



**Fraunhofer**  
IZM

Fraunhofer-Institut für Zuverlässigkeit und Mikrointegration IZM

Abteilung

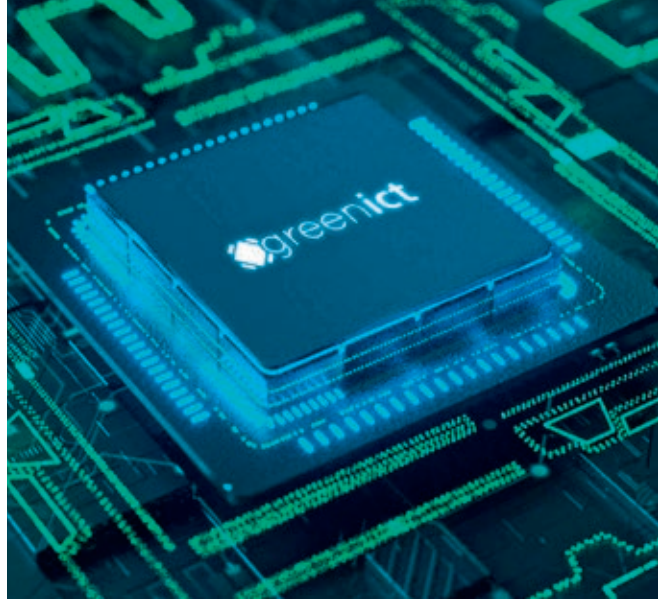
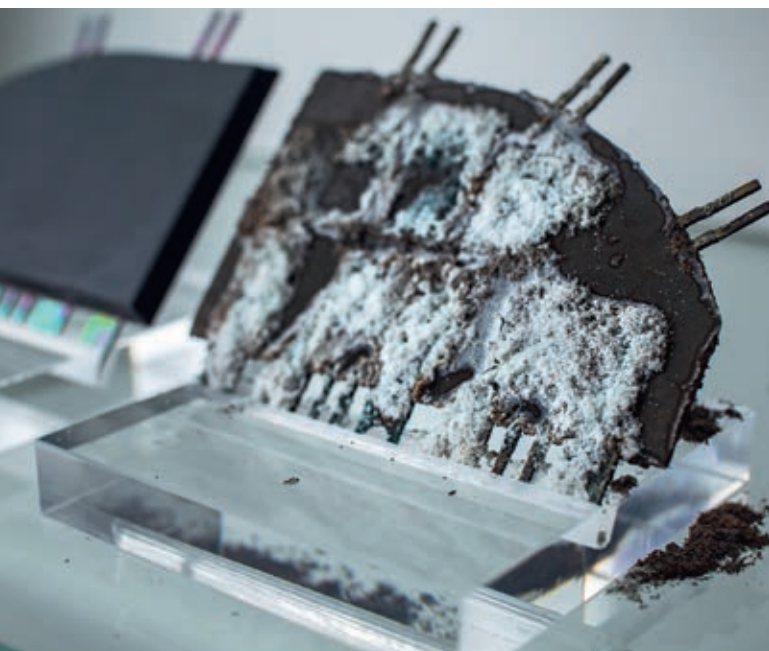


Environmental &  
Reliability Engineering

# Umweltgerechte, zuverlässige und ausfallfeste Elektronik

Das Fraunhofer-Institut für Zuverlässigkeit und Mikrointegration IZM arbeitet an der Entwicklung und Umsetzung neuer Konzepte für den Aufbau hochintegrierter elektronischer und photonischer Systeme. Durch seine anwendungsorientierte Forschung schlägt das Fraunhofer IZM eine Brücke zwischen Anbietern mikroelektronischer Komponenten und Herstellern technischer Systeme zahlreicher Branchen, wie beispielsweise der Automobil-, Energie-, Industrie- oder Medizintechnik.

Das Leistungsspektrum der Abteilung Environmental and Reliability Engineering (ERE) mit ihren rund 50 Mitarbeitern reicht von der Beratung über Test und Bewertung von Materialien oder Systemen bis hin zur Simulation von Zuverlässigkeitsfaktoren. Dabei unterstützen wir Sie bei technischen Entwicklungen auf dem Weg zur Marktreife durch Umwelt- und Zuverlässigkeitsuntersuchungen – von der Nanocharakterisierung bis zur Bewertung und Optimierung auf Systemebene.



