art. No. 01017. DOI: 10.1051/epjconf/201818301017.
- Sauer, C.; Bagusat, F.; Heine, A.; Riedel, W. (2018): Shock response of lightweight adobe masonry. In: *Journal of Dynamic Behavior of Materials* 4 (2), S. 231–243. DOI: 10.1007/s40870-018-0151-9.
- Sauer, C.; Heine, A.; Riedel, W. (2019): Comprehensive study of projectile impact on lightweight adobe masonry. In: *International Journal of Impact Engineering* 125, S. 56–62. DOI: 10.1016/j.ijimpeng.2018.10.010.
- Scheerer, U.; Trube, N.; Netzer, F.; Rennenberg, H.; Herschbach, C. (2019): ATP as phosphorus and nitrogen source for nutrient uptake by *Fagus sylvatica* and *Populus x canescens* roots. In: *Frontiers in Plant Science* 10, Article No. 378. DOI: 10.3389/fpls.2019.00378.
- Schimmerohn, M.; Watson, E.; Gulde, M.; Kortmann, L.; Schäfer, F. (2019): Measuring ejecta characteristics and momentum transfer in experimental simulation of kinetic impact. In: *Acta Astronautica* 156, S. 297–300. DOI: 10.1016/j.actaastro.2018.01.046.
- Schmitt, D.; Kühn, T.; Millon, O.; Stolz, A.; Nau, S.; Curbach, M.; Thoma, K. (2018): Strukturdynamisches Verhalten von Stahlbetonplatten unter Impakt-einwirkung bei variablen Geschwindigkeiten. In: *Beton- und Stahlbetonbau* 240 (8), Art. No. 2633. DOI: 10.1002/best.201800085.
- Schweitzer, C.; Gulde, M.; Horch, C.; Scherer-Negenborn, N.; Stein, K.; Wendelstein, N. (2018): Nanosat-based detection and tracking of launch vehicles. In: *Proceedings of SPIE – The International Society for Optical Engineering*. Target and Background Signatures IV. Berlin, 10.–11.9.2018, Art. No. 107940L.
- Seifert, W.; Straßburger, E.; Dolak, M.; Schaare, S. (2018): Experimental study on the dependency of the ballistic performance of tiled ceramic/metal targets on inter tile gap width and projectile impact position. In: *International Journal of Impact Engineering* 122, S. 50–59. DOI: 10.1016/j.ijimpeng.2018.08.006.
- Soot, T.; Dlugosch, M.; Fritsch, J.; Lukaszewicz, D. (2018): Mechanisms of energy absorption in hybrid material systems consisting of sheet metal and advanced composites under bending load. In: A. Waas (Hg.): *Proceedings of the American Society for Composites—Thirty-Third Technical Conference on Composite Materials*. Lancaster, PA, USA: DEStech Publications.
- Steinhauser, M. O. (2018): *Multiscale Modeling and Simulation of Shock Wave-Induced Failure in Materials Science*. Habilitationsschrift. Wiesbaden: Springer Spektrum.
- Vazquez Fernandez, N. I.; Isakov, M.; Hokka, M.; Kuokkala, V.-T. (2018): Strain rate jump tests on an austenitic stainless steel with a modified tensile Hopkinson Split Bar. In: E. Buzaud, A. Cosculluela, H. Couque und E. Cadoni (Hg.): *DYMAT 2018 – 12th International Conference on the Mechanical and Physical Behaviour of Materials under Dynamic Loading*. Proceedings, Bd. 183. Arcachon, France, 9.–14.9.2018: edp Sciences, Art. No. 02026.
- Wagner, P.; Schwarzhaupt, O.; May, M. (2018): In-situ X-ray computed tomography of composites subjected to fatigue loading. In: *Materials Letters* 236, S. 128–130. DOI: 10.1016/j.matlet.2018.10.078.
- Watson, E.; Gulde, M.; Kortmann, L.; Higashide, M.; Schäfer, F.; Hiermaier, S. (2019): Optical fragment tracking in hypervelocity impact experiments. In: *Acta Astronautica* 155, S. 111–117. DOI: 10.1016/j.actaastro.2018.11.036.
- Watson, E.; Maas, H.-G.; Schäfer, F.; Hiermaier, S. (2018): Trajectory based 3D fragment tracking in hypervelocity impact experiments. In: *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Services*, Vol. XLII-2. ISPRS TC II Mid-term Symposium »Towards Photogrammetry 2020«. Riva del Garda, Italy, 4.–7.06.2018, S. 1175–1181.

Veröffentlichungen in Monografien, Fachzeitschriften und Proceedings ohne Peer Review

- Assmann, M.-A.; Hanz, C.; Roth, M. (2018): Programmatische Auswahl von Sofortmaßnahmen für die Einsatzdisposition bei Großschadensereignissen. In: *BMBF-Innovationsforum »Zivile Sicherheit« 2018*. Zivile Sicherheit: analog und digital. Berlin, 19.–20.6.2018.
- Bierdel, M.; Hoschke, K.; Pfaff, A.; Schimmerohn, M.; Schäfer, F. (2018): Towards flight qualification of an additively manufactured nanosatellite component. In: *Proceedings of the 69th International Astronautical Congress*. Bremen, 1.–5.10.2018.
- Boljen, M.; Rack, N.; Kölbl, F.; Rodinger, S.; Harwick, W. (2018): Characterization and modeling of airbag fabrics subjected to asymmetric biaxial loading and elevated temperatures. In: *Fraunhofer ICT (Hg.): Proceedings of the 14th International Symposium and Accompanying Exhibition on Sophisticated Car Occupant Safety*. Mannheim, 26.–28.11.2018.
- Gulde, M.; Montemayor Mancías, J.; Genova, C. de; Schimmerohn, M.; Schäfer, F. (2018): Reliable, fast, and flexible: A thermal modeling approach for small satellites. In: *Proceedings of the 32nd Small Satellite Conference*. Logan, Utah, USA, 4.–9.8.2018.
- Gulde, M.; Montemayor Mancías, J.; Schimmerohn, M.; Schäfer, F. (2018): Fast view factor determination for thermal modelling. In: *ESA/ESTEC (Hg.): Proceedings of the European Space Thermal Engineering Workshop*. Noordwijk, The Netherlands, 29.–31.10.2018, S. 297–312.
- Heine, A.; Sauer, C.; Riedel, W. (2018): Predictive simulation of the response of adobe masonry during impact and explosion loads. In: *Proceedings of the 5th International Conference on Protective Structures (ICPS5 2018)*. Poznan, Poland, 19.–23.8.2018, S. 433–439.
- Hofmann, M.; Wagenmann, D.; Teßmann, C.; Jäcklein, M.; Saint-Cast, P.; Eberlein, D. et al. (2018): Development of 4 nm-thin PECVD aluminium oxide using plasma analysis and its application to PERC solar cells and modules. In: *Proceedings of the 35th European PV Solar Energy Conference and Exhibition*. Brüssel, 24.–28.9.2018, S. 385–389.
- Kang, K. W.; Teo, S.; Lim, J. Y.; Riedel, W.; Seah, C. C. (2018): Penetration protection concepts using high strength concrete. In: *Proceedings of 24th MABS – Military Aspects of Blast and Shock*. Den Haag, The Netherlands, 23.–28.9.2018.
- May, M.; Haase, T.; Léost, Y.; Wegmann, M.; Blacha, M. (2019): Bird strike analyses on RACER fast rotocraft. In: *AIAA Scitech 2019 Forum*. San Diego, CA, USA, 7.–11.1.2019.
- Montemayor Mancías, J.; Gulde, M.; Schimmerohn, M.; Schäfer, F. (2018): A fast and versatile thermal modeling approach for small satellites. In: *67. Deutscher Luft- und Raumfahrtkongress (DLRK) – Proceedings*. Friedrichshafen, 4.–6.9.2018.
- Putzar, R.; Gulde, M.; Sabath, D.; Fiedler, H.; Drolshagen, G.; Braukhane, A. et al. (2018): Measuring impact craters on the ISS Columbus Module. In: *Proceedings of the 69th International Astronautical Congress*. Bremen, 1.–5.10.2018.
- Roller, C.; Grunwald, C.; Fischer, K. (2018): Prognosefähige numerische Simulationen als Nachweismethode: vom Bauteil zum Bauwerk. In: *Proceedings 8. Workshop BAU-PROTECT*. Schutz der baulichen Infrastruktur vor außergewöhnlichen Einwirkungen. Neubiberg, 13.–14.11.2018, S. 103–111.

