nanovate! MAGAZIN

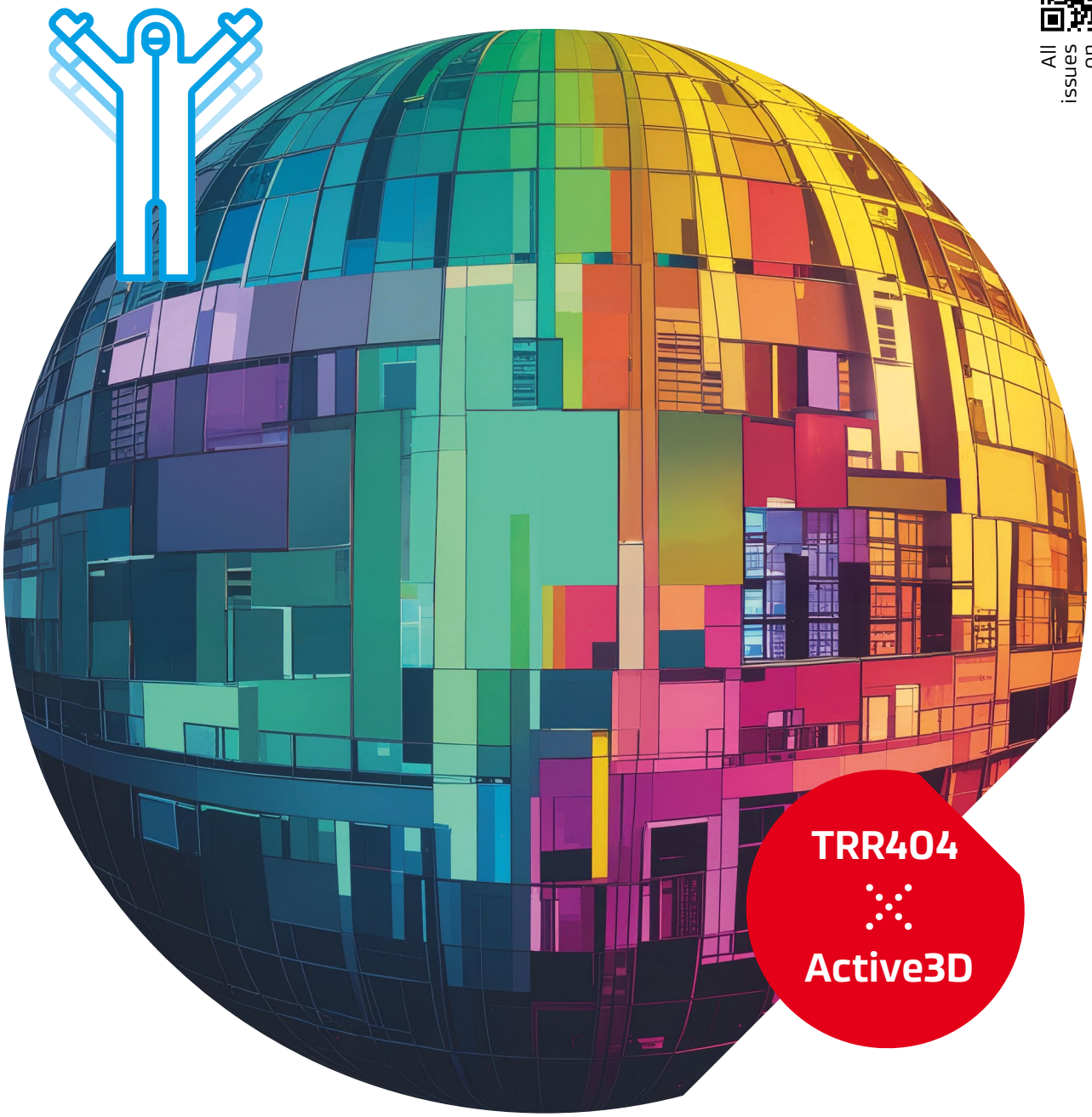
Science & Technology since 1993

# nanovate!

MAGAZIN

#10
6/2025

All issues on your screen



TRR404
Active3D

## Chips in 3D
Mehr Leistung durch vertikale Integration

## Grüne Chips, globale Zusammenarbeit
Europa und Korea entwickeln neuromorphe KI-Hardware

## Projekte, Publikationen & Konferenzen

## Vorgestellt
Neue und alte Bekannte

## Chips in 3D
New Dimensions for Faster, Smarter Electronics

## Greener Chips, Global Collaboration
Europe and Korea Unite for Smarter, Greener Chips

## Projects, publications & conferences

## Introduced
New and old companions

# Brücken bauen

**Mit der 10. Ausgabe unseres Magazins – ein kleines, aber freudiges Jubiläum – nutzen wir die Gelegenheit, zwei neue Forschungsinitiativen vorzustellen, die AMOs Mission verkörpern: Brücken zu bauen zwischen Disziplinen und Institutionen, um grundlegende wissenschaftliche Erkenntnisse in Zukunftstechnologien zu überführen.**

Der Transregionale Sonderforschungsbereich Active-3D widmet sich einer der größten Herausforderungen der Mikroelektronik: dem steigenden Energiebedarf des Rechnens. Durch die Erforschung neuer Materialien und Bauelementkonzepte soll Active-3D klassische planare Architekturen überwinden und erstmals echte 3D-integrierte Schaltungen realisieren – ein Paradigmenwechsel mit dem Potenzial, den Energieverbrauch in der Informationsverarbeitung drastisch zu senken. Die Stärke des Projekts liegt in der engen Zusammenarbeit führender Universitäten und Forschungseinrichtungen in ganz Deutschland.

Das Projekt ENERGIZE verfolgt einen komplementären Ansatz: Es entwickelt neuromorphe Hardware auf Basis von 2D-Materialien. Inspiriert von der Effizienz des menschlichen Gehirns zielt ENERGIZE darauf ab, den Energiebedarf für KI-Anwendungen deutlich zu reduzieren. Als gemeinsames EU-Korea-Vorhaben vereint das Projekt ein internationales Konsortium, das technologische Führungspositionen in Europa und Südkorea stärken und gleichzeitig zu globalen Nachhaltigkeitszielen beitragen will.

In beiden Projekten spielt AMO eine zentrale Rolle beim Aufbau der Netzwerke, die solche ambitionierten Vorhaben erst möglich machen. Genau das ist unser Kernanliegen: Partner zu verbinden, damit exzellente Grundlagenforschung zu Technologien mit industrieller Relevanz heranwachsen kann. Active-3D und ENERGIZE zeigen eindrucksvoll, wie Zusammenarbeit und Vertrauen den Weg zu nachhaltigem Computing ebnen.

## Building bridges

**With this 10th issue of our magazine – a small but joyful anniversary – we take the opportunity to spotlight two new research initiatives that embody AMO's mission: building bridges between disciplines and institutions to turn fundamental discoveries into future technologies.**

The Transregional Collaborative Research Center Active-3D tackles one of microelectronics' greatest challenges: the rising energy demand of computing. By exploring new materials and device concepts, Active-3D seeks to move beyond classical planar architectures and realize the first truly 3D-integrated circuits – a paradigm shift with the potential to cut power consumption in information technology dramatically. Its strength lies in the close collaboration of leading universities and research institutes across Germany.

