



Kurt-Schwabe-Institut  
für Mess- und Sensortechnik  
Meinsberg e.V.

**JAHRESBERICHT 2020**

Titelbild: Doktorandin Anastasiya Svirepa - Durchführung einer voltammetrischen Eisen-Bestimmung mit miniaturisierter Dickschichtelektrode in einer Wasserprobe aus der Spree.

# **Kurt-Schwabe-Institut für Mess- und Sensortechnik Meinsberg e.V.**

## **Jahresbericht 2020**

<b>Herausgeber</b>	Der Vorstand und Direktor des Kurt-Schwabe-Instituts für Mess- und Sensortechnik Meinsberg e.V., Prof. Dr. Michael Mertig
<b>Redaktion</b>	Prof. Dr. Michael Mertig
<b>Layout und Satz</b>	Dr. Caroline Murawski, Anett Rudelt
<b>Anschrift</b>	Kurt-Schwabe-Institut für Mess- und Sensortechnik Meinsberg e.V. Kurt-Schwabe-Straße 4 04736 Waldheim
	Telefon +49 34327 608 0
	Telefax +49 34327 608 131
	Internet <a href="http://www.ksi-meinberg.de">www.ksi-meinberg.de</a>
	E-Mail <a href="mailto:info@ksi-meinsberg.de">info@ksi-meinsberg.de</a>
<b>Redaktionsschluss</b>	Juli 2021

# INHALT

<b>Inhalt</b>	<b>5</b>	Publikationen	89
<b>Vorwort</b>	<b>7</b>	Vorträge	93
Über das Institut	10	Poster	94
<b>Organisation des Instituts</b>	<b>11</b>	<b>Lehre und Betreuung</b>	<b>95</b>
Organisationsstruktur	11	Lehrveranstaltungen	95
Gremien des Instituts	12	Verteidigte Promotionen	96
Verbünde und Netzwerke	14	Doktoranden intern und extern	96
Tätigkeiten in Gremien und Fachverbänden	15	Diplom-, Master- und Bachelorarbeiten	97
<b>Profil des Instituts</b>	<b>17</b>	Praktika	97
Hauptforschungslinien und Zielgebiete	17	<b>Präsentation</b>	<b>101</b>
Gerätetechnische Infrastruktur: Technologien und Labore	19	Organisation von Konferenzen	101
Kooperationspartner	24	Instituts-Kolloquium	102
<b>Forschung und Entwicklung</b>	<b>29</b>	Teilnahme an Konferenzen und Workshops	104
<b>Wissenschaftliche Ergebnisse</b>	<b>89</b>	<b>Pressespiegel</b>	<b>105</b>



# VORWORT

## **Liebe Mitarbeiter, Partner, Freunde und Förderer des KSI Meinsberg,**

mit dem Jahresbericht 2020 wollen wir Ihnen unser modern ausgerichtetes Landesinstitut für Mess- und Sensortechnik Meinsberg sowie besondere Aktivitäten und Ergebnisse des zurückliegenden Jahres schlaglichtartig vorstellen. Wir hoffen, dass dieser Bericht Ihr Interesse finden wird und Sie Freude beim Lesen haben werden.

Voranstellen möchte ich, dass 2022 ein Wechsel der Institutsleitung bevorstehen wird. Sowohl die Stelle des Institutsleiters als auch die des stellvertretenden Institutsleiters sind neu zu besetzen. Dieser Wechsel hat uns schon im Jahr 2020 beschäftigt. In Vorbereitung galt es, das Institut darauf vorzubereiten und strategische Weichen zu stellen. Wir haben diese Zeit für strukturbildende Maßnahmen genutzt. Ein wesentliches Ergebnis dieses Prozesses besteht darin, dass in Zukunft beide Stellen im Rahmen von Professuren unmittelbar mit der Exzellenzuniversität TU Dresden verbunden sein werden – eine davon in den Naturwissenschaften und die andere in den Ingenieurwissenschaften. Mit diesem Schritt wird die für das Institut essentielle Bindung an die sächsischen Universitäten gestärkt. Gleiches gilt für den weiteren Ausbau der Nachwuchswissenschaftler- und Doktorandenausbildung. Fachlich gesehen stellt diese Änderung eine der Maßnahmen zur Erfüllung der strategischen Aufgabestellung des dringend notwendigen Ausbaus der Arbeiten zu digitalen, intelligenten Sensorsystemen dar. Dieser wichtigen Erweiterung liegt die Analyse zugrunde, dass Sensorik und Digitalisierung zukünftig viel stärker als eine

Einheit zu betrachten sind. Es ist absehbar, dass zukünftig der Sensorik eine besondere Rolle bei der Analyse und der Kontrolle von netzwerkgesteuerten Prozessabläufen in der modernen Landwirtschaft und im Umweltmonitoring zukommen wird.

Auch 2020 wurde die Arbeit an den erstmals 2018 eingeführten Haushaltsprojekten erfolgreich fortgesetzt. Letztere sind vorrangig auf die Entwicklung neuer Sensormaterialien gerichtet, um dem internationalen Trend zur Entwicklung portabler, vor Ort einsetzbarer Analysesysteme noch besser gerecht zu werden. Gleichzeitig wurde verstärkt an der methodischen Entwicklung neuer sensorbasierter Analyseverfahren gearbeitet, wobei insbesondere dynamische Messverfahren ein sehr großes Potenzial zur Verbesserung unterer Messgrenzen und der Signalstabilität bieten. Die Haushaltsprojekte sind institutsübergreifend angelegt; sie liefern materialwissenschaftliche Grundlagenergebnisse, die in alle drei Säulen der Sensorforschung am Institut, der elektrochemischen Sensorik, der Hochtemperaturgassensorik und der biologisch-physikalischen Sensorik, eingehen. Ziel ist hier, die Grundlagen für zukünftige Projektvorhaben zur angewandten Sensorforschung mit Partnern aus der Forschung und der Industrie zu schaffen – ein Konzept, das sich als erfolgreich erwiesen hat. Auch wurde die gerätetechnische Infrastruktur durch einen 3D-Keramikdrucker und ein sogenanntes switchSENSE-System für dynamische Affinitätsmessungen an Biomolekülen erweitert.

Das umfangreichste Haushaltsprojekt stellt die Arbeit der Nachwuchsforschergruppe „Organophotonische Sensorik“ von Frau Dr. Caroline Murawski dar, die darauf gerichtet ist, flexible, sensorische Implantate auf der Basis von OLEDs zu entwickeln, um diese für optogenetische Untersuchungen zu nutzen. Im Jahr 2020 wurde als ein wesentlicher Meilenstein dazu eine Beschichtungsmethode entwickelt und publiziert, die es erlaubt, das Eindringen von Feuchtigkeit in die organische Leuchtdiode zu verhindern. Damit wurden grundlegende Voraussetzungen dafür geschaffen, dass OLEDs künftig als implantierbare Sensoren eingesetzt werden können.

