

# ForLab 2D-ForME

Forschungslabor Mikroelektronik Aachen  
für 2D-Elektronik

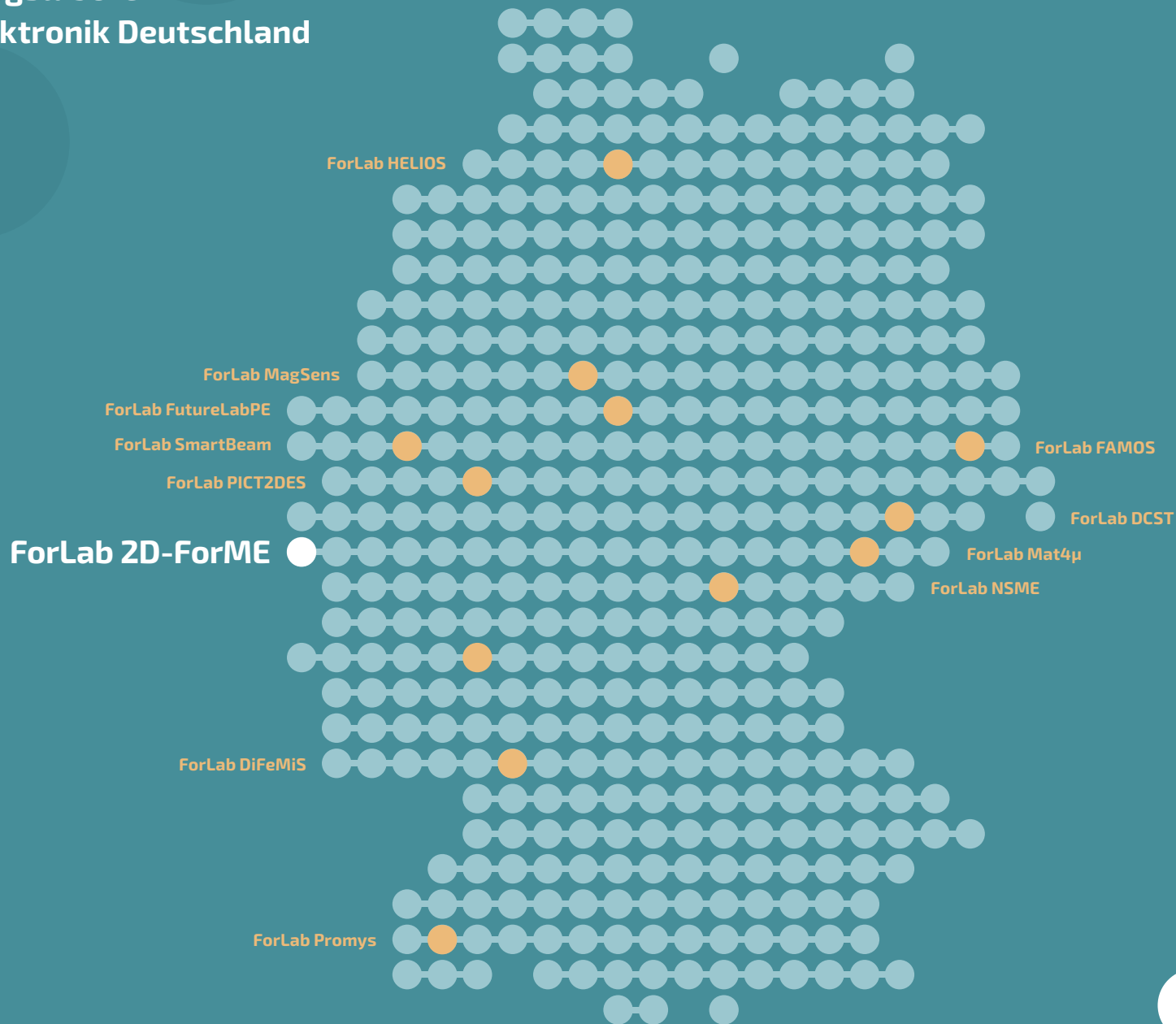


GEFÖRDERT VOM



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 2D-ForME

Großflächige, reproduzierbare und skalierbare Herstellung von 2D-Materialien für neue Mikro- und Nanoelektronik-Bauelemente