The ENERGIZE project takes a complementary path, developing neuromorphic hardware based on 2D materials. Inspired by the brain's efficiency, it aims to slash the power needed for AI workloads. ENERGIZE is a joint EU-Korea initiative that brings together an international consortium to drive technological leadership in Europe and South Korea while contributing to global sustainability goals.

In both projects, AMO has played a central role in forging the networks that make such ambitious efforts possible. This is at the core of what we do: connecting partners so that excellent basic research can grow into technologies with industrial relevance. Active-3D and ENERGIZE clearly show how collaboration and trust pave the way toward sustainable computing.

**Max Lemme**
Geschäftsführer der AMO GmbH
Managing Director at AMO GmbH



# Inhalt
# Contents


**04**

**Active-3D: Neue Wege im Chipdesign**
Eine neue DFG-geförderte Forschungsinitiative entwickelt 3D-Architekturen für energieeffiziente Elektronik – mit AMO als Teil des Teams.

**Active-3D: Rethinking Chip Design**
A new DFG-funded initiative explores vertical integration of active components to boost performance and energy efficiency — with AMO at the forefront.

**08**

**ENERGIZE – Neuromorphe Chips für eine nachhaltige KI**
AMO koordiniert ENERGIZE – eine EU–Korea-Initiative zur Entwicklung energieeffizienter KI-Hardware mit 2D-Materialien.

**ENERGIZE – Neuromorphic Chips for a Sustainable AI Future**
AMO is the coordinator of ENERGIZE, a joint EU–Korea initiative developing neuromorphic chips with 2D materials to make AI more energy-efficient.

**10**

**Projekte, Publikationen & Konferenzen**
**Projects, publications & conferences**

**14**

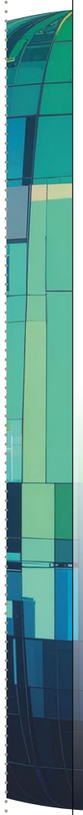
**Vorgestellt**
Neue Mitarbeiter*innen und alte Bekannte

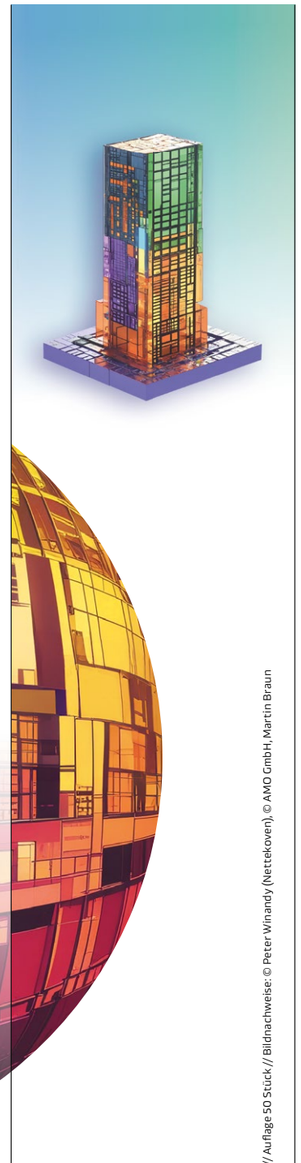
**Introduced**
New colleagues and old companions

**Manfred Nettekoven**
Former Chancellor of RWTH Aachen University and former member of AMO Advisory Board

**Bayode Benson Adeyanju**
DAAD Fellow, National Agency for Science and Engineering Infrastructure, Nigeria

**Sofia Cruces**
Research Associate, Chair of Electronic Devices (ELD), RWTH Aachen University





Bildnachweise: Titel © Montage & Illustration Uwe Grünhage

Druckdatum: 27.10.2025 // Auflage 50 Stück // Bildnachweise: © Peter Winandy (Nettekoven), © AMO GmbH, Martin Braun

# Eine dritte Dimension für hocheffiziente Chips

**Seit April 2025 läuft eine bedeutende neue Forschungsinitiative in der Mikroelektronik – und AMO freut sich, Teil davon zu sein. Der Transregionale Sonderforschungsbereich „Active-3D: Next Generation Electronics with Active Devices in Three Dimensions" (SFB/TRR-404), gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG), vereint führende Institutionen aus ganz Deutschland, darunter AMO GmbH, RWTH Aachen, Forschungszentrum Jülich, TU Dresden, NaMLab GmbH, Ruhr-Universität Bochum und das Max-Planck-Institut für Mikrostrukturphysik in Halle.**

Koordiniert von Professor Max Lemme (RWTH Aachen University & AMO GmbH) und Professor Thomas Mikolajick (TU Dresden & NaMLab GmbH) verfolgt Active-3D das Ziel, die Art und Weise, wie Computerchips gebaut werden, grundlegend neu zu denken. Anstatt sich auf traditionelle flache Designs zu beschränken, wollen die Forschenden eine dritte Dimension hinzufügen – aktive Komponenten sollen nicht nur nebeneinander, sondern auch übereinander angeordnet werden.

Dies könnte zu völlig neuen Chip-Architekturen führen, die schneller, kompakter und energieeffizienter sind – ein entscheidender Schritt für Zukunftstechnologien wie künstliche Intelligenz und die Kommunikation der nächsten Generation.

**Jenseits des Skalierens**
1959 hielt der Nobelpreisträger Richard Feynman seinen berühmten Vortrag „There's Plenty of Room at the Bottom" („Viel Spielraum nach unten"), in dem er die Möglichkeit skizzierte, Materie auf immer kleineren Skalen zu manipulieren – bis hin zur Größe einzelner Atome. Der Vortrag wird oft als Initialzündung für das Forschungsfeld der Nanotechnologie angesehen.
Ob diese Zuschreibung im Detail gerechtfertigt ist oder nicht – Feynman erkannte jedenfalls früh, welches enorme Potenzial in der Miniaturisierung von Bauelementen steckt. Genau dieses Potenzial hat die Mikroelektronik über mehr als 60 Jahre entscheidend vorangebracht.

Im Zentrum dieses Erfolgs stehen Transistoren, die über Jahrzehnte hinweg immer kleiner, schneller und günstiger wurden – und Elektronik zu einem festen Bestandteil nahezu aller Lebensbereiche machten: von Smartphones und medizinischen Geräten über Autos und Industrie bis hin zur Landwirtschaft. Doch in den letzten Jahren hat sich die Skalierung von Transistoren deutlich verlangsamt. Innovation hängt zunehmend von neuen Chip-Architekturen ab, die ungenutzte oder „tote" Bereiche – also Teile des Chips ohne Funktion – reduzieren.

Active-3D geht noch einen Schritt weiter: Ziel ist es, diese inaktiven Zonen in aktive Komponenten zu verwandeln.