2020 wurden am KSI Meinsberg insgesamt 20 öffentlich geförderte Forschungs- und Entwicklungsvorhaben auf den drei Hauptforschungsgebieten des Instituts bearbeitet. Dafür stand zusammen mit dem Erlös aus Industrieaufträgen ein Betrag von mehr als 1,2 Mio. EUR zur Verfügung, wobei mehr als 40% davon sogenannten kompetitiven Quellen zuzurechnen sind. Gemeinsam mit der institutionellen Förderung und anderen Zuwendungen wurden im Jahr 2020 Einnahmen von mehr als 4,0 Mio. EUR realisiert. Im Rahmen der öffentlich geförderten Vorhaben wurden in zahlreichen Verbänden sowohl grundlagen- als auch anwendungsorientierte Forschungs- und Entwicklungsaufgaben auf nationaler und internationaler Ebene durchgeführt. Hervorzuheben ist dabei insbesondere der hohe Anteil an in großen Verbundvorhaben wie z.B. HyProS geleisteter Öffentlichkeitsarbeit, der stark steigende Anteil an Kooperationsvorhaben mit europäischen Partnern und China, der zunehmende Anteil von Arbeiten, die auf eine engere Verknüpfung von Sensorik mit modernen Methoden der Datenauswertung und -übertragung abzielen, sowie die erreichte fachliche Fokussierung auf das Wasserqualitätsmonitoring

und die Anwendung impedimetrischer Messmethoden für den Einsatz in der modernen Landwirtschaft im Rahmen von insgesamt 8 Drittmittelprojekten. Ein großer Teil dieser wird unter Beteiligung von industriellen und mittelständischen Unternehmen sowie KMU durchgeführt. Im Rahmen von neuen europäischen Projekten wie z.B. dem PENTA-Projekt PLANtAR wurde eine große Zahl von europäischen Partnern hinzugezogen.

Besonderes Augenmerk wurde auf die Ausbildung des wissenschaftlichen Nachwuchses am KSI Meinsberg gelegt. Hier kann auf die am Institut stattgefundenen Aus- und Weiterbildungsaktivitäten in Gestalt von Betreuungen von 7 Doktoranden, von studentischen Arbeiten und Schülerpraktika sowie auf das Vorhaben SFregio – Schule und Forschung regional vernetzt verwiesen werden, das gemeinsam mit der Stadt Hartha und dem dortigen Gymnasium durchgeführt wird. Im Berichtszeitraum wurden wiederum Lehrveranstaltungen an der TU Dresden und an der Hochschule Mittweida abgehalten. Coronabedingt musste der größte Teil der Lehrinhalte auf virtuellen Lehrbetrieb umgestellt werden, was mit einem hohen Vorbereitungsaufwand für alle Lehrenden verbunden war.

Im Berichtszeitraum wurden 8 Institutskolloquien durchgeführt sowie eine Reihe von nationalen und internationalen Fachtagungen organisiert bzw. mitorganisiert. 23 wissenschaftliche Zeitschriftenbeiträge wurden publiziert, wovon, dem positiven Vorjahrestrend folgend, knapp die Hälfte in renommierten Zeitschriften mit einem höheren Impact Factor, wie z.B. Nature Communications oder Advanced Optical Materials, erschienen ist.

Ich bedanke mich herzlich bei allen, die unseren Fortschritt und unsere Leidenschaft für moderne Sensorik und Analyseverfahren mittragen, und wünsche Ihnen viel Spaß beim Stöbern und Lesen,

Ihr

A handwritten signature in blue ink, reading "Michael Mertig". The signature is written in a cursive style with a long, sweeping underline.

Michael Mertig

## Über das Institut

Das Kurt-Schwabe-Institut für Mess- und Sensortechnik Meinsberg e.V. ist als gemeinnützig tätiges Landesinstitut verantwortlich für die Durchführung grundlagen- und anwendungsorientierter innovativer Forschung auf den Gebieten der physikalischen Chemie und Elektrochemie, der Sensorik und der damit verbundenen Entwicklung neuartiger Sensormaterialien, der wissenschaftlichen Instrumentierung sowie für die Ausbildung des wissenschaftlichen Nachwuchses auf den genannten Gebieten.

Das KSI Meinsberg besitzt eine hohe Systemkompetenz auf dem Gebiet der Sensorik. Die Zielgebiete der am Institut durchgeführten wissenschaftlich-technischen Arbeiten entsprechen Schlüsseltechnologien wie Umweltmonitoring, regenerative Energien und medizinische Diagnostik.

Zu den strategischen Grundsätzen des KSI gehören der kontinuierliche Ausbau der Forschung zu

neuen Sensormaterialien, die kontinuierliche Fortsetzung der Ausrichtung auf Miniaturisierung und der Ausbau der Arbeiten zu digitalen, intelligenten Sensorsystemen. Mit der Umsetzung dieser Grundsätze wird dem anhaltenden internationalen Trend zur Schaffung von Sensoren und Analysesystemen für den Einsatz vor Ort Rechnung getragen, wobei zunehmend Aspekte wie der Einsatz von umweltfreundlichen Materialien in der Sensorik eine Rolle spielen.

Die am KSI Meinsberg betriebene angewandte Sensorforschung richtet sich darauf, neueste wissenschaftlich-technische Ergebnisse in die industrielle Nutzung zu überführen und neue Anwendungsgebiete der Sensorik zu erschließen.

Zur Erfüllung der Aufgabenstellungen arbeitet das KSI Meinsberg im In- und Ausland mit universitären und außeruniversitären Forschungsinstituten sowie mit verschiedensten Vertretern der Wirtschaft zusammen.

# ORGANISATION DES INSTITUTS

## Organisationsstruktur



## Gremien des Instituts

### Vorstand

- Prof. Dr. rer. nat. et Ing. habil. Michael Mertig, Vorstand und Direktor

### Wissenschaftlicher Beirat

#### Vorsitzender:

- Dr. Günter Scherr  
BASF, Ludwigshafen

#### Mitglieder:

- Prof. Dr. Frank Cichos  
Universität Leipzig, Peter-Debye-Institut für Physik der Weichen Materie
- Prof. Dr. Stefan Howorka  
University College London, Department of Chemistry, London
- Dr. Olaf Kieseewetter  
UST Umweltsensortechnik GmbH, Geschwenda
- Dr. Ulrich Rant  
Dynamic Biosensors GmbH, Martinsried
- Frau Dr. Claudia Weidlich  
DECHEMA-Forschungsinstitut, Frankfurt am Main
- Peter Zimmermann  
Ingenieurbüro TEB, Berlin

## Mitgliederversammlung

### Institutionelle Mitglieder:

- Sächsisches Staatsministerium für Wissenschaft und Kunst, Dresden, vertreten durch Frau Regierungsdirektorin Cathrin Liebner
- Technische Universität Dresden, vertreten durch Prof. Dr. Alexander Eychmüller
- IMM electronics GmbH, Mittweida, vertreten durch Prof. Detlev Müller
- Leibniz-Institut für Polymerforschung Dresden, vertreten durch Frau Prof. Dr. Brigitte Voit
- Kurt-Schwabe-Institut für Mess- und Sensortechnik Meinsberg e.V., vertreten durch Prof. Dr. Michael Mertig

### Gründungsmitglied:

- Prof. Dr. Gerhard Kreysa

## Kuratorium

### Vorsitz:

- Sächsisches Staatsministerium für Wissenschaft und Kunst, Dresden, vertreten durch Frau Regierungsdirektorin Cathrin Liebner

### Mitglieder:

- Technische Universität Dresden, vertreten durch Prof. Dr. Gerald Gerlach
- Hochschule Mittweida, vertreten durch Frau Prof. Dr. Iris Herrmann-Geppert
- Von der Mitgliederversammlung gewähltes Mitglied:  
Prof. Dr. Gerhard Kreysa

