

# ForLab DiFeMiS

Forschungslabor Mikroelektronik Karlsruhe  
für Fertigungstechnologien der  
Hochfrequenzsysteme

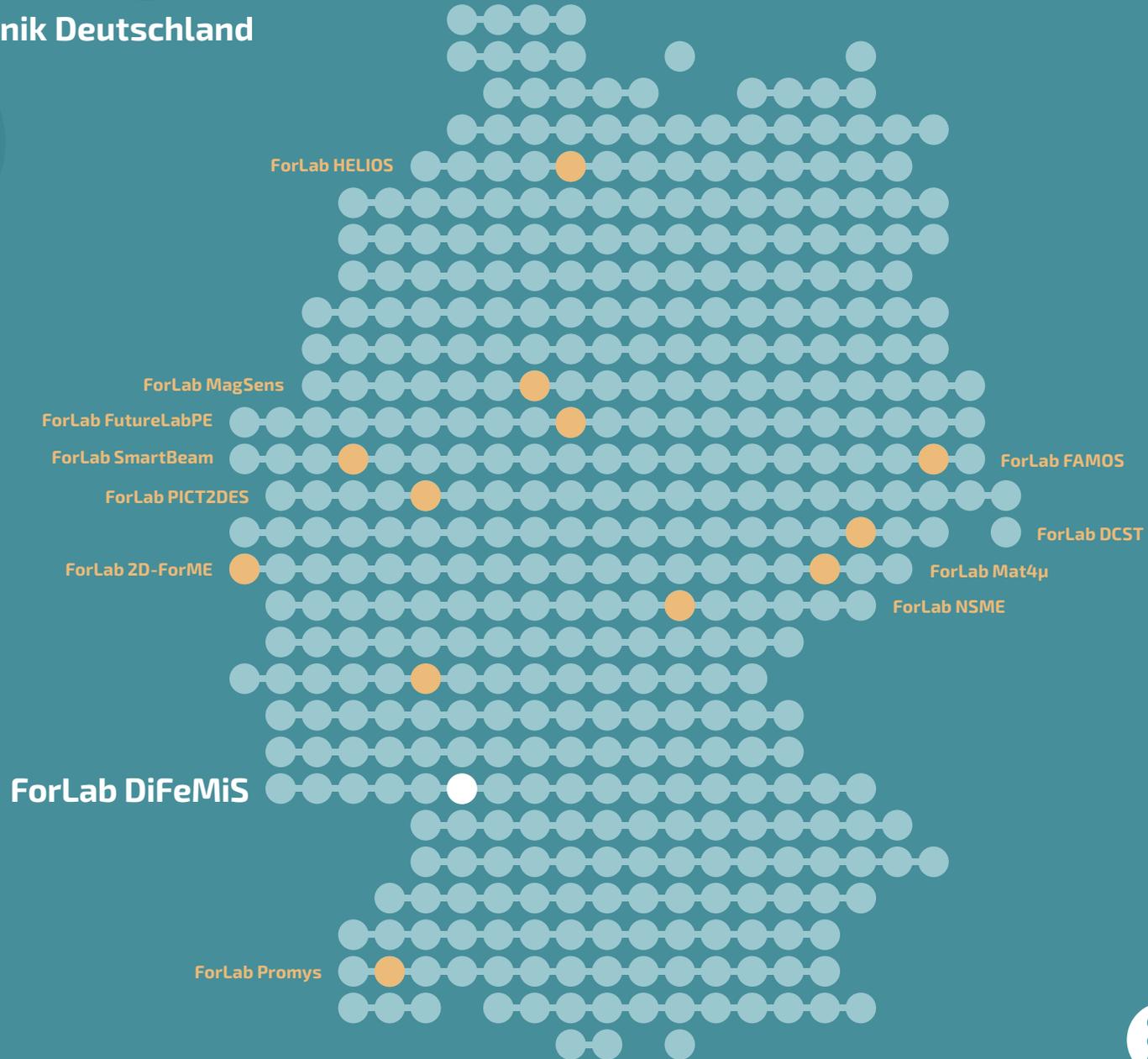


GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung

# Forschungslabore Mikroelektronik Deutschland



# Mikroelektronik- Standort Deutschland

Die zwölf Forschungslabore Mikroelektronik Deutschland (ForLab) erschließen neue Forschungsfelder für die Mikroelektronik der Zukunft und stärken so den Mikroelektronikstandort Deutschland.