**Active-3D verfolgt das Ziel, die Art und Weise, wie Computerchips gebaut werden, grundlegend neu zu denken.**

**„There's Plenty of Room at the Top!"**
„In Anlehnung an Feynman sage ich: There's plenty of room at the top!", sagt Prof. Lemme. „Heute wird das Volumen über einem Chip nur für die Metallisierung genutzt – also die passive Verdrahtung zwischen Komponenten. Wenn es uns gelingt, aktive Bauelemente in diesen Raum zu integrieren, können wir Logik und Speicher vertikal auf einem einzigen Chip vereinen oder aktiv schaltbare Verbindungen schaffen. Das bedeutet enorme Fortschritte bei Energieeffizienz, Leistung und Chipfläche."

Eine solche Integration könnte den sogenannten von-Neumann-Flaschenhals überwinden – die Trennung von Speicher und Logik, die in konventionellen Architekturen die Rechenleistung bremst und Energie verschwendet. Durch die Zusammenführung von Logik und Speicher will Active-3D den Datenfluss beschleunigen und den Energieverbrauch deutlich senken – insbesondere in datenintensiven Bereichen wie künstlicher Intelligenz und maschinellem Lernen.

**Langfristige Perspektive für ein ambitioniertes Projekt**
Um diesen Paradigmenwechsel zu realisieren, setzt Active-3D auf einen Co-Design-Ansatz, der Materialien, Bauelemente und Schaltungen umfasst. Das bedeutet nicht nur, neue Bauelement-Konzepte zu demonstrieren, sondern auch ein tiefes Verständnis dafür zu gewinnen, wie Materialien während der Verarbeitung miteinander interagieren, wie diese Wechselwirkungen die Eigenschaften von Komponenten beeinflussen und wie Schaltungen und Systeme mit diesen neuen Komponenten gestaltet werden sollten.

Bildnachweis: © Matthias Hahndorf, TU Dresden / CfaED / TRR404

Die Stärke des Active-3D-Projekts liegt in der synergetischen Expertise seiner Partner.
The strength of the Active-3D-project lies in the combined expertise of its partners.

Durch die Zusammenarbeit führender Forschender aus Dresden und der Region Aachen-Jülich verfolgt Active-3D einen ganzheitlichen Ansatz – von der Grundlagenforschung über die Entwicklung von Prototypen bis hin zur Schaltungsentwicklung und Systemsimulation. Die Herausforderungen sind groß, aber die potenziellen Fortschritte sind bahnbrechend.

Dieses ambitionierte Programm wird von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) unterstützt, die Sonderforschungsbereiche für bis zu 12 Jahre fördert. Bis zum Ende dieser Laufzeit will Active-3D zentrale Fragen beantworten: Welche Bauelemente, Materialien und Herstellungsverfahren eignen sich am besten für echte dreidimensionale integrierte Schaltungen?

**Perowskite und 2D-Transistoren**
Die erste Förderphase läuft bis Dezember 2028 und umfasst 17 miteinander verknüpfte Teilprojekte, die jeweils einen entscheidenden Aspekt der Herausforderung adressieren. AMO beteiligt sich an zwei dieser Projekte. Das erste, in Zusammenarbeit mit der TU Dresden, untersucht vertikale Feldeffekttransistoren (FETs) auf Basis von Perowskiten – eine hoch experimentelle, aber vielversprechende Klasse von Bauelementen. Das zweite kombiniert AMOs Expertise in FETs aus zweidimensionalen Materialien mit der Arbeit des Forschungszentrums Jülich an memristiven Bauelementen, um energieeffiziente Arrays für Matrix-Vektor-Multiplikation zu entwickeln – eine Schlüsseloperation in der KI.

Neben AMOs direkter Beteiligung an der TRR-404-Initiative sind Prof. Lemme und der Lehrstuhl für Elektronische Bauelemente der RWTH Aachen auch an zwei weiteren Kooperationsprojekten mit der TU Dresden beteiligt. Diese konzentrieren sich auf komplementäre Aspekte der Gesamtaufgabe: Ein Projekt zielt auf die Optimierung von FETs auf Basis von 2D-Materialien, das andere erforscht neuartige Verdrahtungs- und Integrationskonzepte für zukünftige 3D-Chip-Architekturen. ◂

# A Third Dimension for High-Efficiency Chips

**Since April 2025, a major new research initiative in microelectronics has been underway – and AMO is thrilled to be part of it. The Transregional Collaborative Research Center "Active-3D: Next Generation Electronics with Active Devices in Three Dimensions" (SFB/TRR-404), funded by the German Research Foundation (DFG), brings together leading institutions across Germany, including AMO GmbH, RWTH Aachen, Forschungszentrum Jülich, TU Dresden, NaMLab GmbH, Ruhr University Bochum, and the Max Planck Institute of Microstructure Physics in Halle.**

**Active-3D aims to redefine how computer chips are built.**

Coordinated by professors Max Lemme (RWTH Aachen University & AMO GmbH) and Thomas Mikolajick (TU Dresden & NaMLab GmbH), Active-3D aims to redefine how computer chips are built. Instead of sticking to traditional flat designs, the researchers want to add a third dimension – placing active components not just next to each other, but also on top of each other.

This could lead to entirely new chip architectures that are faster, more compact, and more energy-efficient – a crucial step for future technologies like artificial intelligence and next-generation communication.

### Beyond scaling

In 1959, Nobel laureate Richard Feynman gave his famous lecture "There's Plenty of Room at the Bottom", where he imagined manipulating matter at increasingly smaller scales, down to the size of an atom. The talk is often credited with inspiring the field of nanotechnology. Whether or not that credit is entirely justified, Feynman clearly foresaw how making tiny devices could unlock a huge potential – which is exactly what drove microelectronics forward for over 60 years.

At the heart of this success are transistors, which for decades became steadily smaller, faster, and cheaper – making electronics a part of nearly every aspect of life, from smartphones and medical equipment to cars, industry and even agriculture. But in recent years, transistor scaling has slowed dramatically. Innovation now increasingly depends on new chip architectures that reduce unused or "dead" areas – parts of the chip that don't perform any function.

Active-3D takes this further: its mission is to transform those inactive zones into active ones.

### "There's Plenty of Room at the Top!"

"Misquoting Feynman, I say: There's plenty of room at the top!" says Prof. Lemme. "Today, the volume above a chip is used only for metallization – the passive wiring between components. But if we succeed in integrating active devices into this space, we can merge logic and memory vertically on a single chip, or create actively switchable interconnects. That means major gains in energy efficiency, performance, and chip area."

Such integration could overcome the so-called von Neumann bottleneck – the separation of memory and logic that slows computation and wastes energy in conventional architectures. By bringing logic and memory together, Active-3D aims to accelerate data flow and cut power use significantly, particularly in data-hungry fields like artificial intelligence and machine learning.

### Long-term perspective for an ambitious project

To realize this paradigm shift, Active-3D relies on a co-design approach that spans materials, devices, and circuits. This means not only demonstrating new device concepts but also gaining a deep understanding of how materials interact during processing, how those interactions influence component properties, and how circuits and systems should be designed using these novel components.

By uniting leading researchers from Dresden and the Aachen-Jülich region, Active-3D ensures a holistic approach – from fundamental research to prototype development, circuit design, and system-level simulations. The challenges are significant, but the potential rewards are transformative.



