



OTTO VON GUERICKE
UNIVERSITÄT
MAGDEBURG

VST

FAKULTÄT FÜR VERFAHRENS-
UND SYSTEMTECHNIK

Forschungsbericht 2024

Institut für Chemie

INSTITUT FÜR CHEMIE

Universitätsplatz 2, 39106 Magdeburg

1. LEITUNG

Prof. Dr. rer. nat. Julian Thiele (Institutsleitung)

Dr. rer. nat. habil. Christian Hering-Junghans

Prof. Dr. rer. nat. Jan von Langermann

Prof. Dr. rer. nat. Franziska Scheffler

Prof. Dr. rer. biol. hum. Heike Walles

Prof. Dr. rer. nat. habil. Helmut Weiß

2. HOCHSCHULLEHRER/INNEN

Hon.-Prof. Dr. Ernst R.F. Gesing

apl. Prof. Dr. Edgar Haak

Dr. rer. nat. habil. Christian Hering-Junghans

Prof. Dr. rer. nat. habil. Jan von Langermann

Prof. Dr. rer. nat. Franziska Scheffler

Seniorprof. Dr. rer. nat. habil. Dieter Schinzer

Prof. Dr. rer. nat. Julian Thiele

PD Dr. rer. nat. habil. Jochen Vogt

Prof. Dr. rer. biol. hum. Heike Walles

Prof. Dr. rer. nat. habil. Helmut Weiß

3. FORSCHUNGSPROFIL

Das Institut für Chemie (ICH) an der OVGU besteht aus 7 Arbeitsgruppen/Lehrstühlen und insgesamt ca. 45 Mitarbeiter*innen. Die Forschungsthemen reichen dabei von Naturstoffsynthese, makromolekularer Chemie, additiver Fertigung, Funktionsmaterialien in der technischen Chemie, Übergangsmetall- sowie Biokatalyse bis hin zum Tissue Engineering. Im Detail bearbeiten die Kolleginnen und Kollegen am ICH folgende Forschungsfragen:

AG Anorganische Chemie

Koordinationschemie

→mit biologischen Funktionen

- Metallbasierte künstliche Nucleasen, Proteasen und Enzyminhibitoren
- Fluorierte Ligandensysteme für bioaktive Metallkomplexe
- Supramolekulare Aggregation und Immobilisierung bioaktiver Metallkomplexe
- Oligonucleotid- und Peptid-Metallkomplex-Konjugate

→in der Diagnostik

- Detektion von reaktiven Sauerstoffspezies
- Neuartige MRT-Kontrastmittel

→in der Katalyse

- Oxidation mit "earth-abundant" Metallkatalysatoren

AG Organische Chemie

Makromolekulare organische Synthese und Polymerforschung

- Synthese von funktionalen Monomeren und Makromeren für den Aufbau definierter Polymermaterialien
- Skalenübergreifende Materialverarbeitung mittels Mikrofluidik und additiver Fertigung
- Polymermikrogele als Bausteine für integrierte Materialsysteme
- Zellähnliche experimentelle Plattformen aus Mikrogelen für Zellbiologie und synthetische Biologie
- Hybride Polymerfertigungsverfahren
- 3D-Druck von (hybriden Zell-)Mikrogelsuspensionen

Synthese/Charakterisierung/Anwendung niedermolekularer Systeme

- Entwicklung moderner Synthesemethoden: Diastereo- und enantioselektive C-C-Verknüpfungen
- Metallorganische Chemie: Synthese und Reaktionen von Chrom-, Mangan-, Silicium- und Zinn-Verbindungen
- Synthese von Heterocyclen durch Tandemreaktionen
- Wirkstoffsynthese: Stereoselektive Synthese von biologisch aktiven Substanzen
- Struktur-Wirkungs-Beziehungen
- Naturstoffchemie: Synthese von Terpenen, Alkaloiden und Macroliden
- Computeranwendungen in der Chemie: Reaktionsdatenbanken und Molecular Modelling

AG Physikalische Chemie

- "Membranunterstützte Reaktionsführung": Adsorption, Reaktion und Desorption an anorganischen, katalytisch aktivierten Membranmaterialien
- Charakterisierung vanadium- und eisenhaltiger Katalysatoren mit Photoelektronenspektroskopie und Infrarotspektroskopie
- Ceroxid-basierte Abgaskatalysatoren: Einfluß von Dotierung, Temperatur, Reduktionsgrad und Leerstellenkonzentration auf katalytische Aktivität, Oberflächenstruktur und -dynamik
- "Inverse Katalysatoren": Beeinflussung der katalytischen CO-Oxidation auf Edelmetallen durch Ceroxid
- Katalytische Reaktionen auf atomarer Skala
- Struktur, Thermodynamik und Dynamik reiner und adsorbatbedeckter Isolator-Einkristallflächen

AG Technische Chemie

- Katalysatorentwicklung: Zeolithe und zeolithartige Materialien, Optimierung der Struktur, Oberflächenchemie, Morphologie
- Metallorganische Gerüstverbindungen (MOFs)
- Beschichtungen: Trägergestützte (Reaktiv-)Kristallisation von katalytisch aktiven Systemen
- Zelluläre Kompositmaterialien: katalytisch aktive Keramik- und Glasformkörper durch neue Prozessierungsverfahren
- Thermische Energiespeicherung: Support für Wärmespeichermaterialien, neuartige (keramische und hybride) Wärmespeichermaterialien
- Thermoelektrika: Prozessierung von thermoelektrischen Pulvern mittels Techniken aus der keramischen Fertigung
- Photokatalyse: Entwicklung und Testung monolithisch geträgerter Katalysatoren auf Titanoxidbasis

AG Biokatalyse

- Integration thermischer Trennverfahren in (bio-)katalytische Syntheseprozesse zur Überwindung von Prozesslimitierungen
- Synthese chiraler Amine, Alkohole, Ester und Imine

- Kompartimentierung von (Bio-)katalysatoren
- (enantio)selektive Kristallisation

AG Core Facility Tissue Engineering

- Tissue Engineering: Herstellung von menschlichen gesunden oder kranken Gewebemodellen zur Entwicklung und Risikobewertung von Medizinprodukten oder Materialien
- Studien von Infektionsmechanismen an humanen Gewebemodellen DFG Projekt AGAVE
- Zellkulturtechnik: Verfahrensentwicklung für die Stammzellbiologie
- Medizintechnik: Entwicklung von Biophantomen (BMBF Projekt Stimulate 2) zur Prüfung und Zertifizierung von Implantaten, Biomaterialien, Medizinprodukten (BMBF Projekt TIRAMISU)
- Regenerative Medizin: Translation neuer Arzneimittel, Biomedical Engineering (BMBF Projekt Patch)

4. SERVICEANGEBOT

NMR-Messungen verschiedener Kerne an Feststoffen und Flüssigkeiten

Röntgenpulverdiffraktometrie (XRD) in Reflexion, Transmission und Kapillare, auch temperaturabhängig

Stickstoff-Tieftemperaturadsorption

Sorptionsmessungen mit CO₂, Wasser etc.