2D-Mikroelektronik

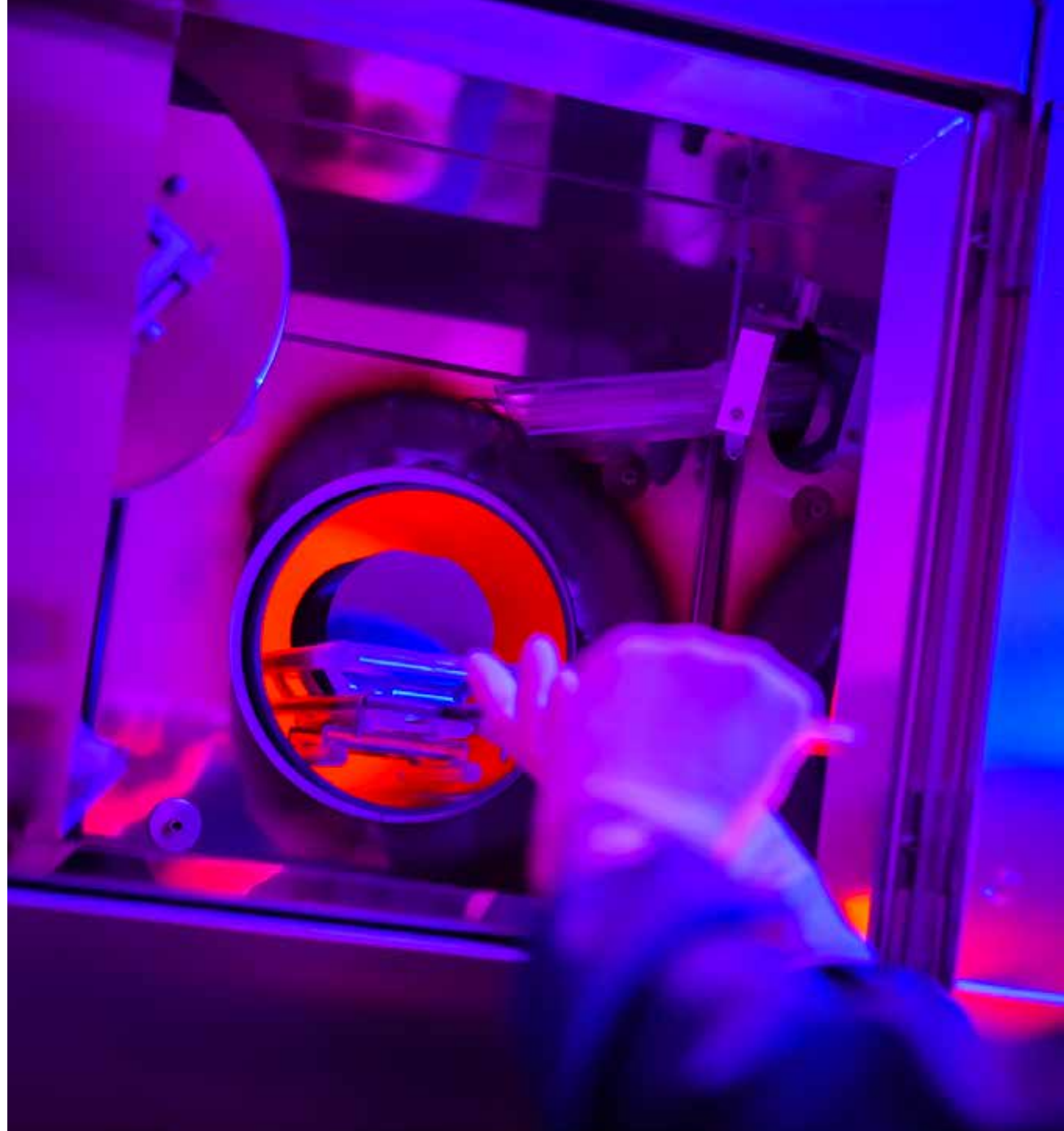
Halbleitertechnik

Miniaturisierung

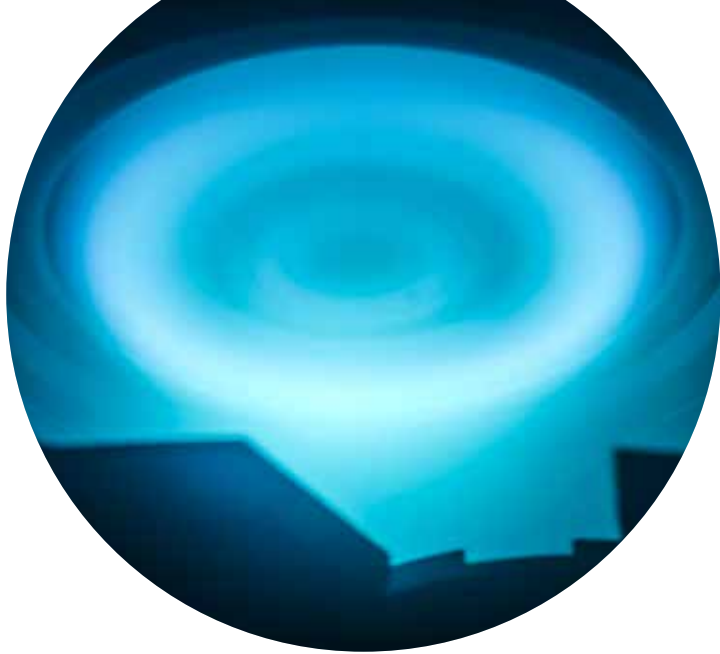


»Der Hightech-Standort Aachen bietet einen idealen Nährboden für exzellente, industriennahe und interdisziplinäre Mikroelektronik-Forschung. Die RWTH Aachen ist Bestandteil und Träger dieser zukunftsweisenden Forschung.«

**Prof. Dr. Willfried Mokwa**  
Institut für Werkstoffe der Elektrotechnik I  
der RWTH Aachen



Um einen Transfer der ForLab-Ergebnisse in die industrielle Nutzung möglich zu machen, werden die 2D-Materialien mit etablierter Siliziumtechnologie wie Ofenprozessen kombiniert.



2D-Materialien, die aus einzelnen Lagen in sich stabiler Kristalle bestehen und die sich – trotz unterschiedlicher Beschaffenheit – aufeinanderstapeln lassen, soll zukünftig das Forschungslabor Mikroelektronik Aachen für 2D-Elektronik erzeugen und untersuchen. Im ForLab 2D-ForME soll die Machbarkeit einer großflächigen Herstellung von einzelnen 2D-Schichten und komplexen (Hetero-) Schichtstrukturen gezeigt werden.

Mit Hilfe von verschiedenen Verfahren zur Beschichtung, Strukturierung und Charakterisierung wollen die Wissenschaftler dabei Materialkompositionen mit maßgeschneiderten mechanischen, elektrischen und optischen Eigenschaften erzeugen.

An dem Forschungslabor sind sieben technologieorientierte Lehrstühle der RWTH Aachen beteiligt; sechs weitere Lehrstühle aus der Physik und der Chemie werden die neuen Möglichkeiten ebenfalls nutzen.