## Verbünde und Netzwerke

**Das Kurt-Schwabe-Institut ist Mitglied folgender Forschungsverbünde, Netzwerke und Organisationen:**

### Forschungsverbünde

- Hydrogen Power Storage & Solutions e.V. (HYPOS e.V.), Halle (Saale)
- Wachstumskern Biologische Sensor-Aktor-Systeme auf der Basis von funktionalisierten Mikroorganismen (BioSAM), Dresden
- Exzellenzcluster Center for Advancing Electronics Dresden (cfaed)

### Netzwerke und Organisationen

- agroAMBIENTE – Internationales ZIM-Kooperationsnetzwerk für dezentrale, intelligente Agrar-Umweltmanagementsysteme, Leipzig
- AMA Verband für Sensorik und Messtechnik e.V., Berlin
- Biomaterialtechnologie für Technik und Medizin e.V. (BIOMATUM e.V.), Dresden
- biosaxony e.V., Dresden
- DECHEMA e.V., Frankfurt am Main
- EUREKA-Cluster PENTA & AENEAS
- Forschungsgemeinschaft Technik und Glas e.V., Bronnbach
- WIR! -Initiative „rECOMine“
- Zukunftsinitiative simul+

## Tätigkeiten in Gremien und Fachverbänden

### Tätigkeiten von Mitarbeitern des KSI Meinsberg in wissenschaftlichen Gremien und Fachverbänden:

#### **Prof. Dr. Michael Mertig**

- Mitglied der Materials Research Society, USA
- Mitglied der International Society for Nanoscale Science, Computation and Engineering (ISNSCE)
- Mitglied der Deutschen Physikalischen Gesellschaft (DPG)
- Mitglied der Deutschen Nucleinsäurechemiegesellschaft e.V. (DNG)
- Mitglied der Gesellschaft Deutscher Chemiker (GDCh)
- Mitglied der Gesellschaft für Chemische Technik und Biotechnologie e.V. (DECHEMA)
- Mitglied der Zukunftsinitiative simul+
- Vorsitzender des Beirats der Professor-Schwabe-Stiftung e.V., Technische Universität Dresden
- Vereinsmitglied des Leibniz-Instituts für Polymerforschung Dresden e.V.

#### **Prof. Dr. Winfried Vonau**

- Stellvertretender Vorsitzender des Arbeitskreises Elektrochemische Analysemethoden der Fachgruppe Analytische Chemie der GDCh
- Beiratsmitglied der gemeinsamen ProcessNet-AMA-Fachgruppe Mess- und Sensortechnik (FG-FMS)
- Fellow der International Academy, Research and Industry Association (IARIA)
- Mitglied der International Society of Electrochemistry (ISE)
- Mitglied der Gesellschaft Deutscher Chemiker (GDCh)
- Mitglied der Gesellschaft für Chemische Technik und Biotechnologie e.V. (DECHEMA)
- 2. Vorsitzender des Beirats der Kurt-Schwabe-Stiftung

#### **Dipl.-Chem. Kristina Ahlborn**

- Geschäftsführendes Vorstandsmitglied der Kurt-Schwabe-Stiftung

**Dipl. Chem. Manfred Decker**

- Mitglied der Gesellschaft Deutscher Chemiker (GDCh)

**Dr. Wolfgang Fichtner**

- Mitglied der Gesellschaft für Chemische Technik und Biotechnologie e.V. (DECHEMA)

**Dr. Caroline Murawski**

- Mitglied der Optics Society of America (OSA)
- Mitglied der Deutschen Physikalischen Gesellschaft (DPG)

**Dr. Jens Zosel**

- Mitglied des Fachausschusses Hochtemperatursensorik der DGM
- Mitglied der Gesellschaft für Chemische Technik und Biotechnologie e.V. (DECHEMA)

# PROFIL DES INSTITUTS

## Hauptforschungslinien und Zielgebiete

### Forschungslinien



Zielgebiete



## Gerätetechnische Infrastruktur: Technologien und Labore

### Sensortechnologien

- Dickschichttechnik
- Glastechnologie und Glasbläserei
- Gepulste Laserablation (PLD) und Sputtertechnologien
- Mikropipettiersystem zur Mikroarray-Herstellung (Pikoliter bis Nanoliter-Tropfen)
- Thermische Bedampfung

### Analyse- und Referenzlabore

#### Biologische Analyseverfahren und -geräte

- Durchflusszytometer
- Fluoreszenzmikroskopie
- Gelelektrophorese, Geldokumentationssystem
- Interaktionsmesssystem fluoreszierender, elektronisch schaltbarer DNA-Schichten (Dynamic Biosensors switchSENSE DRX2 inklusive proFIRE-System zur Aufreinigung von DNA-Protein-Konjugaten)
- Mikroplatten-Reader (BioTek Synergy H1, UV-Vis-Absorption, Fluoreszenz, Temperierung, Schüttler)
- Oberflächenplasmonenresonanz (SPR)-Messsysteme mit Mikrofluidik (2-Kanal-Messsystem für Messungen in Flüssigkeiten, SPR-Spektrometer für Mikroarrays)

#### Chemische Analyseverfahren und -geräte

- Atomabsorptionsspektrometer (AAS) inklusive Mikrowellenaufschlussgerät
- Elektrochemische Messplätze: Potentiostaten (Stripping-Voltammetrie, Cyclovoltammetrie)
- Elektrochemischer Multiplexer
- FT-IR-Spektrometer zur chemischen Analyse im NIR/MIR
- FT-IR-Spektrometer zur Gasanalyse

- Gaschromatograph (GC/MS, GC/FID, GC/BID)
- Hochleistungsflüssigkeitschromatograph (HPLC)
- HPLC-Analyser
- ICP-Emissionsspektrometer
- Ionenchromatograph (IC)
- Massenspektrometer zur Gasanalyse
- Mikro-Röntgenfluoreszenzanalyse (Mikro-RFA)
- Nirone Sensor
- Pestizidanalytik-Homogenizer Geno/Grinder 2010
- pH/Ionenmeter
- Röntgenphotoelektronenspektroskopie (XPS)
- Titrator mit Automation
- UV-Digester (Aufschlussgerät UV-Fotolyse)
- UV/VIS-Spektralphotometer und modulares optisches Spektrometer

#### **Physikalische Analyseverfahren und -geräte**

- BET-Messgerät zur Oberflächenbestimmung
- Coulometrische Gasmessstände (inkl. Messstand zur hochsensitiven coulometrischen Sauerstofftitration mittels Festelektrolyt-Gassensoren und Messstand zum Nachweis der Teilleitfähigkeit an Festkörpern nach Tubandt)
- Dunkelfeldmikroskopie
- Impedanzmesssysteme
- Kontaktwinkelmessgerät
- Oberflächenplasmonenresonanz (SPR)-Messsystem für Messungen an Luft und in Flüssigkeiten
- Partikelgrößenanalysator
- Porometer
- Röntgendiffraktometer (XRD)
- Röntgenpulverdiffraktometer mit Flächendetektor Eiger II R 500K

- Spektroskopisches (360 nm – 1000 nm; 658 nm Laser) Imaging Ellipsometer (Flüssig-Messzelle, SPR-Messzellen, Müller-Matrix-Erweiterung für anisotrope Proben)
- Thermische Analyse (Dilatometer, DTA/TG-Messsystem für thermische Analysen)
- Viskosimeter