Bildnachweis: © TU Dresden / cfaed / TRR404

active 3D

This ambitious program is supported by the German Research Foundation (DFG), which funds Collaborative Research Centers for up to 12 years. By the end of this period, Active-3D aims to answer key questions: Which devices, materials, and fabrication methods are best suited for truly three-dimensional integrated circuits?

### Perovskites and 2D transistors

The first funding phase runs until December 2028 and includes 17 interconnected projects, each addressing a crucial aspect of the challenge. AMO is contributing to two of these projects. The first, in collaboration with TU Dresden, explores vertical field-effect transistors (FETs) based on perovskites – a highly experimental yet promising class of devices. The second combines AMO's expertise in two-dimensional material FETs with Forschungszentrum Jülich's work on memristive devices to create energy-efficient arrays for matrix-vector multiplication, one of the key operations in AI.

In addition to AMO's direct contributions to the TRR-404 initiative, Prof. Lemme and the Chair of Electronic Devices at RWTH Aachen are also involved in two further collaborative projects with TU Dresden. These focus on complementary aspects of the overall challenge: one aims to optimize FETs based on 2D materials, while the other explores novel wiring and integration schemes for future 3D chip architectures. ◂

Das Ziel von Active-3D ist die Realisierung vollständig 3D-integrierter Mikrochips.
The aim of Active-3D is to enable the realization of fully 3D-integrated microchips.

# ENERGIZE – Europa und Korea bündeln Kräfte für grünere KI-Chips

**AMO GmbH ist Koordinator der internationalen Forschungsinitiative ENERGIZE, die energieeffiziente neuromorphe Hardware auf Basis zweidimensionaler (2D) Materialien entwickelt. Das Projekt vereint führende Institutionen aus Europa, Südkorea und der Schweiz. Mit einer Förderung von 3,6 Millionen Euro gehört ENERGIZE zu den vier Projekten, die im ersten gemeinsamen EU-Korea-Call unter dem Chips Joint Undertaking ausgewählt wurden.**

Die Mission: Neue Wege für die Datenverarbeitung im KI-Zeitalter finden und den steigenden Energiebedarf von künstlicher Intelligenz und Edge Computing adressieren.

**Intelligentere Chips für intelligentere KI**
KI ist allgegenwärtig – in Smartphones, Autos, Fabriken und Haushalten. Doch das Trainieren großer neuronaler Netze auf klassischen Prozessoren verbraucht enorme Mengen Energie. Neuromorphe Hardware, inspiriert vom menschlichen Gehirn, vereint Speicher und Verarbeitung auf einem Chip und ermöglicht schnelle, parallele und energieeffiziente Berechnungen.

**Warum 2D-Materialien?**
ENERGIZE setzt auf 2D-Materialien, die schnelles Schalten, geringen Energieverbrauch und Kompatibilität mit bestehenden Halbleitertechnologien bieten. Ihre besonderen Eigenschaften machen sie ideal für die Integration in neuromorphe Systeme. Das Projekt deckt die gesamte Entwicklungskette ab – von Materialwachstum und dem Prototyping von Bauelementen über Simulationen bis hin zum Systemdesign.

Ziel ist es, die Technologie auf Wafer-Ebene zu skalieren, die Fertigungszuverlässigkeit zu verbessern und effizientes KI-Training mit Crossbar-Arrays zu demonstrieren.

**Internationale Zusammenarbeit**
ENERGIZE vereint führende Forschungsgruppen von AMO GmbH, EPFL, Università di Pisa und Universidad de Granada sowie von Sungkyunkwan University, Korea University, GIST und Sogang University in Korea. RWTH-Doktorandin Jimin Lee spielte eine Schlüsselrolle bei der Entstehung des Projekts und der Vernetzung der europäischen und koreanischen Partner.

„Wenn ich auf die letzten Monate zurückblicke, ist es beeindruckend, wie schnell ENERGIZE von einer Idee zu einer lebendigen Zusammenarbeit gewachsen ist", sagt Dr. Chigrin (AMO), Projektkoordinator von ENERGIZE. „Wir haben echte Fortschritte gemacht – von der Materialentwicklung bis zur Systemintegration. Die Synergie zwischen den europäischen und koreanischen Teams war dabei ein entscheidender Motor." ◂

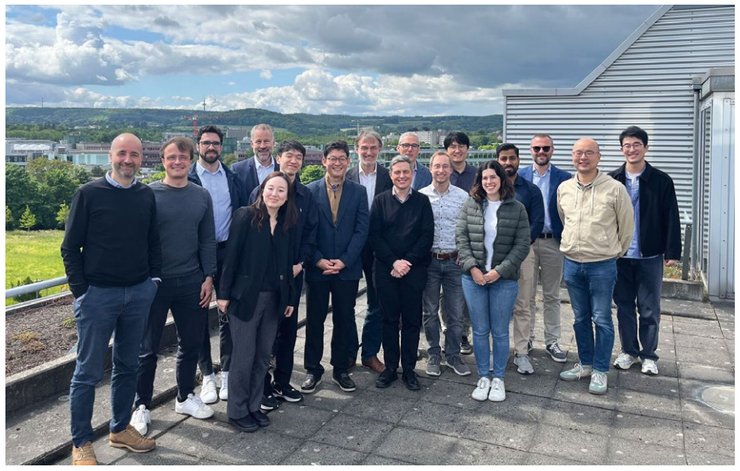
**„Es ist beeindruckend, wie schnell ENERGIZE von einer Idee zu einer lebendigen Zusammenarbeit gewachsen ist."**
**Dr. Dmitry Chigrin**



**"It's impressive how quickly ENERGIZE has grown from a concept into a vibrant collaboration."**
**Dr. Dmitry Chigrin**

# ENERGIZE – Europe and Korea Join Forces for Greener AI Chips

**AMO GmbH is the coordinator of ENERGIZE – a new international research initiative developing energy-efficient neuromorphic hardware based on two-dimensional (2D) materials. The project brings together leading institutions from Europe, South Korea, and Switzerland. With €3.6 million in funding, ENERGIZE is one of four projects selected in the first joint EU–Korea call under the Chips Joint Undertaking.**



Das ENERGIZE-Konsortium auf dem Dach von AMO am 23. Mai 2025 – mit typischem Aachener Wetter im Hintergrund. ENERGIZE consortium on the roof of AMO on May 23, 2025 – with a glimpse of typical Aachen weather.

Its mission: to rethink how we process data in the age of AI and tackle the growing energy demands of artificial intelligence and edge computing.

**Smarter Chips for Smarter AI**
AI is everywhere—from phones and cars to factories and smart homes. But training large neural networks on conventional processors consumes massive energy. That's where neuromorphic hardware comes in. Inspired by the brain, it merges memory and processing on a single chip, enabling fast, parallel, and energy-saving computation.

**Why 2D Materials?**
To develop neuromorphic hardware, ENERGIZE bets on 2D materials, which have excellent prospects for enabling fast switching, low-power devices, compatible with existing chip technologies. Their unique properties make them ideal for integration into semiconductor processes.

