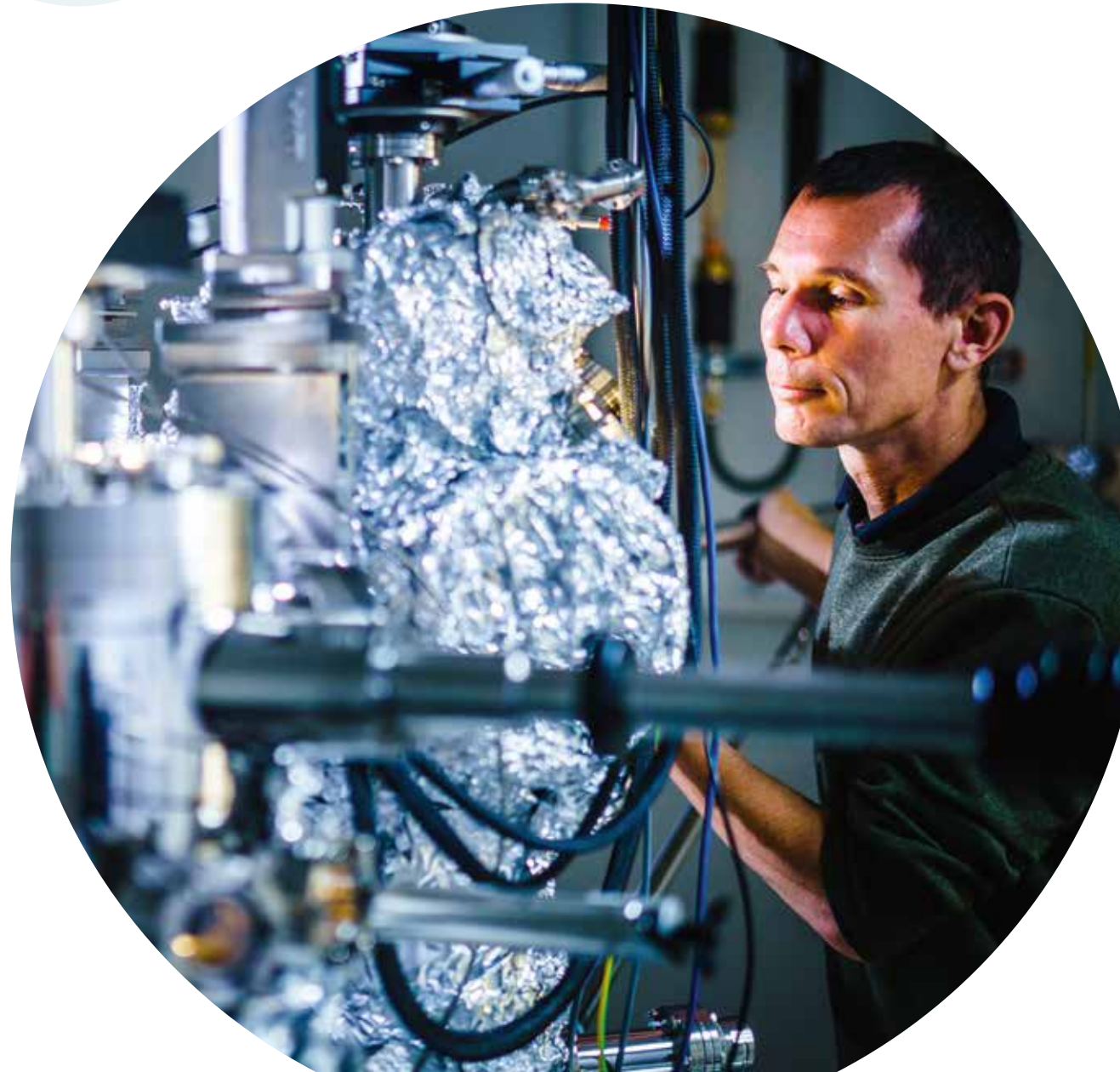


# ForLab NSME

Forschungslabor Mikroelektronik Ilmenau  
für neuromorphe Elektronik

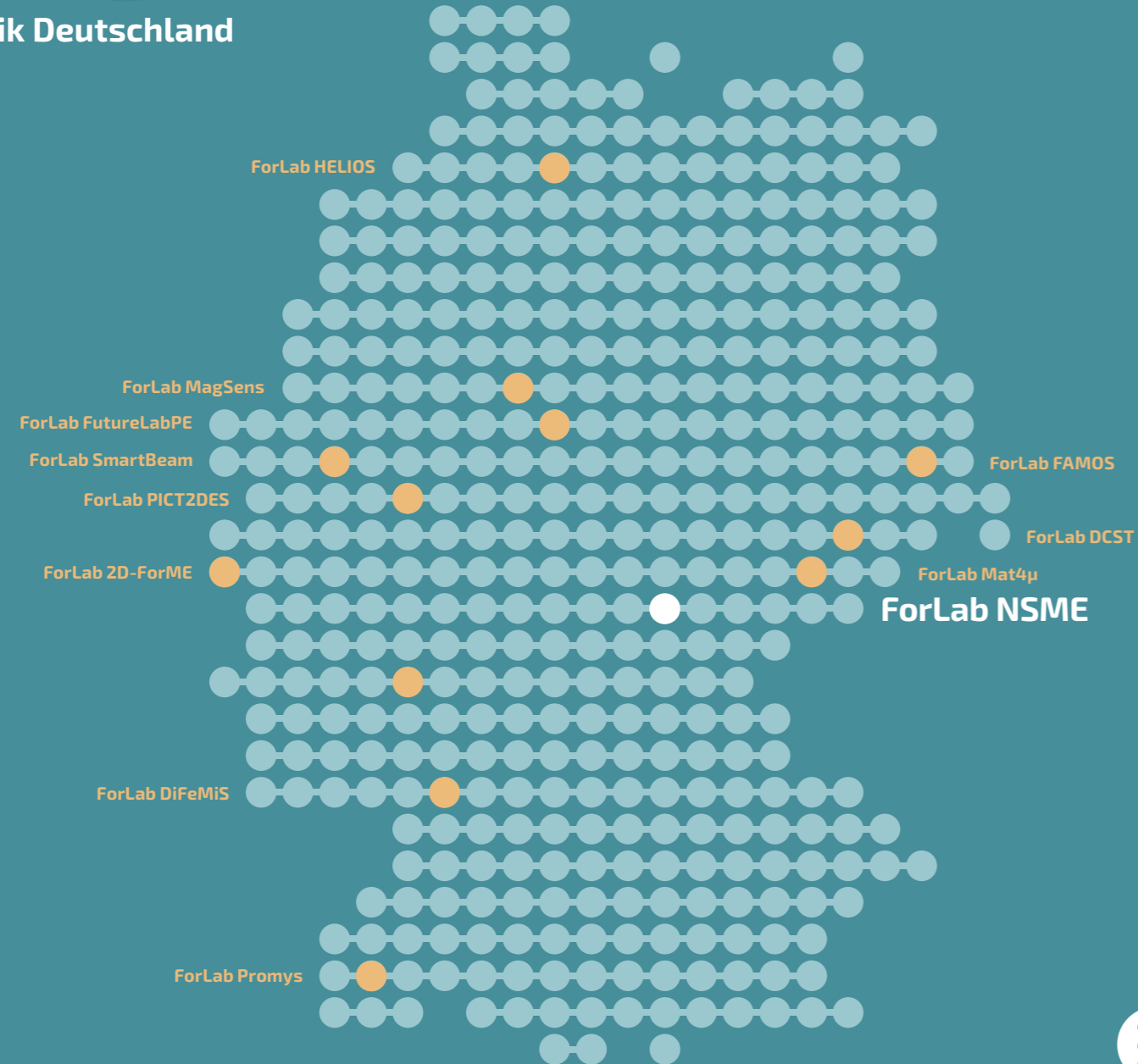


GEFÖRDERT VOM



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 NSME

Forschungslabor Mikroelektronik  
Ilmenau für neuromorphe Elektronik

Neuromorphe Systeme

Energieeffiziente Mikroelektronik

Memristive Werkstoffe



»Interdisziplinarität ist der Schlüssel zu neuer energieeffizienter Elektronik. Mit dem Zentrum für Mikro- und Nanotechnologien verfügt die TU Ilmenau über eine exzellente und in Deutschland einzigartige Infrastruktur an Laboren und Technologien, die uns international kompetitiv machen. Dazu gehört insbesondere das Labor für biologisch inspirierte Elektronik.«

**Prof. Martin Ziegler**  
Fachgebiet Mikro- und Nanoelektronische Systeme  
der TU Ilmenau



Im Kryo-Analytiklabor ermöglichen ein neues Tieftemperatur-Rastertunnel- sowie ein Tieftemperatur-Rastelektronenmikroskop die mikrostrukturell und ortsaufgelöste Untersuchung neuromorpher und supraleitenden Werkstoffe bei bis zu minus 267 Grad Celsius.



