

Fraunhofer
EMI

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

Forschen für eine sichere Zukunft.

Jahresbericht 2024/2025

Forschen für eine sichere Zukunft.

Jahresbericht 2024/2025

Krisen beherrschbar machen



Sehr geehrte Leserin, sehr geehrter Leser!

In der ingenieurtechnischen Resilienzforschung gibt es eine ganze Reihe an Konzepten und Metriken, mit denen komplexe sozio-technische Systeme hinsichtlich ihrer Resilienz ausgelegt und optimiert werden. Dabei geht es immer darum, die Eintrittswahrscheinlichkeit einer Disruption wie auch ihre eventuellen Folgen zu minimieren und schließlich einen zügigen Wiederherstellungsprozeß zu ermöglichen. Damit diese Konzepte im Krisenfall tatsächlich funktionieren bedarf es eines Dreiklangs, der im Englischen sehr treffend mit »Monitoring – Communication – Governance« beschrieben wird.

Da die Welt um uns herum aktuell in vielerlei Hinsicht entweder bereits in einer Krise steckt oder sich konsequent darauf zu bewegt, sind Optionen zum Erfassen der Lage, zur Kommunikation aller relevanter Beobachtungen sowie zur Gewährleistung von Führungsfähigkeit von wachsender Bedeutung. Das gilt für das in rasantem Wandel begriffene Gefechtsfeld moderner Prägung genauso wie für die Bewältigung von Symptomen des stattfindenden Klimawandels und für die zunehmende Gewalttätigkeit im öffentlichen Raum.

Resilienzlösungen für Verteidigung und zivile Sicherheit

Das Fraunhofer EMI forscht an Technologien zum Schutz und zur Wirkungsfähigkeit der Bundeswehr. Dies schließt die frühzeitige Aufklärung von Bedrohungen durch Raketen mittels hochsensibler Kleinsatelliten wie den von uns entwickelten ERNST genauso ein wie die Abwehr von Hyperschall-Waffen oder die sichere Lagerung von Munition. Das Relevante beobachten, an die richtigen Stellen kommunizieren und die als zielführend erkannte Operation führen. Daraus entsteht Resilienz auf dem Gefechtsfeld.

»Da die Welt um uns herum aktuell in vielerlei Hinsicht entweder bereits in einer Krise steckt oder sich konsequent darauf zu bewegt, sind Optionen zum Erfassen der Lage, zur Kommunikation aller relevanter Beobachtungen sowie zur Gewährleistung von Führungsfähigkeit von wachsender Bedeutung.«

Unsere agentenbasierte Simulation trägt dazu bei, daß Großveranstaltungen sicherer ablaufen, Verkehrsmodelle realistischer gestaltet werden oder Evakuierungssituationen zuverlässiger koordiniert werden können. Hier trägt die Modellierungs- und Simulations-Kompetenz des Instituts entscheidend zur Erforschung und Realisierung von Resilienz komplexer Systeme bei, weil Situationen erfaßt und analysiert werden, die in Übungen oder aus der Erfahrung mit Krisen der Vergangenheit nicht in gleichem Maß erkennbar sind.

Militärische und zivile Sicherheitsforschung gemeinsam denken

Die EMI-Kompetenzen auf dem Resilienz-Sektor waren auch wesentliches Element der Fraunhofer-VVS Konferenz »Future Security 2025«. Ein Kernthema dieser Konferenz war die dringend notwendige Integration ziviler und militärischer Sicherheitsforschung. Ein Anliegen, das von den unterschiedlichen Ressorts der Bundesregierung explizit geteilt wird. Und das vom Leitgedanken »Krisen beherrschbar machen« getragen wird. Das Fraunhofer EMI steht bereit, diesen Integrationsprozeß aktiv mitzugestalten.

Im vorliegenden Jahresbericht präsentieren wir Ihnen unsere Ergebnisse zusammen mit eindrucksvollem Bildmaterial. Dazu fokussieren wir zunächst auf die drei Schwerpunktthemen, die wir im letzten Jahresbericht noch nicht beschrieben haben, um dann auf die aktuellen Themen in den fünf Geschäftsfeldern zu sprechen zu kommen.

Ich wünsche Ihnen eine angeregte Lektüre und verbleibe, mit besten Grüßen, Ihr



Prof. Dr.-Ing. habil. Stefan Hiermaier
Direktor Fraunhofer-Institut für Kurzzeitdynamik, Ernst-Mach-Institut, EMI

Coverfoto: Fraunhofer EMI; Foto Vorwort: Fraunhofer EMI

Fraunhofer EMI Jahresbericht 24/25



Abflug in den Orbit: Kleinsatellit ERNSTs Mission startete im August. → S.77



Staatssekretär Dr. Patrick Rapp informiert sich über ERNST.

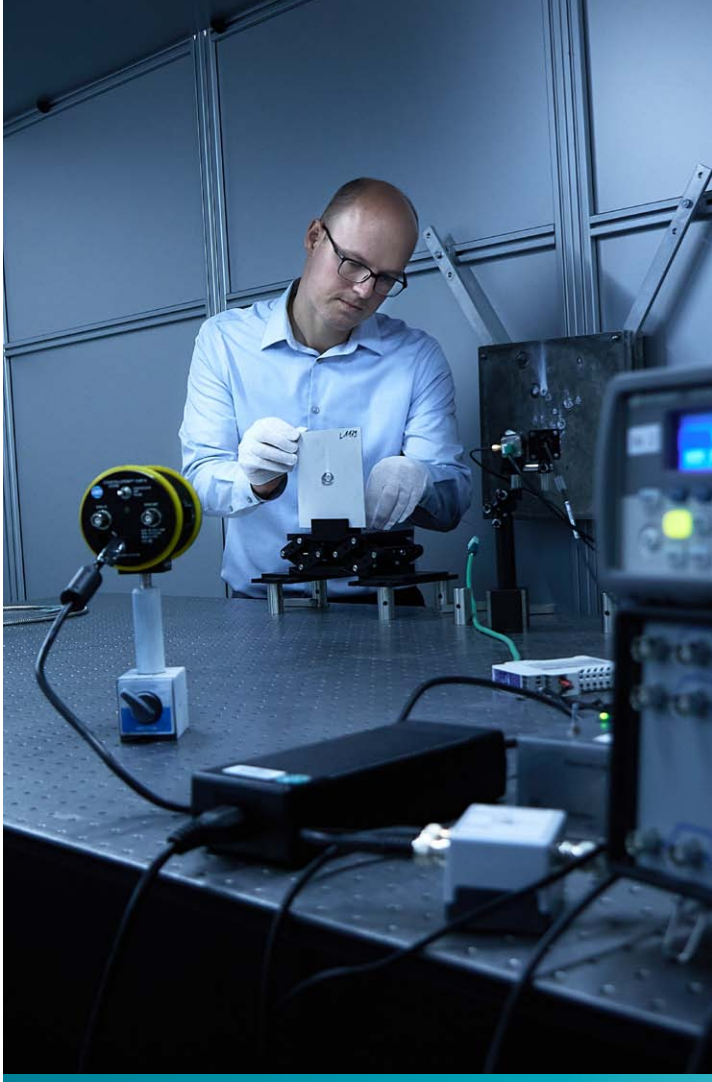
→ Mehr zu ERNST auf den Seiten 38 und 77.

Cover
Batterietests am Fraunhofer EMI: Das Institut setzt Experiment und Simulation eng verzahnt ein. Dadurch können auf effiziente Weise Batteriesysteme verstanden, optimiert und weiterentwickelt werden.

→ Mehr dazu ab Seite 60.

02 Vorwort
Heute die Sicherheitstechnologien von morgen entwickeln.

06 Das Institut
1959 wurde das EMI als sechstes Institut in die Fraunhofer-Gesellschaft aufgenommen. Ein Überblick über Geschichte und Profil des Instituts.



Schwerpunktthemen

Im Strategieprozess 2023 hat das Institut sechs Schwerpunktthemen identifiziert. Vergangenes Jahr wurden **Hochdynamisches Röntgen**, **Batteriesicherheit** und **Laser-Materie-Wechselwirkung** vorgestellt. Die weiteren Schwerpunktthemen sind:

12 Ingenieurtechnisches Resilienzmanagement
Krisen erkennen, meistern und daraus lernen.

18 Satellitengestützte Datenerhebung und -analyse
An der Schnittstelle zwischen New Space und etablierter Raumfahrt entstehen neue Ansätze für Missionskonzepte.

24 Menschliche Verhaltensmodelle für realistische Verkehrsprognosen
Verkehr verstehen und vorhersagen: Automatisierung und multimodale Konzepte revolutionieren den Straßenverkehr.



Fotos: SpaxeX, Fraunhofer EMI (4), Airbus

Geschäftsfelder



Batterie-Crashbeschleuniger: komplette Autobatterien testen → S.58.

32 Verteidigung
Forschen für ein wehrhaftes Deutschland: Wirkung und Schutz für die Bundeswehr.

46 Sicherheit & Resilienz
Wenn klassische Gefahrenabwehr und Prävention an Grenzen stößt, wird die Notwendigkeit für das Prinzip der Resilienz offensichtlich.

58 Automotive
Sicherheit für alle Verkehrsteilnehmer: egal ob mit dem Fahrrad, dem Auto oder zu Fuß.

70 Raumfahrt
Innovationsmotor Raumfahrt: Schlüsseltechnologie Kleinsatelliten.

84 Luftfahrt
Auf dem Weg zu nachhaltiger und zugleich wettbewerbsfähiger Luftfahrt.



Sichere Integration von Batterien in Helikoptern: Das Fraunhofer EMI erforscht die Sicherheit beim Einsatz von Hochvolt-Batteriesystemen. → S.90

94 Leistungszentrum Nachhaltigkeit
Nachhaltigkeitsforschung zur Anwendung bringen: das Zentrum forscht und fördert Projekte in den Bereichen nachhaltige Materialien, Energiesysteme, Resilienz sowie ökologische und gesellschaftliche Transformation.

Das Institut im Profil

104 Das Institut in Zahlen

106 Personal & Finanzen

108 Kuratorium

110 Kontakt

111 Impressum

112 Publikationen



Nachwuchs fördern: Am EMI machen aktuell 27 Personen eine Ausbildung oder ein Duales Studium.

Das Institut

Das Fraunhofer EMI wurde 1959 gegründet. Es folgt dem Anspruch, exakteste Ergebnisse zu liefern und herausragende Technologien zu entwickeln.

Im Mittelpunkt steht: alles, was schnell abläuft, darstellbar und messbar machen. Das Fraunhofer EMI erforscht Zusammenstöße, Explosionen und die damit verbundenen Sicherheitskonzepte für eine katastrophensichere und resiliente Infrastruktur.



Standort Freiburg



Standort Efringen-Kirchen



Standort Kandern

Hintergrundbild: Forschung für innovative Laseranwendungen



1959
Gründung des Instituts

Das Fraunhofer EMI entsteht aus dem 1956 gegründeten Institut für angewandte Physik an der Universität Freiburg.

Es wurde als 6. Institut in die Fraunhofer-Gesellschaft aufgenommen.



Kalter Krieg: Forschung für die Bundeswehr und ihre Alliierten

In den ersten Jahrzehnten liegt der Schwerpunkt auf ballistischer und strömungsmechanischer Forschung.

Dazu entwickelt das Institut weltweit führende Forschungsansätze.



Weitere Standorte in Efringen-Kirchen und Kandern

Aus den ursprünglichen Steinbrüchen in Winterswei-ler und Holzen entstehen eigenständige Standorte mit Forschungsinfrastruktur.



Weltweit einzigartige Infrastruktur im Bereich Kurzzeitdynamik

Das Fraunhofer EMI macht sich schnell einen Namen als eines der weltweit führenden Institute im Bereich der Kurzzeitdynamik. Über die Jahre werden Expertise und Technologie kontinuierlich weiterentwickelt.

395
Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter

39,3
Millionen Euro Gesamthaushalt

3
Standorte

Geschäftsfelder

Verteidigung

Sicherheit & Resilienz

Automotive

Raumfahrt

Luftfahrt

Verbünde / Leistungsbereiche

VVS **Verteidigung, Vorbeugung und Sicherheit**

MATERIALS **Werkstoffe, Bauteile**

Sprecherinstitut des
Leistungszentrums Nachhaltigkeit

Aviation & Space

Batterien

Leichtbau

Simulation

Bau

Kompetenzfeld Additive Fertigung



90er Jahre:
Öffnung für zivile Forschung

Nach Ende des kalten Krieges richtet sich das Institut neu aus. Es erschließt zivile Themen, wie Sicherheit, Automotive oder auch den baulichen Schutz: 1993 wird das EMI beauftragt, den ersten Bombenanschlag auf das World Trade Center zu rekonstruieren.



00er Jahre:
Luft- und Raumfahrt als neue Geschäftsfelder

Die kurzzeitdymamische Kompetenz überträgt das EMI auf die Felder der Luft- und Raumfahrt.

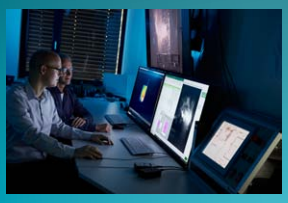
Beispielsweise führt das EMI am Columbus-Modul der Raumstation ISS eine Untersuchung zum Einschlag von Meteoriten und Weltraummüll durch.



Entwicklung Crashtest mit Röntgentechnologie

Das Fraunhofer EMI verfolgt über Jahre das Ziel, Autos beim Crashtest zu röntgen.

Zunächst können nur 8 Röntgenbilder erstellt werden. Heute erstellt die EMI-Anlage 1000 Röntgenbilder pro Sekunde.



Forschen für eine sichere Zukunft

Mit seinen Geschäftsfeldern Verteidigung, Sicherheit, Automotive, Raumfahrt und Luftfahrt hat sich das Institut konsequent darauf ausgerichtet, die Sicherheit auf dem zivilen und militärischen Sektor zu erhöhen.

Fotos: Fraunhofer EMI (10), US Department of Justice, ESA

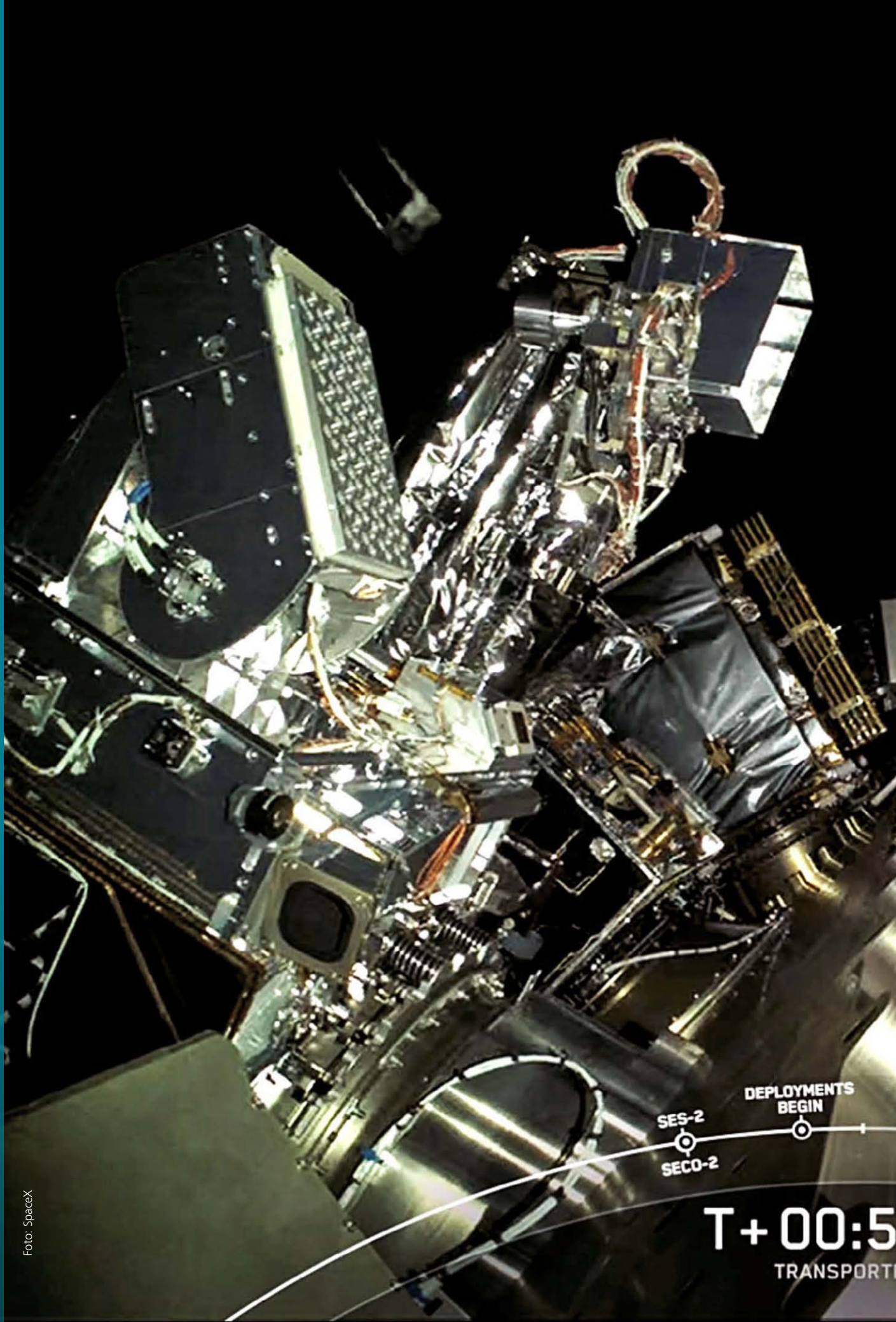


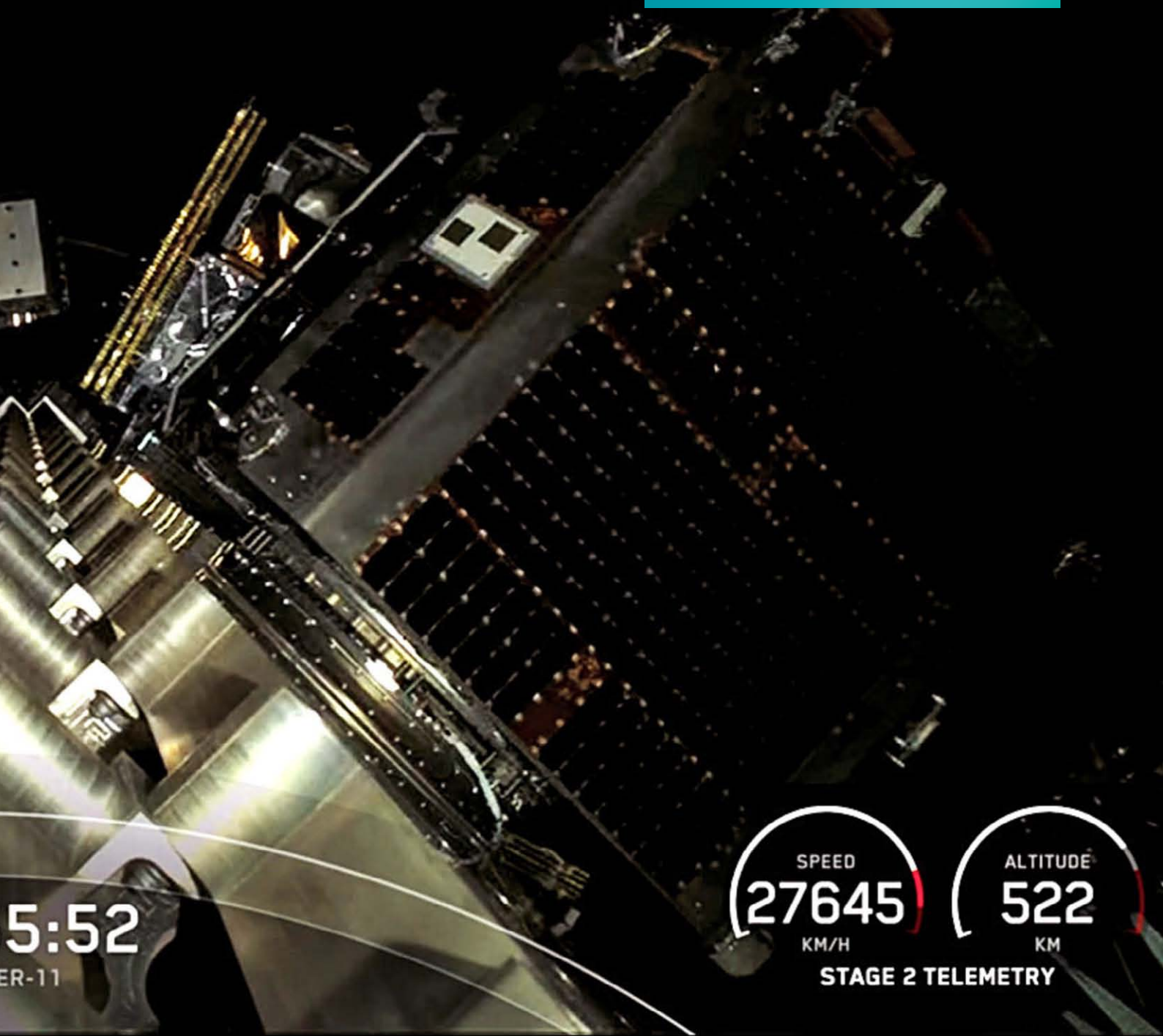
Foto: SpaceX

ERNST auf dem Weg in den Orbit

Nach mehreren Startverschiebungen ist der erste Kleinsatellit von Fraunhofer im Orbit: Am 16. August wurde ERNST von einer Falcon 9-Rakete ausgesetzt (im Bild oben links).

In der Zwischenzeit sind alle Systeme in Betrieb und ERNST ist bereit, Raketenstarts zu detektieren.

Der Satellit wurde federführend vom Fraunhofer EMI entwickelt. Viele Komponenten wurden inhouse entwickelt. Mehr zu ERNST auf den Seiten 38 und 77.



Schwerpunktthemen





Foto: Fraunhofer EMI

Schwerpunktthemen des Instituts

Das Fraunhofer EMI hat für den Zeitraum 2023 bis 2027 seine Institutsstrategie aktualisiert. In einem gemeinsamen Strategieprozess wurden sechs Schwerpunktthemen festgelegt. Diese Themen werden in besonderem Maß vom Institut gefördert.

- Batteriesicherheit
- Laser-Materie-Wechselwirkung
- Hochdynamisches Röntgen
- Ingenieurtechnisches Resilienzmanagement
- Satellitengestützte Datenerhebung und -analyse
- Menschliche Verhaltensmodelle für realistische Verkehrsprognosen

Der Jahresbericht stellt in diesem Jahr die drei verbleibenden Themen vor. Die ersten drei Themen sind im vorigen Jahresbericht dargestellt.

← **Laser-Materie-Wechselwirkung**
Das Fraunhofer EMI betreibt Labore, die Effekte intensiver Laserstrahlung mit modernster Hochgeschwindigkeitsmesstechnik wissenschaftlich analysieren.

SCHWERPUNKTTHEMA Ingenieurtechnisches Resilienzmanagement



Ingenieurtechnisches Resilienzmanagement



Wie technische Resilienz unsere Sicherheit stärkt

Naturkatastrophen, Kriminalität, Terroranschläge – diese Phänomene haben eine Gemeinsamkeit: ihr Eintritt lässt sich weder komplett verhindern, noch in vielen Fällen präzise vorhersagen.

Dort, wo klassische Gefahrenabwehr und Prävention an Grenzen stößt, wird die Notwendigkeit für das Prinzip der Resilienz offensichtlich.

Foto: Eduardo / stock.adobe.com

Krisen erkennen, meistern und daraus lernen

Das Fraunhofer EMI analysiert sozio-technische Systeme: kritische Infrastrukturen, urbane Räume, industrielle Prozesse und gekoppelte Netzwerke mit zahlreichen Modellierungsansätzen.
Die Modelle werden in Softwareanwendungen implementiert. Das Institut untersucht das Systemverhalten bei Störungen. Es kann dadurch Schwachstellen identifizieren und entwickelt Lösungen zur Messung und Steigerung der Resilienz.



Abbildung, Modellierung und Simulation komplexer Systeme.

Modelle für komplexe sozio-technische Systeme

Wie können soziale Systemkomponenten in die Modellbildung integriert werden? Das Institut untersucht, wie gut verschiedene technische und gesellschaftliche Systeme Krisen überstehen. Dafür werden zum Beispiel einzelne Prozesse, Gebäude oder sogar ganze Städte und Regionen analysiert. Das Ziel ist, alle wichtigen Teile und Komponenten des Systems zu identifizieren und zu verstehen, wie sie zusammenarbeiten. Dabei werden technische, personelle, ökonomische und organisatorische Aspekte berücksichtigt. Soziale Systemkomponenten werden in der Modellierung systematisch mit spezifischen stochastischen Eigenschaften erfasst und analog zu technischen Komponenten in die Modellbildung mit aufgenommen.

Effizienzanalysen von Resilienzmaßnahmen

Wie effektiv können einzelne Maßnahmen das Maß an Resilienz erhöhen? Quantitative Modelle ermöglichen eine Charakterisierung einzelner Resilienzphasen, -dimensionen und -eigenschaften:

Basierend auf diesem multivariaten Konzept werden am Fraunhofer EMI verschiedenste Systeme analysiert. Beispiele sind Gebäude, urbane Gebiete, Infrastruktursysteme oder industrielle Prozesse. Die Gegenüberstellung verschiedener Maßnahmen ermöglicht eine Bewertung der Effizienz.

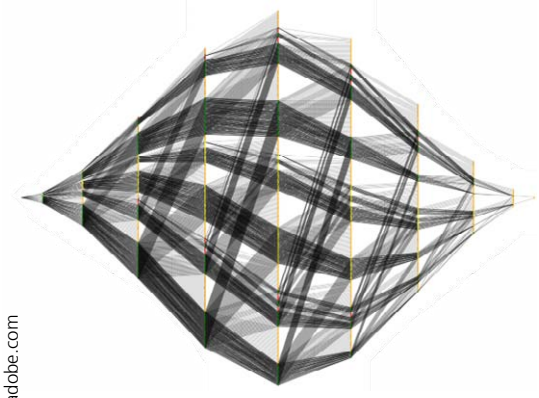
Multivariates Konzept

Resilienz-Phasen:
Vorbereitung, Prävention, Schutz, Reaktionsschnelligkeit, Wiederherstellung

Resilienz-Dimensionen:
Technisch, Organisatorisch, Personell, Ökonomisch

Resilienz-Eigenschaften:
Robustheit, Redundanz, Schnelligkeit, Ressourcen

Materialien und Strukturen resilienter gestalten: Mit einer der weltweit größten Stoßrohranlagen können Stoßwellenbelastungen infolge von Sprengstoff- und Gasexplosionen simuliert werden und liefern einen Beitrag zur Robustheitsanalyse von Bauwerken.



Visualisierung möglicher Zustände im Markov-Modell.

Stochastische Modellierung

Wie kann mit stochastischer Modellierung die Sicherheit des autonomen Fahrens bewertet werden? Die Bewertung automatisierter Fahrfunktionen unter Berücksichtigung aller Szenarien, Umweltbedingungen und Verkehrsteilnehmer ist äußerst anspruchsvoll. Das Fraunhofer EMI nutzt statistische Modelle zur Analyse von Ausfallraten. Mithilfe der Markov-Modellierung werden Zuverlässigkeitsaussagen zum Fahrzeug und seinen Teilfunktionen abgeleitet, wobei Umweltbedingungen, Fahrsituationen und Sensor-Ausfallraten berücksichtigt werden.

Gekoppelte Netzwerkanalysen

Wie resilient ist eine Kommune gegen einen Stromausfall? Die systematische Erfassung von Systemkomponenten und ihren Abhängigkeiten erfolgt durch deren Darstellung in einer Netzwerkstruktur. Die Knoten repräsentieren relevante Komponenten (z. B. Personal, Maschinen), während die Kanten deren physische und logische Verbindungen abbilden. Das Fraunhofer EMI nutzt die Netzwerkanalyse, um die Resilienz kritischer Infrastrukturen zu untersuchen und Kaskadeneffekte zwischen Sektoren zu identifizieren, etwa die Auswirkungen eines Stromausfalls auf Krankenhäuser.



Verständnisaufbau von Abhängigkeiten verschiedener Netze.

Foto: safu designe/stock.adobe.com, Fraunhofer EMI (2), panu101/stock.adobe.com

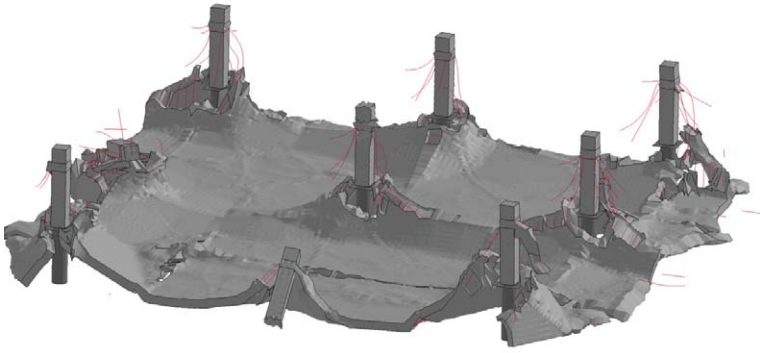
Agentenbasierte Simulationen

Wie kann das Bewegungsverhalten von Personen oder Personenströmen simulativ abgebildet werden? Die agentenbasierte Simulation zeichnet sich durch ihre Fähigkeit aus, das Verhalten individueller Akteure innerhalb eines Systems zu modellieren und deren Interaktionen in dynamischen Umgebungen zu analysieren.

Solche Verhaltensaspekte integriert das Fraunhofer EMI in die sozio-technische Modellentwicklung und nutzt diese Informationen, um zeitliche Entwicklungen in Netzwerkanalysen zu steuern. Zudem hat das EMI eine agentenbasierte Simulation entwickelt, welche die Bewegung von Personen in Gebäuden und auf offenen Flächen, wie z. B. auf Veranstaltungen, simuliert. Dadurch können detaillierte Aspekte der menschlichen Systemkomponenten in sozio-technischen Systemen betrachtet werden.



Simulation von Bewegungsverhalten: Im Vorfeld des Juicy-Beats-Festival 2024 wurde die Veranstaltungssicherheit mit Methoden von Fraunhofer EMI ausgelegt.



Kollapsverhalten eines Gebäudeabschnitts: numerische Simulation des Versagens eines tragenden Elements.

Robustheitsanalysen von Bauwerken

Wie lässt sich der Gebäudeschutz vor außergewöhnlichen Belastungen erhöhen? Außergewöhnliche Belastungen, wie beispielsweise Explosionen oder Extremwetter, beanspruchen Bauwerke und sind oftmals in der Planung nicht berücksichtigt. Das Geschäftsfeld Sicherheit und Resilienz besitzt die Expertise, um solche Belastungen und deren Auswirkungen zu charakterisieren. Ingenieurmethoden oder numerische Simulationen, welche mit Versuchseinrichtungen am Fraunhofer EMI validiert werden, bilden die Bemessungsgrundlage. Systematisch werden die Gefährdung, mögliche Schäden und Schutzmaßnahmen charakterisiert. Die Methoden bilden die Grundlage zur Bewertung der Robustheit. Beispiele sind der Schutz von Liegenschaften vor terroristischen Angriffen, der Explosionsschutz auf Werksgeländen oder die Bewertung von Schutzmaßnahmen gegen Starkwind- und Flutereignisse.

Fotos: Juicy Beats Festival / Jonas Diener, Fraunhofer EMI (2)

Anwendungsfelder

Industrie

Bewertung kritischer Prozesse,
Status-Quo Resilienz,
Business Resilience Management

Kritische Infrastrukturen

Netzwerkanalysen,
Kaskadeneffekte

Kommunale Resilienz

Identifizierung von Schwachstellen,
Entscheidungsunterstützung,
Beitrag Katastrophenschutz

Gebäudesicherheit

Bewertung außergewöhnlicher Belastung, Robustheitsanalyse, Resilienzsteigerung

Urbane Sicherheit

Schutz von öffentlichen Plätzen / Veranstaltungen, Personenstromanalysen, Sichtbarkeitsanalsyen

Spezialanwendungen

Übertragung der Methoden auf Anwendungsfelder (autonomes Fahren, Verteidigung, Satellitennetzwerke)

Aktuelle Forschung dazu am EMI

Resilienzanalysen für Kommunen mittels Datenraumfunktionalitäten (HERAKLION)

Resilienzerhöhung von Staat und Verwaltung durch kontinuierliche Verbesserung (RESKON)

Resilienzmanagement für die Stadt (FR Resist)

Resilienz als Beitrag zur Cybersicherheit und Business Continuity Management (DYNAMO)

Resiliente Stromversorgung für die Energiewende (Resist)

Nachhaltige Beiträge zur Steigerung der Resilienz (NBS Infra)

Nachhaltigkeit und Resilienz von kritischen Infrastrukturen und Logistikketten (SARIL)

Robuste Abschätzung von möglichen Zuständen im Bereich des autonomen Fahrens (RDV)

Schwerpunkt Ingenieurtechnisches Resilienzmanagement

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



Satellitengestützte Datenerhebung und -analyse



Forschung für innovative Satellitenanwendungen

Das Fraunhofer EMI entwickelt Technologien und Methoden für Kleinsatelliten, von der Nutzlastentwicklung über die Missionsdurchführung bis zum Datenprodukt. An der Schnittstelle zwischen New Space und etablierter Raumfahrt entstehen neue Ansätze für Missionskonzepte in Erdbeobachtung und Wissenschaft.

Im Bild: Aufbau eines »Flatsat« zum Systemtest einer optischen Nutzlast für Kleinsatelliten.

Foto: Fraunhofer EMI



Den Planeten im Blick – für eine nachhaltige und sichere Zukunft

Erdbeobachtung liefert signifikante Beiträge zur Lösung globaler Probleme in den Bereichen Sicherheit, Umweltschutz, Klimawandelfolgen, sowie neue Ansätze für Landwirtschaft, urbane Entwicklung, Katastrophenmanagement, Logistik und Verteidigung.

Das Fraunhofer EMI legt den Fokus auf Forschung und Technologieentwicklung zur Gewinnung und Echtzeit-Verarbeitung von Erdbeobachtungsdaten auf Satelliten.



Ingenieursqualifikationsmodell des 12U CubeSat ERNST.

Wissenschaftliche Kameranutzlasten für Infrarotaufnahmen

Wie ermöglichen Kleinsatelliten neue Geschäftsmodelle in der Erdbeobachtung? Das Fraunhofer EMI entwickelt Infrarotkameras für Kleinsatelliten nach dem New-Space-Ansatz. Unter dem Motto »Validierung statt Zertifizierung« entstehen kosteneffiziente Nutzlasten mit kommerziellen Komponenten. Diese sollen in Kleinsatellitenkonstellationen präzise Infrarotdaten mit hoher Wiederholrate liefern. Ausgehend von einer Pilotmission mit einem Thermalinfrarot-Imager auf der ISS baut das EMI-Spin-Off constellr eine eigene Kleinsatellitenkonstellation auf, deren Oberflächentemperaturdaten dringende Probleme wie das Wassermanagement in der Landwirtschaft lösen sollen.

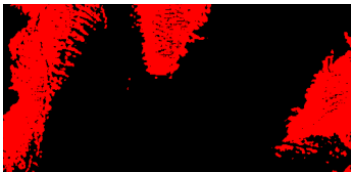
Vielfältige Weltraumanwendungen: Installation einer kompakten Thermalinfrarotnutzlast für den Betrieb an Bord der ISS

Datenverarbeitungssysteme auf Basis leistungsstarker FPGAs



Welchen Unterschied erbringen kommerzielle FPGA-Module bei der Onboard-Datenverarbeitung? Das Fraunhofer EMI integriert kommerzielle FPGA-SoC-Hardware in System-On-Module-Konzepte für leistungsstarke bordseitige Datenverarbeitung. Moderne FPGAs minimieren Engpässe in der Downlink-Kapazität und ermöglichen die Analyse von Nutzlastdaten bereits an Bord, etwa durch künstliche Intelligenz. Die Systeme passen sich den speziellen Bedürfnissen der Nutzlast an und erfüllen Zuverlässigkeitsanforderungen durch redundante Auslegung.





Wolken mit KI erkennen: von Kleinsatellit ERNST aufgenommenes Realbild.

KI-Methoden zur Onboard-Datenanalyse und automatisierten Anomalieerkennung

Wie kann künstliche Intelligenz in Satelliten die Datenerfassung effizienter machen? Maschinelles Lernen ermöglicht die Analyse relevanter Erdbeobachtungsziele direkt an Bord. Immer mehr Satelliten und leistungsstärkere Nutzlasten erzeugen eine wachsende Menge an Rohdaten, die über Bodenstationen übertragen werden. Eine schnelle, automatisierte Analyse an Bord erlaubt die Erkennung relevanter Ziele und das Aussortieren irrelevanter Daten, etwa durch Wolkenbedeckung. So reduziert sich die Datenmenge für den Downlink, und die Erdbeobachtungsaufgaben werden effizienter.

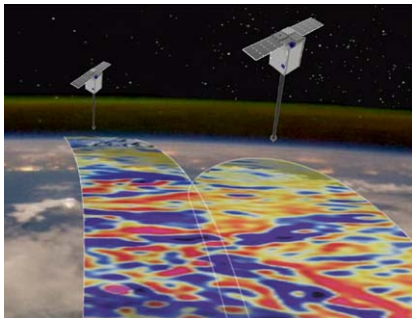
Fotos: Fraunhofer EMI (5)

Superresolution für Thermalinfrarot-Aufnahmen

Wie kann die Auflösung von Erdbeobachtungsaufnahmen trotz physikalischer Einschränkungen erhöht werden? Superresolution rekonstruiert aus Aufnahmen niedriger Auflösung Bilder höherer Qualität. Dazu kombiniert man mehrere Aufnahmen oder setzt Deep-Learning-Modelle ein. Letztere nutzen zusätzliche Trainingsdaten zur Merkmalsdetektion und -extraktion, um passende Parameter für das Resampling zu ermitteln. Das Fraunhofer EMI untersucht Superresolution-Methoden speziell für die Kombination von Erdbeobachtungsdaten verschiedener Satelliten mit unterschiedlichen Auflösungen.



Auflösung erhöhen: Anwendung von Superresolution-Methoden am Beispiel von landwirtschaftlichen Nutzflächen.



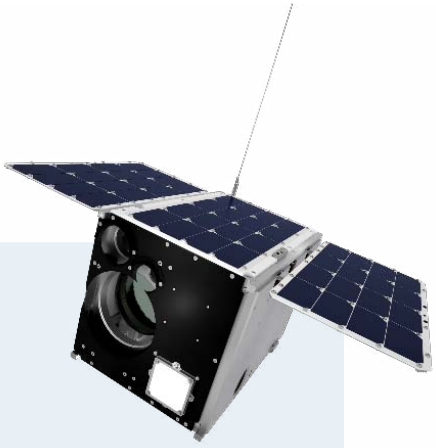
Kleinsatelliten ermöglichen kosteneffiziente Technologie-Demonstrationen: das Fraunhofer EMI begleitet den gesamten Entwicklungsprozess

Durchführung von Erdbeobachtungsmissionen mit Kleinsatelliten

Wie können neue Technologien und Missionskonzepte schnell im Orbit erprobt werden? Kleinsatellitenmissionen sind dank ihrer schnellen und kosteneffizienten Umsetzung Schlüssel zur Demonstration neuer Technologien im Orbit. Sie schaffen neue Anwendungsmöglichkeiten, für die die Kostenschwelle etablierter Systeme zu hoch ist. Ein rasches Marktwachstum und hohes Innovationspotenzial im Bereich der Kleinsatellitenkonstellation treiben den Takt voran. Das Fraunhofer EMI steht als Partner bereit, um neue Konzepte von der Skizze über Design, Implementierung und Tests bis zum Betrieb zu realisieren.

ERNST: Die erste komplett von Fraunhofer entwickelte Satellitenmission

ERNST ist ein 12U CubeSat. Er ist die erste komplett von Fraunhofer entwickelte Satellitenmission und zugleich der erste Kleinsatellit für die Bundeswehr. ERNST soll das Potenzial kostengünstiger Kleinsatelliten für Verteidigungsaufgaben demonstrieren. Er erprobt Technologien zur Raketendetektion aus dem niedrigen Erdorbit. Eine kryogekühlte Infrarotkamera, eine generativ designte optische Bank und ein Bremssegel zur Müllvermeidung sind Designhighlights.



Kleinsatellit ERNST: Der 12-Unit-CubeSat ERNST startete im August 2024 seine Mission in einer sonnensynchronen Umlaufbahn mit einem multispektralen Infrarotkamerasystem



Aktuelle Forschung dazu am EMI

Satellitenbetrieb
Betrieb des Satelliten ERNST und Erfassung von Daten für die erdnahe Frühwarnung

Datenprozessierungseinheiten
Kontinuierliche Weiterentwicklung, z. B. für die Satelliten von constellr

Demonstratoren für den niedrigen Orbit
Entwicklung von Systemdemonstratoren für den sehr niedrigen Erdorbit

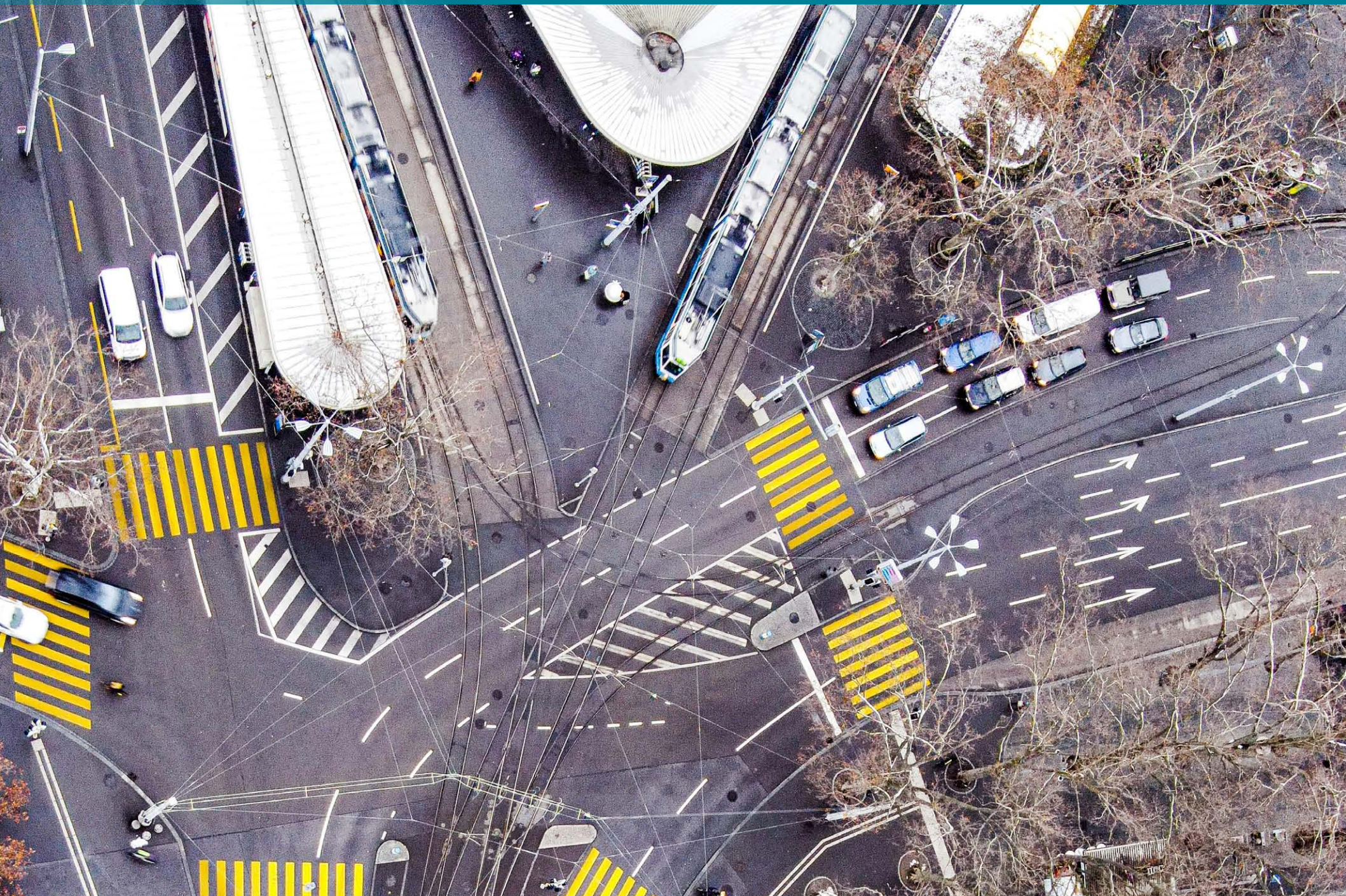
NeT Pioneer
Testmethoden und Prozeduren für den New Space

Satellitengestützte Datenerhebung und -analyse

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



Fotos: Fraunhofer EMI (5)



Menschliche Verhaltensmodelle für realistische Verkehrsprognosen



Sicherheit für alle Verkehrsteilnehmer

Die Sicherheit des Straßenverkehrs wird durch fortschreitende Automatisierung und multimodale Verkehrskonzepte maßgeblich beeinflusst. Das Fraunhofer EMI entwickelt Algorithmen, um kritische Verkehrssituationen der Zukunft präzise zu analysieren.