Quecksilberporosimetrie

Rheologische Messungen

Katalysatorrestung

Testung der Biokompatibilität entsprechend der EN ISO 10993 „Biologische Beurteilung von Medizinprodukten“

Entwicklung von Gewebemodellen für die Validierung neuer diagnostischer Verfahren

Additive Fertigung von Polymermaterialien mittels Stereolithographie und Bioplotting sowie Materialentwicklung für die additive Fertigung

5. METHODIK

- Additive Fertigung mittels Projektionsmikrostereolithographie, Xolographie, Fused-Deposition Modeling
- Mikrofluidik zur Produktion tensid-stabilsierter Mikrotropfen, Vesikeln und Mikrogelen

6. KOOPERATIONEN

- Bayerisches Zentrum für Angewandte Energieforschung e.V. Würzburg
- CeramTec GmbH, Plochingen
- Charité Universitätsmedizin Berlin, Prof. Dr. Eyk Schellenberger
- Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR)
- Dr. Wolf von Tümpling, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung (UFZ), Magdeburg
- Evonik GmbH & Co KG, Stuttgart
- Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
- Leoni Bordnetze-Systeme GmbH, Kitzingen
- Merck KGaA, Darmstadt
- Prof. Dr. Norbert Stock, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel
- Prof. Dr. Wolfgang Grünert, Ruhr-Universität Bochum
- Rheotest Medingen GmbH
- Stiebel Eltron GmbH & Co KG, Holzminden

7. FORSCHUNGSPROJEKTE

Projektleitung: apl. Prof. Dr. Edgar Haak
Förderer: Sonstige - 01.11.2024 - 31.12.2027

Darstellung bioaktiver Indolchinolizidin-Alkaloide über Ruthenium-katalysierte Kaskadenprozesse

Basierend auf Ruthenium-katalysierten Kaskadenprozessen sollen im Rahmen dieses Promotionsprojekts neue effiziente Zugänge zu polycyclischen Indolalkaloiden geschaffen werden. Ausgehend vom Geissoschizingerüst werden metallkatalysierte, bioinspirierte C–C und C–N-Kupplungen entwickelt und zum Aufbau komplexer Indolalkaloide genutzt werden. Außerdem soll die Syntheseroute im Hinblick auf die Darstellung bioaktiver Spiro-Indolalkaloide variiert werden. Wesentliche Bedeutung kommt der asymmetrischen Reaktionsführung zu. Eine enantioselektive Variante des entwickelten Zugangs zum Geissoschizin wird angestrebt. Die Entwicklung asymmetrisch katalysierter Verfahren unter Verwendung enantiomerenreiner asymmetrischer Katalysatorspezies oder chiraler Additive steht dabei im Vordergrund.

Projektleitung: apl. Prof. Dr. Edgar Haak
Förderer: EU - EFRE Sachsen-Anhalt - 01.05.2024 - 31.12.2027

Entwicklung übergangsmetallkatalysierter Kaskadenprozesse zur nachhaltigen Synthese bioaktiver Verbindungen für die Arzneimittelforschung

Der Schwerpunkt des beantragten Projekts liegt auf der Entwicklung übergangsmetallkatalysierter Kaskadenreaktionen und deren Anwendung in der Synthese bioaktiver Substanzen für die Arzneimittelforschung. Die zu entwickelnden katalytischen Reaktionen sollen die effiziente Umwandlung leicht zugänglicher Ausgangsmaterialien ermöglichen, um bedeutende carbo- und heterocyclische Molekülgerüste aufzubauen. In Kooperation mit weiteren Forschergruppen unter dem Dach des Forschungszentrums Dynamische Systeme (CDS) werden die Methoden im Rahmen der gezielten Entwicklung neuer Enzyminhibitoren angewendet.

Projektleitung: apl. Prof. Dr. Edgar Haak
Förderer: Land (Sachsen-Anhalt) - 01.07.2024 - 30.06.2027

Entwicklung asymmetrisch katalysierter Kaskadentransformationen und ihre Anwendung in der Synthese naturstoffinspirierter Terpenoid- und Alkaloidanaloga

Der Fokus des Projekts liegt auf der Entwicklung asymmetrisch katalysierter Kaskadenreaktionen und deren Anwendung in der Synthese naturstoffinspirierter Terpenoid- und Alkaloidanaloga. Neue kurze Zugänge zu funktionalisierten Pyrazolen, Pyrrolen, Indolen, Indolinen, Carbazolen, Cycloheptaindolen, Tryptolinen, Indazolen, Pyridinen, Chinolinen, Furanen, Pyranen, Norbornenen, Cyclodendralenen, Carbopolycyclen und weiteren Verbindungstypen konnten in den letzten Jahren geschaffen werden. Im Rahmen des Promotionsprojekts sollen asymmetrisch katalysierte Varianten dieser Prozesse entwickelt werden. Ziel ist die entantiomerenreine Darstellung naturstoffinspirierter molekularer Architekturen auf Basis der neu entwickelten metallkatalysierten Kaskadenreaktionen. Darüber hinaus ist geplant, die neuen katalytischen Reaktionen als Schlüsselschritte in stereoselektiven Naturstoffsynthesen einzusetzen.

Projektleitung: Dr. habil. Christian Hering-Junghans
Förderer: Haushalt - 15.01.2024 - 15.01.2025

Pyridin-basierte NHC-Phosphiniden-Addukte als Liganden für frühe Übergangsmetalle

Ausgehend von Pyridin-basierten Dicarbenen sollen NHCPs dargestellt werden. In Abhängigkeit des steirischen Anspruches des Substituierten an der Phosphiniden-Einheit soll der Einfluss auf die Koordinationsgeometrie in Fe(II), Fe(III) und Mo(III) Komplexen näher untersucht werden.