Mehr Rechenleistung mit weniger Energiebedarf – das ist das Ziel des Forschungslabors Mikroelektronik Ilmenau für neuromorphe Elektronik. Dazu entwickeln Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler um Prof. Dr. Martin Ziegler an der Technischen Universität Ilmenau im Zentrum für Mikro- und Nanotechnologien der TU Ilmenau energetisch hocheffiziente neuromorphe Systeme. Die Idee der neuromorphen Elektronik ist es, biologische Informationsverarbeitung elektronisch nachzubilden, das heißt eine Technologie, die biologische Lern- und Gedächtnisprozesse emuliert. Hierfür wird die technologische Brücke geschlagen zwischen neuartigen memristiven Werkstoffen und energieeffizienten Systemen. Der Begriff memristiv steht für elektronische Komponenten, die in der Lage sind, Informationen durch veränderbare Widerstandszustände zu speichern. Das Ziel ist es, die Grenzen heutiger Elektronik in Bezug auf Signalverarbeitungsgeschwindigkeit und Energieeffizienz zu überwinden.

Neue Konzepte sollen es möglich machen, dem wachsenden Bedarf an Rechenleistung durch das Internet der Dinge, Big Data und künstliche Intelligenz Rechnung zu tragen und zugleich den Energiebedarf massiv zu senken. Die notwendige Interdisziplinarität in der Erarbeitung dieser Forschungsziele erreichen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler durch enge Kooperationen. Hierfür besteht zum Beispiel eine intensive Zusammenarbeit im Rahmen des Sonderforschungsbereichs (SFB) 1461: Neuroelektronik: Biologisch inspirierte Informationsverarbeitung mit insgesamt sechs Universitäten.



«Die CMP – Chemical Mechanical Polishing – gilt als »Key Technology« in der Bearbeitung von Siliziumwafern und verknüpft den mechanischen Abtrag durch Partikel mit einem zeitgleich stattfindenden chemischen Ätzvorgang einer Oberfläche, die es zu polieren gilt.

Das plasmaunterstützte Atomlagenätzen dient dem schädigungsfreien Dünnschichtätzen.

**Kontakt**  
Prof. Martin Ziegler  
Mikro- und nano-  
elektronische Systeme  
TU Ilmenau

Gustav-Kirchhoff-Str. 1  
98693 Ilmenau

# Technische Universität Ilmenau

Als größter Arbeitgeber der Region ist die Technische Universität Ilmenau Zentrum einer hochentwickelten Industrie- und Ingenieurslandschaft sowie interdisziplinärer Spitzenforschung



▲ „Ich war immer gerne hier und bin es noch; ich glaube, es kommt von der Harmonie, in der hier alles steht ...“  
Goethe an Schiller, Ilmenau, den 29. August 1795

◀ Historische Gebäude treffen in Ilmenau auf innovative Ideen.



Auch Studierende werden frühzeitig in die Spitzenforschung am ForLab einbezogen.

Ilmenau ist bekannt für seine kulturelle und industrielle Vielfalt. Die am Nordhang des Thüringer Waldes gelegene Stadt diente bereits Goethe als Inspiration für zahlreiche seiner Werke und beheimatet mit der Technischen Universität Ilmenau eine der innovativsten Wissenschaftsstätten Europas.

Im Jahr 1894 beginnt mit der Eröffnung des Thüringischen Technikums die lange Tradition der TU Ilmenau in der Ausbildung von Ingenieuren der Elektrotechnik und des Maschinenbaus. Heute zählt sie mit rund 5.000 Studierenden, 95 Professorinnen und Professoren und knapp 770 Wissenschaftlichen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern zu einer der modernsten technischen Universitäten Deutschlands.

Den Titel Technische Universität trägt die TU Ilmenau seit 1992. Über 100 Fachgebiete bilden heute das Fundament für Forschung und Lehre. In insgesamt fünf Fakultäten betreiben die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler, gebündelt in drei Forschungsprofilen, innovative Grundlagenforschung und angewandte Forschung in den



Bereichen Ingenieurwissenschaften, Informationstechnologien, Wirtschafts- und Medienwissenschaften, Mathematik und Naturwissenschaften. Dies zeigt sich in der Nanopositionier- und Nanomesstechnik, mit der die TU Ilmenau seit vielen Jahren internationale Forschungskraft beweist, besonders deutlich.

Interdisziplinarität wird an der TU Ilmenau großgeschrieben. Dies zeigt sich insbesondere in der Erforschung biologisch inspirierter Elektronik im Fachgebiet Mikro- und nanoelektronische Systeme.

Hier liegt der Fokus auf neuartigen mikroelektronischen Schaltungsarchitekturen, die auf neurobiologischen Paradigmen der Informationsverarbeitung beruhen. Sie sollen dazu dienen, innovative Konzepte funktioneller Werkstoffe der Elektrotechnik zur Informationsspeicherung und -verarbeitung von der Realisierung des Einzelbauelements auf ein Systemlevel zu heben. Mit dem Forschungslabor Mikroelektronik für neuromorphe Elektronik wollen die Ilmenauer Wissenschaftler die Grenzen heutiger mikroelektronischer Systeme in Bezug auf Signalverarbeitungsgeschwindigkeit und Energieeffizienz überwinden.