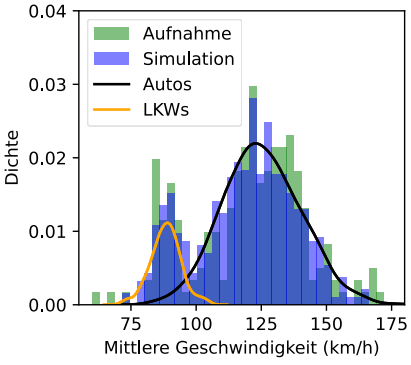
Im Bild: Verkehr am Bellevueplatz in Zürich

Foto: Patrick Federi /unsplash.com

Verkehr verstehen und vorhersagen

Automatisierung und multimodale Konzepte revolutionieren den Straßenverkehr. Das macht die Entwicklung und Erprobung neuer Funktionen zunehmend anspruchsvoller.

Deshalb setzt das Fraunhofer EMI auf agentenbasierte Simulationen, die realistische Verkehrssituationen nachbilden. Der Schwerpunkt liegt dabei auf der detaillierten Simulation kritischer Verkehrsszenarien.



Optimierte Geschwindigkeitsverteilungen aus Luftbildaufnahmen des Fraunhofer IOSB.

Datenbasierte Optimierung von Verhaltensmodellen

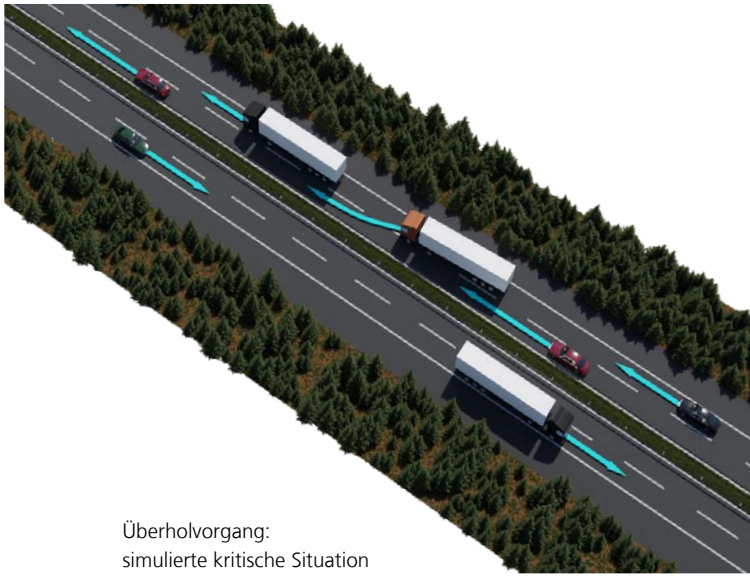
Wie lassen sich realitätsnähere Verkehrssimulationen erzeugen? Für die mikroskopische Verkehrsflusssimulation werden häufig agentenbasierte Modelle verwendet, bei denen Fahrzeuge in Agentenklassen wie PKW oder LKW eingeteilt werden. Jedem Fahrzeug werden Verhaltensparameter zugewiesen, die aus statistischen Verteilungen der jeweiligen Agentenklasse gezogen werden. Die Parameterwerte dieser Verteilungen sind vor der Simulation festzulegen.
Das EMI hat eine Methode entwickelt, um optimale Parameterwerte der Verhaltensmodelle durch numerische Optimierung auf Basis von Verkehrsdaten zu bestimmen. Ziel ist eine realistische Simulation, die statistische Verkehrsgrößen abbildet.

Fotos: Fraunhofer EMI (3)

Komplexe Verkehrssituationen analysieren: Das Fraunhofer EMI entwickelt Algorithmen um kritische Verkehrssituationen zu erfassen.

Kritische Verkehrssituationen identifizieren

Wie erkennt man sicherheitskritische Situationen im Straßenverkehr? Ein entscheidendes Merkmal realistischer Verkehrsflusssimulation ist die Abbildbarkeit kritischer Situationen durch die integrierten Verhaltensmodelle – von potenziellen Gefahrensituationen bis hin zu tatsächlichen Unfällen – in statistisch vergleichbarer Weise zu real aufgenommenem Verkehr. Um diese Aspekte in der Simulation zu berücksichtigen, müssen die verwendeten Verhaltensmodelle in der Lage sein, kritische Situationen abzubilden. Zudem ist es erforderlich, dass ausreichend Daten zu kritischen Situationen im Straßenverkehr vorliegen. Die Analyse und Bewertung der Kritikalität von Fahrszenarien in vorhandenen sowie zukünftig aufgenommenen Daten stellen daher zentrale Herausforderungen bei der Umsetzung realistischer Simulationen dar. Das Fraunhofer EMI stellt sich diesen und entwickelt Bewertungsalgorithmen zur automatisierten Identifikation kritischer Fahrszenarien in unterschiedlich komplexen Verkehrsumgebungen.



Überholvorgang:
simulierte kritische Situation

Großveranstaltungen: Mit Datenanalyse und Simulationen den Überblick behalten

Wie lassen sich Besucherströme bei Großveranstaltungen besser analysieren und steuern?

Das Fraunhofer EMI hat gemeinsam mit dem Fraunhofer IOSB das diesjährige Juicy Beats Festival in Dortmund begleitet. Die Institute erstellten eine 3D-Rekonstruktion des Geländes und führten darauf basierend Sichtbarkeitsberechnungen durch.

Mithilfe von Videoaufzeichnungen der Besucher und Zustromdaten des Veranstalters simulierten sie den Personenstrom.



Fraunhofer EMI und IOSB begleiteten das Juicy Beats Festival 2024 im Dortmunder Westfalenpark.



Das Fraunhofer EMI nutzt KI-Methoden wie Reinforcement Learning, um Verhaltensmodelle für gefährdete Verkehrsteilnehmer zu entwickeln.

Verhaltensmodelle für Fußgänger und Radfahrer

Wie können Verhaltensmodelle die Sicherheit von Fußgängern und Radfahrern in Verkehrssimulationen verbessern?

Fußgänger und Radfahrer zählen zu den gefährdeten Verkehrsteilnehmern, die in aktuellen Verkehrssimulationen nur unzureichend berücksichtigt werden. Das Fraunhofer EMI entwickelt Verhaltensmodelle für diese Gruppe, basierend auf Personenstromsimulationen bei Großveranstaltungen. Dabei kommen KI-Methoden wie Reinforcement Learning zum Einsatz, um virtuellen Fußgängern das sichere Überqueren von Straßen beizubringen.

Fotos: Photographee.eu / stock.adobe.com, inD-Dataset / levelxdata.com, Fraunhofer EMI



Algorithmen für realistische Risikoeinschätzungen:
Um Unfälle zu vermeiden und autonomes Fahren zu verbessern, simulieren Forscher Fußgängerverhalten. Das Fraunhofer EMI hat dafür einen erweiterten Algorithmus entwickelt. Er bezieht Risikobereiche an Kreuzungen mit ein. Dadurch lassen sich realistischere Verkehrsvorhersagen treffen.

Aktuelle Forschung dazu am EMI

VRU-Verhaltensmodelle

Verhalten von Vulnerable Road Users (VRU) in normalen aber auch kritischen Situationen.

Datengenerierung

Konzepte zur Erfassung kritischer Szenarien im innerstädtischen Verkehr

Neue Simulationsmethoden

Erweiterung von klassischen Simulationsimplementierungen mit generativen Ansätzen, beispielsweise Reinforcement Learning

Schwerpunkt Menschliche Verhaltensmodelle für realistische Verkehrsprognosen

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





Foto: Fraunhofer EMI

Geschäftsfelder am Fraunhofer EMI

Verteidigung

Sicherheit & Resilienz

Automotive

Raumfahrt

Luftfahrt

← **Sicherheit von Batteriesystemen erhöhen**
Am Standort Efringen-Kirchen können umfangreiche Tests zur Batterieprüfung durchgeführt werden. Sie sind eng verknüpft mit begleitenden Simulationen.



Geschäftsfeld Verteidigung



Wirkung und Schutz für die Bundeswehr

Die Bundeswehr benötigt zukunftsfähige Systeme für Land, Luft, See und Cyberraum. Daher forscht das Fraunhofer EMI an wissenschaftlich-technologischen Fragen aus den Bereichen Wirkung und Schutz sowie wehrtechnischer Sicherheit und Systeme.

Im Bereich der Marine forscht das Fraunhofer EMI aktuell an Unterwasser-Detonationen. Dazu entwickelt das Institut Algorithmen und Simulationen, um kritische maritime Infrastruktur besser zu schützen

Im Bild: Der Einsatzgruppenversorger »Frankfurt am Main« und die Fregatte »Baden-Württemberg« im Rahmen des Indo-Pacific Deployment 2024.

Foto: Bundeswehr / Nico Theska



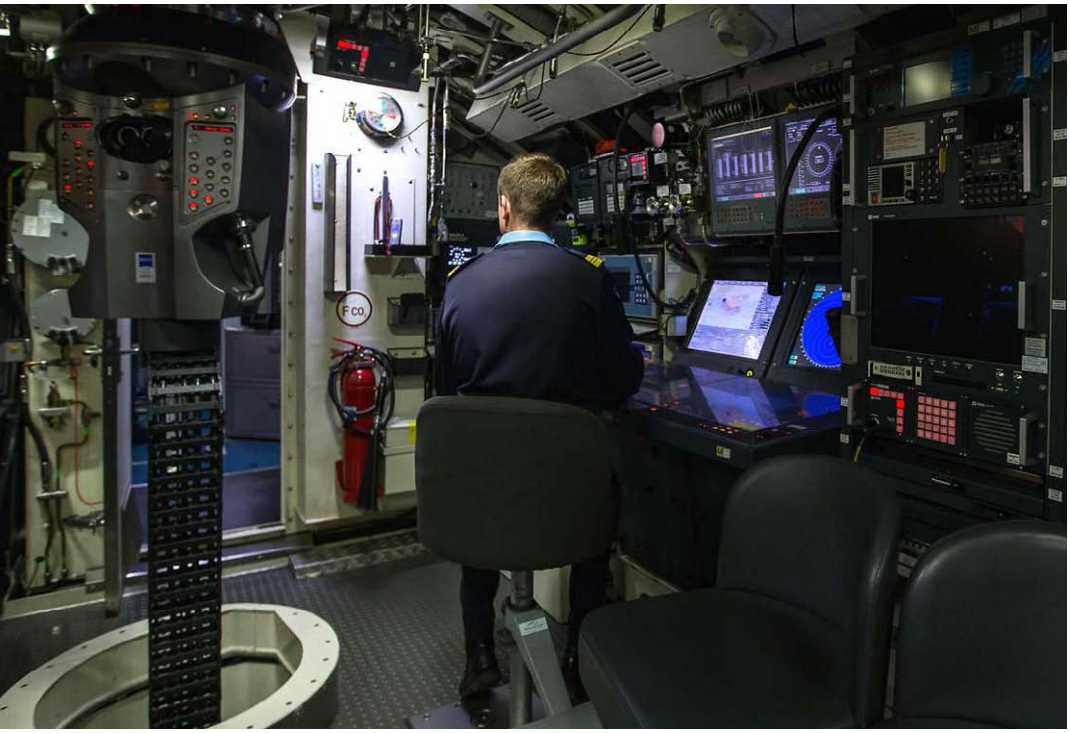
Europa gemeinsam verteidigen

Refokussierung der Bundeswehr auf Landes- und Bündnisverteidigung: In enger Zusammenarbeit mit EU-Armeen und Nato-Bündnispartnern entstehen durch den Austausch von Spezialwissen innovative Lösungen, die die europäische Verteidigungsfähigkeit nachhaltig stärken.
Im Bild: Bundeswehr beim NATO-Manöver »Quadriga 2024« in Litauen.

Die Sicherheitslage in Europa hat sich in den vergangenen Jahren drastisch verändert – und mit ihr die Bedeutung gemeinsamer Verteidigungsforschung. Der Europäische Verteidigungsfonds (EDF) spielt dabei eine zentrale Rolle.

Doch wie wird sich dieses Förderinstrument weiterentwickeln?
Welche Chancen bietet es für Deutschland und Europa?
Und welche Hürden gibt es?

Prof. Dr. Werner Riedel, Chief Scientist Defense am EMI und Experte für zivile und militärische Sicherheitsforschung auf EU-Ebene, spricht über die Zukunft des EDF, internationale Kooperationen und die Herausforderungen für Forschung und Industrie.



Zentrale eines U-Boots der Klasse 212A. Die beliebte und effiziente U-Boot-Klasse ist ein Beispiel für gelungene Zusammenarbeit auf EU-Ebene.

Herr Prof. Riedel, Sie begleiten seit über 15 Jahren die zivile Sicherheitsforschung auf EU-Ebene. Wie wird sich Ihrer Meinung nach der Europäische Verteidigungsfonds (EDF) entwickeln?

Ich bin sicher, der EDF wird bleiben. Zwar diskutiert man derzeit über seine Verlängerung, doch seine Notwendigkeit steht außer Frage. Ich rechne damit, dass er nicht nur mittelfristig, sondern langfristig fortgeführt wird. Die Balance zwischen europäischer und nationaler Verteidigungsforschung wird sich erst über Jahre hinweg einspielen – das ist ein langwieriger Prozess.
Eines ist jedoch klar: Wer allein auf nationale Forschungsstrukturen setzt, wird es zunehmend schwerer haben. Wer die Chancen des EDF nicht nutzt und sich nicht international vernetzt, verliert wertvolles Potenzial. Europa kann im Verteidigungsbereich nur bestehen, wenn Innovationen auch aus gemeinsamen Programmen entstehen und nicht jeder Staat nur eigene Systeme entwickelt.

Können Sie ein Beispiel nennen?

Ein eindrucksvolles Beispiel sind die U-Boote der Klasse 212A, die ThyssenKrupp Marine Systems (TKMS) und Fincantieri schon seit über 20 Jahren gemeinsam weiterentwickeln und bauen. Diese Boote genießen weltweit hohes Ansehen und sind äußerst wettbewerbsfähig.

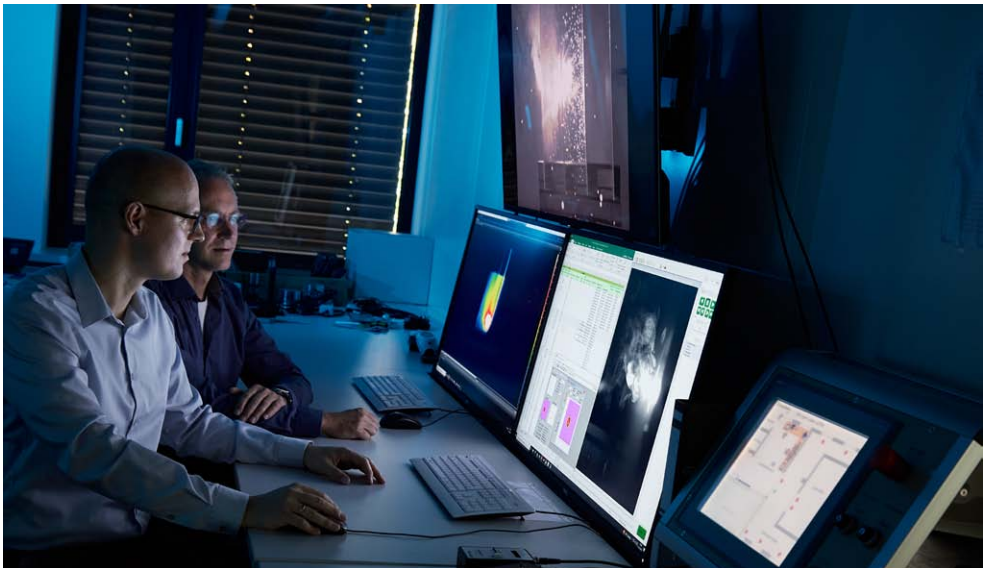
Ein weiteres Beispiel ist Airbus Defence and Space. Während Airbus im zivilen Luftfahrtsektor als europäischer Marktführer etabliert ist, gibt es im militärischen Bereich teilweise noch Nachholbedarf. Mit Unterstützung des EDF könnten hier neue europäische Erfolgsgeschichten entstehen, auch für kleinteiligere Innovationen.

Neben den positiven Aspekten gibt es auch Kritik an EU-Forschungsprogrammen, etwa wegen des hohen bürokratischen Aufwands und der geringen Erfolgsquote bei Förderanträgen.

Ja, diese Kritik ist berechtigt. Besonders in der Sicherheitsforschung zeigt sich das Problem seit Jahren. Förderquoten von bis zu 1:40 sind keine Seltenheit – das heißt, 39 von 40 Anträgen werden abgelehnt. Angesichts des enormen Aufwands, der in jeden Antrag fließt, stellt sich die Frage, ob man hier noch von Förderung sprechen kann. Oft verhindert dieses System Forschung, weil die Zeit besser in produktive wissenschaftliche Arbeit investiert wäre. Eine einfache Lösung gibt es nicht – das Problem liegt in der Struktur der europäischen Forschungsförderung und muss dringend überdacht werden.

Im zivilen Bereich hat die deutsche Bundesregierung Kontaktstellen eingerichtet, um Antragsteller

Fotos: Bundeswehr / Marco Dorow, Bundeswehr / Jane Schmidt



Militärforschung für neue Anwendungen: Das Fraunhofer EMI verfügt über Labore, in denen intensive Laserstrahlung mit modernster Hochgeschwindigkeits-Messtechnik wissenschaftlich analysiert wird. So können Laseranwendungen der Zukunft entwickelt werden.

zu unterstützen. Gibt es das auch im Verteidigungsbereich?

Ja, und die Erfahrungen mit der nationalen Kontaktstelle für den EDF sind ausgezeichnet. Sie ist gut erreichbar, hochkompetent und bietet effektive Unterstützung. Ich empfehle unseren Wissenschaftlern regelmäßig, sich dorthin zu wenden, besonders bei Spezialfragen.

Die Zusammenarbeit mit europäischen Partnern ist ein zentraler Bestandteil der EU-Programme. Kommt es dabei nicht oft zu Geheimhaltungskonflikten? Funktioniert das mit allen Ländern gleichermaßen gut?

Ich würde das nicht an einzelnen Ländern festmachen. Industrie und Politik müssen selbst entscheiden, wie weit sie in der Zusammenarbeit gehen wollen. Aus der Sicherheitsforschung bei Fraunhofer weiß ich, dass die Probleme oft geringer sind, als man denkt. Jeder Partner bringt spezifische Teilbeiträge zu einem großen Gesamtprojekt ein, deren Zuschnitt und Nutzung er vertraglich mit aushandelt. Im Gegenzug erhält man wertvolle Einblicke, die national oft nicht zugänglich wären.
Ein Beispiel ist die Zusammenarbeit mit osteuropäischen Partnern im EDF. Länder wie Polen oder die baltischen Staaten haben ein tiefes Verständnis der russischen Militärtechnik. Der Austausch mit ihnen eröffnet Einblicke, die rein nationale Forschung auf Arbeitsebene nicht so leicht bieten könnte.

»Europa kann im Verteidigungsbereich nur bestehen, wenn Innovationen auch aus gemeinsamen Programmen entstehen und nicht jeder Staat nur eigene Systeme entwickelt.«



Prof. Dr. Werner Riedel, Fraunhofer EMI

Deutsche Unternehmen haben sich lange kaum an der zivilen Sicherheitsforschung beteiligt. Südeuropäische Akteure dominieren den Bereich. Wie steht es um Deutschlands Beteiligung am EDF?

Leider sehe ich hier noch große Defizite. Südeuropäische und kleinere Länder haben den EDF und seine Vorgängerprogramme strategisch früh genutzt, während Deutschland spät eingestiegen ist. Ein Grund dafür ist unsere komplexe Struktur: Vom Ministerium über die Bundeswehr, BAAINBw, wehrtechnischen Dienststellen, bis zur Industrie und Forschung gibt es viele Akteure. Der Informationsfluss zwischen ihnen ist oft zu indirekt und langsam.
Im Fraunhofer-Leistungsbereich Verteidigung, Vorbeugung und Sicherheit (VVS) arbeiten wir aktiv daran, diesen Nachteil auszugleichen. Wir suchen gezielt den Kontakt mit der Amtsseite, um strategisch

Fotos: Fraunhofer EMI (2)

besser aufgestellt zu sein. Auch von dort spüren wir starke Bemühungen, als Deutschland besser zu werden.

Ein weiteres drängendes Thema ist der Fachkräftemangel im Ingenieurwesen. Betrifft das auch die Verteidigungsforschung?

Ja, absolut. Ich sehe viele hochqualifizierte Fachkräfte aus der EU, die großes Interesse daran haben, an Instituten wie dem Fraunhofer EMI oder im Leistungsbereich VVS zu arbeiten. Unsere Institute sind international attraktiv, und das spiegelt sich in unseren Teams wider – diese sind heute viel internationaler als in den 1990er-Jahren, als ich hier einstieg.

Zudem habe ich weltweit mit europäischen Top-Talenten zusammengearbeitet, die an renommierten wissenschaftlichen Institutionen tätig sind. Das gibt mir Zuversicht, dass Deutschland als Wissenschafts- und Innovationsstandort weiterhin Fachkräfte anziehen wird und wir damit ein gutes Stück weit die alternde Gesellschaft kompensieren können.

In Deutschland gibt es an vielen Hochschulen Zivilklauseln, die Forschung mit Verteidigungsbezug einschränken. Hemmt das die Innovationskraft?

Die Zivilklauseln bröckeln vielerorts bereits. Ich erlebe bei Vernetzungsveranstaltungen immer wieder Forscher, die sich früher von der Verteidigungsforschung ferngehalten haben, nun aber aktiv werden wollen. Die veränderte sicherheitspolitische Lage hat hier Hemmschwellen abgebaut.
Ich sehe daher keine gravierende Einschränkung der Innovationskraft. Absolventen aus Physik, Elektrotechnik oder Maschinenbau kommen mit einer exzellenten Ausbildung zu uns – unabhängig davon, ob ihre Universität eine Zivilklausel hat oder nicht. Sie bringen die nötigen Grundlagen mit und können sich schnell in die Verteidigungsforschung einarbeiten.

Das Gespräch führte Daniel Hiller, Geschäftsfeldleiter Verteidigung am Fraunhofer EMI

»Wer allein auf nationale Forschungsstrukturen setzt, wird es zunehmend schwerer haben. Wer die Chancen des EDF nicht nutzt und sich nicht international vernetzt, verliert wertvolles Potenzial.«

European Defense Fund (EDF)

Gegründet: 2017
Initiator: Europäische Kommission
Ziel: Förderung der Zusammenarbeit im Bereich Verteidigungsforschung und -entwicklung innerhalb der EU
Budget: 8 Milliarden Euro für den Zeitraum 2021–2027

Leistungsangebot

- **Konzeption und Analyse von Schutzmechanismen**
- **Numerische Simulation von Impakt- und Stoßwellenereignissen**
- **Materialcharakterisierung und Versagensanalyse**
- **Sensorik und Elektronik für extreme Bedingungen, Kurzzeitmesstechnik**
- **Analysen zu Sicherheit und Zuverlässigkeit wehrtechnischer Systeme**

Kleinsatellit ERNST: erste Bilddaten der Thermalinfrarotkamera

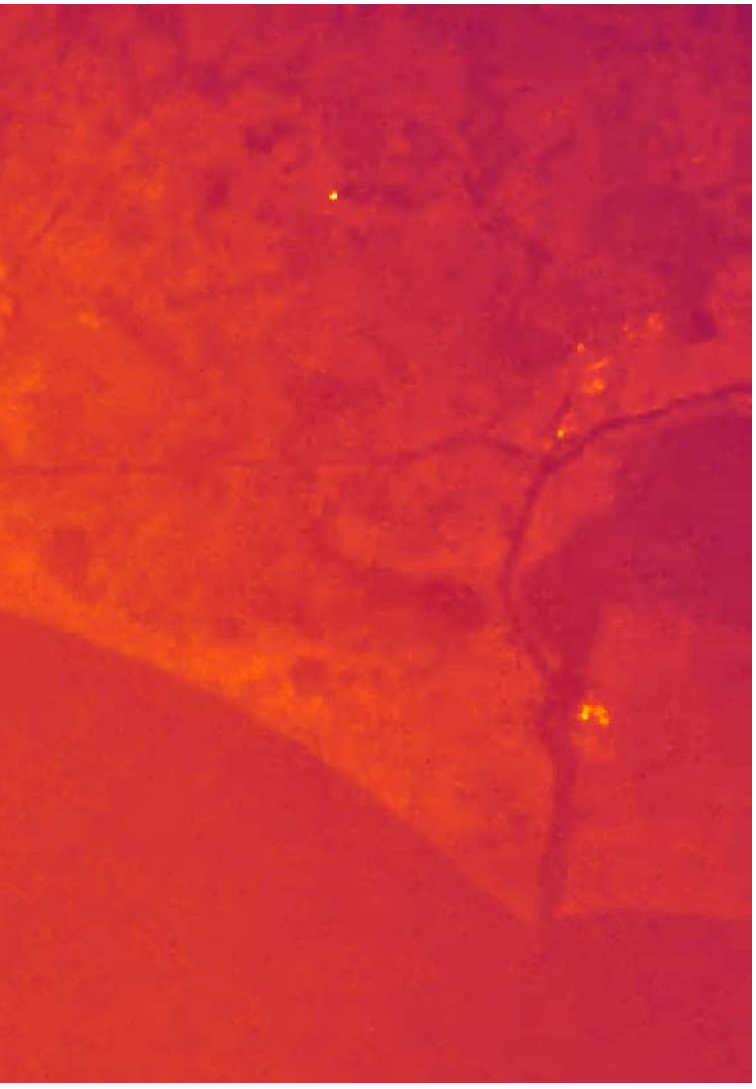
ERNST demonstriert das Potenzial von Kleinsatelliten für militärische Anwendungen. Mit innovativer Infrarottechnologie verbessert er die Raketenfrühwarnung und liefert wichtige Infrarotdaten zur nationalen Sicherheitsstrategie.

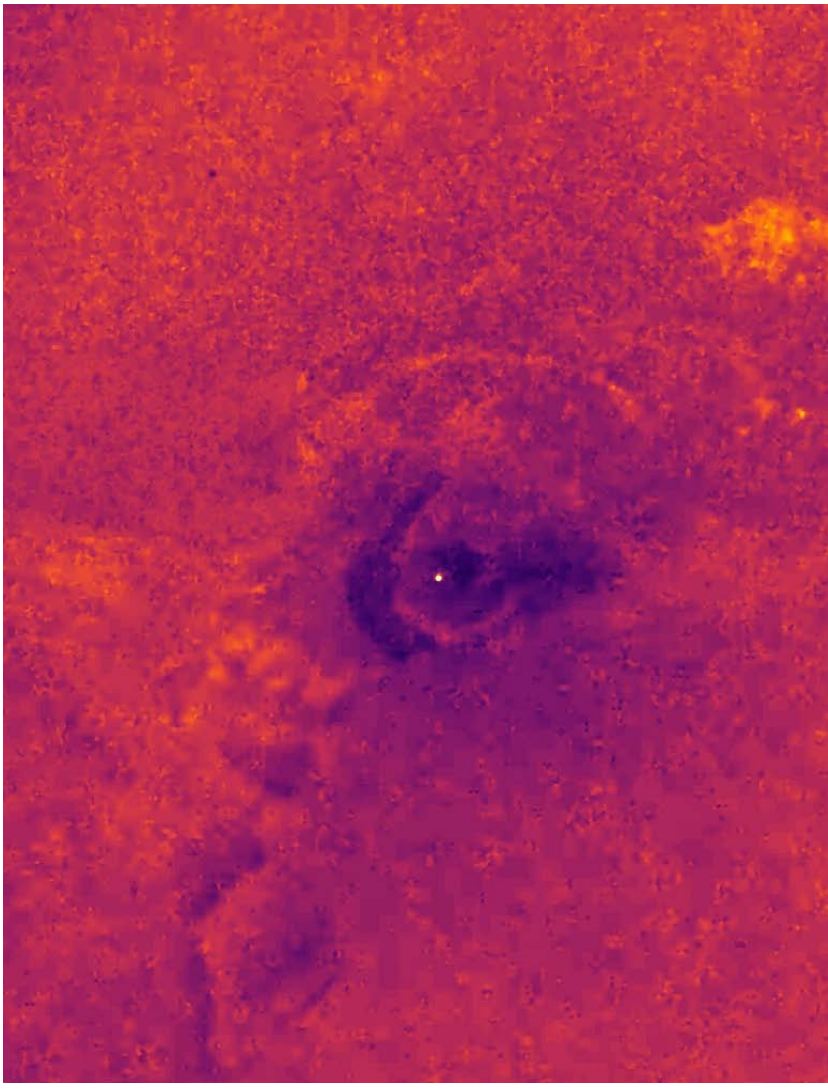
Am 16. August 2024 begann für die Bundeswehr mit dem Start des Forschungssatelliten ERNST die aktive Phase der Demonstration der Kleinsatellitentechnologie für militärische Zwecke. Entwickelt durch das Fraunhofer EMI, demonstriert die 12U-CubeSat-Plattform das Potential dieser Satellitenklasse, die neben dem offensichtlichen Merkmal der kleineren Größe vor allem durch eine kosten- und zeiteffiziente Umsetzung gekennzeichnet ist. Dies erlaubt eine höhere Risikobereitschaft bei Entwicklung und Betrieb, da die Kostenschwelle von Kleinsatelliten sehr viel geringer und die Entwicklungszeit sehr viel kürzer ist als die traditioneller, großer Satellitensysteme. Neue Technologien werden schneller in eine erste Einsatzbereitschaft gebracht und können anwendungsnah durch zeitnahe praktische Erfahrung in kurzen Zyklen optimiert werden. Damit bedienen Kleinsatelliten einen der dringenden Bedarfe einer sich dynamisch ändernden Sicherheitslage. In diesem Kontext verfolgt ERNST zwei übergeordnete Ziele. Das ist zum einen die Demonstration der 12U-CubeSat-Plattformtechnologien, speziell deren Zuverlässigkeit und Leistungsfähigkeit. Zum anderen steht die Demonstration der Technologie zur Detektion von Raketenstarts aus dem Erdorbit im Fokus. Raketenabwehrsysteme sind auf die Früherkennung militärischer Raketen angewiesen. Diese Informationen dienen der Einweisung der Zielradare für Gegenmaßnahmen. Eine zuverlässige und korrekte Bahnvorhersage ist der Schlüssel für den Erfolg dieser Gegenmaßnahmen. National verfügt Deutschland in diesem Bereich über relevante Kompetenzen. Zur ERNST-Mission trägt das Fraunhofer IOSB seine Expertise für die Detektion bei. Dennoch sind weder in Deutschland noch in Europa Messdaten aus dem Orbit in den geeigneten Wellenlängenbereichen vorhanden. Die Infrarotsignaturen von Interkontinentalraketen oder Hyperschallgleitkörpern und deren Änderungen über deren Missionsdauer, von der initialen Boost-Phase über die Midcourse-Phase bis hin zum Endanflug, sind in praktischen Messungen bislang nicht erfasst worden. Ein Verständnis dieser Signale ist für die Entwicklung eigener Frühwarnkapazitäten maßgeblich.

ERNST trägt zu diesem Zwecke eine Infrarotkamera an Bord, mit der erforscht werden soll, wie sich im kurzwelligen und mittelwelligen Infrarotbereich Ziele sowohl vor dem Erdhintergrund als auch über dem Horizont gegen den kalten Weltraumhintergrund erkennen und nachverfolgen lassen. Das



ERNST auf dem Weg in den Orbit:
Der Kleinsatellit startet am 16. August von Vandenberg / Kalifornien und wurde rund 56 Minuten nach dem Start auf seiner Umlaufbahn in den Orbit ausgesetzt.





Herzstück der Nutzlast ist ein Detektormodul, das mit einem Kryokühler auf die notwendigen Temperaturen gekühlt wird. Unseres Wissens ist dies der erste CubeSat mit einer kryogekühlten Infrarotnutzlast mit diesem Leistungsvermögen. Zum Wechsel des Wellenlängenbereichs dient ein Filterrad. Nach dem Raketenstart und dem Abschluss der Inbetriebnahme von ERNST, wurde der experimentelle Betrieb der Infrarotnutzlast aufgenommen und die Erfassung verschiedener Interessenebereiche begonnen. Beispielhaft zeigen wir hier Aufnahmen im mittleren Infrarot. Aber das Detektionspotential zeigt sich bereits deutlich hinsichtlich der Auflösung, des Signal-Rausch-Verhältnisses und der Unterscheidbarkeit der heißen Quellen vor dem Erdhintergrund. Die weitere Optimierung des Betriebs für die Demonstration der Technologie und der Erzeugung der ERNST-Bilddaten schreitet voran. Die Detektion des ersten Raketenstarts durch ERNST ist nur eine Frage der Zeit .

Infrarotsignaturen von Gasfackeln aus Erdgas- und Chemieanlagen in Texas (links) und der Lavasee des Mt. Erebus in der Antarktis.

Unten: Mit einer kryogekühlten Infrarotkamera erstellt ERNST hochauflösende Bilder.



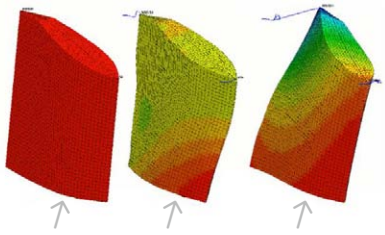
ERNST und Erdnahe Frühwarnung
Dr. Martin Schimmerohn
martin.schimmerohn@emi.fraunhofer.de

Fotos: SpaceX, Fraunhofer EMI (3)



Simulation von Unterwasser-Detonationen

Wie das Fraunhofer EMI Algorithmen und Simulationen einsetzt, um kritische maritime Infrastruktur besser zu schützen.



Ruderdeformation (Falschfarbendarstellung): Strukturantwort nach Durchlauf einer Stoßwelle.

Energieversorgung, Kommunikation und Seehäfen als Knotenpunkte für den Welthandel definieren in Deutschland und Europa die »kritische maritime Infrastruktur«. Sie sind zunehmend Ziel von Sabotageakten, Terroranschlägen oder feindlichen Geheimdiensten. Ihr Schutz stellt eine enorme Herausforderung dar.

Wie bewertet man zuverlässig die Schädigung komplexer Schutzstrukturen durch dynamische Lasten, etwa bei der Detonation einer Seemine? In Wasser, einem inkompressiblen Medium, sind solche Fragestellungen herausfordernd und erreichen eine hohe Komplexität.

Seit über zehn Jahren forscht das Fraunhofer EMI im Bereich der Kurzzeitdynamik in Wasser. Die Simulation von Fluid-Struktur gekoppelten Systemen unter Lasten, wie sie bei Unterwasserexplosionen (UNDEX) auftreten, stellt eine besondere Herausforderung dar. Auch Nahfeldeffekte wie Kavitation und das Nachströmen aus der Gasblase der Abbrandprodukte beeinflussen die Lastkurven erheblich. Ein Beispiel für Fluid-Struktur gekoppelte Systeme ist die Interaktion einer Unterwasserstoßwelle mit einer generischen Rudereinheit eines Schiffes. Die Simulation dieser Interaktion ermöglicht die Analyse der Strukturantwort. Dabei berücksichtigt man den gesamten Lagenaufbau bis zu den verschränkten Fasern, was die Bewertung geschädigter Bereiche aufwändig macht. Bewährte Methoden wie Faserbruchkriterien nach Puck kommen zum Einsatz.

Zur Simulation und Bewertung von Lasteinträgen nach UNDEX-Ereignissen nutzt das Fraunhofer EMI sowohl kommerzielle als auch selbstentwickelte Fluid- und Strukturcodes. Das ursprünglich für Luft entwickelte CFD-Tool Apollo Blastsimulator wurde um einen Algorithmus für Unterwasserdetonationen erweitert. Gemeinsam mit Industriepartnern suchen wir die besten Lösungen für aufkommende Fragestellungen.

Unterwasser-Simulation
Dr. Thomas Zweigle
thomas.zweigle@emi.fraunhofer.de

Hyperschallabwehr

Mit Leichtgaskanonen Abwehrmechanismen gegen neuartige hypersonische Bedrohungen erforschen.



Neuartige Hyperschallversuche werden am Fraunhofer EMI mit zweistufigen Leichtgaskanonen durchgeführt. Diese Laborbeschleuniger katapultieren Projektile auf Geschwindigkeiten von bis zu acht Kilometern pro Sekunde.

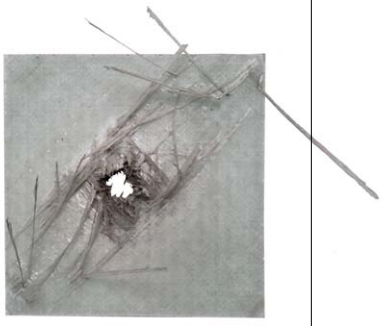
Luftverteidigung im Wandel
Das Fraunhofer EMI erforscht seit über 20 Jahren, wie Abfangflugkörper ballistische Raketen durch Direkttreffer neutralisieren können. Angesichts neuer Bedrohungen durch Hyperschallwaffen wird jedoch klar, dass die Luftverteidigung zusätzliche Abwehrmechanismen benötigt. Zur Erforschung von Hyperschallwaffen nutzt das Institut einzigartige Speziallabore mit Leichtgaskanonen .

Die bewährte Raketenabwehr setzt auf die kinetische Energie, die ein Abfangflugkörper beim Direkttreffer freisetzt, um Gefechtsköpfe und Kampfstoffe zu zerstören. Solche Interaktionen untersucht das Fraunhofer EMI seit Jahren in skalierten Laborversuchen. Dieses Wissen bildet die Grundlage, um Luftverteidigungstechnologien weiterzuentwickeln, ihre Wirksamkeit zu bewerten und Simulationsmodelle zu validieren. Neuartige Hyperschallwaffen zwingen uns, die Abwehrmechanismen der Luftverteidigung neu zu überdenken und anzupassen.

Leichtgaskanonen für neuartige Experimente
Auch die wissenschaftlichen Untersuchungsinstrumente müssen wir entsprechend anpassen.

Zum einen müssen neuartige Abfangflugkörpermodelle im Laborversuch untersucht werden können.
Auch Splitterwirkungen gewinnen an Bedeutung, wenn ein Direkttreffer bei hypersonischen Gleitvehikeln wegen ihrer unberechenbaren Flugbahn nicht garantiert werden kann. Dabei müssen Splitter so wirksam sein, dass sie selbst bei wenigen Treffern Gefechtsköpfe vollständig neutralisieren.

Daher wird untersucht, wie die Wirksamkeit von Splittern gesteigert werden kann. Hierfür kommen neuartige Werkstoffkompositionen in Kombination mit modifizierten geometrischen Ausführungen in Betracht. Von besonderer Relevanz ist ihr Verhalten beim Einschlag auf typische Flugkörperstrukturen und Gefechtskopfmodelle. Die Leichtgaskanonen des Fraunhofer EMI sind dabei das zentrale Werkzeug für diese Experimente. In Deutschland sind diese Anlagen einzigartig, und weltweit besitzen nur wenige wehrtechnische Institute solche Versuchsmöglichkeiten. Sie bilden eine wesentliche Grundlage für die Forschung in der Luftverteidigung.



Erprobung von Splitterwirkungen: Einschlag eines Hypergeschwindigkeitssplitters auf eine luftfahrttypische Struktur im Laborversuch.

Hyperschallabwehr
Dr. Andreas Heine
andreas.heine@emi.fraunhofer.de

Fotos: US Navy, Fraunhofer EMI (3)



Wie kann man Munition sicher lagern? Das Fraunhofer EMI entwickelt mit ASASP ein Softwaretool zur strategischen Planung von Munitionslagern.

Munition sicher und effizient lagern

Ein am Fraunhofer EMI entwickeltes Softwaretool optimiert Sicherheitsabstände, Lagerkapazitäten und Kostenplanung für die Bundeswehr.

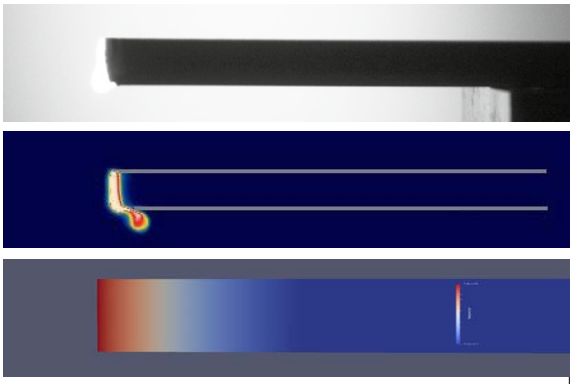
Das Softwaretool »Ammunition Storage And Site Planning« (ASASP) unterstützt die Bundeswehr bei der strategischen Planung von Munitionslagern – sowohl im Inland als auch bei Auslandseinsätzen. Es berechnet in einem geführten und automatisierten Prozess die Schutz- und Sicherheitsabstände, die sich aus den einzulagernden Explosivstoffmengen ergeben, und erhöht so die Sicherheit von Personal und Bevölkerung. Zudem optimiert das Tool die Einlagerung von Munition in bestehenden Lagern. Dafür nutzt es speziell entwickelte Pack- und Verteilalgorithmen, die automatisch die Einhaltung aller Sicherheitsvorschriften gewährleisten.

ASASP bietet außerdem ein einzigartiges Analysetool, das deutschlandweit die Einlagerungskapazitäten aller Munitionslager berechnet und dabei sämtliche Beschaffungsszenarien und Vorschriften berücksichtigt. Es ermittelt präzise den Bedarf an neuen Lagerhäusern im Rahmen aktueller Beschaffungsszenarien. Diese Daten verhindern eine Unterdimensionierung der Lagerkapazitäten und vermeiden zugleich überdimensionierte Neubauten, die unnötige Baukosten verursachen würden. So trägt das Tool entscheidend zur effizienten Planung und Kostenkontrolle bei.

Baulicher Schutz von militärischen Infrastrukturen
Dr. Johannes Scheider
johannes.schneider@emi.fraunhofer.de

Laser-Simulation für militärische Anwendungen

Das Fraunhofer EMI entwickelt eine leistungsstarke Software, die komplexe Laser-Materie-Wechselwirkungen simuliert und die Wirkung von Laserwaffen bewertet.



Abtrag eines Eisenstabs durch Laser
Oben: Hochgeschwindigkeitsaufnahme
Mitte: thermographische Aufnahme
Unten: numerisches Modell des Prozesses

Die Software ermöglicht die gekoppelte Simulation von Wärmeleitprozessen und Materialabtrag.