Projektleitung: Prof. Dr. Julian Thiele
Förderer: Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) - 06.06.2024 - 06.06.2027

Forschungsgroßgerät "Echtzeitdeformationszytometer"

Am Lehrstuhl für Organische Chemie wird ein Echtzeitdeformationszytometer zur Hochdurchsatz-Charakterisierung weicher mikroskopischer Objekte in der Polymerforschung – insbesondere Mikrogelen, aber auch Vesikeln und Tensid-stabilisierten Mikrotropfen – installiert. Das beantragte Gerät besteht aus vier integrierten Modulen: dem eigentlichen Echtzeitdeformationszytometer (engl. real-time deformability cytometry, „RT-DC“), einem invertierten Fluoreszenzmikroskop („F“) für Mehrkanalfluoreszenzmessungen, einer Sortiereinheit zur Auftrennung von Objekt-beladenen Fluidströmen („so“) sowie einem temperaturkontrollierten Messraum für die Charakterisierung temperatursensitiver oder -responsiver Materialien.

Wesentliches Innovationsmerkmal des soRT-FDC ist die Ausnutzung hydrodynamischer Kräfte in Mikrokanälen um nicht nur optische – wie bei herkömmlicher Durchflusszytometrie, sondern ebenso mechanische Objekteigenschaften zu erfassen. Ursprünglich entwickelt als Zellanalysegerät, ist eine dedizierte Anwendung des beantragten Gerätes in den Materialwissenschaften vorgesehen. Hier wird die Echtzeitanalyse einer Vielzahl optischer (Helligkeit, Fluoreszenzfarbstoffverteilung), morphologischer (Objektfläche/-höhe/-längenverhältnis, Oberflächenrauigkeit, Trägheitsverhältnis) sowie mechanischer Materialeigenschaften (Deformierbarkeit bzw. Elastizitätsmodul) von 100 bis zu 1.000 Objekten pro Sekunde eine bedeutsame Weiterentwicklung der bis dato insbesondere auf (konfokaler) Fluoreszenzmikroskopie und Rasterkraftmikroskopie (AFM)-basierten Charakterisierung von Einzelobjekten darstellen.

Projektleitung: Prof. Dr. Julian Thiele
Förderer: EU HORIZON Europe - 01.04.2020 - 31.03.2026

ERC Starting Grant "3DPartForm"

New polymer materials are necessary to match the demand for highly integrated, multifunctional, responsive systems for sensing, information processing, soft robotics or multi-parametric implants. Both established material design concepts based on lithography, and emerging engineering efforts based on additive manufacturing (AM) are currently not able to fully address the need for topologically complex, multifunctional and stimuli-responsive polymer materials. This proposal aims at establishing a radically new approach for polymer material design, rethinking AM on both material and process level. Here, functionality will be already embedded at the building block level to emerge into larger scales. The exact methodology relies on polymer microparticles as a novel material basis with arbitrary geometry, function, mechanics and responsiveness. These microparticulate formulations will serve as predefined, voxel-like building blocks in AM yielding hierarchical assemblies with spatially defined voxel position and programmable, adaptive properties, which clearly go beyond existing functional material classes.

With that, 3DPartForm will address the current lack of additive manufacturing providing multifunctional, stimuli-responsive materials, in which not only strongly different, but most importantly functional building blocks with intrinsic time axis will be processed into true 4D-polymer multimaterials. Products emerging from this approach will reach a previously unknown level of system integration, where optical transparency, electric and thermal conductivity as well as diffusivity and mechanical rigidity will become spatiotemporally tunable at single-voxel level. Coupled sensing and actuation operations will be realized by processing, transforming and manipulating single or combined input stimuli within these materials in the focus

of 3DPartform, and platforms for biomimetics and cell-free biotechnology will be implemented as a long-term goal.

Projektleitung: Prof. Dr. Julian Thiele
Förderer: Haushalt - 01.09.2023 - 31.12.2025

Ligninolytic degradation of lignin-based functional materials for resynthesis

Being the second most abundant natural polymer, lignin and its depolymerization as well as resynthesis has become a key research target to generate chemicals, biofuels, and polymers. Common depolymerization processes of lignin(-derived materials) utilize energy-intensive (high pressure/temperature) and harsh chemicals (NaOH, H₂SO₄). To overcome these issues, this project will explore a sustainable path to efficiently degrade lignin-based materials utilizing ligninolytic enzymes. In particular, the focus will be on elucidating the influence of the type of formulation (lignin blending vs. lignin functionalization) in lignin-derived polymer plastics as well as structure and design features on the efficiency of an enzyme-driven depolymerization process.

Projektleitung: Dr. habil. Jochen Vogt
Förderer: Haushalt - 28.06.2021 - 28.06.2024

Numerische Analyse molekularer Strukturen auf Oberflächen

Die Kenntnis der Wechselwirkungsmechanismen molekularer Strukturen auf Oberflächen ist im Zusammenhang mit einer Vielzahl von Fragestellungen von fundamentalem Interesse.

Ziel des Projekts ist die Fortführung der Simulation solcher Strukturen mit Hilfe von quantenchemischen und molekulardynamischen Methoden. Darüberhinaus erfordert die experimentelle Untersuchung von Filmstrukturen mit Hilfe der Beugung langsamer Elektronen (LEED, DLEED) eine nachgeschaltete numerische Auswertung, deren Aufwand z. B. im Falle von Defektstrukturen erheblich ist. Ziel des Projekts ist einerseits die Durchführung von Oberflächenstrukturanalysen mit existierenden Computercodes. Darüberhinaus wird die begonnene Erforschung und der Test neuer numerischer Methoden zur Strukturanalyse auf Grundlage von LEED-Experimenten fortgeführt

Projektleitung: Prof. Dr. Jessica Bertrand, Prof. Dr.-Ing. habil. Manja Krüger, Prof. Dr. Ulrike Steinmann, Prof. Dr. Heike Walles, Prof. Dr. Thorsten Walles, Prof. Dr.-Ing. Benjamin Noack, Dr.-Ing. Sylvia Saalfeld (geb. Glaßer), Prof. Dr.-Ing. habil. Thorsten Halle, Prof. Dr. Frank Ohl, Prof. Myra Spiliopoulou
Förderer: EU - ESF Sachsen-Anhalt - 01.01.2024 - 01.02.2027