PUBLIKATIONEN

Ruiz-Ripoll, M. L.; Kruszka, L.; Roller, C.; Stolz, A. (2018): Optimization of a Split Hopkinson Pressure Bar device in order to investigate controlled multipulse loading on granular materials. In: Proceedings of the 5th International Conference on Protective Structures (ICPS5 2018). Poznan, Poland, 19.–23.8.2018, S. 135–137.

Schimmerohn, M.; Bierdel, M.; Sholes, D.; Pfaff, A.; Pielok, M.; Hoschke, K. et al. (2018): Additive manufactured structures for the 12U nanosatellite ERNST. In: Proceedings of the 32nd Small Satellite Conference. Logan, Utah, USA, 4.–9.8.2018.

Stender, C.; Jung, M.; Du Bois, P. (2018): Numerische Simulation von offenporigen Sitzschäumen unter Berücksichtigung der Luft für die Crashberechnung im Automobilbau. In: Proceedings des 19. VDI-Kongress: SIMVEC – Simulation und Erprobung in der Fahrzeugentwicklung. VDI Fahrzeug- und Verkehrstechnik. VDI-Berichte 2333. Baden-Baden, 20.–21.11.2018, 617–644.

WISSENSCHAFTLICHER AUSTAUSCH, VORTRÄGE

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

Behrend, R.; Oberfell, M.; Nau, S.; Popko, G. (2018): Teilprojekt 1: Entwicklung eines digitalen Röntgendetektors für Hochenergieanwendungen. Fraunhofer-MAVO fastXcrash-Kickoff Meeting. EMI Freiburg und EMI Efringen-Kirchen, 16.4.2018.

Denefeld, V.; Heider, N.; Holzwarth, A. (2018): Versuchstechnologien zur Bestimmung der Fahrzeugbelastung durch vergrabene Ladungen. 22. Tagung »Schutz gegen IED und ballistische Bedrohung«. WTD 91. Meppen, 8.5.2018.

Denefeld, V.; Heider, N.; Holzwarth, A. (2018): Charakterisierung des Impulsübertrags durch die Detonation von vergrabenen IED-Ladungen. Meeting »Schutz gegen IED und ballistische Bedrohung«. Berlin, 27.11.2018.

Finger, J.; Fischer, K.; Anastasiadou, K.; Stolz, A. (2018): Resilience of road infrastructure during unforeseen disruptions. ITF Pre-Summit Research Day: Transport Safety and Security. Leipzig, 22.5.2018.

Finger, J.; Hasenstein, S.; Stolz, A.; Hiermaier, S. (2018): Conceptualization, implementation, application and evaluation of a resilience assessment tool for critical infrastructure providers. International Conference on Infrastructure Resilience 2018. ETH Zürich. Zürich, Schweiz, 14.2.2018.

Finger, J.; Schäfer, J. (2018): Freiburger Nachhaltigkeitskompass. Webanwendung zur Steuerung von Vorhaben ausgerichtet an den Freiburger Nachhaltigkeitszielen. Zukunftsforum 2030. Freiburg, 19.6.2018.

Fischer, K.: BREAS – Planning and design tool for infrastructure subjected to potential explosive loadings. 20th International Physical Security Forum (IPSF). Bad Reichenhall.

Fischer, K.; Hiermaier, S. (2018): Risikobasierte Analyse von Resilienz im urbanen Raum. 8. Workshop BAU-PROTECT – Schutz der baulichen Infrastruktur vor außergewöhnlichen Einwirkungen. Neuburg, 13.11.2018.

Fischer, K.; Klomfass, A. (2018): Bewertung komplexer Druckstoßausbreitung im urbanen Raum. 24. Workshop »Physikalische Akustik«. Deutsche Gesellschaft für Akustik. Bad Honnef, 18.10.2018.

Fischer, K.; Stolz, A.; Roller, C. (2018): Experimental and analytical investigation of point fixed corrugated metal sheets subjected to blast loading. 5th International Conference on Protective Structures. Poznan, Poland, 19.8.2018.

Haase, T.; May, M.; Léost, Y. (2018): Modellierung von Vogelschlag auf einen Hochgeschwindigkeitsschrauber mit LS-DYNA. CCev AG-Sitzung Strukturelle Integrität / Composites Fatigue. Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR). Stuttgart, 22.11.2018.

Heider, N.; Aurich, H.; Denefeld, V. (2018): Munitionssicherheit: Charakterisierung von PBX. DWT-Tagung »Angewandte Forschung für Sicherheit und Verteidigung in Deutschland«. Bonn, 20.2.2018.

Heider, N.; Aurich, H.; Sättler, A. (2018): European Detonation Code. European Defence Agency EDA Workshop. EDA. Brussels, Belgium, 30.1.2018.

Heider, N.; Denefeld, V.; Aurich, H. (2018): Risikobewertung zur Gefährdung Pipeline Nord Stream und Nord Stream 2. Projektbesprechung Nord Stream 2. BAIUDBw. Kiel, 24.1.2018.

Heine, A.; Sauer, C.; Riedel, W. (2018): Predictive simulation of the response of adobe masonry during impact and explosion loads. International Conference on Protective Structures (ICP55). Poznan, Poland, 20.8.2018.

Heusinger, V.; Moser, S.; Büttner, M.; Langkemper, R.; Nau, S. (2018): Leveraging CT methods for enhanced screening points of entry. Security & Counter Terror Expo – Airport and Border Security Conference. London, UK, 7.3.2018.

Hoschke, K. (2018): Additive design challenges for resource efficiency and robustness. Additive Manufacturing for Aerospace & Space. München, 21.2.2018.

Hoschke, K. (2018): Additive Design and Manufacturing – Funktionelle Leichtbauteile ressourceneffizient hergestellt. Kickoff-Treffen der Freiburger 3D-Druck-Allianz. Freiburg, 5.4.2018.

Hoschke, K. (2018): Additives Design – Neue Denkweisen in der Produktentwicklung für die Additive Fertigung. 22. Anwenderforum Additive Produktionstechnologien. Fraunhofer IPA. Stuttgart, 17.5.2018.

Hoschke, K. (2018): Additive design for enhanced robustness and damage tolerance of lightweight structures with AM. Additive Manufacturing in Aerospace. Bremen, 10.9.2018.

Jäcklein, M. (2018): Hybride Fertigungskonzepte im Leichtbau mit pulverbettbasierter Additiver Fertigung. Technologietag Hybrider Leichtbau. Stuttgart, 26.6.2018.

