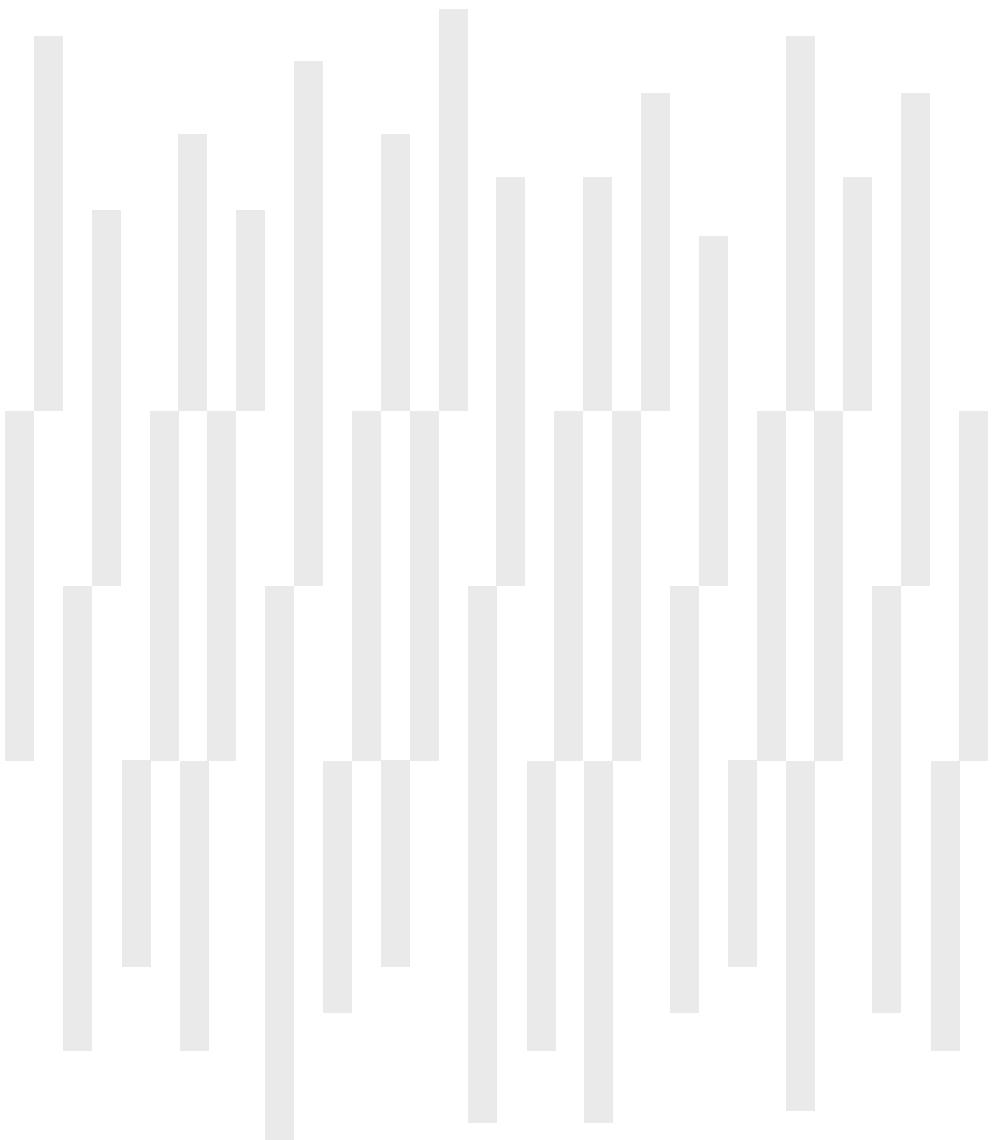




NETZ

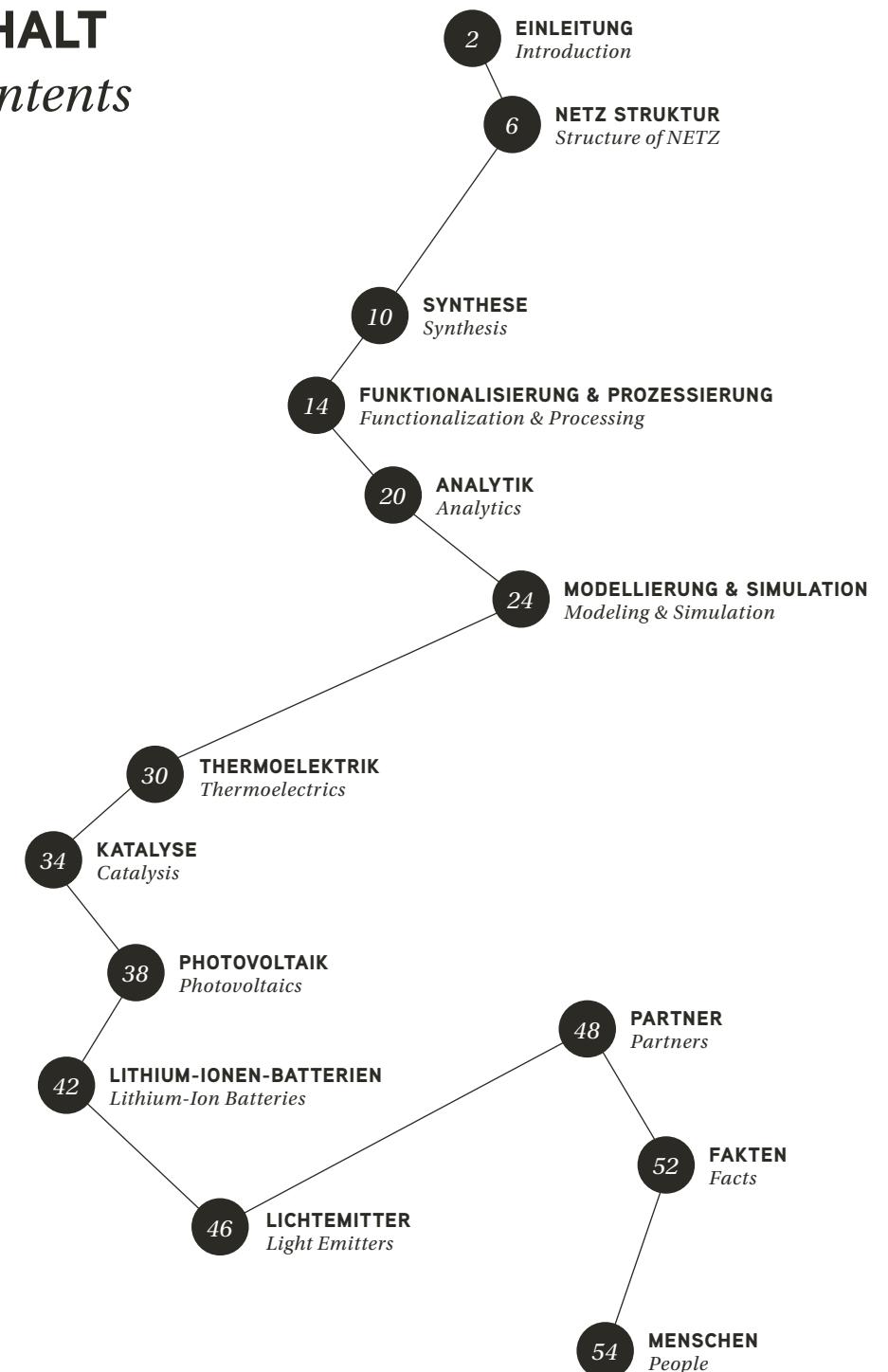
NANO
ENERGIE
TECHNIK
ZENTRUM



**NANOMATERIALIEN
FÜR DIE ENERGIE
VON MORGEN.
*Nanomaterials for
Tomorrow's Energy.***

INHALT

Contents



NUR WER SICH MIT ANDEREN ZUSAMMEN TUT, KANN NEUES ENTWICKELN.

*To create something new,
you cannot work alone.*

Die Ziele des NanoEnergieTechnikZentrums (NETZ) bauen aufeinander auf. Wir wollen ▶ neue Materialien für energietechnische Anwendungen erforschen ▶ sie im Hinblick auf industrielle Verwertung und Nachhaltigkeit untersuchen und ▶ skalierbare Verfahren zu deren Herstellung und Verarbeitung entwickeln.

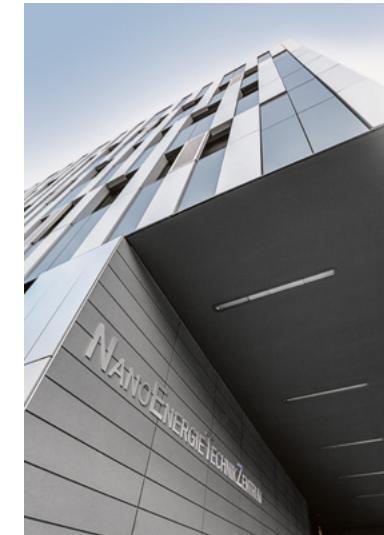
Anwendungsnahe Forschung lebt von der Rückkopplung mit denjenigen, die wissen, wo die aktuellen Herausforderungen von Technologien liegen. Die Richtwerte vorgeben, Wünsche zu Prozessen und Materialien klar benennen und bereit sind, gemeinsam mit Wissenschaftlern Lösungen der Zukunft zu entwickeln. Das NETZ bietet hierfür die

Plattform in Sachen »Materialien für die Energie von morgen«: Alle Arbeitsgruppen im NETZ beschäftigen sich mit dem Thema »NanoEnergie« – der Erforschung und Entwicklung nanostrukturierter Funktionsmaterialien für die Energietechnik. Dafür steht uns ein hochmodernes Forschungsgebäude mit rund 4.000 m² Fläche zur Verfügung, in dem zentrale Arbeiten erfolgen. Basis hierfür ist unsere hauseigene Anlage zur Gasphasensynthese von Nanomaterialien im anwendungsrelevanten Maßstab (S. 10). Spezielle

räumliche Strukturen wie »Linked Facilities« und ein hervorragend ausgestattetes Mikroskopiezentrums erlauben es, intelligente Synthese- und Verarbeitungswege für verschiedene funktionelle Nanostrukturen zu entwickeln. Dafür bilden wir im NETZ die gesamte Kette von der Synthese

**HIER LAUFEN
DIE FÄDEN VON
VISIONÄREN,
FORSCHERN UND
ENTWICKLERN
ZUSAMMEN.**

NETZ-Forschungsbau am Campus Duisburg
NETZ research building at the Duisburg Campus



der Nanomaterialien über deren Anbindung an makroskopische Strukturen bis hin zu Demonstratoren und Bauteilen ab. Chemiker, Physiker und Ingenieure arbeiten in direkter räumlicher Nähe und im persönlichen Austausch. Das NETZ bildet den Knotenpunkt für Wissenschaftler der Universität Duisburg-Essen (UDE) und kooperierender Einrichtungen, die sich mit NanoEnergie beschäftigen.

Für die Zusammenarbeit mit ausgewählten Partnern aus Industrie und Forschung stehen speziell für diesen Zweck eingerichtete Kooperationslabore zur Verfügung. Den Fokus legen wir zurzeit auf die folgenden Anwendungen: Thermoelektrik (S. 30), Katalyse (S. 34), Photovoltaik (S. 38), Lithium-Ionen-Batterien (S. 42) und Lichtemitter (LEDs, S. 46). Eine derartige Kombination aus Forschung und Anwendung in der NanoEnergie ist bisher einzigartig. Für alle Forschungs- und Anwendungsthemen, die wir Ihnen in dieser Broschüre vorstellen, gilt: Sprechen Sie uns an, wenn Sie Interesse an einer Zusammenarbeit haben! Ihr Thema passt ebenfalls in unser Spektrum, ist hier aber nicht angesprochen? Auch dann freuen wir uns über Ihre Kontaktaufnahme. Denn nur in der Kooperation zwischen Wissenschaft und industrieller Umsetzung ist anwendungsnahe Forschung möglich und sinnvoll.

Our goals at the NanoEnergyTechnologyCenter (NETZ) were designed to build on each other. Our research agenda comprises the

- creation of new materials for applications in energy technology,
- investigation of their potential for sustainable industrial use, and
- the development of scalable methods for synthesis and processing.

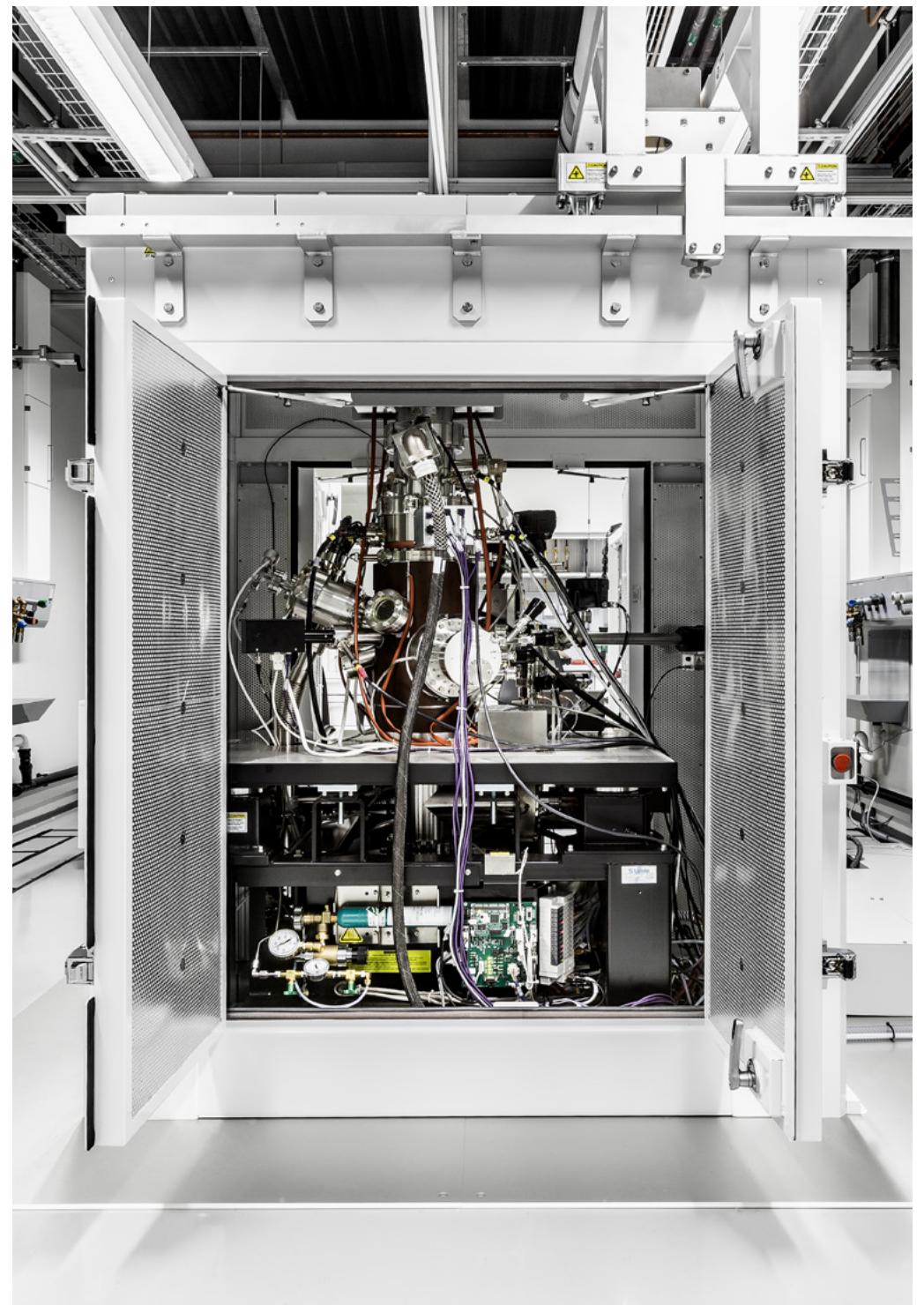
Applied research thrives on the interactions between people who understand today's technological challenges – who set benchmarks, who clearly state their requirements for processes and materials, and who are willing to work with scientists to develop solutions for the future.