TACTIC (Towards co-evolution in human-technology interfaces)

Wissenschaftliche Ziele

Die Idee der Co-Evolution an der Mensch-Technologie-Schnittstelle beruht darauf, dass sowohl die biologische Seite wie auch die technische Seite eines Interfaces nicht nur dynamisch und adaptiv sind, sondern in ihrer Adaptivität die der Gegenseite mitberücksichtigen. Die Untersuchung dieser Beeinflussung führt zu einem vertieften Verständnis der Ursachen nicht-gewünschter Prozesse, etwa bei der Maladaptation entzündlicher Prozesse an unerwünschte Veränderungen der Implantat-Oberflächen. Mit diesem Verständnis eröffnen sich dann neue Strategien, gewünschte Prozesse im Sinne einer Co-Evolution zu unterstützen. Hierzu zählen Möglichkeiten adaptiver Technologien und Sensorik-Ansätzen, die sich auf individuelle Dynamiken im biologischen System einstellen können, oder auch die Entwicklung von Prozess-bewussten Technologien, die gewünschte Dynamiken im biologischen System herbeiführen können.

Intendierte Strategische Ziele

Die TACTIC GS-Module sind so ausgerichtet, dass zusätzliche translationale Expertisen auf dem Querschnittsbereich der Medizintechnik, Sensorik, und Künstliche Intelligenz (KI) am Standort gestärkt werden

können, mit dem Ausblick, die Forschungs-, Entwicklungs- und Innovationsaktivitäten im Land zu stärken. Eine enge Verschränkung von Lebenswissenschaften und Ingenieurwissenschaften wird über alle Module angestrebt, um zukünftige Verbundprojekte in diesem Bereich zu ermöglichen. Darüber hinaus soll durch die Einbindung von KI eine Stärkung des Profilsbereichs Medizintechnik entstehen. Durch Internationalisierung der Forschungsschwerpunkte ermöglicht TACTIC eine Vernetzung mit EU-Partnern, was eine wichtige Voraussetzung für die Ausrichtung von Konsortien ist, um auch die Wissenschaft in Sachsen-Anhalt zu stärken.

Arbeitsprogramm

Die GS umfasst 3 Module mit insgesamt 9 Promovierenden. Die thematische Vernetzung entsteht durch Promotionsthemen, denen parallel mindestens zwei thematische Module zugeordnet ...

[Mehr hier](#)

Projektleitung: Prof. Dr. Heike Walles
Förderer: Bund - 01.10.2020 - 30.09.2025

Stimulate 2 - Teilprojekt Immunoprofiling

Stimulate 2 - Teilprojekt Immunoprofiling - Bestimmung der für den Patienten individualisierten interventionell-onkologischen Therapieform zur kurativen minimalinvasiven bildgeführten Behandlung von Tumoren im iCT Setup

Projektleitung: Prof. Dr. Heike Walles
Förderer: Bund - 01.10.2022 - 30.09.2024

Patch- lokalablative Tumorthherapie

Lokal begrenzte Tumore können durch chirurgische Verfahren vollständig entfernt und damit geheilt werden. Zusätzlich können einzelne kleinere Tumorherde durch Hitze- oder Kälteeinwirkung, also durch lokalablative Verfahren, abgetötet werden. Häufig lassen sich Tumore durch diese Behandlungen nicht vollständig entfernen. Da für eine erfolgreiche Behandlung von Krebserkrankungen die vollständige Entfernung des Tumorgewebes erforderlich ist, sind oftmals mehrere chirurgische Entfernungsoperationen (Resektionen) notwendig

Projektleitung: Prof. Dr. Heike Walles
Kooperationen: Omicron-Laserage[®] Laserprodukte GmbH (Omicron); MedFact Engineering GmbH (MedFact); Photonscore GmbH (Photonscore; Leibniz Institute for Neurobiology Combinatorial Neuroimaging Core Facility (LIN CNI); Medical Faculty of the University Hospital Magdeburg - University Clinic for Otolaryngology, Head and Neck Surgery (UKM ENT)
Förderer: Bund - 01.08.2021 - 31.07.2024

Zeitaufgelöste Raman- und metabolische Spektroskopie-Untersuchungen zur Detektion, Identifikation und Behandlungskontrolle mikrobieller Aktivität bei chronischer Inflammation und Kanzerogenese (TIRAMISU) - Teilvorhaben: 3D Gewebemodelle des Rachenraums FKZ: 13N15789

Das übergeordnete Ziel, dieses mit insgesamt 4,8 Millionen Euro geförderten FuE-Verbundvorhabens, ist die Erforschung eines nicht-invasiven endoskopischen Verfahrens zur Früherkennung von mikrobiellen Infektionsherden im Menschen anhand von Stoffwechselveränderungen und molekülspezifischer ‚Fingerabdrücke‘ der Mund-Rachenmucosa und seines Mikrobioms. Das zusammengestellte Konsortium besteht mit den KMU Omicron-Laserage[®] Laserprodukte GmbH (Omicron), MedFact Engineering GmbH (MedFact), Photonscore GmbH (Photonscore) sowie den wissenschaftlichen Partnern Leibniz Institut für Neurobiologie Combinatorial Neuroimaging Core Facility (LIN CNI), Otto-von-Guericke Universität (OvGU) Magdeburg, Core Facility Tissue Engineering (CF TE) und der Medizinischen Fakultät des Universitätsklinikum Magdeburg - Universitätsklinik

für Hals-, Nasen-, Ohrenheilkunde, Kopf- und Halschirurgie (UKM HNO). Das Konsortium besteht aus hochspezialisierten Partnern mit höchster Expertise in ihren jeweiligen Fachbereichen und stellt somit die bestmögliche Voraussetzung für das hier beschriebene hoch anspruchsvolle FuE-Projekt dar. Im Kontext des Verbundprojektes ist die Core Facility TE verantwortlich für die Unterstützung des Partners LIN bei der Festlegung der Wellenlängen, Messzeiten und Definition der Spektren für die Detektion von Biofilmen und entstehenden Tumoren im Rachenraum. Nach der Entwicklung der Flächendetektoren, können diese an den Gewebemodellen sehr präzise für die Evaluation der Belastung gesunder Zellen durch die eingesetzten Laser und Messzeiten verwandt werden. Abschließend kann mit den Gewebemodellen in "Doppelt-Blind-Studien" die Sensitivität und Spezifität des neuen TIRA-Verfahrens (Endoskops) zur Detektion von Biofilmen und Tumorentstehungen im Rachenraum eingesetzt werden. Die beiden letzten Aspekte sind wichtige Zulassungsvoraussetzungen für den zukünftigen klinischen Einsatz des neuen Endoskops.