### **Bakterien- und Zellzuchtlabore**

- Autoklaven
- CO<sub>2</sub>-Inkubator
- Fermentoren (auch im Technikumsmaßstab für Biogasprozesse)
- Gefriertrocknung
- Gradient-Thermocycler
- Inkubationsschüttler
- Microfluidizer
- Phasenkontrastmikroskop
- Sterilbänke
- S1-Labore
- Tiefsttemperaturschränke (-80 °C)
- Zentrifugen

### **Lithographielabore**

- Elektronenstrahlithographie
- Laserlithographie
- LF-Arbeitsbank mit Hotplate und Spincoater
- Optische Lithographie

### Mikroskopielabore

- Digitalmikroskop mit hochauflösenden Objektiven
- Dunkelfeldmikroskop mit Hyperspektralkameras: CytoViva Hyperspectral Microscopy (VNIR 400 - 1000 nm, SWIR 900 – 1700 nm)
- FT-IR-Mikroskop zur chemischen Analyse im NIR/MIR
- Hochauflösende Rastersondenmikroskopie (SPM)
- Invertierte Fluoreszenzmikroskope (Zeiss) mit digitaler Bildverarbeitung
- REM, EDX und Ionenfeinstrahlanlage (FIB)
- Stereo- und Auflichtmikroskop mit digitaler Bildverarbeitung

### Optiklabor organophotonische Sensorik

- Aufrechtes Fluoreszenzmikroskop, Nikon Ni-E
- Andor Shamrock Spektrograph mit Andor Newton CCD-Kamera
- Gepulster Stickstofflaser (337 nm) mit Farbstofflasermodul
- Keithley Source-Measure-Unit und Multimeter
- Oszilloskop
- Schwingungsgedämpfter optischer Tisch
- sCMOS Hochgeschwindigkeitskamera, Andor Zyla 5.5
- Sonnensimulator
- Stereo-Fluoreszenzmikroskop, Nikon SMZ 25

## **Präparationsmethoden und -geräte**

- Glovebox (Handschuhbox unter Schutzgas)
- Hochtemperatursynthesen
- Hydraulische Pressen
- Induktiver Schmelzofen
- Oxid-, SOL/GEL-, Polyol-, Hydrothermal- und Hochtemperatursynthesen
- Planeten- und Fliehkraftkugelmühlen, Siebmaschine
- Plasmabeglimmung
- Pulver- und Pastentechnologien
- Rohröfen, Kammeröfen bis 1750°C
- Vakuumtrockenschränke

## **Prüf- und Teststände**

- Autoklaven für hohe Drücke und hohe Temperaturen
- Gasmischstände
- Helium-Lecksuchgerät
- Klimaprüfschrank
- Materialprüfmaschine
- Optisches Profilometer
- Spitzenmessplatz (Probestation)

## **Entwicklungswerkstatt**

- 3D-Druck-Technologie für Polymere und Keramiken
- Beschriftungs- und Strukturierungslaser
- Mechanische und elektrische Fertigungstechniken
- Wasserstrahltechnologie
- Sandstrahler
- Schweißlaser
- Spaltschweißen

## Kooperationspartner

### Universitätär

- Brandenburgische Technische Universität Cottbus-Senftenberg
- Chongqing University, China
- Hochschule Mittweida, University of Applied Sciences
- Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur, Leipzig
- Humboldt-Universität, Berlin
- Medizinische Hochschule Brandenburg Theodor Fontane
- Technische Universität Bergakademie Freiberg
- Technische Universität Berlin
- Technische Universität Chemnitz
- Technische Universität Dresden
- Tongji University, Shanghai, China
- Universität Bayreuth
- Universität Leipzig
- Universität Paderborn
- Universität Rostock
- University College London, UK
- University of St Andrews, UK

### Außeruniversitär

- Deutsches Biomasseforschungszentrum, Leipzig
- Forschungsinstitut für Leder und Kunststoffbahnen FILK, Freiberg
- Fraunhofer Institut für Elektronische Nanosysteme ENAS, Chemnitz
- Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und Systeme, Dresden
- Fraunhofer-Institut für Mikrostruktur von Werkstoffen und Systemen, Halle
- Fraunhofer-Institut für Organische Elektronik, Elektronenstrahl und Plasmatechnik, Dresden

- Fraunhofer-Institut für Werkstoffe und Strahltechnik, Dresden
- Gesellschaft zur Förderung von Medizin-, Bio- und Umwelttechnologien e.V., Dresden
- Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf, Dresden
- Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung, Leipzig
- Institut für Agrar- und Stadtökologische Projekte (IASP) an der Humboldt-Universität, Berlin
- Institut für Bioprocess- und Analysenmesstechnik e.V., Heilbad Heiligenstadt
- Leibniz-Institut für Festkörper- und Werkstoffforschung Dresden e.V., Dresden
- Leibniz-Institut für Katalyse e.V., Rostock
- Leibniz-Institut für Photonische Technologien e.V., Jena
- Leibniz-Institut für Polymerforschung Dresden e.V., Dresden
- Stichting Wageningen Research, Niederlande
- Stichting IMEC, Eindhoven, Niederlande

### **Wirtschaftlich**

- ADZ Nagano GmbH, Ottendorf-Okrilla
- AgriCon GmbH, Ostrau
- AlphaSip, Spanien
- Alianza Nanotecnología Diagnóstica ASJ, SL, Spanien
- Alteria Automation SL, Spanien
- Analytical Control Instruments GmbH, Berlin
- Aspect Systems GmbH, Dresden
- Bartels Mikrotechnik GmbH, Dortmund
- BASF, Ludwigshafen
- BVT Technologies (CZ), Brno
- CELLASYS GmbH, Kronburg
- CiS Institut für Mikrosensorik und Photovoltaik GmbH, Erfurt
- cubeoffice GmbH & Co.KG, Magdeburg
- Danpower GmbH, Potsdam

- DGS GmbH Dr. Günther Schaltanlagen, Hartha
- DMOS GmbH, Dresden
- Dr. Müller Gerätebau GmbH, Freital
- DWH, Drahtseilwerk Hemer GmbH & Co.KG, Hemer
- Dynamic Biosensors GmbH, Martinsried
- EloSystems GbR, Berlin
- Endress+Hauser, Conducta GmbH + Co. KG, Waldheim
- Evalan BV, Amsterdam, NL
- EvoLogics GmbH, Berlin
- fraberagro GbR, Lindow (Mark)
- Frankenförder Forschungsgesellschaft mbH, Luckenwalde
- Freudenberg Industrie Siebdruck GmbH, Dresden
- FWE GmbH, Marktredwitz
- G.E.O.S Ingenieurgesellschaft mbH, Halsbrücke
- GeSiM mbH, Großerkmannsdorf
- GICON - Großmann Ingenieur Consult GmbH, Dresden
- Go-Messtechnik, Greifswald
- Grünbeck Wasseraufbereitung GmbH, Höchstädt, Donau
- Guangxi Yuchai Machinery Group Co., LTD., Guangxi, China
- Hanomag Lohnhärtereier Unternehmensgruppe, Hannover
- HANSENHOF\_electronic Fa. Steffen Schmieder, Reifland
- HANSENHOF electronic GmbH, Pockau-Lengenfeld
- Henze-Hauck Prozessmesstechnik/Analytik GmbH, Dessau
- Heraeus Sensor Technology GmbH, Kleinostheim
- Hoppecke Advanced Battery Technology GmbH, Zwickau
- Ibes AG, Chemnitz
- IFU GmbH, Privates Institut für Umweltanalysen, Lichtenau
- IL Metronic Sensortechnik GmbH, Ilmenau