Die **Forschungslabore Mikroelektronik Deutschland (ForLab)** an Universitäten und Hochschulen sollen neue Forschungsfelder für die mikroelektronischen Systeme der Zukunft erschließen. Mit diesen Innovationen will die Bundesregierung die Halbleiterforschung in Deutschland weiter stärken. Denn mikroelektronische Systeme sind forschungsintensiv – und Hochschulen sind ein zentraler Innovationsfaktor für diesen Schlüsselbereich. Aus diesem Grund stellt das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 50 Millionen Euro zur Verfügung, um Investitionen in modernste Geräte und Anlagen zur Forschung an mikroelektronischen Systemen zu ermöglichen. Gefördert werden Projekte an Hochschulen, die schon heute auf internationalem Niveau agieren. Die Vernetzung der Forschungslabore untereinander und mit externen Partnern aus Wissenschaft und Wirtschaft soll den wissenschaftlichen Austausch über mikroelektronische Systeme verbessern und den Technologietransfer beschleunigen. Im Zusammenspiel mit der Forschungsfabrik Mikroelektronik Deutschland schaffen sie so eine neue Qualität und Sichtbarkeit für die Elektronikforschung am Standort Deutschland.



»Mit den Forschungslaboren Mikroelektronik Deutschland investieren wir in die Zukunft: Technologische Souveränität im Zeitalter der Digitalisierung braucht eine Spitzen-Ausstattung für Spitzenforschung nicht allein in der Wirtschaft, sondern auch in der Wissenschaft. Wichtig sind uns dabei der Zugang auch kleiner und mittlerer Unternehmen zu einer modernen Forschungsinfrastruktur und eine Ausbildung der Nachwuchskräfte, die den steigenden Anforderungen gerecht wird. Wir wollen ein lebendiges Ökosystem schaffen, in dem neue Ideen und neues Wissen schnell nutzbar gemacht werden und in unserem Alltag ankommen.«

**Thomas Rachel**  
Parlamentarischer Staatssekretär  
bei der Bundesministerin für Bildung  
und Forschung

# Vier Fokusthemen für Mikroelektronik der Zukunft

Die ForLabs widmen sich Themenschwerpunkten, die für einen starken Mikroelektronikstandort Deutschland entscheidend sein werden.

## Integrierte Photonik

Integrierte Photonik gehört zu den ForLab-Fokusthemen, weil sie in Zukunft eine wichtige Rolle spielen wird. Denn bei der Verarbeitung von Daten erweist sich die Datenübertragung mittels elektrischer Signale zunehmend als Engpass. Mit Hilfe von optischen Technologien ist es möglich, hier die Geschwindigkeit deutlich zu erhöhen. Sie rücken deshalb immer näher an den Chip heran und werden teilweise auch bereits in den Chip integriert. Die Möglichkeit, optische Systeme zu miniaturisieren und in optoelektronische Systeme einzubinden, eröffnet zugleich eine Vielzahl ganz neuer Anwendungsbereiche in der Sensorik oder Medizintechnik.



## Aufbau- und Verbindungstechnik

Aufbau- und Verbindungstechnik ist ein wichtiges Querschnittsthema, das bei vielen ForLab-Projekten mit auf der Agenda steht. Kompetenzen in diesem Technologiefeld haben in jüngster Zeit an Bedeutung gewonnen. Das liegt zum einen am Trend zur Miniaturisierung: Nanostrukturen zu kontaktieren und in ein Gehäuse zu bringen ist technisch sehr anspruchsvoll. Andererseits gibt es verschiedene Arten von Halbleiterchips, die unterschiedliche Anforderungen an die Aufbau- und Verbindungstechnik stellen. Es sind somit differenzierte und auf die jeweilige Anwendung angepasste Lösungen zu entwickeln.

Im Zuge der Heterointegration werden verschiedene Chips in einem Gehäuse kombiniert. Bei Leistungselektronischen Bauelementen muss ein Gehäuse hingegen in der Lage sein, große Mengen an Wärme abzuleiten. Im ForLab-Verbund arbeiten viele Forschergruppen auch an solchen Aufgabenstellungen. Deshalb gehört die Aufbau- und Verbindungstechnik zu den ForLab-Fokusthemen.

## Mikro- und Nanotechnologie-Integration

Ein weiteres ForLab-Fokusthema ist die Mikro- und Nanotechnologie. Ein Großteil der Forschungslabore beschäftigt sich mit Nanotechnologien und hat deshalb Schwerpunkte, die diesem Bereich zuzuordnen sind. In diesem Bereich arbeitet der Forschungsverbund auch mit der VDE/VDI-Gesellschaft Mikroelektronik, Mikrosystem- und Feinwerktechnik GMM zusammen, die einen Fachausschuss zu dieser Thematik unterhält.