Projektleitung: Prof. Dr. Heike Walles
Kooperationen: Jun.-Prof. Dr. Fabian Denner (FVST - Lehrstuhl Mechanische Verfahrenstechnik);
Prof. Dr. rer. nat. Claus-Dieter Ohl (FNW - Institut für Physik – Abt. Physik der Weichen Materie)
Förderer: Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) - 01.05.2021 - 30.04.2024

Aerosolentstehung in der Lunge und Einkapselung von Viren WA2915/12-1

Ziel des von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG mit fast 900.000 Euro geförderten interdisziplinären Projektes ist es, herauszufinden, warum es das Phänomen so genannter "Superspreader" gibt. Die drei geförderten Forscherteams gehen den Fragen nach, wie die Viruspartikel im menschlichen Körper in die winzigen Aerosole verpackt werden und welche Mechanismen dann dazu führen, dass diese Aerosolpartikel anschließend in den Atemwegen anderer Menschen anhaften, dort platzen und zu weiteren Infektionen führen. Verfahrenstechniker entwickeln anschließend Simulationsmodelle, um belastbare Vorhersagen über die Verteilung und Verbreitung der Aerosole zu treffen.

Projektleitung: Prof. Dr. Helmut Weiß
Förderer: Haushalt - 01.10.2018 - 30.09.2024

Untersuchungen zur Adsorption von Wasser auf wohldefinierten NaCl(100)-Einkristallflächen

Das Adsorptionssystem Wasser auf definierten NaCl(100)-Einkristallflächen ist aufgrund seiner Relevanz für verschiedenste Bereiche experimentell wie auch theoretisch wiederholt untersucht worden. Für die gesättigte erste Lage wurden zwei verschiedene Strukturen beobachtet eine (1x1)- und eine c(4x2)-Struktur. Es konnte gezeigt werden, dass erstgenannte erst durch Elektroneneinfluss (z.B. bei Beugung langsamer Elektronen, LEED) irreversibel in die c(4x2)-Struktur umgewandelt wird. Der Mechanismus ist nicht verstanden, kann aber von großer Bedeutung auch für andere Systeme sein, da LEED eine elementare Untersuchungsmethode zur Strukturaufklärung ist. Unklarheit herrscht auch über den Bedeckungsgrad; hier wurden für die erste Lage Wasser zwischen 0,5 und 3 Moleküle je NaCl(100)-Elementarzelle vorgeschlagen. Theoretische Untersuchungen trugen bislang wenig zur Klärung bei.

Mittlerweile konnten erste Messungen mittels Photoelektronenspektroskopie an diesem Adsorptionssystem durchgeführt werden. Sie werden jetzt weitergeführt mit dem Ziel der Absolutbestimmung der Belegung der ersten Wasserlage auf NaCl(100)-Einkristallflächen. und der Aufdeckung des Mechanismus der elektroneninduzierten Strukturumwandlung.

Projektleitung: Prof. Dr. habil. Jan von Langermann
Förderer: Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) - 01.12.2023 - 30.11.2027

Selection, design and application of novel biocatalytic reactive crystallization concepts for the preparation of chiral beta-amino alcohols and alpha-amino acids

This is the sub project of the DFG research unit 5538 (Multistep Catalytic Production Systems for Fine Chemistry by Integrated Molecular, Material and Process Design (IMPD4Cat))

The primary goal of this subproject is to develop an efficient combination of biocatalytic reactions and selective crystallization procedures for the synthesis of chiral beta-amino alcohols and alpha amino acids on a preparative scale. The project builds on the investigation of the fundamental physicochemical properties of the target compounds, which are to be isolated directly from aqueous reaction solutions. In parallel, the decision on the selection and use of suitable biocatalysts or their corresponding preparations is relevant for the selection of the integrated reaction route, since the corresponding reaction conditions have an influence on the solubilities of the target compounds. For amino acids, direct crystallization under the selected crystallization conditions is preferred, whereas suitable crystallization agents are required for amino alcohols to crystallize these often hydrophilic products in the form of a salt. Process control will be supported by the integration of suitable concepts for process analytical technology (PAT) including automated liquid chromatographic methods for real-time monitoring, control and optimization of the integrated biocatalysis-crystallization process. In the combination of all the processes described above, the process is to be optimized and scaled up to preparative scale in the sense of a pilot plant.

Projektleitung: Prof. Dr. habil. Jan von Langermann
Förderer: Haushalt - 01.12.2023 - 30.11.2026

Kinetic and thermodynamic investigation of selective crystallization techniques in biocatalytic reactions.

The research project deals with the reactive crystallization of chiral amines and organic phosphates, here in particular nucleotides, from biocatalytic reactions. The aim is the fundamental investigation of the primary kinetic and thermodynamic limitations and the development of suitable technologies to overcome these constraints.

Projektleitung: Prof. Dr. habil. Jan von Langermann
Förderer: Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) - 01.06.2023 - 31.05.2026

Entwicklung von unspezifischen Peroxygenasen für die β -Hydroxylierung von Aminen im präparativen Maßstab.