Am Fraunhofer EMI entsteht eine innovative Software, die komplexe Laser-Materie-Wechselwirkungen für wehrtechnische Anwendungen simuliert und die Wirkung von Laserwaffen bewertet. Sie bietet zudem Potenzial für weitere Einsatzgebiete. Die Forschenden nutzen modernste mathematische Verfahren, um die Herausforderungen zu meistern. Bei der Bestrahlung von Objekten mit hochenergetischen Lasern, die über 100 kW leisten und Strahlradien im Milli- bis Zentimeterbereich haben, treten zahlreiche physikalische Effekte auf. Dazu zählen Wärmeleitung im Festkörper, fluiddynamische Effekte nach Phasenübergängen und chemische Reaktionen wie Oxidationsprozesse, die durch die thermische Wirkung des Lasers entstehen. Die Komplexität dieser gekoppelten Prozesse überfordert derzeit verfügbare Softwarelösungen, sodass eine adäquate und performante Simulation nur eingeschränkt möglich ist. Um diese Herausforderungen zu bewältigen, entwickelt das Fraunhofer EMI problemorientierte, modulare Modellierungsansätze. Diese gewichten die Modellgleichungen basierend auf den dominierenden Teilprozessen, während sie weniger relevante Effekte ausblenden. Für die Umsetzung dieser Idee entstand eine Softwareumgebung, die die Implementierung physikalisch-mathematischer Modelle als partielle Differentialgleichungen auf dynamischen Rechengebieten ermöglicht. Die numerische Infrastruktur basiert auf dem Discontinuous-Galerkin-Verfahren, das Konzepte der Finite-Volumen- und Finite-Elemente-Verfahren kombiniert. Dieses Verfahren ermöglicht effiziente Simulationen durch adaptive Auflösungsanpassung und zeichnet sich durch hohe Parallelisierbarkeit aus. Die neu entwickelte Software überzeugt durch ihren modularen Aufbau und erfüllt bereits weitere wehrtechnische Zwecke. Neben der Laser-Materie-Wechselwirkung simuliert sie etwa die Ausbreitung thermischer Strahlung durch die erdnahe Atmosphäre.



Laser eignet sich als günstige und effiziente Waffe zur Abwehr von Drohnen. Die »Munitionskosten« liegen bei wenigen Euro pro Schuss.

Numerische Simulation von Laser-Materie-Wechselwirkung
Marcel Goesmann, marcel.goesmann@emi.fraunhofer.de

Fotos: Francois / stock.adobe.com, Fraunhofer EMI (3), Fraunhofer EMI (using Midjourney)



Trümmerwurf von Beton

Eine neue Methode erlaubt es, die Schädigung von Beton unter starker Belastung bis hin zum Bruch und zur Trümmerbildung präzise zu berechnen. Sie analysiert einzelne Trümmerteile und bestimmt deren Flugbahnen exakt.

Bislang basierten Risikoanalysen, die die Gefahren durch Betontrümmer einschätzten, auf statistischen Schätzungen, die auf wenigen Großversuchen beruhten. Ein genaues und zuverlässiges numerisches Vorhersagewerkzeug war bisher nicht verfügbar.

Am Fraunhofer EMI wurde jetzt eine Methode entwickelt, mit der die Schädigung, der Risswachstumsprozess und die Trümmerbildung in Beton genau simuliert werden können. Die heterogene Struktur des Betons wird dabei detailliert modelliert. Damit kann die Entstehung der Trümmer genau abgebildet und mit realen Messdaten verglichen werden. Außerdem können nun auch die Form und die Flugeigenschaften der Trümmer bestimmt werden, was zu genaueren Berechnungen ihrer Flugbahnen führt.

Diese neue Methode ist besonders wichtig, wenn es um die Sicherheitsplanung für Munitionslager geht. In der Vergangenheit wurden die Schutzabstände oft konservativ bemessen, und der verfügbare Raum möglicherweise nicht optimal genutzt. Mit der neuen Methode können diese Abstände jetzt präziser berechnet werden.

Das Verfahren kann auch dazu beitragen, Gefährdungsbereiche genauer zu bestimmen, wenn es zu Explosionen in oder um Gebäude kommt, und so helfen, das Risiko für Menschen und Ausrüstung zu minimieren. Es kann auch in anderen Bereichen wie der Bewertung von Sicherheitsrisiken bei Unfällen mit Explosivstoffen oder bei terroristischen Bedrohungen eingesetzt werden.

Da die Berechnungen viel Rechenleistung erfordern, wurde die Methode bisher prototypisch angewandt. Mit geeigneter Hardware könnte sie jedoch in Zukunft auch in der realen Planung von Munitionslagern und anderen sicherheitsrelevanten Bereichen eingesetzt werden.

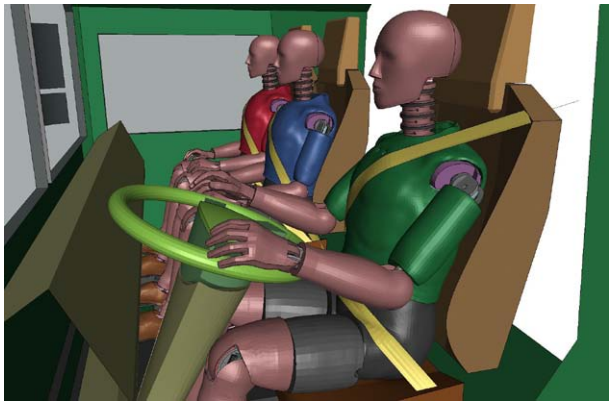
Trümmerwurf von Beton
Dr. Christoph Grunwald
christoph.grunwald@emi.fraunhofer.de

Insassensicherheit für militärische Fahrzeuge

Das Fraunhofer EMI erforscht, wie Insassenrückhaltesysteme in militärischen Fahrzeugen wirken. Besonders interessieren die Forscher die Einflüsse von am Körper getragener Ausrüstung, die Herausforderungen durch Fahrten abseits befestigter Straßen, schlechte Sichtverhältnisse und die Gefahr durch Waffenwirkung.

Am EMI entstand ein Berechnungsmodell für die Fahrerkabine eines schweren Transportfahrzeugs, ausgestattet mit Dummy-Modellen. Damit lassen sich gezielt Variationen einbringen und analysieren.





Finite-Elemente-Modell einer vollbesetzten Fahrerkabine eines schweren Transportfahrzeugs der Bundeswehr zur Analyse der Effizienz von Insassenrückhaltesystemen bei Crashbelastungen. (Oben: Symbolbild)

Insassenschutz für Einsatzfahrzeuge
Dr. Matthias Boljen
matthias.boljen@emi.fraunhofer.de

Future Security: Schutz kritischer Infrastrukturen

Vom 2. bis 3. April 2025 fand im Fraunhofer-Forum Berlin die Future Security unter dem Themendach »Schutz kritischer Infrastrukturen gegen zivile und militärische Bedrohungen« statt. Der erste Tag bot spannende Plenarvorträge von hochrangigen Vertretern aus Ministerien und Behörden sowie Einblicke aus der Industrie und dem Fraunhofer-Leistungsbereich Verteidigung, Vorbeugung und Sicherheit (VVS). Am zweiten Tag betreute das EMI gemeinsam mit dem Fraunhofer ICT die Fachsession zum physischen Schutz.

Geschäftsfeld Verteidigung
Daniel Hiller, daniel.hiller@emi.fraunhofer.de
→ emi.fraunhofer.de/verteidigung



Fotos: Fraunhofer EMI (using Midjourney) (2), Fraunhofer EMI (2)

Geschäftsfeld Sicherheit & Resilienz



Resiliente nachhaltige Logistik

Globale Krisen wie die Covid-19-Pandemie, geopolitische Konflikte und extreme Wetterereignisse haben die Anfälligkeit internationaler Lieferketten offengelegt. Im EU-geförderten Projekt SARIL entwickelt das Fraunhofer EMI innovative Entscheidungsunterstützungssysteme, um Transport- und Logistiknetzwerke widerstandsfähiger und nachhaltiger zu gestalten.

Im Bild: Hamburger Hafen. Er gehört gemessen an den Container-Umschlagzahlen zu den 25 größten der Welt.

Foto: TimSiegert-bartram / stock.adobe.com





Forschen für eine resiliente Zukunft

Globale Krisen, Extremwetter, Cyberangriffe und unterbrochene Lieferketten offenbaren die Verwundbarkeit moderner Gesellschaften.

Kritische Infrastrukturen müssen widerstandsfähiger gegen bekannte wie unerwartete Störungen werden – sei es im Energiesektor, in der Logistik oder im Katastrophenschutz.

Von **Daniel Hiller**



Belastungsprobe für resiliente Infrastrukturen: Extremwetterereignisse wie die Überschwemmung in Valencia zeigen, wie verwundbar vernetzte Systeme gegenüber Naturkatastrophen sind. Resiliente Strukturen und intelligente Anpassungsstrategien sind entscheidend, um solche Herausforderungen zu bewältigen und kritische Prozesse schnell wiederherzustellen.

Sicherheit und Resilienz in einer vernetzten Welt

Unsere Welt stützt sich auf vernetzte Systeme – von Energie- und Kommunikationsnetzen über globale Lieferketten bis zu digitalen Infrastrukturen. Doch diese Vernetzung birgt Risiken: Naturkatastrophen, Cyberangriffe, geopolitische Spannungen oder Pandemien können kritische Prozesse stören und Gesellschaften in Krisen stürzen. Resilienz wird zur Schlüsselkompetenz und -eigenschaft für Sicherheit, Wirtschaft und Nachhaltigkeit.

Resilienz bedeutet, dass Systeme nicht nur Bedrohungen abwehren, sondern sich schnell an Veränderungen anpassen und nach Störungen ihre Funktion wiederherstellen. Dies erfordert ein tiefes Verständnis der Risiken, robuste Schutzmechanismen und intelligente Anpassungsstrategien. Hier setzt die Forschung am Fraunhofer EMI an.

Das Institut entwickelt Methoden, um Risiken zu bemessen, Schwachstellen zu analysieren sowie resiliente Strukturen und technische Systeme zu schaffen. Dabei nutzt das Institut modernste Technologien wie numerische Simulationen, Künstliche Intelligenz (KI), experimentelle Tests und datengetriebene Entscheidungssysteme.

Die folgenden Beispiele zeigen, wie aktuelle Forschungsprojekte am EMI dazu beitragen, Sicherheit und Resilienz zu stärken.

Gefahr durch Blindgänger: Sicherere Kampfmittelbeseitigung

Weltweit stellen nicht detonierte Sprengkörper eine erhebliche Gefahr für Menschen und Infrastruktur dar. Ein großes Problem ist die genaue Vorhersage der Auswirkungen einer möglichen Detonation. Im BMBF-Projekt Schockanalyst werden Simulationsmodelle verbessert, um Druckwellen und Splitterwirkungen von Explosionen im Erdreich realistischer zu berechnen. Diese Erkenntnisse helfen Einsatzkräften, Schutzmaßnahmen zu optimieren und Risiken zu reduzieren.

Lieferketten unter Druck: Lösungen für resilienten Warenverkehr

Globale Krisen wie Pandemien und Naturkatastrophen haben gezeigt, wie anfällig Lieferketten sind. Um Transport- und Logistiknetzwerke widerstandsfähiger zu machen, entwickelt das EU-Projekt SARIL Entscheidungsunterstützungssysteme. Diese Systeme helfen, alternative Transportwege schnell zu identifizieren und Versorgungsengpässe zu vermeiden. Durch die Kombination von Echtzeitdaten und Simulationen lassen sich robuste und nachhaltige Lieferstrategien entwickeln.

Foto: gonzagon / stock.adobe.com



Wo früher unbeschwerte Weihnachtsstimmung herrschte, stehen heute Betonpoller – eine sichtbare Mahnung an die gewachsene Bedrohung durch Terroranschläge. Seit dem Anschlag auf den Berliner Breitscheidplatz 2016 und zuletzt dem Attentat in Magdeburg im Dezember 2024 sind diese Barrieren zum Standard geworden. Sie schützen, doch sie verdeutlichen auch: Öffentliche Sicherheit ist keine Selbstverständlichkeit mehr.

Wasserstoffwirtschaft: Sicherer Transport und Speicherung

Als nachhaltige Energiequelle gewinnt Wasserstoff an Bedeutung, doch sein Transport und seine Speicherung bergen Risiken. Um die Widerstandsfähigkeit von Wasserstoffnetzen zu gewährleisten, untersucht das EMI mögliche Störfälle wie Leckagen oder Sabotageakte. Numerische Simulationen helfen dabei, effektive Gegenmaßnahmen zu entwickeln und eine sichere Infrastruktur für die Energiewende zu schaffen.

Überwachung von Warenströmen: Neue Technologie für sichere Logistik

In der Logistik ist die Nachverfolgbarkeit von Gütern entscheidend. Metallische Container erschweren jedoch herkömmliche Funkübertragungen. Das Projekt Beep 2 Blue nutzt akustische Datenübertragung per Ultraschall, um Sensordaten auch aus abgeschirmten Umgebungen zuverlässig zu übermitteln. Diese Technologie verbessert die Sicherheit und Effizienz in globalen Lieferketten.

Schutz vor klimabedingten Bedrohungen: Naturbasierte Lösungen für Städte

Hitzeinseln und Überflutungen gefährden zunehmend urbane Gebiete. Das EU-Projekt NBSInfra untersucht, wie naturbasierte Maßnahmen Städte widerstandsfähiger gegen Extremwetterereignisse machen können. Das EMI analysiert, welche Schutzmaßnahmen für kritische Infrastrukturen besonders effektiv sind, und entwickelt Modelle zur gezielten Risikominderung.

Unternehmen gegen Cyber-Bedrohungen stärken

Cyberangriffe und Systemausfälle gefährden zunehmend Unternehmen und kritische Infrastrukturen. Das Horizon-Europe-Projekt DYNAMO kombiniert Business Continuity Management mit Cyber Threat Intelligence, um Bedrohungen frühzeitig zu erkennen. KI-gestützte Simulationswerkzeuge helfen Unternehmen, gezielte Abwehrmaßnahmen zu entwickeln und ihre Widerstandsfähigkeit gegenüber Cybergefahren zu erhöhen.

Foto: ArTo / stock.adobe.com

Unbemerkte Bedrohungen in der Arktis: Anomalie-Detektion für mehr Sicherheit

Die zunehmende wirtschaftliche Nutzung der Arktis bringt neue Herausforderungen mit sich: Extreme Wetterbedingungen, unsichtbare Navigationsgefahren und illegale Aktivitäten bedrohen die Sicherheit. Die KI-basierte Plattform AIARC analysiert Schiffsbewegungen, Satellitendaten und Wetterprognosen, um frühzeitig Anomalien zu erkennen. Besonders wichtig ist die zuverlässige Detektion von Eisbergen und das Minimieren von Fehlalarmen, um maritime Risiken zu reduzieren.

Krisenresilienz in der Verwaltung: Effektive Reaktionsfähigkeit sicherstellen

Behörden müssen in Krisensituationen schnell und effektiv handeln. Im BMBF-Projekt RESKON wird ein digitales Tool entwickelt, das öffentliche Institutionen unterstützt, ihre Resilienz zu messen und zu verbessern. Anhand realer Szenarien, wie langanhaltenden Hitzewellen oder hybriden Bedrohungslagen, werden praxisnahe Lösungen zur Krisenbewältigung erarbeitet.

Leistungsangebot

Analyse von Impakt- und Explosionsereignissen

Bewertung von Sicherheitskonzepten gegen Explosion, Flut, Sturm

Resilienzanalysen von Versorgungsnetzen

Simulation der Sicherheit auf Großveranstaltungen

Entwicklung robuster und resilienter Sensoren, Datenanalyse in besonders rauen Umgebungen

Prüfung und Zertifizierung

Entwicklung von Resilienzmanagement-Tools für Business Resilience



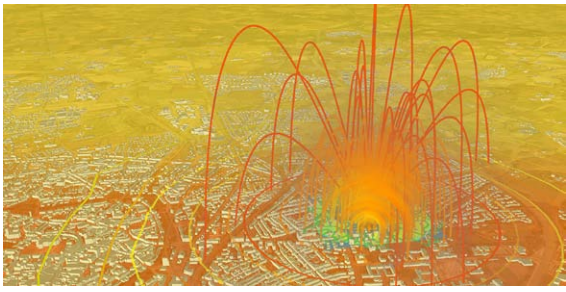
Resilienz von Unternehmen erhöhen
Das kostenlose Online-Tool »Fraunhofer Resilience Evaluator FReE« unterstützt dabei, die Resilienz von Unternehmen und Systemen zu erhöhen.
→ **www.resilience-evaluator.de**



Tausende Blindgänger aus dem Zweiten Weltkrieg schlummern noch im Erdreich: Sprengung einer Weltkriegsbombe in München, August 2012.

Blindgänger: kontrollierte Sprengungen sicherer machen

Das Fraunhofer EMI entwickelt numerische Modelle, die Splitterflug und Erschütterungen vorhersagen und Risiken minimieren.



Von den abgeworfenen 1,4 Millionen Tonnen Fliegerbomben liegen schätzungsweise immer noch 5 bis 15 Prozent im Boden. Meist lassen sich diese Blindgänger entschärfen, doch manchmal sind kontrollierte Sprengungen nötig. Um die Druckwelle und vor allem den Splitterflug zu begrenzen, bedeckt man die Bombe vor der Zündung wieder mit Sand. Das hat jedoch einen Nachteil: Die Energie der Explosion dringt stärker ins Erdreich ein. Die entstehenden Spannungswellen können nahe gelegene unterirdische Strukturen wie Gasleitungen, U-Bahn-Schächte oder Kellerwände beschädigen.

Im Projekt SIRiUS entwickelten das Fraunhofer EMI, der Kampfmittelräumdienst NRW und die Firma Virtual City Systems eine Software, die kontrollierte Sprengungen in einem 3D-Stadtmodell simuliert. Das aktuelle BMBF-Projekt Schockanalyst baut darauf auf. Es erweitert die Software, damit Kampfmittelräumdienste verschiedene Sicherungsmaßnahmen vergleichen und die Auswirkungen der Spannungswellen im Boden besser einschätzen können.

Am EMI entstehen dafür numerische Modelle, die den Einfluss der Sandabdeckung auf die Splitterbildung und den sogenannten Groundshock berechnen. Dabei stellt das Verhalten des Bodens als Drei-Phasen-Gemisch aus Partikeln sowie wasser- und luftgefüllten Poren eine besondere Herausforderung dar. Diese extremen dynamischen Belastungen präzise zu simulieren, ist nur ein Aspekt des Projekts. Wie gut die Modelle die Realität abbilden, wird ein Großversuch zeigen: die geplante Sprengung von sechs vergrabenen 500-Pfund-Bomben.

Projekt Schockanalyst
Dr. Christoph Grunwald,
christoph.grunwald@emi.fraunhofer.de



Sicherheit in gefährlichen Gewässern erhöhen: KI-gestützte Überwachung unterstützt Schiffe in der Arktis.

Sichere Schifffahrt in der Arktis: KI erkennt Eisberge, Anomalien und Risiken

Automatische Gefahrenerkennung durch Analyse großer Datenmengen.

Das Projekt AI-ARC (Artificial Intelligence Based Virtual Control Room for the Arctic) sollte die Lagedarstellung in der zivilen Seefahrt schärfen und Sicherheitsrisiken verringern – ohne die Arbeitslast der Seefahrenden zu steigern. Partner aus 13 europäischen Ländern waren beteiligt.

Eine zentrale Herausforderung bestand darin, täglich die AIS-Daten (Automatic Identification System) von über 1500 Schiffen sowie umfangreiche Wetterinformationen und Satellitenbilder effizient zu verarbeiten. Dafür entwickelten die Partner innovative Tools und Services, in denen Künstliche Intelligenz (KI) eine Schlüsselrolle spielt. KI erkannte im Projekt AI-ARC automatisch verdächtige Aktivitäten und ungewöhnliche Vorkommnisse.
Diese Erkenntnisse flossen in eine neuartige Plattform zur Lagevisualisierung ein. Besondere Aufmerksamkeit galt der zuverlässigen Identifikation von Eisbergen für eine sichere Navigation in der Arktis. Das Fraunhofer EMI entwickelte eine fortschrittliche Methode zur Abschätzung der Vorhersageunsicherheit, die über herkömmliche Ansätze hinausgeht. Anders als bisherige Methoden, die oft eine Änderung der KI-Modellarchitektur erfordern, nutzt das Fraunhofer EMI ein zusätzliches KI-Modell zur Quantifizierung der Zuverlässigkeit bei der Eisbergdetektion. Dieser modell-agnostische Ansatz ermöglicht eine schnelle und einfache Umsetzung bei vergleichbaren Ergebnissen und hebt sich damit von bestehenden Lösungen ab. Zur Erkennung illegaler Fischerei und Schmuggel analysierten die Forscher Schiffsrouten auf Anomalien. Am Fraunhofer EMI wurden dazu Zuverlässigkeitsbewertungen durchgeführt, um Anwender über die Hintergründe eines Alarms zu informieren und Fehlalarme zu reduzieren. Dank dieser fortschrittlichen Ansätze trägt das Projekt AI-ARC maßgeblich zur Sicherheit der Schifffahrt in der Arktis bei.

Projekt AI-ARC
Daniel Schweizer
daniel.schweizer@emi.fraunhofer.de

Finanziert von der Europäischen Union

Fotos: Simon Aschenbrenner / CC BY 3.0, vs.systems, Tony Skerl / stock.adobe.com

Sichere Wasserstoffnetze für die Zukunft

Das Fraunhofer EMI entwickelt neuartige numerische Simulationsmethoden für die Planung resilienter Wasserstoffnetze.

Wasserstoff gilt zunehmend als vielversprechende fossilfreie Energiequelle und spielt eine Schlüsselrolle in der Energiewende. Er hilft, Treibhausgasemissionen zu senken und Klimaneutralität zu erreichen. Grüner Wasserstoff, gewonnen aus überschüssiger Wind- und Solarenergie, lässt sich lokal speichern und über Netze zu entfernten Verbrauchern transportieren. Doch Speicherung und Transport bergen Risiken: Naturkatastrophen, Sabotage oder politische Sanktionen können die Versorgung gefährden. Eine sorgfältige Planung widerstandsfähiger Wasserstoffinfrastrukturen ist daher unverzichtbar, um die Energieversorgung in internationalen Netzen zu sichern.



Numerische Netzwerkmodellierungen, die physikalische Bedingungen in Wasserstoffnetzen simulieren, bieten dafür wertvolle Werkzeuge. Sie erlauben »Was-wäre-wenn«-Analysen, decken Schwachstellen auf und bewerten die Widerstandsfähigkeit gegen Störungen. Solche Modelle müssen das Netzverhalten unter Extrembedingungen präzise abbilden, um Risiken zu mindern. Besonders wichtig ist die Simulation der dynamischen Reaktionen des Netzes auf extreme Ereignisse.

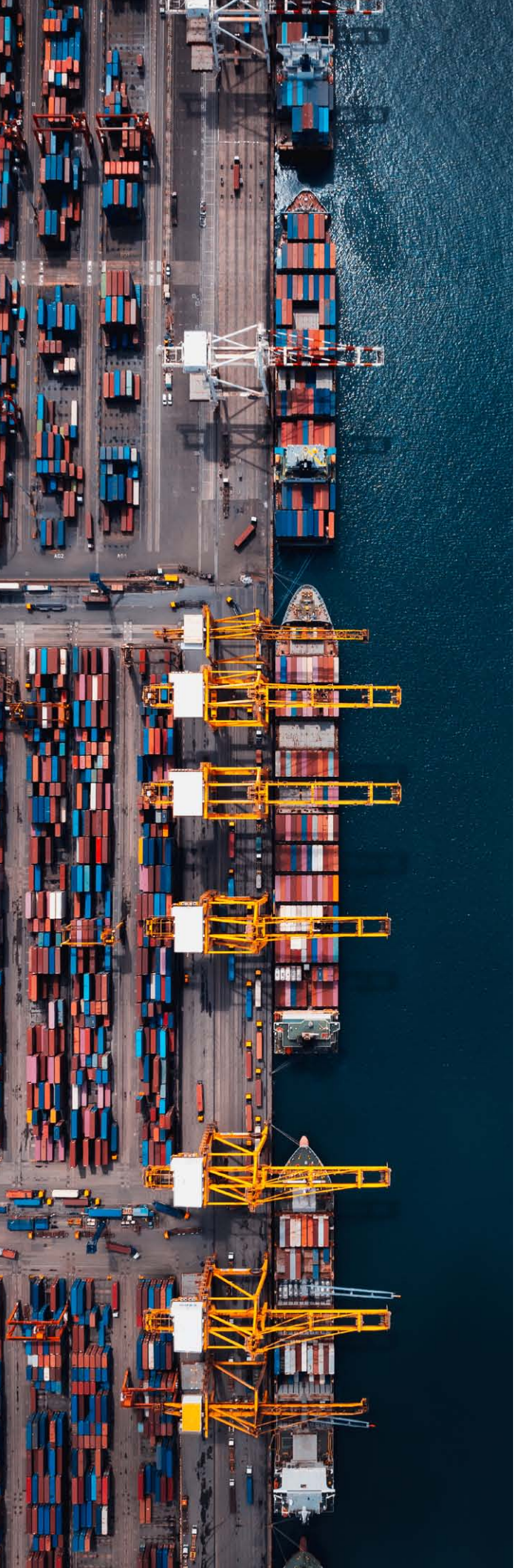
Am Fraunhofer EMI entsteht ein hydraulisches Simulationstool, das auf physikalischen Grundlagen und Ingenieurmodellen basiert. Es analysiert die Reaktionen hybrider oder reiner Wasserstoffnetze mit Speichersystemen auf Störungen. Dieser neuartige numerisch robuste Ansatz ermöglicht erstmals durchgängige und zeitlich schnelle Vorhersagen des Systemverhaltens vor, während und nach Störungen sowie Prognosen zu Überlebens- und Wiederherstellungszeiten. Die Ergebnisse können essenziell wertvolle Beiträge zur Planung resilienter Wasserstoffnetze liefern.

Resiliente Infrastruktur ist entscheidend für eine stabile Wasserstoffversorgung. Simulationstools des Fraunhofer EMI analysieren Netzreaktionen auf Störungen und helfen, Risiken durch Extremereignisse zu minimieren.

Wasserstoffnetzwerke
Dr. Till Martini,
till.martini@emi.fraunhofer.de



Fotos: ONTRAS Gastransport GmbH, SHUTTER DIN / stock.adobe.com



Resiliente und nachhaltige Logistiknetzwerke

Echtzeitdaten und Simulationsansätze für Logistik und Transport.

In den letzten Jahren geriet der weltweite Frachttransport durch eine Reihe außergewöhnlicher Ereignisse unter Druck. Die Covid-19-Pandemie, die Blockade des Suezkanals 2021 und der Krieg in der Ukraine störten das internationale Logistiknetzwerk spürbar. Hinzu kamen extreme Wetterereignisse wie Überschwemmungen und Waldbrände, die das System zusätzlich belasteten. Ihre Häufigkeit dürfte durch den Klimawandel weiter steigen.

Das Projekt SARIL will Entscheidungsunterstützungssysteme entwickeln und Empfehlungen für widerstandsfähige und nachhaltige Transport- und Logistiknetzwerke liefern. Die Forschung steht im Einklang mit den Entwicklungen zur Erfüllung des europäischen Green Deal der EU und den Nachhaltigkeitszielen der Vereinten Nationen. Da der Verkehrssektor ein wichtiger Verursacher von klimaschädlichen Emissionen ist, wird er einen erheblichen Wandel hin zu nachhaltigeren Lösungen durchlaufen müssen. Um Emissionen zu senken und den Datenaustausch zu verbessern, ist es wichtig, verschiedene Transportmittel sinnvoll zu kombinieren. Synchro-modale Ansätze setzen genau hier an und nutzen zusätzlich Konzepte des physischen Internets, damit Effizienz und Nachhaltigkeit Hand in Hand gehen.

Das Projekt SARIL wurde durch die EU gefördert und wird durch das Fraunhofer EMI koordiniert. Es vereint Forschungsorganisationen, Universitäten und Unternehmen aus ganz Europa sowie die europäische Technologieplattform ALICE. Die vorgeschlagenen Lösungen werden auf drei verschiedenen Ebenen demonstriert, d. h. einem regionalen Szenario, einem nationalen/grenzüberschreitenden Szenario und einem Europäischen Szenario. Die Skalierbarkeit der entwickelten Lösungen ist ein zentrales Anliegen innerhalb des Projekts.

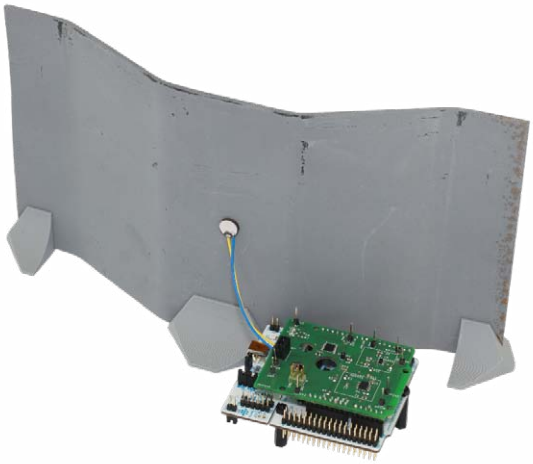
Projekt SARIL
Dr. Corinna Köpke,
corinna.koepke@emi.fraunhofer.de

Finanziert von der Europäischen Union

Lieferketten effizient überwachen

Beep2Blue: energiesparendes Überwachungssystem mit Ultraschall.

Das Beep2Blue-System überwacht Lieferketten in der ISO-Containerlogistik und verfolgt Assets auf Baustellen. Mit der energiesparenden Ultraschall-Technologie des Fraunhofer EMI überträgt es Sensordaten aus metallisch abgeschirmten Umgebungen, wo Funkverbindungen stark gedämpft sind. Im Inneren empfängt das Beep-2Blue-Interface die Daten per Bluetooth und leitet sie akustisch nach außen. Dort gelangen sie über 3G/4G-Funkstandards zu Webservern.



Durchdringt Metall mit Ultraschall: Das Beep2Blue-System leitet Daten akustisch nach außen. Dort werden sie von Sensoren aufgenommen und weiterverarbeitet.

Naturbasierte Lösungen für urbane Resilienz



Im europäischen Forschungsprojekt NBSInfra erforscht das Fraunhofer EMI, wie naturbasierte Lösungen die Widerstandskraft städtischer Gebiete gegen klimabedingte Gefahren stärken.

Das Institut prüft die Belastbarkeit kritischer Infrastrukturen bei Überflutungen durch die Abbildung von Kaskadeneffekten. Zudem berücksichtigt es Ergebnisse eines vereinfachten Modells zur Bemessung von städtischen Termperaturentwicklungen und dem Hitzeinseleffekt.

Ziel ist es, die Vorteile naturbasierter Lösungen für die urbane Resilienz zu verdeutlichen und ihre Integration in die Stadtplanung zu fördern.

Finanziert von
der Europäischen Union

Cybersicherheit für kritische Infrastrukturen

Cyberangriffe bedrohen zunehmend kritische Infrastrukturen wie Energie, Gesundheit und Transport. Das Fraunhofer EMI koordiniert das Horizon-Europe-Projekt DYNAMO, das diese Bedrohungen angeht. Experten aus verschiedenen Bereichen arbeiten gemeinsam mit Endnutzern daran, ausgewählte Werkzeuge zu entwickeln, zu optimieren und in einer einzigen Plattform zu bündeln. Das Wissen aus DYNAMO soll den Wiederherstellungsprozess beschleunigen und Systeme zur Selbstheilung befähigen. Die DYNAMO-Plattform erfasst organisationsspezifische Kompetenzdaten, wertet sie aus und bietet maßgeschneiderte Schulungen zur Stärkung der Resilienz. DYNAMO kombiniert KI-gestützte Ansätze aus Business Continuity Management und Cyber Threat Intelligence, um Resilienzanalysen durchzuführen und Cyberangriffe in kritischen Bereichen zu minimieren.



Cybersicherheitsmaßnahmen schützen die Energieversorgung, Gesundheitswesen und Logistik vor Angriffen und verhindern so Ausfälle kritischer Infrastrukturen.

Finanziert von der Europäischen Union

GEFÖRDERT VOM
Bundesministerium für Bildung und Forschung

Krisenfestigkeit von Behörden erhöhen

Im BMBF-Projekt RESKON entsteht ein praxisnahes Werkzeug, das Behörden hilft, ihre Resilienz zu messen, Fähigkeitslücken zu erkennen, passende Lösungen zur Verbesserung bereitzustellen und deren Umsetzung zu erleichtern. Gemeinsam mit dem Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe, der Bundesanstalt Technisches Hilfswerk und der Feuerwehr Dortmund wird dieses Verfahren in zwei Szenarien angewendet: einer langanhaltenden Hitzeperiode und einer hybriden Bedrohungslage. Ziel ist es, Maßnahmen zur Steigerung der Resilienz zu identifizieren.

Geschäftsfeld Sicherheit & Resilienz
Daniel Hiller, daniel.hiller@emi.fraunhofer.de
→ emi.fraunhofer.de/sicherheit



Fotos: Fraunhofer EMI, Degimages / stock.adobe.com, Fraunhofer EMI (using Midjourney), Reskon

Geschäftsfeld Automotive



Batteriecrash mit 60 km/h

Der Batterie-Crashbeschleuniger des Fraunhofer EMI ist eine Katapult-Anlage, die Stoß- und Quetschtests an geladenen Batterien durchführt, um ihre Crashsicherheit zu bewerten. In Verbindung mit numerischen Simulationen ermöglicht sie eine umfassende Beschreibung und Erforschung von Batteriesystemen.

Im Bild: Katapult-Anlage im Batterietestzentrum am Standort Efringen-Kirchen.

Fotos: Fraunhofer EMI (2)

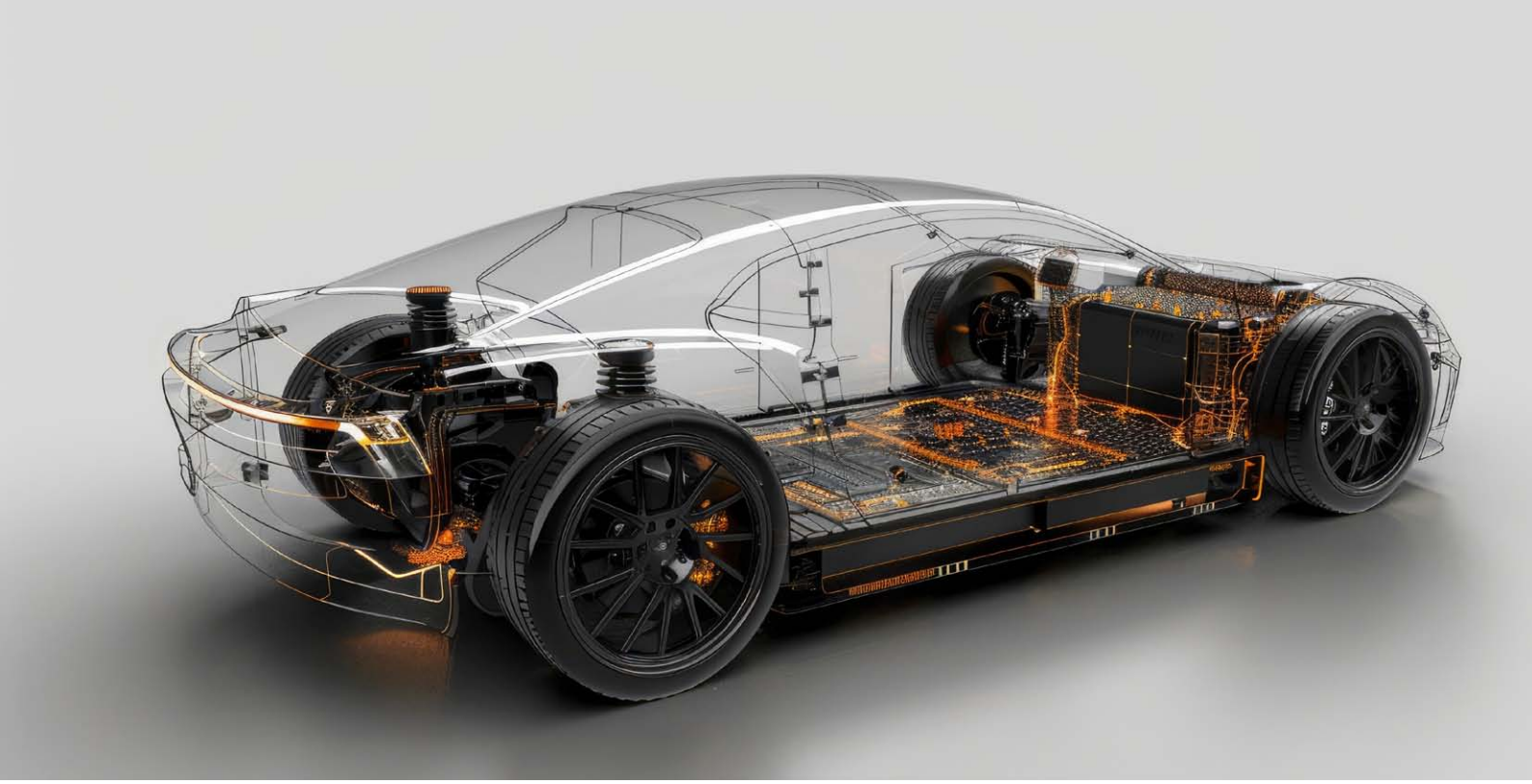




Forschung für sichere Elektrofahrzeuge der Zukunft

Batterieelektrische Fahrzeuge erobern weltweit weiter den Markt. Doch wie gestalten wir künftige E-Fahrzeug-Generationen sicher und effizient, um die industrielle Skalierung zu ermöglichen?

Von **Dr. Michael Dlugosch**



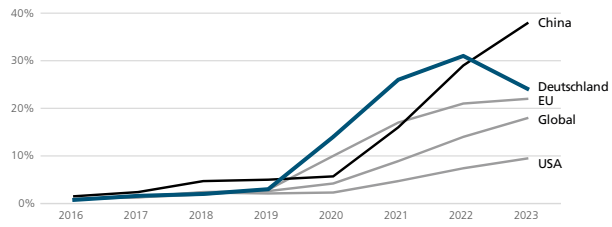
Neue Fahrzeugarchitekturen im Wandel: Die Integration der Batterie als tragendes Strukturkomponente erfordert innovative Materialien und Designkonzepte für mehr Sicherheit und Effizienz.

Zukunftstrend batterieelektrische Moblität

Ein Blick auf die Straßen in deutschen und internationalen Städten zeigt: Der Trend zur Elektromobilität ist ungebrochen. Trotz eines leichten Rückgangs der Neuzulassungen alternativer Antriebe in Deutschland für 2023 und 2024, der politisch bedingt war, vermeldet das Kraftfahrtbundesamt ab 2025 einen deutlichen Anstieg. Damit kehrt Deutschland zum klaren, globalen Trend zurück.

Anteil der E-Fahrzeuge an den jährlichen Neuzulassungen

Quelle: International Energy Agency



Elektrofahrzeuge sind mit Blick auf die Gesamtheit der Fahrzeuge auf den Straßen tendenziell jünger und damit meist mit vergleichsweise modernen, aktiven Sicherheitssystemen ausgestattet. Doch sind selbstverständlich auch sie in Verkehrsunfälle verwickelt und müssen den Schutz von Insassen und anderen Verkehrsteilnehmern gewährleisten. Die zunehmende Elektrifizierung spiegelt sich dabei auch in der stetigen Weiterentwicklung der gesetzlichen Sicherheitsprüfungen und den Sterne-Ratings der Verbraucherschutz-Crashtests wider.

Ein Paradigmenwechsel für neue Generationen von E-Fahrzeugen

Die erste Phase des globalen Siegeszuges batterieelektrischer Fahrzeuge der letzten Jahre war von Fahrzeugmodellen geprägt, deren strukturelles Design zwar für die neuen Antriebssysteme angepasst wurde. Die grundlegende Fahrzeugarchitektur und die Funktionsprinzipien für die Crashsicherheit glichen jedoch weitgehend denen konventioneller Fahrzeuge. Oberstes Prinzip für die Sicherheitsauslegung dieser Fahrzeugmodelle: maximaler Schutz der energiedichten Traktionsbatterie im Crash. Dieser anfänglich vorsichtige und zugleich pragmatische Umgang mit der – in diesem Ausmaß – neuen Technologie führte zu großen Sicherheitsfaktoren in der Auslegung von Schutzstrukturen und damit zu erheblichen Einbußen in Gewicht und Kosten.

Weitere Forschungsarbeit und Anwendungserfahrung in der Batteriesicherheit schaffen nun jedoch die Grundlage, diese Überdimensionierung im Design neuer

Fotos: Fraunhofer EMI (using Midjourney), kanesuan / stock.adobe.com

Fahrzeuggenerationen abzubauen und so auch eine effiziente Skalierung auf größere Stückzahlen zu ermöglichen. Diese grundlegende Neuausrichtung in der Sicherheitsauslegung neuer, rein-elektrischer Fahrzeugmodelle bedingt die Einführung einer neuen Design-Philosophie der Integration: das gesamte System des Hochvoltspeichers muss als integraler Bestandteil der Karosserie und damit auch der lasttragenden Strukturen im Crash verstanden werden. Auch im Inneren der Batterie müssen hierfür stärker integrierte, weniger modulare, Architekturen entwickelt werden. Nur so können Energiedichten und damit relative Reichweiten erhöht und gleichzeitig Bauraum, Gewicht und Kosten eingespart werden.

Im Rahmen einer Risikobetrachtung ist es hierfür entscheidend, eine optimale Balance zwischen den zulässigen Lasten und der Gewährleistung einer hohen Crashsicherheit zu finden. Die Grundvoraussetzung dafür ist ein präzises Verständnis der Eigenschaften und des Verhaltens der einzelnen Bestandteile des Batteriesystems unter Last sowie der Mechanismen und skalenübergreifenden Wirkketten im Crash.



Neue Architekturen – neue Herausforderungen

Das charakteristische Merkmal dieser neuen Fahrzeugarchitekturen ist selbstverständlich die, meist im Unterboden verbaute, Antriebs- oder Traktionsbatterie. Durch den Wegfall wesentlicher Antriebsanteile herkömmlicher Verbrennerfahrzeuge wie Getriebe, Antriebswellen oder Abgasanlagen können Elektrofahrzeuge ohne Mitteltunnel gestaltet werden. Gemeinsam mit einigen Längs- und Querträgern, sowie den seitlichen Schwellern bildete dieser die wesentlichen Versteifungselemente und Crashlastpfade der Karosserie. Energieabsorption, Kraftleitung und Aussteifung müssen (bzw. dürfen) in neuen Fahrzeugarchitekturen also neu gedacht, designt und letztendlich auf Funktion und Sicherheit ausgelegt werden. Dabei wird auch die Batterie und deren Gehäuse nun als zentraler Bestandteil dieser Gesamtarchitektur verstanden. Damit diese nicht nur den nötigen Strom für den Antrieb effizient speichert und liefert, sondern auch mechanisch einen Beitrag leistet, müssen auch neue Wege beim Design der inneren Batteriearchitektur beschritten werden.

Hier geht die Tendenz weg von einer modularen hin zu stärker integrierten Bauweisen, in denen die einzelnen Zellen direkt im Batteriepack (»cell2pack«) oder gar der Karosseriestruktur (»cell2body«) verbaut werden. Zur Ertüchtigung dieser Designs rücken in diesem Zuge auch weitere, hier bisher kaum eingesetzte Materialklassen in den Fokus der Ingenieure. Strukturschaum eignet sich beispielsweise nicht nur zur Aussteifung hochintegrierter Batteriearchitekturen, sondern kann auch zur Energieabsorption im Crash und zur Eindämmung lokaler Brandeffekte beitragen. Auch faserverstärkte Kunststoffe und Ihre vielfältigen Eigenschaften im Hinblick auf Formgebung, sowie teils exzellente thermische und mechanische Widerstandsfähigkeit können in neuen Architekturen eine entscheidende Rolle spielen.

Zwei wesentlichen Herausforderungen sehen sich die Fahrzeughersteller hierbei gegenüber: parallel zur Antriebs- und Speichertechnologie von Elektrofahrzeugen entwickeln sich auch die teilweise nun auch für E-Autos spezifischen Lastfälle weiter, die für eine Zulassung und gute Sicherheitsbewertungen gemeistert werden müssen. Gleichzeitig können die Ingenieure für die sichere Auslegung dieser neuartigen Designs nicht auf die Erfahrung aus etlichen früheren Fahrzeuggenerationen zurückgreifen.
Zieht man in Betracht, dass im Zuge dieser Transformation zusätzlich auch signifikante Anpassungen der aktuellen Produktionstechnologien und in weiteren Bereichen anstehen, bestätigt der Eindruck die Schlussfolgerungen aktueller Studien: Um diese vielfältigen Herausforderungen angesichts einer drastisch erhöhten Dynamik und gesteigertem Wettbewerb in der Branche zu meistern, sind substanzielle F&E-Aufwendungen aufseiten der Industrie dringend nötig.