Jäcklein, M. (2018): Additive Manufacturing in the dynamic world. European Synchrotron Radiation Facility. Grenoble, 5.9.2018.

Kurfiß, M.; Bréda, C.; Léost, Y. (2018): Applications and tests methods at Fraunhofer Test Center. Instron Catapult User Meeting, 2018.

Lang, B.; Pilous, N.; Heß, S.; Nau, S. (2018): Rosenthal model and the thermal time constants of EEDs. 61th Fuze Conference. San Diego, CA, USA, 16.5.2018.

Langkemper, R.; Nelles, J.; Hofstätter, M. (2018): Roboterassistierte Detektion von USBV mittels intelligenter analytischer Sensorik und menschenzentrierte Visualisierung von komplexen Sensordaten zur Unterstützung von Entschärfen in Einsatzsituationen. 8. Internationales Symposium »Neue Technologien«. Bern, Schweiz, 7.8.2018.

Leismann, T.; Fritsch, J.; Kisters, T.; Kurfiß, M.; Moser, S.; Nau, S. (2018): New hybrid test procedures: X-ray instrumented vehicle crash and crash testing of charged batteries. HORIBA CONCEPT EUROPE 2018. Dresden, 23.3.2018.

Moser, S.; Hofstätter, M. (2018): Besseres Erkennen von USBVs durch erweiterte roboterassistierte Sensorik. BMBF-Innovationsforum »Zivile Sicherheit«. Berlin, 18.6.2018.

Moser, S.; Hofstätter, M. (2018): Roboterassistierte Detektion von USBV: Bildgebung, analytische Sensorik und menschenzentrierte Darstellung. Internationale Entschärfertagung des BKA. Magdeburg, 27.11.2018.

Moser, S.; Nau, S.; Heusinger, V.; Langkemper, R.; Büttner, M. (2018): Verfahren zum Blick in die verschlossene Hartgelatine kapsel. Pfizer Science Day, 26.4.2018.

Moser, S.; Nau, S.; Wickert, M. (2018): High-speed X-ray imaging and 3D analysis of impact-formed fragments. 32nd International Conference on High-Speed Imaging and Photonics (ICHSP-32). Twente, The Netherlands, 9.10.2018.

Nau, S.; Ebenhöch, S.; Salk, M.; Heß, S.; Glöbner, C.; Lang, B. (2019): Zünder als substanzielles Element aller Waffensysteme und jeder Munition – Bedeutung und Ausblick einer interdisziplinären Schlüsseltechnologie. DWT-Tagung »Angewandte Forschung für Sicherheit und Verteidigung in Deutschland«. Bonn, 22.2.2019.

Nau, S.; Schopferer, S.; Heß, S.; Moser, S. (2019): Ballistische Messtechnik – ein wichtiger Baustein für Wirkung und Schutz. EMI-Tag am BAAINBw, 12.4.2019.

Niklas, W.; Engelmann, F.; Osterholz, J. (2018): Softwaregestützte Analyse der Sicherheit beim Einsatz von Hochenergie-Laserwaffen. Symposium »Lasertechnologie in der Wehrtechnik«. WTD 91. Meppen, 11.12.2018.

Oberfell, M.; Heusinger, V.; Behrend, R.; Nau, S.; Popko, G. (2018): Teilprojekt 1: Entwicklung eines digitalen Röntgendetektors für Hochenergieanwendungen. Fraunhofer-MAVO fastXcrash, 1. Meilensteintreffen. EZRT. Fürth, 27.11.2018.

Pfaff, A. (2018): LBM process parameter optimization for designed materials: Approaches towards functionally designed microstructures. Fraunhofer Direct Digital Manufacturing Conference (DDMC). Berlin, 14.3.2018.

WISSENSCHAFTLICHER AUSTAUSCH, VORTRÄGE

Pfaff, A. (2018): Alternative 3D-Druckverfahren und deren Zukunftserwartungen. Exeron Anniversary. Oberndorf, 8.6.2018.

Putzar, R. (29.3.19): Gasdynamische Leistungsgrenzen von zweistufigen Leichtgasbeschleunigern. Thermodynamik-Seminar. Universität der Bundeswehr. München, 29.3.19.

Putzar, R. (2018): Measuring impact craters on the ISS Columbus Module. 69th Meeting of the Aeroballistic Range Association. Bath, UK, 10.10.2018.

Riedel, W.; Hoschke, K. (2018): Additive Manufacturing at Fraunhofer – from materials and processes to applicable solutions, chosen R&D examples. IN Conference INEGI 2018 – Inspiring Industry Innovation Conference »Factories of The Future: A Challenge Today«. Porto, Portugal, 18.10.2018.

Roller, C. (2018): Hohlladung und Schutzkonzepte. TÜV NORD, Symposium Anlagensicherung 2018. Hamburg, 20.2.2018.

Roller, C.; Grunwald, C.; Fischer, K. (2018): Prognosefähige numerische Simulationen als Nachweismethode: vom Bauteil zum Bauwerk. 8. Workshop BAU-PROTECT – Schutz der baulichen Infrastruktur vor außergewöhnlichen Einwirkungen. Neubiberg, 13.11.2018.

Roller, C.; Stolz, A. (2018): Attenuation of blast effects from underwater explosions in built structures. 15th International Conference on Structures under Shock and Impact (SUSI). Sevilla, Spain, 4.6.2018.

Ruiz-Ripoll, M. L.; Kruska, L.; Roller, C.; Stolz, A. (2018): Optimization of a Split Hopkinson Pressure Bar device in order to investigate controlled multipulse loading on granular materials. 5th International Conference on Protective Structures. Poznan, Poland, 19.8.2018.

Sauer, C.; Bagusat, F.; Heine, A.; Riedel, W. (2018): Plate impact shock experiments and numerical modeling of lightweight adobe masonry material. 12th International DYMAT Conference. Arcachon, France, 10.9.2018.

Schimmerohn, M.; Matura, P.; Cardone, T.; Wilde, D. de; Krag, H. (2018): Numerical simulations for spacecraft catastrophic disruption analysis. ESA Clean Space Industrial Days 2018. ESA/ESTEC. Noordwijk, The Netherlands, 23.10.2018.

Speck, O.; Hesse, L.; Klein, H.; Kampowski, T.; Speck, T. (2018): Self-repair of Delosperma cooperi. 8th World Conference of Biomechanics. Dublin, Ireland, 2018.

Steinhauser, M. O. (2018): Multiscale modeling of fragmentation in solids upon hypervelocity impact. 5th European Workshop on Space Debris Modelling and Remediation. Paris, France, 25.6.2018.

Steinhauser, M. O. (2018): Novel computer simulations addressing the impact risks in space from orbiting debris. 9th International Conference on Multiscale Materials Modelling (MMM). Osaka, Japan, 29.11.2018.

Stender, C.; Jung, M.; Du Bois, P. (2008): Numerische Simulation von offenporigen Sitzschäumen unter Berücksichtigung der Luft für die Crashberechnung im Automobilbau. 19. VDI-Kongress, SIMVEC – Simulation und Erprobung in der Fahrzeugentwicklung. Baden-Baden, 20.11.2008.

Straßburger, E. (2018): Ballistische Schutzwirkung von hochfesten Magnesiumlegierungen. 22. Tagung »Schutz gegen IED und ballistische Bedrohung«. WTD 91. Meppen, 8.5.2018.