Wir sind davon überzeugt, dass unspezifische Peroxygenasen (UPOs) hervorragende Enzyme für C-H-Funktionalisierungen mit einem außergewöhnlichen synthetischen Potenzial darstellen. Durch die Kombination von Protein- und Verfahrenstechnik soll das Potenzial der UPOs durch die Synthese pharmazeutisch wichtiger Bausteine im Gramm-Maßstab demonstriert werden. UPOs sind pilzliche Enzyme, die einen peroxidischen Sauerstoff auf sp^3 -Kohlenstoffe übertragen und weisen mit mehr als 400 bekannten Beispielen eine beeindruckende Substratvielfalt auf. Sie weisen ausgezeichnete Enantioselektivitäten und beeindruckende Gesamtumsatzzahlen von bis zu 300.000 für benzyliche Hydroxylierungen auf. Etwa viertausend putative UPO-Gene wurden annotiert, aber weniger als 20 verschiedene UPO-Enzyme wurden aufgrund ihrer schwierigen heterologen Expression im Detail untersucht. Diese Produktionsbeschränkungen haben auch die gezielte Entwicklung dieser Proteine erheblich behindert, so dass die derzeitige Substratpalette hauptsächlich aus Wildtyp-Aktivitäten besteht. Es wäre von größter Bedeutung, die katalytische Maschinerie der UPOs für neue industriell relevante Substrate zu nutzen. Insbesondere Substrate mit aliphatischen Aminen sind in pharmazeutischen Wirkstoffen (API) allgegenwärtig, aber es gibt nur wenige Beispiele für UPOs, die diese Verbindungen hydroxylieren. Die Molekülklasse der vicinalen Aminoalkohole ist von besonderem Interesse, da diese Gruppen von UPOs aus Aminen synthetisiert werden könnten und spannende Gerüste für die Pharmaindustrie darstellen. Das vorgeschlagene Forschungsprojekt befasst sich direkt mit den derzeitigen Beschränkungen von UPOs gegenüber Aminsubstraten

und zielt darauf ab, einen integrierten Ansatz aus Biochemie und Verfahrenstechnik für die Entwicklung und Anwendung von gentechnisch veränderten UPOs zu nutzen. Auf dem Gebiet des Protein-Engineerings umfasst die Methodik die Entwicklung eines schnellen Analysesystems für den Nachweis von Aminoalkoholen und ...
[Mehr hier](#)

Projektleitung: Prof. Dr. habil. Jan von Langermann
Förderer: Land (Sachsen-Anhalt) - 01.10.2023 - 31.12.2025

Implementation of polymer degrading enzymes for selective product isolation in unconventional reaction (within SmartProSys)

Enzymatic degradation of polymer materials has become an efficient alternative to "classical" chemical processes and catalysts. Especially in recent years, the efficiency of the enzyme systems involved has been significantly increased. In addition to the basic question of which enzyme system to use, the efficient process approach is relevant.

Within this initial start-up project, the corresponding enzyme systems will be i) established for on-site conversions and ii) transferred to unconventional reaction media (PETase, cutinase, etc.). This will be achieved by the selective formation of intermediates and separation in/from equilibrium systems, which are not accessible in/from purely aqueous reaction systems. In particular, selective crystallization for the separation of monoesters/monocarboxylic acids will be investigated, which allow a simplified re-synthesis pathway. Further methods for selective separation of the desired compounds will be carried out in cooperation with the other working group within the SmartProSys-Initiative.

Projektleitung: Prof. Dr. habil. Jan von Langermann
Förderer: EU - EFRE Sachsen-Anhalt - 26.09.2024 - 25.09.2025

HPLC-Anlage zur Untersuchung von Depolymerisationsstrategien und Synthese von pharmazeutischen Vorstufen

Es sollen neuartige Depolymerisationsstrategien und (Re-)Synthesestrategien untersucht werden, welche, im Rahmen der regionalen Innovationsstrategie, hier spezifisch im Bereich der Smart Production Kompetenzen angesiedelt sind.

Das beantragte Gerät soll die gezielte Identifikation und kinetische Untersuchungen der beteiligten Reaktionsprodukte bis hin zur Optimierung der (Re-)Syntheseeoptionen ermöglichen. Dies beinhaltet primär die Interaktion und Verstärkung mit der Exzellenzinitiative Smart Process Systems for a Green Carbon-based Chemical Production in a Sustainable Society an der Universität Magdeburg (SmartProSys, primär Depolymerisation von PET & PEF) und der DFG-Forschungsgruppe FOR5538 (IMPD4Cat, Synthese von Vorstufen von Pharmazeutika).

Projektleitung: Prof. Dr. habil. Jan von Langermann
Förderer: Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) - 01.09.2022 - 31.08.2025

Neuartige Ansätze für die Integration der induzierten Kristallisation in biosynthetische Prozessen: von neuen konzeptionellen Ansätzen zu praktikablen Lösungen.

Das Projekt dient der Untersuchung von biokatalytischen Reaktionssystemen und der Integration von selektiven Kristallisationstechniken. Hauptschwerpunkte sind die Synthese von chiralen Aminen und Carbonsäuren. Zum Projekt gehört zudem die Einführung von computergestützten Technologie zur Vorhersage, zum Entwurf und schliesslich zur Verbesserung der reaktiven Kristallisation in biosynthetischen Prozesse. Diese direkte Verbindung zu technischen Systemen, einschliesslich des Zugangs zu den erforderlichen Instrumenten, ermöglicht Synergieeffekte zu verwandten Forschungsgebieten.

Projektleitung: Prof. Dr. habil. Jan von Langermann
Förderer: Haushalt - 01.07.2023 - 31.03.2025

Combination of Crystallization and (biocatalytic) dynamic kinetic resolution.

The combination of dynamic kinetic resolution coupled with selective crystallization techniques is investigated. Racemization is achieved either by mesomerism-based (spontaneous) methods or biocatalysts (isomerases). The fundamental aim is to produce enantiomerically pure compounds, which in turn represent intermediates for pharmaceutical and agrochemical compounds.

Projektleitung: Prof. Dr. habil. Jan von Langermann
Förderer: Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) - 15.11.2021 - 31.03.2025

Untersuchung komplexer Aminosäure- und Amin-basierter in situ-Produktkristallisationsstrategien in Transaminase- und Amin-Dehydrogenase-katalysierten Reaktionen und deren Entwicklung zu flow-Reaktionskonzepten.