Foto: Ivan Traimak / stock.adobe.com



Neue Produktionsprozesse für neue Architekturen: Die Batterie als tragendes Element verändert Fahrzeugarchitekturen grundlegend. Neue Materialien und Designs sind gefragt, um Sicherheit und Funktionalität zu gewährleisten. Gleichzeitig erfordern veränderte Lastfälle und Produktionsprozesse hohe Investitionen in Forschung und Entwicklung.

Sicherheit durch angewandte Forschung

Im Herbst 2024 war die Batteriesicherheits-Community im Zuge der carhs-Veranstaltung »The SafeBattery Experience« zu Gast am Fraunhofer EMI. Dabei konnten sich OEMs, Zulieferer und Forschungspartner einen Eindruck über das Portfolio aus experimentellen Anlagen und Kompetenzen zur virtuellen Auslegung und Analyse zur Batterie- und Fahrzeugsicherheit verschaffen. Im Zuge seiner angewandten Forschungsarbeiten verzahnt das EMI Experiment und Simulation skalenübergreifend und entlang der phänomenologischen Wirkkette im Crash: von mechanischen Lasten, Deformationen und Materialversagen über elektrochemische Effekte (z. B. Thermisches Durchgehen) sowie gas- und thermodynamische Prozesse von der Einzelzelle zum gesamten Batteriepack (Propagation) bis hin zu den thermomechanischen Lasten auf das Gehäuse und umliegende Strukturen. Dabei kann das EMI auf seine jahrzehntelange Erfahrung in der Material-, Struktur- und Fluiddynamik sowie auf umfangreiche experimentelle Kapazitäten (z. B. Schock- und Impakttests geladener Batterien bis 50 kWh) aufbauen. Besondere Einblicke liefert hierbei auch die in-situ Röntgen-Diagnostik, die es erlaubt, interne Prozessverläufe der Batterieschädigung dynamisch sichtbar zu machen.
Nur mit einer solchen »integralen« Perspektive auf das System Hochvoltspeicher und mit der Fähigkeit, die zugrundliegenden Mechanismen zu verstehen, zu beschreiben und gezielt nutzbar zu machen, kann eine innovative, sichere und effiziente Gestaltung neuer Generationen an Elektrofahrzeugen gelingen.

Leistungsangebot

- **Hochinstrumentierte und maßgeschneiderte Experimente: vom Material zum Gesamtfahrzeug**
- **Absicherung von Fahrzeugbatterien in Experiment und Simulation**
- **KI-basierte Optimierung von Simulationsmodellen und Strukturdesigns**
- **Monitoring und Simulation von Verkehrsflüssen**
- **Menschmodelle für den Schutz von Fußgängern, Radfahrern und Insassen**



Fußgänger besser schützen

Ein Drittel der Verkehrstoten sind Fußgänger. Um ihre Sicherheit zu verbessern, entwickelt das Fraunhofer EMI Verkehrssimulationen, die erstmals detaillierte Fußgängermodelle integrieren.

Eine Statistik der Europäischen Kommission meldet 7.665 tödliche Verkehrsunfälle in städtischen Gebieten der EU im Jahr 2021. 31 % der Opfer waren Fußgänger, die mit motorisierten Fahrzeugen kollidierten. Bis 2023 stieg die Zahl der tödlichen Unfälle in urbanen Räumen auf 7.807, der Anteil der Fußgänger auf 33 %. Gleichzeitig erschweren die wachsende Vielfalt an Verkehrsmitteln und die zunehmende Überlastung der Infrastruktur die Verkehrssicherheit. Autonome Fahrzeuge sollen besonders verletzliche Verkehrsteilnehmer wie Fußgänger besser schützen und menschliche Fehler in kritischen Situationen minimieren. Um solche Systeme zu entwickeln, sind umfangreiche Testdaten aus rund 2,1 Milliarden Kilometern nötig, um sicherzustellen, dass jede relevante Verkehrssituation mit einer Wahrscheinlichkeit von 50 % mindestens einmal auftritt. Dieses Problem wird mithilfe synthetischer Daten aus Simulationsumgebungen angegangen. Bisher lag der Schwerpunkt mikroskopischer Verkehrssimulationen auf motorisierten Verkehrsteilnehmern. Doch gerade in Städten ist eine realistische Darstellung von Fußgängern entscheidend. Das Fraunhofer EMI schließt diese Lücke und hat als ersten Schritt eine verbesserte Modellierung von Fußgängern in die Verkehrssimulation integriert. Dabei nutzt es seine Erfahrung aus der Entwicklung agentenbasierter Simulationen für Menschenmengen bei Großveranstaltungen. Diese Simulationen berücksichtigen bereits die Interaktion zwischen Individuen sowie ihre Reaktionen auf Hindernisse, ob stationär oder beweglich. Zudem bilden sie Fußgänger mit individuellen Eigenschaften ab, etwa Zielen, Bedürfnissen und Risikobereitschaft.

Für die integrierten Verhaltensmodelle können schließlich am EMI entwickelte Optimierungsalgorithmen genutzt werden, die eine optimale Wahl der Modellparameter-Werte basierend auf einem statistischen Vergleich mit Realdaten gewährleisten. Neben den klassischen regelbasierten Simulationsalgorithmen erforscht das EMI auch den Einsatz von KI-Methoden. Hierbei wird insbesondere die Frage untersucht, ob Entscheidungsprozesse, wie das Überqueren von Straßen, durch Reinforcement-Learning-Algorithmen realistisch prädiziert werden können.

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

KI-Empfehlungssysteme: effiziente Auslegung nachhaltiger Fahrzeuge

Das Fraunhofer EMI erforscht die Anwendung generativer künstlicher Intelligenz, um Daten und das darin verborgene Wissen für die Auslegung von Fahrzeugen nachhaltig nutzbar zu machen.

Für die Entwicklung eines Fahrzeugs ist umfassendes Fachwissen aus vielfältigen, hochkomplexen technischen Disziplinen unerlässlich. Ingenieure müssen gesamte Fahrzeuge und deren Einzelkomponenten so auslegen, dass sie funktional, sicher, ökonomisch und zunehmend auch nachhaltig sind. Neben guten Software-Werkzeugen ist dabei langjährige Erfahrung notwendig, jedoch zeigt eine VDA-Studie, dass voraussichtlich ein Viertel der Beschäftigten innerhalb der nächsten 10 Jahren in den Ruhestand gehen wird. In einem wettbewerbsintensiven Umfeld mit schnellen Entwicklungszyklen ist es entscheidend, unternehmensinternes Wissen zu erhalten und effizient zugänglich zu machen.

Wissen aus Daten gewinnen: Schlüssel zu effizienten Entwicklungsprozessen

Das Fraunhofer EMI entwickelt ein innovatives KI-Empfehlungssystem, das gezielte Hinweise zur effizienten Produktgestaltung generiert. Dieses System extrahiert das Fachwissen erfahrener Ingenieure, das unter anderem in den Roh- und Metadaten vergangener Entwicklungszyklen enthalten ist. Die gewonnenen Erkenntnisse werden in natürliche Sprache umgewandelt, um den Zugriff auf diese Informationen zu erleichtern. Das System fungiert als Entwicklungsassistent, um Ingenieure beim Treffen schnellerer und besserer Entscheidungen zu unterstützen.

Entscheidungsgrundlage schaffen: Lösungen für nachhaltige Produktgestaltung

Im Anwendungsfall nachhaltiger Produktgestaltung müssen Ingenieure bereits in frühen Phasen die Langzeitwirkungen ihrer Designentscheidungen auf den Lebenszyklus eines Produkts abschätzen. Oft fehlen relevante Informationen über Nachhaltigkeitseffekte, insbesondere bei unzureichend vernetzten Daten. Die am Fraunhofer EMI entwickelten KI-Systeme bieten eine Lösung, indem sie Daten kontextbezogen zusammenführen. Ingenieure erhalten maßgeschneiderte Empfehlungen, die ihnen helfen, nachhaltige Designentscheidungen zu treffen. Diese Wissensweitergabe steigert die Produktqualität und damit die Innovationskraft sowie die Wettbewerbsfähigkeit des Unternehmens.



Fotos: Hungarian / stock.adobe.com, irissca / stock.adobe.com

Aktuelle Forschung dazu am Fraunhofer EMI

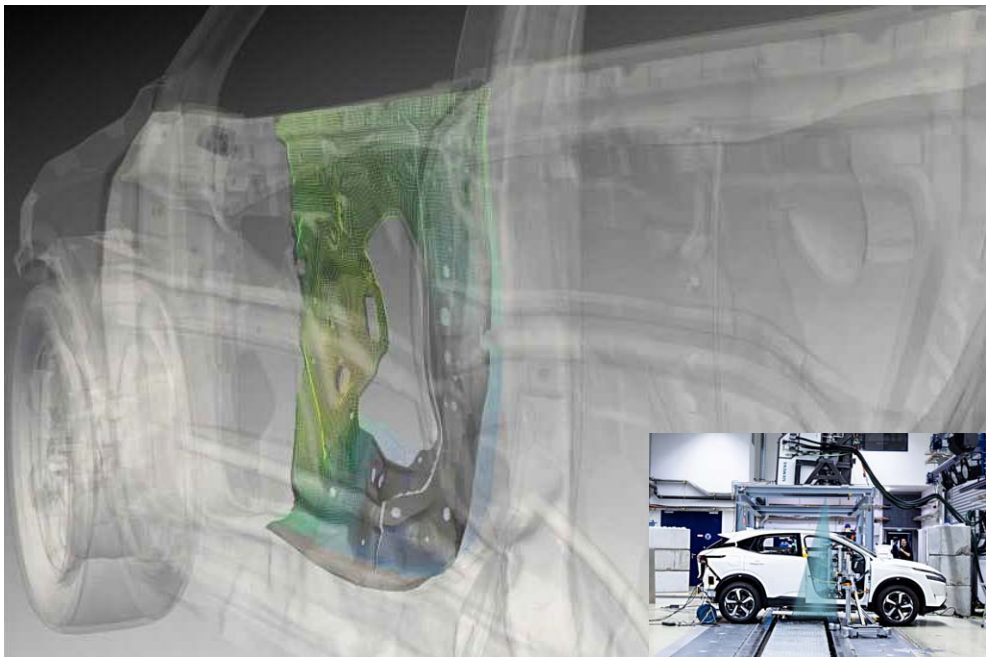
JSOL Consulting Partnership
KI-Consulting-Partnerschaft mit der JSOL Corporation zur Förderung von KI in Entwicklungsprozessen japanischer Fahrzeughersteller

DigiTain
Entwicklung von Software-Werkzeugen für die automatisierte Bereitstellung nachhaltigkeitsrelevanter Daten im automobilen Produktentwicklungsprozess; öffentl. gefördert durch BMWK

DECIDE
Entwicklung eines Demonstrators zur schnellen Entscheidungsfindung im Entwicklungsprozess am Beispiel einer automobilen Fahrzeugbatterie; internes Forschungsprojekt

HERAKLION
Demonstratorentwicklung eines KI-Empfehlungssystems für Resilienzanalysen basierend auf Datenraumfunktionalitäten; öffentlich gefördertes Projekt durch BMBF

Data & Knowledge Engineering
Martin Huschka
martin.huschka@emi.fraunhofer.de



Einsatz im Gesamtfahrzeugcrash: Gemeinsam mit Nissan Motor Co., Ltd. wurde die Kombination des X-Ray Car Crash mit der Grey-Box-Processing-Auswertemethode erstmals in einem Seitencrash eingesetzt. Die Abbildung zeigt die Abweichung von Experiment und Finite-Elemente-Simulation. Mit freundlicher Genehmigung von Nissan Motor Co., Ltd. veröffentlicht.

Effiziente Validierung von Crashsimulationen mit Grey-Box-Processing

Die Bedeutung von Experiment und Simulation haben sich in der Fahrzeugentwicklung stetig gewandelt. Die aktuelle Forschung zeigt: in der Integration beider Welten liegt großes Potenzial.

Die angestrebte, nahezu volldigitale Fahrzeugentwicklung und -zertifizierung ist von entscheidender Bedeutung bei der Bewältigung stetig zunehmender technischer, ökonomischer und ökologischer Herausforderungen im Entwicklungsprozess. Die Realisierung dieser Vision erfordert – in allen Phasen des Entwicklungsprozesses – die Verfügbarkeit von Simulationsmethoden und -modellen mit hoher Prognosefähigkeit. Diese gilt es im Rahmen der Validierung unter vergleichender Betrachtung von Ergebnissen aus Experiment und Simulation zu quantifizieren. Neben der Identifikation besonders geeigneter Validierungslastfälle sowie der messtechnischen Erfassung der größtmöglichen Informationsmenge spielt dabei insbesondere deren ideale Nutzbarmachung eine zentrale Rolle.

In Ergänzung zur Entwicklung und Erforschung neuartiger Messsysteme wurde am Fraunhofer EMI daher das neuartige Validierungsverfahren »Grey-Box-Processing« entwickelt. Die Grundidee besteht in der Integration diskreter, unsicherheitsbehafteter Messdaten in numerische Simulationsmodelle. Es ermöglicht neben dem Schließen zeitlicher und räumlicher Beobachtungslücken zudem die umfassende Analyse von Abweichungen zwischen Modellprognose und Verhalten im Validierungsexperiment. Durch die automatisierte Verarbeitung heterogener Messdaten und Überführung in umfassend interpretierbare Datensätze, erlaubt das Verfahren neben einer Beschleunigung des Validierungsprozesses zudem eine deutlich verbesserte Ausnutzung von Messdaten.

Die Methode wird am Fraunhofer EMI aktuell in unterschiedlichen Umfängen, sowohl zur Durchführung einer rein »kinematischen Analyse« als auch einer umfassenden »integralen Abweichungsanalyse«, in Industrie- und Forschungsprojekten eingesetzt.

Grey-Box-Processing

Dr. Thomas Soot
thomas.soot@emi.fraunhofer.de

Finanziert von der Europäischen Union

Gefördert durch: Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Rückhaltesysteme für maximalen Insassenschutz

Das Fraunhofer EMI entwickelt Lösungen, die Rückhaltesysteme optimieren und den Insassenschutz durch intelligente Technologien und präzise Simulationen verbessern.

Um Fahrzeuginsassen im Crashfall bestmöglich zu schützen, müssen alle im Fahrzeug zur Verfügung stehenden Rückhaltesysteme optimal zusammenwirken. Dazu gehören heutzutage sowohl Fahrzeugsitze mit aktiven Sitzfunktionen, Mehrpunkt-Sicherheitsgurte mit Gurtstraffern, vielfältig im Innenraum aufeinander abgestimmte Airbags sowie Pre-Crash-Funktionen, die im Zusammenspiel mit ausgeklügelter Sensorik dafür sorgen, dass die Insassen bereits im Falle eines absehbaren Unfalls in die bestmögliche Position bewegt werden.

Das Fraunhofer EMI unterstützt Zulieferer und OEMs mit einem umfangreichen Portfolio an Versuchen auf Material-, Bauteil-, Subsystem- und Gesamtfahrzeugebene, begleitenden Simulationen und KI-Methoden sowie dem Einsatz modernster Diagnostik bei der Entwicklung und Prüfung ihrer Rückhaltesysteme. Exemplarisch können als Erfolgsfaktor die am Fraunhofer EMI kontinuierlich weiterentwickelten, interdisziplinären Kompetenzen im Bereich der Airbag-Systeme genannt werden. Aktuelle Forschungsfragen unserer Kunden betreffen die Visualisierung von Gasströmungen im Inneren des Airbags, Verbesserungen von Probengeometrien für die strukturmechanische Charakterisierung von Airbag-Geweben sowie nur mit Röntgentechnik visualisierbare Bewegungen des Airbags im Bauteilinneren, lange bevor Sollbruchstellen die freie Entfaltung des Airbags ermöglichen. Adaptive Rückhaltesysteme, die die individuellen Eigenschaften der Insassen beispielsweise hinsichtlich ihrer Aufmerksamkeit, ihrer Körperhaltung oder weiterer messbarer biomechanischer Größen berücksichtigen, um noch passgenauer Maßnahmen für den bestmöglichen Schutz zu implementieren, eröffnen ein weiteres spannendes Tätigkeitsfeld. Diesbezüglich wird die Expertise im Bereich numerischer Dummy- und Menschmodelle in die neu gegründete Forschungsgruppe »Körperschutz und Insassensicherheit« übergehen, die sich intensiv den von Kundenseite geäußerten industriellen Bedarfen widmen wird.



Das Fraunhofer EMI entwickelt neue Charakterisierungsmethoden und Messdiagnostik. Mit diesen testet das Institut innovative Technologien wie adaptive Airbags, aktive Sitze und Pre-Crash-Funktionen, um den Insassenschutz im Falle eines Unfalls durch perfekt abgestimmte Systeme zu maximieren.

Human Protection and Occupant Safety
Dr. Matthias Boljen
matthias.boljen@emi.fraunhofer.de

Fotos: Nissan Motor Co., Ltd.(2), xy / stock.adobe.com

Airbag-Symposium

Das Airbag-Symposium ist eine bedeutende internationale Veranstaltung, auf der internationale Experten aus Industrie und Forschung die neusten Entwicklungen, Technologien und Forschungsergebnisse im Bereich der Insassensicherheit vorstellen und diskutieren.

Das EMI war mit einem Vortrag zum Thema Hochenergie-Röntgen zur in-situ Beobachtung sicherheitsrelevanter, dynamischer Prozesse in Rückhaltesystemen vertreten.

Auf der begleiteten Messe konnte an einem Gemeinschaftsstand mit dem veranstaltenden Fraunhofer ICT die Hochgeschwindigkeits-Röntgen-Technologien für Crash-Tests vertiefend vorgestellt und in vielen interessanten Gesprächen diskutiert werden.



Innovative Hochenergie-Röntgen-Technologien zur Analyse dynamischer Prozesse in Rückhaltesystemen. Mehr dazu im Interview:

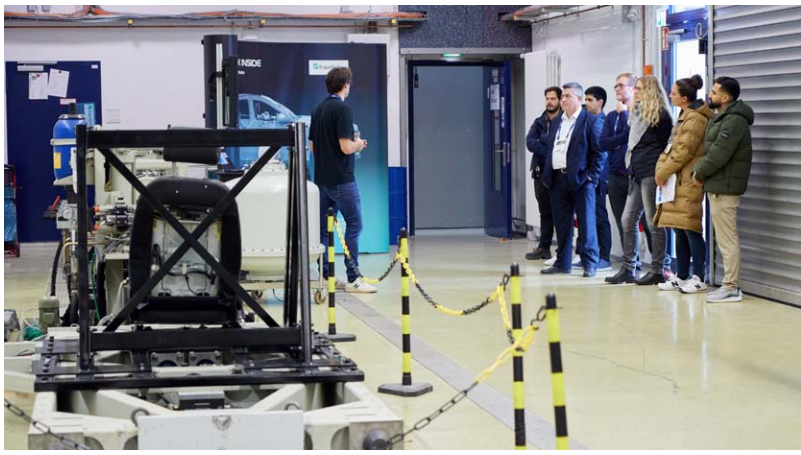


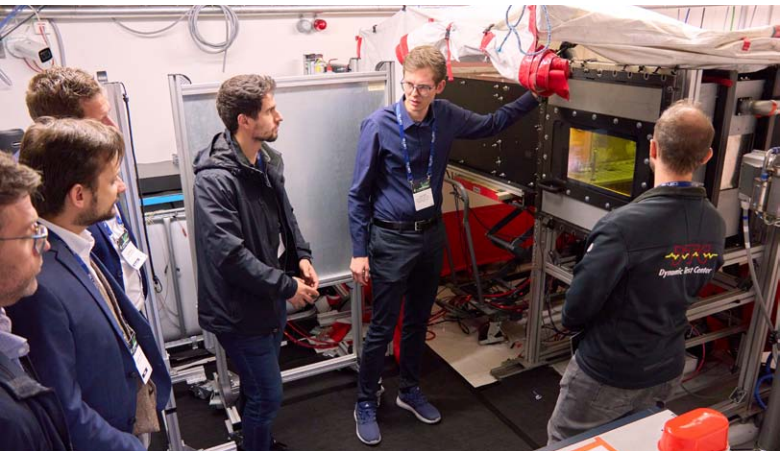
Das EMI auf der »SafetyWeek«

Die carhs SafetyWeek ist der internationale Treffpunkt für Experten der Fahrzeugsicherheit und umfasst Einzelkonferenzen zu Anforderungen, Testing und Zukunft der sicheren Mobilität, ergänzt durch die SafetyExpo, auf der führende Unternehmen ihre Innovationen präsentieren.

Das EMI war mit einem Messestand unter dem Motto »Really Look Inside« vertreten. Hier wurden Hochgeschwindigkeits-Röntgen-Technologien für Crash-Tests vorgestellt. Besonders im Fokus standen Crash-Szenarien des Gesamtfahrzeugs sowie Rückhaltesysteme, Airbags und Batterie-Abuse-Tests. Die Gespräche eröffneten vielversprechende Anknüpfungspunkte für zukünftige Forschungskooperationen mit der Industrie.









»The SafeBattery Experience« zu Gast am EMI

»Batteriesicherheitsforschung erleben« – Unter diesem Motto trafen sich Sicherheitsingenieure und Batterieforscher aus aller Welt am 15. und 16. Oktober auf dem von Carhs veranstalteten Forum »The SafeBattery Experience« in Freiburg. Forschung und Industrie tauschten sich über neue Entwicklungen, Regularien und Testverfahren aus. Ein Höhepunkt war die Besichtigung der Fraunhofer-Batterieprüflabore in Efringen-Kirchen. Das durchwegs positive Feedback vonseiten der Teilnehmer und der Organisatoren von der carhs.training GmbH bestätigen das Konzept: Auf dem Weg zur erfolgreichen Innovation müssen theoretische Forschung und Praxis zusammengedacht werden.

Fotos: Fraunhofer ICT, Fraunhofer EMI (5)

Geschäftsfeld Automotive
Dr. Michael Dlugosch,
michael.dlugosch@emi.fraunhofer.de
→ emi.fraunhofer.de/automotive



Geschäftsfeld Raumfahrt



Maßgeschneiderte Satellitenlösungen

Das Fraunhofer EMI bietet ein komplettes Leistungsspektrum für innovative Satellitenanwendungen in der Erdbeobachtung: Wissenschaftliche Kameras, leistungsstarke On-Board-Datenverarbeitungssysteme, neue Strukturkonzepte, 3D-Druck, Mechanismen, einschließlich Bau und Test sowie Launch und Betrieb von Forschungssatelliten.

Im Bild: Test einer am EMI entwickelten Data Processing Unit. Sie verarbeitet Bilddaten, speichert sie zwischen und steuert die Nutzlast – flexibel und automatisiert.

Foto: Fraunhofer EMI

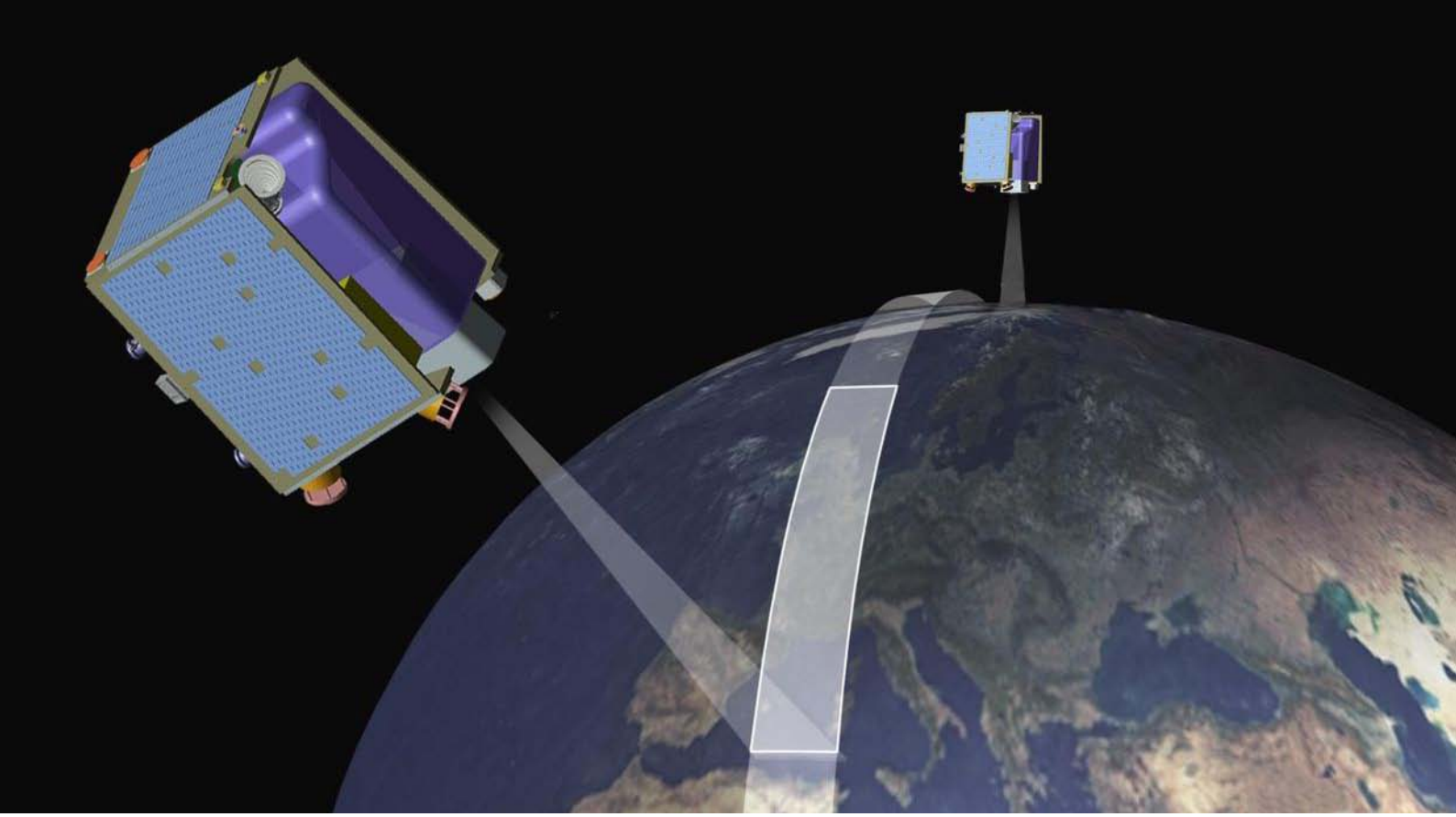

HORIZONTAL
Position
Scale
Navigate



Satellitenkonstellationen als strategische Schlüsseltechnologie

Satellitenkonstellationen sind essenziell für unabhängige Erdbeobachtung, Kommunikation und Navigation. Deutschland hat Nachholbedarf – doch Fraunhofer treibt mit innovativer Forschung und starken Partnern den Aufbau einer leistungsfähigen europäischen Infrastruktur voran.

Von **Prof. Dr. Frank Schäfer**



RapidEye – Pionierarbeit aus Deutschland: Sie war die erste deutsche kommerzielle Satellitenkonstellation und bestand aus fünf Erdbeobachtungssatelliten.

Große Satellitenkonstellationen sind der Schlüssel für eine souveräne deutsche und europäische Weltrauminfrastruktur

Eine Satellitenkonstellation ist eine Gruppe von künstlichen Satelliten, die gemeinsam als System arbeiten und sich gegenseitig ergänzen. Megakonstellationen bestehen aus Hunderten bis Tausenden von Satelliten und ermöglichen eine globale Abdeckung mit minimalen Unterbrechungen, insbesondere für Erdbeobachtung, Kommunikation und Navigation.

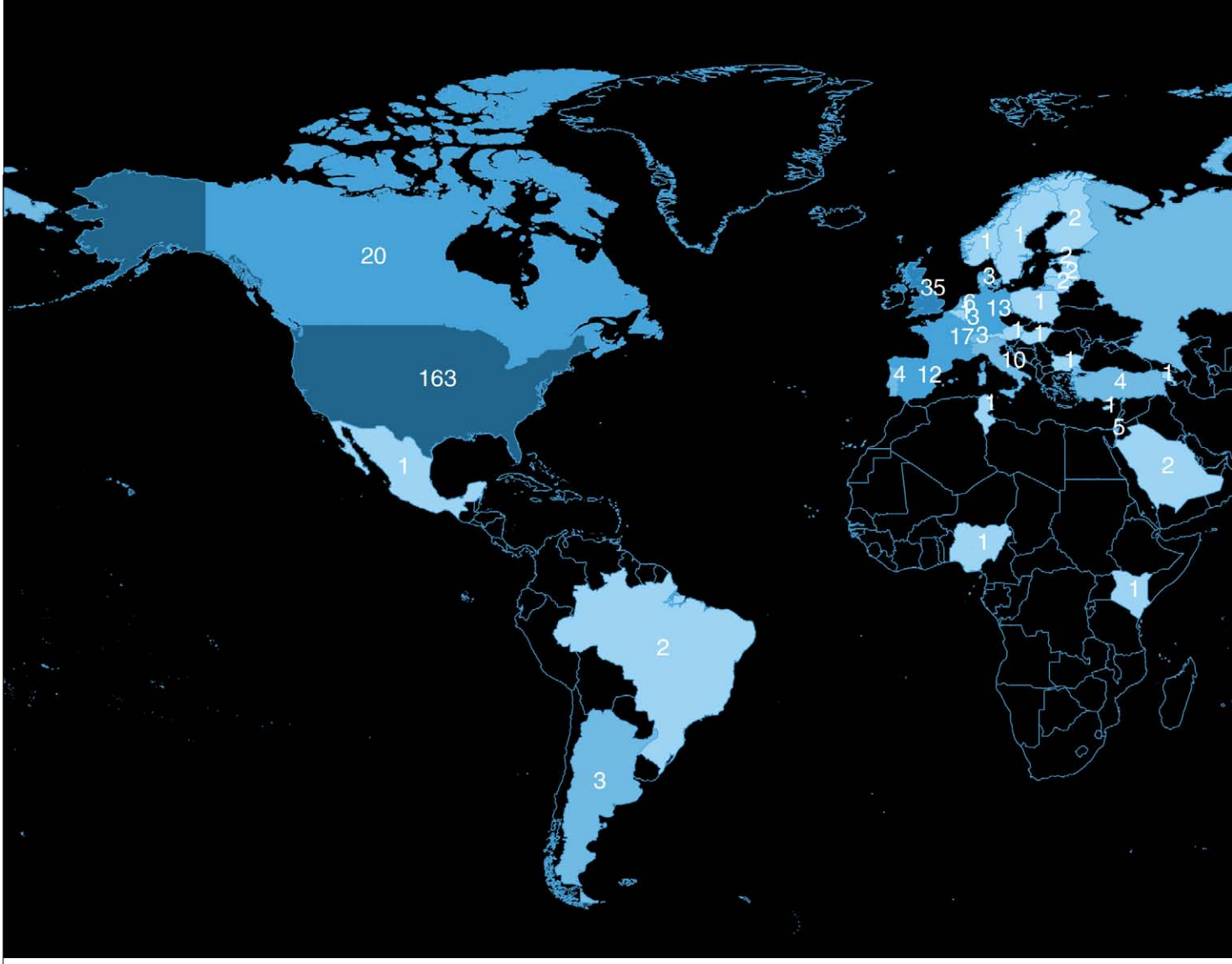
RapidEye war die erste deutsche kommerzielle Satellitenkonstellation, die aus fünf Erdbeobachtungssatelliten bestand. Am 29. August 2008 wurden die fünf je 156 kg schweren würfelförmigen Mikrosatelliten mit einer Kantenlänge von einem Meter von Baikonur, Kasachstan, mit einer Dnepr Rakete in eine sonnensynchrone Umlaufbahn von 630 km gestartet. An Bord war ein optisches Instrument zur Erdbeobachtung, das fünf Zeilenkameras enthielt, von denen jede 12000 Pixel hatte. Mit diesem Instrument konnten multispektrale Bilder von der Erdoberfläche in fünf Wellenlängenbereichen zwischen 440 nm (blau) und 850 nm (nahes Infrarot) aufgenommen werden. Mit dem optischen System ließ sich eine geometrische Auflösung am Boden von 6,5 Meter pro Pixel erzielen. Die Schwadbreite betrug 77 km, die maximale Länge des aufgenommenen Bildstreifens war 1500 km lang. Mit den fünf Satelliten ließ sich jeden Tag jeder Punkt der Erde aufzeichnen.

Die kanadische Firma MDA war der Hauptauftragnehmer für das RapidEye-System, beauftragt durch die Firma RapidEye AG in Brandenburg. Die Firma SSTL in Guildford, UK, entwarf und fertigte den Satellitenbus, und das deutsche Unternehmen Jena-Optronik GmbH in Jena entwickelte und fertigte das optische Instrument, einschließlich Zeilenkameras.

Zum Zeitpunkt des Starts von RapidEye gab es weltweit noch keine privat betriebene Erdbeobachtungskonstellation. Die Firma RapidEye AG leistete mit der ersten kommerziellen Erdbeobachtungs-Satellitenkonstellation also Pionierarbeit. Sie lieferte für diese Zeit eine hervorragende Bildqualität und Bodenauflösung. Gleichzeitig musste das Unternehmen damit hohe wirtschaftliche Risiken eingehen, da der Markt für Geodaten-Dienstleistungen noch nicht weit entwickelt war und die Digitalisierung von Unternehmen und Behörden oft noch in den Anfängen stand.

Das Geschäftsmodell der Firma RapidEye AG, das aus dem Verkauf hochaufgelöster optischer Erdbeobachtungsaufnahmen bestand, ging dann auch leider nicht lange auf. Als besonders problematisch für das Unternehmen entpuppte sich die 1998 getroffene gemeinsame Entscheidung der Europäischen Kommission und der europäischen Weltraumbehörde ESA, ein großes Erdbeobachtungsprogramm mit dem Namen Copernicus zu realisieren. Mit diesem Programm sollte ein unabhängiges europäisches Beobachtungssystem geschaffen werden, das seit dem Start des ersten Sentinel-Satelliten 2014 in Betrieb ist

Fotos: Fraunhofer EMI (using Midjourney), Von Rmatt / CC BY-SA 3.0



und unter anderem ähnlich hochauflösende Bilddaten wie RapidEye liefert – diese aber kostenfrei den weltweiten Nutzern zur Verfügung stellt. Das Unternehmen RapidEye AG, das mit seinen Dienstleistungen anfangs klare Alleinstellungsmerkmale hatte, wurde 2011 an die Planet Labs Germany in Berlin verkauft, einem Ableger des US-amerikanischen Unternehmens Planet Labs, das die Konstellation noch bis 2020 weiterbetrieb.

Neue Akteure und technologische Entwicklungen in Deutschland

Lange Zeit hat sich im wirtschaftlichen Bereich der Erdbeobachtungskonstellationen in Deutschland nichts getan. Erfreulicherweise gibt es seit wenigen Jahren zunehmend junge Raumfahrtunternehmen, die in Marktnischen wirtschaftlich erfolgreich agieren. Hervorzuheben sind zwei Unternehmen: die Firma OroraTech mit Sitz in München, die seit 2022 bereits 11 Kleinsatelliten der FOREST-Konstellation mit Thermalinfrarotkameras zur Früherkennung von Waldbränden in erdnahe Umlaufbahnen verbracht haben, sowie die Firma constellr mit Sitz in Freiburg, die den ersten Satelliten Sky-Bee-1 der HiVE-Konstellation Anfang 2025 gestartet haben. Die HiVE-Konstellation ist mit thermischer Infrarottechnologie ausgestattet, mit der globale Landoberflächentemperaturen überwacht werden sollen, etwa um den Wasserverbrauch in der Landwirtschaft an den Klimawandel anzupassen und Hitzeinseln in Städten zu detektieren.

Weitere Satellitenvorhaben in Deutschland im Bereich der Erdbeobachtung dienten bisher ausschließlich der Technologiedemonstration.

Im Bereich der Satellitenkommunikation sind relevante Anwendungen vor allem das satellitengestützte IoT, M2M und Internet-Anwendungen. Einige Konstellationen von Unternehmen mit Sitz in Deutschland sind angekündigt, aber bisher noch ohne Markttätigkeit. Dieser wirtschaftlich außerordentlich interessante Bereich der Satellitenkommunikations-Anwendungen ist im Moment komplett von

Foto: Erik Kulu / NewSpace Constellations / www.newspace.im



Globale Verteilung der Konstellationsunternehmen mit ihren Hauptsitzen in den angegebenen Ländern. Die USA dominieren mit 39 %, während Deutschland nur 0,3 % der Konstellationen betreibt.
Quelle: newspace.im (Stand 12/2024)

wenigen europäischen Akteuren und vor allem von US- und chinesischen Unternehmen dominiert.

Globale Marktentwicklung und Deutschlands Rückstand

Die globale Verteilung der Unternehmen, die Satellitenkonstellationen betreiben, beziehungsweise die Konstellationen im Aufbau haben, ist in obiger Abbildung nach dem Hauptsitz der Unternehmen zusammengestellt. In der Statistik sind insgesamt 411 Satellitenkonstellationen erfasst. Die Zahlen enthalten alle kommerziellen Konstellationsbetreiber, auch solche, die bis zu mehreren Jahren hinter ihrem Zeitplan zurückliegen oder deren Tätigkeit möglicherweise schon wieder beendet ist. Wegen der großen Dynamik im Markt für Satellitendienstleistungen schwanken die Zahlen und sind generell schwer zu erfassen.

Allerdings ist die große Diskrepanz zwischen der Anzahl von Unternehmen in Deutschland auf der einen Seite, sowie Europa, USA und China auf der anderen Seite klar ersichtlich. Die USA sind mit 39 % aller Konstellationsbetreiber weit führend, gefolgt von China mit 10 %, UK mit 8 %, Kanada mit 5 % und Frankreich mit 4 %. Deutschland ist mit einem Anteil von 0,3 % weit abgeschlagen.

2023 sind annähernd 40 Konstellationen gestartet worden, die ihre ersten Satelliten in den Weltraum verbracht haben. 2024 haben 23 Konstellationsbetreiber die ersten Satelliten gestartet und für 2025 erwarten wir nochmal höhere Zahlen. Der Trend zu mehr Satellitenkonstellationen in der Zukunft ist ungebrochen, die Zahlen steigen im Mittel exponentiell (siehe Abbildung nächste Seite).

Forschung als Schlüssel zur europäischen Raumfahrtsouveränität

In den letzten zehn Jahren haben sich große Satellitenkonstellationen als entscheidender Bestandteil einer souveränen Raumfahrtinfrastruktur herausgebildet. Konstellationen

bestehen meist aus kleinen Satelliten in niedrigen Erdorbits (LEO) und fungieren als Innovationsmotoren, die neue Anwendungen und Geschäftsmodelle ermöglichen. Die zunehmende Nachfrage nach Erdbeobachtungsdaten, schnellem Internet und digitalen Netzwerken führt weiterhin zu einer steigenden Abhängigkeit von den damit verbundenen Dienstleistungen, was ihre Relevanz für die deutsche und europäische Souveränität in den Bereichen Erdbeobachtung, Kommunikation und Navigation mit vielen Anwendungsbereichen wie beispielsweise zivile Sicherheit, Defence, Klimawandel, Telekommunikation, Landwirtschaft, Mobilität, Logistik, urbane Entwicklung, unterstreicht.

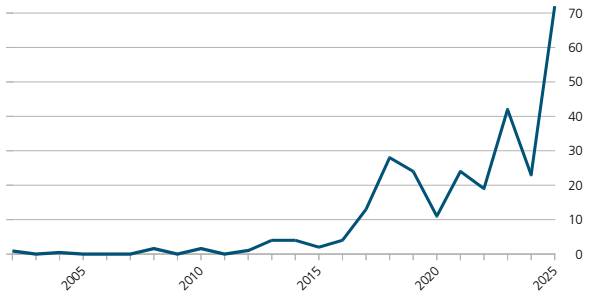
Die angewandte Forschung bei Fraunhofer spielt dabei eine wesentliche Rolle, die kommerzielle Leistungsfähigkeit der europäischen Raumfahrtindustrie zu beschleunigen. Beim Aufbau von Satellitenkonstellationen kann Fraunhofer mit innovativen Forschungsdienstleistungen und Forschungsprodukten einen entscheidenden Beitrag zum schnellen und kostengünstigen Aufbau einer deutschen und europäischen Raumfahrtinfrastruktur leisten. Mit mehr als 30 Instituten, die einen Schwerpunkt im Bereich von Raumfahrttechnologien und Raumfahrtanwendungen haben, ist Fraunhofer schon jetzt nahezu bei jeder deutschen und europäischen Raumfahrtmission mit Technologien vertreten, die von innovativen Komponenten bis hin zu Systemlösungen reichen. Die Fraunhofer-Allianz AVIATION & SPACE bündelt diese Aktivitäten und ist für die Industrie das Einfallstor zu Fraunhofer-Technologie.

Fraunhofer-Institute verfügen über die Technologie und das Know-how, Forschungsinfrastrukturen aufzubauen, mit der die Industrie zur agilen und ökonomischen Serienfertigung von Satelliten befähigt wird, einschließlich der benötigten Testverfahren zur Qualifizierung von Raumfahrtsystemen.

Auf den nächsten Seiten stellen wir unsere aktuellen Forschungsbeiträge des EMI dar, die eine hohe Relevanz für die Forschung zum Aufbau von Satellitenkonstellationen haben. Mit ERNST betreiben wir erfolgreich den ersten Forschungssatelliten der Fraunhofer-Gesellschaft. Im Projekt VLEO Demonstrator untersuchen wir die technologischen Möglichkeiten zur Realisierung einer Satellitenkonstellation in extrem niedrigen Umlaufbahnen. Dabei spielt auch die Serienfertigbarkeit eine zentrale Rolle. Im Projekt NeT pioneer untersuchen wir gemeinsam mit der Industrie die Möglichkeiten zur effizienten und automatisierten Durchführung von Funktions- und Qualifizierungstests an Raumfahrtsystemen.

Anzahl der globalen Erststarts von Satellitenkonstellationen

Quelle: newspace.im (Stand 12/2024)



Leistungsangebot

Hypervelocity Impact von Space Debris und Zertrümmerungen bei Kollisionen

Wissenschaftliche Instrumente für Weltraumanwendungen

Kleinsatellitentechnologie

On-board Data Processing von Satellitendaten

Künstliche Intelligenz für Erdbeobachtung



Aufbruch ins All: Forschungssatellit ERNST startete am 16. August 2024 mit der Transporter-11-Mission.



Erfolgreicher Start der ERNST-Mission

ERNST ist der erste von Fraunhofer entwickelte Satellit. Seit August umkreist der Kleinsatellit die Erde und liefert wertvolle Daten für die Forschung.

Im Sommer 2024 fand ein besonderer Erfolg des Fraunhofer EMI die Aufmerksamkeit eines breiten Publikums von Tagesschau und Tagesthemen: der Start des Forschungssatelliten ERNST. ERNST ist in mehrerlei Hinsicht ein Pionier: der erste mit Forschungsmitteln der Bundeswehr gebaute Kleinsatellit, der erste von Fraunhofer entwickelte Satellit und, was ihm die Prominenz in der Berichterstattung verschaffte, der erste europäische Satellit mit einer Kameranutzlast zur Raketenfrüherkennung an Bord eines nur $25 \times 25 \times 34$ cm^3 großen CubeSats.