Neben Silizium, das bislang die Halbleitertechnik dominiert, werden die Forscher auch Alternativen wie

Graphen, weitere 2D-Materialien, 2D-Schichtstapel und 2D/3D-Heterostrukturen untersuchen. Mit diesen Materialien werden neue Funktionalitäten insbesondere bei Bauelementen der Nanoelektronik und der Optoelektronik als auch in der physikalischen wie chemischen Sensorik erwartet. Gleichzeitig treiben die Wissenschaftler gemeinsam mit ihren Partnern aus der Industrie die weitere Miniaturisierung und Leistungssteigerung der Bauelemente und Systeme voran. Das ForLab 2D-ForME trägt dazu bei, dass der Forschungsstandort Aachen seine international starke Position für die 2D-Mikroelektronik behält.



**Nanostrukturen in der Aufbau- und Verbindungstechnik: Der automatische Flip-Chip-Bonder ermöglicht das Die- und Flip-Chip-Bonden auf Substraten von bis zu 300 mm x 300 mm Größe mit einer Platziergenauigkeit von unter 1 µm.**

◀ **Das großflächige plasma-unterstützte Abscheiden und Ätzen von 2D-Materialien auf atomarer Ebene ist ein Forschungsschwerpunkt im Aachener ForLab 2D-ForME.**

#### **Kontakt**

Univ.-Prof. Dr. rer. nat.  
Sven Ingebrandt  
RWTH Aachen University  
Lehrstuhl für Mikro- und  
Nanosysteme  
Institut für Werkstoffe  
der Elektrotechnik I  
Fakultät für Elektrotechnik  
und Informationstechnik

Sommerfeldstraße 18  
52074 Aachen



# Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen

Als eine der größten Universitäten für technische Studiengänge in Deutschland genießt die Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen hohes internationales Ansehen.