## Atomlagenabscheidung

Die Atomlagenabscheidung (engl. atomic layer deposition, ALD) ist ein Verfahren, mit dem sehr dünne Schichten auf einem Substrat erzeugt werden können – und ein wichtiges Querschnittsthema im Forschungsverbund ForLab.

Denn ALD ist überall dort von Bedeutung, wo Schichten mit einer Präzision der Schichtdicke im Nanometer-Bereich aufgebracht werden müssen. In der Mikroelektronik wird diese Methode immer wichtiger. Für die Herstellung von dickeren Schichten sind andere Verfahren aufgrund der höheren Abscheiderate attraktiver. Doch mit der zunehmenden Miniaturisierung und der beständigen Verringerung der Strukturbreiten ist die Atomlagenabscheidung unverzichtbar geworden. Immer wenn in der Halbleiterfertigung extrem dünne Schichten abgeschieden werden müssen oder wenn eine perfekte Kantenbedeckung unerlässlich ist, kommt die Atomlagenabscheidung zum Einsatz. Mit ALD lassen sich Schichten einer definierten und homogenen Schichtdicke auch auf dreidimensionalen Strukturen erzeugen. Im ForLab-Verbund wird die Atomlagenabscheidung daher von vielen Arbeitsgruppen eingesetzt. Aus diesem Grund ist sie ein Fokusthema, bei dem auch mit Partnern aus der Industrie zusammengearbeitet wird.