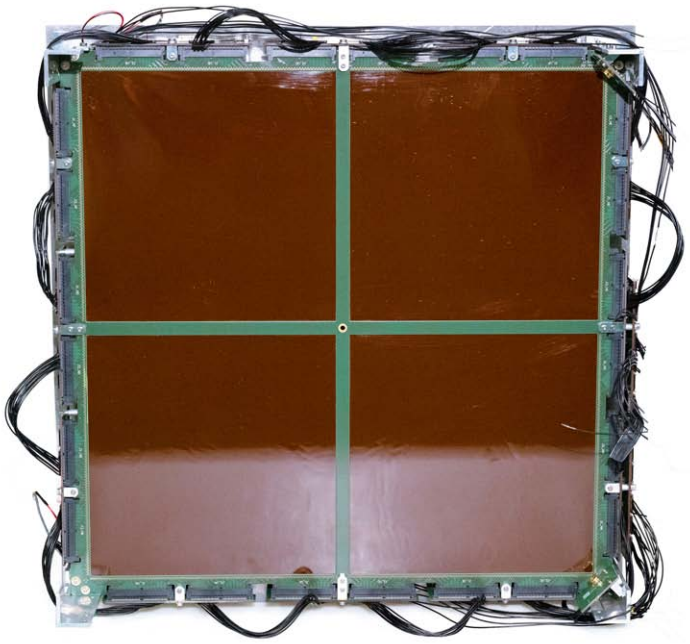
Nach der Fertigstellung und dem Absolvieren der Abnahmetests im Frühjahr 2024 wurde ERNST zu seinem Startplatz auf der Vandenberg Space Force Base in Kalifornien verbracht. Der kommerzielle Start an Bord einer Falcon-9-Trägerrakete war mit Mitteln der Bundeswehr ermöglicht worden. Wegen mehrerer Verschiebungen des Launchs reiste ein EMI-Mitarbeiter im Juli 2024 noch einmal nach Kalifornien zu ERNST, um den Ladezustand der Batterien aufzufrischen. Am 16. August 2024 war es dann endlich soweit. Mit 99 weiteren Satelliten an Bord der Transporter-11-Mission startete ERNST in seinen Zielorbit in 510 km Höhe.

Bereits nach dem zweiten Überflug stellten wir über unsere UHF-Bodenstation im EMI in Freiburg erfolgreich Kontakt zu ERNST her. Seitdem ist das Betriebsteam unermüdlich im Einsatz, um die Überflüge zur Mittagszeit und um Mitternacht zu begleiten und vorbereitete Aufgabenskripte zu kommandieren. Bis es soweit war, mussten die Inbetriebnahme im Orbit abgeschlossen und dabei auch erste Herausforderungen bewältigt werden. Seitdem ist die volle Einsatzbereitschaft von ERNST und seine Fähigkeit zum Nachverfolgen eines Ziels über das Schwenken des Satelliten während eines Überflugs erfolgreich getestet worden. Inzwischen befindet sich ERNST im planmäßigen experimentellen Betrieb. Dieser soll in den kommenden Jahren die Leistungsfähigkeit des Kleinsatelliten aufzeigen und wichtige Daten für die Raketenfrüherkennung liefern.

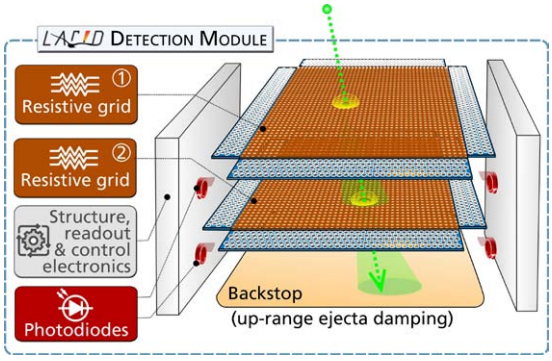
Projekt ERNST

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

Fotos: SpaceX, Fraunhofer EMI



5 cm



Neuer Ansatz zur Weltraummüll-Detektion: Testmodell und Konzept des LArID Impaktdetektors.

Präzise Detektion von Space Debris

Kleiner Weltraumschrott kann Satelliten stark beschädigen, lässt sich jedoch nur schwer beobachten. Das Fraunhofer EMI hat für die ESA ein Konzept entwickelt, das Geschwindigkeit, Bahn und Größe winziger Trümmerteile erfasst.

Space-Debris, menschliche Raumfahrtrückstände im Orbit, droht wegen seiner hohen Einschlagsgeschwindigkeiten selbst kleinerer Objekte die Funktion eines Satelliten zu beeinträchtigen. Die kleine Größe und die hohe Energiedichte sind neben Ihrer Gefährlichkeit auch der Grund für deren schwere Beobachtbarkeit. Bodengestützte Messungen mit Radaren und Teleskopen sind auf zentimetergroße Objekte beschränkt. Für kleinere Objekte kommen In-Situ-Detektoren in Frage. Trotz einer langen Historie solcher Detektoren im Orbit, ist deren Erfolgsquote derart gering, dass Space-Debris zu den unbekanntesten Größen der Orbitumwelt zählt.

Für die europäische Raumfahrtagentur hat das Fraunhofer EMI verschieden Detektionskonzepte untersucht. Ausgangspunkt der Entwicklung waren ambitionierte Anforderungen zur Messgenauigkeit, Robustheit und Zuverlässigkeit eines solchen Detektors. Das erfolgreich entwickelte Konzept eines »Large Area Low Resource Impact Detector«, LArID, besteht aus zwei dünnen Lagen, die vom einem Space-Debris-Partikel durchschlagen werden. Die Lagen sind auf deren Ober- und Unterseite mit nur 188 µm breiten, senkrecht zueinander ausgerichteten Leiterbahnen versehen. Die Durchtrennung dieser Leiterbahnen beim Einschlag führt zum Verlust deren Leitfähigkeit. Durch die Messung des Zeitpunkts dieses Ereignisses, sowie der Lage der durchtrennten Leiterbahnen, kann die Geschwindigkeit, die Bahn und die Größe des Partikels zurückverfolgt werden. Zusätzliche Photodioden messen den Zeitpunkt des Erscheinens der Plasmablitze beim Einschlag als redundante Messung. Ein besonderes Designmerkmal ist die Modularität des Detektors. Die Elektronik ist in die Seitenwände einer Grundeinheit integriert, durch deren Kombination eine große Detektionsoberfläche erreichbar ist. Nach erfolgreichen Labortests, haben wir verschiedene Missionsszenarien an Bord der ISS skizziert sowie bei Satelliten die weitere Entwicklung. So hoffen so einen Beitrag zur Erfassung von Space Debris zu leisten.

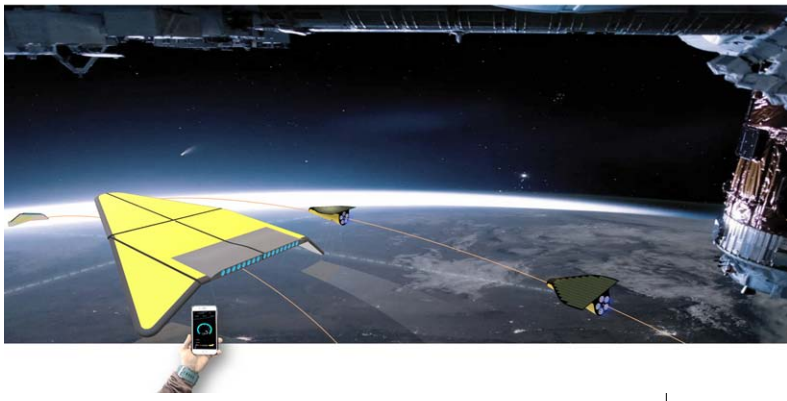
Projekt LArID
Dr. Martin Schimmerohn,
martin.schimmerohn@emi.fraunhofer.de

Hochauflösende Erdbeobachtung aus niedrigen Erdorbits

Vier Fraunhofer-Institute bündeln ihre Expertise, um robuste, nachhaltige und wirtschaftliche Lösungen für Erdbeobachtung und Kommunikation zu entwickeln. Dazu entsteht eine neue EMI-Außenstelle in Würzburg.

Kleinsatelliten in extrem niedrigen Umlaufbahnen – sogenannten Very Low Earth Orbits (VLEO) – eröffnen völlig neue Perspektiven für hochauflösende Erdbeobachtung und leistungsfähige Kommunikationsdienste. Durch ihre Nähe zur Erde liefern sie hochaufgelöste Bilder und ermöglichen schnelle, direkte Verbindungen zu mobilen Endgeräten – ideal für Anwendungen wie Umweltmonitoring, Landwirtschaft oder zukünftige 6G-Kommunikationsnetze. Gleichzeitig verglühen sie nach Ende ihrer Mission auf natürliche Weise in der Atmosphäre – ein klarer Vorteil in Sachen Nachhaltigkeit. Doch VLEO ist technisch herausfordernd: Die Restatmosphäre bremst Satelliten kontinuierlich ab, und aggressive Bestandteile wie atomarer Sauerstoff greifen Materialien an. Um diesen Bedingungen zu trotzen, sind neue Lösungen gefragt – von strömungsoptimierten Designs über widerstandsfähige Beschichtungen bis hin zu miniaturisierter, robuster Elektronik. Ebenso wichtig: Eine serienreife, kosteneffiziente Fertigung solcher Satelliten, um größere Konstellationen wirtschaftlich betreiben zu können.

Im Projekt VLEO-Demonstrator, gefördert durch das Bayerische Staatsministerium für Wirtschaft, Energie und Landesentwicklung, bündeln vier Fraunhofer-Institute ihre Expertise: Das Fraunhofer EMI (Kleinsatellitentechnologie), ISC (Materialien und Beschichtungen), IIS (Kommunikationssysteme) und IOF (Erdbeobachtungsinstrumente). Gemeinsam forschen sie and Schlüsseltechnologien in Bereichen wie Satellitendesign, Lageregelungssysteme, innovativen Materialien sowie Produktionsaspekten wie Fertigungsprozessen und automatisierten Testverfahren für den industriellen Einsatz. Der Fokus liegt auf serienfähigen, skalierbaren Lösungen mit kurzen Entwicklungszyklen – passgenau zugeschnitten auf die Anforderungen der entstehenden NewSpace-Industrie. Ein zentrales Element ist der Aufbau der neuen EMI-Außenstelle in Würzburg – einem aufstrebenden NewSpace-Standort in Bayern. Ziel ist es, das regionale Innovationsökosystem zu stärken und insbesondere kleinen und mittleren Unternehmen den Zugang zur Raumfahrt zu erleichtern. Das Projekt schafft so nicht nur technologische Grundlagen für eine neue Generation von Satelliten, sondern fördert auch die wirtschaftliche Nutzung des Weltraums »made in Germany«.



Kleinsatelliten in extrem niedrigen Umlaufbahnen: VLEO-Demonstrator eröffnet Weg in neue Raumfahrtära.
Dank ihrer Erdnähe liefern VLEO-Satelliten hochpräzise Erdbeobachtungen und leistungsstarke Kommunikationsdienste – perfekt für Umweltmonitoring, Landwirtschaft oder künftige 6G-Netze. Am Ende ihrer Lebensdauer verglühen sie kontrolliert in der Atmosphäre und fördern so eine nachhaltige Raumfahrt.



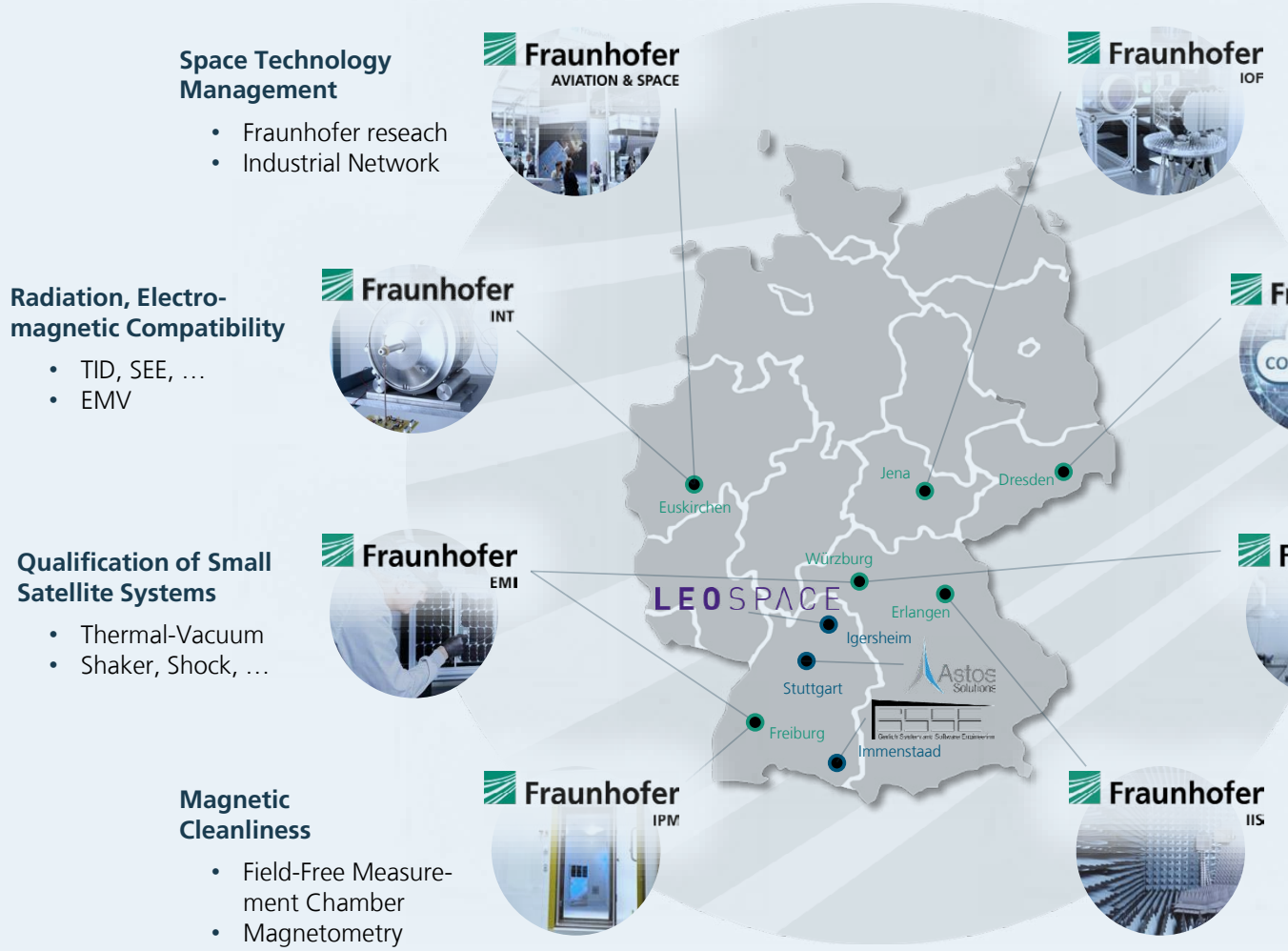
Herausforderung: Aerodynamische Wechselwirkungen in VLEO-Orbits
In nahen Umlaufbahnen verursachen Teilchen der Restatmosphäre – vor allem atomarer Sauerstoff und molekularer Stickstoff – signifikanten Materialabbau und erhöhen den Widerstand. Simulationen zeigen diese Effekte und helfen, material- und designoptimierte Satelliten zu entwickeln.

VLEO-Demonstrator
Dr. Stephan Busch
stephan.busch@emi.fraunhofer.de

Fotos: Fraunhofer EMI (3), Montage: ESA und Fraunhofer EMI

Automatisierte Tests für NewSpace

NeT pioneer: auf dem Weg zur NewSpace-Teststraße



Die Raumfahrt steht vor einem Paradigmenwechsel: Mit dem Aufstieg des NewSpace – also dem verstärkten Einstieg privatwirtschaftlicher Akteure – verändern sich die Anforderungen an Produktion und Test von Satelliten grundlegend. Statt einzelner Großsysteme treten ganze Satellitenkonstellationen in den Vordergrund, die effizient, kostengünstig und in hoher Stückzahl gefertigt und qualifiziert werden müssen. Gleichzeitig steigen die Erwartungen an Effizienz, Flexibilität und Innovationskraft. Hier setzt das Projekt NeT pioneer an, das vom Fraunhofer EMI zusammen mit der AVIATION & SPACE koordiniert wird. Acht Fraunhofer-Institute bündeln darin ihre interdisziplinäre Expertise, um gemeinsam mit Industriepartnern aus Raumfahrt, Digitalisierung und Produktion digitalisierte, automatisierte und standardisierte Testkapazitäten für NewSpace-Technologien zu entwickeln.

Im Mittelpunkt steht die Erforschung innovativer Methoden, um Testprozesse zu automatisieren und zu vernetzen – von der virtuellen Vorbereitung bis zu realen Umwelttests in komplexen Laboren. Ziel ist es, Raumfahrttechnologien schneller, effizienter und mit weniger Aufwand zu qualifizieren. Dies ist entscheidend, da Raumfahrtumgebungstests bisher aufwendig, teuer und infrastrukturlastig sind. Langfristig strebt das Projekt

Gemeinsam für NewSpace: Acht Fraunhofer-Institute und Industriepartner entwickeln im Projekt NeT pioneer automatisierte und standardisierte Testkapazitäten für die Raumfahrt.



Optical Precision Systems

- Optical Wavefront Characterization

Digital Interoperability

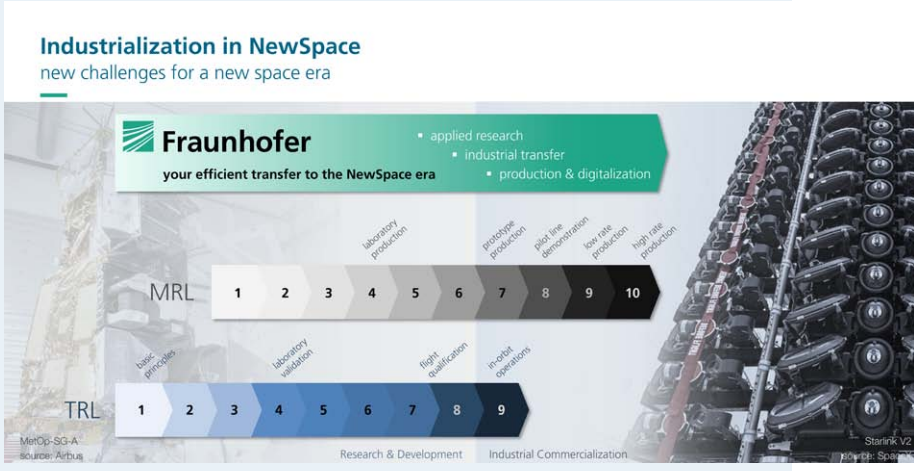
- Cooperants Dataspace
- Digital Standardisation

Automation and Test-as-a-Service

- Motion Simulation
- Digitalization

Communication and Navigation

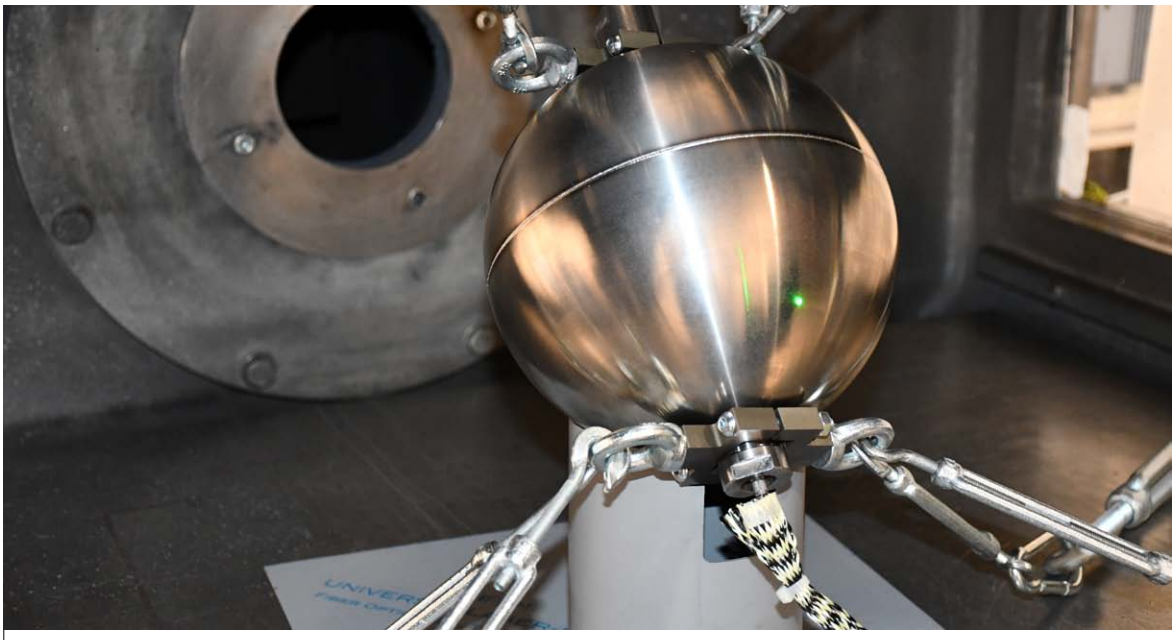
- Anechoic Chamber
- Antenna characterization



ein zentrales, flexibles Produktions- und Testhaus für NewSpace-Technologien an. Als »Infrastructure-as-a-Service« soll es Logistik, Reinräume, Integrationsflächen, Prüfstände und Fachwissen flexibel und skalierbar bieten. Ergänzt wird dies durch »Expertise-as-a-Service« mit Leistungen wie Design-for-Testability oder Design-for-Series-Production – in enger Zusammenarbeit mit der Industrie, vor Ort und in effizienten Co-Working-Sprints. NeT pioneer steht exemplarisch für die praxisnahe Forschung der Fraunhofer-Gesellschaft. Mit Fokus auf Digitalisierung, Produktionstechnologien und Technologietransfer unterstützt das Projekt die Transformation der Raumfahrt hin zu industrieller Serienfertigung und marktfähigen Lösungen. Ziel ist es, die wirtschaftliche Verwertbarkeit neuer Technologien zu stärken und den Weg in kommerzielle Anwendungen zu ebnen. Die Deutsche Raumfahrtagentur im DLR fördert das Pionierprojekt mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK).

NeT pioneer
Dr. Stephan Busch
stephan.busch@emi.fraunhofer.de

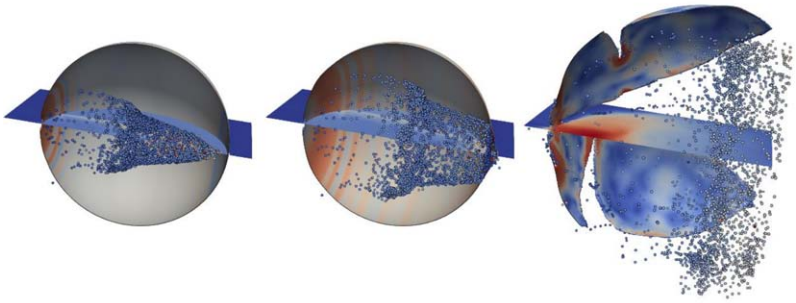
Fotos: Fraunhofer Aviation & Space, Fraunhofer EMI (2)



Impaktversuche auf Satellitentanks

Explosionen von Treibstofftanks sind eine Hauptquelle für Space Debris. Simulationen helfen, kritische Versagensbedingungen besser zu verstehen.

Fragmentierungsereignisse sind die Hauptquelle von Space Debris im Orbit. Eine der Ursachen sind Explosionen von Treibstofftanks von ausgedienten Satelliten und Oberstufen. Es gibt Vorschriften zur Passivierung dieser Tanks zum Missionsende durch das Ablassen des Innendrucks. Im Experiment untersuchten wir in 2024 den kritischen Restdruck und die Einschlagsbedingungen von Raumfahrttanks aus Titan, bei dem der Hypervelocity Impact eines Partikels in eine katastrophale Explosion übergeht. Ergänzt durch umfangreiche Simulationen, sollen so die kritischen Versagensbedingungen abgeleitet werden.



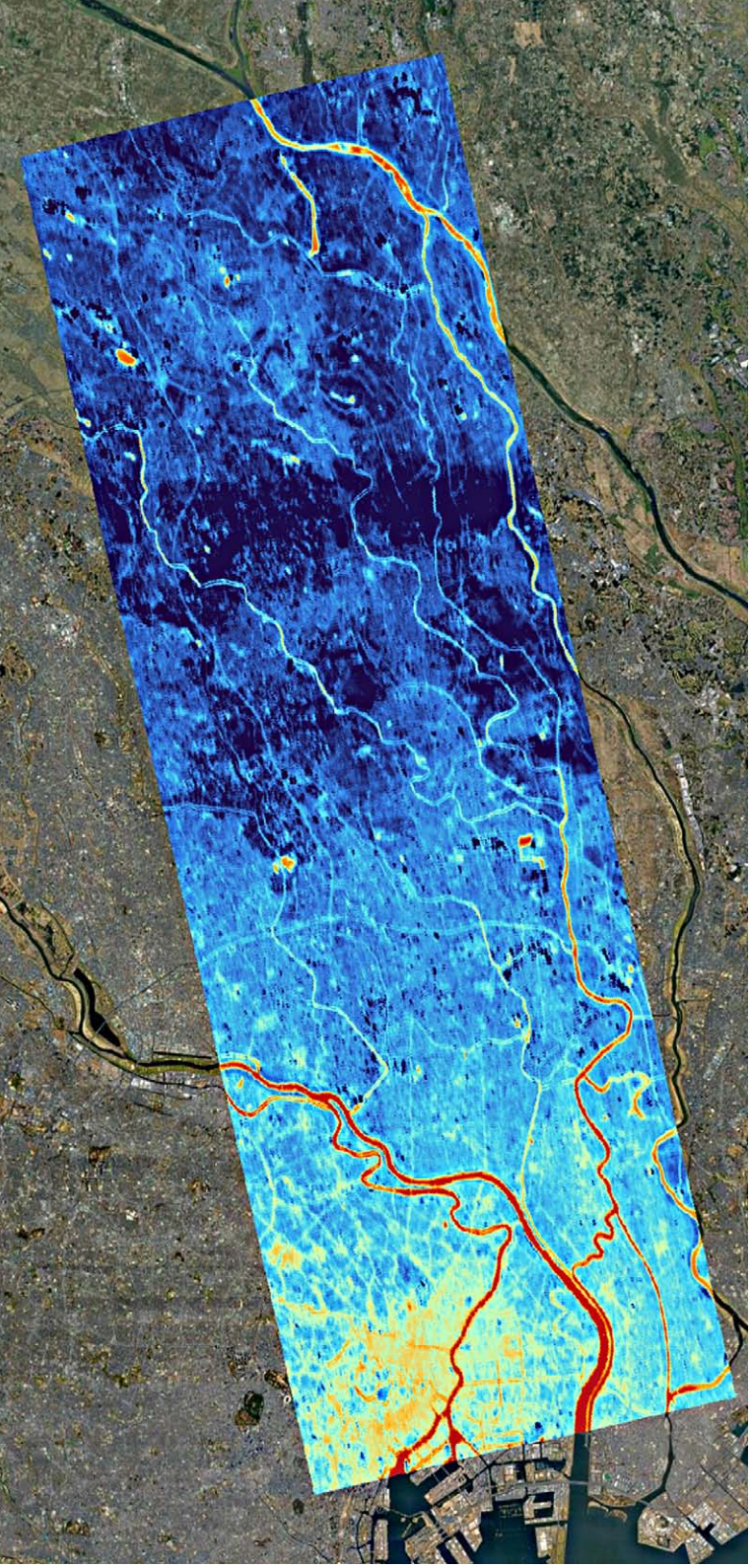
Projekt: ESA Impact-Safe Tank Pressure Level

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

Prof. Dr. Frank Schäfer ist neuer Sprecher des Geschäftbereichs SPACE von Fraunhofer AVIATION & SPACE

Im August 2024 wählten die Vertreter der etwa 30 Fraunhofer-Institute im Geschäftsbereich SPACE von Fraunhofer AVIATION & SPACE Prof. Dr. Frank Schäfer zum neuen Sprecher SPACE. Er folgt auf Prof. Dr. Dr. Michael Lauster, der seit 2014 die Fraunhofer-Allianz SPACE und ab 2021 Fraunhofer AVIATION & SPACE als Sprecher SPACE geprägt hat. Zudem wählten sie Rainer Wansch vom Fraunhofer IIS zum neuen stellvertretenden Sprecher SPACE.

Fotos: Fraunhofer EMI (4), constellr GmbH



Auftakt für die HiVE-Satelliten-konstellation

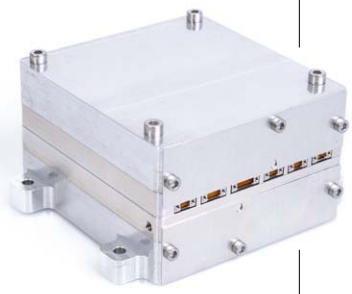
EMI-Ausgründung constellr: erfolgreicher Start und erste Bilder von »SkyBee-1«.

Am 14. Januar 2025 startete der Satellit »SkyBee-1« im Rahmen der SpaceX-Mission »Transporter-12« ins All. Der Start verlief erfolgreich, und kurz darauf nahm der Satellit ein erstes Infrarotbild über Tokio auf.

»SkyBee-1« ist der erste von bis zu 30 Satelliten der Konstellation »High-Precision Versatile Ecosphere« (HiVE), die die EMI-Ausgründung constellr derzeit aufbaut. constellr will mit HiVE die Oberflächentemperatur präzise und hochauflösend messen. »SkyBee-2« folgt noch dieses Jahr, und bis 2028 sollen fünf Satelliten die erste Ausbaustufe abschließen.

Das EMI liefert die »Data Processing Unit« (DPU) als zentralen Nutzlastrechner für diese Satelliten.

Tokio bei Nacht: Die erste offizielle Infrarotaufnahme des Satelliten SkyBee-1 zeigt die Temperaturverteilung in und um Tokio im Januar 2025. Die Verarbeitung an Bord des Satelliten erfolgt durch eine am Fraunhofer EMI gebaute Data Processing Unit.



Geschäftsfeld Raumfahrt
Prof. Dr. Frank Schäfer, frank.schaefer@emi.fraunhofer.de
→ emi.fraunhofer.de/raumfahrt





Geschäftsfeld Luftfahrt



Lithiumbatterien an Bord: Wie groß ist die Gefahr durch Handys und Laptops?

Das Fraunhofer EMI erforscht gemeinsam mit Airbus die Risiken von Lithiumbatterien in der Luftfahrt. Im Batterieprüfzentrum des Fraunhofer EMI wurden verschiedene Laptops, Tablets und Smartphones gezielt erhitzt, um Daten zur Rauchausbreitung zu gewinnen. Diese Erkenntnisse fließen in Simulationen ein, die das Verhalten von Rauch und Feuer in realistischen Flugzeugumgebungen nachbilden.

Foto: Fraunhofer EMI

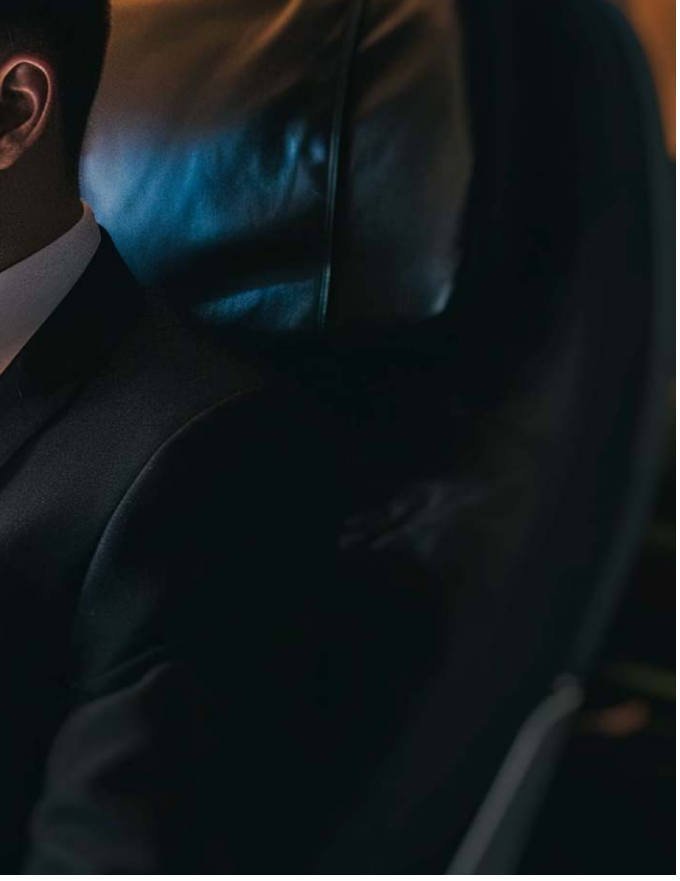


Batteriesicherheit in der Luftfahrt

Ob in persönlichen Geräten oder als Antriebsquelle für zukünftige E-Flugzeuge: Die Sicherheit von Batterien ist ein kritischer Faktor in der Luftfahrt. Die steigende Zahl von Zwischenfällen zeigt, wie groß die Risiken sind.

Das Fraunhofer EMI arbeitet mit Airbus und der EASA an innovativen Lösungen, um Batteriebrände zu verhindern und die Luftfahrt sicherer zu machen.

Von **Dr. Michael May**



Sichere Nutzung am Bord: Das Fraunhofer EMI erforscht zusammen mit dem Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP und Airbus die Gefahren von Batteriebränden in modernen Smartphones oder Tablets an Bord von Flugzeugen.

Thermisches Durchgehen: Warum Batteriebrände in Flugzeugen besonders gefährlich sind

In den letzten Jahren ist die Zahl der Zwischenfälle, bei denen Batterien in Heimspeichern oder Elektroautos in Brand geraten, alarmierend gestiegen. Diese Vorfälle sind oft auf Produktionsfehler, unsachgemäße Handhabung oder Überladung zurückzuführen und haben nicht nur materielle Schäden, sondern auch Gefahren für die persönliche Sicherheit zur Folge. Dieses auch »Thermisches Durchgehen« genannte Phänomen, das insbesondere in Lithium-Ionen-Batterien auftritt, ist kritisch und kann zu gefährlichen Situationen führen. Es beschreibt einen unkontrollierten Temperaturanstieg in der Batteriezelle, der eine Kettenreaktion auslösen kann, wodurch die Batterie überhitzt, brennt oder sogar explodiert. In der Luftfahrt ist dieses Thema besonders relevant, da ein Batteriebrand im Flugzeug katastrophale Folgen haben kann. Die Enge der Kabine, die begrenzten Mittel zur Brandbekämpfung und lange Flugzeiten zum nächsten Flughafen machen Brände in Flugzeugen besonders gefährlich. Die Auswirkungen eines Brandes in der Luft umfassen die Gefährdung der Passagiere und der Besatzung sowie die Möglichkeit eines Kontrollverlusts über das Flugzeug. Daher ist es von entscheidender Bedeutung, die Risiken des thermischen Durchgehens und die Wahrscheinlichkeit für das Eintreten zu verstehen, um daraus geeignete Sicherheitsmaßnahmen ableiten zu können, die die Sicherheit in der Luftfahrt gewährleisten.

Wie gefährlich sind Risikofaktor persönliche elektronische Geräte?

Jeder Fluggast trägt ein oder mehrere mobile elektronische Geräte wie Mobiltelefone, Tablets oder Notebooks bei sich. Diese Geräte enthalten oft Lithium-Ionen-Batterien, die bei Beschädigung, Überhitzung oder Fehlern thermisch durchgehen können. Ein Beispiel für die Risiken von Smartphone-Batterien ereignete sich 2016, als die FAA (Federal Aviation Administration) Samsung-Mobiltelefone des Modells Galaxy Note 7 wegen Berichten über Überhitzung und Brände verbot. Nach zahlreichen Vorfällen, bei denen die Geräte in Flammen aufgingen oder explodierten, leitete Samsung eine globale Rückrufaktion ein. Die FAA erließ daraufhin eine Regelung, die Passagieren untersagte, das Galaxy Note 7 an Bord von Flugzeugen zu bringen. Dies verstärkte die Besorgnis über die Sicherheit von Lithium-Ionen-Batterien in tragbaren Geräten. Dieser Vorfall zeigt die Notwendigkeit, die Sicherheitsstandards für Batterien in mobilen Geräten zu erhöhen. Dazu gehört auch, das Bewusstsein der Passagiere für potenzielle Risiken zu schärfen, um die Sicherheit an Bord zu gewährleisten.

Das Fraunhofer EMI untersucht gemeinsam mit dem Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP und Airbus die Risiken durch Batteriefeuer in modernen Smartphones oder Tablets an Bord von Flugzeugen. Dieses Forschungsvorhaben, LOKI-PED genannt, wird von der europäischen Flugsicherheitsbehörde EASA finanziert.

Foto: WS Studio 1985 / stock.adobe.com



Das Fraunhofer EMI erforscht mit modernster Röntgentechnologie und Simulationen das Verhalten von Hochleistungsbatterien beim thermischen Durchgehen – ein entscheidender Schritt für sichere und leistungsfähige Energiespeicher für vollelektrisches Fliegen.

Die Zukunft: (hybrid-) elektrischer Antrieb

Die klimaneutrale Luftfahrt der Zukunft wird maßgeblich durch technologische Innovationen geprägt, insbesondere durch hybrid-elektrische und vollelektrische Antriebe. Diese Antriebssysteme sind entscheidend für die Erreichung der ehrgeizigen Ziele des Flightpath 2050, welcher darauf abzielt, die CO_2-Emissionen der Luftfahrt um bis zu 75 % zu reduzieren. Angesichts der wachsenden Herausforderungen des Klimawandels und der Notwendigkeit, die Umweltauswirkungen des Luftverkehrs zu minimieren, bieten hybrid-elektrische Antriebe eine vielversprechende Lösung. Sie kombinieren die Effizienz konventioneller Triebwerke mit elektrischen Antrieben der Megawattklasse. Vollelektrische Antriebe gehen noch einen Schritt weiter, indem sie eine emissionsfreie Mobilität ermöglichen. Diese Entwicklungen sind nicht nur technologisch faszinierend, sondern auch notwendig, um eine nachhaltige Luftfahrtindustrie zu schaffen, die den Anforderungen der Zukunft gerecht wird.

Megawatt-Antriebe im Flugzeug: mit Batterien den Wandel ermöglichen

Das elektrische Fliegen mit Antrieben der Megawattklasse stellt eine erhebliche Herausforderung für die Batterietechnologie dar, da die benötigte Energiedichte, Gewichtseffizienz und Ladezeiten weit über die derzeit verfügbaren Kapazitäten hinausgehen. Für die Realisierung von vollelektrischen Flugzeugen, die größere Reichweiten und Nutzlasten bieten, müssen Batterien eine Energiedichte erreichen, die weitaus höher ist als die von heutigen Lithium-Ionen-Batterien. Neben Fragen der Gewichtseffizienz und Ladezeiten stellen die Lebensdauer und Sicherheit dieser Hochleistungsbatterien große Herausforderungen an die Forschung und Entwicklung.

Das Fraunhofer EMI ist mit seiner Kombination aus herausragenden technischen Versuchseinrichtungen zur Untersuchung des thermischen Durchgehens großer Batterien, inklusive der Möglichkeit mit bildgebenden Röntgenverfahren während des thermischen Durchgehens in das Innere der Batterie zu schauen, und den Kompetenzen im Bereich der Simulation des thermischen Durchgehens von Batteriezellen, -modulen, und -packs bestens aufgestellt, um die Luftfahrtindustrie auf dem Weg zum elektrischen Fliegen zu unterstützen.

Hierbei profitiert die Luftfahrtindustrie von dem über Jahre im Kontext der Mobilitätswende aufgebauten Expertenwissen der Wissenschaftler am Fraunhofer EMI. Ein erstes Referenzprojekt, in welchem dieses Wissen in die Luftfahrt übertragen wird, ist das vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klima im Rahmen des Luftfahrtforschungsprogramms der Bundesregierung Lufo VI-3 geförderte Vorhaben HYDRO. Im Rahmen dieses Vorhabens untersuchen EMI-Wissenschaftler gemeinsam mit Ingenieuren von Airbus Helicopters wie große Batterien für einen Elektromotor am sichersten in einen Hubschrauber integriert werden können.

Fotos: Fraunhofer EMI (using Midjourney), Fraunhofer EMI

Wissen von Automobilindustrie auf Luftfahrt übertragen

Das Fraunhofer EMI spielt eine entscheidende Rolle bei der Unterstützung der Luftfahrtindustrie in der Bewertung und Verbesserung der Sicherheit von Batterien. Angesichts der Herausforderungen, die mit dem thermischen Durchgehen von Lithium-Ionen-Batterien verbunden sind, ist es unerlässlich, robuste Sicherheitsstandards und -protokolle zu entwickeln. Die Expertise des Fraunhofer EMI in der Untersuchung des thermischen Durchgehens und die Möglichkeit, mit innovativen bildgebenden Verfahren tiefere Einblicke in die Batterietechnologie zu gewinnen, ermöglichen es, potenzielle Risiken frühzeitig zu identifizieren und zu minimieren. Durch Forschungsprojekte wie LOKI-PED und die Zusammenarbeit mit Airbus Helicopters im Rahmen des Projekts HYDRO wird das gesammelte Wissen und die Erfahrung aus der Automobilindustrie auf die Luftfahrt übertragen. Dies verbessert nicht nur die Sicherheitsstandards für Batterien in der Luftfahrt, sondern trägt auch zur Entwicklung effizienter Lösungen für die zukünftige klimaneutrale Luftfahrt bei. Die fortschrittlichen Technologien und Methoden, die am Fraunhofer EMI eingesetzt werden, sind von zentraler Bedeutung, um die Luftfahrtindustrie auf dem Weg zu sicheren, elektrischen Antrieben der Megawattklasse zu unterstützen und nachhaltig zu transformieren.



Batterieforschung auf allen Ebenen: Vom Zellverhalten bis zur Systemintegration erforscht das Fraunhofer EMI die Sicherheit und Leistungsfähigkeit von Batterien. Mithilfe modernster Testverfahren, bildgebender Technologien und Simulationen werden thermische Prozesse analysiert.



»Eine Batterie besteht per Definition aus einer Ansammlung von Zellen. Jede Zelle ist eine kleine Dose, die Chemikalien enthält. Die Herausforderung liegt darin, eine Zelle mit hoher Energiedichte zu entwickeln und viele solcher Zellen sicher zu einer großen Batterie zusammenzuführen.«

Elon Musk

Leistungsangebot

Analyse und Optimierung von Flugzeugstrukturen bei Impakt durch Hagel, Debris und Vogelschlag

Beschleunigungstests für Sitze, Kabinenstrukturen u. ä.

Batteriesicherheit: bei Energiespeichern und bei Geräten in der Kabine

Charakterisierung von Werkstoffen, Prüfung von Strukturen, Komponenten und Fügeverbindungen

Modellierung und Optimierung von Leichtbaustrukturen



Airbus PioneerLab, die neue Forschungsplattform für Zwei-Turbinen-Helikopter

Sichere Integration eines Batteriesystems in einen Helikopter

Das Fraunhofer EMI erforscht die Sicherheit des Hochvolt-Batteriesystems unter Crashbelastungen und beim thermischen Durchgehen.

Im Rahmen des Verbundprojekts HYDRO ersetzt Airbus Helicopters eines der beiden Triebwerke in seinem Technologie-Demonstrationshubschrauber PioneerLab durch einen elektrischen Antriebsstrang. Das Fraunhofer EMI unterstützt diese Aktivitäten, indem es das Hochvolt-Batteriesystem unter Crashbelastungen und beim thermischen Durchgehen untersucht. Das Projekt wird vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz auf der Grundlage eines Beschlusses des Deutschen Bundestages im Rahmen des Luftfahrt-Forschungsprogramms VI-3 gefördert. Diese Forschungsaktivitäten bilden die Grundlage für zukünftige elektrische oder hybrid-elektrische Hubschrauberkonzepte, die eine Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs und der Treibhausgasemissionen ermöglichen werden.

Basierend auf seinem umfangreichen Wissen über die Sicherheit von Batterien in Fahrzeugen wird das Fraunhofer EMI in enger Zusammenarbeit mit den Ingenieuren von Airbus Helicopters zuverlässige Strategien für die sichere Integration von Batteriesystemen in zukünftige Hubschraubersysteme erarbeiten.

Deshalb wird das Batterietestteam Tests auf Modul- und Zellebene für Crashlastfälle als auch beim thermischen Durchgehen durchführen. Diese hoch instrumentierten Tests werden das Wissen über das Verhalten des Batteriesystems unter abnormalen Bedingungen erweitern. Darüber hinaus wird das Batteriesimulationsteam Simulationsmodelle für die Lastfälle Crash und Thermisches Durchgehen entwickeln. Diese Simulationsmodelle, die mit den gewonnenen Testdaten validiert werden, ermöglichen Designoptimierungen von Gefahrenminderungsmaßnahmen und Risikoanalysen. Damit unterstützt das Fraunhofer EMI die sichere Integration des Batteriesystems in fliegende Plattformen wie das Airbus PioneerLab.

Projekt HYDRO
Dr. Simon Holz,
simon.holz@emi.fraunhofer.de

Gefördert durch:
Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages





Versuchsaufbau:
Mockup eines Airbus A320.