The project covers everything from material growth and device prototyping to simulations and system-level design. It aims to scale the technology for neuromorphic devices based on 2D materials to wafer level, improving fabrication reliability, and demonstrating efficient neural network training based on crossbar arrays.

**Collaboration in Action**
ENERGIZE brings together top research groups at AMO GmbH, EPFL, Università di Pisa, and Universidad de Granada, as well as at Sungkyunkwan University, Korea University, GIST and Sogang University in Korea. RWTH PhD student Jimin Lee played a key role in getting the ENERGIZE project off the ground, helping to shape the initial vision and to thread the collaboration between the European and Korean partners.

"Looking back at the past months, it's impressive how quickly ENERGIZE has grown from a concept into a vibrant collaboration," says the project coordinator, Dr. Dmitry Chigrin from AMO. "We've made real progress – from material development to system-level integration – and the synergy between European and Korean teams has been a driving force throughout." ◂

Bildnachweis: © AMO GmbH

# Kürzlich gestartete Projekte
## Recently started projects

**01** 01.01.2025 – 31.12.2027
### NEUROSYS A1
KI-anwendungsspezifische Technologiereifung memristiver Bauteile
Technology maturation of memristive components for AI application
**Förderer** ▸ Funding Agency: BMFTR

**02** 01.01.2025 – 31.12.2027
### NEUROSYS A2
Metrologie für memristive Materialien
Metrology for memristive devices
**Förderer** ▸ Funding Agency: BMFTR

**03** 01.01.2025 – 31.12.2027
### NEUROSYS B2
Integrierte photonische neuromorphe Schaltkreise mit ultra-skalierten Graphen-Phasenmodulatoren
Integrated photonic neuromorphic circuits with ultra-scaled graphene phase modulators
**Förderer** ▸ Funding Agency: BMFTR

**04** 01.01.2025 – 31.12.2027
### NEUROSYS E
Transferorientierte Gestaltung von Innovationsökosystemen und Geschäftsmodellentwicklung
Transfer-oriented design of innovation ecosystems and business model development
**Förderer** ▸ Funding Agency: BMFTR

**05** 01.01.2025 – 31.12.2027
### SUSTAINET-ADVANCE
Neuromorphe photonische Lösungen für Energieeffizienz
Neuromorphic based photonic solutions for energy efficiency
**Förderer** ▸ Funding Agency: BMFTR

**05** 01.02.2025 – 01.11.2026
### PHOX
Vorhersage des optischen Schaltens von Phasenwechselmaterialien für nanophotonische Anwendungen
Predicting Optical Switching of Phase-change Materials for Nanophotonic Applications
**Förderer** ▸ DFG

**06** 01.04.2025 – 31.12.2028
### ACTIVE-3D TRR404
Elektronik der nächsten Generation mit aktiven Bauelementen in drei Dimensionen
Next Generation Electronics With Active Devices in Three Dimensions
**Förderer** ▸ DFG

# Veröffentlichungen
## Journal articles, book chapters & proceedings 01. – 06.2025

**Experimental parameter study of thermally tunable Mach-Zehnder switches**
**Autoren** ▸ authors: J. Samland, B. Chmielak, J. Bolten, S. Suckow, T. Wahlbrink, M. C. Lemme
Optics Continuum, 4, 561–570, (2025).

**Multi-project wafer runs for electronic graphene devices in the European 2D-Experimental Pilot Line project**
**Autoren** ▸ authors: B. Canto, M. Otto, A. Maestre, A. Centeno, A. Zurutuza, B. Robertz, E. Reato, B. Chmielak, S. L. Stoll, A. Hemmetter, F. Schlachter, L. Ehlert, S. Li, D. Neumaier, G. Rinke, Z. Wang, M. C. Lemme
Nature Communications, 16, 1417, (2025).

**Volatile $MoS_2$ Memristors with Lateral Silver Ion Migration for Artificial Neuron Applications**
**Autoren** ▸ authors: S. Cruces, M. D. Ganeriwala, J. Lee, L. Völkel, D. Braun, A. Grundmann, K. Ran, M. E. González, H. Kalisch, M. Heuken, A. Vescan, J. Mayer, A. Godoy, A. Daus, M.C. Lemme
Small Science, 5, 2400523, (2025).

**Multiparameter Admittance Spectroscopy for Investigating Defects in $MoS_2$ Thin-Film MOSFETs**
**Autoren** ▸ authors: E. Reato, A. Esteki, K. Ardeshir, B. Ku, Z. Wang, M. Heuken, M.C. Lemme; O. Engström
IEEE Transactions on Electron Devices, 72, 1506–1513, (2025).

**Piezoresistive Platinum Diselenide Pressure Sensors with Reliable High Sensitivity and Their Integration into Complementary Metal-Oxide-Semiconductor Circuits**
**Autoren** ▸ authors: S. Lukas, N. Rademacher, S. Cruces, M. Gross, E. Desgué, S. Heiserer, N. Dominik, M. Prechtl, O. Hartwig, C. Ó Coileáin, T. Stimpel-Lindner, P. Legagneux, A. Rantala, J.-M. Saari, M. Soikkeli, G.S. Duesberg, M.C. Lemme
ACS Nano 19, 7026 –7037 (2025).

**High-sensitivity polymer-based bimodal plasmonic refractive index sensors with polymer cladding**
**Autoren** ▸ authors: O. Bhalerao, S. Suckow, H. Windgassen, H. Biller, K. Fotiadis, S. Simos, E. Chatzianagnostou, D. Spasopoulos, P. Das, L. Markey, J.-C. Weeber, N. Pleros, M. Schirmer, M.C. Lemme
Optics Express 33, 9813-9824 (2025).

**Artificial Neural Network with Photonic Reservoir for Multiclass Modulation Format Identification**
**Autoren** ▸ authors: G. von Hünefeld, M. Kaveh, J. Hopfmüller, P. Safari, E. Şeker, R. Thomas, M. Aghaeipour, D. Stahl, S. Suckow, P. Bienstman, M.C. Lemme, J.-K. Fischer, C. Schubert, R. Freund
Journal of Lightwave Technology, 1–8 (2025).

**Atmospheric-level carbon dioxide gas sensing using low-loss mid-IR silicon waveguides**
**Autoren** ▸ authors: P.-S. Lin, A. Quellmalz, S. Parhizkar, P.-H. Huang, N. Negm, S. Suckow, F. Ottonello-Briano, M.C. Lemme, A.L. Schall-Giesecke, F. Niklaus, K.B. Gylfason
Optics Express 33, 3511–3521 (2025).

**Towards wafer-scale 2D material sensors**
**Autoren** ▸ authors: P. G. Steeneken, M. Soikkeli, S. Arpiainen, A. Rantala, R. Jaaniso, R. Pezone, S. Vollebregt, S.Lukas, S. Kataria, M.J.A. Houmes, R. Álvarez-Diduk, K. Lee, H. Suryo Wasisto, S. Anzinger, M. Fueldner, G.J. Verbiest, F. Alijani, D. Hoon Shin, E. Malic, R. van Rijn, T.K. Nevanen, A. Centeno, A. Zurutuza, H.S.J. van der Zant, A. Merkoçi, G.S. Duesberg, M.C. Lemme
2D Materials 12, 023002 (2025).