NETZ provides a unique platform when it comes to »materials for tomorrow's energy.« All research groups at NETZ focus on nano-energy, the research and development of nanostructured functional materials for applications in energy technology. It was to serve this purpose that a state-of-the-art research facility with an area of roughly 4,000 square meters was developed.

**NETZ is where
the work of
visionaries,
researchers,
and inventors
comes together.**

The basis of our work is a proprietary system for the gas-phase synthesis of nanomaterials on a scale that's relevant for real-world applications (p. 12). Dedicated laboratories such as »linked facilities« and a state-of-the-art microscopy center enable us to develop advanced synthesis and processing methods for a wide range of functional nanostructures. We cover the entire chain at NETZ, from synthesizing nanomaterials and linking them to macroscopic structures all the way to devices and finished components. Chemists, physicists, and engineers all work in close proximity to one another and are able to share ideas and information. NETZ serves as a hub for scientists from the University of Duisburg-Essen (UDE) and partner institutions from the nano-energy field.

Dedicated »cooperation laboratories« have been set up to promote collaboration with selected partners from academia and industry. Currently, the focus is on the following applications: thermoelectrics (p. 32), catalysis (p. 36), photovoltaics (p. 41), lithium-ion batteries (p. 45), and light-emitting diodes (LEDs, p. 47). This close collaboration between fundamental research and applied engineering is unique in the field of nano-energy. Contact us if you are interested in working with us on any of these topics. If your area of expertise fits into our range of experience, let us know. We look forward to hearing from you.



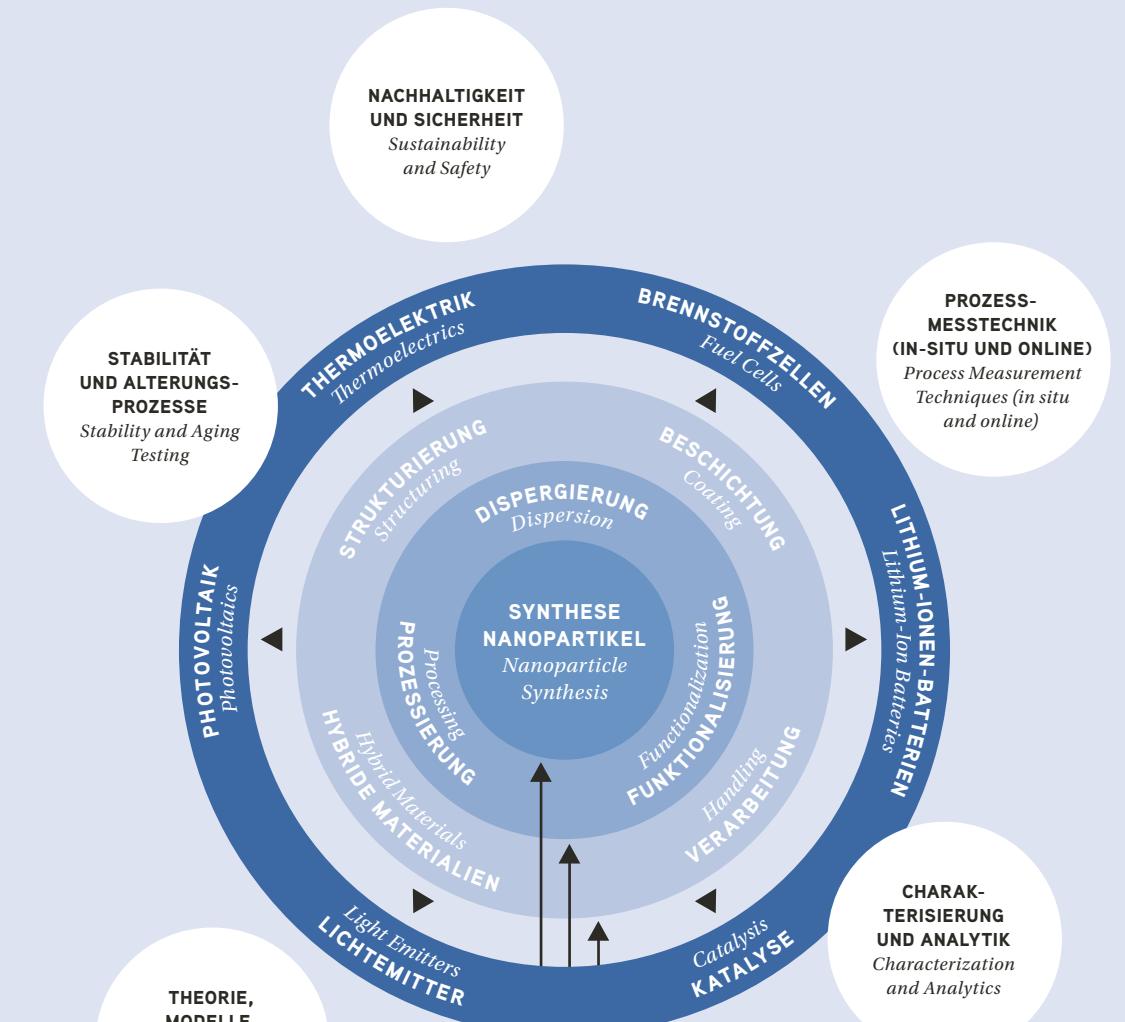
Raster-Auger-Elektronenmikroskop
scanning Auger electron microscope

UM PROZESSE ZU LENKEN, GEHEN WIR IHNEN AUF DEN GRUND.

*We get to the bottom
of processes so
we can learn how
to manage them.*

Wir wollen nachhaltige Konzepte für alle Schritte der Prozesskette entwickeln: Von der Synthese des nanostrukturierten Materials über dessen Weiterverarbeitung bis hin zur Integration in ein Bauteil. Unser Ziel ist es, die auf allen relevanten Größenskalen ablaufenden Mechanismen in jedem dieser Schritte zu analysieren und zu verstehen. Mit diesem Wissen lassen sich künftig möglichst allgemeingültige Regeln aufstellen, um die Ergebnisse der einzelnen Prozessschritte im gewünschten Sinne zu beeinflussen. Zurzeit konzentrieren wir unsere Arbeit auf die in der Abbildung dargestellten Themen.

At NETZ, we seek to develop sustainable methods for each step in the process chain: from synthesizing and refining nanostructured materials to integrating these materials into finished components and devices. In each step, we strive to analyze and understand the mechanisms that operate on every relevant scale. This expertise enables us to formulate rules that are as generally applicable as possible – and to tailor the outcome of an individual process to reach the desired goal. Our work is currently focused on the topics shown in the figure.



NETZ-Forschungsprogramm. Die Arbeitsbereiche sind in Technologieplattformen (blau), Anwendungsfelder (dunkelblau) und flankierende Maßnahmen (Kreise im Umfeld) eingeteilt.
The NETZ research agenda. The working areas are organized by technology platforms (blue), fields of application (dark blue), and accompanying measures (surrounding circles).



FOR SCHUNG

Research

WAS WIR SELBST ERSCHAFFEN, BILDET DIE GRUNDLAGE UNSERER ARBEIT.

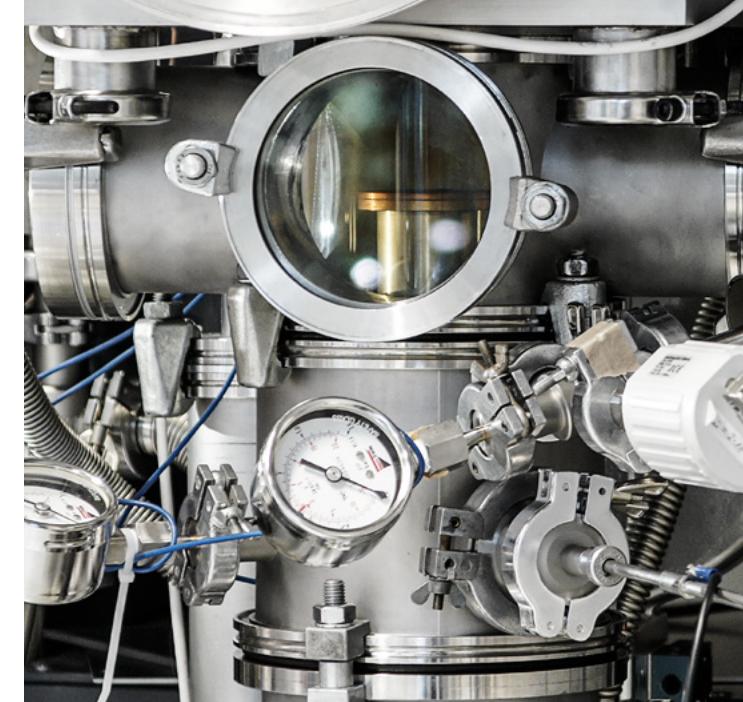
*Our own creations
form the basis for our
future work.*

GEGENSTAND UNSERER FORSCHUNG Syntheseprozesse von Nanomaterialien mit maßgeschneiderten Eigenschaften. **ZIEL** Verständnis der Entstehungs- und Wachstumsprozesse und auf dieser Basis gezielte Herstellung von Materialien mit maßgeschneiderten Eigenschaften. Dieses Wissen nutzen wir, um geeignete Prozesse bis in den industriellen Einsatz zu entwickeln.

GASPHASENSYNTHESЕ Mithilfe der Gasphasensynthese lassen sich hochreine Materialien in kontinuierlichen Prozessen erzeugen – ideale Voraussetzung für eine Skalierung in den Produktionsmaßstab. Unser Schwerpunkt liegt auf verdampfbaren Vorläufersubstanzen, wir arbeiten aber auch mit flüssigen oder festen Prekursoren, die unmittelbar vor oder in den Reaktoren (Flammen-, Plasma- und Heißwandreaktoren) in die Gasphase überführt werden. Gleichzeitig wird die energetisch hoch effiziente direkte Plasmaverdampfung mittels Lichtbogen verfolgt, da hier keine Prekursoren sondern elementares Material wie z.B. Metalle verwendet werden. Die Anlagen im Technikumsmaßstab ermöglichen die Synthese von Nanomaterialien variabler Zusammensetzung, Größe und Morphologie in technisch relevanten Mengen von bis zu 1kg/h.

Unsere Verfahrenstechnik erlaubt es, einen sehr weiten Materialbereich abzudecken. Der Schwerpunkt unserer Synthese liegt auf Halbleitermaterialien, Oxiden und mehrphasigen Kompositen.

ERZEUGUNG VON HOCHREINEN NANOMATERIALIEN IN TECHNISCH RELEVANTEN MENGEN.



Flammenreaktor zur Nanopartikelksynthese
flame reactor for nanoparticle synthesis

Über unsere umfangreiche In-situ und Online-Diagnostik erfassen wir kontinuierlich Prozess- und Produktdaten zur Analyse der Prozesse. Wir können die Materialien bereits in der Gasphase gezielt modifizieren und beispielsweise Oberflächeneigenschaften einstellen oder Aggregatstrukturen bestimmen. Ausgewählte Produkte überführen wir anschließend in die Flüssigphase, um sie handhabbar und direkt nutzbar zu machen, z. B. für Druckprozesse. In spezifischen Laboranlagen gewinnen wir Informationen über die Synthese unter idealisierten Bedingungen. In Kombination mit Ergebnissen aus der Simulation der Prozesse (S. 24) entwickeln wir daraus skalierfähige Verfahren. Die hieraus entstandenen Anlagen im Pilotmaßstab bilden ein System, das technisch genutzten Anlagen deutlich näher ist als idealisierte Laborsysteme. Die Kombination unserer Synthese im Technikumsmaßstab mit den uns zur Verfügung stehenden Analyse- und Charakterisierungssystemen ist weltweit einmalig. Daher erwarten wir für verfahrenstechnische Prozesse grundlegende Erkenntnisse, deren Reichweite weit über die unmittelbare Anwendung im NETZ hinausgeht. Die intensive Forschung zur Synthese von Metalloxiden, Metallen, Silizium- und Kohlenstoff-Spezies in der Gasphase findet bereits seit Ende der 1990er-Jahre an der UDE statt. Dabei verwenden wir auch kostengünstige Herstellungsverfahren, die sich problemlos in den Industriemaßstab hochskalieren lassen. Unsere kontrollierten Syntheseverfahren erlauben viele Materialvarianten, die sich so nur in Gasphasenprozessen realisieren lassen.

Ansprechpartner Contact
Dr. Hartmut Wiggers
hartmut.wiggers@uni-due.de
+49 203 379-8087



LASERABLATION IN DER FLÜSSIGPHASE Bei der Laserablation in der Flüssigphase wird per Laserpuls Material aus der Oberfläche eines Targets verdampft. Diese Form der Synthese funktioniert im Gegensatz zu anderen Flüssigprozessen ligandenfrei, denn es sind keine Stabilisatoren nötig und auch eine aufwändige Aufreinigung des Produkts entfällt. So stellen wir hochreine Partikel mit ligandenfreier Oberfläche her, die z.B. für die Anwendung in der Katalyse (S. 34) ideal geeignet sind.

HIGHLIGHTS

- Anlagen im Technikumsmaßstab synthetisieren bis zu 1 kg/h
- Laborreaktoren mit umfangreicher In-situ- und Online-Messtechnik
- Produktmorphologie variabel: z.B. kleine und separate Partikel oder große, weitverzweigte Aggregate
- Herstellung hochreiner Nanopartikel per Laserablation – ohne Aufwand für viele Materialien möglich

BETEILIGTE ARBEITSGRUPPEN

- Prof. Dr.-Ing. Stephan Barcikowski (Nanopartikelpolymerkomposite, Lasergenerierte Katalysatoren)
- Prof. Dr.-Ing. Einar Kruis (Plasmaverdampfung)
- Prof. Dr. Christof Schulz (Hochtemperaturkinetik)
- Dr. Hartmut Wiggers (Flammen- und Plasmareaktoren, Pilotanlagen)
- Prof. Dr. Markus Winterer (Heißwandreaktoren)

CURRENT RESEARCH Processes for synthesis of nanomaterials with customized properties. **GOAL** Our goal is to understand the formation and growth processes of nanomaterials and, based on this knowledge, to produce specific materials with tailored properties. We use this know-how to develop suitable processes all the way through to industrial applications.

GAS-PHASE SYNTHESIS Gas-phase synthesis can be used to produce extremely pure materials in continuous processes – the ideal situation for scaling up to production volumes. Our focus is on vaporizable precursors, but we also work with liquid and solid precursors that are converted to the gas phase, either immediately before, or within the reactors (flame, plasma, and hot-wall reactors). We also use direct plasma vaporization via electrical arc discharge, because this highly efficient process uses elemental materials, such as metals, instead of precursors. Pilot-plant-scale systems enable us

to synthesize nanomaterials of various compositions, sizes, and morphologies for technologically applicable quantities of up to 1 kg/h. Our process technologies allow us to produce a very wide range of materials. We primarily synthesize semiconductor materials, oxides, and multi-phasic composites.

Synthesis of highly pure nanomaterials in industrially relevant quantities.