Mit seiner einzigartigen Infrastruktur das Herzstück des ForLab NSME: das Zentrum für Mikro- und Nanotechnologien.



TECHNISCHE UNIVERSITÄT  
ILMENAU

Website

[www.tu-ilmenau.de](http://www.tu-ilmenau.de)

## Impressum

### Herausgeber

Präsident Technische Universität Ilmenau

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

Prof. Martin Ziegler, Zentrum für Mikro- und Nanotechnologien, 98693 Ilmenau

### 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

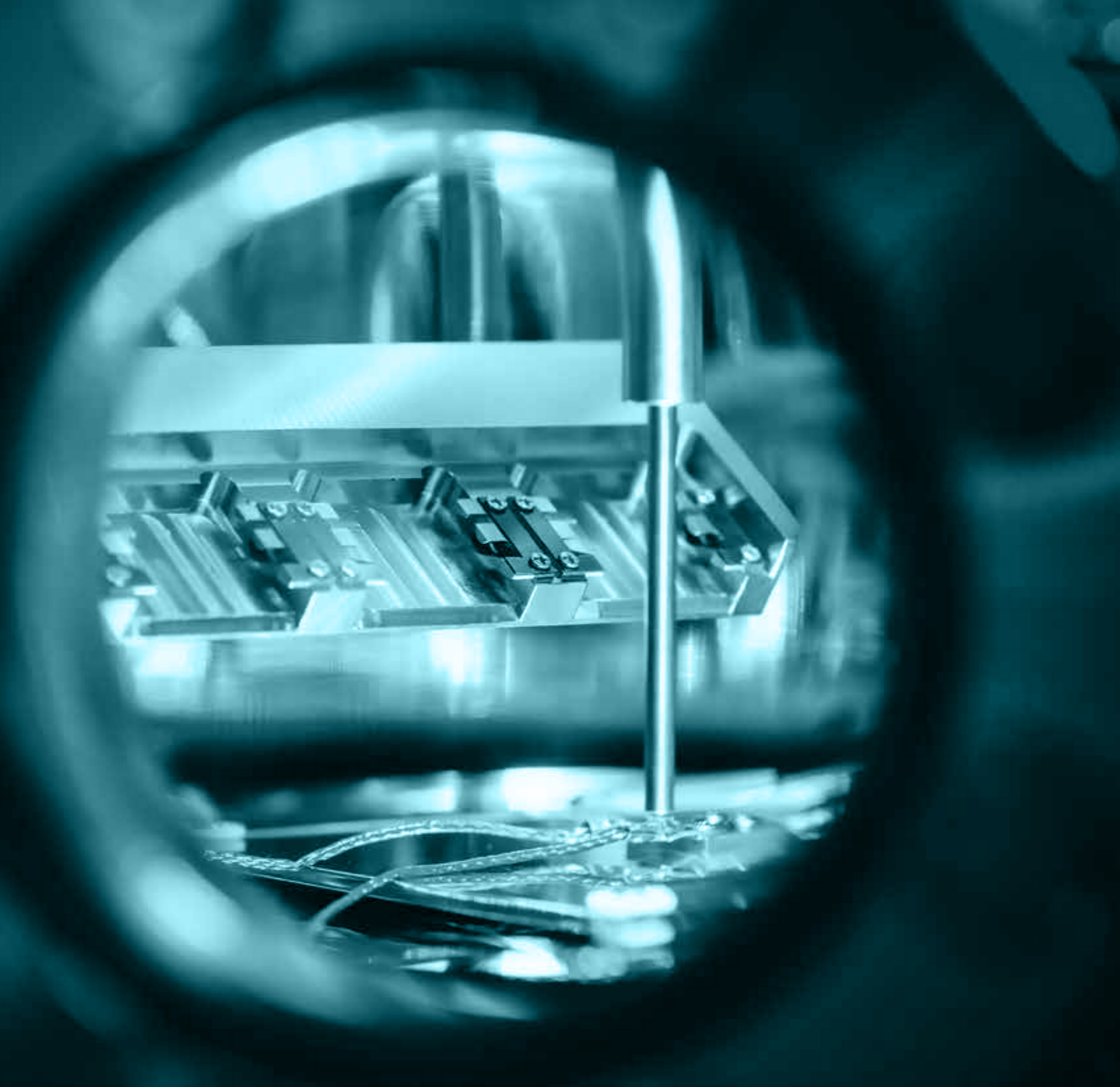
### Fotografie

Bildrechte © ForLab NSME / 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

Januar 2022

Die abgebildete Ultrahochvakuum-Apparatur beherbergt ein Rastertunnelmikroskop, das unterhalb der Temperatur verflüssigten Heliums betrieben wird. Hierdurch werden supraleitende Kontakte mit atomarer Dimension zugänglich und analysiert.





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