**Contact Resistance Optimization in $MoS_2$ Field-Effect Transistors through Reverse Sputtering-Induced Structural Modifications**
**Autoren** ▸ authors: Y. Fa, A. Piacentini, B. Macco, H. Kalisch, M. Heuken, A. Vescan, Z. Wang, M.C. Lemme
Applied Materials & Interfaces 17, 24526–24534 (2025).

**Graphene-PbS quantum dot hybrid photodetectors from 200 mm wafer scale processing**
**Autoren** ▸ authors: S. Li, Z. Wang, B. Robertz, D. Neumaier, O. Txoperena, A. Maestre, A. Zurutuza, C. Bower, A. Rushton, Y. Liu, C. Harris, A. Bessonov, S. Malik, M. Allen, I. Medina-Salazar, T. Ryhänen, M.C. Lemme
Scientific Reports 15, 14706 (2025).

**Comparative performance of $MoS_2$ transistors: Statistical study and one-transistor-one-resistive memory integration**
**Autoren** ▸ authors: F. Khorramshahi, H. Bohuslavskyi, A. Murros, A. Piacentini, M. Heuken, M.C. Lemme, D. Neumaier, K.-M. Persson
Materials Science in Semiconductor Processing 190, 109336 (2025).

**Influence of humidity on the resistive switching of hexagonal boron nitride-based memristors**
**Autoren** ▸ authors: L. Völkel, R. W. Ahmad, A. Bestaeva, D. Braun, S. Cruces, J. Lee, S. Pasko, S. Krotkus, M. Heuken, S. Menzel, M.C. Lemme
npj 2D Materials and Applications 9, 1–6 (2025).

**Ka-band thin-film compact cascaded reflective-type phase shifter exploiting CVD-grown-graphene diode**
**Autoren** ▸ authors: E. Baskent, Z. Wang, M.C. Lemme, R. Negra
International Journal of Microwave and Wireless Technologies (2025).

**Measuring the Adhesion of Graphene Flake Networks via Button Shear Tests**
**Autoren** ▸ authors: E. Adatti, E. Jorge, J. Schätz, J. Ruhkopf, A. Baklanov, A. Weber, D. Tumpold, A. Zöpfl, U. Krumbein, M.C. Lemme
ACS Applied Materials & Interfaces 17, 26080–26089 (2025).

**Balanced plasmonic-augmented silicon photonic interferometric sensor for biosensing applications**
**Autoren** ▸ authors: M.A. Elrabiaay, C. Eleftheriou, G. Tsekenis, O. Bhalerao, S. Suckow, M.C. Lemme, P. Das, L. Markey, A. Manolis, D. Tsiokos
Optics Express 33, 23110–23124 (2025).

**Improved Reliability of 2D-TMDC Dry Transfer via PMMA and Target Substrate Treatments**
**Autoren** ▸ authors: A. Ghiami, H. Fiadziushkin, T. Sun, S. Tang, Y. Wang, E. Mayer, J.M. Schneider, A. Piacentini, M.C. Lemme, M. Heuken, H. Kalisch, A. Vescan;
ACS Applied Electronic Materials 7, 2394–2403 (2025).

**Integrated Wavemeter with 8 Mach-Zehnder Interferometers for the Near-IR Range with Picometer Accuracy**
**Autoren** ▸ authors: T. Gök, J. Kaur, P. Cegielski, A. Kumar, S. Suckow, A. Eras, C. Nölleke, M.C. Lemme
2025 Conference on Lasers and Electro-Optics Europe & European Quantum Electronics Conference (CLEO/Europe-EQEC), 2025.

**Aluminum Nitride Waveguides with 0.12 dB/cm Propagation Loss Around the Telecommunication C-Band**
**Autoren** ▸ authors: R. Singh, R. Thomas, M. Raghuwanshi, B. Sundarapandian, L. Kirste, S. Suckow, M.C. Lemme
2025 Conference on Lasers and Electro-Optics Europe & European Quantum Electronics Conference (CLEO/Europe-EQEC), 2025.

**Volatile and Nonvolatile Resistive Switching in Wafer-Scale $MoS_2$ Memristors**
**Autoren** ▸ authors: Y. Fa, D. Braun, L. Völkel, H. Lerch, H. Kalisch, M. Heuken, A. Vescan, Z. Wang, M.C. Lemme
2025 Silicon Nanoelectronics Workshop (SNW), 2025.

**Enhanced Threshold Switching Devices Based on Conductive Filaments in $SiO_x$ Through Vertically Aligned $MoS_2$ Layers**
**Autoren** ▸ authors: J. Lee, S. Cruces, D. Braun, L. Völkel, K. Ran, J. Mayer, A. Daus, M.C. Lemme
9th IEEE Electron Devices Technology & Manufacturing Conference (EDTM), 2025.

**2D Materials for Neuromorphic Computing Devices**
**Autoren** ▸ authors: M.C. Lemme, L. Völkel, S. Cruces, J. Lee, Y. Fa
9th IEEE Electron Devices Technology & Manufacturing Conference (EDTM), 2025.

**Plasmon-Enhanced Graphene Photothermoelectric Detector For Mid-Infrared Sensing Applications**
**Autoren** ▸ authors: P.-S. Lin, S. Parhizkar, A. Quellmalz, N. Negm, S. Suckow, A. Cummings, A. Centeno, A. Zurutuza, M.C. Lemme, F. Niklaus, K.B. Gylfason
IEEE 38th International Conference on Micro Electro Mechanical Systems (MEMS), 2025.

**Enhanced reservoir computing for robust optical network monitoring: a case study on modulation format identification**
**Autoren** ▸ authors: M. Kaveh, G. von Hünefeld, E. Şeker, J. Hopfmüller, P. Safari, R. Thomas, M. Aghaeipour, S. Suckow, M.C. Lemme, C. Schubert, D. Stahl, J.-K. Fischer, R. Freund
Smart Photonic and Optoelectronic Integrated Circuits 2025, 2025.

**Leveraging a SiPh Mid-IR platform for integrated thermal source and detector to measure $CO_2$ and $CH_4$ levels, AEOLUS**
**Autoren** ▸ authors: C. Zervos, G. Syriopoulos, E. Kyriazi, T. Prousalidi, P.-S. Lin, F. Niklaus, K.B. Gylfason, N. Negm, S. Parhizkar, F.O. Briano, S. Schroeder, S. Suckow, M.C. Lemme; G. Poulopoulos, D. Apostolopoulos, H. Avramopoulos
Silicon Photonics XX, 2025.

**Live Demonstration of Modulation Format Identification Using a Photonic Neural Network**
**Autoren** ▸ authors: G. von Hünefeld, M. Kaveh, J. Hopfmüller, P. Safari, E. Şeker, R. Thomas, M. Aghaeipour, D. Stahl, S. Suckow, M.C. Lemme, J.K. Fischer, C. Schubert, R. Freund
Optical Fiber Communication Conference (OFC) 2025 (2025), paper M3Z.12, 2025.