*Ressourcen- und Energieverbrauch  
bei der Halbleiter-Herstellung*

Mit der Technischen Universität Berlin (Forschungsschwerpunkt Technologien der Mikroperipherik) verbindet uns eine enge Kooperation, insbesondere bei europäischen Gemeinschaftsprojekten.

Vor dem Hintergrund von weltweitem Wachstum und begrenzten Ressourcen muss jede neue Technologie- und Produktgeneration aus weniger Ressourcenverbrauch mehr Funktionalität und eine abgesicherte Zuverlässigkeit generieren. Ohne adäquate Zuverlässigkeit ist der wirtschaftliche Erfolg einer Anwendung ohnehin gefährdet, und gleichzeitig wird bei den typischerweise herstellungsintensiven Produkten der Mikroelektronik die Umweltbilanz durch vorzeitigen Ausfall oder Ersatz massiv verschlechtert. Nachhaltige Elektroniktechnologien müssen daher umweltgerecht und gleichzeitig zuverlässig sein.

Der Fokus unserer Forschung liegt auf z. B.

- ÖkoDesign und kreislaufgerechte Technologien (Green ICT, Circular Design Lab)
- Umweltbewertung für Elektroniksysteme
- Digitale Technologien und Daten für die Kreislaufwirtschaft
- Umweltgesetzgebung: RoHS, WEEE, ÖkoDesign
- Modellansätze zur Entwicklung digitaler Zwillinge
- Zuverlässigkeit: Simulation, Test und Optimierung
- Applikationsspezifische Systembewertung
- Korrosion, elektrochemische Migration, Feuchtediffusion
- Zustandsüberwachung elektronischer Systeme

*Korrosions- und Migrationserscheinungen an Baugruppen*

# Highlight

## Optimierung und Überwachung mechatronischer Systeme mit digitalem Zwilling

Der Einsatz eines digitalen Zwillings mechatronischer Systeme ermöglicht in der Entwicklungsphase Design-Optimierungen, virtuelle Tests und Validierungen sowie kontinuierliche Überwachung im Betrieb. Durch die Integration von vertrauenswürdigen Datenquellen wird das theoretische Verhalten des digitalen Zwillings oder des baugruppenspezifischen digitalen Fingerabdrucks analysiert und mit der realen Anwendung abgeglichen. Die KI-basierte Selbstvalidierung von Elektroniksystemen auf Basis von neuartigen hybriden Modellansätzen wird hierzu stetig weiter ausgebaut. Für funktionale Strukturen der Bereiche Automotive, Bahntechnik und Luftfahrt werden entsprechende hybride Modellierungen sowohl mit Open-Source als auch kommerziellen Softwareumgebungen realisiert. Mit den entwickelten, die Hardware ergänzenden Grey-Box-Modellen kann die Systemebene bis zur Aufbau- und Verbindungstechnik vollständig abgebildet werden.

### Forschungsschwerpunkte

- Multi-Domain Systemsimulation: Elektrische, thermische, mechanische Abbildung
- Hybride Grey-Box-Modellierung (Kombination physikalischer und datengetriebener Modellansätze)
- Einbindung von Fehlermechanismen zur Bewertung der Rest-Lebensdauer (RUL – Remaining Useful Lifetime)
- Entwicklung effizienter dynamischer Simulationen mittels Modellreduktion (MOR, ROM – Model Order Reduction)

*Entwicklung eines hybriden Ansatzes zur Selbstvalidierung von sicherheitskritischen Elektronikanwendungen*



# System Reliability Assessment

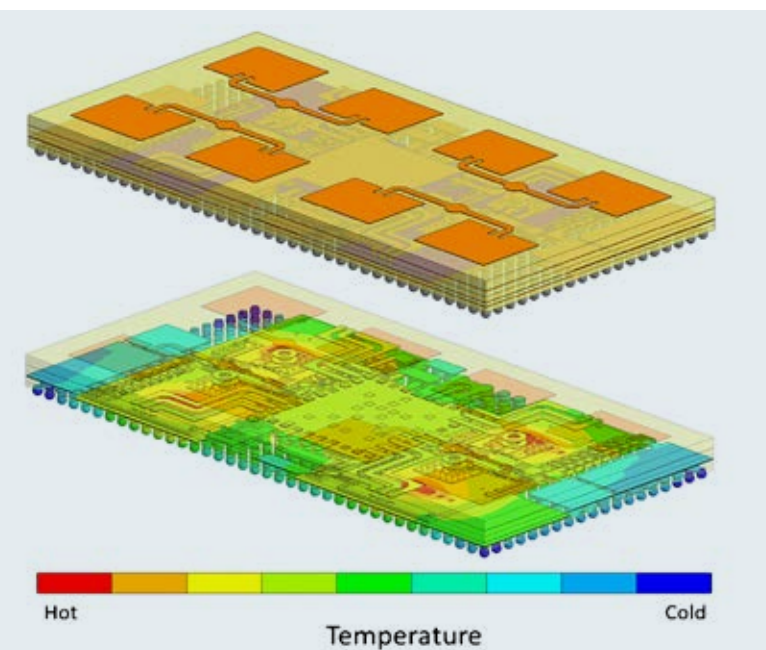
## Entwicklung kundenorientierter Lösungen für robuste, zuverlässige und nachhaltige elektronische Systeme