Using extensive online and *in situ* diagnostics, we continuously record process and product data in order to analyze and improve our processes. We even have the ability to make targeted modifications to materials in the gas phase and, for example, define the surface properties or design aggregate structures. Selected products are then moved to the liquid phase, making them available for immediate use in processes such as printing. We collect data about synthesis under ideal conditions using highly specialized laboratory equipment. This data is combined with results from process simulations (p. 27) in order to better develop scalable processes. The resulting systems, on the pilot-plant scale, are significantly closer to the facilities that are in actual use in industry than idealized academic laboratories. The particular combination of synthesis on an industrially relevant scale with the analysis and characterization systems at our disposal is unmatched anywhere in the world. As a result, we expect to achieve new fundamental insights into technological processes that will extend far beyond their immediate applications within NETZ. Researchers at UDE have been conducting intensive research on the synthesis of metal oxides, metals, and silicon and carbon species in the gas phase since the late 1990s. We also implement cost-effective manufacturing processes that can easily be scaled up to industrial scale. Our controlled synthesis processes allow for many material variations that can only be achieved through gas-phase processes.

LIQUID-PHASE LASER ABLATION In liquid-phase laser ablation, a laser pulse is used to vaporize material from the surface of a target. Unlike other liquid processes, this is a ligand-free synthesis. No stabilizers are required, and thus there is no need for costly purification of the product. We are thereby able to manufacture extremely pure particles with ligand-free surfaces, which are ideally suited for applications in areas such as catalysis (p. 36).

HIGHLIGHTS

- Pilot-plant-scale systems synthesize at a rate of up to 1 kg/hour
- Laboratory reactors with extensive *in situ* and online measurement technology
- Product morphology is variable, e.g., small, separate particles or large, fractal aggregates
- Extremely pure nanoparticles are produced using laser ablation, without cost for many materials

PARTICIPATING WORK GROUPS

- Prof. Dr.-Ing. Stephan Barcikowski (nanoparticle polymer composites, laser-generated catalysts)
- Prof. Dr.-Ing. Einar Kruis (plasma vaporization)
- Prof. Dr. Christof Schulz (high-temperature kinetics)
- Dr. Hartmut Wiggers (flame and plasma reactors, pilot systems)
- Prof. Dr. Markus Winterer (hot-wall reactors)

MIT UNSEREN MASSGESCHNEIDERTEN PARTIKELN LÄUFT DIE PROZESSKETTE WIE GESCHMIERT.

The process chain is as smooth as silk, thanks to our tailored particles.

GEGENSTAND UNSERER FORSCHUNG Funktionalisierung und Prozessierung von Nanopartikeln. **ZIEL** Direkte Aufnahme gasgetragener Nanopartikel in kolloidalen Dispersionen sowie Funktionalisierung und Weiterverarbeitung in skalierbaren Prozessen zu funktionalen Schichten und Volumenkörpern.

HERSTELLUNG KOLLOIDALER DISPERSIONEN Nur in wenigen Fällen verarbeiten wir Nanopartikel direkt nach ihrer Synthese zu Festkörpern, z.B. durch Sintern. Meist folgt deren Aufnahme in eine Flüssigkeit. Die Herstellung einer kolloidalen Dispersion bietet vier entscheidende Vorteile: ► einfache und unbedenkliche Handhabung ► keine Aggregation der Partikel ► bessere und skalierfähige Weiterverarbeitung ► neue Möglichkeiten zur Analyse und Charakterisierung.

Durch langjährige Erfahrung verfügen wir über eine exzellente Expertise in der Abstimmung von Lösungsmitteln und Nanopartikeln aufeinander sowie in der Wahl der geeigneten Dispersion für die jeweils vorgesehene Anwendung. Ein wichtiges Ziel laufender Arbeiten ist es, Partikel unmittelbar aus der Gasphasensynthese in kolloidale Dispersionen zu überführen. Im Vordergrund steht die Transfermöglichkeit des Verfahrens in den industriellen Maßstab. Die Herausforderung ist



Plasmareaktor zur Synthese von nanostrukturierten Schichten
plasma reactor for synthesis of nanostructured films

Ansprechpartner Contact
Prof. Dr. Mathias Ulbricht
mathias.ulbricht@uni-due.de
+49 201 183-3151



Goldnanopartikel auf Graphenflocken
gold nanoparticles on graphene flakes

es, Synthese, Dispergierung und gegebenenfalls Funktionalisierung in einem integrierten Prozess zu ermöglichen.

FUNKTIONALISIERUNG Die Funktionalisierung bereitet die Nanopartikel für die weitere Verarbeitung vor und entscheidet über die Prozessierung der Partikel und die resultierenden Eigenschaften. Daher ist dieser Schritt – dessen Verständnis und Umsetzung – von fundamentaler Bedeutung. Mit organischen Verbindungen auf der Partikeloberfläche lassen sich kombinierte Eigenschaften einstellen, z.B. Kern/Schale. Durch das Einbringen von Polymeren in die Flüssigkeit können wir die Struktur der Dispersion zusätzlich beeinflussen oder zu stabilen Hybridmaterialien gelangen.

HIER WIRD ÜBER DIE PROZESSIERUNG DER PARTIKEL UND DIE RESULTIERENDEN EIGENSCHAFTEN ENTSCHEIDEN.

PROZESSIERUNG Wir nutzen Druck-, Press- und Sintertechniken sowie Plasma- und Laserverfahren, um Pulver, Dispersionen, Komposit- oder Hybridmaterialien zu nanostrukturierten funktionalen

Schichten oder Volumenkörpern zu verarbeiten. Für die Überführung der Dispersionen in großflächige Schichten beherrschen wir diverse Methoden wie Drucken, Sprühen, Aufrakeln, Fällen oder Verdampfen. Dazu verfügen wir über vielfältige Geräte vom Labormaßstab bis hin zu einer modularen Beschichtungsanlage im Technikumsmaßstab. Mit Laser- und Plasmaverfahren werden solche Schichten gezielt modifiziert. Dicke, Porosität, Nano- und Mesostruktur, Benetzungsverhalten und andere Eigenschaften des Nanohybridmaterials charakterisieren wir anschließend umfassend. Die Prozesskette spiegelt sich in der NETZ-Gebäudestruktur wieder: in den »Linked Facilities« sind die Labore zur Synthese,

Dispergierung, Funktionalisierung und Prozessierung von Nanomaterialien direkt miteinander verbunden, so dass die Prozesskette dort direkt umgesetzt werden kann.

HIGHLIGHTS

- Modulare Beschichtungsanlage im Technikumsmaßstab in den »Linked Facilities«
- Pikosekundenlaseranlage zur großflächigen Mikroprozessierung
- Breites Portfolio von Geräten zur Verarbeitung und Charakterisierung im Labormaßstab

BETEILIGTE ARBEITSGRUPPEN

- Dr.-Ing. Niels Benson (Laser-Materialbearbeitung, Dünnenschichtverfahren)
- Prof. Dr.-Ing. Stephan Barcikowski (Nanopartikel-Polymerkomposite)
- Prof. Dr. Jochen Gutmann (Funktionale Polymerbeschichtungen)
- Prof. Dr. Nils Hartmann (Laserprozessierung von Nanomaterialien)
- Dr.-Ing. Stefan Haep, IUTA (Nanopartikel-Abscheidung)
- Prof. Dr.-Ing. Einar Kruis (Funktionale Nanopartikel-Dünnsschichten)
- Prof. Dr. Roland Schmeichel (Diverse Dünnenschichtverfahren)
- Prof. Dr. Mathias Ulbricht (Oberflächenfunktionalisierung und Nanokomposite)
- Dr. Hartmut Wiggers (Nanopartikelsynthese und -abscheidung)
- Prof. Dr. Markus Winterer (Sinterung von Oxiden)
- Dr. Nicolas Wöhrl (Chemische Gasphasenabscheidung)

CURRENT RESEARCH Functionalization and processing of nanoparticles. **GOAL** The direct dispersion of gas-borne nanoparticles in colloidal dispersions, as well as their functionalization and further processing using scalable methods to create functional coatings and bulk materials.

PRODUCTION OF COLLOIDAL DISPERSIONS We do not generally process nanoparticles into bulk materials directly after their synthesis (by sintering, for example). Instead, they are first dispersed into a liquid. The production of a colloidal dispersion presents four distinct advantages: ► safe, easy handling, ► no aggregation of particles, ► better and more scalable further processing, such as in printing processes, and ► new possibilities for analysis and characterization.

Based on many years' experience, we have outstanding expertise in matching solvents and nanoparticles to each other and in selecting the proper dispersion for each intended application. One important objective of our ongoing work is to transfer particles directly from gas-phase synthesis to colloidal dispersions. The focus here is the scale-up of the processes to an industrial level. Ultimately, we aim to enable synthesis, dispersion, and where applicable, functionalization in one integrated process.

FUNCTIONALIZATION Functionalization yields nanoparticles for subsequent processing, and thus determines the processability of the particles and the resulting properties. Therefore, understanding and implementing this step is of fundamental importance. Combined properties (e.g., core / shell) can be obtained using specific organic compounds on the particle surface. Introducing polymers into the liquid enables us to further influence the structure of the dispersion and to achieve stable hybrid materials.

It is decided here how the particles will be processed and what the resulting properties will be.

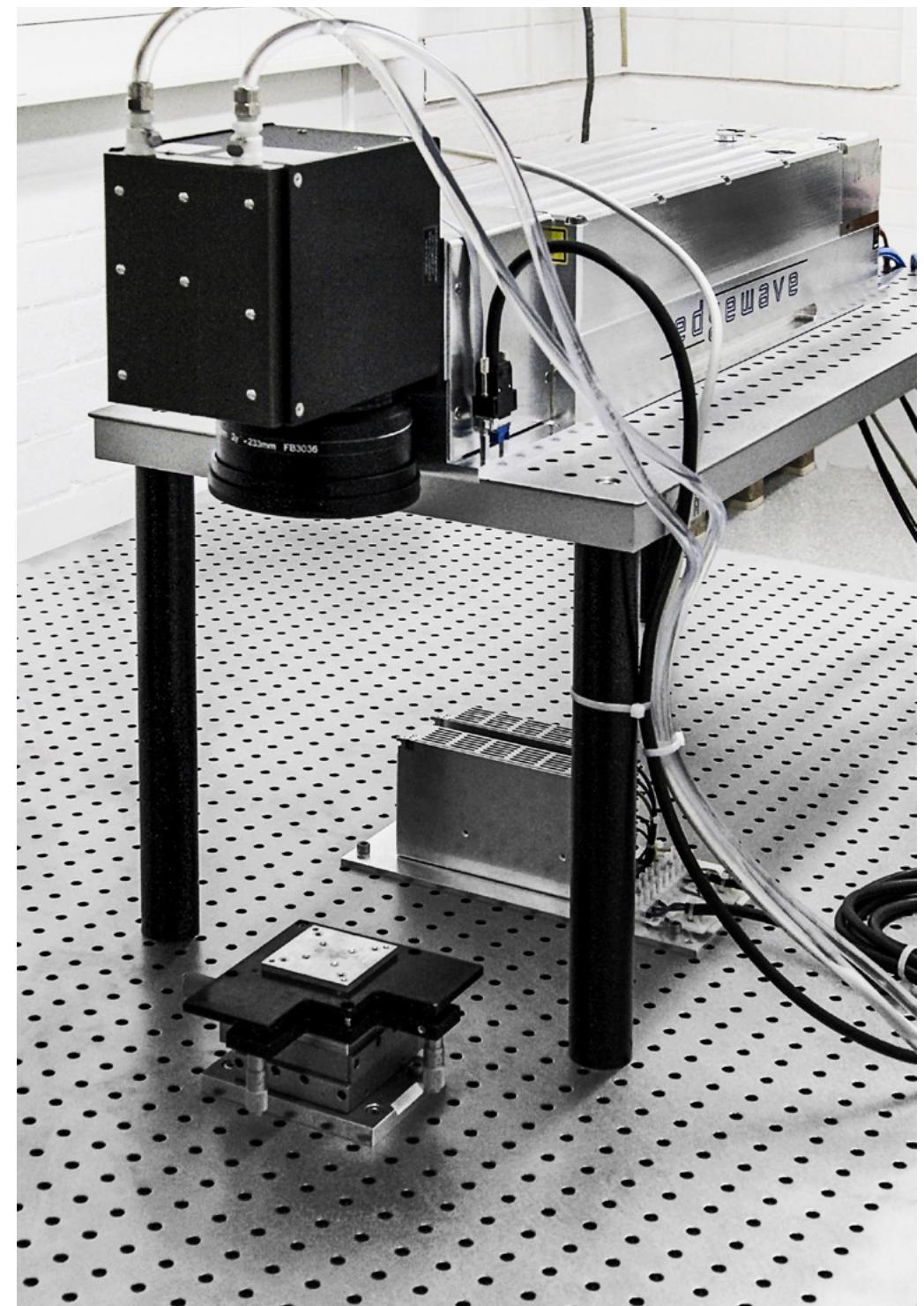
PROCESSING We use printing, pressing, and sintering techniques along with plasma and laser methods to process powders, dispersions, composites, and hybrid materials into nanostructured functional coatings and bulk materials. We also have at our disposal a variety of other methods for transferring the dispersion into large-area coatings – these include printing, spraying, casting, precipitating, and evaporation. We have a variety of equipment for this purpose, ranging in size from laboratory scale to a modular coating system at the pilot-plant scale. These coatings can be modified in a highly targeted way using laser and plasma processing. We then comprehensively characterize the density, porosity, nanostructure, mesostructure, wetting behavior, and other properties of the resulting nanohybrid material. The facilities at NETZ are organized to reflect the process chain: our »linked facilities« connect laboratories for synthesis, dispersion, functionalization, and processing of nanomaterials directly with each other, enabling the actual process chain to be fully implemented onsite.

HIGHLIGHTS

- Modular coating system at the pilot-plant scale in »linked facilities«
- Picosecond laser system for large-surface microprocessing
- Broad portfolio of devices and equipment for processing and characterization at the laboratory scale

PARTICIPATING WORK GROUPS

- Dr.-Ing. Niels Benson (laser and material processing, thin coating process)
- Prof. Dr.-Ing. Stephan Barcikowski (nanoparticle/polymer composites)
- Prof. Dr. Jochen Gutmann (functional polymer coatings)
- Prof. Dr. Nils Hartmann (laser processing of nanomaterials)
- Dr.-Ing. Stefan Haep, IUTA (nanoparticle deposition)
- Prof. Dr.-Ing. Einar Kruis (thin coatings of functional nanoparticles)
- Prof. Dr. Roland Schmechel (various thin coating processes)
- Prof. Dr. Mathias Ulbricht (surface functionalization and nanocomposites)
- Dr. Hartmut Wiggers (nanoparticle synthesis and deposition)
- Prof. Dr. Markus Winterer (processing of functional nanomaterials)
- Dr. Nicolas Wöhrl (chemical gas-phase deposition)



Hochrepetitiver Festkörperlaser für die Oberflächenbearbeitung
high-repetition-rate solid-state laser for surface modification

JEDER EINZELNE PROFITIERT, DA WIR RESSOURCEN TEILEN.

Every individual benefits when we share resources.

EIN EINZIGARTIGER GERÄTE- UND METHODENPOOL ERMÖGLICHT DIE CHARAKTERISIERUNG BIS ZUR NANOMETERSKALA.