Straßburger, E. (2018): Untersuchung der Effizienz von geschotteten transparenten Panzerungen mit Spinell und des Einflusses von Fugen. Koordinierungsbesprechung »Schutz gegen IED und ballistische Bedrohung«. Berlin, 27.11.2018.

Trube, N. (2019): Simulated muscle responses upon frontal crash pulses considering changes in muscle stiffness using THUMS v5. Human Modeling Symposium 2018 (carhs). Berlin, 19.10.2019.

van der Woerd, J. (2018): Dünnwandige Falterwerke aus zementbasierten Verbundwerkstoffen. Abschlusskolloquium des SPP1542 »Leicht Bauen mit Beton«. TU Dresden, 19.9.2018.

van Keuk, J.; Sättler, A.; Schmitt, S.; Heiser, R. (2018): Stand SimIB-1D (SimIB_V1.3), 24. Sitzung Taskforce »Innenballistik-Simulation«. WTD 91. Meppen, 13.3.2018.

van Keuk, J.; Sättler, A.; Schmitt, S.; Heiser, R. (2018): Stand SimIB-1D (SimIB_V1.4), 25. Sitzung Taskforce »Innenballistik-Simulation«. Fraunhofer ICT. Pfinztal-Berghausen, 14.11.2018.

Seminarvorträge im EMI

Heider, N.; Aurich, H.; Denefeld, V. (2018): Sensitivitätsuntersuchungen für rohrverschossene Sprengmunition. EMI-Symposium. EMI Freiburg, 10.12.2018.

Heider, N.; Aurich, H.; Dutschke, B. (2018): Approach on visco-scrum damage parameter adjustment. US-GE PA Meeting CMME und Projektbesprechung »Anwendungssicherheit von IHE-Wirkladungen in Rohrwehfmunition«. EMI Freiburg, 19.6.2018.

Heusinger, V. (2018): Gewichtungsbasierte Artefaktreduktion in der Computertomographie. Doktorandenseminar. EMI Freiburg, 27.4.2018.

Hoschke, K. (2018): Robust design of lightweight structures by Additive Manufacturing, tailored fail-safe behavior – a design and optimization concept. Doktorandenseminar. EMI Freiburg, 9.6.2018.

Moser, D.; Langkemper, R.; Butz, I.; Büttner, M.; Rakus, D.; Sättler, A. (2018): Nutzung von A-priori-Wissen für die Röntgenanalyse hochdynamischer, wehrtechnischer Aufgabenstellungen. EMI-Symposium. EMI Freiburg, 11.12.2018.

Moser, S.; Heusinger, V.; Langkemper, R.; Büttner, M.; Nau, S.; Salk, M.; Wickert, M. (2018): Röntgenanalyse: Mehr lernen durch A-priori-Wissen. Kuratoriumssitzung. EMI Freiburg, 20.7.2018.

Moser, S.; Nau, S.; Büttner, M. (2018): High-speed X-ray diagnostics: the quest for accurate dynamic 3D data despite short exposure times, few viewing directions and complex objects. 50 Years Data Exchange Agreement 1060. EMI Freiburg, 19.4.2018.

Nau, S.; Heß, S.; Lang, B.; Scheidereiter, J.; Popko, G.; Trinler, V. (2018): Ballistronik und Messtechnik – Unterstützung für Amt und wehrtechnische Industrie. EMI-Symposium. EMI Freiburg, 11.12.2018.

Pfaff, A. (2018): Schwermetalle im 3D-Druck: Fertigung, Charakterisierung und Einsatzbereiche. EMI-Symposium. EMI Freiburg, 12.12.2018.

Riedel, W. (2018): Wissenschaftliche Impulse durch die internationale Kooperation mit der Asien-Pazifik-Region. EMI-Symposium. EMI Freiburg, 11.12.2018.

Seifert, W.; Straßburger, E. (2018): Dependency of ballistic performance of tiled ceramic/metal targets on inter tile gap width and projectile impact position. Land Combat Lethality and Survivability Workshop. 50 Years Data Exchange Agreement 1060. EMI Freiburg, 16.4.2018.

Straßburger, E.; Bauer, S. (2018): Efficiency of transparent ceramics against AP projectiles with tungsten carbide core. Land Combat Lethality and Survivability Workshop. 50 Years Data Exchange Agreement 1060. EMI Freiburg, 16.4.2018.

Trube, N. (2018): Simulated muscle responses upon frontal crash pulses considering changes in muscle stiffness using THUMS v5. Doktorandenseminar. EMI Efringen-Kirchen, 28.9.2018.

Lehrgänge der Carl-Cranz-Gesellschaft

(2018). CCG-Seminar VS 1.02 »Innenballistik von Rohrwaffen«, 18.–20.9.2018. EMI Kandern.

Boljen, M. (2018): Testing and modeling of woven fabrics for ballistic applications – virtual design options using FE codes. CCG-Seminar VS 2.04 »Effectiveness of Body Armor«, 14.11.2018.

Ebenhöch, S. (Hg.) (2018). CCG-Seminar VS 1.53 »Funktionaler Sicherheitsnachweis für wehrtechnische Systeme«. EMI Efringen-Kirchen, 10.–11.4.2018.

Niklas, W.; Engemann, F. (2018): Anwendungsbeispiele zur quantitativen Gefährdungs- und Risikoanalyse zur Festlegung von Gesamtsicherheitsanforderungen. CCG-Seminar VS 1.53 »Funktionaler Sicherheitsnachweis für wehrtechnische Systeme«. EMI Freiburg, 10.4.2018.

Straßburger, E. (2018): Ballistic properties and protective strength of ceramics for body armor. CCG-Seminar VS 2.04 »Effectiveness of Body Armor«. ISL. Saint-Louis, 14.11.2018.

Lehrgänge des Bildungszentrums der Bundeswehr, Mannheim

Nau, S.; Kisters, T.; Sättler, A.; Räder, P.; Klass, F. (2018): Messtechnik für die Nachweisführung. Laufbahnlehrgang Fachbezogene Wehrtechnik, Systembewaffnung und Effektoren (SBE), Gehobener technischer Dienst (gtD 2018). BiZBw. Mannheim, 11.4.2018.

Nau, S.; Kisters, T.; Sättler, A.; Räder, P.; Klass, F. (2018): Messtechnik. Laufbahnlehrgang Fachbezogene Wehrtechnik, Systembewaffnung und Effektoren (SBE), Höherer technischer Dienst (htd 2018). BiZBw. Mannheim, 6.6.2018.

Straßburger, E.; Bauer, S. (2018): Polyvalenter transparenter Schutz – Anforderungen, Stand der Technologie und Herausforderungen. Symposium »Ballistik in Forschung und Technologie 2018«. BiZBw. Mannheim, 20.2.2018.