Transaminasen sind äußerst selektive Biokatalysatoren für die Synthese von chiralen Aminen. Ungünstiger weise beinhalten zahlreiche Anwendungen dieser Biokatalysatoren ungünstige Gleichgewichtslagen und damit geringe Atomeffizienzen in der asymmetrischen Syntheserichtung, welche aufwendig kompensiert werden müssen. Üblich sind mehrstufige biokatalytische Kaskadenreaktionen, ein überstöchiometrischer Einsatz des Donoramins und spezielle Donoramine mit nicht-enzymatischen Nebenreaktionen. Das vorgestellte Forschungsvorhaben trägt dieser Limitierung Rechnung und hat das Ziel in einem integrierten Verfahrensansatz die direkte Entfernung des Produktamins aus der Reaktionslösung durch eine selektive in situ-Kristallisation zu ermöglichen. Die Kristallisation des Produktamins soll gezielt durch die Bildung eines schwer löslichen Salzes erfolgen, welches dadurch im Zuge der biokatalytischen Reaktion kontinuierlich aus der Reaktionslösung entfernt wird. Hierdurch soll dann das Reaktionsgleichgewicht auf die Produktseite verschoben werden und gleichzeitig das Produkt (als Salz) durch eine einfache Filtration aus der Reaktionslösung abgetrennt werden. Das Konzept soll schlussendlich auf eine kontinuierliche Prozessführung, incl. einer vollen Rezyklierung der nicht umgesetzten Reaktanden zur Überwindung der geringen Atomeffizienz, bis in den Multi-Gramm-Maßstab übertragen werden. Strukturiert ist das Forschungsvorhaben in 7 Arbeitspakete und 2 Meilensteine, welche die Fragestellung ausgehend von dem Screening geeigneter Säuren bis hin zur optimierten integrierten Reaktionsführung strukturiert bearbeiten werden. Nach Auswahl geeigneter Säuren zur Kristallisation des Amins werden die Salzpaare charakterisiert und die Reaktionsbedingungen für eine effiziente Kopplung für verschiedene Transaminasen angepasst. Danach wird die Maßstabsvergrößerung incl. einer kontinuierlichen Reaktionsführung etabliert. Abschließend soll die selektive Kristallisation des Co-Produktes Pyruvat ...

[Mehr hier](#)

8. EIGENE KONGRESSE, WISSENSCHAFTLICHE TAGUNGEN UND EXPONATE AUF MESSEN

Hannover Messe 2024: Als Exponate wurden funktionale Bauteile wie 3D-gedruckte Mikroreaktoren, die zur Herstellung von Mikroemulsionen oder Mikrogelen verwendet werden, ausgestellt. Darüber hinaus wurden additiv gefertigte Versionen des Magdeburger Doms und der Frauenkirche aus Dresden gezeigt, um Unterschiede zwischen einzelnen Fertigungsverfahren wie FDM (fused deposition modelling) und DLP (digital light processing) zu veranschaulichen.

Weitere Konferenzteilnahmen mit Vorträgen aus den Lehrstühlen des ICH (Auswahl):

- CRC 985: Functional Microgels and Microgel Systems Abschlussveranstaltung (Montabaur)
- Makromolekulares Kolloquium (Freiburg)
- CellMAT (Magdeburg)
- ECIS (Kopenhagen)

- ArtBIO (Aarhus)
- CRC 1552-Kolloquium (Mainz)

9. VERÖFFENTLICHUNGEN

BEGUTACHTETE ZEITSCHRIFTENAUFsätze

Al-Shaibani, Mohammed Ali Saif; Sakoleva, Thaleia; Živković, Luka A.; Austin, Harry P.; Dörr, Mark; Hilfert, Liane; Haak, Edgar; Bornscheuer, Uwe T.; Vidaković-Koch, Tanja

Product distribution of steady-state and pulsed electrochemical regeneration of 1,4-NADH and integration with enzymatic reaction

ChemistryOpen - Weinheim : Wiley-VCH-Verl., Bd. 13 (2024), Heft 8, Artikel e202400064, insges. 12 S.

Becker, Luisa; Guci, Miranda; Schwidder, Michael

Photocatalytic nitrate reduction over TiO₂ layers on glass rings generated by dip-coating

Chemie - Ingenieur - Technik - Weinheim : Wiley-VCH Verl. . - 2024, insges. 4 S. ;

[Online first]

[Imp.fact.: 1.9]

Behrens, Jessica; Tiedemann, Sven; Kunde, Tom; @von Langermann, Jan; Kienle, Achim

Moving horizon parameter estimation for an enzyme-catalyzed transamination reaction with integrated product removal

Chemie - Ingenieur - Technik - Weinheim : Wiley-VCH Verl., Bd. 96 (2024), Heft 12, S. 1751-1766

[Imp.fact.: 1.5]

Belov, Feodor; Gazizova, Alina; Bork, Hannah; Gröger, Harald; Langermann, Jan

Crystallization assisted dynamic kinetic resolution for the synthesis of (R)- β -methylphenethylamine

ChemBioChem - Weinheim : Wiley-VCH, Bd. 25 (2024), Heft 16, Artikel e202400203, insges. 9 S.

[Imp.fact.: 2.6]

Haak, Edgar; Skowaisa, Steffen

Ruthenium catalyzed formation of fused pyridine derivatives or substituted indoles from hydrazine-derived enamines and propargyl alcohols

European journal of organic chemistry - Weinheim : Wiley-VCH Verl. . - 2024, Artikel e202401079, insges. 9 S.

[Imp.fact.: 5.5]

Heinks, Tobias; Hofmann, Katrin; Last, Simon; Gamm, Igor; Blach, Luise; Wei, Ren; Bornscheuer, Uwe T.; Hamel, Christof; @von Langermann, Jan

Selective Modification of the Product Profile of Biocatalytic Hydrolyzed PET via Product-Specific Medium Engineering

ChemSusChem - Weinheim : Wiley-VCH . - 2024, insges. 10 S.

[Imp.fact.: 7.5]

Heinks, Tobias; Hofmann, Katrin; Last, Simon; Gamm, Igor; Blach, Luise; Wei, Ren; Bornscheuer, Uwe T.; Hamel, Christof; Langermann, Jan

Selective modification of the product profile of biocatalytic hydrolyzed PET via product-specific medium engineering

ChemSusChem - Weinheim : Wiley-VCH . - 2024, insges. 10 S.

[Imp.fact.: 7.5]

Jarosik, Alexander; Nádasi, Hajnalka; Schwidder, Michael; Manabe, Atsutaka; Bremer, Matthias; Klasen-Memmer, Melanie; Eremin, Alexey

Fluid fibers in true 3D ferroelectric liquids

Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America - Washington, DC : National Acad. of Sciences, Bd. 121 (2024), Heft 13, Artikel e2313629121, insges. 8 S.

Mudzakir, Ahmad; Liebing, Phil; Haak, Edgar; Fischer, Axel; Hilfert, Liane; Goldhahn, Rüdiger; Edelman, Frank T.