Für diesen Ansatz verfügen wir über einen umfangreichen und einzigartigen Geräte- und Methodenpool. Neben spektroskopischen, mikroskopischen und beugungsbasierten Techniken zur strukturellen Analyse und zur Untersuchung dynamischer Prozesse bietet ICAN auch Charakterisierungsverfahren, um Zieleigenschaften wie die elektrische und thermische Leitfähigkeit, die Photoleitfähigkeit oder die optische Absorptivität von Nanomaterialien zu untersuchen. Den zentralen Schwerpunkt von ICAN bildet das Mikroskopiezentrums im NETZ-Forschungsbau. Hier gibt es spezielle Labors, in denen die hochauflösenden Mikroskopietechniken störungsfrei betrieben werden können:

GEGENSTAND UNSERER FORSCHUNG Analyse von Prozessen, Materialien und deren Eigenschaften auf der Nanometerskala.
ZIEL Mit dem zentral koordinierten Gerätezentrum Interdisciplinary Center for Analytics on the Nanoscale (ICAN) bieten wir unseren Wissenschaftlern und Kooperationspartnern die herausragende Möglichkeit, ihre Proben mit den jeweils am besten geeigneten Methoden auf der Nanometerskala analysieren zu lassen. Auf Wunsch unterstützen wir bei der Interpretation der Ergebnisse.

- ▶ Ein hochauflösendes, aberrationskorrigiertes Transmissions-Elektronenmikroskop (Cs-korrigiertes TEM) für die morphologische, chemische und strukturelle Charakterisierung auf der atomaren Längenskala
- ▶ Ein Mikrofokus-Röntgen-Photoelektronen-Spektrometer (Mikrofokus-XPS) zur Analyse der chemischen Zusammensetzung und Struktur und der Bindungskonfiguration der Elemente, z.B. des Oxidationsgrads
- ▶ Ein Flugzeit-Sekundärionen-Massenspektrometer (TOF-SIMS), um detaillierte Tiefenprofilanalysen und 3D-Analysen der chemischen Zusammensetzung mit einer Empfindlichkeit im ppm-Bereich durchzuführen
- ▶ Ein Raster-Auger-Elektronenmikroskop (SAM) zur Bestimmung der chemischen Zusammensetzung von Ober- und Grenzflächen mit höchster lateraler Auflösung bis in den Sub-10-nm-Bereich und zur schnellen Charakterisierung einzelner Nanostrukturen
- ▶ Ein Rasterkraftmikroskop/Rastersondenmikroskop (AFM/SPM) zur Vermessung von Oberflächenstruktur, -topographie und -morphologie sowie zur lateral aufgelösten quantitativen Untersuchung von chemischen, mechanischen und elektrischen/elektronischen Oberflächeneigenschaften

Ergänzt wird dieses Spektrum durch umfangreiche Methoden zur Probenpräparation und zahlreiche Analysetechniken in den einzelnen Arbeitsgruppen der CENIDE-Mitglieder. Der Zugang zu den Geräten sowie die Auftragsannahme sind zentral organisiert: www.cenide.de/ican

HIGHLIGHTS

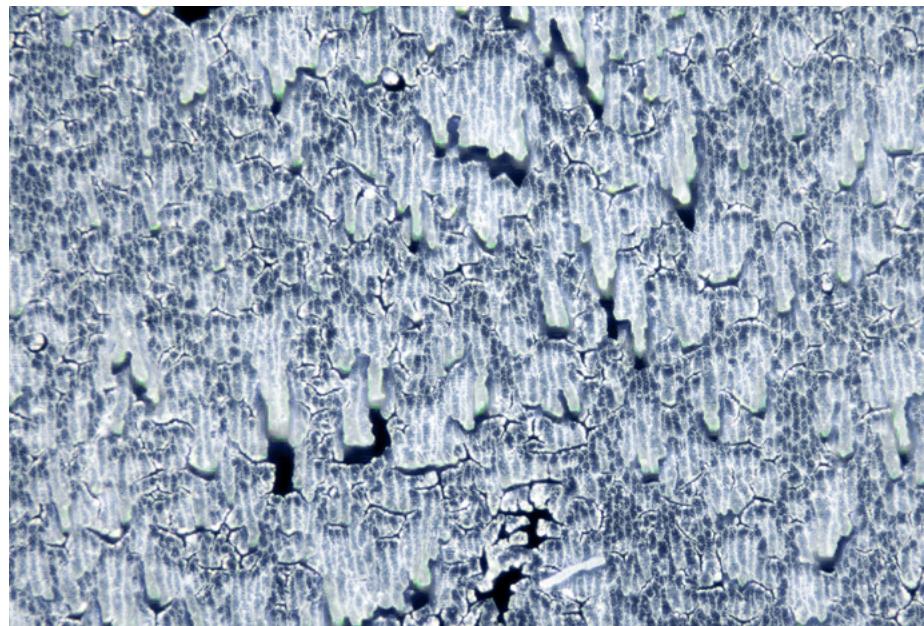
- Mikroskopiezentrums mit komplementären Methoden aus der hochauflösenden Oberflächen-/Nanoanalytik
- Organisation als DFG-Gerätezentrum (Interdisciplinary Center for Analytics on the Nanoscale, ICAN)
- Servicemessungen für interne und externe Forschergruppen

BETEILIGTE ARBEITSGRUPPEN (AUSWAHL)

- Prof. Dr.-Ing. Stephan Barcikowski (Analytische Ultrazentrifugation)
- Prof. Dr. Matthias Epple (Elektronenmikroskopie)
- Prof. Dr. Michael Farle (Transmissionselektronenmikroskopie, Magnetometrie)
- Prof. Dr. Nils Hartmann (Leiter Mikroskopiezentrums)
- Prof. Dr. Michael Horn-von Hoegen (Photoemission Electron Microscopy, Low Energy Electron Microscopy)
- Prof. Dr. Axel Lorke (Elektronenmikroskopie, Focused Ion Beam)
- Prof. Dr. Rolf Möller (Rastersondenmikroskopie)
- Prof. Dr. Hermann Nienhaus (Photoelektronenspektroskopie, Augerelektronenspektroskopie)
- Prof. Dr. Roland Schmeichel (photoelektrische, elektrische und thermische Transporteigenschaften)
- Prof. Dr. Christof Schulz (In-situ-Lasermesstechnik)
- Prof. Dr. Heiko Wende (Mößbauerspektroskopie, Röntgenabsorptionsspektroskopie)
- Prof. Dr. Andreas Wucher (Sekundärionenmassenspektrometrie)



Ansprechpartner Contact
Prof. Dr. Nils Hartmann
nils.hartmann@uni-due.de
+49 203 379-8033



Laserbearbeitete TiO_2 -Nanopartikelsschicht (Lichtmikroskopische Aufnahme)
laser-processed TiO_2 -nanoparticle film (optical micrograph)

CURRENT RESEARCH Analysis of processes, materials, and their properties on the nanometer scale. **GOAL** The Interdisciplinary Center for Analytics on the Nanoscale (ICAN) provides scientists at UDE – as well as their research collaborators – with an outstanding opportunity to analyze materials from the millimeter down to the nanoscale.

A unique and extensive pool of methods enables analytics on the nanoscale.

We have access to a unique and extensive pool of methods to facilitate this approach. Spectroscopic, microscopic, and diffraction-based techniques are available for structural analysis and to investigate dynamic processes. In addition, ICAN offers methods to characterize electrical and thermal conductivity, photoconductivity, and optical absorbance of nanomaterials. The core of ICAN is a microscopy center in the NETZ building where specialized laboratories can work isolated against environmental influences on high-resolution microscopic techniques:

- ▶ A high resolution, aberration-corrected transmission electron microscope (Cs-corrected TEM) for morphological, chemical, and structural characterization on the atomic scale
- ▶ A micro-focus x-ray photoelectron spectrometer (micro-focus XPS) for analysis of the chemical composition and structure and the bonding states of elements, such as the degree of oxidation

- ▶ A time-of-flight secondary ion mass spectrometer (TOF-SIMS) for surface characterization, depth profiling, and 3D analysis of chemical compositions with a sensitivity in the ppm range
- ▶ A scanning Auger electron microscope (SAM) for analysis of the chemical composition of surface layers and interfaces with a lateral resolution down to the sub-10 nm range and for characterization of individual nanostructures
- ▶ An atomic force microscope/scanning probe microscope (AFM/SPM) for characterization of the structure, topography, and morphology of surfaces, and for laterally resolved quantitative analysis of chemical, mechanical, and electrical/electronic surface properties

The microscopy techniques are complemented by comprehensive sample preparation and further analytical methods within each research group of CENIDE. To request analysis of your material, obtain access to the microscopy center as a user, or learn more, please visit www.cenide.de/ican

HIGHLIGHTS

- Microscopy center with complementary methods for high-resolution surface and nanoanalysis
- Organized as an open core facility funded by the German Research Foundation (DFG)
- Service measurements for internal and external research groups

INVOLVED RESEARCH GROUPS (REPRESENTATIVE SELECTION)

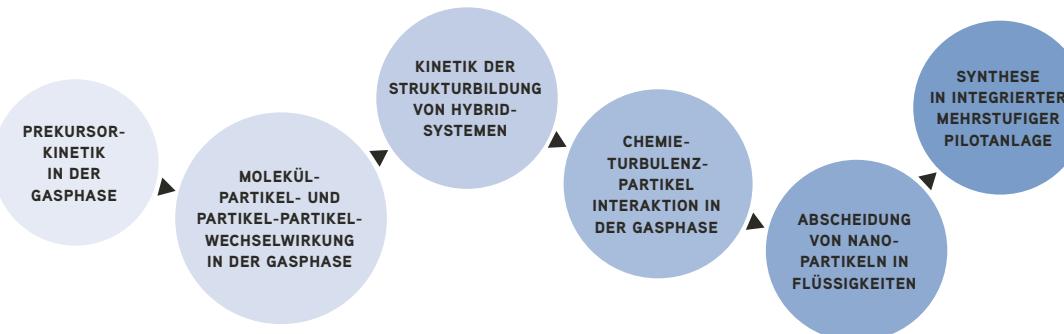
- Prof. Dr.-Ing. Stephan Barcikowski (analytical ultracentrifugation)
- Prof. Dr. Matthias Epple (electron microscopy)
- Prof. Dr. Michael Farle (transmission electron microscopy, magnetometry)
- Prof. Dr. Nils Hartmann (head of the microscopy lab)
- Prof. Dr. Michael Horn-von Hoegen (photoemission electron microscopy, low energy electron microscopy)
- Prof. Dr. Axel Lorke (electron microscopy, focused ion beam)
- Prof. Dr. Rolf Möller (scanning probe microscopy)
- Prof. Dr. Hermann Nienhaus (photoelectron spectroscopy, Auger electron spectroscopy)
- Prof. Dr. Roland Schmeichel (photoelectrical, electrical, and thermal transport properties)
- Prof. Dr. Christof Schulz (in situ laser diagnostics)
- Prof. Dr. Heiko Wende (Mössbauer spectroscopy, X-ray absorption spectroscopy)
- Prof. Dr. Andreas Wucher (secondary ion mass spectrometry)

WIR SAGEN VORAUS, WAS EXPERIMENTE DER ZUKUNFT SEHEN.

We predict what tomorrow's experiments will reveal.

GEGENSTAND UNSERER FORSCHUNG Untersuchung und Modellierung der gesamten Prozesskette der Gasphasensynthese von Nanomaterialien – von atomaren Simulationen über Modelle für Reaktionskinetik und Turbulenz-Chemie-Interaktion bis hin zum Syntheseraktor und der vorherbestimmten Einstellung von Materialeigenschaften.
ZIEL Wir entwickeln Modelle und Simulationsmethoden zur kosten-effizienten und schadstoffarmen Synthese hochspezifischer Nanomaterialien aus der Gasphase. Grundlage hierfür ist das tiefgreifende Verständnis der gesamten Prozesskette.

Alle folgenden Schritte der experimentellen Forschung begleiten wir in dem Bestreben, die Synthese und Verarbeitung physikalisch-chemisch fundiert abzubilden und zu modellieren:



Vorhersage epitaktischer Wachstumsprozesse durch selbsterlernende Monte-Carlo-Simulationen
prediction of epitaxial growth processes by self-learning kinetic Monte-Carlo simulations

Dabei arbeiten wir eng mit dem Center for Computational Sciences and Simulation (CCSS) der UDE zusammen, dessen Geschäftsstelle ebenfalls im NETZ angesiedelt ist.

HIGHLIGHTS

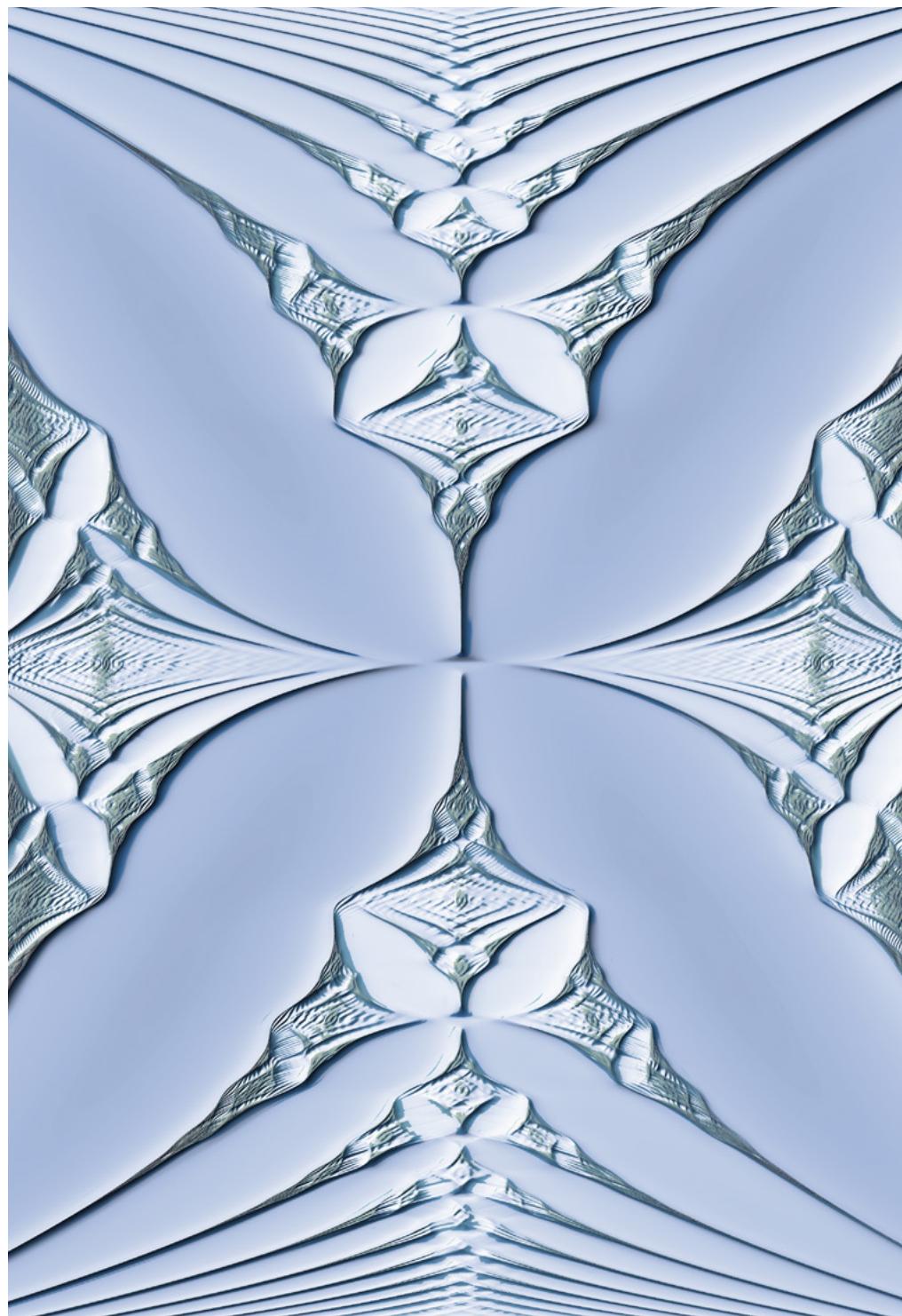
- Reduktion und Optimierung von Reaktionsmechanismen
- Simulation der Aerosoldynamik
- Grobstruktur-Simulation turbulenter Reaktoren
- Populationsbilanzmodellierung mittels kinetischer Monte-Carlo Simulationen