In transdisziplinären Teams entwickeln wir innovative, kundenorientierte Lösungen für robuste, energieeffiziente und nachhaltige elektronische Systeme. Dabei sichern wir die Zuverlässigkeit durch applikationsspezifische Systemauslegung, Qualifizierung, Schwachstellenanalyse und Optimierung auf System-, Bauteil- und Technologieebene. Wir setzen experimentelle und simulative Methoden ein und entwickeln diese weiter.

Zur Zuverlässigkeitsbewertung und Manipulationserkennung komplexer elektronischer Systeme nutzen wir zunehmend hybride Modellierungsansätze (»Grey-Box«). Dabei erweitern wir funktionale Schaltungsstrukturen durch physikalisch basierte Modellansätze und datenbasierte, KI-gestützte Auswertemethoden. Dies ermöglicht uns die Nutzung digitaler Zwillinge, um eine präzisere und effektivere Bewertung der Systemzuverlässigkeit und Manipulationserkennung zu erreichen.

Mit unserer technologischen Expertise und den vielseitigen analytischen Ressourcen des Hauses unterstützen wir unsere Kunden zusätzlich bei der Fehler- und Ursachenanalyse von elektronischen Baugruppen, Systemen und leistungselektronischen Modulen. Wir bieten weiterhin ein breites Spektrum an definierten Belastungstests zur Bewertung der Zuverlässigkeit und Robustheit. Dabei entwickeln wir auf Basis anwendungsspezifischer Mission Profiles gezielte Belastungsszenarien und neue Testprofile, um aussagekräftige Ergebnisse zu erzielen.

Darüber hinaus bieten wir unseren Kunden eine umfassende Beratung und Unterstützung bei der Auswahl und Integration von elektronischen Komponenten und Technologien. Wir analysieren die Anforderungen und Ziele unserer Kunden und finden maßgeschneiderte Lösungen, um die Leistungsfähigkeit und Effizienz ihrer elektronischen Systeme zu maximieren.



Simulation zum Thermischen Management einer Baugruppe

## Forschungsschwerpunkte

- Applikationsspezifische Systembewertung
- Zuverlässigkeit: Simulation, Test und Optimierung
- Korrosion, elektrochemische Migration, Feuchte
- Zustandsüberwachung elektronischer Systeme
- Modellansätze zur Entwicklung digitaler Zwillinge
- Absicherung der Zuverlässigkeit gebrauchter, überarbeiteter bzw. reparierter Elektronik
- Objektorientierte Systemsimulation mit Kompaktmodellen und Multiskalen-Methoden
- Digital Thread; Systemabbildung: AAS, SysML, FMI

Bei unseren Lösungen berücksichtigen wir auch Aspekte der Kostenoptimierung und der Time-to-Market, um einen wirtschaftlichen Erfolg zu gewährleisten.

Unser Team von Experten arbeitet eng mit den Kunden zusammen, um individuelle Bedürfnisse zu verstehen und zu erfüllen. Gerne bieten wir auch Schulungen und Workshops an, um das Wissen und die Fähigkeiten unserer Kunden und deren Mitarbeiter im Bereich der elektronischen Systementwicklung zu erweitern. Durch diese enge Zusammenarbeit können wir gemeinsam innovative Lösungen entwickeln und erfolgreich umsetzen.

Insgesamt streben wir danach, unsere Kunden dabei zu unterstützen, technologische Herausforderungen zu bewältigen, ihre Wettbewerbsfähigkeit zu steigern und nachhaltige, robuste elektronische Systeme zu schaffen, die den heutigen und zukünftigen Anforderungen gerecht werden.