# ForLab DiFeMiS

Fertigungstechnologien  
der Hochfrequenzsysteme

Hochfrequenztechnik

Photonik

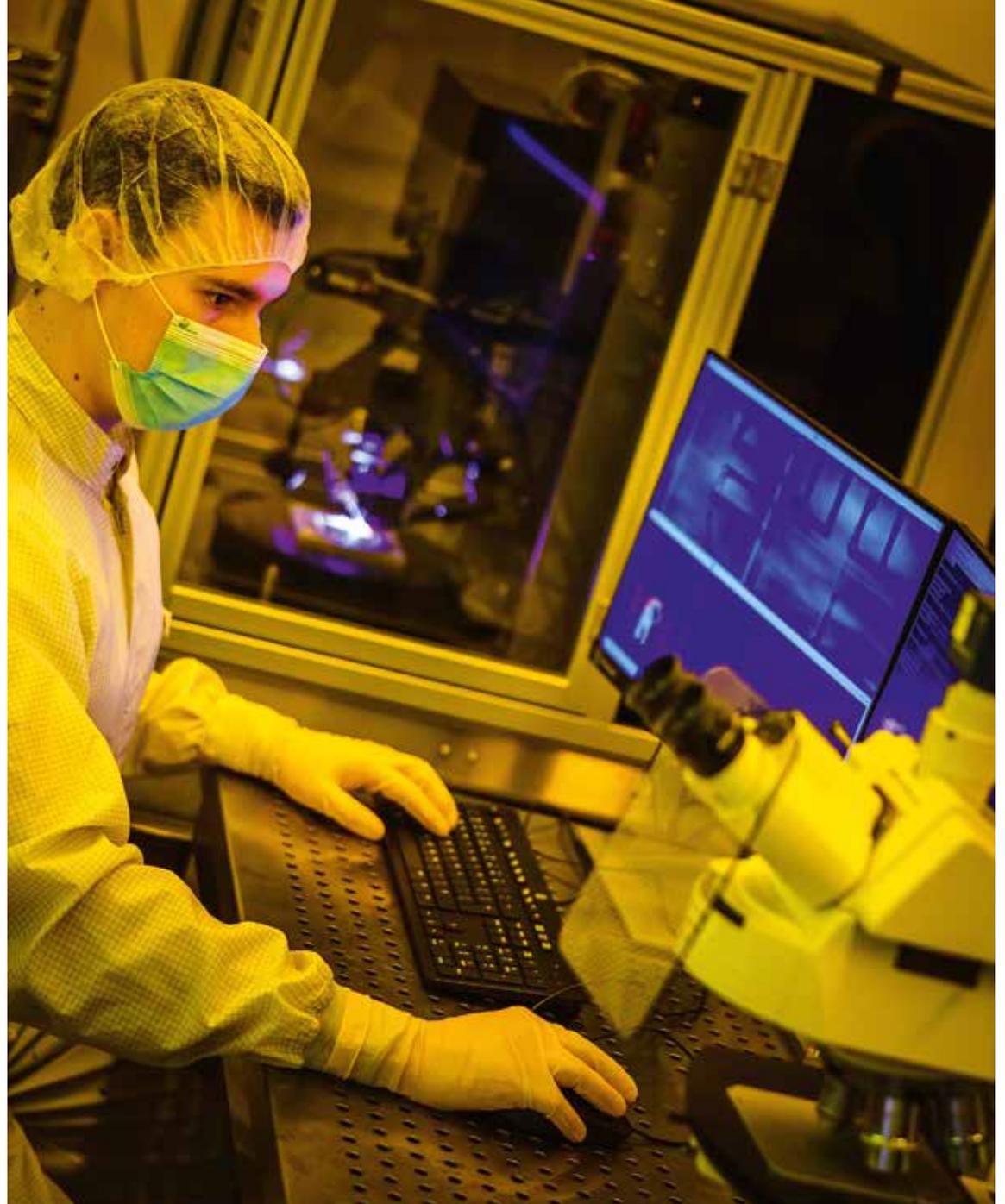
Optoelektronik



»Hier in Karlsruhe profitieren wir von einem exzellenten Forschungsnetzwerk. Dabei spielt das KIT eine herausragende Rolle, denn es verbindet exzellente Lehre mit sehr gut ausgestatteten Hightech-Laboren und Werkzeugen. Für uns die optimale Forschungsatmosphäre.«

**Prof. Dr.-Ing. Thomas Zwick**

Leiter des Instituts für Hochfrequenztechnik und Elektronik am KIT



**Gedruckte THz-Verbindungen für Packaging-Anwendungen der nächsten Generation: Hier werden Strukturen mit sub- $\mu\text{m}$  Auflösung volldigital aus Silber hergestellt.**



Digitale Fertigungstechnologien und innovative Konzepte für die Aufbau- und Verbindungstechnik von hochfrequenten elektronischen und photonischen Schaltungen erarbeitet das Forschungslabor Mikroelektronik Karlsruhe für Fertigungstechnologien der Hochfrequenzsysteme. Dieses befindet sich am Karlsruher Institut für Technologie (KIT). Um die Integration von solchen Schaltungen voranzutreiben, suchen Prof. Dr.-Ing. Thomas Zwick und seine beiden Kollegen Prof. Dr.-Ing. Christian Koos und Prof. rer.nat. Uli Lemmer dafür nach neuen Möglichkeiten. Aus diesem Grund erforschen sie beispielsweise gedruckte Packaging-Lösungen. Diese ermöglichen eine kostengünstige und schnelle Prototypenherstellung und können auch auf kleine und mittlere Serien skaliert werden.

Die Forscher verbinden Anlagen für additive und maskenlose Abscheide- und Strukturierungsverfahren zu einer flexibel einsetzbaren Druckplattform. Damit können die elektronischen und photonischen Verbindungen zwischen Halbleiter-ICs und anderen Komponenten auf kleinstem Bauraum mit hoher Performanz realisiert werden. Diese neuartige Aufbau- und Verbindungstechnik ermöglicht eine kostengünstige Herstellung kompakter Module aus Halbleiter-ICs bis in den Terahertzbereich und bei optischen Frequenzen.

Mit ihrer Arbeit im ForLab DiFeMiS wollen die Forscher eine derzeit existierende Lücke im Bereich des HF-Packagings schließen. Dies eröffnet vielen kleinen und mittelständischen Firmen neue Möglichkeiten, effizientere und kostengünstigere Produkte zu entwickeln. Von großem Interesse kann das zum Beispiel für Sensorik basierend auf Radar- oder Lidartechnik sein. Denn diese werden in der Industrieautomation in sehr vielen unterschiedlichen Ausführungen mit jeweils mittleren Stückzahlen benötigt.



◀ **Druckkopf des Aerosoljet Druckers AJ5X von Optomec. Mit seiner 5-Achsen-Funktionalität lassen sich konformale Strukturen aus einer großen Auswahl von Materialien drucken**

**An der Probestation können hochfrequente Schaltungen bis 750 GHz charakterisiert werden.**

#### **Kontakt**

Prof. Dr.-Ing. Thomas Zwick  
Institut für Hochfrequenz  
technik und Elektronik (IHE)  
KIT Karlsruher Institut  
für Technologie

Gebäude 30.10  
Engesserstraße 5  
76131 Karlsruhe

# Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

»Living the Change« lautet das Motto des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT). Ansässig in Karlsruhe – eine der lebenswertesten und innovativsten Städte Deutschlands, ist das KIT bekannt für exzellente Forschung, ausgezeichnete Lehre und zukunftsweisende Innovationen.