Lehrveranstaltungen

Fischer, K. (Wintersemester 2018/2019): Grundlagen resilienter Systeme, Fundamentals of Resilience. Übung. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg,

Häring, I. (Sommersemester 2018): Funktionale Sicherheit – Aktive Resilienz, Functional Safety: Active Resilience. Vorlesung. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg

Häring, I. (Wintersemester 2018/2019): Resilienzquantifizierung, Quantification of Resilience. Vorlesung. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg

Harwick, W. (Sommersemester 2018): Werkstoffkunde I. Vorlesung. DHBW Lörrach

Harwick, W. (Wintersemester 2018/2019): Werkstoffkunde II. Vorlesung. DHBW Lörrach

Hiermaier, S. (Wintersemester 2018/2019): Grundlagen resilienter Systeme, Fundamentals of Resilience. Vorlesung. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg

Hiermaier, S.; Ganzenmüller, G. (Sommersemester 2018): Dynamics of Materials. Vorlesung. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg

Hiermaier, S.; Ganzenmüller, G. (Sommersemester 2018): Dynamics of Materials. Übung. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg

Hiermaier, S.; Ganzenmüller, G. (Wintersemester 2018/2019): Konstitutive Gleichungen und Diskretisierungsverfahren zur Versagensmodellierung, Physics of Failure. Vorlesung. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg

Hiermaier, S.; Ganzenmüller, G. (Sommersemester 2018): Netzfreie Methoden in technischen Anwendungen. Übung. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg

Hiermaier, S.; Ganzenmüller, G. (Sommersemester 2018): Netzfreie Methoden in technischen Anwendungen. Vorlesung. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg

Hiermaier, S.; Ganzenmüller, G.; Kilchert, S. (Wintersemester 2018/2019): Materiallebenszyklen, Material Life Cycles. Übung. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg

Hiermaier, S.; Ganzenmüller, G.; Kilchert, S. (Wintersemester 2018/2019): Materiallebenszyklen, Material Life Cycles. Vorlesung. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg

May, M. (Sommersemester 2018): Adhesive Bonding. Vorlesung. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg

May, M. (Wintersemester 2018/2019): Faserverbundwerkstoffe, Composite Materials. Vorlesung. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg

Osterholz, J. (Sommersemester 2018): High Energy Density Physics. Vorlesung. Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

Paul, H. (Sommersemester 2018): Werkstoffe. Vorlesung. Fachhochschule Offenburg

Riedel, W.: Visiting Associate Professor (invitation) at Nanyang Technological University Singapore, School of Civil and Environmental Engineering, Prof. Tat Ching Fung; Protective Technology Research Centre Prof Kang Hai Tan.

Riedel, W. (Wintersemester 2018/2019): Schutz kritischer Infrastrukturen. Vorlesung im Mastermodul »Quantitative Risikoanalyse« im Studiengang »Security and Safety Engineering«. Hochschule Furtwangen

Riedel, W. (2018): Dynamic Material Behaviour and Modeling of the German UHPC B4Q. Joint Workshop on Ultra-High Performance Concrete. Nanyang Technological University, National University of Singapore, 7.8.2018.

Riedel, W.; Ramin, M. von; Grunwald, C. (2018): Progressive Collapse, Part I: Finite Methods, Part II: Engineering Approaches to Assess Residual Load Capacities of Buildings. Seminar on Progressive Collapse. Nanyang Technological University, National University of Singapore, 17.8.2018.

Sauer, M. (Wintersemester 2018): Finite Methoden und Stoffgesetze Hochdynamik. Vorlesung. Universität der Bundeswehr

Schäfer, F. (Wintersemester 2018/2019): Charakterisierung von Geomaterialien unter Stoßbelastung I, Characterization of Geomaterials under Shock Loads I. Vorlesung. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg

Schäfer, F. (Sommersemester 2018): Charakterisierung von Geomaterialien unter Stoßbelastung II, Characterization of Geomaterials under Shock Loads II. Vorlesung. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg

Steinhauser, M. O. (Sommersemester 2018): Advanced Methods in Computational Science: Monte Carlo Simulations. Übung. Universität Basel

Steinhauser, M. O. (Sommersemester 2018): Advanced Methods in Computational Science: Monte Carlo Simulations. Vorlesung. Universität Basel

Steinhauser, M. O. (Wintersemester 2018/2019): Anwendungen in Computational Sciences. Ringvorlesung. Universität Basel

Steinhauser, M. O. (Sommersemester 2018): Molecular Dynamics Simulations with Applications in Soft Matter. Vorlesung. Universität Basel, Sommersemester 2018.

Steinhauser, M. O. (Wintersemester 2018/2019): Molecular Simulations with Chemical and Biological Applications. Vorlesung. Universität Basel

Stolz, A. (Sommersemester 2018): Baudynamik. Übung. Hochschule Koblenz

Stolz, A. (Sommersemester 2018): Baudynamik. Vorlesung. Hochschule Koblenz

Stolz, A. (Sommersemester 2018): Design and Monitoring of Large Urban Infrastructures. Vorlesung. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg

WISSENSCHAFTLICHER AUSTAUSCH, VORTRÄGE

Stolz, A. (Sommersemester 2018): Design and Monitoring of Large Urban Infrastructures. Übung. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg

Stolz, A. (Wintersemester 2018/2019): Strukturelle Robustheit: Resiliente Entwurfsprinzipien, Structural Robustness: Resilient Designs. Vorlesung. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg

van der Woerd, J. (Wintersemester 2018/2019): ArchitekTouren. Seminar. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg

Gastwissenschaftler im EMI

David Jesenko, 1.–28.2.2018. Slovenien.

Jan Bamberger, 25.6.–16.9.2018. Bundesamt für Ausrüstung, Informationstechnik und Nutzung der Bundeswehr (BAAINBw).

Jörg Agarico, 26.3.–1.5.2018. ZHAW Zurich University of Applied Sciences.

Leopold Kruszka 26.11.–14.12. 2018. Military University of Technology Warsaw.

Marco Krummenacher, 15.9.–14.12.2018. Universität Basel.

Pablo Resende Oliveira, 1.6.2018.–31.5.2022.

Robin Holtermann, 25.6.–16.9.2018. Bundesamt für Ausrüstung, Informationstechnik und Nutzung der Bundeswehr (BAAINBw).

Victor Rey de Pedrate Ruiz, 1.5.–31.8.2018. Universidad Politécnica de Madrid.

Promotionen

Breitfuß, C. (2018): Analyse mechanischer Vorgänge in Li-Ionen-Pouch-Zellen unter Crashbelastung und deren Modellbildung in einer Finite-Elemente-Software. Dissertation. TU Graz, Graz.

Dlugosch, M. (2018): Zur Methodenentwicklung im Entwurf automobiler Strukturkonzepte in FVK-Metall-Hybridbauweise unter Crashbelastung. Dissertation. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Freiburg.

Fischer, K. (2018): Resilience quantification of urban areas: An integrated statistical-empirical-physical approach for man-made and natural disruptive events. Dissertation. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Freiburg.

Heusinger, V. (2019): Eingangsdatenspezifische Artefaktreduktion für algebraische Rekonstruktionsverfahren in der Computertomographie am Beispiel von Halbleiterdetektoren. Dissertation. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Freiburg.

van der Woerd, J. (2018): Eine Methodik zur Realisierung dünnwandiger Falwerke aus zementbasierten Verbundwerkstoffen durch Faltung. Dissertation. RWTH Aachen, Aachen.

Bachelor-, Master- und Diplomarbeiten

Altas, C. (2018): Analyse und Vorhersagen von Daten zur Verkehrsstärke. Bachelorarbeit. EMI-Bericht A 30/18. DHBW Lörrach.

Bamberger, J. (2018): Entwurf und Konstruktion einer Universalprüfkammer zur Charakterisierung von elektrischen Zünd- und Anzündmitteln. Bachelorarbeit. DHBW Mannheim.

Benz, L. (2018): Konstruktion einer Kurzwaffenhalterung für Besuchssteht. Masterarbeit. EMI-Bericht A 28/18. Hochschule Offenburg.

Berger, C. (2019): Vergleich optischer Messverfahren zur Charakterisierung von Gasströmungen. Bachelorarbeit. EMI-Bericht A 01/19. KIT.