- Infineon Technologies AG, Neubiberg
- Institut für angewandte Gewässerökologie GmbH, Seddiner See
- IPP – Ing. Peter Peutler GmbH, Seiersberg, Österreich
- IT Dr. Gambert GmbH, Wismar
- Klinik im Leben GmbH, Greiz
- Königl GmbH & Co.KG, Würzburg
- LUCAS, Jena
- LWB Dr. Schönleber, Roßwein/Littdorf
- M&S Umweltprojekt GmbH, Plauen
- MAL Mikrobiologisch Analytisches Labor GmbH, Jahnsdorf
- Materion GmbH, Wismar
- Meister Kabelrecycling GmbH, Plauen
- MH Wassertechnologie GmbH, Moritzburg
- Munisense BV, NL
- Palivový kombinát Ústi, Chlumec, Tschechien
- Paracelsus Klinik, Lustmühle AG, Lustmühle, Schweiz
- Prignitz Mikrosystemtechnik GmbH, Wittenberge
- Pronova Analysentechnik GmbH & Co. KG, Berlin
- Reinsdorfer Agrargenossenschaft eG, Waldheim
- Robert Bosch GmbH, Stuttgart
- RockWool B.V., Roermond, NL
- scan Messtechnik GmbH, Wien, Österreich
- Sciospec Scientific Instruments GmbH, Bennewitz
- Siemens AG, Rastatt
- silvertex aqua GmbH, Hoppegarten
- SKAN Deutschland GmbH, Görlitz/Hagenwerder
- STG Software & Technologie Glas GmbH, Cottbus
- Stichting IMEC, Eindhoven, NL

- Stichting Wageningen Research, Wageningen, NL
- TEB Ingenieurbüro Peter Zimmermann, Berlin
- TecSense GmbH, Grambach, Österreich
- Trace Analytics GmbH, Braunschweig
- UMEX GmbH, Dresden
- Union Instruments GmbH, Lübeck
- UST Umweltsensortechnik GmbH, Geschwenda
- UV-EL GmbH & Co. KG, Dresden
- viimagic GmbH, Dresden
- VOWALON Beschichtung GmbH, Treuen
- Wagner Mess- und Regeltechnik GmbH, Offenbach am Main
- Weischlitzer Tiefbau und Umweltschutz GmbH/Weischlitz (WTU)
- WTW Wissenschaftlich-Technische Werkstätten GmbH, Weilheim
- Xylem Analytics Germany GmbH, Meinsberg
- Zinnerz Ehrenfriedersdorf GmbH, Ehrenfriedersdorf
- ZIROX Sensoren & Elektronik GmbH, Greifswald

# FORSCHUNG UND ENTWICKLUNG

## Neuigkeiten aus der Nachwuchsforschergruppe

**Die Nachwuchsforschergruppe „Organophotonische Sensorik“ entwickelt neue strukturierte Lichtquellen für die Optogenetik auf Basis organischer Halbleitermaterialien.**

Caroline Murawski

Neurologische Krankheiten stellen Betroffene, Ärzte und Wissenschaftler vor große Herausforderungen. Während die Krankheiten aufgrund der zunehmenden Alterung der Menschen weltweit zunehmen, sind die Ursachen und Wirkmechanismen nach wie vor vielfach unklar. Um ein besseres Verständnis für neurologische Prozesse zu erlangen und letztendlich neue Therapien zu ermöglichen, werden Methoden benötigt, die einerseits eine zeitlich und räumlich präzise Kontrolle neuronaler Signale ermöglichen und andererseits neuronale Informationen mit hoher Auflösung auslesen können. Optogenetik ermöglicht die präzise Steuerung von Neuronen mittels Licht durch Einführung lichtsensitiver Ionenkanäle. Die Nachwuchsforschergruppe (NFG) am KSI Meinsberg entwickelt dafür neue Lichtquellen, die anvisierte Zellen möglichst präzise beleuchten und dadurch Neuronen gezielt stimulieren oder inhibieren zu können. Weiterhin sollen flexible Sensoren entwickelt werden, die ein Auslesen neuronaler Signale möglichst wenig invasiv und mit hoher Auflösung ermöglichen.

Die neuartigen Lichtquellen basieren auf organischen Halbleitermaterialien, die in etwa 100 nm dünnen Schichten auf Plastikfolien abgeschieden werden können. Die daraus gebildeten organischen Leuchtdioden (OLEDs) können mechanisch flexibel und biokompatibel sein, enthalten keine toxischen Materialien und können sowohl großflächig sein als auch zu Mikrometer kleinen Pixeln strukturiert werden.

Im Jahr 2020 veröffentlichten wir eine Reihe von Publikationen zusammen mit Kollegen der *University of St Andrews*, in denen es um verschiedene Aspekte im Material- und Bauteildesign von OLEDs ging. Es wurden extrem helle OLEDs entwickelt, die blaues Licht mit mehr als 100,000 cd/m<sup>2</sup> bei weniger als 5 V Spannung emittieren.<sup>1</sup> Die thermische Stabilität von OLEDs wurde verbessert<sup>2</sup> und es wurden flexible, wasserdichte Leuchtdioden synthetisiert und untersucht.<sup>3</sup> Da die organischen Schichten vor Kontakt mit Wasser besonders geschützt werden müssen, wurde dafür eine Dünnschichtverkapselung entwickelt, die aus alternierenden Schichten des Polymers Parylene-C und mittels Atomlagendeposition abgeschiedenen Metalloxidschichten besteht.

Eine weitere Veröffentlichung umfasste die Entwicklung mikrostrukturierter OLEDs und deren Einsatz zur Stimulation von Fruchtfliegenlarven (*Drosophila melanogaster*).<sup>4</sup> Die blau leuchtenden OLEDs wurden in einem eindimensionalen Array mit Pixelgrößen von 100 µm angeordnet (Abbildung 1). Darauf wurden *Drosophila*-Larven platziert, sodass einzelne Segmente der Larven beleuchtet und deren Verhalten gleichzeitig unter dem Mikroskop beobachtet werden konnten.

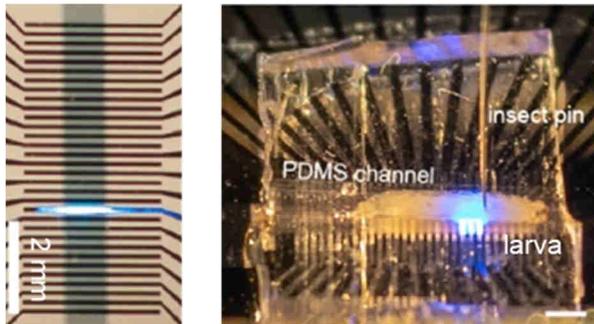


Abbildung 1. Links: Mikrostrukturiertes OLED-Array. Rechts: Eine *Drosophila*-Larve in einem PDMS-Kanal, die mittels des OLED-Arrays gezielt in verschiedenen Segmenten stimuliert wurde.<sup>4</sup>

Die Larven exprimierten entweder den Aktivator CsChrimson oder den Inhibitor GtACR2 im peripheren sensorischen Nervensystem. Durch Beleuchtung individueller Segmente des Unterleibs konnte das larvale Verhalten in Abhängigkeit eines lokalen sensorischen Inputs untersucht werden. Dies ermöglichte die gezielte Steuerung verschiedener Bewegungsmodi der Larven. Außerdem konnte die Bewegungsrichtung durch Stimulation bestimmter abdominaler Segmente zwischen vorwärts und rückwärts geschaltet werden (Abbildung 2). Die Ergebnisse, die im Journal *Nature Communications* veröffentlicht wurden, führten dazu, dass neue Hypothesen aufgestellt werden konnten, die den Einfluss der sensorischen Nervenaktivität auf das larvale Mo-

torsystem beschreiben. Dadurch wurde das Potential von OLEDs als hochstrukturierter Lichtquelle für räumlich präzise Optogenetik aufgezeigt.