BETEILIGTE ARBEITSGRUPPEN

- Prof. Dr.-Ing. Andreas Kempf (Fluidodynamik, Grobstruktur-Simulation)
- Dr.-Ing. Irenäus Wlokas (Aerosoldynamik, Reaktionskinetik)
- Prof. Dr.-Ing. Einar Kruis (Populationsbilanzmodellierung)
- PD Dr. Holger Sonnitz (Quantenchemie, Precursorkinetik in der Gasphase)
- Prof. Dr. Eckhard Spohr (molekulardynamische Modellierung)
- Prof. Dr. Dietrich Wolf (Partikelmethoden)
- Prof. Dr. Markus Winterer (Prozesssimulation)

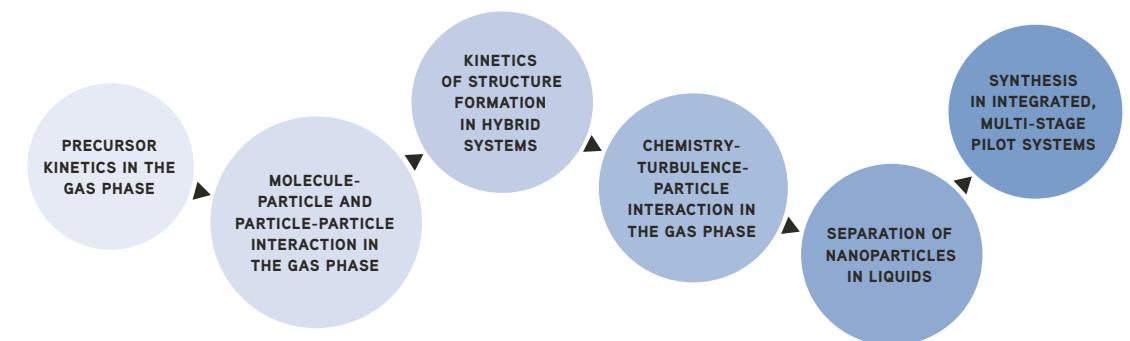


Ansprechpartner Contact
 Prof. Dr.-Ing. Andreas Kempf
 andreas.kempf@uni-due.de
 +49 203 379-8103



CURRENT RESEARCH To investigate and model the entire process chain for gas-phase synthesis of nanomaterials including atomic simulations, models for reaction kinetics, turbulence/chemistry interactions, and synthesis reactors, while setting predetermined materials properties. **GOAL** To develop models and simulation methods for the cost-effective and low-emission synthesis of highly specific gas-phase nanomaterials. This work is based on our in-depth understanding of the entire process chain.

We monitor all of the following steps of experimental research as we seek to map out and model synthesis and processing based on a sound physical/chemical foundation:



We work in close collaboration with UDE's Center for Computational Sciences and Simulation (CCSS), whose business offices are also located at the NETZ building.

HIGHLIGHTS

- Reduction and optimization of reaction mechanisms
- Simulation of aerosol dynamics
- Basic structure simulation of turbulent reactors
- Population balance modeling using kinetic Monte-Carlo simulations

PARTICIPATING WORK GROUPS

- Prof. Dr.-Ing. Andreas Kempf (fluid dynamics, large-eddy simulation)
- Dr.-Ing. Irenäus Wlokas (aerosol dynamics, reaction kinetics)
- Prof. Dr.-Ing. Einar Kruis (population balance modeling)
- PD Dr. Holger Sonnitz (quantum chemistry, precursor kinetics in the gas phase)
- Prof. Dr. Eckhard Spohr (molecular dynamic modeling)
- Prof. Dr. Dietrich Wolf (particle methods)
- Prof. Dr. Markus Winterer (process simulation)



The background image shows a modern industrial or laboratory setting. The ceiling is made of concrete with integrated linear and spot lighting. Large, dark, ribbed panels are suspended from the ceiling. A blue overhead crane beam is visible, labeled "Gloning 5 t". The room contains various industrial equipment, piping, and a metal cart. On the right, there are several windows looking out onto greenery. A large white circle containing the text is positioned in the upper left corner.

ANWENDUNG
Application

HERAUSFORDERUNGEN MEISTERN WIR, INDEM WIR UNVEREINBARES KOMBINIEREN.

*We meet challenges
by combining
the uncombinable.*

GEGENSTAND UNSERER FORSCHUNG Nachhaltige Materialien für die Thermoelektrik. **ZIEL** Mit Hilfe von Nanotechnologie thermoelektrische Eigenschaften von Materialien verbessern, wobei besonders gut verfügbare und nachhaltige Materialien im Vordergrund stehen:

- ▶ Nanostrukturiertes Silizium und Siliziumverbindungen für Temperaturen bis 600°C und höher
- ▶ Nanostrukturierte Oxide für Temperaturen bis 600°C und höher
- ▶ Molekular aufgebaute p- und n-leitende Metallchalkogenide (M_2E_3 , M=Sb, Bi; E=Se, Te) und Skutterudite (Co_3Sb) für Temperaturen bis 250°C
- ▶ Nanokristalliner Diamant: durch große Bandlücke für Anwendungen bei hohen Temperaturen >600°C geeignet, insbesondere auch als Modellsystem interessant

VERSCHIEDENE FAKULTÄTEN DER UDE MIT EINEM GEMEIN- SAMEN ZIEL.

Die thermoelektrische Forschung ist an der UDE sehr breit von der Chemie, Verfahrenstechnik über die Physik bis hin zur Elektrotechnik aufgestellt. Während sich die Chemie mit der Entwicklung neuer metallorganischer Vorstufen zur sauberen Synthese von thermoelektrischen Materialien befasst, werden in der Verfahrenstechnik industriell aufskalierbare Verfahren zur Synthese und Weiterverarbeitung von Nanomaterialien erforscht. Die Physik befasst sich mit grundlegenden Mechanismen der Wärmeausbreitung in nanoskaligen Materialien und der

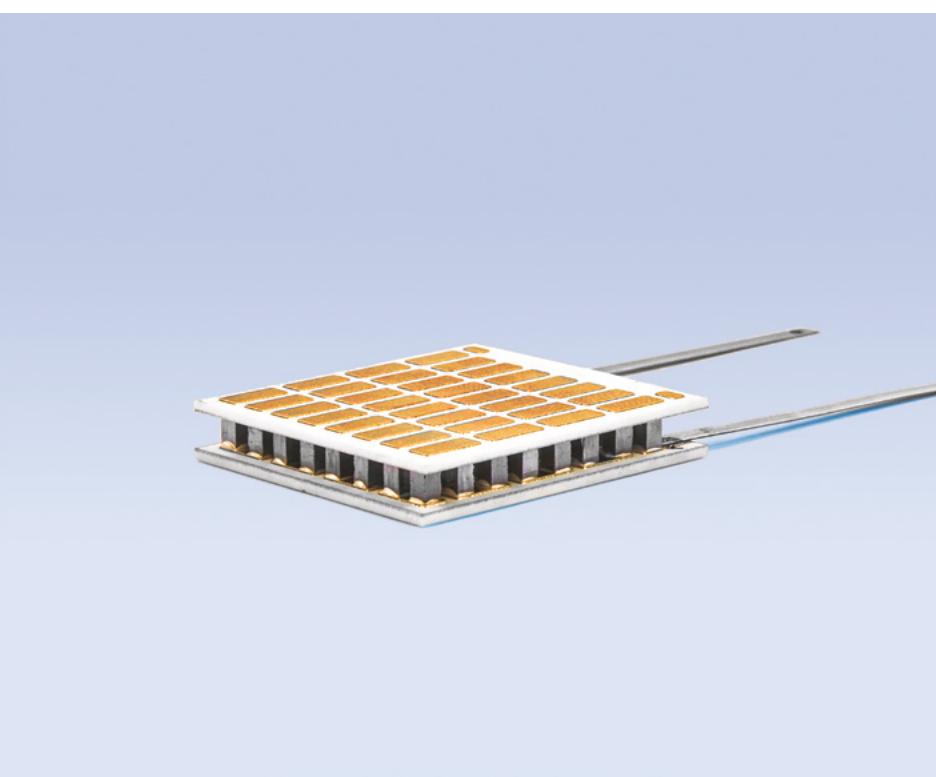
theoretischen Beschreibung thermoelektrischer Vorgänge in Materialien. Die Elektrotechnik übernimmt hingegen die thermoelektrische Charakterisierung der Materialien sowie das Design und den Aufbau von Testgeneratoren aus diesen Materialien.

HIGHLIGHTS

- Realisierung der gesamten Prozesskette von der Synthese des Materials bis zum Aufbau von Testdemonstratoren
- Innovationspreis NRW 2014 für die Entwicklung eines thermoelektrischen Generators aus nanostrukturiertem Silizium (Dr.-Ing. Gabi Schierning)
- InnoMateria Award 2012 für den ersten thermoelektrischen Generator aus NanoSilizium (UDE, IUTA, SLV)

BETEILIGTE ARBEITSGRUPPEN

- Prof. Dr. Horn-von Hoegen (experimentelle Untersuchung zur Wärmeausbreitung an Grenzflächen)
- Dr.-Ing. Gabi Schierning (Materialcharakterisierung und Generatoraufbau)
- Prof. Dr. Roland Schmeichel (thermoelektrische Charakterisierung und Generatorkonzepte)
- Prof. Dr. Stephan Schulz (Synthese metallorganischer Prekursoren für die lösungs- und gasphasenbasierte Synthese nanostrukturierter Materialien)
- Dr. Hartmut Wiggers (Gasphasensynthese von Nanopartikeln)
- Prof. Dr. Markus Winterer (Gasphasensynthese und Sinterung von Oxiden)
- Prof. Dr. Dietrich Wolf (Simulation von thermoelektrischen Transportvorgängen)
- Dr. Nicolas Wöhrl (Abscheidung von dotiertem nanokristallinem Diamant)



Ansprachpartner Contact
Dr.-Ing. Gabi Schierning
gabi.schierning@uni-due.de
+49 203 379-3296

Thermogenerator
thermogenerator

CURRENT RESEARCH Development of sustainable materials for thermoelectrics. **GOAL** To use nanotechnology to improve the thermoelectric properties of materials, with a particular focus on readily available and sustainable materials:

- ▶ Nanostructured silicon and silicon compounds for temperatures of 600°C and above
- ▶ Nanostructured oxides for temperatures up to 600°C and above
- ▶ Molecularly composed p- and n-type metal chalcogenides (M_2E_3 , M=Sb, Bi; E=Se, Te) and skutterudites (Co_3Sb) for temperatures up to 250°C
- ▶ Nanocrystalline diamond, as its large bandgap makes it well suited for applications at temperatures above 600°C, which is of particular interest as a model system

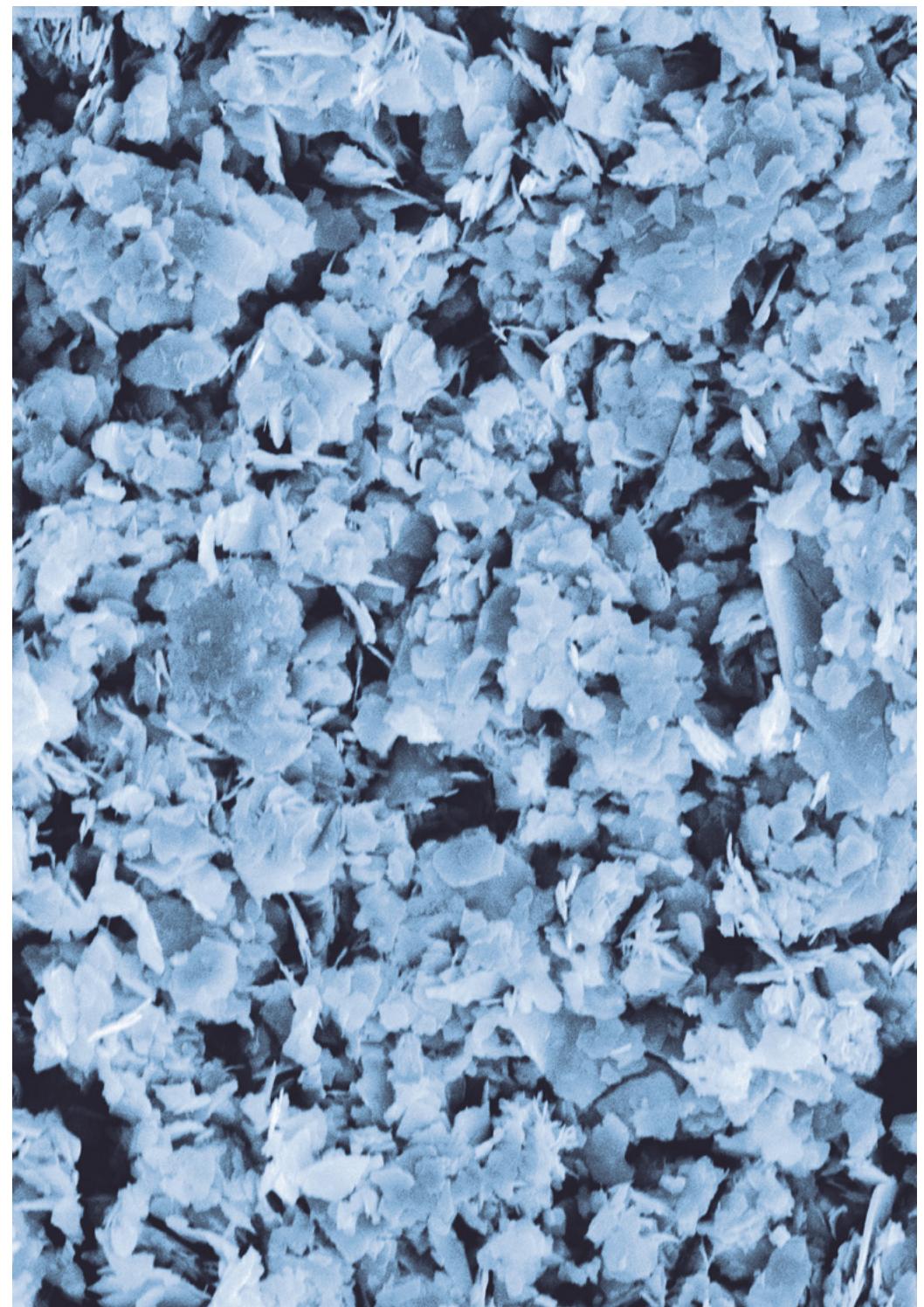
Thermoelectric research extends across a wide range of disciplines at UDE, ranging from chemistry and process engineering to physics and electrical engineering. While the Chemistry Department works to develop new organometallic precursors for clean synthesis of thermoelectric materials, the Process Engineering Department focuses on researching synthesis processes that can be scaled for industrial application and on the refinement of nanomaterials. The Physics Department focuses on the fundamental mechanisms of heat propagation within nanoscale materials and on the theoretical description of thermoelectric processes in materials. The Electrical Engineering Department is responsible for the thermoelectric characterization of materials and for designing and building test generators made from these materials.