Brandtests mit Laptops in der Flugzeugkabine

Untersuchung von Feuer- und Rauchrisiken durch Lithiumbatterien in Flugzeugen.

Im Rahmen des LOKI-PED (Lithium batteries in pOrtable electronic devices – risK of fIre and smoke) Projekts arbeiten Forschende des Fraunhofer EMI und des Fraunhofer IBP mit Airbus zusammen, um die Rauch- und Brandrisiken zu untersuchen und zu bewerten, die mit Lithiumbatterien in tragbaren elektronischen Geräten (PEDs) in Kabinen und Cockpits verbunden sind. Das Projekt wird unterstützt von der Agentur der Europäischen Union für Flugsicherheit (EASA) und finanziert durch das Forschungsrahmenprogramm Horizon Europe der Europäischen Union.

Im letzten Jahr wurden Brandtests mit Laptops in einer Flugzeugkabine am Fraunhofer EMI in Efringen-Kirchen durchgeführt. Die Tests wurden in einer belüfteten A320-Kabine durchgeführt. Laptops mit neun Batteriezellen in einer Metallbox wurden an fünf verschiedenen Positionen in der Kabine platziert: auf dem Boden, auf Sitzen und im Gepäckfach. Während der Tests wurden die Menge und Zusammensetzung der Abgase sowie die Temperaturen in der Kabine analysiert.

Projekt LOKI-PED
Dr. Simon Holz,
simon.holz@emi.fraunhofer.de



Brandtest: Acht aufeinanderfolgende Bilder zeigen Entlüftungsereignisse mit starken Jetflammen (Bilder 1 5), Explosionen (7), kleine Feuer (3 4 6 8) und Schwelbrände (2). Obwohl die Kabine mit 60 l/s Frischluft belüftet wird, ist eine Sichtreduktion festzustellen.

Hinweis: Das betrachtete Szenario ohne menschliches Eingreifen entspricht einem Worst-Case-Szenario. Im Realfall hätte die Flugbegleitung das Feuer sofort bekämpft.

Fotos: AIRBUS, Fraunhofer EMI (10)

2024 im Rückblick



AIRTAXI World Congress

Im November 2024 wurde London zum Schauplatz des AIRTAXI World Congress, der zum vierten Male stattfand. Der Kongress bot die Gelegenheit zu zahlreichen vorab organisierten B2B-Meetings, bei denen Akteure aus verschiedensten Bereichen wie Lufttaxihersteller, Fluggesellschaften, Flottenbetreiber, Investoren, Flughäfen, Vertiports sowie Regulierungsbehörden miteinander in Kontakt traten. Auch das Fraunhofer EMI war beim Kongress vertreten, knüpfte spannende Kontakte in den B2B-Meetings und gewann wertvolle Einblicke in aktuelle Trends und Entwicklungen im Bereich Advanced Air Mobility.



Simon Holz, LOKI-PED Projektleiter und Michael May, Geschäftsfeldleiter Luftfahrt.

Austausch mit der internationalen Industrie und Wissenschaft

Das Fraunhofer EMI war auf dem AIAA SciTech Forum in Orlando durch Michael May und Simon Holz vertreten. Unter anderem stellte dort Electra seine Vision zum hybrid-elektrischen Fliegen vor. Die Ergebnisse des europäischen Forschungsprogramms Clean Aviation, die sich auf zukünftige Flugzeugantriebe konzentrierten, wurden in mehreren Sessions vorgestellt. Saab Aeronautics präsentierte sein Handbuch zur Entwicklung von Simulationsmodellen.
Das Fraunhofer EMI stellte die Arbeit »Portable Electronic Devices in Cabin and Cockpit – Analysis of Hazards« vor.

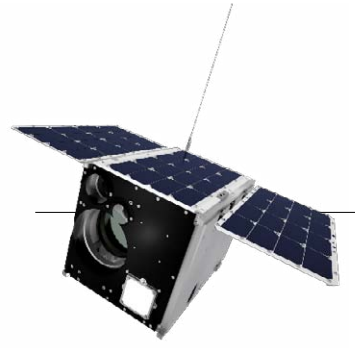
AIAA AVIATION Forum Las Vegas

Im Juli 2024 veranstaltete das American Institute of Aeronautics and Astronautics (AIAA) das AIAA AVIATION Forum in Las Vegas, Nevada. Das AIAA AVIATION Forum ist eine der größten wissenschaftlichen Tagung im Bereich der Luftfahrttechnik.

Das Fraunhofer EMI stellte zwei Beiträge zur Entwicklung eines topologieoptimierten, additiv gefertigten metallischen Strukturbauteils für die Luftfahrt vor, welches am EMI im Rahmen des Großforschungsvorhabens Clean Sky 2, in Zusammenarbeit mit SAAB Aerostructures, entworfen, optimiert, gedruckt und getestet worden ist.



Metall-3D-Druck für die Luftfahrt: leicht, stabil und effizient. Die Fertigungstechnologie bietet zahlreiche Vorteile: geringeres Gewicht, hohe mechanische Belastbarkeit und eine optimierte Materialnutzung.



Internationale Luft- und Raumfahrtausstellung: Additiv gefertigtes Bauteil und Kleinsatellit ERNST

Das Fraunhofer EMI war auf der vergangenen Internationalen Luft- und Raumfahrtausstellung ILA in Berlin (05.-09. Juni 2024) an einem Gemeinschaftsstand der Fraunhofer Allianz AVIATION und SPACE beteiligt und stellte dem interessierten Fachpublikum neben dem Kleinsatelliten ERNST auch ein 3D-gedrucktes metallisches Strukturbauteil für eine Cargotür vor, welches im Rahmen von Clean Sky 2 in Zusammenarbeit mit SAAB entwickelt worden ist.

Geschäftsfeld Luftfahrt
Dr. Michael May, michael.may@emi.fraunhofer.de
→ emi.fraunhofer.de/luftfahrt



Fotos: cwiela_CH / stock.adobe.com, Fraunhofer EMI (3)

Leistungszentrum Nachhaltigkeit





Floating-PV: Standgewässer für Photovoltaik nutzen

Das Projekt FPV4Resilience erforscht, wie schwimmende Photovoltaikanlagen umweltverträglich und energieeffizient betrieben werden können. Untersuchungen auf drei Seen zeigen: Eine optimierte Flächenbelegung kann die nachhaltige Nutzung verbessern, ohne die Ökosysteme wesentlich zu beeinträchtigen. Die gewonnenen Daten ermöglichen präzisere Simulationen, die künftig wirtschaftlichere FPV-Projekte fördern.

Foto: ungvar / stock.adobe.com

Nachhaltigkeitsforschung zur Anwendung bringen

LEISTUNGSZENTRUM NACHHALTIGKEIT FREIBURG

Fünf Freiburger Fraunhofer-Institute – EMI, IAF, IPM, ISE und IWM – sowie die Universität Freiburg arbeiten im Leistungszentrum Nachhaltigkeit (LZN) zusammen. Das Ziel: exzellente Forschung vorantreiben und nachhaltige Technologien entwickeln. Ihre Ergebnisse sollen Wirtschaft und Gesellschaft zugutekommen und so eine nachhaltige Entwicklung voranbringen.

Neue Förderphase von 2025 bis 2027
Eine neue Förderphase ermöglicht, weiterhin nachhaltige Technologien durch Forschungsförderung und Transferaktivitäten voranzutreiben.

Klare Prioritäten für ein geschärftes Profil
Für den Antrag auf eine neue Förderphase des LZN setzte sich das Fraunhofer EMI intensiv mit dem Begriff »technologische Nachhaltigkeit« auseinander. Das LZN verfolgt nun drei Forschungsschwerpunkte, die sich in jeweils drei Themenfelder gliedern. In Fach-Communitys findet ein moderierter Austausch zwischen den Forschenden des LZN zu den jeweiligen Themen statt.

Programmvielfalt zwischen Forschung und Transfer
Das neue Programm setzt auf bewährte und neue Fördermaßnahmen. Es unterstützt drei Forschungskooperationen zu Technologien mit unterschiedlichem Reifegrad. Zudem fördert es den Transfer durch Ausgründungen, Lizenzierungen, Normungen, Standardisierungen und Weiterbildungen. Neu sind zwei jährliche »Transferprojekte«, die als Bindeglied zwischen Forschung und Anwendung dienen. Diese Projekte zielen auf Technologien, die kurz vor dem Markteintritt stehen, und sollen den letzten Anstoß für ihren Einsatz in Wirtschaft und Gesellschaft geben.

Forschungsschwerpunkte

Nachhaltige Energiesysteme

Im Bereich »Nachhaltige Energiesysteme« wird an Technologien und Transformationsprozessen für die Energiewende geforscht. Besonderer Fokus liegt hierbei auf »nachhaltiger und resilienter Stromversorgung«, »nachhaltigen und sicheren Batterien« sowie »Wasserstofftechnologien«.

Nachhaltigen Materialien, Komponenten und Produkte

Zur Förderung von Zirkularitätsstrategien, werterhaltenden Prozessen und Technologien forscht das LZN an »Nachhaltigen Materialien, Komponenten und Produkten«. Wichtige Themenfelder sind hierbei die »Digitalisierung und künstliche Intelligenz für zirkuläre Wertschöpfung«, »R-Technologien wie Reuse, Repair, Recycling für Komponenten und Produkte« und die »Steigerung der Energie- und Ressourceneffizienz von Produktionsprozessen«.

Resiliente Infrastruktur und Lebensräume

Um Städte und Regionen langfristig krisenfest und sicher zu gestalten, fördert das LZN Forschungsvorhaben zu »Resilienter Infrastruktur und Lebensräumen«. Dies dekliniert sich entlang der Bereiche »Verkehrssicherheitsforschung«, »Ganzheitliche Analysen, Modellierung und Bewertung kritischer Infrastruktur und Lebensräume« und »Resilienzmanagement in Organisationen (Unternehmen, Städte, Kommunen)«.



Forschung für den Markt: Das Projekt FoTraBox entwickelt Strategien und Methoden, um Forschung frühzeitig marktorientiert auszurichten.

Exzellente Forschung in die Wirtschaft bringen

Projekt FoTraBox – Strategien zur Verbesserung der Marktchancen ingenieurwissenschaftlicher Forschung.

Ein häufiges Problem in der Wissenschaft: Forschung ignoriert oft die Bedürfnisse von Industrie und Wirtschaft. Gleichzeitig müssen sich Forschende an sich wandelnde Bedingungen bezüglich der Möglichkeiten öffentlicher Projektausschreibungen und der Wirtschaftlichkeit ihrer Forschung in Form von Industrieaufträgen, Lizenzeinnahmen oder Ausgründungen orientieren. Diese Faktoten beeinflussen die Qualität ihrer Arbeit erheblich.

Eine Brücke zwischen Forschung und Markt
Das Forschungsprojekt FoTraBox des Leistungszentrums Nachhaltigkeit will diese Lücke schließen. Ziel ist es, Forschung frühzeitig marktorientiert auszurichten. Dafür entwickelt das Projekt eine methodische Toolbox, die praxiserprobte Methoden bietet. Diese »Forschungstransferbox« soll Forschenden helfen, eigenständig Marktanforderungen zu erkennen und ihre Arbeit gezielt darauf abzustimmen.

Förderung und Umsetzung
Das Projekt wird vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) finanziert. Es läuft vom 1. November 2024 bis 30. November 2025 und wird vom Leistungszentrum Nachhaltigkeit gemeinsam mit der Beratungsagentur »machn« der Grünhof 3000 GmbH umgesetzt.

Projekt FoTraBox
Dr. Juri Lienert
Juri.Lienert@emi.fraunhofer.de

Fotos: Fraunhofer EMI using Midjourney

Forschungsprojekte am LZN

Schwimmende Photovoltaik

Gesteigerte Klimaresilienz von Standgewässern durch ertragsoptimierte schwimmende Photovoltaik.

Im Projekt FPV4Resilience hat das Fraunhofer ISE zusammen mit der Professur für Hydrologie an der Universität Freiburg erforscht, wie Floating-Photovoltaik-Anlagen im Einklang mit der Natur und dennoch möglichst energieeffizient betrieben werden können.

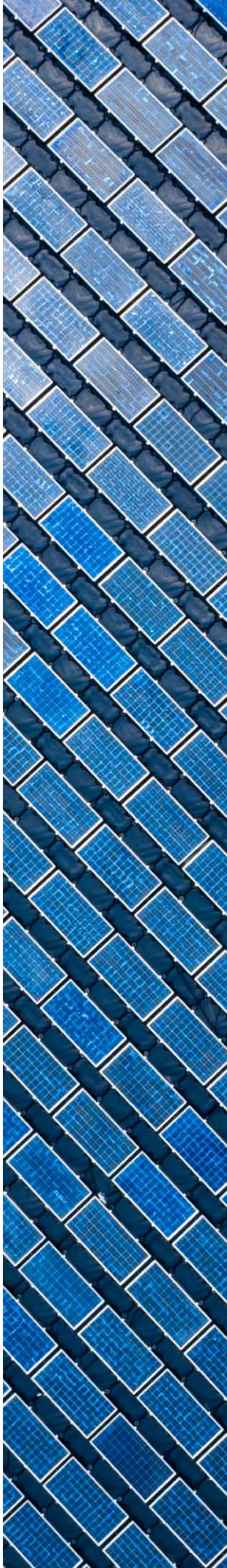
Hierzu wurden Photovoltaik-Anlagen in unterschiedlichen Konfigurationen auf drei verschiedenen Seen untersucht und die Auswirkungen auf die Ökosysteme der Seen anhand verschiedener Parameter analysiert. Die Studien zeigen, dass an allen drei Standorten trotz verschiedener Anlagendesigns und -größen die Wasserqualität unverändert bleibt. Im deutschen Gewässer nahm die Trübung sogar ab, da Muscheln an der Unterkonstruktion der Solaranlage siedeln und das Wasser filtern. Diese Ergebnisse unterstützen Projektierer dabei, Anlagen so zu planen, dass sie die Gewässerqualität kaum beeinträchtigen oder sogar verbessern.

Schwimmende PV oder Floating-PV (FPV) stellt in Europa eine vergleichsweise neue Technologie mit beachtlichem globalem Potenzial dar. Hierbei werden die PV-Module schwimmend auf Unterkonstruktionen auf dem Wasser platziert.
Die europäischen Seen werden infolge des Klimawandels Temperaturveränderungen erfahren. Hierdurch kann es zu starker Beeinträchtigung und in manchen Fällen sogar zum kompletten Verlust aquatischer Ökosysteme kommen, was die Funktion der Seen als Klimaregulatoren maßgeblich beeinflusst.
Um die Auswirkungen von FPV-Anlagen auf die Seen zu untersuchen, wurden Windreduktion, Abschattungswirkung und Wasserqualität (Wassertemperatur, Sauerstoffsättigung, Nitratwerte, Trübung) beobachtet. Es wurde festgestellt, dass alle Parameter sehr stark von dem installierten FPV-Systemdesign abhängen. Die durch die Anlagen hervorgerufenen Änderungen lassen jedoch keine schwerwiegenden Konsequenzen für die Ökosysteme vermuten.
Auf Basis der erhobenen Messdaten konnte für alle untersuchten Seen ein GLM-AED2-Modellsetup erstellt werden, das die Effekte der FPV-Anlagen detailliert simulieren kann. Dieses Modell bietet eine wertvolle Grundlage für die Planung und Optimierung von FPV-Anlagen. Die hydrodynamische Modellierung soll in Zukunft dazu beitragen, intensive Monitoringverfahren zu ersetzen und FPV-Projekte dadurch wirtschaftlicher zu gestalten.



Untersuchte FPV-Anlage auf dem Lac de Toules im Schweizer Wallis: Die Anlage mit der Größe eines Fußballfeldes und einer Nennleistung von 0,45 MWp ist auf einem Wasserspeicher installiert.

Projekt FPV4Resilience
Dr. Karolina Baltins
karolina.baltins@ise.fraunhofer.de





Fotos: Fraunhofer ISE, AU USAnakul+ / stock.adobe.com, Fraunhofer EMI using Dall-E

Barrierefreie Städte: Monitoring und Effizienzanalyse

Projekt SAVIS – Mit präzisen Sensoren und simulationsgestützten Gefahrenanalysen die Basis für unfallfreie Städte von morgen schaffen.

Für wen sind unsere Städte gebaut? Vor allem Personen mit besonderen Mobilitätsanforderungen werden sich oft die Frage stellen, wieso ihre Bedürfnisse bei städteplanerischen Maßnahmen selten mitgedacht werden. Aus diesem Versäumnis folgen oft schwerwiegende Mobilitätshindernisse wie nicht-barrierefreie planerische Elemente, schlechte Sichtbarkeit vulnerabler Verkehrsteilnehmer oder mangelhafte Wartung von Infrastrukturelementen, die eine inklusive Mobilität für alle Verkehrsteilnehmer beeinträchtigt. Um dem entgegenzuwirken, bedarf es präzise Analysemethoden zur systematischen Erfassung und Bewertung barrierefreier Infrastruktur.

Am Fraunhofer EMI schafft man Abhilfe: Das innovative Pilotprojekt SAVIS (System-Analyse für Verkehrssicherheit und inklusive Stadtmobilität) macht es sich mit Unterstützung des Leistungszentrums Nachhaltigkeit zur Aufgabe, Gefährdungspotenziale und Barrieren im Stadtbild zu identifizieren. Dazu werden präzise Sensortechnologien, Stereo-Matching-Verfahren und simulationsgestützte Sicherheitsbewertungen eingesetzt. Mit den Ergebnissen werden alternative Infrastrukturanpassungen geplant.

Im Rahmen des Projekts sollen Methoden zur Erstellung von Tiefenkarten und 3D-Modellen entwickelt und erprobt und eine umfangreiche Datengrundlage zur Optimierung urbaner Mobilität geschaffen werden. Auf deren Basis lassen sich Handlungsempfehlungen für inklusive Mobilitätslösungen erstellen, um die Expertise im Bereich Verkehrssicherheit und barrierefreie Mobilität insgesamt weiter zu schärfen. Das Forschungs-Pilotprojekt SAVIS reiht sich in den Forschungsschwerpunkt »Resiliente Infrastruktur und Lebensräume« des Leistungszentrums Nachhaltigkeit ein, indem es die Themenfelder »Verkehrssicherheitsforschung« und »Ganzheitliche Analysen, Modellierung und Bewertung kritischer Infrastruktur und Lebensräume« bespielt. Es ist geplant, schon frühzeitig assoziierte Partner aus Industrie und Verwaltung einzubinden, um eine anwenderzentrierte Technologieentwicklung zu gewährleisten.



Barrierefreie Städte für alle: Das Forschungsprojekt SAVIS entwickelt innovative Analysemethoden, um Mobilitätshindernisse zu erkennen und inklusive Stadtplanung voranzutreiben.

Projekt SAVIS
Dr. Fabian Höflinger
Fabian.Hoeflinger@emi.fraunhofer.de



Exzellente Forschung für den Markt: Das Projekt FoTraBox entwickelt Strategien und Methoden, um ingenieurwissenschaftliche Forschung frühzeitig marktorientiert auszurichten

INATECH
Institut für Nachhaltige Technische Systeme
www.inatech.de

Das INATECH: nachhaltige Lösungen der Zukunft heute entwickeln

Nachhaltigkeit als Leitgedanken bei der Entwicklung technischer Systeme etablieren.

Ingenieurwissenschaft für mehr Nachhaltigkeit
Das »Institut für Nachhaltige Technische Systeme« (INATECH) erforscht und entwickelt nachhaltige ingenieurwissenschaftliche Lösungen. Im Mittelpunkt stehen dabei nachhaltige Materialien, Energiesysteme und Resilienz. Das INATECH ist der ingenieurwissenschaftliche Kern des LZN.

Bedürfnisse heutiger und künftiger Generationen im Fokus
Gemeinsam mit Forschungspartnern aus dem öffentlichen Bereich und der Industrie forscht das INATECH an Methoden, Modellen, Materialien, Technologien und Demonstratoren. Es entwickelt nachhaltige technische Systeme, die Bedürfnisse mit möglichst geringem ökologischem Fußabdruck befriedigen.

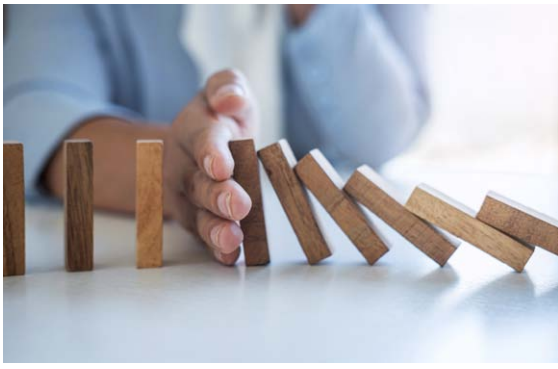
Von Grundlagenforschung bis zur industriellen Anwendung
Durch die Kooperation von Fraunhofer und Universität werden wissenschaftliche und technologische Kompetenzen gebündelt: Die gesamte Bandbreite von der Grundlagenforschung bis zur industriellen Anwendung wird dabei abgedeckt. Das INATECH ist als Institut an der Technischen Fakultät der Universität Freiburg beheimatet.

Normen und Standards für zukunftsweise Technologien

Projekt »Business Continuity und Resilienz von KMU einschließlich KRITIS«

Das LZN unterstützt gemäß dem Transferpfad »Normen und Standards« Forschende dabei, im Rahmen von Gremienarbeit und Expertenkommissionen bei der Entwicklung von Standards in neu emergierenden Technologiefeldern tätig zu werden. Am EMI wurde ein Team von Prof. Alexander Stolz und Dr. Kai Fischer zum Thema Business Continuity und Resilienz gefördert.

Durch die Förderung konnte das Geschäftsfeld »Sicherheit und Resilienz« grundlegende Fragestellungen zur Mitarbeit in gewinnbringenden Gremien und Arbeitskreisen beantworten. Man konnte relevanten Gremien, Allianzen und Verbänden beitreten, um hier zukünftig technologische Trends in Hinblick auf Qualität und Nachhaltigkeit mitbestimmen zu können.



Workshop: Solarkraftwerke lernen schwimmen

Am 11. April 2024 organisierte das LZN einen Industrieworkshop zum geförderten Pilotprojekt FPV4Resilience unter der Leitung von Dr. Karolina Baltins, Fraunhofer ISE. Vertreter aus Forschung, Wirtschaft und Verwaltung tauschten sich über schwimmende PV-Anlagen aus und beleuchteten das Thema aus verschiedenen Perspektiven. In der anschließenden Podiumsdiskussion »Ist eine ökologische Floating PV möglich?« standen ökologische Fragen im Mittelpunkt. Abschließend diskutierten die Teilnehmer in Gruppen über die ökologischen Auswirkungen, technische Hürden und wirtschaftliche Herausforderungen für den weiteren Ausbau solcher Anlagen. Dabei ging es unter anderem darum, wie sich die Installation je nach Gewässertyp unterscheiden sollte und wie ein adaptives Monitoring der Anlagen umgesetzt werden kann.





Hochwertiges Carbonfasertape-Recycling

Im LZN-Demonstratorprojekt WEiteR wurden von 2022 bis 2024 Strategien für den nachhaltigen Umgang mit carbonfaserverstärkten Druckbehältern (CFK-Tanks) nach ihrer Erstnutzung erforscht. Alterungs- und Recyclingtests an Materialien eines Wasserstoff-Druckbehälters zeigten, dass Einflüsse wie Temperatur, Feuchtigkeit oder UV-Strahlung die mechanischen Eigenschaften nur geringfügig beeinträchtigen. Diese Ergebnisse eröffnen vielversprechende Perspektiven für die Weiterverwendung solcher Tanks im Rahmen eines werterhaltenden Recyclings. Die Erkenntnisse zur Langlebigkeit der Wasserstofftanks bilden die Basis, um Szenarien für die Wieder- und Weiterverwendung sowie die Rückgewinnung von Carbonfasern zu entwickeln.

Leistungszentrum Nachhaltigkeit
Christiane Felder, christiane.felder@emi.fraunhofer.de
Dr. Juri Lienert, juri.lienert@emi.fraunhofer.de
→ www.leistungszentrum-nachhaltigkeit.de





Fotos: INATECH / Universität Freiburg, Ngampol / stock.adobe.com, LZN (2), Fraunhofer EMI (2)





Das Institut im Profil

Verwaltung, Personal, Publikationen im Überblick

104 Das Institut in Zahlen

106 Personal & Finanzen

108 Kuratorium

110 Kontakt

111 Impressum

112 Publikationen



Fotos: Fraunhofer EMI (2)

← **Ausbildung am Fraunhofer EMI**
Feinwerkmechanik, Elektronik, Mediengestaltung, und Duales Studium: das EMI bietet zahlreiche Ausbildungsmöglichkeiten. Aktuell werden 27 Personen ausgebildet.

Das Institut in Zahlen

395
Mitarbeiterinnen
und Mitarbeiter



- 42 % Wissenschaftliche Mitarbeitende in Fachabteilungen
- 13 % Nichtwissenschaftliche Mitarbeitende in Fachabteilungen
- 29 % Leitung und Infrastruktur
- 10 % Hiwi, Praktikantinnen und Praktikanten
- 7 % Auszubildende, DHBW-Studierende



Personal gesamt.

Personal nach Standorten und Außenstellen:

229	127	25	11	3
Freiburg	Efringen-Kirchen	Kandern	Berlin	Würzburg



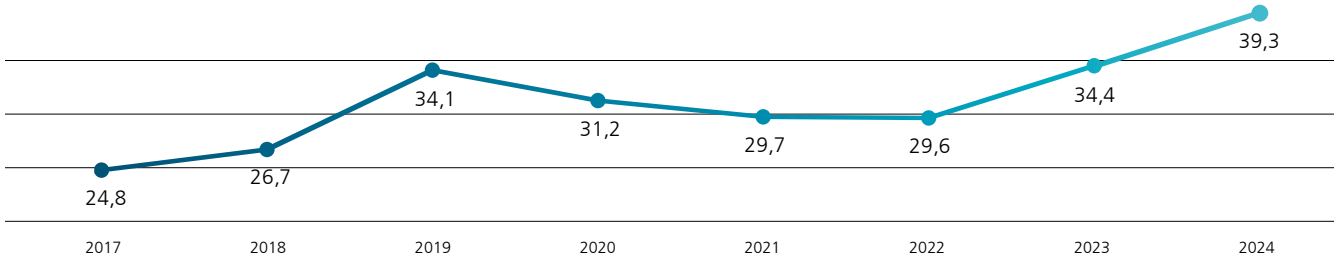
Fraunhofer EMI

5 Geschäftsfelder: Verteidigung, Sicherheit & Resilienz, Automotive, Raumfahrt, Luftfahrt

Finanzen

39,3	21,5	125
Mio. € Gesamthaushalt	Mio. € externe Finanzierung	extern finanzierte Projekte

Gesamthaushalt in Mio. €



Wissenschaft

99	100	44
Veröffentlichungen mit Peer-Review	Vorträge	Lehrveranstaltungen
5	**10**	**25**
Patente	Promotionen	Bachelor- und Masterarbeiten

Wissenschaftliche Kooperationen

Universität Freiburg · University of Oxford · NTU Singapore · Cranfield University

MIT · Cluster Micro TEC Südwest · Centre for Security · Cluster Elektromobilität Südwest

Personal

Ende 2024 waren am Fraunhofer EMI insgesamt 395 Personen beschäftigt: 329 Mitarbeitende als Stammpersonal, 27 Auszubildende und DHBW-Studierende und 39 wissenschaftliche Hilfskräfte, Praktikantinnen und Praktikanten.

Vom Stammpersonal waren 215 Mitarbeitende direkt in der Forschung und 114 Mitarbeitende im Bereich Leitung und Infrastruktur tätig. Der Anteil der weiblichen Beschäftigten des Stammpersonals betrug 25,5 Prozent.

Vom Stammpersonal waren 55,9 Prozent am Standort Freiburg, 33,5 Prozent am Standort Efringen-Kirchen, 7,6 Prozent am Standort Kandern, 2,4 % am Standort Berlin und 0,6 % am Standort Würzburg beschäftigt.

Von den insgesamt 27 Auszubildenden waren 15 in den Bereichen Feinwerkmechanik, Elektronik und Mediengestaltung tätig. 12 Mitarbeitende wurden zum Zweck ihrer Berufsausbildung oder im Rahmen ihres Studiums an der Dualen Hochschule Baden-Württemberg am Fraunhofer EMI beschäftigt.

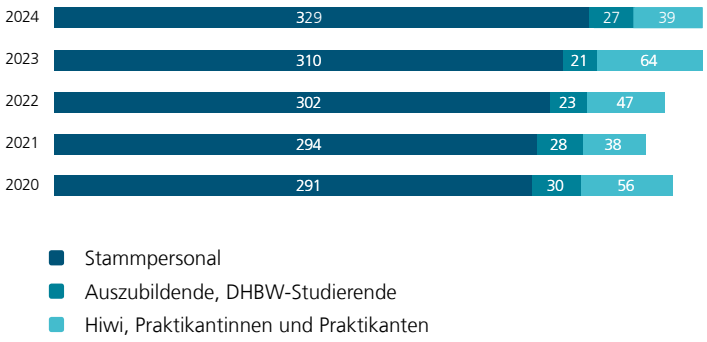
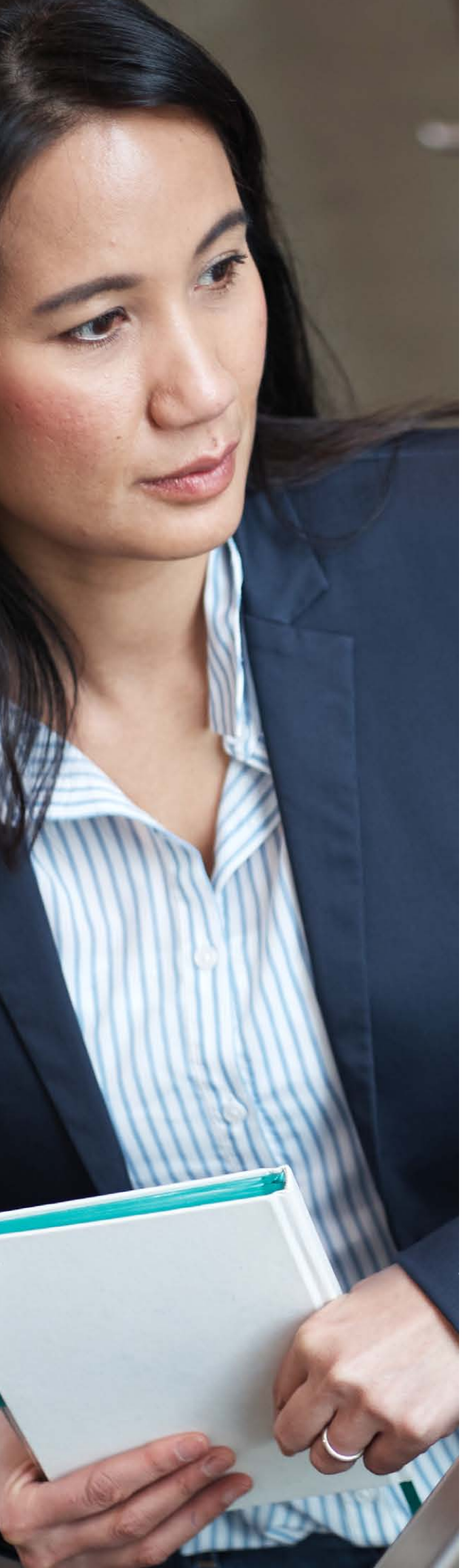




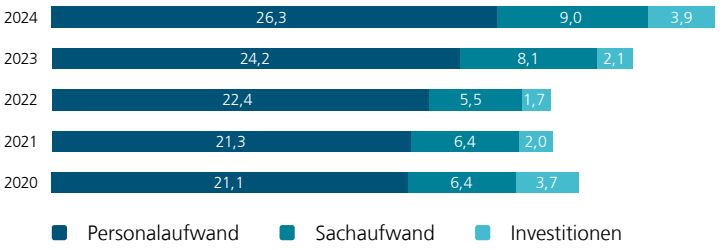
Foto: Fraunhofer EMI



Finanzen

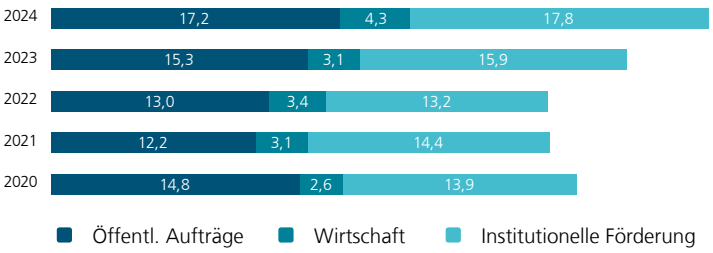
Aufwendungen Gesamthaushalt

in Millionen Euro

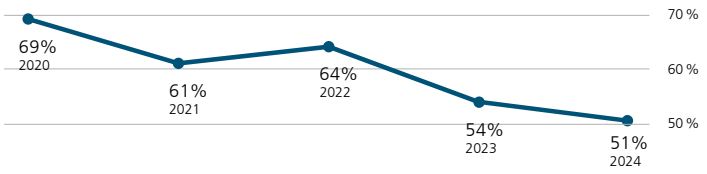


Erträge Gesamthaushalt

in Millionen Euro



Der Gesamthaushalt des Fraunhofer EMI ist im Vergleich zum Vorjahr um 14,3 % gestiegen (von 34,4 auf 39,3 Mio. Euro). Der Betriebshaushalt ist um 9,6 % gestiegen (von 32,2 auf 35,3 Mio. Euro). Einen Zuwachs gibt es in allen allgemeinen Ertragsbereichen. Der Anteil der BMVg-Förderung beträgt 51 % (Vorjahr: 54 %).



BMVg-Anteil im Verhältnis zum Gesamthaushalt, in Prozent.

Kuratorium 2024



Das Kuratorium steht der Institutsleitung beratend zur Seite. Es fördert die Kontakte des Instituts zu Organisationen und zur Industrie.

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

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

Ministerialrätin Sabine ten Hagen-Knauer
Referatsleiterin 524, Zivile Sicherheitsforschung, Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), Bonn

Rainer Hoffmann
Geschäftsführer carhs.training GmbH, Alzenau

Ministerialrat Maik Kammermann
Aufgabenbereichsleiter Nationale Forschung und Technologie, Forschungs- und Innovationshub, Abteilung Planung, Bundesministerium der Verteidigung (BMVg), Bonn

Univ.-Prof.in Dr.-Ing. habil. Dr. mont. Eva-Maria Kern
Präsidentin Universität der Bundeswehr München, Neubiberg

Brigadegeneral Michael Meinl
Direktor Deutsch-Französisches Forschungsinstitut Saint-Louis ISL, Binzen

Michael Schätzle
Geschäftsleitung Baureihe Cayenne, Porsche AG, Weissach

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

Dr. Tobias Schmidt
Abteilungsleiter Systementwicklung Großkaliber, Rheinmetall Waffe und Munition GmbH, Unterlüß

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

Dr. Isabel Thielen
Geschäftsführerin Thielen Business Coaching GmbH, München

Die Fraunhofer-Gesellschaft

Mit über 30 000 Mitarbeitenden in 76 Instituten ist die Fraunhofer-Gesellschaft die weltweit führende Organisation für angewandte Forschung.

Fraunhofer fokussiert sich auf zukunftsrelevante Schlüsseltechnologien und auf die Verwertung der Ergebnisse in Wirtschaft und Industrie. Dadurch spielt sie eine zentrale Rolle im Innovationsprozess. Sie ist Wegweiserin und Impulsgeberin für innovative Entwicklungen und wissenschaftliche Exzellenz. Mit inspirierenden Ideen und nachhaltigen wissenschaftlich-technologischen Lösungen fördert die Fraunhofer-Gesellschaft Wissenschaft und Wirtschaft und wirkt an der Gestaltung unserer Gesellschaft und unserer Zukunft mit.

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

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



»Approximavit sidera« (»Er hat uns die Sterne näher gebracht«), lautete die Grabinschrift von Namensgeber Joseph von Fraunhofer (1787–1826). Er war als Forscher, Erfinder und Unternehmer gleichermaßen erfolgreich. Die Qualität seiner optischen Linsen war über Jahrzehnte unerreicht. Fraunhofer verband exakteste wissenschaftliche Arbeit mit praktischer Anwendung und schuf dadurch neue innovative Produkte. Heute gilt er als ein Wegbereiter der modernen Weltraumerkundung.

Im Gemälde: Fraunhofer demonstriert seinen Spektrometer (stehend, mit schwarzem Mantel).

Fotos: Fraunhofer EMI, Fraunhofer-Gesellschaft

Kontakt



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

+49 761 2714-101
stefan.hiermaier@emi.fraunhofer.de



Dr. Matthias Wickert

Stellvertretender Institutsleiter

+49 761 2714-120
matthias.wickert@emi.fraunhofer.de



Prof. Dr. Frank Schäfer

Stellvertretender Institutsleiter,
Geschäftsfeldleiter Raumfahrt

+49 761 2714-421
frank.schaefer@emi.fraunhofer.de



Daniel Hiller

Geschäftsfeldleiter Verteidigung
Geschäftsfeldleiter Sicherheit &
Resilienz

+49 761 2714-488
daniel.hiller@emi.fraunhofer.de



Dr. Michael May

Geschäftsfeldleiter Luftfahrt

+49 761 2714-337
michael.may@emi.fraunhofer.de



Dr. Michael Dlugosch

Geschäftsfeldleiter Automotive

+49 761 2714-324
michael.dlugosch@emi.fraunhofer.de



Bibiana Cortés

Verwaltungsleiterin

+49 761 2714-115
bibiana.cortes@emi.fraunhofer.de



Dr. Uwe Kerat

Abteilungsleiter Bau
Abteilungsleiter Technische Dienste

+49 7628 9050-795
uwe.kerat@emi.fraunhofer.de



Stephan Engemann

Abteilungsleiter Rechenzentrum

+49 761 2714-380
stephan.engemann@emi.fraunhofer.de



Dr. Kilian Kreb

Abteilungsleiter Kommunikation

+49 761 2714-118
kilian.kreb@emi.fraunhofer.de

Impressum

Fraunhofer EMI Jahresbericht 2024/2025
Stand: 10.04.2025

Redaktion und Layout:
Dr. Kilian Kreb (verantwortlich)

Lektorat:
Johanna Holz

Herausgegeben von:
Fraunhofer-Institut für Kurzzeitdynamik,
Ernst-Mach-Institut, EMI
Ernst-Zermelo-Straße 4
79104 Freiburg

Telefon 0761 2714-118
kilian.kreb@emi.fraunhofer.de

Publikationen, Vorträge, wissenschaftlicher Austausch

Zeitraum:
1.4.24 – 31.3.25

Publikationen (mit Peer Review)

Amraei, J.; Rogala, T.; Katunin, A.; Premanand, A.; Kokot, G.; Wachla, D. et al. (2024): **Thermomechanical fatigue behavior of CF/PEKK composite under low and ultrasonic frequencies.** In: Composites Part B: Engineering 281, Art. No. 111539. DOI: 10.1016/j.compositesb.2024.111539.

Bagusat, F.; Sauer, M.; Bauer, S.; Hiermaier, S.: **High pressure and shock loading experiments, Bd.** 429, S. 269–294.

Bailén, F. J.; Orozco Suárez, D.; Blanco Rodríguez, J.; del Toro Iniesta, J. C.; Strecker, H.; Moreno Vacas, A. et al. (2024): **Determination of the SO/PHI-HRT wavefront degradation using multiple defocused images.** In: Astronomy & Astrophysics 681, Art. No. A58. DOI: 10.1051/0004-6361/202346019.

Blanke, F.; Boljen, M.; Oehler, N.; Lutter, C.; Tischer, T.; Vogt, S. (2024): **An anteromedial stabilization procedure has the most protective effect on the anterior cruciate ligament in tibial external rotation. A human knee model study.** In: Archives of orthopaedic and trauma surgery. DOI: 10.1007/s00402-024-05357-8.

Boyadzhieva, S. M.; Gutmann, F.; Fischer, S. C.L. (2024): **Simulation-based approach to estimate influencing factors on acoustic resonance spectra of additively manufactured mechanical metamaterials.** In: Journal of Sound and Vibration 585, Art. No. 118436. DOI: 10.1016/j.jsv.2024.118436.

Boyadzhieva, S. M.; Kollmannsperger, L.; Gutmann, F.; Straub, T.; Fischer, S. (2024): **Acoustic nondestructive characterization of metal pantographs for material and defect identification.** In: Additive and Advanced Manufacturing, Inverse Problem Methodologies and Machine Learning and Data Science, Volume 4. SEM 2023. Conference Proceedings of the Society for Experimental Mechanics Series. Proceedings of the 2023 Annual Conference & Exposition on Experimental and Applied Mechanics, Bd. 24, S. 47–53.

Bruneau, A.; Imbert, M.; May, M. (2024): **Controlled interlaminar crack initiation in thin notched laminated thermoplastic composites under impact loading: A first step towards unitary layer recovery.** In: Composites Part B: Engineering 275 (4), S. 111322. DOI: 10.1016/j.compositesb.2024.111322.

Brunnabend, L.; Habtemariam, A.; Fischer, K.; Stolz, A. (2024): **Hazard area assessment of vehicles running over vehicle security barriers using finite element method combined with stochastic analysis.** In: International Journal of Protective Structures. DOI: 10.1177/204141962412714.

Eisemann, L.; Fehling-Kaschek, M.; Forkert, S.; Forster, A.; Gommel, H.; Guenther, S. et al. (2024): **A joint approach towards data-driven virtual testing for automated driving: the AVEAS project.** In: Proceedings of the 7th International Symposium on Future Active Safety Technology toward Zero Traffic Accidents (JSAE FAST-zero ,23). Kanazawa, Japan, 08.-11.11.2023.

Finger, J.; Weber, P.; Eisenrauch, V.; Vierbauch, S.; Mauermann, M.; Vogelbacher, G.; Stolz, A. (2024): **Ganzheitliche Bewertung der Resilienz von Verarbeitungsprozessen in der Lebensmittel- und Verpackungsindustrie auf Unternehmensebene: »Resilience Evaluator Food Industry« (REFIT).** In: Tagungsband VVD 2024 - Verarbeitungsmaschinen und Verpackungstechnik. Dresden, 21.-22.03.2024, S. 321–335.

Fischer, G. K. J.; Schaechtle, T.; Höflinger, F.; Rupitsch, S. (2024): **Einsatz von orthogonalen Codes zur Mehrquellen-Richtungsschätzung mit dünn besetzten Mikrofonanordnungen.** In: tm - Technisches Messen 91 (s1), S. 20–25. DOI: 10.1515/teme.2024.0073.

Fischer, G.; Bergau, M.; Gómez-Rosal, A. D.; Wachaja, A.; Graeter, J.; Odenweller, M. et al. (2024): **Evaluation of a smart mobile robotic system for industrial plant inspection and supervision.** In: IEEE Sensors Journal, S. 1. DOI: 10.1109/JSEN.2024.3390622.

Fischer, G.; Thiedecke, N.; Schaechtle, T.; Gabbrielli, A.; Höflinger, F.; Stolz, A.; Rupitsch, S. (2024): **Evaluation of sparse acoustic array geometries for the application in indoor localization.** In: IEEE Journal of Indoor and Seamless Positioning and Navigation) 2, S. 263–274. DOI: 10.1109/JISPIN.2024.3476011.

Fischer, K.; Stolz, A.; Mehnert, K.; Beck, E.; Mauermann, M. (2024): **Konzept zur Resilienzbewertung von Verarbeitungs- und Verpackungsprozessen der Lebensmittelindustrie.** In: Tagungsband VVD 2024 - Verarbeitungsmaschinen und Verpackungstechnik. Dresden, 21.-22.03.2024, S. 287–306.

Forquin, P.; Riedel, W.; Weerheijm, J. (2024): **Dynamic testing devices.** In: J. Weerheijm (Hg.): Woodhead Publishing Series in Civil and Structural Engineering - Understanding the Tensile Properties of Concrete, Bd. 152, S. 133–175.

Ganter, S.; Martini, T.; Kopustinskas, V.; Zalitis, I.; Vamanu, B.; Finger, J. et al. (2024): **A highly robust gas network simulation approach through an inherently solvable problem formulation for network states far from intended design points.** In: Applied Mathematical Modelling 127 (1), S. 297–326. DOI: 10.1016/j.apm.2023.12.009.