**Aachen wird geprägt durch seine Hochschulen und deren Forschung. Die RWTH Aachen (Exzellenzuniversität in Forschung und Lehre), die FH Aachen, das Universitätsklinikum, das Forschungszentrum Jülich sowie Fraunhofer-, Leibniz- und Helmholtz-Institute tragen wesentlich zum wissenschaftlichen, technologischen und gesellschaftlichen Fortschritt bei.**



**Das Walter-Schottky-Haus (WSH) und das Zentrallabor für Mikro- und Nanotechnologie (ZMNT) mit seinem zentralen Reinraum beheimaten den Großteil der apparativen Ausstattung des Aachener ForLabs 2D-ForME.**

Aachen – eine Stadt im Herzen Europas. Nicht nur ihre unmittelbare Nähe zu den Nachbarländern Belgien und den Niederlanden geben Aachen internationale Symbolik. Der Hightech-Standort zeichnet sich insbesondere durch eine weltweit einzigartige Hochschul- und Forschungslandschaft aus, die die Stadt im Rhythmus technologischer Zukunft ticken lassen.

Die Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen (RWTH) ist mit mehr als 47.000 Studierenden, 550 Professorinnen und Professoren und etwa 9.200 Beschäftigten Motor von Forschung und Lehre in der Region. Sie gehört zum Kreis der elf deutschen Exzellenz-Universitäten und wird bundesweit zu den jeweils drei Top-Universitäten in den Fachrichtungen Elektrotechnik, Maschinenbau, Informatik, Wirtschaftsingenieurwesen und Naturwissenschaften gezählt.

Der seit 1870 bestehende Bildungsstandort erhielt bereits zehn Jahre nach seiner Gründung den Titel Technische Hochschule und hat sich seitdem als größte Universität für technische Studiengänge in Deutschland etabliert. An insgesamt 260 Forschungsinstituten, neun übergeordneten



Fakultäten und acht Profillinien verleiht die RWTH Aachen ihrer Forschungskraft Ausdruck. Einen besonderen Fokus legt die Hochschule auf die materialwissenschaftliche und werkstofftechnische Forschung. Der Profibereich Materials Science and Engineering ist an der RWTH Aachen stark vernetzt und deckt das gesamte Spektrum von der Grundlagenforschung in Physik und Chemie bis hin zu ingenieurwissenschaftlichen Anwendungen ab. Zu den Grundsäulen des Profibereichs Materials Science and Engineering gehören neben der Erforschung von Strukturwerkstoffen, Funktionalen Materialien und Materialien für die Nanoelektronik auch Charakterisierungsverfahren von Quanteninformationen, Mikro- und Nanofabrikationen und die Simulation mit ab initio Methoden. Das Forschungslabor Mikroelektronik Aachen für 2D-Elektronik reiht sich als eines der zukunftsweisenden Projekte in dieses Forschungsprofil ein. Sieben technologieorientierte Lehrstühle der RWTH Aachen sind an der Herstellung von 2D-Schichten für Bauelemente im Mikro- und Nanoelektronik-Bereich beteiligt.



Website  
www.rwth-aachen.de

**WSH und ZMNT und damit auch das ForLab 2D-ForME sind in den RWTH Campus Melaten eingebettet. Hier entsteht auf einer Fläche von 473.000 m<sup>2</sup> seit 2010 ein neuer Standort für Forschung, Entwicklung und Lehre, in dem auch mehr als 350 Unternehmen engagiert sind.**



## Impressum

### Herausgeber

Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule (RWTH) Aachen, Templergraben 55, 52062 Aachen  
(Hausanschrift), 52056 Aachen (Postanschrift)

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

Univ.-Prof. Dr. rer. nat. Sven Ingebrandt, RWTH Aachen University, Lehrstuhl für Mikro- und Nanosysteme, Institut für Werkstoffe der Elektrotechnik I, Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik, Sommerfeldstraße 18, 52074 Aachen