## Leistungsangebot

- Zuverlässigkeitsbewertung elektronischer Systeme
- Designbewertung und -optimierung mit FEM
- Korrosion, elektrochemische Migration, Feuchte
- Thermische Charakterisierung, Systemauslegung
- Vibrationsmessungen und -tests
- Strukturanalysen, Materialcharakterisierung
- Zustandsüberwachung elektronischer Systeme

*Simulation von Schertests  
neuartiger, aluminiumbasierter  
Dickdrahtverbindungen*



# Policy, Ecodesign and Circular Materials

## Kreisläufe schließen und Produktgestaltung nachhaltig optimieren

Der Beitrag des Produktdesigns zu mehr Nachhaltigkeit in Wirtschaft und Gesellschaft steht im Fokus der Gruppe Policy, Ecodesign and Circular Materials. Mit dem Circular Design Lab verfügen wir über Methodenkompetenz und technologisches Wissen, um Anwendungen und Dienstleistungen nachhaltiger zu gestalten. Wir forschen an der Kreislaufführung von Materialien in Elektro- und Elektronikanwendungen und haben Anforderungen des Produktdesigns und die Möglichkeiten eines hochwertigen Recyclings gleichermaßen im Blick.

Wir bringen unsere technologische Expertise und unsere Erkenntnisse zu den Auswirkungen von Elektronikanwendungen entlang des Lebenszyklus in die Entwicklung von regulatorischen Produkthanforderungen ein. In den Bereichen Ökodesign, Energieeffizienzkenzeichnung, Stoffbeschränkungen und Kreislaufwirtschaft sind wir Ansprechpartner für Unternehmen, Verbände, Legislative sowie Fachbehörden und ermöglichen faktenbasiert neuartige Politikansätze.

### Forschungsschwerpunkte

- Produkt-Ökodesign und zirkuläre Geschäftsmodelle
- Kreislaufführung von Kunststoffen in Elektro- und Elektronikanwendungen
- Innovative Politikansätze zur Förderung des Ökodesigns, der Ressourceneffizienz und der Kreislaufwirtschaft
- Entwicklung und Standardisierung von lebenszyklusbezogenen Bewertungsmethoden

### Leistungsangebot

- Ökodesignkonzepte für Elektronikanwendungen
- Anwendung und Begutachtung von Methoden der Umweltbewertung, einschließlich Lieferketten (Scope 3.1)
- Produktgruppenanalysen als Grundlage der Umweltpolitik
- Beratung und Veranstaltungsreihen zu Status und Trends der Umweltgesetzgebung



*Einheitliche Ladeanschlüsse und modularer Geräteaufbau fördern die Circular Economy*

# Life Cycle Modeling

## Modellierungskompetenz entlang des Produktlebenszyklus

Ökobilanzen (LCA) und Umweltbewertungen bieten neben der reinen Quantifizierung von Umweltwirkungen die Grundlage für ein fundiertes Ökodesign, welches auf die Hotspots im Produktlebenszyklus zielt. Die Gruppe Life Cycle Modeling bietet Modellierungskompetenz entlang des Produktlebenszyklus von Elektronikkomponenten, -produkten und -systemen.

Unser Institut bietet umfassende Unterstützung bei der Analyse und Bewertung von Umweltauswirkungen sowie Kosten im Zusammenhang mit Rohstoffen, Fertigungsprozessen, Komponenten und Produkten. Darüber hinaus unterstützen wir aktiv bei der Datenerhebung sowohl innerhalb des eigenen Instituts als auch bei den Zulieferern. Ein weiterer Schwerpunkt unserer Tätigkeit liegt in der Bearbeitung methodischer Fragestellungen im Bereich der Ökobilanzierung und Entwicklung von Bewertungsindikatoren. Veränderte Produktnutzung und veränderte Geschäftsmodelle im Kontext der Circular Economy – wie die Einbeziehung von Reparatur und ReUse in die Produktbewertung

oder die Abbildung von Obsoleszenz in Umweltbewertungen – erfordern eine Anpassung des Vorgehens.