Andere Arbeiten der NFG widmeten sich der Weiterentwicklung einer Smartphone-App zur optogenetischen Verhaltenssteuerung von Fruchtfliegen über Smartphone-Bildschirme. Dafür wurde die App an Larven und Fliegen, die verschiedene lichtensitive Proteine exprimierten, verifiziert und die Arbeit schließlich publiziert (siehe Seite 32).<sup>5</sup> Zusätzlich wurde die App im Rahmen eines Wahlpflichtpraktikums zum Thema „Genetik“ an der Universität Leipzig erprobt. Hier verwendeten Studenten das Smartphone, um das Verhalten von genetisch veränderten *Drosophila*-Larven zu untersuchen und dadurch die Prinzipien der Optogenetik zu erlernen.

Weiterhin wurden im Rahmen eines von der Hector-Stiftung geförderten Projekts in Kollaboration mit Wissenschaftlern der TU Dresden zweifarbige OLEDs für eine Anwendung in der Optogenetik entwickelt. Durch Schaltung zwischen zwei Emissionsfarben sollen Zellen sowohl stimuliert als auch inhibiert werden können. Dafür werden die entwickelten OLEDs an tierischen

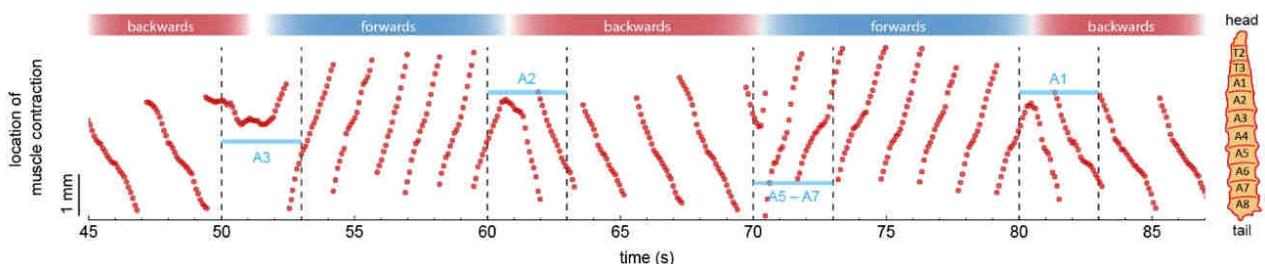
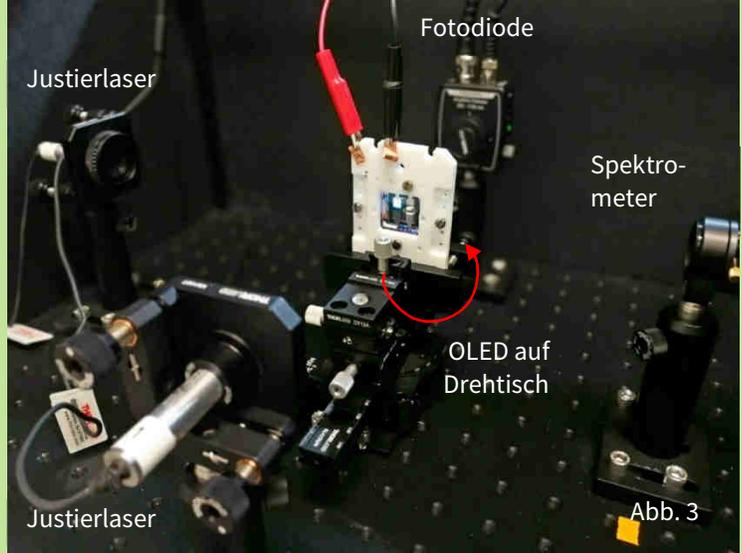


Abbildung 2. Optisch gesteuerte Richtungsänderung in *Drosophila*-Larven. Gezeigt ist die Position der Muskelkontraktionswelle als Funktion der Zeit. In Abhängigkeit der mittels OLED-Beleuchtung (blaue Streifen) stimulierten Segmente kroch die Larve entweder vorwärts oder rückwärts.<sup>4</sup>



Zellen (beim Partner Humboldt-Universität Berlin) und an Fruchtfliegenlarven (am KSI Meinsberg) evaluiert.

Neben der angewandten Forschung wurden auch in der Grundlagenforschung neue Erkenntnisse gewonnen. So untersuchte die NFG zusammen mit Partnern der *University of St Andrews* und der Universität Paderborn flüssigkristalline Materialien als horizontal orientierte Emitter in OLEDs (siehe Seite 34).<sup>6</sup>

Auch 2020 wurden die Labore der NFG um einige Geräte erweitert. So wurde unter anderem ein Goniometer in Betrieb genommen, das die winkelabhängige Vermessung von Spektren ermöglicht (Abbildung 3).<sup>7</sup> Dadurch kann die laterale Lichtausbreitung und somit das Emissionsprofil von OLEDs und Displays bestimmt werden.

Für die zukünftige Entwicklung flexibler organischer Bauelemente und Sensoren wurden Forschungsmittel im Rahmen des SAB-InfraPro-Programms eingeworben. Damit sollen Geräte zur Atomlagendeposition, zur Abscheidung von Polylenen und zur Vermessung elektrischer Signale von Zellen mittels Patch-Clamp angeschafft werden (Seite 36).

Trotz der Herausforderungen, die das Pandemie-Jahr mit sich brachte, präsentierte die NFG ihre Arbeiten in sieben Vorträgen und Postern auf zu meist virtuell durchgeführten Konferenzen. Weiterhin führte Frau Dr. Murawski ihre Vorlesung zum Thema „Messmethoden für Studien an organischen Halbleitern“ an der TU Dresden erfolgreich digital durch. ■

- **Projektleiter:** Dr. Caroline Murawski
- **Projektträger:** KSI-Haushaltsprojekt
- **Projektpartner:** Malte C. Gather (University of St Andrews und Universität Köln)  
Andreas Thum, Robert Kittel (Universität Leipzig)  
Karl Leo (Technische Universität Dresden)  
Peter Hegemann (Humboldt-Universität Berlin)  
Heinz Kitzerow (Universität Paderborn)
- **Laufzeit:** 11/2018 – 10/2023
- **Gruppenhomepage:** [www.murawskilab.com](http://www.murawskilab.com)

- 1 Y. Deng, C. Murawski, C. Keum, K. Yoshida, I. D. W. Samuel, M. C. Gather, *Adv. Opt. Mater.* 8 (2020) 1901721.
- 2 Y. Deng, C. Keum, S. Hillebrandt, C. Murawski, M. C. Gather, *Adv. Opt. Mater.* (2020) 2001642.
- 3 C. Keum, C. Murawski, E. Archer, S. Kwon, A. Mischok, M. C. Gather, *Nat. Commun.* 11 (2020) 6250.
- 4 C. Murawski, S. R. Pulver, M. C. Gather, *Nat. Commun.* 11 (2020) 6248.
- 5 I. Meloni, D. Sachidanandan, A. S. Thum, R. J. Kittel, C. Murawski, *Sci. Rep.* 10 (2020) 17614.
- 6 C. Keum, D. Becker, E. Archer, H. Bock, H. Kitzerow, M. C. Gather, C. Murawski, *Adv. Opt. Mater.* 8 (2020) 2000414.
- 7 E. Archer, S. Hillebrandt, C. Keum, C. Murawski, J. Murawski, F. Tenopala-Carmona, M. C. Gather, *Adv. Opt. Mater.* 9 (2021) 2000838.