HIGHLIGHTS

- Realization of the entire process chain, from synthesis of the material to development of test demonstration models
- 2014 North Rhine-Westphalia Innovation Award for the development of thermoelectric generators made from nanostructured silicon (awarded to Dr.-Ing. Gabi Schierning)
- 2012 InnoMateria Award for the first thermoelectric generator made from nano-silicon (UDE, IUTA, SLV)

PARTICIPATING WORK GROUPS

- Prof. Dr. Horn-von Hoegen (experimental study of heat dispersion along boundary surfaces)
- Dr.-Ing. Gabi Schierning (materials characterization and generator development)
- Prof. Dr. Roland Schmehel (thermoelectric characterization and generator designs)
- Prof. Dr. Stephan Schulz (synthesis of metal organic precursors for nanostructured materials via solution and gas-phase based processes)
- Dr. Hartmut Wiggers (gas-phase synthesis of nanoparticles)
- Prof. Dr. Markus Winterer (gas-phase synthesis and sintering of oxides)
- Prof. Dr. Dietrich Wolf (simulation of thermoelectric transport processes)
- Dr. Nicolas Wöhrl (deposition of doped nanocrystalline diamond)



Hochreine Sb_2Te_3 -Nanopartikel durch Thermolyse eines metallorganischen Präkursors in einer ionischen Flüssigkeit
high-purity Sb_2Te_3 -nanoparticles via thermolysis of metal-organic precursors in ionic liquid

INNOVATION BEDEUTET FÜR UNS, ENERGIE IN MATERIE UMZUSETZEN.

*For us, innovation means
transforming energy
into material.*



Ansprechpartner Contact
Prof. Dr. Malte Behrens
malte.behrens@uni-due.de
+49 201 183-3684

GEGENSTAND UNSERER FORSCHUNG Heterogene Katalysatormaterialien. **ZIELE** ► Aufklärung von Struktur-Aktivitätsbeziehungen nanoskaliger Übergangsmetall- und Übergangsmetallocidcluster zur Verbesserung von Photo- und Elektrokatalysatoren sowie Katalysatoren für die CO₂-Umsetzung. ► Entwicklung heterogener Katalysatoren, die mit einer Effizienz von mindestens 10% Sonnenenergie in lagerfähige chemische Verbindungen umsetzen. ► Verringerung des Edelmetallgehalts in Membranbrennstoffzellen bei gleichbleibender Aktivität.

BRENNSTOFFZELLEN Gemeinsam mit unseren Partnern im benachbarten Zentrum für BrennstoffzellenTechnik (ZBT) streben wir an, die Produktionskosten für Brennstoffzellen erheblich zu senken. So konnte der Edelmetallgehalt in Membranbrennstoffzellen durch den Einsatz von nanoskaligen Partikeln bereits auf weniger als 0,1 mg Platin pro cm² verringert werden – bei gleichbleibender Aktivität. Als Alternativen für Platin forschen wir an Core-Shell-Nanopartikeln aus einem vergleichsweise kostengünstigen Inneren und einer dünnen, aber hochreaktiven Hülle.

NANOBASIERTE HETEROGENE KATALYSATOREN FÜR DIE PHOTO- UND ELEKTROKATALYSE In Kooperation mit dem Max-Planck-Institut für Chemische Energiekonversion (MPI CEC) in Mülheim erforschen und entwickeln wir Photo- und Elektrokatalysatoren. Dazu synthetisieren wir Cluster von Übergangsmetallociden auf Trägern und

Goldnanopartikel auf Zinkoxid
gold nanoparticles on zinc oxide



Faserfixierter Organokatalysator
fiber-fixed organic catalyst

studieren ihre optoelektronischen und katalytischen Eigenschaften, inklusive der für die Katalyse relevanten Elementarprozesse. Es wird die photokatalytische Aktivität unter Bestrahlung mit sichtbarem Licht angestrebt.

CO₂ WIRD IN NÜTZLICHE BASIS- CHEMIKALIEN UMGEWANDELT.

KATALYTISCHE AKTIVIERUNG VON CO₂ Ein Hauptziel ist die Umsetzung von CO₂ in nützliche Basischemikalien der Industrie auf chemischem Weg. Im Vordergrund steht die Synthese von Methan und Methanol, da diese Stoffe in großen Mengen in der industriellen Produktion genutzt werden und als chemische Energiespeichermaterialien geeignet sind. Für die Hydrierung von CO₂ in der Gasphase werden gezielt Metallnanopartikel auf verschiedenen Trägern synthetisiert und hinsichtlich ihrer strukturellen und katalytischen Eigenchaften untersucht.

PHOTOKATALYTISCHE WASSERSPALTUNG In der photokatalytischen Wasserspaltung wird die Energie des Sonnenlichts ohne Zwischenschritt in speicherfähigen Wasserstoff umgewandelt. Per Laserablation stellen wir dazu hochreine, ligandenfreie Nanopartikel her. Diese haften sehr gut auf Trägermaterialien, benötigen keine potenziell giftigen oder deaktivierenden Stabilisatoren und bieten ihre komplette freie Oberfläche für die Reaktionen an. Die Methode lässt sich problemlos in bestehende Prozesse zur Katalysatorherstellung integrieren und funktioniert für ein breites Spektrum an Nanopartikeln auf nahezu beliebigen Trägermaterialien. Wir nutzen außerdem nasschemische Methoden, um Katalysatorpartikel auf geeigneten Halbleitermaterialien abzuscheiden und die erhaltenen Materialien in der Wasseroxidationskatalyse einzusetzen.

HIGHLIGHTS

- 500 W Femtosekundenlaser zur Herstellung von lasergenerierten Katalysatoren
- Gasphasenphotoreaktor für die Reduktion von CO₂ unter hochreinen Bedingungen mit modernster gaschromatographischer Spurenanalytik zur Aufklärung der Stoffbilanz
- Automatisierten Reaktoren für die skalierbare nasschemische Synthese von Nanokatalysatoren

BETEILIGTE ARBEITSGRUPPEN

- Prof. Dr.-Ing. Stephan Barcikowski (Lasergenerierte heterogene Katalysatoren)
- Prof. Dr. Malte Behrens (Struktur-Funktions-Beziehung nanostrukturierter Katalysatoren)
- Prof. Dr. Angelika Heinzel, ZBT (Brennstoffzellen)
- Dr. Jennifer Strunk, MPI CEC (Nanobasierte heterogene Katalysatoren)

CURRENT RESEARCH Heterogeneous catalyst materials.
GOALS ▶ To clarify the structure/activity relationships of nanoscale transition metals and transitional metal oxide clusters in order to improve photo- and electrocatalysts and catalysts for CO₂ conversion.
 ▶ To develop heterogeneous catalysts that convert solar energy into storable chemical bonds with at least 10% efficiency. ▶ To reduce the noble metal content in membrane fuel cells with no change in activity.

FUEL CELLS Together with our partners at the neighboring fuel cell research center (ZBT), we are working to significantly reduce fuel cell production costs. Using nanoscale particles, we have already reduced the noble metal content of membrane fuel cells to less than 0.1 mg of platinum per cm² while maintaining constant activity. As an alternative to platinum, we are studying core shell nanoparticles, which have comparatively inexpensive cores and thin but highly reactive shells.

NANO-BASED HETEROGENEOUS CATALYSTS FOR PHOTO- AND ELECTROCATALYSIS We are researching and developing photo- and electrocatalysis in collaboration with the Max Planck Institute for

Chemical Energy Conversion (MPI CEC) in Mülheim. For this purpose, we synthesize transition metal oxide clusters on supports and study their optoelectronic and catalytic properties, including the elementary processes relevant for catalysis. Photocatalytic activity under visible light irradiation is also being investigated.

CATALYTIC ACTIVATION OF CO₂ One of our main objectives is to convert CO₂ into useful base chemicals for industry by chemical means. The focus here is the synthesis of methane and methanol, since these materials are used in large quantities in industrial production and are suitable for use as energy storage materials. To hydrogenate CO₂, we synthesize metal nanoparticles on various carriers and study their structural and catalytic properties.

CO₂ is converted into useful base chemicals.

PHOTOCATALYTIC WATER SPLITTING In photocatalytic water splitting, energy from sunlight is converted directly into storable hydrogen, without any intermediary steps. We use laser ablation to produce extremely pure, ligand-free nanoparticles. These nanoparticles adhere very well to carrier materials, do not require potentially toxic or deactivating stabilizers, and their entire surfaces are completely free for reactions. This method can be readily integrated into existing catalyst production processes and works for a broad spectrum of nanoparticles on almost any carrier material. In addition, we use wet chemistry methods to deposit catalyst particles on suitable semiconductor materials, and then use the materials obtained from this process in water oxidation catalysis.

HIGHLIGHTS

- 500 W femtosecond laser for synthesis of laser-generated catalysts
- Gas-phase photoreactor for the reduction of CO₂ under high-purity conditions, equipped with high-end, gas-chromatographic trace-gas analysis for solving the mass balance
- Automatized reactors for the scalable wet chemical synthesis of nanocatalysts

PARTICIPATING WORK GROUPS

- Prof. Dr.-Ing. Stephan Barcikowski (laser-generated heterogeneous catalysts)
- Prof. Dr. Malte Behrens (structure-function relationship of nanostructured catalysts)
- Prof. Dr. Angelika Heinzel, ZBT (fuel cells)
- Dr. Jennifer Strunk, MPI CEC (nano-based heterogeneous catalysts)

WER AUF DIE SONNE SETZT, HAT DIE ZEIT AUF SEINER SEITE.

Rely on the sun, and time is on your side.

GEGENSTAND UNSERER FORSCHUNG Einsatz von druckbaren Materialien als funktionale Schichten in Solarzellen. **ZIEL** Minimierung der Kosten photovoltaischer Bauelemente pro kW erzeugter elektrischer Leistung durch Entwicklung von Materialkombinationen und Strukturen, die bei mindestens gleichbleibender Effizienz Material einsparen, schneller oder vereinfacht zu prozessieren sind und mehr optische Energie in nutzbare elektrische Energie umsetzen als herkömmliche Systeme.

SILIZIUM – NANOPARTIKEL FÜR PHOTOVOLTAISCHE (PV)

ANWENDUNGEN Wir streben an, n- und p-dotierte Silizium-Nanopartikel als Dünnfilme auf Fremdsubstrate (mechanisch flexibel oder starr) zu drucken und deren elektronische Eigenschaften durch Laserprozessierung so zu verbessern, dass sich diese für kosteneffiziente Dünndfilm-PV-Anwendungen eignen. Außerdem arbeiten wir daran, kristallines Silizium (Si) durch die

KOSTENEFFIZIENTE VERFAHREN FÜR MEHR ENERGIE BEI REDUZIERTEM MATERIALEINSATZ.

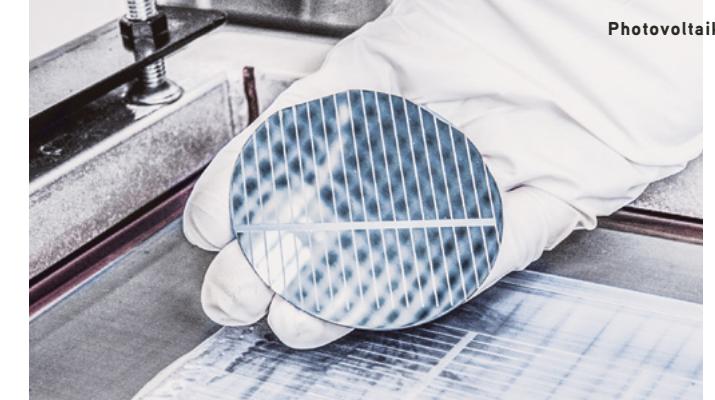
Laserbearbeitung hochdotierter Si-Nanopartikeldünnfilme für klassische Gen. 1 PV Anwendungen umzudotieren. Hierzu werden hochdotierte Si-Nanopartikel aus Dispersion abgeschieden und mit einem Laser inklusive oberflächennaher Substratschicht aufgeschmolzen. Dieser Ansatz wird durch eine vereinfachte Prozesskette mit geringer thermischer Substratbelastung eine kostengünstige Alternative zu klassischen Dotierverfahren darstellen.



Ansprechpartner *Contact*
Dr.-Ing. Niels Benson
niels.benson@uni-due.de
+49 203 379-1058



Herstellung photovoltaischer Zellen am ZHO
fabrication of photovoltaic cells at ZHO



Ansprechpartner *Contact*
Prof. Dr.-Ing. Thomas Kirchartz
t.kirchartz@fz-juelich.de
+49 2461 61-96500

ORGANISCHE SOLARZELLEN (OPV) Die niedrige Permittivität organischer Halbleiterdünnfilme begrenzt die erreichbare Konversionseffizienz organischer Solarzellen um bis zu 100%. Wir arbeiten daran, die effektive Permittivität organischer Dünnfilme durch die Integration von elektrisch isolierenden anorganischen high-k Nanostrukturen zu erhöhen und so durch Reduktion der Coulombinteraktion die Konversionseffizienz organischer Solarzellen zu verbessern. Ein weiterer Forschungsschwerpunkt liegt auf der Charakterisierung, der Modellierung und dem Verständnis der elektronischen Eigenschaften und der Verlustprozesse in organischen Solarzellen. Ziel ist es, Moleküle, Prozessparameter und Bauelementgeometrien zu identifizieren, die möglichst geringe Verluste und damit hohe Wirkungsgrade bei niedrigen Kosten ermöglichen.

HIGHLIGHTS

- 6 MW Excimer Linienlaser für großflächige Materialprozessierung
- Zwei-Photonen OBIC mit sub 10 µm Auflösung im l-Bereich von 400–2.000 nm für die ortsaufgelöste Photostromcharakterisierung mit automatisierter Fokuskorrektur
- Fachbuch zur Solarzellenmesstechnik: »Advanced Characterization Techniques for Thin Film Solar Cells« von D. Abou-Ras, T. Kirchartz und U. Rau, WileyVCH, 2011

BETEILIGTE ARBEITSGRUPPEN

- Dr.-Ing. Niels Benson (high-k Organische Photovoltaik, Anwendungen Si-Nanopartikel)
- Prof. Dr.-Ing. Thomas Kirchartz (Organische Photovoltaik)



CURRENT RESEARCH The use of printable materials as functional coatings in solar cells. **GOAL** To minimize the cost of photovoltaic components (per kilowatt of electrical power generated) by engineering material combinations and structures that save materials while maintaining equal or greater efficiency, are faster or simpler to process, and convert more optical energy into useable electrical power in comparison to conventional systems.

SILICON NANOPARTICLES FOR PHOTOVOLTAIC (PV)

APPLICATIONS Our objectives are to print *n*-doped and *p*-doped silicon nanoparticles as thin films onto foreign substrates (mechanically flexible or rigid) and to use laser processing to improve their electronic properties, making them suitable for use in cost-effective, thin-film PV applications. In addition, we are also working on doping crystalline silicon (Si) by laser processing of highly doped Si-nanoparticle thin films for conventional Gen. 1 PV applications. In the process, highly doped Si-nanoparticles are deposited from dispersion and a laser is used to melt and crystallize nanoparticles as well as a substrate near the surface layer. With its simplified process chain and minimal thermal substrate load, this approach will offer a cost-effective alternative to the conventional doping process.

Cost-effective techniques for improved energy conversion with less material.

ORGANIC SOLAR CELLS (OPV) The low permittivity of organic semiconductor thin films limits the achievable conversion efficiency of organic solar cells by up to 100%. We are working to increase the effective permittivity of organic thin films by integrating electrically isolating inorganic high-*k* nanostructures, thus improving the conversion efficiency of organic solar cells by reducing the Coulomb interaction. Another focus of our research is the characterization, modeling, and understanding of electronic properties and loss processes in organic solar cells. The goal is to identify molecules, process parameters, and component geometries that minimize loss, enabling high efficiency levels at low cost.