### Forschungsschwerpunkte

- Umwelt- und Kostenbewertung von Rohstoffen, Fertigungsprozessen, Komponenten, Produkten
- Obsoleszenz
- Life Cycle Assessments und Bewertungsindikatoren

### Leistungsangebot

- Ökobilanz und Carbon Footprint von Elektronikprodukten
- Ökobilanz Review

*Erkenntnisse einer fundierten Ökobilanz helfen dabei, Designentscheidungen zu treffen und Prioritäten für die ökologische Optimierung einzelner Herstellungsprozesse abzuleiten*



# Sustainable Networks and Computing

## Ökobilanzen und Ökodesign für Green ICT – vom Carbon Footprint des Mobilfunks und der Künstlichen Intelligenz bis zur Ökodesign-Verordnung für nachhaltige Produkte und dem digitalen Produktpass

Die angewandte Forschung der Gruppe SNC adressiert den steigenden Energiebedarf und Carbon Footprint von IKT-Infrastrukturen wie Telekommunikationsnetzen und Rechenzentren. Sie beinhaltet die Modellierung, Analyse und Bewertung der lebenszyklusbezogenen Umweltlasten einzelner Geräte und komplexer Systeme. Telekommunikationstechnik, Server und Datenspeicher sind technologisch äußerst vielfältig und entwickeln sich weiterhin schnell. Die Erstellung von Ökobilanzen und die Implementierung von Ökodesign setzt in diesem Bereich ein hohes theoretisches und technisches Wissen voraus. In Unterstützung dieser Aufgaben hat die Gruppe die sogenannte 5K-Methode entwickelt – einen Leitfaden für die strukturierte Erstellung von Sachbilanzmodellen für komplexe und vernetzte IKT-Systeme. Die Umweltbewertung geht jedem Ökodesign voraus. Ökodesign-Themen sind z. B. ein energie- und ressourcenreduziertes thermisches Management mit dem Ziel der Abwärmenutzung im Rechenzentrum. Weitere Themen sind Reparatur- und Recyclingfähigkeit sowie der Einsatz von Rezyklaten.

### Forschungsschwerpunkte

- Ökobilanzen für Telekommunikationstechnik und Netze, Server und Datenspeicher (LCA, PCF)
- Ökodesign von Telekommunikations- und Computersystemen (Green ICT)
- Umweltbewertung von Technologien (Mobilfunk, Photonik, Computing)
- Digitale Lösungen für umweltbezogene Produktions- und Produktdaten (DPP, Digital Twin)

### Leistungsangebot

- Unterstützung, Schulungen und Durchführung von IKT-spezifischen Umweltbewertung (LCA)
- Angewandtes Ökodesign mit Produktanalysen, Technologie- und Strategieentwicklung (Green ICT)
- Beratung zu Status, Trends und Umsetzung der Umweltgesetzgebung inkl. Digitalisierung und Informationspflichten



*Wir untersuchen, wie die Verlagerung von IT-Leistungen in die Cloud die Inanspruchnahme natürlicher Ressourcen verändert und sich auf das Klima auswirkt*



## Ausstattung/Labore

### Electronics Condition Monitoring Lab

- Schwingungstests an elektronischen Baugruppen durch Anregung (Sinus, Rauschen, Schock) und in Kombination mit Feuchte und Temperaturbeanspruchung
- Berührungslose Schwingungsmessung für Design-optimierung, Schwachstellenanalyse und Fehlersuche
- Bestimmung der Funktionsgrenzen für Temperatur, Temperaturänderung und Vibration mittels HALT-Verfahren
- Schockprüfung und kontinuierliche Messung von Spitzenbeschleunigung, Impulsdauer und -form am Level Drop Tester

### Micro Materials Characterization Lab

- Statische und dynamische Werkstoffprüfung über Zug, Druck, Biegung, Torsion
- DMA, mDMA, Nanoindentation
- Thermoanalytische Methoden (m) TMA
- Strukturanalysen (REM, FIB, EBSD, EDX)
- Durchbiegungsmessungen von Bauteilen (3D), 3D-Topografieanalysen AFM
- Bruchmechanische Untersuchungen, Werkstoffmodellierung

### Corrosion Analysis Lab

- Bewertung des Korrosionsverhaltens unterschiedlicher Materialien und Bauteile mittels elektrochemischer Untersuchungen
- Bewertung des Korrosionsverhaltens unter verschiedenen Beschleunigungsfaktoren (bspw. verschiedene Medien, Temperaturen)
- Untersuchung der elektrochemischen Migration (THB-Test, SIR-Test)
- Aktive Auslagerungen für Leistungsmodule (H<sup>3</sup>TRB-Test)

### Moisture Lab

- Dilatometrische Quellungsanalyse
- Sorptionsanalyse
- Feuchte AFM, Moisture (m) DMA, mZug