Bildnachweis: © AMO GmbH, Fotograf Martin Braun

# Konferenzbeiträge
# Conference contributions
# 01. – 06.2025

## Graphene Conference
San Sebastian, 25.–28.06.2025

**Enabling Research and Innovation with Integrated Graphene and 2D Materials**
▸ G. Rinke (Invited)

**Flexible Complementary Metal-Oxide-Semiconductor Inverter Based on 2D p-type $WSe_2$ and n-type $MoS_2$**
▸ B. Uzlu, A. Piacentini, D.K. Polyushkin, A. Grundmann, M. Heuken, H. Kalisch, A. Vescan, Z. Wang, M.C. Lemme, T. Mueller, D. Neumaier

**Influence of MOCVD $MoS_2$ Material Properties on Memristor Resistance State and Switching Voltage Variability**
▸ D. Braun, J. Liu, P. Devi, V. Maroufidis, H. Bian, L. Völkel, H. Fiadziushkin, J. Lee, S. Cruces, A. Grundmann, S. Tang, Y. Wang, K. Ran, T. Wahlbrink, H. Kalisch, A. Vescan, J. Mayer, M. Heuken, A. Daus, M.C. Lemme

**High-sensitivity On-Chip Terahertz Time-Domain Spectroscopy with Tunable Sample Interaction**
▸ J. Lee, A. Michalski, S. Sawallich, M.C. Lemme, M. Nagel

## CLEO Europe
München, 23.–27.06.2025

**Aluminium nitride waveguides with 0.12 dB/cm propagation loss around the telecommunication C-band**
▸ R. Singh, R. Thomas, M. Raghuwanshi, B. Sundarapandian, L. Kirste, S. Suckow, M.C. Lemme

**Integrated Wavemeter with 8 Mach-Zehnder Interferometers for the Near-IR Range with Picometer Accuracy**
▸ T. Gök, J. Kaur, P. Cegielski, A. Kumar, S. Suckow, A. Eras, C. Nölleke, M.C. Lemme

## DRC 2025, Duke University
Durham, North Carolina
22.–25.06.2025

**Wafer-scale Memristors based on Atomic Layer Deposited $WS_2$**
▸ Y. Fa, C. Lam, R. Ke, D. Braun, L. Völkel, S. Cruces, J. Lee, H. Lerch, Z. Wang, B. Macco, M.C. Lemme

**Volatile and Nonvolatile Resistive Switching in Lateral 2D $MoS_2$ Memristors**
▸ S. Cruces, J. Lee, K. Ran, J. Jo, L. Völkel, D. Braun, H. Kalisch, R. Dunin-Borkowski, J. Mayer, M. Heuken, A. Vescan, A. Daus, M.C. Lemme

**Ion-based Resistive Switching in 2D Material-based Devices**
▸ M.C. Lemme (invited)

## 2nd ROK-EU Researchers Forum
Jeju Island, Korea, 16.06.2025

**ENERGIZE – EU-ROK collaborative project to enable energy efficient neuromorphic two-dimensional devices for edge computing**
▸ D. Chigrin (Invited)

## TeraTech 2025
Salamanca, Spain, 02.–06.06.2025

**With Scalable 2D Materials Into the THz Range**
▸ Andreas Hemmetter (invited)

## European Materials Research Society (EMRS)
Strasbourg, France,
26.–30.05.2025

**On-Chip Integration of Blue and Green $CsPbX_3$ Nanoplates via Ion Engineering**
▸ S. Khan, S. Goudarzi, S. Schäffer, B. Macco, K. Ran, L. Sonneveld, N. Kurahashi, P. Haring-Bolivar, B. Ehrler, T. Riedl, G. Müller-Newen, S.B. Anantharaman, M. Mohammadi, M.C. Lemme

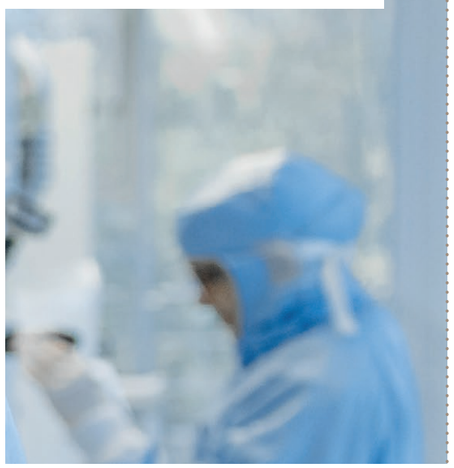
**Plasmonic Nanodisk Metamaterial Photocatalyst Sheet for Photocatalytic $CO_2$ Reduction**
▸ B. Ku, L. Feierabend, C.-W. Su, C.-C. Huanga, G. Aguila, U. Plachetka, M.C. Lemme

## IEEE Electron Devices Technology and Manufacturing Conference '25
Hong Kong, 09.–12.03.2025

**Towards fab-compatible processing of 2D materials**
▸ M.C. Lemme (Tutorial)

**Enhanced Threshold Switching Devices based on Conductive Filaments in $SiO_x$ through Vertically Aligned $MoS_2$ layers**
▸ J. Lee, S. Cruces, D. Braun, L. Völkel, K. Ran, J. Mayer, A. Daus, M.C. Lemme

**2D Materials for Neuromorphic Computing Devices**
▸ M. C. Lemme (Invited)



Bildnachweis: © AMO GmbH, Fotograf Martin Braun



# Konferenz-höhepunkte
# Conference Highlights

## Workshop on "Novel (2D) Materials and Their Applications"
Aachen, 17.–18.02.2025

**Der Workshop brachte Forschende zusammen, um aktuelle Entwicklungen zu diskutieren – von synthetischen 2D-Materialien über Perowskite bis hin zu Dünnschichtoxiden. Gastvorträge und eine Poster Session förderten den Austausch und setzten neue Impulse. Veranstalter waren AMO GmbH, RWTH Aachen, AG2DC und die EU-Projekte 2D-ENGINE, 2D-PL, Attoswitch, and FOXES.**

The workshop "Novel (2D) Materials and their Applications" gathered researchers from all over Europe to discuss advanced materials beyond graphene, including synthetic 2D materials, perovskites, and thin-film oxides. Invited talks and a poster session fostered exchange and fresh ideas. Organized by AMO GmbH with RWTH Aachen, AG2DC, and the EU projects 2D-ENGINE, 2D-PL, Attoswitch, and FOXES.

Bildnachweis: © AMO GmbH

## Best Exhibition Award for AMO at IEEE Chips Summit
Dresden, 14.–15.05.2025

**Auf dem ersten IEEE Chips Summit in Dresden trafen sich führende Industrievertreter und Forschende zu Keynotes, Präsentationen und Diskussionen über die entscheidende Zukunft von Chips. Ein besonderes Highlight: Der AMO-Messestand wurde mit dem Best Exhibition Award ausgezeichnet und präsentierte hier seine neuesten Forschungshighlights.**

At the first IEEE Chips Summit in Dresden, leading industry representatives and researchers gathered for keynotes, presentations, and discussions on the crucial future of chips. A special highlight: the AMO booth was honored with the Best Exhibition Award, showcasing its latest research highlights.