Bruder, T. (2018): Manipulatorsystem zur in-situ CT und Röntgendiagnostik in einem Werkstoffprüfsystem. Bachelorarbeit. EMI-Bericht A 37/18. Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft.

Erl, V. (2018): The applicability of blockchain-based process management in digitized material sciences. Bachelorarbeit. EMI-Report A 35/18. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg.

Förster, B. (2019): Verbesserung eines Einspann-Systems durch metallischen 3D-Druck. Diplomarbeit. EMI-Bericht A 02/19. Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden.

Holtermann, R. (2018): Entwurf und Konstruktion eines Zuführ- und Handling-Systems zur Charakterisierung von elektrischen Zünd- und Anzündmitteln. Bachelorarbeit. DHBW Mannheim.

Jain, A. K. (2018): Simulation of indoor ultrasound localization system for assessment of disruptive events and resilience improvement options. Masterarbeit. EMI-Bericht A 21/18. Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg.

Kajjam, R. (2018): Characterization and simulation of high-g acceleration sensors. Masterarbeit. EMI-Bericht A 18/18. Ernst-Abbe-Hochschule Jena.

Kappe, K. (2018): Entwicklung einer Designmethode zur Erhöhung der Robustheit von topologisch optimierten Strukturen. Masterarbeit. EMI-Bericht A 38/18. RWTH Aachen.

Krail, D. (2018): Auslegung einer additiv gefertigten, metallischen Leichtbaukomponente zur experimentellen Untersuchung von Crashbelastungen. Masterarbeit. EMI-Bericht A 39/18. Universität Stuttgart.

Mäder, G. (2018): Nichtlineare Analyse und Designoptimierung von Mesostrukturen für die Additive Fertigung. Masterarbeit. EMI-Bericht A 05/18. Universität Stuttgart.

Meder, W. (2018): Entwicklung eines miniaturisierten Auslösemechanismus für Nanosatelliten. Masterarbeit. EMI-Bericht A 19/18. RWTH Aachen.

Niermann, J. (2018): Optimierung und Validierung eines Aufbaus für hydrostatische Druckversuche. Bachelorarbeit. EMI-Bericht A 05/18. KIT.

Nothdurft, S. (2018): Entwurf und Realisierung eines Steuerungskonzepts für ein quasistatisches Materialprüfungssystem mit in-situ-Computertomographie. Bachelorarbeit. EMI-Bericht A 08/18. Hochschule Esslingen.

Oelke, Y. (2018): Verwundbarkeitsanalyse von urbanen Gebieten infolge von Erdbeben-Ereignissen: softwaretechnische Umsetzung und der Vergleich zu Real-Ereignissen. Masterarbeit. EMI-Bericht E 35/18. Universität Osnabrück.

Rack, N. (2018): Kalibrierung und Gegenüberstellung der LS-DYNA-Materialmodelle MAT_FABRIC FORM=14 und MAT_FABRIC_MAP. Bachelorarbeit. EMI-Bericht A 27/18. KIT.

Reichenbach, N. (2018): Development of a de-orbit subsystem for the 12U-CubeSat ERNST. Masterarbeit. EMI-Bericht A 01/18. TU München.

Restayn, E.-M. (2019): Tool-based validated step-wise quantitative hazard, risk and resilience assessment of single explosive events in urban areas. Bachelorarbeit. EMI-Bericht A 25/18. Hochschule Furtwangen.

Satsrisakul, Y. (2018): Quantitative probabilistic safety assessment of autonomous car functions with Markov models. Masterarbeit. EMI-Bericht A 40/18. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg.

Spano, C. (2018): Univariate time series prediction of terror events using ANN and classical statistical methods. Bachelorarbeit. EMI-Bericht A 23/18. Universität Osnabrück.

Trippel, A. (2018): Metal failure under dynamic and multiaxial loading conditions. Masterarbeit. EMI-Bericht A 36/18. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg.

Trube, N. (2018): Simulated muscle responses upon frontal crash pulses considering changes in muscle stiffness using THUMS v5. Masterarbeit. EMI-Bericht A 22/18. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg.

Uebbing, S. (2019): Analyse eines Impaktdetektionsverfahrens mit Segeln aus dünnen Folien. Masterarbeit. EMI-Bericht A 03/19. TU Braunschweig.

Patente

Gulde, M. (2018): Korrelation thermischer Satellitenbilddaten zur Generierung räumlich hochaufgelöster Wärmekarten, 14.5.2018.

Schriftenreihe des Ernst-Mach-Instituts: Epsilon-Punkt

Dlugosch, M. (2019): Zur Methodenentwicklung im Entwurf automobilier Strukturkonzepte in FVK-Metall-Hybridbauweise unter Crashbelastung. Stuttgart: Fraunhofer Verlag (Schriftenreihe Forschungsergebnisse aus der Kurzzeitdynamik (Epsilon-Punkt), Heft Nr. 36).

Durr, N. (2018): Mesoscale Modeling of Dynamic Fracture and Shock Compression in Quartzite and Sandstone. Stuttgart: Fraunhofer Verlag (Schriftenreihe Forschungsergebnisse aus der Kurzzeitdynamik (Epsilon-Punkt), Heft Nr. 35).

Fischer, K. (2018): Resilience Quantification of Urban Areas. An Integrated Statistical-Empirical-Physical Approach for Man-Made and Natural Disruptive Events. Stuttgart: Fraunhofer Verlag (Schriftenreihe Forschungsergebnisse aus der Kurzzeitdynamik (Epsilon-Punkt), Heft Nr. 37).

Lässig, T. (2018): Einfluss des Pressdrucks auf UHMW-PE-Verbundmaterialien unter Impaktbelastung. Stuttgart: Fraunhofer Verlag (Schriftenreihe Forschungsergebnisse aus der Kurzzeitdynamik (Epsilon-Punkt), Heft Nr. 33).

Lück, M. (2018): Beschreibung des Reaktionsablaufs energetischer Materialien bei Laserbestrahlung. Stuttgart: Fraunhofer Verlag (Schriftenreihe Forschungsergebnisse aus der Kurzzeitdynamik (Epsilon-Punkt), Heft Nr. 34).

Workshops und Veranstaltungen

8. Workshop BAU-PROTECT. 13.–14.11.2019. Neubiberg.

crashMAT 2018. 8.–9.5.2018.

EMI-Symposium. 11.–12.12.2018. EMI Freiburg.

1st Global Resilience Research Network Summit. 29.3.2018. Boston.

2nd Global Resilience Research Network Summit. 10.–11.4.2019. Freiburg.

Mitwirkung in Fachgremien, Fachverbänden und Programmkomitees

Günther, S.: Institutsleitungsrunde (ILR) der Fraunhofer-Gesellschaft für JTI Clean Sky 2 (Vertretung von S. Hiermaier).

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

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

Günther, S.: Mitglied in der Technical Advisors Group OPTICS2 (Observation Platform for Technological and Institutional Consolidation of Research in Safety and Security).

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

Heine, A.: Mitglied im Committee of Abstract Reviewers, 31st International Symposium on Ballistics.

Heine, A.: Mitglied im Scientific Committee, Light-Weight Armour Group.

Hiermaier, S.: Fachbeirat der BaSt, DYMAT Vice-President.

Hiermaier, S.: Mitglied im Technologiebeirat des wvib (Wirtschaftsverband Industrieller Unternehmen Baden e. V.).

Hoschke, K.; May, M. (2018): Industrie-Workshop Leistungszentrum Nachhaltigkeit mit Aesculap, 29.6.2018.