### Powerlab Für Leistungselektronik

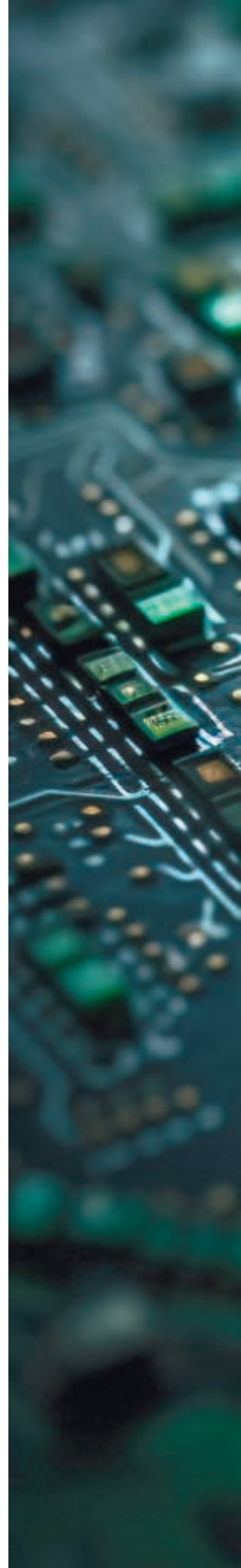
- Aktive und passive Lastwechseltests für Leistungshalbleiter unterschiedlichster Bauformen und Technologien
- Kalibrierung der Sperrschichttemperatur und Parameterüberwachung für jede einzelne Probe
- Thermografische Überwachung während des laufenden Tests

### Thermal And Environmental Analysis Lab

- Wärmeflussoptimierung von Kühlkörpern und Wärmeverteilern im Windkanal und Evaluierung mittels dynamischer Fluidsimulation
- Bauteil- und Systemanalyse zur Bestimmung der Oberflächentemperaturen (Infrarot-Thermographie) und thermischen Widerstände (Transient Tester)
- Ermittlung des thermischen Widerstands und der Wärmeleitfähigkeit von thermischen Interface-Materialien (Folien, Pasten, Kleber, Phase Change)
- Röntgenfluoreszenzanalyse für seltene Erden und weitere Metalle in mikroelektronischen Bauteilen
- Analyse der Demontagefähigkeit und Reparierbarkeit von elektronischen Produkten

### Circular Design Lab

- Strategic Design
- Eco-Design & Circular Design
- Design Research



## Kontakt

Abteilungsleiter Environmental & Reliability Engineering

**Dr.-Ing. Nils F. Nissen**  
Tel. +49 30 46403-132  
nils.nissen@izm.fraunhofer.de



Stellv. Abteilungsleiter  
Gruppenleiter System Reliability Assessment

**Dr.-Ing. Stefan Wagner**  
Tel. +49 30 46403-609  
stefan.wagner@izm.fraunhofer.de



Gruppenleiter System Reliability Assessment

**Dr.-Ing. Johannes Jaeschke**  
Tel. +49 30 46403-223  
johannes.jaeschke@izm.fraunhofer.de



Gruppenleiter Life Cycle Modeling

**Dr.-Ing. Chris Eckstein**  
Tel. +49 30 46403-771  
chris.eckstein@izm.fraunhofer.de



Gruppenleiter Policy, Ecodesign and Circular Materials

**Karsten Schischke**  
Tel. +49 30 46403-156  
karsten.schischke@izm.fraunhofer.de



Gruppenleiter Sustainable Networks and Computing

**Dr. Lutz Stobbe**  
Tel. +49 30 46403-139  
lutz.stobbe@izm.fraunhofer.de



Fraunhofer IZM

Leitung: Prof. Dr.-Ing. Ulrike Ganesh  
Gustav-Meyer-Allee 25 | 13355 Berlin  
www.izm.fraunhofer.de

Konzept & Redaktion: Fraunhofer IZM PR, Fraunhofer IZM ERE, Berlin + mcc Events, Berlin · Design: J. Metzke/Atelier f:50 Berlin · Fotografie: Adobe Stock/duyina1990, generiert mit KI (Titel); Shutterstock/jiang jie feng (S.20); Adobe Stock/WrightStudio (S.3); Volker Mai, Marvin Jügel, Simon Kuttler/TU Berlin (S.5); AdobeStock/Perig Morisse (S.7); AdobeStock/xiaoliangge (S.8); Fraunhofer IZM zusammen mit: Volker Mai ( S.2u, S.9, S.10b); Maik Schulze (Portraits S.10); ansonsten Fraunhofer IZM. ERE 26/03\_4.4d