Abbildung 3. Goniometer zur winkelaufgelösten Vermessung von Emissionsspektren.

## Verhaltenssteuerung von Fruchtfliegen mit Smartphone-Bildschirmen

Eine am KSI Meinsberg entwickelte Smartphone-App ermöglicht die präzise Verhaltens- und Bewegungssteuerung von *Drosophila melanogaster* Larven und Fliegen durch optogenetische Stimulation mit hochauflösenden Smartphone-Bildschirmen.

Ilenia Meloni, Caroline Murawski

Optogenetik ermöglicht die präzise, nicht-invasive Aktivierung und Hemmung von Neuronen mit Licht. Konventionelle Lichtquellen, die für optogenetische Stimulation in Zell- und Tierversuchen verwendet werden, sind jedoch oft teuer, sperrig und besitzen nur eine geringe Auflösung.

Forscher des KSI Meinsberg haben die Nutzung von Smartphone-Bildschirmen als einfache, kostengünstige Lichtquelle zur hochauflösenden Stimulation von *Drosophila melanogaster* (Fruchtfliegen) im Larven- und adulten Stadium evaluiert.<sup>1</sup> Durch Aktivierung multidendritischer Neuronen der Klasse IV (ppk-GAL4) in Larven wurden mithilfe des vom Smartphone-Display

emittierten Lichts Nerven stimuliert, die ein Fluchtverhalten bewirken. Die Larven versuchten daher, das Licht zu vermeiden.

Dies erlaubte, die Bewegung der Larven mit einem komplexen Lichtmuster zu kontrollieren, zum Beispiel durch Einschluss der Larven innerhalb eines Lichtlabyrinths (Abbildung 1a). Des Weiteren konnte die Bewegungsrichtung der Larven mit Hilfe eines Lichtrings gesteuert werden (Abbildung 1b). Bei Bewegung des Lichtrings über den Bildschirm wurden darin befindliche Larven gezwungen der Bewegung des Rings zu folgen. Mittels solch statischer und dynamischer Lichtmuster kann zukünftig ein besseres Ver-

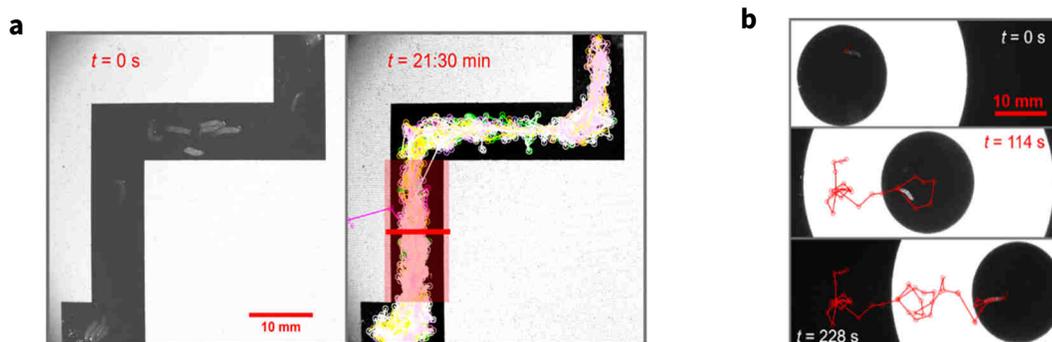


Abbildung 1. Räumliche Kontrolle der Bewegung von *Drosophila*-Larven (ppk-Gal4 > UAS-CsChrimson) durch gezielte Beleuchtungsmuster mit einem Smartphone.<sup>1</sup> a) Einschluss der Larven in einem unbeleuchteten Labyrinth, umgeben von weißem Licht. Links: Positionierung der Larven im Labyrinth. Rechts: Spuren der Larven über einen Zeitraum von 21:30 min. b) Kontrolle der Bewegungsrichtung. Larven befinden sich innerhalb eines Rings aus weißem Licht, der sich mit einer Geschwindigkeit von 0,17 mm/s in x-Richtung bewegt. Die rote Spur zeigt die Trajektorie der Larve.

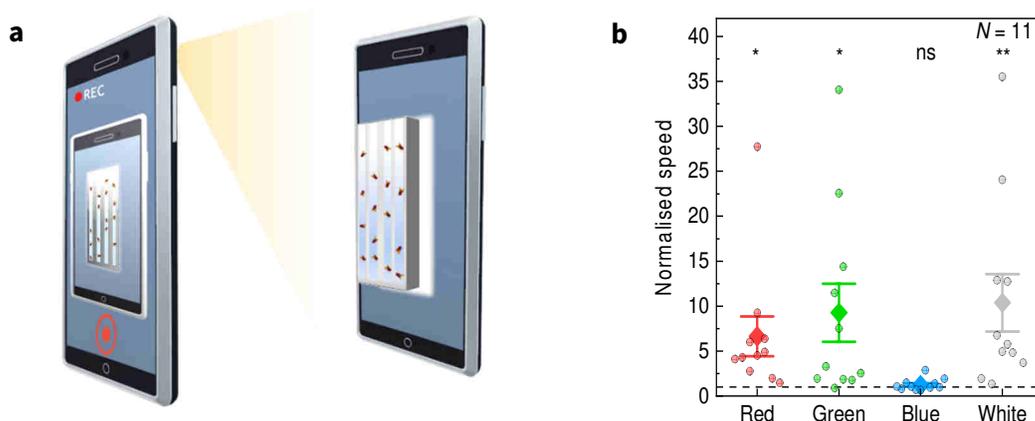


Abbildung 2. Verhaltenskontrolle von adulten *Drosophila* mittels Smartphone-Beleuchtung.<sup>1</sup> a) Skizze des Versuchsaufbaus. b) Normalisierte Geschwindigkeit von (ppk-Gal4 > UAS-CsChrimson)-Fliegen in Reaktion auf eine Beleuchtungssequenz mit verschiedenen Farben. Ein signifikanter Geschwindigkeitsanstieg wird beobachtet für Beleuchtung mit Farben, die vom verwendeten Licht-sensitiven Protein CsChrimson besonders absorbiert werden.

ständnis für die molekularen und zellulären Prozesse erlangt werden, die zu grundlegenden Formen der Kognition führen.