Geist, H.; Balle, F. (2024): **A circularity engineering focused empirical status quo analysis of automotive remanufacturing processes.** In: Resources, Conservation and Recycling 201 (3), S. 107328. DOI: 10.1016/j.resconrec.2023.107328.

Geist, H.; Balle, F. (2024): **Remanufactured products, components, and their materials: A circularity engineering focused empirical status quo analysis.** In: Sustainable Production and Consumption 45, S. 525–537. DOI: 10.1016/j.spc.2024.02.003.

Geist, H.; Balle, F. (2024): **Remanufactured products, components, and their materials: A circularity engineering focused empirical status quo analysis.** In: Sustainable Production and Consumption 45, S. 525–537. DOI: 10.1016/j.spc.2024.02.003.

Grunwald, C.; Ramin, M. von; Riedel, W.; Stolz, A.; Hiermaier, S. (2025): **Simulating the break-up, debris formation and throw of concrete structures under explosive loading.** In: International Journal of Impact Engineering 196 (3), S. 105154. DOI: 10.1016/j.ijimpeng.2024.105154.

Grunwald, C.; Riedel, W.; Sauer, M.; Stolz, A.; Hiermaier, S. (2024): **Modeling the dynamic fracture of concrete — A robust, efficient, and accurate mesoscale description.** In: Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering 424, S. 116886. DOI: 10.1016/j.cma.2024.116886.

Grunwald, C.; Sauer, M.; Stolz, A.; Hiermaier, S. (2025): **Enhancing efficiency in multiscale simulation: comparing a Lagrange multiplier based approach and a weak staggered coupling with optional SPML interface for wave propagation.** In: International Journal for Numerical Methods in Engineering. DOI: 10.1002/nme.7633.

Habtemariam, A. K.; Brunnabend, L.; Fischer, K.; Stolz, A. (2024): **Discrete element method simulation of high-speed vehicle collisions with road barrier systems.** In: Computational Particle Mechanics. DOI: 10.1007/s40571-024-00833-9.

Häring, I.; Padariya, R.; Vogelbacher, G.; Höflinger, F.; Richter, A.; Finger, J. et al. (2024): **Failure and repair rates for lane detection for safety assessment of autonomous driving from CARLA simulation.** In: K. Kołowrocki und K. Kosmowski (Hg.): Advances in Reliability, Safety and Security, Part 10: Cybersecurity and Functional Safety in Hazardous System & Research Challenges Concerning Sustainability, Safety and Security (ESREL). Cracow, Poland, 23.-27.07.2024, S. 77–86.

Häring, I.; Rosin, J.; Ganter, S.; Finger, J.; Fehling-Kaschek, M.; Schroven, K. (2024): **Analytical resilience quantification approaches (resilience analytics) to classify and rank first principle risk and resilience modelling and simulation methods.** In: V. Kopustinskas, H. Foretic und I. Asensio Bermejo (Hg.): Resilience assessment: Methodological challenges and applications to critical infrastructures. 63rd ESReDA Seminar. Ispra, Italy, 25.-26.10.2023, S. 31–51.

Häring, I.; Sandela, N.; Padariya, R.; Vogelbacher, G.; Höflinger, F.; Richter, A. et al. (2024): **Failure rates per time for autonomous driving safety assessment from CARLA simulation.** In: K. Kołowrocki und K. Kosmowski (Hg.): Advances in Reliability, Safety and Security, Part 10: Cybersecurity and Functional Safety in Hazardous System & Research Challenges Concerning Sustainability, Safety and Security (ESREL). Cracow, Poland, 23.-27.07.2024, S. 87–96.

Heilig, G.; May, M. (2024): **The hydrodynamic RAM effect: Review of historic experiments, model developments and simulation.** In: Defence Technology. DOI: 10.1016/j.dt.2024.07.010.

Heine, A.; Wickert, M. (2024): **Note on: »Ballistic model for the prediction of penetration depth and residual velocity in adobe: A new interpretation of the ballistic resistance of earthen masonry«.** In: Defence Technology 31, S. 607–609. DOI: 10.1016/j.dt.2021.09.003.

Heine, A.; Wickert, M. (2025): **Pressure and temperature effects resulting from impact onto materials of different reactivity.** In: Defence Technology 44, S. 221–230. DOI: 10.1016/j.dt.2024.08.018.

Holz, S.; Coblenz, M.; Koch, R.; Bauer, H.-J.; Grothe, O. (2024): **Two approaches for constructing multivariate injection models for prefilming airblast atomizers.** In: International Journal of Multiphase Flow 181 (3), S. 104999. DOI: 10.1016/j.ijmultiphaseflow.2024.104999.

Horch, C.; Garbe, D.; Schäfer, K. (2023): **Redundant imaging payload data processing system based on a heterogeneous MPSoC.** In: 2023 European Data Handling & Data Processing Conference (EDHPC). Juan les Pins, France, 02.10.-06.10.2023, S. 1–4.

Hoschke, K.; Pfaff, A.; Kappe, K.; Hahn, P.; May, M. (2024): **Towards more sustainable aviation: Topology optimization and additive manufacturing of a cargo door latch fitting.** In: AIAA Aviation Forum and ASCEND co-located Conference Proceedings. Las Vegas, USA, 29.07.-02.08.2024.

Jakkula, P.; Ganzenmüller, G.; Hiermaier, S. (2025): **Direct measurement of necking strain using optical contour analysis on isotropic ductile stainless steel.** In: International Journal of Impact Engineering 202 (18), S. 105307. DOI: 10.1016/j.ijimpeng.2025.105307.

Jenerowicz, M.; Haase, T.; Linnenberg, M.; Musienko, E.; Hoschke, K.; Boljen, M.; Hiermaier, S. (2024): **Developing rib bone surrogates for high dynamic impact assessment with additive manufacturing and post-mortem human subjects (PMHS)-based evaluation.** In: Human Factors and Mechanical Engineering for Defense and Safety 8 (2). DOI: 10.1007/s41314-024-00065-y.

Jenerowicz, M.; Matt, P.; Boljen, M.; Hiermaier, S. (2024): **Assessment of female human body models for ballistic impact analysis with post mortem human subject (PMHS) data evaluation: a comparative study with various impact loading conditions.** In: 2024 IRCOBI Conference Proceedings 2024. Stockholm, 11.-13.09.2024, S. 740–753.

Kilchert, S.; Hoschke, K.; Kappe, K.; May, M. (2024): **Towards more sustainable aviation: life cycle analysis of a topology optimized 3d printed cargo door latch fitting.** In: AIAA Aviation Forum and ASCEND co-located Conference Proceedings. Las Vegas, USA, 29.07.-02.08.2024.

Lickert, B.; Srivastava, K.; Schroven, K.; Fehling-Kaschek, M.; Stolz, A. (2024): **Modeling damage cascades in critical infrastructure for power outages.** In: IET Conference Proceedings, Bd. 2024. Chicago, S. 488–492.

Lickert, B.; Srivastava, K.; Schroven, K.; Fehling-Kaschek, M.; Stolz, A. (2024): **Modeling impact of power outages on interdependent critical infrastructure.** In: K. Kołowrocki und K. Kosmowski (Hg.): Advances in Reliability, Safety and Security, Part 10: Cybersecurity and Functional Safety in Hazardous System & Research Challenges Concerning Sustainability, Safety and Security (ESREL). Cracow, Poland, 23.-27.07.2024, S. 115–124.

Liu, C.; Sun, D.; Zhang, X.; Andrieux, F.; Gerster, T. (2024): **Extension of flow behaviour and damage models for cast iron alloys with strain rate effect.** In: Chinese Journal of Mechanical Engineering 37 (61). DOI: 10.1186/s10033-024-01047-z.

Loeschl, P.; Valori, G.; Hirzberger, J.; Schou, J.; Solanki, S. K.; Orozco Suárez, D. et al. (2024): **A first rapid synoptic magnetic field map using SDO/HMI and SO/PHI data.** In: Astronomy & Astrophysics 681, Art. No. A59. DOI: 10.1051/0004-6361/202346046.

Lüttner, F.; Kracht, M.; Köpke, C.; Schmitt, A.; Fehling-Kaschek, M.; Stolz, A.; Reiterer, A. (2024): **Investigating a toolchain from trajectory recording to resimulation.** In: Applied Sciences 14 (22), S. 10682. DOI: 10.3390/app142210682.

Lüttner, F.; Lickert, B.; Fehling-Kaschek, Mirjam; Moss, R.; Stolz, A. (2024): **Data-based optimisation of traffic flow simulations: A gradient based approach.** In: Proceedings of the 2024 IEEE Intelligent Vehicles Symposium. Jeju Island, Korea, 02.-05.06.2024: IEEE, S. 2509–2516.

Lüttner, F.; Schmidt, D.; Höpfner, H.; Hantschel, F.; Fehling-Kaschek, M.; Köpke, C. et al. (2025): **Assessing critical traffic scenarios: A modular evaluation framework.** In: IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, S. 1–15. DOI: 10.1109/TITS.2025.3546081.

Martini, T.; Rosin, J.; Vetter, J.; Neuhäuser, S.; Lukau, E.; Catal, F. (2024): **Towards a modular co-simulation framework for the assessment of cascading effects among critical infrastructures and the impact on citizens.** In: V. Kopustinskas, H. Foretic und I. Asensio Bermejo (Hg.): Resilience assessment: Methodological challenges and applications to critical infrastructures. 63rd ESReDA Seminar. Ispra, Italy, 25.-26.10.2023, S. 110–120.

Matt, P.; Jenerowicz, M.; Boljen, M. (2024): **Comparative numerical analysis of the posterior and anterior behind armour blunt trauma using GHBMC M50-P model.** In: 2024 IRCOBI Conference Proceedings 2024. Stockholm, 11.-13.09.2024, S. 754–763.

Matura, P.; Signetti, S.; Moser, S.; Gebhardt, D.; Watson, E.; Schindler-Tyka, A. et al. (2024): **Pellet shattering process for the ITER disruption mitigation system – part ii: synthetic-diagnostics-based fragment tracking, calibration, and validation of simulation models.** In: Proceedings of the 17th Hypervelocity Impact Symposium. Tsubuka, Japan, 09.-13.11.2025.

Mauermann, M.; Fischer, K.; Finger, J.; Eisenrauch, V.; Elles, A.; Vogelbacher, G. et al. (2024): **Resilienzmanagement in der Lebensmittelindustrie - Praktische Einblicke und Ansätze zur Steigerung betrieblicher Widerstandsfähigkeit.** In: Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 119 (9), S. 638–644. DOI: 10.1515/zwf-2024-1115.

May, M.; Altes, A.; Schaufelberger, B.; Matura, P. (2024): **Vulnerability of aerostructures to drone impact – collision with rotorcraft engine cowling.** In: AIAA SCITECH 2024 Forum. Orlando, FL, USA, 08.01.-12.01.2024.

May, M.; Schneider, N.; Schaufelberger, B.; Jung, M.; Pfaff, J.; Altes, A. et al. (2024): **Collisions between drones and rotorcraft: modeling of the crash response of battery packs.** In: International Journal of Impact Engineering 69 (1), S. 1–8. DOI: 10.4050/JAHS.69.012004.

Meyer, R.; Schmidt-Colberg, A.; Kruse, A.; Eberhardt, D.; Köpke, C.: **Towards a specification of behaviour models for crowds.** In: C. Elsenbroich und H. Verhagen (Hg.): Advances in Social Simulation. ESSA 2023. Springer Proceedings in Complexity: Springer, S. 495–502.

Neuhäuser, S.; Vetter, J.; Rosin, J.; Stolz, A. (2024): **A computational simulation framework for probabilistic vulnerability analysis of the built environment.** In: Proceedings of the 31st EG-ICE International Workshop on Intelligent Computing in Engineering. Vigo, Spain, 03.-05.07.2024.

Ožbolt, J.; Riedel, W.; Grunwald, C. (2024): **Modelling the response of concrete structures from strain rate effects to shock-induced loading.** In: J. Weerheijm (Hg.): Woodhead Publishing Series in Civil and Structural Engineering - Understanding the Tensile Properties of Concrete, Bd. 20, S. 327–378.

Pereira, I.; Hahn, P.; Jung, M.; Imbert, M.; May, M. (2024): **Quasi-static and high-rate in-plane shear tests on aramid and carbon fiber woven composites featuring a nanoparticle-enriched high-density polyethylene matrix.** In: Polymer Composites 61 (4), S. 1–13. DOI: 10.1002/pc.28242.

Pfaff, A.; Jäcklein, M.; Hoschke, K.; Balle, F. (2024): **EBSD-based image quality analysis of in-situ tempered martensitic steel generated by L-PBF.** In: Materials Characterization 213, S. 114018. DOI: 10.1016/j.matchar.2024.114018.

Plappert, D.; Schütz, M.; Ganzenmüller, G.; Fischer, F.; Campos, M.; Procz, S. et al. (2024): **An open-frame loading stage for high-resolution X-ray CT.** In: Instruments 8 (4), S. 52. DOI: 10.3390/instruments8040052.

Premanand, A.; Balle, F. (2024): **Influence of pulse duration on the fatigue behavior of a carbon-fiber-reinforced composite under cyclic three-point bending at 20 kHz.** In: Fatigue & Fracture of Engineering Materials & Structures 47 (5), S. 1731–1747. DOI: 10.1111/ffe.14259.

Premanand, A.; Prescher, M.; Rienks, M.; Kirste, L.; Balle, F. (2024): **Online and ex situ damage characterization techniques for fiber-reinforced composites under ultrasonic cyclic three-point bending.** In: Polymers 16 (6). DOI: 10.3390/polym16060803.

Premanand, A.; Rienks, M.; Balle, F. (2024): **Accelerated estimation of the very high cycle fatigue strength and life of polymer composites under ultrasonic cyclic three-point bending.** In: Materials & Design 240 (4), S. 112872. DOI: 10.1016/j.matdes.2024.112872.

Premanand, A.; Rienks, M.; Balle, F. (2024): **Damage assessment during ultrasonic fatigue testing of a CF-PEKK composite using self-heating phenomenon.** In: International Journal of Fatigue 180 (4), S. 108084. DOI: 10.1016/j.ijfatigue.2023.108084.

Puig Walz, T.; Mopuru, S. K. R.; Vogelbacher, G.; Richter, A.; Höflinger, F.; Häring, I. et al.: **Markov modelling for autonomous vehicle safety assessment: numerical modularization to avoid system state-explosion.** In: 2023 IEEE 26th International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC), S. 4881–4886.

Rack, A.; Lukić, B.; Chapman, D. J.; Strucka, J.; Yao, Y.; Mughal, K. et al. (2024): **Dynamic loading platforms coupled to ultra-high speed X-ray imaging at beamline ID19 of the European Synchrotron ESRF.** In: High Pressure Research 44 (3). DOI: 10.1080/08957959.2024.2370369.

Ragupathi, B.; Balle, F. (2024): **Characterization of glass-fiber reinforced thermoplastic composite after ultrasonic reconsolidation.** In: European Journal of Materials 4 (1), Artikel 2313316. DOI: 10.1080/26889277.2024.2313316.

Ragupathi, B.; Jakkula, P.; Rienks, M.; Balle, F. (2024): **Online monitoring of pre-crack initiation in carbon fiber-reinforced thermoplastic composites by an ultrasonic cutting tool using high-speed optical**

imaging and infrared thermography. In: Ultrasonics 143, Art. No. 107411. DOI: 10.1016/j.ultras.2024.107411.

Ragupathi, B.; Rotzinger, L.; Prescher, M.; Rienks, M.; Kirste, L.; Balle, F. (2025): **Ultrasonic reconsolidation of separated CF-PEEK composite layers at 20 kHz — An experimental study on parameter optimization and Ex-situ characterization.** In: Composite Structures 353, S. 118722. DOI: 10.1016/j.compstruct.2024.118722.

Rehra, J.; Jungbluth, J.; Katri, B.; Schmeer, S.; Gurka, M.; Balle, F.; Breuer, U. (2024): **Damage and failure mechanisms of hybrid carbon fiber and steel fiber reinforced polymer composites.** In: Composites Part A: Applied Science and Manufacturing 185, S. 108366. DOI: 10.1016/j.compositesa.2024.108366.

Reich, S.; Heunoske, D.; Lück, M.; Osterholz, J. (2024): **Laser hardening of steel with a 120 kW laser at high throughput.** In: Procedia CIRP 124 (2), S. 751–754. DOI: 10.1016/j.procir.2024.08.217.

Richter, A.; Steinmann, T.; Rosenthal, J.-C.; Rupitsch, S. (2024): **Advances in real-time 3D reconstruction for medical endoscopy.** In: Journal of Imaging 10 (5), Art. No. 120. DOI: 10.3390/jimaging10050120.

Riedel, H.; Bohmann, L.; Bagusat, F.; Sauer, M.; Schuster, M.; Seel, M. (2024): **Crack segmentation for high-speed imaging: detection of fractures in thermally toughened glass.** In: Glass Structures & Engineering. DOI: 10.1007/s40940-024-00252-5.

Riedel, W.; Forquin, P. (2024): **Dynamic response regimes of concrete structures.** In: J. Weerheijm (Hg.): Woodhead Publishing Series in Civil and Structural Engineering - Understanding the Tensile Properties of Concrete, Bd. 152, S. 117–131.

Rietkerk, R.; Früh, P.; Lörcher, L.; Sauer, M.; Heine, A.; Riedel, W. (2025): **Bridging the gap between rate-dependent plasticity and stress wave dynamics: Calibrating a constitutive model for high-strength steel by inverse optimization.** In: International Journal of Impact Engineering 195, Art. No. 105087. DOI: 10.1016/j.ijimpeng.2024.105087.

Rinnert, T.; Köpke, C.; Kruse, A.; Fehling-Kaschek, M.; Lüttner, F.; Stolz, A. (2025): **Simulation of pedestrian behaviour in traffic situations using risk-based A* pathfinding.** In: International Journal of Intelligent Transportation Systems Research, S. 2805. DOI: 10.1007/s13177-024-00458-5.

Rommelfanger, S.; Kilchert, S.; Hiermaier, S. (2024): **Influence of parameter uncertainties in carbon footprint assessments on the magnitude of product-related ecological measures.** In: Sustainability 16 (15), Art. No. 6373. DOI: 10.3390/su16156373.

Rosin, J.; Stocchi, A.; Bruckhaus, N.; Heyner, J.; Weidner, P.; Waas, T. (2024): **Cylindrical steel tanks subjected to long-duration and high-pressure triangular blast load: current practice and a numerical case study.** In: Applied Sciences 14 (8). DOI: 10.3390/app14083465.

Rosin, J.; Stocchi, A.; Bruckhaus, N.; Heyner, J.; Weidner, P.; Waas, T. (2024): **Cylindrical steel tanks subjected to long-duration and high-pressure triangular blast load: current practice and a numerical case study.** In: Applied Sciences 14 (8), S. 3465. DOI: 10.3390/app14083465.

Rosin, J.; Stocchi, A.; Ruiz-Ripoll, M. L.; Basavaraju, R.; Solass, J.; Stolz, A. (2025): **Smart coating: experimental and numerical investigation of a blast mitigation measure for concrete wall panels.** In: Shock Waves 203 (3), S. 109729. DOI: 10.1007/s00193-024-01215-z.

Rosin, J.; Vetter, J.; Neuhäuser, S.; Stolz, A. (2024): **Building vulnerability assessment on an urban scale: A case study on heavy rainfall events.** In: E3S Web of Conferences 579, Art. No. 03002. DOI: 10.1051/e3sconf/202457903002.

Ruiz-Ripoll, M. L.; Riedel, W.; Stocchi, A.; Bagusat, F.; Schmitt, D.; Sauer, M. et al. (2024): **Experimental and numerical characterization of granular material until shock loading.** In: Journal of Dynamic Behavior of Materials, Art. No. 323. DOI: 10.1007/s40870-024-00428-8.

Sauer, C.; Burtsche, J.; Heine, A.; Riedel, W. (2024): **A simulation approach for quantifying ballistic impact damage in ultra-high-performance concrete.** In: International Journal of Impact Engineering 193, Art. No. 105055. DOI: 10.1016/j.ijimpeng.2024.105055.

Sauer, C.; Burtsche, J.; Heine, A.; Roller, C.; Riedel, W. (2024): **High-velocity impact experiments and quantitative damage evaluation for finite ultra-high-performance concrete targets.** In: International Journal of Protective Structures 15, S. 802–838. DOI: 10.1177/20414196231216751.

Schäfer, K.; Brunn, A.; Horch, C.; Bierdel, M.; Jain, A.; Schäfer, F. (2023): **After six months successful operations in low earth orbit: data processing system architecture and lessons learned from the LisR mission.** In: 2023 European Data Handling & Data Processing Conference (EDHPC). Juan les Pins, France, 02.10.-06.10.2023, S. 1–5.

Schäffer, S.; Reich, S.; Heunoske, D.; Lück, M.; Wolfrum, J.; Osterholz, J. (2024): **Laser-induced decomposition and mechanical degradation of carbon fiber-reinforced polymer subjected to a high-energy laser with continuous wave power up to 120 kW.** In: Journal of Composites Science 8 (11), Art. No. 471. DOI: 10.3390/jcs8110471.

Schäffer, S.; Wolfrum, J.; Lück, M.; Osterholz, J. (2024): **Decomposition and vulnerability of CFRP under laser impact with powers of up to 120 kW.** In: Proceedings of the SPIE Security & Defense. High-Power Lasers and Technologies for Optical Countermeasures II. Edinburgh, UK, 16.-19.09.2024, Art. No. 1320106.

Schmidt-Colberg, A.; Teigler, S.; Meyer, R.; Kruse, A. (2024): **Towards modelling human behaviour and warning message informativity in large-scale event evacuationEvacuation.** In: Proceedings of the 23rd International Conference on Modelling and Applied Simulation (MAS 2024). Tenerife, Spain, 18.-20.09.2024.

Schroven, K.; Köpke, C.; Lickert, B.; Moretti, M.; Segura Yus, P.; Botana Lagarón, C. et al. (2024): **Sustainability and resilience for infrastructure and logistic networks.** In: K. Kołowrocki und K. Kosmowski (Hg.): Advances in Reliability, Safety and Security, Part 10: Cybersecurity and Functional Safety in Hazardous System & Research Challenges Concerning Sustainability, Safety and Security (ESREL). Cracow, Poland, 23.-27.07.2024, S. 115–124.

Schroven, K.; Lickert, B.; Srivastava, K.; Ganter, S.; Fehling-Kaschek, M.; Finger, J.; Stolz, A. (2024): **Holistic resilience monitoring in state-of-the-art power supply systems.** In: IET Conference Proceedings, Bd. 2024. Chicago, S. 493–497.

Signetti, S.; Heine, A. (2024): **Dependence of impact regime boundaries on the initial temperatures of projectiles and targets.** In: Defence Technology 31, S. 49–57. DOI: 10.1016/j.dt.2023.06.003.

Signetti, S.; Matura, P.; Sandoval, L.; Durr, N.; Büttner, M.; Watson, E. et al. (2024): **Pellet shattering process for the ITER disruption mitigation system – part i: development of a discrete element code for modeling the dynamic fragmentation of cryogenic materials.** In: Proceedings of the 17th Hypervelocity Impact Symposium. Tsubuka, Japan, 09.-13.11.2025.

Solass, J.; Schapfel, S.; Stolz, A. (2025): **Using 3D-printed formwork to enable controlled crack creation in concrete specimens.** In: CivilEng 6 (1), S. 10. DOI: 10.3390/civileng6010010.

Srivastava, K.; Faist, K.; Lickert, B.; Neville, K.; McCarthy, N.; Fehling-Kaschek, M.; Stolz, A. (2024): **Assessment of the impact of cyber-attacks and security breaches in diagnostic systems on the healthcare sector.** In: 2024 IEEE International Conference on Cyber Security and Resilience (CSR). London, UK, 02.-04.09.2024, S. 531–536.

Stocchi, A.; Ruiz-Ripoll, M. L.; Riedel, W.; Stolz, A.; Roller, C.; Rosin, J. (2024): **Experimental and numerical analysis of soil structure interaction during high-speed load.** In: Proceedings of the 18th World Conference on Earthquake Engineering. Milan, Italy, 30.06.-05.07.2024.

Stolz, A.; Tang, J. H.; Fischer, S. G.; Fischer, K. (2024): **A rheological model analog for assessing the resilience of socio-technical systems across sectors.** In: Environment Systems and Decisions. DOI: 10.1007/s10669-024-09983-w.

Thielen, M.; Trube, N.; Schneider, J.; Ramin, M. von (2024): **Biomimetic regulation in supply chains and production systems.** In: Advanced Intelligent Systems, Art. No. 2400049. DOI: 10.1002/aisy.202400049.

Trube, N.; Lerge, P.; Nölle, L.; Mönnich, J.; Lich, T.; Schmitt, S. (2024): **Development and plausibility assessment of an active human body model in numerical cyclist to vehicle collision simulations based on real-life accident data.** In: 2024 IRCOBI Conference Proceedings 2024. Stockholm, 11.-13.09.2024, S. 519–551.

Trube, N.; Lerge, P.; Nölle, L.; Mönnich, J.; Lich, T.; Schmitt, S. (2024): **Development and plausibility assessment of an active human body model in numerical cyclist to vehicle collision simulations based on real-life accident data.** In: Proceedings of the carhs Human Modeling and Simulation Symposium. Marburg, 13.11.-14.11.2024.

Vetter, J.; Neuhäuser, S.; Rosin, J.; Stolz, A. (2024): **A categorization and parametric modeling approach using open geodata enabling building vulnerability Assessment.** In: ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, X-4/W5-2024. 19th International 3D GeoInfo Conference 2024. Vigo, Spain, 01.-05.07.2024, S. 309–316.

Vetter, J.; Neuhäuser, S.; Rosin, J.; Stolz, A. (2024): **Assessing building vulnerability: a categorization and parametric modeling approach using open geodata.** In: ISPRS Annals of the Photogrammetry -, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, S. 309–316.

Watson, E.; Putzar, R.; Durr, N.; Sharma, K. K.; Sandoval, L.; Schimmerohn, M. (2024): **Shape effects of non-spherical projectiles on CFRP spacecraft structures.** In: Proceedings of the 17th Hypervelocity Impact Symposium. Tsubuka, Japan, 09.-13.11.2025.

Winter, N.; Monteforte, M.; Müller, F.; Rohrbach, I.; Hertweck, P.; Martini, T.: **User-tailored visualization of simulation and sensor data for efficient crisis management.** In: B. Penkert, B. Hellingrath, M. Rode, A. Widera, M. Middelhoff, K. Boersma und M. Kalthöner (Hg.): ISRAM Conference Proceedings 2024. Embracing the Crisis Management Lifecycle. 21st ISCRAM Conference, Bd. 21.

Wolfrum, J.; Schmitt, R.; Neuland, M.; Backfisch, S.; Speiser, J.; Weiss, B. et al. (2025): **Standardization of high-energy laser impact tests with respect to temperature, reflection and perforation time.** In: Measurement Science and Technology 36 (3), S. 36008. DOI: 10.1088/1361-6501/adb171.

Publikationen (ohne Peer Review)

Bauer, S.; Wilhelm, N.; Prajapati, B.; Singler, M.; Langkemper, R.; Gedara, M. T. et al. (2024): **Application of neural networks for the quantification of cracks in transparent armor materials.** In: Proceedings of the 4th International Conference on Impact Loading of Structures and Materials (ICILSM). Freiburg, 13.-17.05.2024.

Brunnabend, L. (2024): **Equation of states for porous materials – comparing the p-alpha and epsilon-alpha equations.** In: Proceedings of the 19th International Symposium on Interaction of the Effects of Munitions with Structures (ISIEMS). Bonn, 09.-13.12.2024.

Denli, B.; Hahn, P.; Imbert, M.; May, M. (2024): **Delamination-on-Demand von faserverstärkten Kunststoffen mittels expandierender Partikel zur Rückgewinnung wiederverwendbarer Einzellagen.** In: 24. Symposium Verbundwerkstoffe und Werkstoffverbunde, 23.05.2024.

Fischer, K.; Roller, C.; Keil, S.; Ramin, M. von; Stolz, A. (2024): **Dynamic response on lightweight walls due to blast loading.** In: Proceedings of the 19th International Symposium on Interaction of the Effects of Munitions with Structures (ISIEMS). Bonn, 09.-13.12.2024.

Gan, E.; Remennikov, A.; Roller, C.; Ruiz-Ripoll, M. L.; Klomfass, A.; Ritzel, D. (2024): **Comparison of simulated blast environment between the Australian and German blast simulators.** In: Proceedings of the 19th International Symposium on Interaction of the Effects of Munitions with Structures (ISIEMS). Bonn, 09.-13.12.2024.

Guendel, M.; Rosin, J. (2024): **Kurzzeitdynamische Einwirkungen.** In: S. Hiermaier, N. Gebekken, M. Gündel, M. Maier und M. von Ramin (Hg.): Bau-Protect 2024 - Tagungsband 10. Workshop. Gefährdung, dynamische Analyse und Schutzkonzepte für bauliche Strukturen. Berlin, 12.-13.11.2024, S. 44–54.

Hess, S.; Jaspers, F.; Fredrich, T.: **Future combat training system – improved live fire training by digitalization.** In: 2024 Interservice/Industry Training, Simulation, and Education Conference (I/ITSEC), Art. No. 24323.

Hiermaier, S.; Gebekken, N.; Gündel, M.; Maier, M.; Ramin, M. von (Hg.) (2024): **Bau-Protect 2024 - Tagungsband 10.** Workshop. Gefährdung, dynamische Analyse und Schutzkonzepte für bauliche Strukturen. Berlin, 12.-13.11.2024.

Holz, S.; Pfaff, J.; Kuder, J.; Schopferer, S.; May, M.; Norrefeldt, V. et al. (2025): **Portable electronic devices in cabin and cockpit – analysis of hazards.** In: Proceedings of the AIAA SCITECH Forum. Orlando, FL, USA, 06.01.-10.01.2025.

Jenerowicz, M.; Matt, P.; Boljen, M.; Hiermaier, S. (2024): **Evaluation of behind armour blunt trauma: dynamic analysis with finite element human body models.** In: Proceedings of the 29th Congress of the European Society of Biomechanics. Edinburgh, 30.06.-03.07.2024.

Koss, P.; Busch, S.; Schimmerohn, M.; Schug, B.; Konanz, J.; Nunes, R. (2024): **Designing magnetic shielding for space applications using spray coating technology.** In: Proceedings of the 75th International Astronautical Congress (IAC). Milan, Italy, 14.-18.10.2024.

Larcher, M.; Ramin, M. von (2024): **Sicherheitsmanagement für den urbanen Raum.** In: S. Hiermaier, N. Gebekken, M. Gündel, M. Maier und M. von Ramin (Hg.): Bau-Protect 2024 - Tagungsband 10. Workshop. Gefährdung, dynamische Analyse und Schutzkonzepte für bauliche Strukturen. Berlin, 12.-13.11.2024, S. 78–91.

Lerge, P.; Trube, N.; Schmitt, S.: **Replication data for: »development and plausibility assessment of an active human body model in numerical cyclist to vehicle collision simulations based on real-life accident data«.**

Pena, D.; Bettinger, R.; Hansen, J.; May, M. (2024): **Breakthroughs noted in space debris propagation, aircraft vulnerability and high-speed X-ray imaging.** In: Aerospace Design and Structures.

Ramin, M. von; Hupfauf, M. (2024): **Strukturverhalten im hochdynamischen Bereich.** In: S. Hiermaier, N. Gebekken, M. Gündel, M. Maier und M. von Ramin (Hg.): Bau-Protect 2024 - Tagungsband 10. Workshop. Gefährdung, dynamische Analyse und Schutzkonzepte für bauliche Strukturen. Berlin, 12.-13.11.2024, S. 63–77.

Rey de Pedraza Ruiz, V.; Ruiz-Ripoll, M. L.; Roller, C.; Enfedaque, A.; Gálvez, F. (2024): **Characterization of cryogenic concrete under dynamic loadings.** In: Proceedings of DYMAT 2024. Zürich, 08.-13.09.2024.

Roller, C.; Riedel, W.; Ramin, M. von (2024): **Materialien und deren Eigenschaften bei kurzzeitdynamischer Beanspruchung.** In: S. Hiermaier, N. Gebekken, M. Gündel, M. Maier und M. von Ramin (Hg.): Bau-Protect 2024 - Tagungsband 10. Workshop. Gefährdung, dynamische Analyse und Schutzkonzepte für bauliche Strukturen. Berlin, 12.-13.11.2024, S. 55–62.

Roller, C.; Ruiz-Ripoll, M. L.; Dirlewanger, H.; Schmitt, D.; Schneider, J.; Ramin, M. von (2024): **Structural behavior of multi-component perimeter walls - numerical study of SHIELD21 tests.** In: Proceedings of the 19th International Symposium on Interaction of the Effects of Munitions with Structures (ISIEMS). Bonn, 09.-13.12.2024.

Rosin, J.; Stocchi, A. (2024): **Assessing the blast performance of masonry walls: development and validation of a hydrocode model.** In: Proceedings of the 19th International Symposium on Interaction of the Effects of Munitions with Structures (ISIEMS). Bonn, 09.-13.12.2024.

Ruiz-Ripoll, M. L.; Rey de Pedraza Ruiz, V.; Roller, C.; Enfedaque, A.; Gálvez, F. (2024): **Caracterización de hormigones criogénicos bajo cargas dinámicas.** Seguridad en tanques de gas licuado. In: Encuentro Español del Grupo de Fractura. Palma de Mallorca, Spain, 06.-08.03.2024.

Ruiz-Ripoll, M. L.; Rey de Pedraza Ruiz, V.; Roller, C.; Enfedaque, A.; Gálvez, F. (2024): **Caracterización de hormigones criogénicos bajo cargas dinámicas.** Seguridad en tanques de gas licuado. In: Revista de Mecánica de la Fractura 7.

Sauer, C.; Burtsche, J.; Roller, C.; Heine, A.; Bongartz, A. (2024): **Penetrating impacts on fiber reinforced concrete – hydrocode simulations, ballistic tests, and model application.** In: Proceedings of the 19th International Symposium on Interaction of the Effects of Munitions with Structures (ISIEMS). Bonn, 09.-13.12.2024.

Sauer, C.; Riedel, W.; Bagusat, F.; Ruiz-Ripoll, M. L.; Roller, C.; Sauer, M.; Heine, A. (2024): **Combined experimental and numerical study of shock properties of an ultra-high-performance concrete.** In: Proceedings of the 19th International Symposium on Interaction of the Effects of Munitions with Structures (ISIEMS). Bonn, 09.-13.12.2024.

Schaufelberger, B.; Steiert, A.; Kisters, T.; Schopferer, S. (2024): **Development and validation of a finite element model of a prismatic cell under crash loading.** In: Proceedings of the Stuttgart Conference on Automotive Production. Stuttgart, 20.-22.11.2024.

Signetti, S.; Klomfass, A.; Riedel, W.; Putzar, R.; Heine, A. (2024): **Safe operation of light-gas guns with hydrogen: the case study of the »large gun« at Fraunhofer EMI.** In: Periodic Bulletin (International Ballistics Society) (13), S. 29–33.

Stocchi, A.; Rosin, J.; Roller, C.; Jehle, S. (2024): **Performance assessment of façade greening system under blast loads.** In: Proceedings of the 19th International Symposium on Interaction of the Effects of Munitions with Structures (ISIEMS). Bonn, 09.-13.12.2024.

Stocchi, A.; Ruiz-Ripoll, M. L.; Riedel, W.; Stolz, A.; Roller, C.; Rosin, J. (2024): **Experimental and numerical analysis of soil structure interaction during high-speed load.** In: Proceedings of the 18th World Conference on Earthquake Engineering. Milan, Italy, 30.06.-05.07.2024.

Strobl, M.; Aurich, H. (2024): **On the determination of ignition thresholds of HMX based cast cured PBX at non-shock loads.** In: Proceedings of the 53rd International Annual Conference of the Fraunhofer ICT. Karlsruhe, 25.-28.06.2024.

Vorträge

Ballal, N.; Soot, T.; Dlugosch, M. (2024): **Enhancing ML-based VRU injury prediction with high-fidelity crash simulation data and domain knowledge.** NAFEMS Dach-Konferenz. Bamberg, 10.06.2024.

Bauer, S. (2024): **Modellbildung für transparente Schutzwerkstoffe – Quantitative Modellbildung zur Materialvorschädigung durch dem Projektil vorauslaufende mechanische Wellen.** DWT-Tagung »Angewandte Forschung für Verteidigung und Sicherheit in Deutschland VI«. Bonn, 19.03.2024.

Bauer, S.; Wilhelm, N.; Prajapati, B.; Singler, M. (2024): **Application of neural networks for the quantification of cracks in transparent armor materials.** 4th International Conference on Impact Loading of Structures and Materials (ICILSM). Freiburg, 17.05.2024.

Boljen, M. (2024): **E-Scooter-Unfälle – Dummys und Menschmodelle im Einsatz.** XXII. Forensische Gespräche 2024 »Unfallrekonstruktion«. Institut für Rechtsmedizin des Universitätsklinikum Schleswig-Holstein. Lübeck, 30.11.2024.

Busch, S. (2024): **Digitalization of SmallSat production and testing procedures.** : Space Workshop NewSpace: Project ideas for Japanese and German Space Actors. Tokio, Japan, 29.10.2024.

Busch, S. (2024): **Digitalisation of testing procedures for New Space.** SpaceTech Expo 2024. Bremen, 19.11.2024.

Cortes Magalhaes, L. O.; Schaufelberger, B.; Holz, S. (2024): **Numerical modelling of thermal runaway in Li-ion battery modules.** CAE Grand Challenge. Hanau, 16.04.2024.

Fischer, G. K. J.; Rupitsch, S. (2024): **Evaluierung von spärlich besetzten, akustischen Arraygeometrien für Innenraumlokalisierung.** XXXIX. Messtechnisches Symposium. Hall, Austria, 19.09.2024.

Fischer, K. (2024): **BMBF-Projekt HERAKLION – Heuristische Resilienzanalysen für Kommunen mittels Datenraumfunktionalitäten.** KAHR (Klima Anpassung Hochwasser Resilienz) Synthese- und Vernetzungskonferenz. Wesseling, 26.11.2024.

Fischer, K.; Andrae, M.; Brunnabend, L. (2024): **Urbane Sicherheit.** Schutz vor Überfahrtaten und Explosionslasten. 10. Workshop Bau-Protect. Berlin, 12.11.2024.

Fischer, K.; Mehnert, K.; Beck, E.; Stolz, A.; Mauermann, M. (2024): **Konzept zur Resilienzbewertung von Verarbeitungs- und Verpackungsprozessen der Lebensmittelindustrie.** Wissenschaftliche Fachtagung für Verarbeitungsmaschinen und Verpackungstechnik, VVD, 2024. Dresden, 21.03.2024.

Fischer, K.; Mitschke, A.; Klaproth, O.; Schirrmann, A.; Stolz, A. (2024): **Resilience assessment of industrial processes within the aircraft industry.** 14th EASN International Conference. Thessaloniki, 08.10.2024.

Fischer, K.; Roller, C.; Keil, S.; Ramin, M. von; Stolz, A. (2024): **Dynamic response on lightweight walls due to blast loading.** 19th International Symposium on Interaction of the Effects of Munitions with Structures (ISIEMS). Bonn, 09.12.2024.

Fredrich, T. (2024): **Soldat und Waffe als System: Train as you fight - Anwendung von Digitalisierung und autonomer Robotik für die Kampfausbildung mit scharfem Schuss.** DWT-Tagung »Angewandte Forschung für Verteidigung und Sicherheit in Deutschland VI«. Bonn, 19.03.2024.

Fredrich, T.; Heß, S. (2024): **Future combat training system – improved live fire training by digitalization.** 2024 Interservice/Industry Training, Simulation and Education Conference (2024 I/ITSEC). Orlando, FL, USA, 04.12.2024.

Gan, E.; Remennikov, A.; Roller, C.; Ruiz-Ripoll, M. L.; Klomfass, A.; Ritzel, D. (2024): **Comparison of simulated blast environment between the Australian and German blast simulators.** 19th International Symposium on Interaction of the Effects of Munitions with Structures (ISIEMS). Bonn, 09.12.2024.

Guimaraens, E. (2024): **Optimizing blast response: material improvement for sandwich structures with lattice core manufactured via L-PBF.** AuxDefense 2024. Braga, Portugal, 20.06.2024.

Guimaraens, E. (2024): **Optimizing blast response: material improvement for sandwich structures with lattice core manufactured via L-PBF.** MSE Congress 2024. Darmstadt, 26.09.2024.

Guimaraens, E. (2024): **Additive manufacturing and lightweight design in automotive engineering: applied research case studies.** AHK Deutsch-Tschechische Industrie- und Handelskammer. Prag, Tschechien, 05.11.2024.

Gutt, F.; Huschka, M.; Stolz, A. (2024): **Cascading effects analysis enabled by semantic interoperability in the resilience data space.** IDSA Workshop. Budapest, Hungary, 01.10.2024.

Hecker, P. (2024): **Lightning Talk: Super-Resolution of Earth Observation Data.** 2. Fraunhofer KI-Woche, 27.09.2024.

Hecker, P.; Bäuerle, H.; Schäfer, F. (2024): **Analysis of the applicability of super-resolved Sentinel-2 images for segmentation of photovoltaic power plants.** ESA SUREDOS24 Conference. Frascati, Italy, 29.05.2024.

Heine, A. (2024): **Wirkmechanismen zur Abwehr hypersonischer Bedrohungen: Neue Herausforderungen infolge nichtballistischer Flugbahnen.** DWT-Tagung »Angewandte Forschung für Verteidigung und Sicherheit in Deutschland VI«. Bonn, 20.03.2024.

Heine, A. (2024): **New approaches to the constitutive modeling of protective materials.** LWAG 2024 - Lightweight Armour for Defence and Security. Rocamadour, France, 13.06.2024.

Hess, S.; Jaspers, F.; Fredrich, T. (2024): **Future combat training system – improved life fire training by digitalization.** I/ITSEC 2024. Orlando, FL, USA, 02.12.2024.

Holz, S.; Norrefeldt, V. (2024): **The LOKI-PED project.** International Aircraft Materials & Systems Forum Meeting. Bremen, 14.04.2024.

Holz, S.; Pfaff, J. (2024): **The LOKI-PED project.** IATA World Operations and Safety Conference. Marakesh, 01.10.2024.

Holz, S.; Schopferer, S. (2024): **Developing safe battery systems by highly instrumented off-nominal tests.** Europe Energy Storage Safety Summit 2024. Petten, Netherlands, 08.10.2024.

Hoschke, K. (2024): **Optimization and experimental investigation of the blast response of additive manufactured sandwich structures with lattice core.** International Conference on Impact Loading of Structures and Materials (ICILSM). EMI Freiburg, 13.05.2024.

Jenerowicz, M. (2024): **Numerische Menschmodelle und anthropomorphe Prüfvorrichtung - Biomechanische Analyse bei hochdynamischen Belastungsszenarien für persönliche Schutztechnologien und Körperschut.** DWT-Tagung »Angewandte Forschung für Verteidigung und Sicherheit in Deutschland VI«. Bonn, 20.03.2024.

Jenerowicz, M. (2024): **Evaluation of behind armour blunt trauma: dynamic analysis with finite element human body models.** 29th Congress of the European Society of Biomechanics. Edinburgh, 03.07.2024.

Jenerowicz, M. (2024): **Assessment of female human body models for ballistic impact analysis with post mortem human subject (PMHS) data evaluation: A comparative study with various impact loading conditions.** International Research Council on the Biomechanics of Injury, IRCOBI Conference. Stockholm, 12.09.2024.

Jenerowicz, M. (2024): **Comparative numerical analysis of the posterior and anterior behind armour blunt trauma using GHBMC M50-P model.** International Research Council on the Biomechanics of Injury, IRCOBI Conference. Stockholm, 12.09.2024.

Köpke, C. (2024): **Pitchvortrag und Messestand zum EU Projekt SARIL.** ALICE Logistics Innovation Summit. Brüssel, 06.11.2024.

Köpke, C.; Steiert, M. (2024): **Großveranstaltungen: Den Überblick behalten durch intelligente Datenanalyse und Simulationen.** Polizeitag München. München, 05.12.2024.