HIGHLIGHTS

- 6 MW excimer line laser for large-area materials and sample processing
- 2-Photon OBIC with spatial sub 10µm signal resolution within an excitation *l*-range from 400–2,000 nm for space-resolved, high-accuracy photoresponse characterization with automated active focus correction
- Textbook on solar cell measurement technology: »Advanced Characterization Techniques for Thin Film Solar Cells« by D. Abou-Ras, T. Kirchartz and U. Rau, Wiley-VCH (2011)

PARTICIPATING WORK GROUPS

- Dr.-Ing. Niels Benson (high-*k* organic photovoltaics, applications of Si-nanoparticles)
- Prof. Dr.-Ing. Thomas Kirchartz (organic photovoltaics)

KOMPETENZ BEDEUTET, LÖSUNGEN FÜR ENTGEGEN- GESETzte POLE ZU FINDEN.

*Expertise means finding
solutions for opposite poles.*

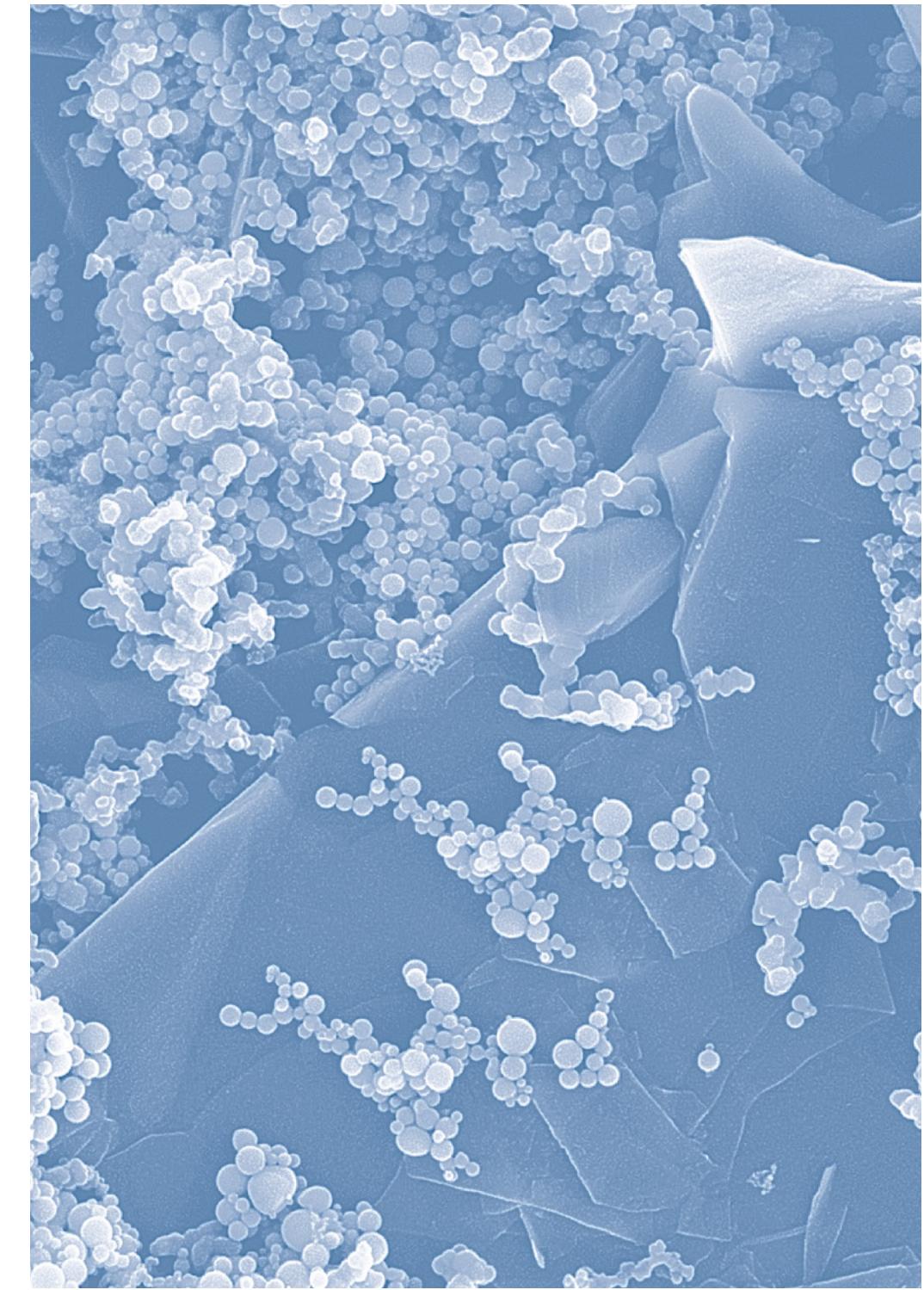
GEGENSTAND UNSERER FORSCHUNG Elektrodenmaterial für Lithium-Ionen-Batterien. **ZIEL** Gewicht, Größe, Ladezeiten und Kosten von Lithium-Ionen-Batterien sollen reduziert und gleichzeitig die Speicherkapazität im Vergleich zu konventionellen Lithium-Ionen-Batterien erheblich gesteigert werden. Mit für Mensch und Umwelt unbedenklichen Substanzen.

LEISTUNGSFÄHIGE LITHIUM-IONEN- BATTERIEN FÜR DIE HERAUS- FORDERUNGEN DER ZUKUNFT.

günstig. Nach aktuellem Kenntnisstand versprechen eingebaute Silizium-Nanopartikel höchste Stabilität. Diese stammen aus eigener Synthese, denn unsere Spezialisten können die Silizium-Nanopartikel in der hauseigenen Anlage maßschneidern und in ausreichenden Mengen zur Verfügung stellen (S. 10).

KATHODENMATERIALIEN Für die Kathode arbeiten wir an Materialien auf Basis von anorganischen Polyanionen und bivalenten Metallionen, die kostengünstig, unbedenklich und verfügbar sind. Sie

ANODENMATERIALIEN Wir streben Marktreife für langzeitstabile Anodenmaterialien mit einer Speicherdichte von mehr als 1.500 mAh/g an, die vielfältige Anwendungen in der Energiespeicherung und in Elektroantrieben ermöglichen. Unser Material der Wahl heißt Silizium – in nanokristalliner Form oder in Form von Silizium-Kohlenstoff-Kompositen: Silizium ist unbedenklich, in ausreichenden Mengen verfügbar und damit



Graphit-Silizium-Komposit als Anodenmaterial für Lithium-Ionen-Batterien
graphite-silicon composite as anode material for lithium-ion batteries

versprechen eine höhere Speicherkapazität, denn sie können pro Formeleinheit mehr Lithium-Ionen aufnehmen als heutige, konventionelle Materialien. Die an sich isolierenden Polyanionen-Verbindungen überführen wir durch Nanostrukturierung in einen leitenden Zustand. Da Polyanionen chemisch extrem stabil sind, verbinden wir sie in ihrer nanostrukturierten Form zusammen mit Kohlenstoff in einem Komposit. Wir verfügen über Testmöglichkeiten bis in industrierelevante Größenordnungen (Wh/kWh/Ah): Für Einzellektroden, aber auch für ganze Batteriepacks können wir Lebensdauer, Leistungsdichte und die Auswirkung von Umwelteinflüssen untersuchen.

HIGHLIGHTS

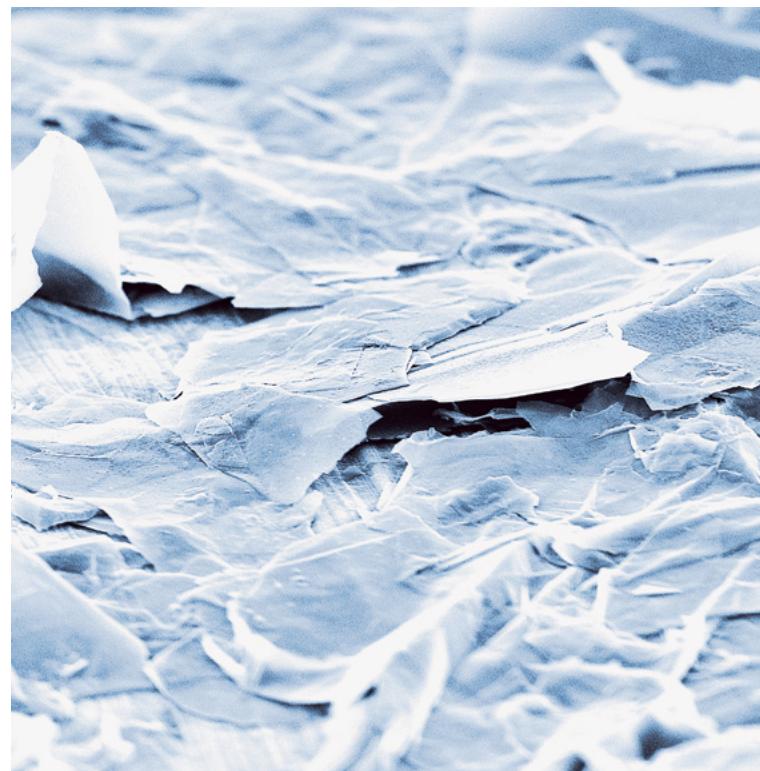
- Entwicklung einer Anode mit vierfach erhöhter Speicherkapazität im Vergleich zu klassischen Anoden
- Entwicklung von Kathodenmaterialien, die sehr hohe Entladeströme ermöglichen (Entladung von bis zu 50% ihrer Kapazität in 3 Minuten) und damit schnelles Laden sowie hohe Beschleunigung in der Elektromobilität

BETEILIGTE ARBEITSGRUPPEN

- Dr. Hartmut Wiggers (Anoden- und Kathodenmaterialien)
- Prof. Dr. Angelika Heinzel (Elektrodenformulierungen, Batterietests)



Ansprechpartner Contact
Dr. Hartmut Wiggers
hartmut.wiggers@uni-due.de
+49 203 379-8087



Mit Graphen-Nanoplatzchen beschichtete Aluminiumfolie (ZBT)
aluminum foil coated with graphene nanoplatelets (ZBT)

CURRENT RESEARCH Electrode materials for lithium-ion batteries. **GOAL** To reduce the weight, size, charging time, and costs of lithium-ion batteries and increase their storage capacity, while using only materials that are safe for humans and the environment.

ANODE MATERIALS We seek to achieve market-readiness for anode materials with long-term stability and storage density above 1,500 mAh/g that will enable diverse applications for energy storage and for electronic drives. Our material of choice is silicon in its nanocrystalline form, especially as silicon-carbon composite. Silicon as an anode material is safe and the material itself is available in abundance, which also makes it affordable. Based on the current level of knowledge, integrated silicon nanoparticles offer extreme stability. We synthesize our own silicon nanoparticles because our specialists can tailor-make them in sufficient quantities in our in-house facility (p. 12).

High performance lithium-ion batteries for the challenges of the future.

CATHODE MATERIALS We are working on materials for cathodes based on inorganic polyanions and bivalent metal ions that are cost-effective, safe, and readily available. These cathodes offer greater storage capacity because they can absorb more lithium ions per formula unit than today's conventional materials. Polyanions exhibit extraordinary chemical stability, and we transform the isolating polyanion units into an electrically-conductive state via nanostructuring towards a composite with carbon. We have testing capabilities that range up to the capacity needed for industrial applications (Wh/kWh/Ah). We are able to study lifespans, power densities, and environmental effects, whether in individual electrodes or entire battery packs.

HIGHLIGHTS

- Development of an anode with quadruple the storage capacity of conventional anodes
- Development of cathode materials that enable very high discharge currents (discharge of up to 50% of its capacity in 3 minutes), achieving both rapid charging and rapid acceleration in electromobility

PARTICIPATING WORK GROUPS

- Dr. Hartmut Wiggers (anode and cathode materials)
- Prof. Dr. Angelika Heinzel (electrode formulations, battery tests)

WIR NUTZEN DIE ERFAHRUNG VON HEUTE, UM DIE BELEUCHTUNG VON MORGEN ZU ENTWICKELN.

*We use today's experience
to light up tomorrow's world.*

GEGENSTAND UNSERER FORSCHUNG Anwendung von anorganischen Nanostrukturen in Lichtemittern. **ZIEL** Entwicklung der nächsten Generation von Lichtemittern: großflächig, langzeitstabil und robust gegenüber Umwelteinflüssen.

Gemeinsam mit der OSRAM GmbH entwickeln wir auf Basis anorganischer Nanostrukturen großflächige weiße LED-Prototypen, um gleichmäßiges, flächiges Leuchten zu erzeugen. Hierfür verknüpfen wir robuste, langlebige Halbleiter-Nanokristalle mit den flexiblen Eigenschaften organischer Lichtemitter, die sich zum Beispiel als großflächige Beschichtung auf unterschiedliche Substrate aufbringen lassen. Metall-oxid-Nanopartikel finden Verwendung zur Ladungsträgerinjektion und zum Ladungsträgertransport, Graphen als transparente Elektrode und Quantenpunkte (QDs) als aktive Schicht. Besonders wichtig ist es, dass die ausgewählten Materialien nicht nur langzeitstabil, sondern auch umweltverträglich sind. Die von uns eingesetzten Verfahren sind bewusst kostengünstig und industriegeeignet. Durch die direkte Kooperation mit OSRAM unterziehen wir diese Industrierelevanz einem stetigen Test.

HIGHLIGHTS

- Weiße, komplett anorganische Nanopartikel-LEDs, QD-LEDs, ITO-freie QD-LEDs mit einer Graphen-Elektrode (SPIE 2014 Green Photonics Award for Solid State Lighting and Displays)
- Schichtanalytik, kontaktfreie 3D-Oberflächencharakterisierung nach ISO 25178 mit einer Auflösung $\leq 1\text{ nm}$
- LED-Messtechnik: Analyse des Lumineszenzspektrums (nach CIE-Normfarbsystem), Effizienz, Strahlungsleistung ($\leq 1\text{ nW}$), Leuchtdichte ($< 10^{-3}\text{ cd/m}^2$), etc.



Nanoskalige Leuchtmittel für den Einsatz in großflächigen LEDs
nanoscaled light emitters for applications in large-area LEDs



Ansprechpartner
Contact
Dr.-Ing. Ekaterina Nannen
ekaterina.nannen@uni-due.de
+49 203 379-8027

BETEILIGTE ARBEITSGRUPPEN

- Dr.-Ing. Ekaterina Nannen (Entwicklung und Test neuartiger Bauelementkonzepte)
- OSRAM GmbH (Entwicklung & Test der Bauelemente, Materialentwicklung, Materialanalytik)
- Prof. Dr. Gerd Bacher (Graphen, Materialanalytik, Grundlagenforschung an Nanostrukturen)

CURRENT RESEARCH Inorganic nanostructures in light emitters. **GOAL** We seek to develop the next generation of light emitters, which will feature large-area emission, long-term stability, and the ability to weather environmental effects.

Working jointly with OSRAM GmbH, we are engineering large-scale white LED prototypes based on inorganic nanostructures that can generate homogeneous luminescence over a large area. This work combines the strength and reliability of semiconductor nanocrystals with the flexible properties of organic light emitters, which can be applied as a broad surface coating on various substrates. For example, metal oxide nanoparticles are used for charge carrier injection and for charge carrier transport; graphene is used as a transparent electrode and quantum dots (QDs) as the active layer. Two of the most pressing priorities are to ensure that the selected materials have long-term stability and are environmentally safe. The processes that we employ are designed to be cost-effective and suitable for industrial applications. By working in direct collaboration with OSRAM, we are continuously testing and improving the industrial relevance.