An unusual phosphide addition reaction of 1,3-dimethyl-1,2,3-benzotriazolium iodide

Inorganic chemistry communications - Amsterdam [u.a.]: Elsevier Science, Bd. 161 (2024), Artikel 111924

[Imp.fact.: 3.8]

Müller, Noah; Gylstorff, Severin; Walles, Heike; Gerlach, Thomas; Belker, Othmar; Zanasi, Alessandro; Punzet, Daniel; Kopp, Sascha

3D-cell phantom-experimental setup to assess thermal effects and cell viability of lung tumor cells after electroporation

Scientific reports - [London]: Springer Nature, Bd. 14 (2024), Heft 1, S. 10, Artikel 27144

[Imp.fact.: 3.8]

Skowaisa, Steffen; Haak, Edgar

Regiocontrolled ruthenium-catalyzed isomerization of propargyl alcohols

Synlett - Stuttgart [u.a.]: Thieme . - 2024

[Imp.fact.: 2.4]

Spang, Jonas; Bork, Hannah; Belov, Feodor; @von Langermann, Jan; Vorholt, Andreas J.; Gröger, Harald

One-pot hydroaminomethylation of an alkene under formation of primary amines by combining hydroformylation at elevated syngas pressure and biocatalytic transamination in water

Organic & biomolecular chemistry - Cambridge : Royal Society of Chemistry . - 2024, insges. 7 S.

[Imp.fact.: 2.9]

Steinwerth, Paul; Bertrand, Jessica; Sandt, Vivianne; Marchal, Shannon; Sahana, Jayashree; Bollmann, Miriam; Schulz, Herbert; Kopp, Sascha; Grimm, Daniela; Wehland, Markus

Structural and molecular changes of human chondrocytes exposed to the rotating wall vessel bioreactor

Biomolecules - Basel : MDPI, Bd. 14 (2024), Heft 1, Artikel 25, insges. 24 S.

[Imp.fact.: 4.8]

Tiedemann, Sven; Neuburger, Jan Eric; Gazizova, Alina; Langermann, Jan

Continuous preparative application of amine transaminase-catalyzed reactions with integrated crystallization

European journal of organic chemistry - Weinheim : Wiley-VCH Verl., Bd. 27 (2024), Heft 13, Artikel e20240068, insges. 6 S.

[Imp.fact.: 5.5]

Vogt, Jochen

CO₂ ultrathin film growth on a monolayer of CO₂ adsorbed on the NaCl(100) surface - sticking coefficient and IR-optical signatures in the ν_3 region

Physical chemistry, chemical physics - Cambridge : RSC Publ., Bd. 26 (2024), Heft 31, S. 21019-21029

[Imp.fact.: 2.9]

NICHT BEGUTACHTETE ZEITSCHRIFTENAUFsätze

Heinks, Tobias; Hofmann, Katrin; Last, Simon; Gamm, Igor; Blach, Luise; Wei, Ren; Bornscheuer, Uwe T.; Hamel, Christof; Langermann, Jan

Selective modification of the product profile of biocatalytic hydrolyzed PET via product-specific medium engineering

ChemRxiv - [Washington, DC]: American Chemical Society (ACS) . - 2024, insges. 11 S.

BEGUTACHTETE BUCHBEITRäge

Behrens, Jessica; Tiedemann, Sven; Langermann, Jan; Kienle, Achim

Mathematical modeling of an enzyme catalyzed transamination reaction with integrated product removal

Computer aided chemical engineering - Amsterdam [u.a.]: Elsevier, Bd. 53 (2024), S. 721-726 ;

[Symposium: 34th European Symposium on Computer Aided Process Engineering / 15th International Symposium on Process Systems Engineering, ESCAPE-34/PSE2024, Florence, Italy, 2-6 June 2024]

Heinks, Tobias; Hofmann, Katrin; Zimmermann, Lennard; Gamm, Igor; Lieb, Alexandra; Blach, Luise; Ren, Wei; Bornscheuer, Uwe T.; Thiele, Julian; Hamel, Christof; @von Langermann, Jan

Analysis of the product-spectrum during the biocatalytic hydrolysis of PEF (poly(ethylene furanoate)) with various esterases.

RSC sustainability - [Cambridge]: Royal Society of Chemistry . - 2024, insges. 13 S.

Kara, Selin; Langermann, Jan

Principles of applied biocatalysis

Introduction to Enzyme Technology , 1st ed. 2024. - Cham : Springer International Publishing ; Jaeger, Karl-Erich, S. 267-287

ABSTRACTS

Belker, Othmar; Gerlach, Thomas; Hubmann, Max Joris; Müller, Noah; Eisenmann, Marcel; Rose, Gerd; Speck, Oliver; Wacker, Frank; Hensen, Bennet; Gutberlet, Marcel

Investigating the feasibility of MR-based conductivity measurement during electroporation of multi-conductivity agarose phantom on a clinical 1.5 T MRI

14th International Interventional MRI Symposium - Leipzig . - 2024, S. 86 ;

[Symposium: 14th Interventional MRI Symposium, Annapolis, Maryland, October 17-18, 2024]

DISSERTATIONEN

Chang, Le; Schinzer, Dieter [AkademischeR BetreuerIn]; Gesing, Ernst R. [AkademischeR BetreuerIn]

Synthesis of the (E,Z,Z)-triene system and complete carbon skeleton of (+)-neosorangicin A

Magdeburg: Universitätsbibliothek, Dissertation Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, Fakultät für Verfahrens- und Systemtechnik 2024, 1 Online-Ressource (IX, 120 Blätter, 4,44 MB) ;

[Literaturverzeichnis: Blatt 110-117][Literaturverzeichnis: Blatt 110-117]

Skowaisa, Steffen Patrick; Haak, Edgar [AkademischeR BetreuerIn]; Schinzer, Dieter [AkademischeR BetreuerIn]

Rutheniumkatalysierte Kaskadentransformationen von Propargylalkoholen zu funktionalisierten Pyridinen, Indolen, Pyrazolpyridinen, Indolchinolizidinen im Eintopfprozess und deren Anwendung in der formalen Totalsynthese von (\pm)-Tangutorin

Magdeburg: Universitätsbibliothek, Dissertation Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, Fakultät für Verfahrens- und Systemtechnik 2024, 1 Online-Ressource (V, 6-590 Seiten, 18,92 MB) ;

[Literaturverzeichnis: Seite 554-563][Literaturverzeichnis: Seite 554-563]