### 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 2D-ForME / 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; Seite 8 eckig: RWTH/Peter Winandy

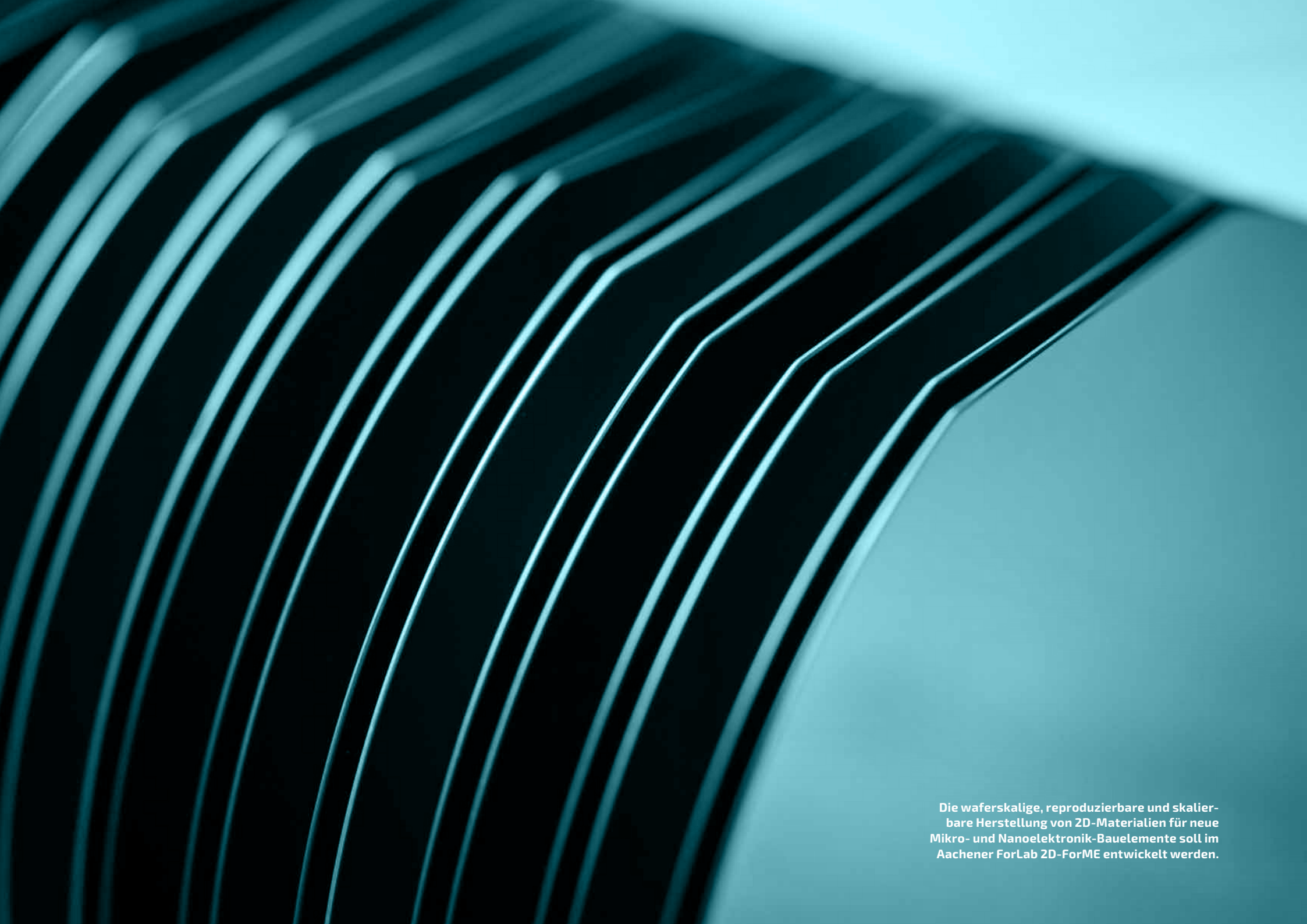
### Erstveröffentlichung

Oktober 2022

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung



Die waferskalige, reproduzierbare und skalierbare Herstellung von 2D-Materialien für neue Mikro- und Nanoelektronik-Bauelemente soll im Aachener ForLab 2D-ForME entwickelt werden.





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