Jung, M.: Forschungsvereinigung Automobiltechnik (FAT), Arbeitskreis 27 – Simulationsmethoden und virtuelle Validierung, Arbeitsgruppe Schaum.

Leismann, T.: Mitglied im Wissenschaftlichen Programmausschuss »Forschung für die zivile Sicherheit«.

Nau, S.; Siedlaczek, R. (2017): NATO Ammunition Safety Group (AC/326), Subgroup A on Energetic Materials and Initiation Systems. Freiburg, 3.4.2017.

Pilous, N.: DIN-Normenausschuss: Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV); EMV von Anzünd- und Zündmitteln (NA 140-00-20-06 UA).

Putzar, R.: Chairman der Aeroballistics Range Association.

Putzar, R.: Mitglied des »Committee on the Review of Planetary Protection Requirements for Sample Return from Phobos and Deimos« des »Space Studies Board« der »National Academies of Sciences Engineering Medicine«.

Putzar, R.: Repräsentant des EMI bei der Aeroballistics Range Association.

Roller, C.: Mitglied »Resistance of Structures to Explosion Effects« im Rahmen des ERNCIP (European Reference Network for Critical Infrastructure Protection) Framework.

Schimmerohn, M.: External DLR Delegate, Deputy Chairmen of Working Group 3. 36th Inter-Agency Space Debris Coordination Committee (IADC) Meeting, 5.–8.6.2018, Tsukuba, Japan.

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

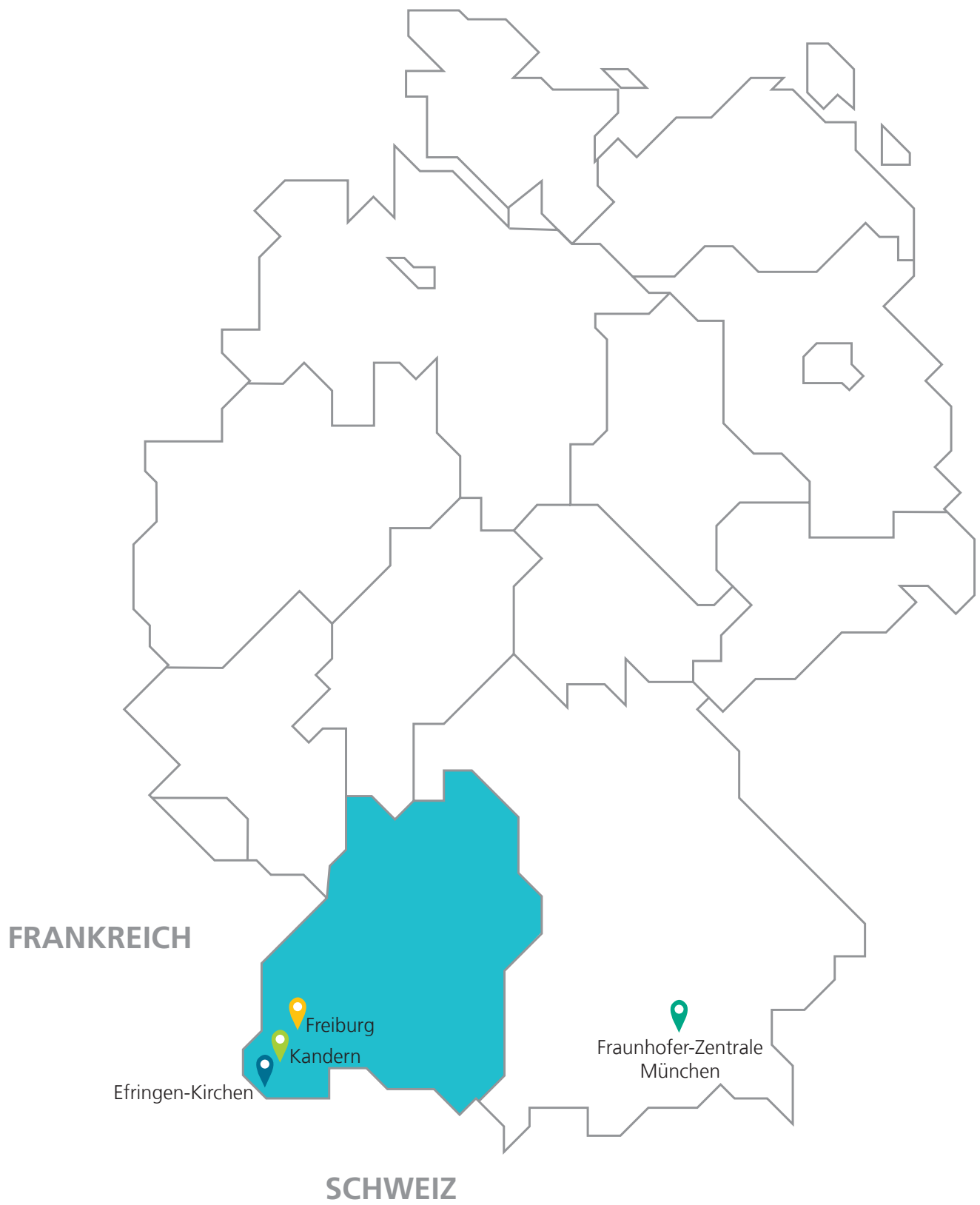
Wissenschaftliche Preise und Auszeichnungen

Steinhauser, M. O.: Habilitation im Fach Physikalische Chemie. Universität Basel.

Steinhauser, M. O. (2018): Erteilung der Facultas Docendi (Dr. rer. nat. habil.) und der Venia Legendi (Privatdozent). Universität Basel, 2018.

Steinhauser, M. O. (2018): Erfolgreiche Hochschullehrerprüfung, Februar 2018.

Trube, N.: Simulated muscle responses upon frontal crash pulses considering changes in muscle stiffness using THUMS v5. Young Scientist Award des Human Modeling Symposium 2018 (carhs).