Kurfiß, M.; Léost, Y. (2024): **X ray Car Crash insights into cars and dummies.** 4. Dummy Crashtest Konferenz. Münster, 26.06.2024.

Lickert, B.; Srivastava, K.; Schroven, K.; Fehling-Kaschek, M.; Stolz, A. (2024): **Modeling impact of power outages on interdependent critical infrastructure.** 34rd European Safety and Reliability Conference (ESREL 2024). Krakau, Polen, 23.06.2024.

Lickert, B.; Srivastava, K.; Schroven, K.; Fehling-Kaschek, M.; Stolz, A. (2024): **Modeling damage cascades in critical infrastructure for power outages.** CIRED 2024. Chicago, USA, 07.11.2024.

Lück, M.; Schäffer, S.; Osterholz, J.; Allofs, D.; Gruhn, P.; Gülhan, A. (2024): **Potential von Laserwaffen zur Flugkörperbekämpfung – Laserwirkung im Windkanal von Unterschall bis Hyperschall.** DWT-Tagung »Angewandte Forschung für Verteidigung und Sicherheit in Deutschland VI«. Bonn, 19.03.2024.

Matura, P. (2024): **Beitrag des Fraunhofer EMI zur Kernfusionsforschung – Den Folgen von Plasmastörungen in Kernfusionsreaktoren entgegenwirken.** Institutsseminar Fraunhofer INT, 06.11.2024.

Matura, P.; Signetti, S.; Moser, S.; Gebhardt, D.; Watson, E.; Schindler-Tyka, A. et al. (2024): **Pellet shattering process for the ITER disruption mitigation system Part II: Synthetic diagnostics based fragment tracking, calibration, and validation of simulation models.** 17th Hypervelocity Impact Symposium. Tsukuba, Japan, 12.09.2024.

Matura, P.; Signetti, S.; Moser, S.; Sandoval, L.; Durr, N.; Watson, E. et al. (2024): **Pellet fragmentation process in the context of the SPI technology for the ITER DMS – Analysis of the fragment characteristics supported by numerical simulations and image diagnostics of shatter tests.** 3rd Technical Meeting on Plasma Disruptions and their Mitigation. Saint Paul Lès Durance, France, 04.09.2024.

May, M. (2024): **Towards more sustainable aviation: Topology optimization and additive manufacturing of a cargo door latch fitting.** 2024 AIAA Science and Technology Forum and Exposition (AIAA SciTech Forum). Orlando, FL, USA, 08.01.2024.

May, M. (2024): **Towards more sustainable aviation: Life cycle analysis of a topology optimized 3D printed cargo door latch fitting.** 2024 AIAA Science and Technology Forum and Exposition (AIAA SciTech Forum). Orlando, FL, USA, 09.01.2024.

May, M. (19.-21-2024): **Drohnenimpakt – Erweiterte Anforderungen an die sichere Auslegung von Flugzeugen und Hubschraubern.** DWT-Tagung »Angewandte Forschung für Verteidigung und Sicherheit in Deutschland VI«. Bonn, 19.-21-03.2024.

May, M. (2024): **A look inside – The journey towards X-ray instrumented car crash.** International Conference on the Dynamic Behaviour of Composites (DyCOMP) and European Conference on Crashworthiness of Composite Structures (ECCCS). Enna, Italy, 03.09.2024.

May, M.; Kurfiß, M.; Fritsch, J. (2024): **X-ray instrumended side impact crash test – a technology demonstration.** 22nd Asia Pacific Automotive Engineering Conference 2024. Jeju Island, South Korea, 18.11.2024.

May, M.; Kurfiß, M.; Fritsch, J. (2024): **X-ray instrumended side impact crash test – a technology demonstration.** JSOL CAE Forum, 27.11.2024.

Meyer, R.; Schmidt-Colberg, A.; Kruse, A.; Köpke, C. (2024): **How to get people to leave -- exploring the influence of warning message informativity on the evacuation of large-scale events.** Social Simulation Conference 2024 (SSC 2024). Krakau, Polen, 18.09.2024.

Neuhäuser, S.; Gerold, M. (2024): **Developing networked twins of highly complex systems in the built environment.** NRC-CNRC Workshop »Digital Twins«. Berlin, 29.04.2024.

Niklas, W. (2024): **Softwaregestützte Analyse zur Sicherheit bei der Laserwaffenerprobung.** DWT-Tagung »Angewandte Forschung für Verteidigung und Sicherheit in Deutschland VI«. Bonn, 19.03.2024.

Patil, S. (2024): **A metallic friction lattice structure under crash.** 4th International Conference on Impact Loading of Structures and Materials (ICILSM). EMI Freiburg, 15.05.2024.

Putzar, R.; Zweigle, T.; Matura, P.; Bagusat, F.; Jung, M.; Weninger, L. et al. (2024): **Rupture prediction for spacecraft pressurized titanium tanks.** 73rd ARA Meeting. Bryan, TX, USA, 11.08.2024.

Putzar, R.; Zweigle, T.; Matura, P.; Bagusat, F.; Jung, M.; Weninger, L. et al. (2024): **Rupture prediction for spacecraft pressurized titanium tanks.** 4th European Hypervelocity Impact Risk Assessment Forum. Fraunhofer EMI, 01.10.2024.

Reich, S.; Heunoske, D.; Lück, M.; Osterholz, J. (2024): **Laser hardening of steel with a 120 kW laser at high throughput.** 13th CIRP Conference on Photonic Technologies [LANE 2024]. Fürth, 15.09.2024.

Reich, S.; Schäffer, S.; Heunoske, D.; Goesmann, M.; Lück, M.; Osterholz, J. (2024): **Zur nächsten Generation von Lasereffektoren – Wirkung im Ziel für hochenergetische Laserstrahlung bis 120 kW.** DWT-Tagung »Angewandte Forschung für Verteidigung und Sicherheit in Deutschland VI«. Bonn, 19.03.2024.

Reich, S.; Schäffer, S.; Heunoske, D.; Goesmann, M.; Lück, M.; Osterholz, J. (2024): **Effects of a 120 kW cw laser with focus on metal perforation and steel hardening.** Stuttgarter Lasertage (SLT). Stuttgart, 04.06.2024.

Rey de Pedraza Ruiz, V.; Ruiz-Ripoll, M. L.; Roller, C.; Enfedaque, A.; Gálvez, F. (2024): **Characterization of cryogenic concrete under dynamic loadings.** DYMAT 2024. Zürich, 08.09.2024.

Rietkerk, R.; Heine, A. (2024): **Anwendung der Methoden künstlicher Intelligenz für Wirkung und Schutz – Die Ableitung von Modellparametern für dynamische Werkstoffmodelle.** DWT-Tagung »Angewandte Forschung für Verteidigung und Sicherheit in Deutschland VI«. Bonn, 19.03.2024.

Rodinger, S.; Kölble, F.; Harwick, W. (2024): **Entfestigungsvorgänge unter Einwirkung von Temperatur bei Hochleistungsstählen.** VDEh-Tagung Werkstoffprüfung, 06.12.2024.

Roller, C.; Ruiz-Ripoll, M. L.; Dirlewanger, H.; Schmitt, D.; Schneider, J.; Ramin, M. von (2024): **Structural behavior of multi-component perimeter walls - numerical study of SHIELD21 tests.** 19th International Symposium on Interaction of the Effects of Munitions with Structures (ISIEMS). Bonn, 09.12.2024.

Rosin, J.; Stocchi, A. (2024): **Numerical analyses of steel tanks subjected to high detonation pressure: A case study on ammonia tanks with 300 mbar overpressure.** Cryogenic Storage Tank Conference. München, 18.04.2024.

Ruiz-Ripoll, M. L.; Rey de Pedraza Ruiz, V.; Roller, C.; Enfedaque, A.; Gálvez, F. (2024): **Caracterización de hormigones criogénicos bajo cargas dinámicas.** Seguridad en tanques de gas licuado. Encuentro Español del Grupo de Fractura 2024. Palma de Mallorca, Spain, 06.03.2024.

Ruiz-Ripoll, M. L.; Stocchi, A.; Riedel, W.; Bagusat, F.; Sauer, M.; Roller, C.; Stolz, A. (2024): **Characterization and modelling of granular materials under impact and shock loading.** 4th International Conference on Impact Loading of Structures and Materials (ICILSM). Freiburg, 14.05.2024.

Rüthnick, P.; Bagusat, F.; Sauer, M. (2024): **On the observation of surface temperatures in taylor impact tests.** DYMAT 2024. Zürich, 11.09.2024.

Sättler, A.; Aurich, H. (2024): **Wirkmechanismen und Zielannäherung – Anforderungen an zukünftige Gefechtsköpfe zur Wirkung gegen gepanzerte Landplattformen.** DWT-Tagung »Angewandte Forschung für Verteidigung und Sicherheit in Deutschland VI«. Bonn, 20.03.2024.

Sauer, C.; Burtsche, J.; Roller, C.; Heine, A. (2024): **Penetrating impacts on fiber reinforced concrete – hydrocode simulations, ballistic tests, and model application.** 19th International Symposium on Interaction of the Effects of Munitions with Structures (ISIEMS). Bonn, 10.12.2024.

Sauer, C.; Riedel, W.; Bagusat, F.; Ruiz-Ripoll, M. L.; Roller, C.; Sauer, M.; Heine, A. (2024): **Combined experimental and numerical study of shock properties of an ultra-high-performance concrete.** 19th International Symposium on Interaction of the Effects of Munitions with Structures (ISIEMS). Bonn, 09.12.2024.

Schaufelberger, B.; Hall, T.; Cortes Magalhaes, L. O. (2024): **Simulation models to support the design of polymer-based battery housings against thermal runaway.** The Safe Battery Experience. Freiburg, 15.10.2024.

Schaufelberger, B.; Kisters, T.; Kuder, J.; Schopferer, S.; Hermann, P.; Hall, T. (2024): **Integration of pouch cells in polymer battery enclosures – analysis of thermal runaway experiments on cell level.** Automotive Battery. München, 11.06.2024.

Schaufelberger, B.; Steiert, A.; Kisters, T.; Schopferer, S. (2024): **Development and validation of a finite element model of a**

prismatic cell under crash loading. Stuttgart Conference On Automotive Production (SCAP2024). Stuttgart, 20.11.2024.

Schneider, J. (2024): **Schutzbauten unter Berücksichtigung von Nachhaltigkeitsanforderungen.** DWT-Tagung »Energiewende im militärspezifischen Kontext«. Bonn, 08.10.2024.

Schneider, J.; Cordova, J.; Tawfik, A.; Ramin, M. von (2024): **Sustainable protective structures.** International Physical Security Forum (IPFS). Brüssel, 19.04.2024.

Schulz, T.; Huschka, M.; Dlugosch, M. (2024): **Leveraging knowledge graphs to fill data gaps for life cycle assessment during product development.** Stuttgart Conference On Automotive Production (SCAP2024). Stuttgart, 21.11.2024.

Signetti, S.; Matura, P.; Sandoval, L.; Durr, N.; Büttner, M.; Watson, E. et al. (2024): **Pellet shattering process for the ITER disruption mitigation system Part I: Development of a discrete element code for the dynamic fragmentation of cryogenic materials.** 17th Hypervelocity Impact Symposium. Tsukuba, Japan, 12.09.2024.

Signetti, S.; Moser, S.; Sandoval, L.; Durr, N.; Watson, E.; Gebhardt, D. et al. (2024): **Modeling and simulation of the pellet shattering process for the ITER Disruption Mitigation System.** 4th International Conference on Impact Loading of Structures and Materials (ICILSM). Freiburg, 16.05.2024.

Soot, T.; Dlugosch, M.; Fritsch, J. (2024): **»Grey-Box-Processing« Ein neuartiger Validierungsansatz für Struktursimulationen in der Fahrzeugsicherheit.** 21. VDI-Tagung »SIMVEC – Auslegung und Absicherung von Fahrzeugsystemen«. Baden-Baden, 19.11.2024.

Stocchi, A.; Rosin, J. (2024): **Tank structures as part of the critical infrastructures - Can steel tanks safely withstand high explosion pressures?** Conference on Flat Bottom Storage Tanks. München, 29.10.2024.

Stocchi, A.; Ruiz-Ripoll, M. L.; Riedel, W.; Stolz, A.; Roller, C.; Rosin, J. (2024): **Experimental and numerical analysis of soil structure interaction during high-speed load.** 18th World Conference on Earthquake Engineering (WCEE2024). Milan, Italy, 02.07.2024.

Stolz, A. (2024): **Fähigkeiten resilient gestalten: ein Ansatz zum Resilienz Management am Beispiel der Flugsicherung.** DWT-Tagung »Angewandte Forschung für Verteidigung und Sicherheit in Deutschland VI«. Bonn, 19.03.2024.

Stolz, A. (2024): **Sichere und resiliente Gesellschaften: die Forschung am Standort Freiburg.** Jahresmitgliederversammlung des Bundesverbandes der Sicherheitswirtschaft BDSW. Freiburg, 16.05.2024.

Stolz, A. (2024): **Resilienz messbar und praktikabel gestalten, geht das?** Wissenswerkstatt SifoLIFE zum Thema »Resilienz in kommunalen Kontexten« vom Team BeLIFE. Braunschweig, 27.06.2024.

Stolz, A. (2024): **Schutz öffentlicher Räume gegen terroristische Angriffe.** Marburger Sicherheitstage. Marburg, 26.09.2024.

Strobl, M.; Aurich, H. (2024): **On the determination of ignition thresholds of HMX based cast cured PBX at non-shock loads.** 53rd International Annual Conference of the Fraunhofer ICT. Karlsruhe, 28.06.2024.

Strobl, M.; Aurich, H. (2024): **Low velocity impact experiments – On the determination of non-shock ignition thresholds of cast cured PBX formulations.** 17th International Detonation Symposium. Kansas City, USA, 05.08.2024.

Trube, N. (2024): **Development and plausibility assessment of an active human body model in numerical cyclist to vehicle collision simulations based on real-life accident data.** IRCOBI Conference. Stockholm, 13.09.2024.

Trube, N. (2024): **Development and plausibility assessment of an active human body model in numerical cyclist to vehicle collision simulations based on real-life accident data.** carhs Human Modeling and Simulation Symposium. Marburg, 13.11.2024.

Seminarvorträge am EMI

Guimaraens, E. (2024): **Microscopy in material science and engineering.** What can we see here at EMI? EMI-Hausseminar. EMI Freiburg, 11.01.2024.

Hecker, P. (2024): **Deep-Learning for super-resolution of Sentinel-2 imagery.** EMI-KI-Kolloquium, 08.10.2024.

Jenerowicz, M. (2024): **Simulationsmethoden zur prognosefähigen Analyse von Knochensurrogaten.** Doktorandenseminar. EMI Freiburg, 21.01.2024.

Martini, T. (2024): **Fraunhofer-Zentrum für die Sicherheit Sozio-Technischer Systeme (Fraunhofer SIRIOS): Vortrag zum Themenschwerpunkt: »Sicherheit kritischer Infrastrukturen«.** EMI-Hausseminar, 14.03.2024.

Matura, P.; Signetti, S.; Moser, S.; Sandoval, L.; Durr, N.; Watson, E. et al. (2024): **Next ITERation – Fragments for Fusion.** EMI-Hausseminar. EMI Freiburg, 19.09.2024.

Pfaff, A. (2024): **Graded steel microstructures by laser powder bed fusion for increased material efficiency.** Doktorandenseminar. EMI Freiburg, 20.09.2024.

Soot, T. (2024): **Grey-Box-Processing – Ein integrales Validierungsverfahren für Struktursimulationen in der Fahrzeugsicherheit«.** Disputationsvortrag. EMI Freiburg, 05.02.2024.

Tang, J. H.; Franz, R. (2024): **Datengetriebene kommunale Resilienzbewertung in Bezug auf Extremwetter und Pandemie.** EMI-Hausseminar. EMI Efringen-Kirchen, 18.07.2024.

Lehrgänge der Carl-Cranz-Gesellschaft

Heine, A. (2024): **Panzerstähle – Schutzanwendungen, endballistische Bewertung, dynamische Charakterisierung.** CCG-Seminar VS 1.42 »Ballistik und Effektivität von Geschossen«. Gilching, 17.10.2024.

Heine, A. (2024): **Wissenschaftliche Untersuchungsmethoden für die Geschosswirkung.** CCG-Seminar VS 1.42 »Ballistik und Effektivität von Geschossen«. Gilching, 17.10.2024.

Sättler, A. (2024). CCG-Seminar VS 1.02: **»Innenballistik von Rohrwaffen«, 24.09.2024.**

Straßburger, E. (2024): **Endballistik kleinkalibriger Geschosse – Keramik für den ballistischen Schutz.** CCG-Seminar VS 1.43 »Endballistik - Grundlagen und Anwendungen«. Saint Louis, France, 25.06.2024.

Lehre

Lehrveranstaltungen

Asa, P.; Neuhäuser, S. (Wintersemester 2024/2025): **Design-Build-Studio »Digital Design and Fabrication of Timber 2.0«.** Seminar. TU Berlin.

Asa, P.; Neuhäuser, S.; Noda, S. (Sommersemester 2024): **Design-Build-Studio »Digital Design and Fabrication of Timber«.** TU Berlin.

Asa, P.; Neuhäuser, S.; Noda, S. (Wintersemester 2024/2025): **Digital Form-finding and Optimization.** Semina. TU Berlin.

Balle, F. (Sommersemester 2024): **Anwendbarkeit eines optischen Mikrofons zur Charakterisierung von Ermüdungsschäden in Verbundwerkstoffen.** Projekt. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg.

Balle, F. (Sommersemester 2024): **Herausforderungen an die Fügetechnik bei der Fertigung von Lithium-Ionen-Batterien.** Projekt. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg.

Balle, F. (Wintersemester 2024/2025): **Lightweight Design and Materials.** Vorlesung.

Balle, F. (Wintersemester 2024/2025): **Materials Selection for Sustainable Engineering.** Vorlesung und Übung. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg.

Balle, F. (Sommersemester 2024): **Nachhaltige Materialien.** Vorlesung und Übung. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg.

Balle, F. (Sommersemester 2024): **Technische Funktionswerkstoffe.** Vorlesung und Übung. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg.

Balle, F. (Wintersemester 2024/2025): **Werkstofftechnik und -prozesse.** Vorlesung und Übung. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg.

Balle, F. (Wintersemester 2024/2025): **Widerstandsmessungen Ultraschall-geschweißter Proben zur Entwicklung einer zerstörungsfreien Inline-Prozesskontrolle.** Projekt. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg.

Ganzenmüller, G. (Sommersemester 2024): **Advanced Materials Laboratory.** Vorlesung und Praktikum. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg.

Ganzenmüller, G.; Hiermaier, S. (Sommersemester 2024): **Angewandte Finite Elemente für die Strukturmechanik.** Vorlesung und Übung. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg.

Ganzenmüller, G.; Hiermaier, S. (Sommersemester 2024): **Werkstoffdynamik / Dynamics of Materials: Numerik dynamischer Deformationsprozesse.** Vorlesung und Übung. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg.

Ganzenmüller, G.; Kilchert, S.; Hiermaier, S. (Wintersemester 2024/2025): **Materiallebenszyklen / Material Life Cycles.** Vorlesung und Übung. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg.

Ganzenmüller, G.; Stilz, M.; Hiermaier, S. (Wintersemester 2024/2025): **Konstitutive Gleichungen und Diskretisierungsverfahren zur Versagensmodellierung / Physics of Failure.** Vorlesung. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg.

Häring, I. (Sommersemester 2024): **Functional Safety, Security and Sustainability: Active Resilience.** Vorlesung. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg.

Häring, I. (Wintersemester 2024/2025): **Quantification of Resilience.** Vorlesung. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg.

Häring, I. (Wintersemester 2024/2025): **Quantitative Risikoanalyse.** Vorlesung. Hochschule Furtwangen.

Harwick, W. (Wintersemester 2024/2025): **Werkstoffe.** Vorlesung. DHBW Lörrach.

Hiermaier, S. (Sommersemester 2024): **Grundlagen resilienter Systeme.** Vorlesung. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg.

Hiermaier, S.; Ganzenmüller, G. (Wintersemester 2024/2025): **Grundlagen der mechanischen Werkstoffcharakterisierung.** Vorlesung und Übung. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg.

Hiermaier, S.; Ganzenmüller, G.; Schroven, K.; Rinnert, T. (Wintersemester 2024/2025): **Fundamentals of Resilience.** Vorlesung und Übung. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg.

Hiermaier, S.; Matura, P. (Wintersemester 2024/2025): **Kontinuumsmechanik.** Vorlesung. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg.

Hoschke, K. (Wintersemester 2024/2025): **Vorlesungsbeitrag »Nachhaltigkeitsorientiertes mechanisches Design mit Topologie-Optimierung«.** In Vorlesung von Pascal Matura am INATECH.

Kilchert, S.; Hiermaier, S. (Wintersemester 2024/2025): **Lebenszyklusanalyse.** Vorlesung und Übung. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg,

Kilchert, S.; Hiermaier, S. (Sommersemester 2024): **Material Flow Analysis.** Vorlesung. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg.

Kilchert, S.; Hiermaier, S.; Balle, F. (Sommersemester 2024): **Studienseminar Sustainable Systems Engineering.** Seminar. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg.

Lickert, B.; Stolz, A. (Sommersemester 2024): **Resilience of Supply Networks.** Vorlesung und Übung. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg.

Lickert, B.; Stolz, A. (Sommersemester 2024): **Resilience of Supply Networks.** Vorlesung und Übung. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg.

Matura, P. (Sommersemester 2024): **Numerische Methoden in der Mathematik.** Vorlesung. DHBW Lörrach.

Matura, P.; Hoschke, K.; Hiermaier, S. (Wintersemester 2024/2025): **Kontinuumsmechanik.** Vorlesung und Übung. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg.

May, M.; Imbert, M. (Wintersemester 2024/2025): **Composite Materials.** Vorlesung. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg.

Osterholz, J. (Sommersemester 2024): **High-Energy Density Physics.** Vorlesung. Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf.

Ramin, M. von (Sommersemester 2024): **Lehrbeauftragter im Masterstudiengang »Katastrophenvorsorge und -Management«, Unterrichtseinheit 4 »Bauliche Prävention im Bevölkerungsschutz« im Modul 5: »Ausgewählte Konzepte und Maßnahmen der Katastrophenvorsorge«.** Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn.

Riedel, W. (Wintersemester 2024/2025): **Schutz baulicher Infrastrukturen.** Hochschule Furtwangen.

Sauer, M. (Wintertrimester 2024): **Laborpraktikum.** Universität der Bundeswehr München.

Sauer, M. (Wintertrimester 2024): **Numerische Simulationsverfahren.** Vorlesung. Universität der Bundeswehr München.

Sauer, M. (Wintertrimester 2024): **Werkstoffcharakterisierung.** Vorlesung. Universität der Bundeswehr München.

Schäfer, F. (Sommersemester 2024): **Shock Waves in Rocks I.** Vorlesung. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg.

Stolz, A. (Wintersemester 2024/2025): **Communal Pandemic Resilience Indicators: Effective Durations.** Projekt. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg.

Stolz, A. (Sommersemester 2024): **Konzeption großer Infrastrukturen / Design and Monitoring of Large Infrastructures.** Vorlesung und Übung. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg.

Stolz, A. (Sommersemester 2024): **Minderung des städtischen Wärmeinseleffekts durch Gewässer.** Projekt. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg.

Stolz, A. (Wintersemester 2024/2025): **Strukturelle Robustheit: Resiliente Entwurfsprinzipien / Structural Robustness: Resilient Designs.** Vorlesung. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg.

Gastwissenschaftler

M.Sc. Guisepp Bua, August - Dezember 2024.

Prof. Dr. Mohammad Gharaibeh, August - September 2024.

Sho Ikeda, M.Sc., Ballistics Research Division Ground Systems Research Center GSRC Acquisition, Technology & Logistics Agency ATLA Ministry of Defense Japan 01.04.2024 – 31.03.2025.

Promotionen

Grunwald, C. (2024): **Fragmentation of Concrete under Dynamic Loading – a Numerical Multiscale Approach.** Dissertation. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg.

Pfaff, A. (2024): **Graded Steel Microstructures by Laser Powder Bed Fusion for Increased Material Efficiency.** Dissertation. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg.

Premanand, A. (2024): **Ultrasonic Fatigue of Polymer Composites: Self-heating and Damage Characterization under Cyclic Three-point Bending.** Dissertation. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg.

Rabus, M. (2024): **Modell zur Prognose von Dummybelastungen für eine effiziente Auslegung der passiven Sicherheit von Fahrzeugen.** Dissertation. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg.

Roth, A. (2024): **Achieving Efficiency and Accuracy through Kinematic Integrity: A Novel Approach to Metamaterial Modelling.** Dissertation. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg.

Schmid, V. (2024): **Zylindrische Klebstoffverbindungen unter Biegemomentenbelastung.** Dissertation. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg.

Soot, T. (2024): **Grey-Box-Processing – Ein integrales Validierungsverfahren für Struktursimulationen in der Fahrzeugsicherheit.** Dissertation. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg.

Stilz, M. (2024): **Second-Gradient Elasticity and Isogeometric Analysis for Three-Dimensional Pantographic Metamaterials.** Dissertation. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg.

Strobl, M. (2024): **Analysis of Constitutive Relations in the Phase Field Approach to Brittle Fracture and its Application to Hertzian Indentation Fracture.** Dissertation. Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Karlsruhe.

Suarez del Fueyo, R. (2024): **Systematic Analysis of Real-world Motor Vehicle Crash Data to Identify Areas for Action and Enhanced Occupant Protection.** Dissertation. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg.

Bachelor- und Masterarbeiten

Backes, L. (2024): **Erprobung von In-situ Wärmebehandlungsstrategien zur Reduktion von Defekten in L-PBF Wolfram.** Bachelorarbeit.

Boccolari, E. (2024): **Parametric mission and system analysis for future VLEO missions for small satellites with special focus on perturbations in upper atmosphere.** Julius-Maximilians-Universität Würzburg.

Böhler, M. (2024): **Augmentation, calibration and validation of a fast and efficient urban heating model.** Master Thesis. EMI-Bericht A 27/24. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg.

Burtsche, J. (2024): **Simulationsbasierte Analysen zur Ableitung von Ingenieurmodellen für die Starrkörperpenetration in ultrahochfesten Beton.** Masterarbeit. EMI-Bericht A 02/24. Hochschule Offenburg.

Eich, N. (2024): **Entwicklung eines Versuchsaufbaus zur Charakterisierung des Entgasungsvorgangs von Li-Ionen-Zellen.** Bachelorarbeit. EMI-Bericht A 04/24. FH Aachen.

Fischer, L. (2024): **Gegenüberstellung und Implementierung von Packalgorithmen für eine sichere und effiziente Lagerung von Munition.** Bachelorarbeit. EMI-Bericht A 17/24. DHBW Lörrach.

Iberer, M. (2024): **Grundlagenermittlung für ein ganzheitliches kommunales Risikomanagement zur Steigerung der Resilienz – am Beispiel Bayern.** Masterarbeit. EMI-Bericht A 23/24. Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn.

Imreoglu, Y. (2024): **Mechanical-thermal recycling of thermoset composites.** Master Thesis. EMI-Bericht A 25/24. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg.

Kirschenbauer, S. (2024): **Analysis of a pax counter towards uses in crowd probing.** Master Thesis. EMI-Bericht A 28/24. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg.

Lipp, K. (2024): **Integration von keramischem Werkstoff in additiv gefertigte Panzerstähle für Schutzanwendungen.** Bachelorarbeit.

Luther, M. (2024): **Auslegung einer Split-Hopkinson-Pressure- Bar (SHPB) Anlage zur Untersuchung von Treibladungspulver.** Bachelorarbeit. EMI-Bericht A 21/24. DHBW Lörrach.

Mangold, P. (2024): **Auslegung und Umsetzung einer Getter-Einheit zur Realisierung hochreiner Prozessgasatmosphären im L-PBF.** Bachelorarbeit.

Padariya, R. (2024): **Failure rate estimation of lane detection from CARLA Simulation for Markov model safety assessment of autonomous driving functions.** Master Thesis. EMI-Bericht A 01/24. Westsächsische Hochschule Zwickau.

Patel, R. (2024): **Simulation of underwater explosions and their effect on seabed.** Master Thesis. EMI-Bericht A 30/24. Universität Rostock.

Rajeev, V. (2024): **Development of an authentication library in ASP.NET.** Master Thesis. EMI-Bericht A 12/24. Berlin School of Business and Innovation.

Rathnayake, S. (2024): **Compressible lattice Boltzmann solver for supersonic flow.** Master Thesis. EMI-Bericht A 03/24. Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg.

Sangsinsorn, S. (2024): **Vulnerability and Robustness Analyses for the Planning of Resilient Hydrogen Networks.** Master Thesis. EMI-Bericht A 26/24. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg.

Schnabel, A. (2024): **Analysis and comparison of carbon-neutralcompressed air storage technologies and hydrogen storage technologies for the storage of**

energy in carbon-neutral energy grids. Bachelorarbeit. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg.

Shat, A. (2024): **Numerical characterization of masonry structures.** Master Thesis. EMI-Bericht A 14/24. Ruhr-Universität Bochum.

Shehab, S. (2024): **Assessing the validity of the social vulnerability indicator for the German pandemic situation.** Master Thesis. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg.

Strahringer, S. (2024): **Investigation of peeling-based recovery of thermoplastic wound composites.** Master Thesis. EMI-Bericht A 24/24. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg.

Sutton, L. (2024): **Automated topology optimization for laser-based powder bed fusion of metals: incorporation of design guidelines and multi-load case scenarios.** Bachelorarbeit.

Xu, L. (2024): **Assessing the validity of the social vulnerability indicator for the german pandemic situation.** Master Thesis. EMI-Bericht A 05/24. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg.

Yüksek, A. (2024): **Predictive resource modelling of processing routes towards sustainability-oriented LPBF.** Master Thesis. EMI-Bericht A 29/24. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg.

Zurnieden, J. (2024): **Optimierung der Energieabsorption – Zelluläre Strukturen aus dem 3D-Drucker.** Masterarbeit. EMI-Bericht A 19/24. Hochschule Furtwangen.

Veranstaltungen vom EMI organisiert

10. Workshop Bau-Protect - Gefährdung, dynamische Analyse und Schutzkonzepte für bauliche Strukturen. Berlin, 12.-13.09.2024.

3. Konsortialtreffen des BMBF-Projekts FreiburgRESIST am 9.-10. Oktober 2024. EMI Freiburg.

4th International Conference on Impact Loading of Structures and Materials (ICILSM), 29.06.-03.07.2024, Freiburg.

Co-Organisation des Workshops »Qual2Rule Workshop: Using qualitative data to inform behavioural rules in agent-based models« auf der Social Simulation Conference 2024.

Digitain Projekttreffen, Freiburg.

Doktoranden-Summer-School (10.-12.07.2024).

Doktoranden-Winter-School (25.-26.11.2024).

EMI-Symposium 2024 »Forschung im Dialog: Wirkung und Schutz«. Freiburg, 04.12.2024.

Mechanical behavior of HE – Experimental characterization and evaluation. Discussion on future cooperation opportunities with AFRL and follow on project. Kandern, 09.09.2024.

RESIST-Endworkshop am Fraunhofer Forum in Berlin (Organisiert von Gruppen Agentenbasierte Simulationsmethoden und Socio-Technical System Analysis).

SIFO-Workshop zum BMBF-Innovationsforum »Kommunale Krisenfestigkeit und Resilienz mit SIFO-Projekten«, Berlin 2024.

Workshop Safe Battery Experience Carhs / Live Experience am Standort EK.

Workshop mit dem assoziierten Partner Lörrach, Projekt HERAKLION (2024). Landratsamt Lörrach, 19.04.2024.

Workshop mit dem assoziierten Partner Nürnberg, Projekt HERAKLION (2024). Gesundheitsamt Nürnberg, 18.06.2024.

Workshop mit assoziierten Partnern Freiburg und Lörrach, Projekt HERAKLION (2024). EMI Freiburg, 17.07.2024.

Patente, Preise, Exzellenzforschung

Patente

Heine, A. (2024): **Explosive Schutzpanzerung mit steuerbarer Flugplattengeschwindigkeit.** Veröffentlichungsnr.: DE10 2024 001096.

Herschel, R.; Moser, S.; Heusinger-Hess, V. (2024): **An apparatus and a method for generating an image of an observed object and a system for imaging an object.** Anmeldenr: 20196238.8. Veröffentlichungsnr.: EP 3 968 013.

Hess, S.; Nothdurft, S.; Nau, S.; Kuschke, E. (2024): **Gefechtstrainingssystem.** Veröffentlichungsnr.: EP 4 217 990 B1.

Patil, S.; Ganzenmüller, G. (2024): **A deformable structure.** Veröffentlichungsnr.: EP4148295 A1.

Pfaff, A.; Balle, F. (2024): **Method for post-treating additively manufactured structures by means of ultrasound.** Veröffentlichungsnr.: EP4389323 A1.

Preise und Auszeichnungen

Balle, F.: **Auszeichnung digitale Lehrprojekte durch das BW-Wissenschaftsministerium und dem Stifterverband für das Projekt »SSE-Navi«.**

Dlugosch, M.: **Best pitch, BMW Summer School.**

Dlugosch, M.: **Best poster, BMW Summer School.**

Hiermaier, S.: **Stanford / Elsevier Top 2 % Scientist List – Jahr 2024.**

Hiermaier, S.: **Stanford / Elsevier Top 2 % Scientist List – Karriere.**

May, M.: **Stanford / Elsevier Top 2 % Scientist List – Jahr 2024.**

May, M.: **Stanford / Elsevier Top 2 % Scientist List – Karriere.**

Rosin, J.: **Best Presentation Award für die Präsentation »Building Vulnerability Assessment on an Urban Scale: A Case Study on Heavy Rainfall Events«.** 11th International Conference on Civil and Urban Engineering ICCUE 2024, Rome August 20-22.

Schäfer, F.: **Stanford / Elsevier Top 2 % Scientist List – Karriere.**

Evaluierte Exzellenzforschung

Projekte, die vom DFG, BMBF oder European Research Council gefördert werden:

BMBF-Förderung für **Fraunhofer SIRIOS** 2021-2025.

BMBF-Verbundvorhaben: **Handwaffen mit selbstgedruckten Teilen – eine Risikoabschätzung (HamsTeR).** Förderkennzeichen 13N16030.

DFG-Forschungsprojekt: **Charakterisierung und Modellierung der Ermüdungseigenschaften von thermoplastischem CFK und HCF – bis in den VHCF-Bereich durch Hochfrequenz-Methoden.**

DFG-Forschungsprojekt: **Entwicklung langlebiger Sonotrodenkonzepte zum Ultraschallschweißen von Ti-Legierungen durch die Auslegung effizienter Strukturierungen der Sonotrodenkoppelfläche.**

DFG-Forschungsprojekt: **Kreislauffähigkeit thermoplastischer gewickelter Faserverbund-Strukturen durch innovatives Materialdesign, abschälbasierte Demontage und Neu-Wickeln.**

LOKI-PED - Lithium Batteries Fire/Smoke Risks in Cabin.

Projekt **RESIST** (grant No. 03SF0637.) Projektstart: 2021.

Mitarbeit in Fachgremien

Balle, F.: Aktivitäten in Verbänden: DGM-Fachausschuss »Hybride Werkstoffe und Strukturen« (Gründungsmitglied), DVM-Arbeitskreis »in-situ-Prüfung im Elektronenm ikroskop«(Gründungsmitglied).

Balle, F.: Gutachter für die Deutsche Forschungsgesellschaft (DFG), die Netherlands Organisation for Scientific Research (NWO).

Balle, F.: Gutachter für wissenschaftliche Journals: Materials & Design, Internat. Journal of Fatigue, Journal of Visualized Experiments, Advanced Materials Engineering, Composite Science and Technology, Composites A, Composite Interfaces, Fatigue and Fracture of Engineering Materials and Structures, Polymers, Sandwich Structures and Materials, Journal of Materials Processing and Technology, Materials Letters, Materials Science and Engineering A, NDT & E International, Ultrasonics, Carbon.

Balle, F.: Herausgebertätigkeiten: Guest editor (Special issues): Advanced Enginnering Materials (Wiley), Ultrasonics (Elsevier), JOM (Springer).

Balle, F.: Initiator und Leiter der Symposien »Ultrasonic Welding of Advanced Materials«, »Ultrasonic Fatigue of Advanced Materials« anlässlich der Konferenzen: TMS Annual Meeting 2011, San Diego (CA), 2012 San Antonio (TX, USA) und 2013 Orlando (FL, USA).

Balle, F.: Initiator und Leiter des Fortbildungsseminares der DGM »Hybride Werkstoffverbunde durch innovative Fügeverfahren« (früher »Rührreib- und Ultraschallschweißen«) - gemeinsam mit Prof. Wagner (TU Chemnitz).

Balle, F.: Mitglied im Editorial Board und Mitherausgeber der Zeitschrift »Ultrasonics« (Elsevier).

Balle, F.: Mitglied im Freiburger Materialforschungszentrum (FMF).

Balle, F.: Mitglied im Gemeinschaftsausschuss (GA) »Verbundwerkstoffe« der DGM, DGG, DGO, DVS, VDI und DKG.

Balle, F.: Mitglied im Programmbeirat der Tagung »Verbundwerkstoffe und Werkstoffverbunde«.

Balle, F.: Mitglied im Scientific Committee der Konferenzen: »Very High Cycle Fatigue (VHCF)«, »European Conference on Composite Materials (ECCM)«, »International Conference on Fatigue of Composites (ICFC)«.

Balle, F.: Mitgliedschaften in folgenden Verbänden: Deutsche Gesellschaft für Materialkunde (DGM), Deutscher Verband für Materialforschung und -prüfung e.V. (DVM), Deutscher Hochschulverband (DHV), The Minerals, Metals & Materials Society (TMS), USA.

Boljen, M. (2024): Teilnahme 50. Mitgliederversammlung Fraunhofer-Netzwerk »Simulation«. Fraunhofer IWTM. Kaiserslautern, 05.11.2024.

Ganzenmüller, G.: Mitglied des DYMAT Governing Boards.

Heine, A.: Editorial Advisory Board, International Journal of Impact Engineering.

Heine, A.: Member of the Organizing Committee, 4th International Conference on Impact Loading of Structures and Materials, ICILSM 2024, 13-17 May 2024, Freiburg, Germany.

Heine, A.: Scientific Committee, Light-Weight Armour for Defence & Security, LWAG 2024.

Hess, S.: Co-Chair der NATO-Arbeitsgruppe NMSG-ET054 »Unified network architecture for live fire exercise systems«.

Hiermaier, S.: Clean Aviation // Member of Steering Board.

Hiermaier, S.: Koordinator Leistungszentrum Nachhaltigkeit.

Hiermaier, S.: Member of the German Association for Computational Mechanics (GACM).

Hiermaier, S.: Member of the Organizing Committee, 4th International Conference on Impact Loading of Structures and Materials, ICILSM 2024, 13-17 May 2024, Freiburg, Germany.

Hiermaier, S.: Mitglied der Carl-Cranz-Gesellschaft e.V.

Hiermaier, S.: Mitglied der Deutschen Gesellschaft für Materialkunde (DGM) e.V.

Hiermaier, S.: Mitglied des Freundeskreis BA Lörrach.

Hiermaier, S.: Mitglied des Förderkreis Deutsches Heer e.V.

Hiermaier, S.: Mitglied des MicroTEC Südwest e.V.

Hiermaier, S.: Mitglied DYMAT.

Holz, S.: EASA/FAA Hydrogen Fire & Explosion Task Group.

Jenerowicz, M.: European Working Group (EWG) on Non-Lethal Weapons.

Jenerowicz, M.: NATO Team of Experts on Non-Lethal Kinetic Energy (NLKE).

Köpke, C.: Mitgliedschaft bei der Young Academy of Sustainability Research (YAS), Freiburg.

Köpke, C.: Program Committee of the 5th International Workshop on Cyber-Physical Security for Critical Infrastructures Protection (CPS4CIP 2024).

May, M.: American Institute of Astronautics and Aeronautics (AIAA) International Activities Group.

May, M.: American Institute of Astronautics and Aeronautics (AIAA) Technical Committee Survivability.

May, M.: Editorial Board »Journal of Dynamic Behavior of Materials« (JDBM).

May, M.: Editorial Board »Unizik Journal of Technology, Production and Mechanical Systems« (UJTPMS).

May, M.: Fraunhofer Program Management Clean Aviation.

May, M.: Governing Board Clean Aviation Joint Undertaking (stellv. RTO-Repräsentant).

May, M.: Michael May: Scientific Committee »International Conference on the Dynamic Behaviour of Composites – DyCOMP and European Conference on Crashworthiness of Composite Structures – ECCCS«, Enna, Italien, 3-5 September 2024.

May, M.: Programmausschuss »24. Symposium Verbundwerkstoffe und Werkstoffverbunde Verbund 2024«, 22-24 Mai 2024, Freiburg i. Brsg.

May, M.: Stellv. Sprecher Fraunhofer VVS im Kontext FCAS.

Meyer, R.: Programmkomitee der Social Simulation Conference (SSC 2024), Programmkomitee International Workshop for Multi-Agent Based Simulation (MABS 2024).

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

Putzar, R.: Secretary der Aeroballistics Range Association (ARA).

Ramin, M. von: Deutscher Delegierter für die NATO PFP(AC/326-SG/C) AASTP-4 Custodian Working Group.

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

Ramin, M. von: Mitglied des Technical Committee der 19th ISIEMS - International Symposium on Interaction of the Effects of Munitions with Structures, Bonn, 9.-13.12.2024.

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

Ramin, M. von: Mitglied in der »European Commission expert group 'Fighting Crime and Terrorism, including Resilient Infrastructure' for the Community for European Research and Innovation for Security (CERIS)«.

Ramin, M. von: Mitglied in der Deutschen Gesellschaft für Erdbebeningenieurwesen und Baudynamik, DGEB.

Riedel, W.: Member of the Organizing Committee, 4th International Conference on Impact Loading of Structures and Materials, ICILSM 2024, 13-17 May 2024, Freiburg, Germany.

Rosin, J.: Mitglied der DGEB – Deutsche Gesellschaft für Erdbebeningenieurwesen und Baudynamik e.V.

Rosin, J.: Mitglied im europäischen Normenausschuss CEN/TC 265/WG 10.

Rosin, J.: Mitglied im Normenausschuss NA 104 DIN Standards Committee Tank Installations (NATank) Deutscher Spiegelausschuss CEN/TC 265/WG 10.

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

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

Sättler, A.: Mitglied im Arbeitskreis Innenballistik.

Signetti, S.: Chair of the technical session »Analytical and Numerical Methodologies I« at the 17th Hypervelocity Impact Symposium. 8-13 Sept. 2024, Tsukuba, Japan.

Signetti, S.: Member of the Organizing Committee, 4th International Conference on Impact Loading of Structures and Materials, ICILSM 2024, 13-17 May 2024, Freiburg, Germany.

Stolz, A.: Mitglied ASW Bundesverband – Allianz für Sicherheit in der Wirtschaft e.V.

Stolz, A.: Mitglied ASW-BW – Allianz für Sicherheit in der Wirtschaft Baden-Württemberg e.V.

Stolz, A.: Mitglied des Transport Research Boards (TRB) im AMR 10 Standing Committee on Critical Transportation Infrastructure Protection.

Stolz, A.: Mitglied DGEB – Deutsche Gesellschaft für erdbebeningenieurwesen und Baudynamik.

Stolz, A.: Mitglied DIN – Deutsches Institut für Normung e.V.

Stolz, A.: Mitglied DKKV – Deutsches Komitee Katastrophenvorsorge e.V.



Auf dem Weg zur modernen Impaktphysik

Ende der 60er Jahre begann der Aufbau der ersten Leichtgas-Kanone am Fraunhofer EMI. Diese Anlage erreichte Impaktgeschwindigkeiten von über 3000 m/s. Erst in den 90er-Jahren gab es verlässliche Computersimulationen im Bereich der Impaktphysik. Um empirische Daten zu gewinnen, waren deshalb physische Experimente mit Hochgeschwindigkeitskanonen unerlässlich. Die Forschung dieser Zeit legte den Grundstein für heutige Simulationstechniken und die moderne Impaktphysik.

Foto: Fraunhofer EMI

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

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

Standorte:
Freiburg, Efringen-Kirchen und Kandern