## A Keynote Talk and a Best Poster Award at the Device Research Conference (DRC 2025) Duke University, 22.– 25.06.2025

**AMO und ELD haben in diesem Jahr einen beeindruckenden Beitrag zur Device Research Conference (DRC 2025) an der Duke University geleistet – mit gleich mehreren Highlights. Prof. Max Lemme hielt die Keynote, Yuan Fa stellte seine Forschung in einem Vortrag vor, und Sofia Cruces wurde mit dem Best Poster Award ausgezeichnet. Herzlichen Glückwunsch an alle!**

AMO and ELD made a remarkable contribution to this year's Device Research Conference (DRC 2025) at Duke University, with several achievements to celebrate. Prof. Max Lemme delivered a Keynote Lecture, Yuan Fa presented his research in a talk, and Sofia Cruces received the Best Poster Award – congratulations to all!

# Neue Mitarbeiter*innen

## New colleagues

**Luis Schüler**
Research Associate
▸ Graphene Electronics Group

**Ali Vakili**
Student Assistant
▸ Graphene Electronics Group

**PD Dr. Dmitry N. Chigrin**
Scientific Advisor
▸ Graphene Electronics Group

**Chiu Po-Tsung**
Student Assistant
▸ Sensor Technology Group

**Deniz Lemcke**
Student Assistant
▸ Nanophotonics & Quantum Technology Group

**Werde Teil unseres Teams.** Become part of our team.

Bildnachweis: © AMO GmbH, Fotograf Martin Braun

**Willkommen!**
Welcome!



# ... und alte Bekannte

## ... and old companions

**Manfred Nettekoven**
Former Chancellor
of RWTH Aachen University
and former member
of AMO Advisory Board

„In der aktuellen geopolitischen und industriellen Lage ist das Thema ‚Next Generation Electronics' von zentraler Bedeutung für wissenschaftlichen und wirtschaftlichen Fortschritt. AMO befindet sich seit seiner Gründung genau an dieser Schnittstelle. Besonders in den letzten Jahren – vielleicht sogar im letzten Jahrzehnt – hat sich die Zusammenarbeit mit der RWTH Aachen sowie mit außeruniversitären Forschungseinrichtungen in Aachen, Deutschland und Europa deutlich intensiviert und als essenziell erwiesen. Ich habe die Entwicklung und Erfolge des Instituts über viele Jahre hinweg mit großer Freude und persönlichem Engagement begleitet. Unter der Leitung von Prof. Dr. Max Lemme, der wissenschaftliche Tiefe, ingenieurtechnisches Denken und unternehmerischen Geist vereint, ist AMO ein herausragendes Beispiel dafür, wie exzellente Grundlagenforschung gezielt zur Ermöglichung industrieller Innovation orchestriert werden kann."

"In today's geopolitical and industrial landscape, the topic of 'Next Generation Electronics' is crucial for scientific and economic progress. AMO has been positioned at this very intersection since its founding. Over the past years – perhaps even the past decade – the collaboration with RWTH Aachen and with non-university research institutions in the region, across Germany, and throughout Europe has become increasingly vital. I've had the pleasure of following AMO's development and achievements with great enthusiasm and personal commitment. Under the leadership of Prof. Dr. Max Lemme, who exemplifies the fusion of fundamental science, engineering, and entrepreneurship, AMO stands as a prime example of how cutting-edge research can be orchestrated to enable industrial innovation."

„Während meines Aufenthalts in Aachen durfte ich eine Arbeitsatmosphäre erleben, die durch die Expertise, Zusammenarbeit und Herzlichkeit des AMO- & ELD-Teams geprägt war. Ich bin sehr dankbar für die wertvolle Unterstützung, die zur Verfügung gestellten Ressourcen und die stetige Ermutigung während dieser Zeit. Der Aufenthalt war für mich fachlich wie persönlich äußerst bereichernd – und ich weiß das Engagement aller Beteiligten sehr zu schätzen."

"During my stay in Aachen, the expertise, cooperation, and kindness of the AMO & ELD team created an environment that was both welcoming and intellectually enriching. I am deeply thankful for the guidance, resources, and encouragement provided throughout my stay. It has been a truly rewarding experience, and I sincerely appreciate each contribution that helped make my research journey a success."

**Bayode Benson Adeyanju**
DAAD Fellow,
National Agency
for Science and Engineering
Infrastructure, Nigeria

**Sofia Cruces**
Research Associate, Chair
of Electronic Devices (ELD),
RWTH Aachen University

„Seit Februar 2022 arbeite ich bei ELD im Rahmen des ‚Clusters4Future NeuroSys' an neuartigen Bauelementkonzepten für neuromorphe Elektronik. Gemeinsam mit Partnern aus Wissenschaft und Industrie erforschen wir 2D-Materialien für gehirninspirierte Hardware – oft direkt vor Ort bei AMO, insbesondere im Reinraum. Ich schätze die interdisziplinäre Umgebung und die Möglichkeit, Grundlagenforschung mit Zukunftstechnologien zu verbinden."

"I joined ELD in February 2022 to work on the 'Cluster4Future NeuroSys', where we explore novel device concepts for neuromorphic computing. Within this major project, we collaborate closely with partners from academia and industry to investigate 2D materials for brain-inspired hardware. I value this interdisciplinary environment and the opportunity to bridge fundamental research with future technologies – often directly at the AMO premises, especially in the cleanroom, where ideas take shape in practice."

Bildnachweis: © Peter Winandy (Nettekoven), AMO GmbH, Martin Braun

# Facts & Figures

| | |
|---|---|
| **Gründung** | 1993 |
| **Rechtsform** | gemeinnützige GmbH |
| **Mitgliedschaften** | Johannes-Rau-Forschungsgemeinschaft e.V.<br>Landescluster NMWP.NRW<br>IVAM e.V. Fachverband für Mikrotechnik<br>Aachen Graphene & 2D Materials Center<br>Deutsche Industrieforschungsgemeinschaft<br>Konrad Zuse e.V.<br>EPIC (European Photonics Industry Consortium) |
| **Standort** | Aachen |
| **Fachgebiete** | Nanophotonik, Sensortechnologie,<br>Nanostrukturierung, 2D-Materialien,<br>Technologietransfer, Quantentechnologie,<br>Neuromorphic Computing |
| **Mitarbeiter*innen** | 86 |
| **Geschäftsführung** | Prof. Dr.-Ing. Max Christian Lemme<br>Geschäftsführer der AMO GmbH und<br>Lehrstuhlinhaber des Lehrstuhls für<br>Elektronische Bauelemente der RWTH Aachen |
| **Kontakt** | AMO GmbH Gesellschaft für<br>Angewandte Mikro- und<br>Optoelektronik mbH<br>Otto-Blumenthal-Straße 25<br>52074 Aachen<br><br>T +49 (0) 241 8867-200<br>**www.amo.de** |

AMO

JRF
MITGLIED DER Johannes-Rau-Forschungsgemeinschaft