IMPRESSUM

Redaktion

Birgit Bindnagel (verantwortlich), Heide Haasdonk

Redaktionelle Mitarbeit

Eerika Tzschoppe, Johanna Holz

Layout und grafische Bearbeitung

Deborah Kabel, Sonja Weber

Bildredaktion

Birgit Bindnagel, Heide Haasdonk, Eerika Tzschoppe, Deborah Kabel

Redaktionsanschrift

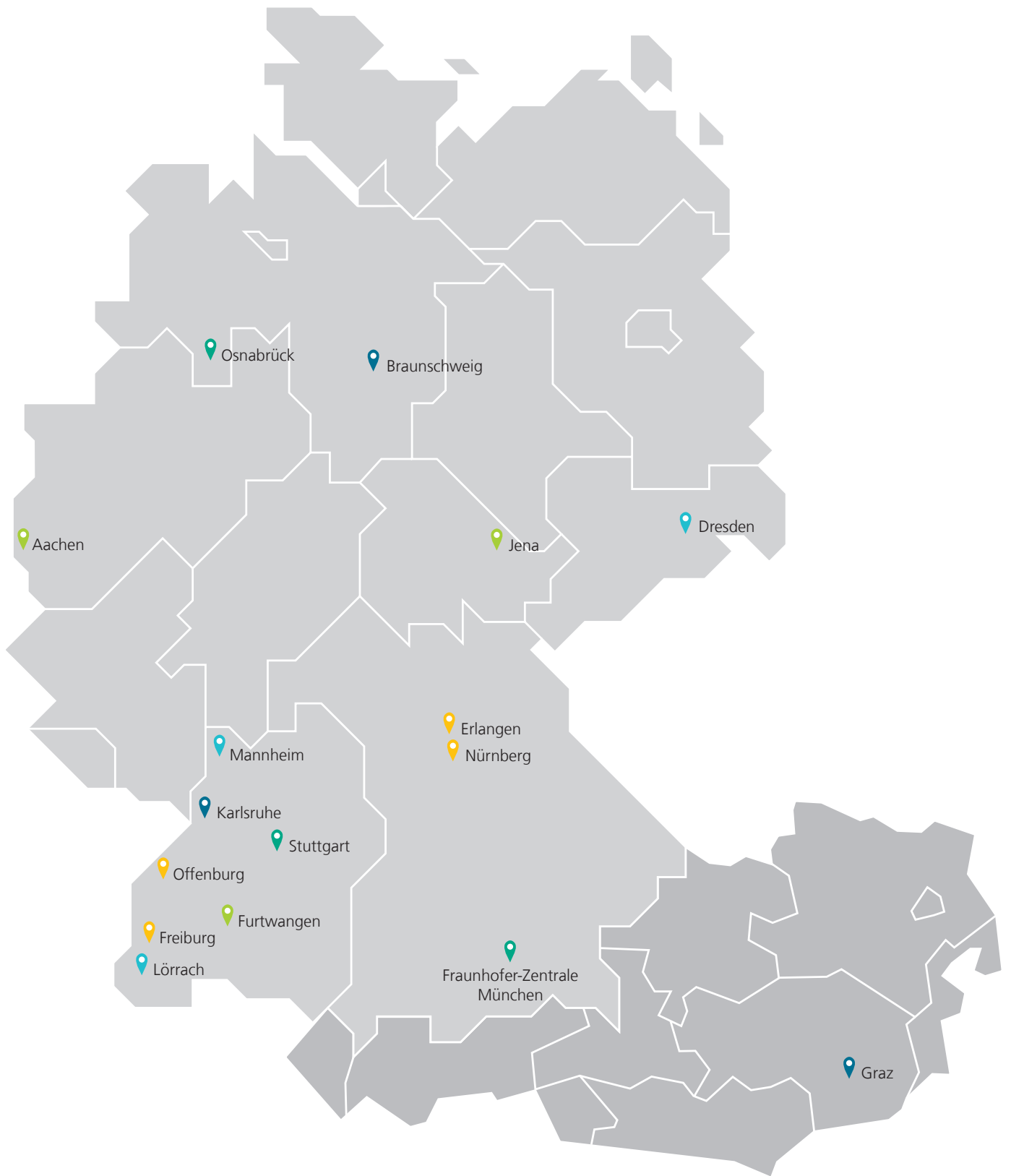
Fraunhofer-Institut für Kurzzeitdynamik, Ernst-Mach-Institut, EMI
Presse und Öffentlichkeitsarbeit
Ernst-Zermelo-Straße 4
79104 Freiburg
Telefon 0761 2714-366
birgit.bindnagel@emi.fraunhofer.de
www.emi.fraunhofer.de

© Fraunhofer EMI, Freiburg 2019

VERNETZUNG

Die nebenstehende Karte zeigt die Orte, an denen Promotionen, Bachelor-, Master- und Diplomarbeiten abgeschlossen wurden, die von Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Fraunhofer EMI betreut wurden. Diese Vernetzung eines Fraunhofer-Instituts als außeruniversitäre Forschungseinrichtung mit der akademischen Forschungslandschaft fördert die wissenschaftliche Exzellenz und den Transfer wissenschaftlicher Entwicklungen in marktfähige sowie praxisrelevante Produkte und Dienstleistungen.

Eine breite nationale und internationale Vernetzung wie auch zahlreiche Kooperationen machen den Erfolg des Fraunhofer EMI aus. Das Institut ist nicht nur mit anderen Fraunhofer-Instituten in Allianzen und Verbänden gut vernetzt, sondern auch mit Universitäten und Forschungseinrichtungen sowie Industrieunternehmen in Deutschland, Europa, USA, Asien und Australien.





RWTH Aachen
J. van der Woerd
Dissertation, 2018
Betreuer: Prof. Dr. J. Hegger

K. Kappe
Masterarbeit, 2018
Betreuer: K. Hoschke

W. Meder
Masterarbeit, 2018
Betreuer: Dr. M. Schimmerohn



DHBW Mannheim
J. Bamberger
Bachelorarbeit, 2018
Betreuer: S. Heß

R. Holtermann
Bachelorarbeit, 2018
Betreuer: S. Heß



**Hochschule Karlsruhe –
Technik und Wirtschaft**
T. Bruder
Bachelorarbeit, 2018
Betreuer: S. Heß

**Karlsruher Institut für
Technologie KIT**
C. Berger
Bachelorarbeit, 2019
Betreuer: A. Sättler

J. Niermann
Bachelorarbeit, 2018
Betreuer: J. Mermagen

N. Rack
Bachelorarbeit, 2018
Betreuer: Dr. M. Boljen



Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
M. Dlugosch
Dissertation, 2018
Betreuer: Prof. Dr. S. Hiermaier

K. Fischer
Dissertation, 2018
Betreuer: Prof. Dr. S. Hiermaier

V. Heusinger
Dissertation, 2019
Betreuer: Prof. Dr. M. Fiederle,
Prof. Dr. S. Hiermaier

V. Erler
Bachelorarbeit, 2018
Betreuer: Dr. M. Dlugosch

Y. Satsrisakul
Masterarbeit, 2018
Betreuer: Dr. I. Häring,
Dr. P. Gelhausen

A. Trippel
Masterarbeit, 2018
Betreuer: Prof. Dr. S. Hiermaier,
W. Harwick, Dr. J. Fritsch

N. Trube
Masterarbeit, 2018
Betreuer: Dr. M. Boljen,
Prof. Dr. W. Riedel



Universität Stuttgart
D. Krail
Masterarbeit, 2018
Betreuer: M. Bierdel



Hochschule Offenburg
L. Benz
Masterarbeit, 2018
Betreuer: C. Grumber



Hochschule Furtwangen
E.-M. Restayn
Bachelorarbeit, 2019
Betreuer: Dr. I. Häring, Dr. K. Roß, Dr. M. von Ramin



Osnabrück



Aachen



Mannheim



Karlsruhe



Stuttgart



Offenburg



Freiburg



Furtwangen



Lörrach



DHBW Lörrach
C. Altas
Bachelorarbeit, 2018
Betreuer: J. Finger



Universität Osnabrück
Y. Oelke
Masterarbeit, 2018
Betreuer: Dr. K. Fischer

TU Braunschweig
S. Uebbing
Masterarbeit, 2019
Betreuer: Dr. M. Schimmerohn

C. Spano
Bachelorarbeit, 2018
Betreuer: Dr. I. Häring,
Dr. P. Gelhausen

Ernst-Abbe-Hochschule Jena
R. Kajjam
Masterarbeit, 2018
Betreuer: R. Langkemper

**Hochschule für Technik und
Wirtschaft Dresden**
B. Förster
Diplomarbeit, 2019
Betreuer: M. Bierdel

**Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen-Nürnberg**
A. K. Jain
Masterarbeit, 2018
Betreuer: Dr. I. Häring

TU Graz
C. Breitfuß
Dissertation, 2018
Betreuer: Prof. Dr. S. Hiermaier

Fraunhofer-Institut für Kurzezeitdynamik,
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