**Der Standort Karlsruhe ist nicht nur für exzellente Forschung und hervorragende Ausbildung bekannt, sondern auch Heimat des Bundesverfassungsgerichts.**



**Das Schloss ist nicht nur ein Wahrzeichen Karlsruhes sondern bietet mit seinem wunderschönen Vorplatz und Garten den Studierenden und Einwohnern auch einen Ort der Entspannung mitten im Stadtzentrum.**

Die badische Großstadt Karlsruhe gehört zu den zehn innovativsten europäischen Städten und ist das High-tech-Zentrum Süddeutschlands. Eine hervorragende Forschungsinfrastruktur, der sehr gute Technologietransfer in Netzwerken und Clustern und der Zugang zu internationalen Märkten machen die Stadt am Rhein zum Zentrum einer der erfolgreichsten Wirtschafts-, Wissenschafts- und Forschungsregionen Europas.

Größte und älteste Hochschule der Stadt ist das Karlsruher Institut für Technologie (KIT). Das KIT gehört zu den deutschen Exzellenzuniversitäten und ist mit rund 22.300 Studierenden, etwa 380 Professorinnen und Professoren sowie rund 9.800 Beschäftigten das größte Forschungszentrum Deutschlands. Hervorgegangen ist das KIT aus der Universität Karlsruhe und dem Forschungszentrum Karlsruhe, welche sich 2009 zu einer Wissenschaftseinrichtung zusammenschlossen. Die Universität Karlsruhe wurde 1825 gegründet und ist die älteste technische Hochschule Deutschlands – 1972 wurde hier Deutschlands erste Informatik-Fakultät aufgebaut. Als »Forschungsuniversität



in der Helmholtz-Gesellschaft« bilden sich heute Synergien aus nationaler Großforschung und den Aufgaben einer Landesuniversität. Forschung und Lehre beschäftigen sich mit globalen Herausforderungen und daraus resultierenden innovativen Beiträgen in den Bereichen Energie, Mobilität und Information.

Insgesamt gliedert sich das KIT in fünf disziplinäre Bereiche mit 148 Instituten und 11 KIT-Fakultäten. Im ForLab DiFeMis forschen Professoren der Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik. Beteiligt sind das Institut für Hochfrequenztechnik und Elektronik, das Lichttechnische Institut und das Institut für Photonik und Quantenelektronik. Am Institut wird zu den Themenbereichen Automatisierungstechnik, Angewandte Materialien, Nano- und Mikrosysteme, Informations- und Kommunikationstechnik sowie zu Elektroenergiesystemen geforscht. Angefangen von Materialien über die Bauelementen hin zu Hardware- und Software-Subsystemen und ihrer Integration in ein übergeordnetes technisches System ist das grundlegende Ziel der Forschungsgruppen die Optimierung eines Gesamtsystems.

**Im Audimax des KIT  
werden exzellente  
Forscher:innen und  
Ingenieur:innen  
ausgebildet.**



**Website**  
[www.kit.edu](http://www.kit.edu)

## Impressum

### Herausgegeben von

Holger Hanselka, Präsident

Karlsruher Institut für Technologie, Kaiserstraße 12, 76131 Karlsruhe

### V.i.S.d.P.

Prof. Dr.-Ing. Thomas Zwick, Institutsleitung

Institut für Hochfrequenztechnik und Elektronik, 76131 Karlsruhe

### Redaktion

WeichertMehner, Unternehmensberatung für Kommunikation GmbH & Co. KG,

An der Dreikönigskirche 5, 01097 Dresden

### Gestaltung und Satz

Ostsüdost – Klare Gestaltung, Großenhainer Straße 99, 01127 Dresden

### Fotografie

Bildrechte © ForLab DiFeMiS / André Wirsig

außer Seite 3: Thomas Rachel, Parlamentarischer Staatssekretär bei der Bundesministerin für

Bildung und Forschung © Presse- und Informationsamt der Bundesregierung; Seite 4 rund:

© TU Ilmenau; Seite 4 eckig: © Universität Duisburg-Essen; Seite 5 rund: © TU Cottbus-Senftenberg;

Seite 5 eckig: © TU Dresden/IHM

### Erstveröffentlichung

März 2022

GEFÖRDERT VOM



Druckdüse des Aerosoljet  
Druckers über einem gerade  
fertiggestellten KIT-Logo  
aus Silber.





[www.forlab.tech](http://www.forlab.tech)