HIGHLIGHTS

- White, completely inorganic nanoparticle LEDs, QD LEDs, and ITO-free QD LEDs with a graphene electrode (SPIE 2014 Green Photonics Award for Solid State Lighting and Displays)
- Surface and thin layer analysis, contact-free 3D-surface characteristics according to ISO 25178 with a resolution $\leq 1\text{ nm}$
- LED measurement: analysis of the luminescence spectrum (CIE standard color system), efficiency, performance power ($\leq 1\text{ nW}$), luminance ($< 10^{-3}\text{ cd/m}^2$), etc.

PARTICIPATING WORK GROUPS

- Dr.-Ing. Ekaterina Nannen (development and testing of new device designs)
- OSRAM GmbH (development and testing of structural elements, material engineering, material analysis, and development and testing of devices)
- Prof. Dr. Gerd Bacher (graphene, material analysis, and basic research on nanostructures)

ERST IM TEAM IST MAN STARK, WEISS MAN IM RUHRGEBIET.

*We in the Ruhr Area know
that you can only be strong
within a team.*

Wir sind Forscher mit Leib und Seele. In unseren Themenfeldern sind wir Experten und gestalten den »State of the Art« mit. Unsere Ziele in Forschung und Entwicklung stimmen wir auf die Bedürfnisse des Marktes ab. Daher arbeiten wir in den Anwendungsthemen eng mit Kollegen aus verwandten Forschungseinrichtungen und Partnern aus der Industrie zusammen.

Der Standort des NETZ Forschungsbau ist ideal für die Zusammenarbeit: Direkt nebenan liegen das Zentrum für Brennstoffzellen-Technik (ZBT), das Zentrum für Halbleitertechnik und Optoelektronik (ZHO) sowie Büros und Labore der Physiker und Ingenieure der Universität. Das Institut für Energie- und Umwelttechnik (IUTA)

liegt wenige Kilometer entfernt auf der anderen Rheinseite.

Darüber hinaus ermöglicht das Ruhrgebiet vielfältige Kooperationsmöglichkeiten mit den Nachbar-Universitäten in Bochum (RUB) und Dortmund (TU Dortmund) im Bereich der Materialentwicklung und -charakterisierung, die unter dem

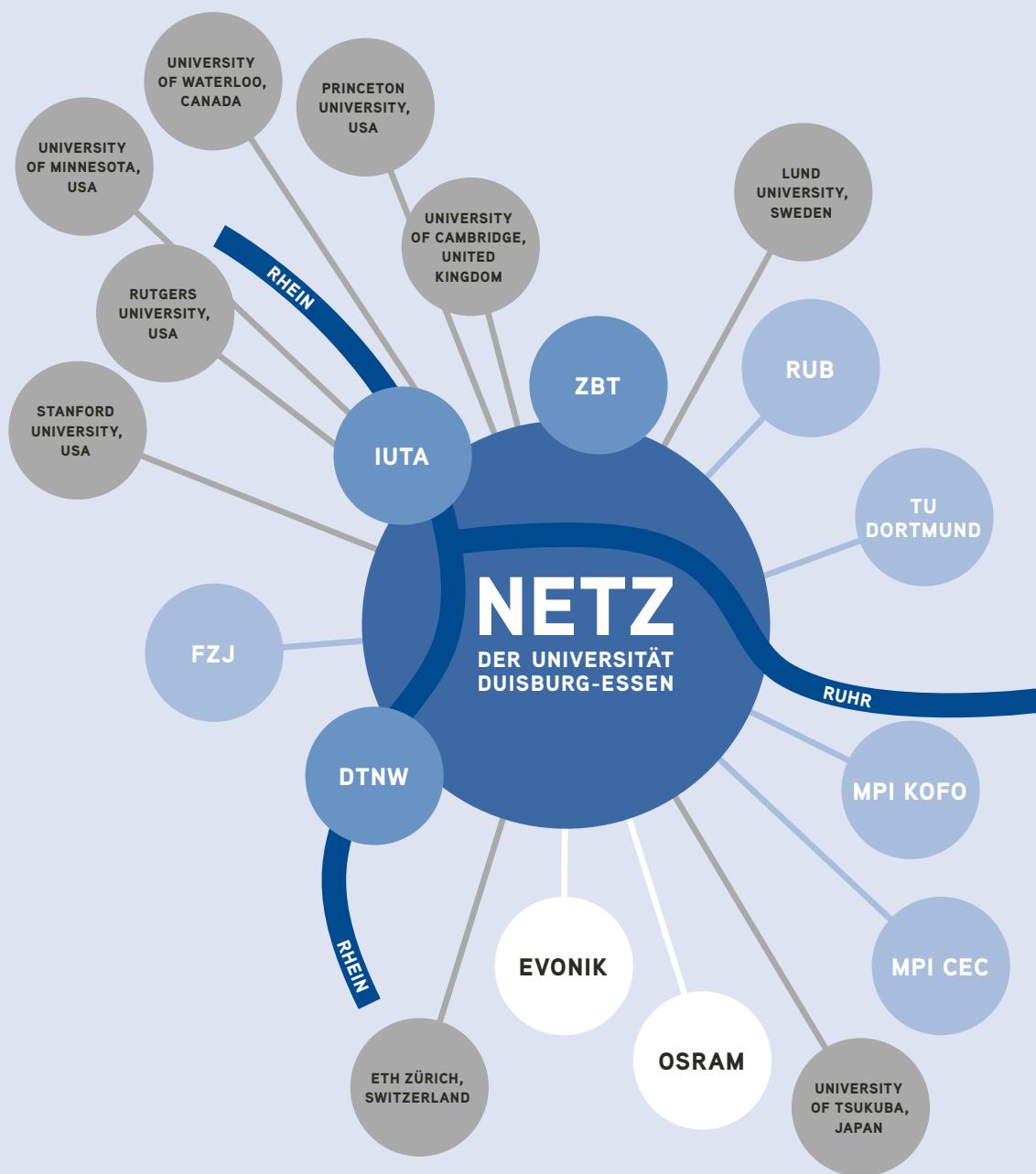
Dach der Universitätsallianz Ruhr (UA Ruhr) gebündelt werden. Im benachbarten Mülheim an der Ruhr arbeiten wir mit den Kollegen der beiden dort ansässigen Max-Planck-Institute für Kohlenforschung (MPI KOFO) bzw. für chemische Energiekonversion (MPI CEC) zusammen. Eine gemeinsame Nachwuchsgruppe mit dem MPI CEC zum Thema »Katalyse« hat im Oktober 2014 ihre Arbeit im NETZ aufgenommen. Mit dem Forschungszentrum Jülich (FZJ) und der

WIR SIND FORSCHER MIT LEIB UND SEELE.



OSRAM GmbH haben wir gemeinsame Arbeitsgruppen zu den Themen »Photovoltaik« (FZJ) und »LED« (OSRAM) gegründet. Beide sind ebenfalls im NETZ vertreten. International kooperieren wir mit herausragenden Universitäten aus Europa, Nordamerika und Asien – z.B. Cambridge (Großbritannien), ETH Zürich (Schweiz), Lund (Schweden), Minneapolis, Princeton, Rutgers, Stanford (alle USA), Waterloo (Kanada) und Tsukuba (Japan). Die Kooperationen umfassen dabei den Austausch von Nachwuchswissenschaftlern, Gastprofessuren, gemeinsame Workshops und die Durchführung größerer Forschungsprojekte. Um über den regelmäßigen Austausch hinaus auch die unmittelbare Zusammenarbeit zu ermöglichen, stellen wir ausgewählten Partnern für die Dauer gemeinsamer Projekte Büros und Labors im NETZ zur Verfügung. Denn Seite an Seite im Labor eine neue Methode zu entwickeln oder ein Bauteil zu testen, ist effektiver als die schnellste Kommunikation per E-Mail oder Telefon.

*At NETZ, we are passionate researchers, through and through.
We are experts in our fields who are committed to pushing the current*



- An-Institute der UDE UDE Associated Institutes
- Kooperierende Universitäten und Forschungseinrichtungen Partner Universities and Research Centers
- Kooperationspartner aus der Industrie Industry Partners
- Internationale universitäre Kooperationspartner International University Partners

DTNW	Deutsches Textilforschungszentrum Nord-West e.V. Deutsches Textilforschungszentrum Nord-West e.V.
FZJ	Forschungszentrum Jülich Forschungszentrum Jülich
IUTA	Institut für Energie- und Umwelttechnik e.V. Institute of Energy and Environmental Technology e.V.
MPI CEC	Max-Planck-Institut für Chemische Energiekonversion Max Planck Institute for Chemical Energy Conversion
MPI KOFO	Max-Planck-Institut für Kohlenforschung Max Planck Institute for Coal Research
RUB	Ruhr-Universität Bochum Ruhr-Universität Bochum
TU DORTMUND	Technische Universität Dortmund TU Dortmund University
ZBT	Zentrum für BrennstoffzellenTechnik GmbH The fuel cell research center ZBT GmbH

limits of technology. Our research and development goals reflect market needs, which is why we work in close collaboration with our colleagues and partners from affiliated research institutions and industry.

Located in the center of the Duisburg Campus, the NETZ site is ideal for collaboration. Directly adjacent are the fuel cell research center (ZBT), the Center for Semiconductor Technology and Optoelectronics (ZHO), and the offices and laboratories of UDE's Physics and Engineering Department. The Institute of Energy and Environmental Technology (IUTA) is located a few kilometers away, on the opposite side of the Rhine River. In addition, we have a large number of collaborations within the Ruhr Area in the field of development and characterization of materials, including with our neighboring universities in Bochum (RUB) and Dortmund (TU Dortmund), all partners of the University Alliance Ruhr (UA Ruhr). In the neighboring city of Mülheim an der Ruhr, we work with colleagues from the Max Planck Institutes for Coal Research (MPI KOFO) and for Chemical Energy Conversion (MPI CEC). In October 2014, a joint research group on catalysis was established between the MPI CEC and NETZ. We have also established working groups located at NETZ to study photovoltaics and LEDs with Forschungszentrum Jülich (FZJ) and OSRAM GmbH, respectively.

On an international level, we collaborate with a number of outstanding universities in Europe, North America, and Asia, such as Cambridge (Great Britain); ETH Zürich (Switzerland); Lund (Sweden); Minneapolis, Princeton, Rutgers, and Stanford (all USA); Waterloo (Canada); and Tsukuba (Japan). The cooperation includes the exchange of students, junior scientists, and guest professors, as well as joint workshops and research projects. To foster direct collaboration above and beyond the regular exchanges, we provide offices and laboratories at NETZ to selected partners for the duration of joint projects. We know that when developing a new method or testing a component, nothing is more effective than working side-by-side in the lab.

We are researchers to the core.

ES SIND LEDIGLICH STOCKWERKE, DIE ZWISCHEN FORSCHUNG UND ANWENDUNG LIEGEN.

Research and application are just floors apart.

STANDORT Location

Campus Duisburg der UDE direkt umgeben vom Zentrum für BrennstoffzellenTechnik (ZBT), dem Zentrum für Halbleitertechnik und Optoelektronik (ZHO) sowie den Fakultäten für Physik und Ingenieurwissenschaften

The Duisburg Campus of the University of Duisburg-Essen is in close proximity to partner institutes like the fuel cell research center (ZBT), the Center for Semiconductor Technology and Optoelectronics (ZHO), and the Departments of Physics and Engineering

BASIS DER FORSCHUNG Basis of Research

INTER-DISziplinäre BELEGUNG Interdisciplinary Collaboration

Hauseigene Syntheseanlagen für Nanomaterialien aus der Gasphase im Technikumsmaßstab mit direkt angeschlossenen »Linked Facilities«

In-house gas-phase synthesis facilities for nanomaterials on the pilot-plant scale that sits directly next to »linked facilities«

FUNKTION Function

Zentrum für die Analyse und Entwicklung von funktionalen Nanomaterialien für die nachhaltige Energietechnik

A center for the development and analysis of functional nanomaterials for sustainable energy applications and technology

FLÄCHE Size

3.900 m² Hauptnutzfläche mit 36 Laboren, 66 Büros, einem High-Tech-Mikroskopiezentrums sowie Kommunikationsflächen

3,900 square meters of useable space, including 36 labs, 66 offices, a high-tech microscopy center, and conference rooms

DYNAMIK Dynamic Environment

Arbeitsgruppen ziehen nur für einen begrenzten Projektzeitraum ein, damit NETZ flexibel ist und offen bleibt für neue Entwicklungen und Forschungsrichtungen

Working groups stay at NETZ for a limited project period – this approach ensures that NETZ is flexible and remains open to new developments and fields of research

FINANZIERUNG Investment

46 Mio. € (32,1 Mio. € Bau, 5,7 Mio. € Ersteinrichtung, 8,1 Mio. € Großgeräte), eingeworben im bundesweiten Wettbewerb; finanziert vom Land NRW und Bund

EUR 46 million (EUR 32.1 million for construction; EUR 5.7 million for initial set-up; EUR 8.1 million for state-of-the-art equipment), awarded through a competitive funding scheme of the state of North Rhine-Westphalia and the Federal Republic of Germany

TECHNISCHE UND BAULICHE BESONDERHEITEN Technical and Structural Highlights

Hochmodernes Mikroskopiezentrums, mechanisch und elektromagnetisch abgeschirmt

State-of-the-art, mechanically and electromagnetically shielded microscopy laboratories

»Linked facilities« (verbundene Labore) für eine Synthese- und Verarbeitungskette im Technikumsmaßstab

»Linked facilities« (connected laboratories) for creating a synthesis and processing chain at the pilot-plant level

Räume für Besprechungen und Veranstaltungen bis 100 Personen

Meeting and conference rooms for up to 100 participants

Photovoltaikanlage erzeugt elektrischen Strom

Solar panel system for electrical power generation

Hocheffektive Wärmetauscher nutzen Umgebungstemperatur bis -10°C zum Heizen des Gebäudes, zudem wird Abwärme der Geräte wiederverwertet

Sustainable heating system, using waste heat from equipment and machinery

FEBRUAR 2013 February 2013

ERÖFFNUNG Opening Date

Bewitterungs-Testfläche für funktionale Beschichtungen aller Art

Weathering test area for various functional coatings

**OB SIE INTERESSE AN KOOPERATIONEN,
PROJEKTEN ODER WEITERGEHENDEN
INFORMATIONEN HABEN, SICH FÜR UNSERE
FORSCHUNGSTHEMEN ODER DAS MIKRO-
SKOPIEZENTRUM INTERESSIEREN –
WIR SIND NUR EINEN ANRUF ENTFERNT!**

*Have we sparked your interest in collaboration,
our facilities, or our projects? Would you
like further information? Would you like to
learn more about our areas of research or
the capabilities of our microscopy center?
We're only a phone call - or an email - away!*



1 2
3



PROF. DR. CHRISTOF SCHULZ
Wissenschaftlicher Direktor | *Scientific Director*
christof.schulz@uni-due.de | +49 203 379-8161
Ansprechpartner für wissenschaftliche Kontakte
Contact for research

DR. MARION FRANKE
Koordinatorin | *Coordinator*
marion.franke@uni-due.de | +49 203 379-8182
Ansprechpartner für industrielle Kontakte
Contact for industry

PROF. DR. NILS HARTMANN
Leiter des Mikroskopiezentrums | *Head of the Microscopy Center*
nils.hartmann@uni-due.de | +49 203 379-8033
Ansprechpartner für Analysefragen
Contact for analysis

NETZ is a research center of CENIDE



CENIDE – Center for Nanointegration Duisburg-Essen
Universität Duisburg-Essen | NanoEnergieTechnikZentrum
Carl-Benz-Straße 199 | 47057 Duisburg
+49 203 379-8180 | cenide@uni-due.de | www.cenide.de

UNIVERSITÄT
DUISBURG
ESSEN

Offen im Denken