Darüber hinaus nutzten wir das vom Smartphone-Display emittierte Licht, um auch bei adulten *Drosophila* eine neuronale Reaktion zu aktivieren. Die Aktivierung der multidendritischen Neuronen der Klasse IV in adulten Fliegen

bewirkte eine starke Erhöhung der Geschwindigkeit der Fliegen in Abhängigkeit der Beleuchtungsfarbe (Abbildung 2). Diese einfache Methode erlaubte es uns, sowohl *Drosophila*-Larven als auch Fliegen optogenetisch mit komplexen, hochauflösenden Mustern zu stimulieren und so die Bewegung der Insekten zu kontrollieren. ■

- **Projektleiter:** Caroline Murawski
- **Projektträger:** KSI-Haushaltsprojekt
- **Projektpartner:** Andreas Thum, Robert Kittel (Universität Leipzig)
- **Laufzeit:** 02/2019 – 02/2022

1 I. Meloni, D. Sachidanandan, A. S. Thum, R. J. Kittel, C. Murawski, *Sci. Rep.* 10 (2020) 17614.

## Flüssigkristalline Emmitter für Organische Leuchtdioden

**Die photophysikalischen Eigenschaften eines kolumnaren, flüssigkristallinen Emitters wurden umfassend charakterisiert und der Emmitter in organische Leuchtdioden implementiert. Diese erreichten sehr hohe Leuchtdichten, vergleichbar mit den besten bisher gebauten Flüssigkristall-OLEDs.**

Caroline Murawski

Organische Leuchtdioden (OLEDs) sind heutzutage Bestandteil vieler Bildschirme in Smartphones oder Fernsehern und ermöglichen neue Anwendungsgebiete in der Sensorik und Medizin. Die Erforschung lichtemittierender Materialien spielt eine große Rolle für die Verbesserung der Effizienz und Erhöhung der Lichtausbeute. Flüssigkristalline Materialien verfügen über selbstassemblierende Eigenschaften und ermöglichen anisotrope Schichten. Diese können den Ladungstransport und die Lichtauskopplung in OLEDs verbessern.

Bisherige Studien zur Implementierung von flüssigkristallinen Emittlern in OLEDs erreichten jedoch nur verhältnismäßig geringe Effizienzen. Ziel des Projekts war, die umfassende photophysikalische Charakterisierung eines kolumnaren, flüssigkristallinen Perylenderivats und die anschließende Implementierung des Materials in OLEDs, die dem neuesten Stand der Technik entsprechen.

Abbildung 1 zeigt die chemische Struktur des untersuchten Materials (PTCTE), das mittels Verdampfung im Vakuum als 50 nm dünne Schicht abgeschieden wurde. Das Material emittiert breitbandiges rotes Licht mit einer Peak-Wellenlänge von 624 nm. Durch winkelaufgelöste Vermessung des Emissionsspektrums wurde die Orientierung des Übergangsdipolmoments bestimmt. Das Material weist eine stark horizontale Anisotropie auf, die jedoch bei Erhitzen auf 160°C

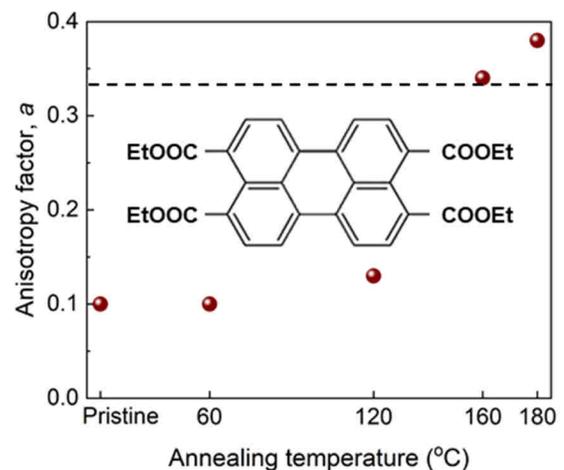


Abbildung 1. Chemische Struktur des Emittermoleküls PTCTE und Anisotropie dünner PTCTE-Schichten als Funktion der Substrattemperatur.<sup>1</sup>

verschwindet (Abbildung 1,  $a = 0.33$  für isotrope Orientierung). Aufgrund optischer Effekte kann Licht von horizontal orientierten Dipolen bevorzugt den OLED-Stapel verlassen. Nicht-erhitzte PTCTE-Schichten können somit zu einer Effizienzsteigerung führen.

Das Material wurde anschließend in verschiedene OLED-Schichtstapel implementiert (Abbildung 2a). Unter Verwendung dotierter Ladungstransportschichten und durch Einbetten des Emitters in zwei Matrixmaterialien konnte schließlich eine hohe Leuchtdichte von  $10.000 \text{ cd/m}^2$  bei nur  $5,7 \text{ V}$  erreicht werden (Abbildung 2b). Dies stellt eines der besten bisher er-

reichten Ergebnisse unter Verwendung von flüssigkristallinen Emittern dar und wurde im Journal *Advanced Optical Materials* publiziert.<sup>1</sup>

Während die Fotolumineszenz-Quantenausbeute reiner PTCTE-Schichten für die praktische Anwendung in OLEDs zu gering ist, kann diese durch Einbettung in ein Matrixmaterial gesteigert

werden. Die verbesserte Fotolumineszenz ging in dieser Studie jedoch mit einer reduzierten Anisotropie einher.

Zukünftig könnte eine Untersuchung anderer flüssigkristalliner Materialien zu einer deutlichen Verbesserung der Effizienz und zu höherer Lichtausbeute führen. ■

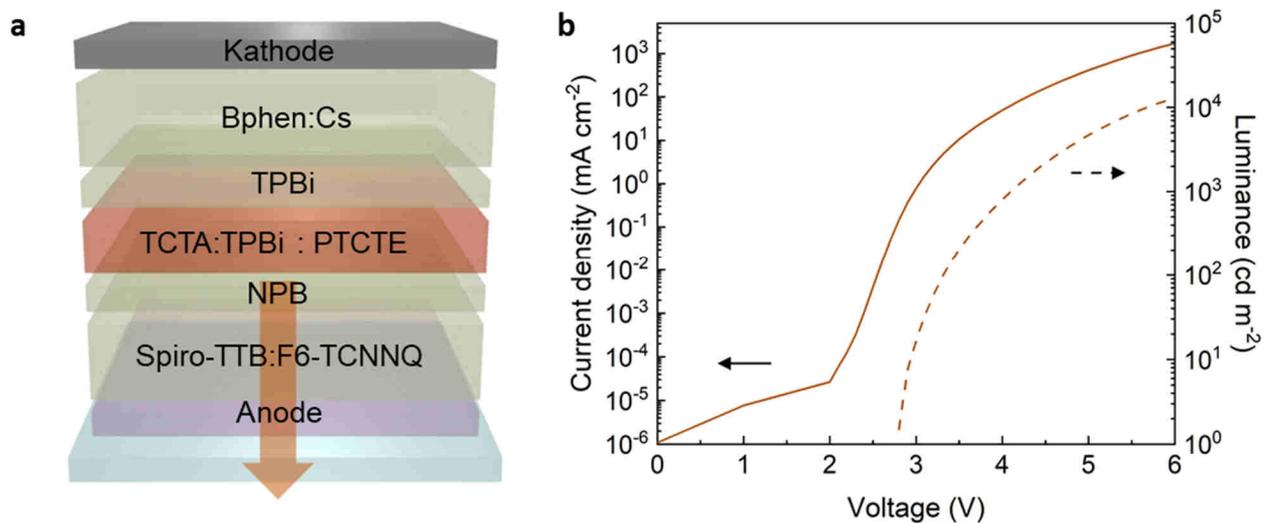


Abbildung 2. a) OLED-Schichtstapel mit dem flüssigkristallinen Emitter PTCTE. b) Stromdichte und Leuchtdichte als Funktion der Spannung.<sup>1</sup>

- **Projektleiter:** Dr. Caroline Murawski
- **Projektträger:** KSI-Haushaltsprojekt
- **Projektpartner:** Malte C. Gather (University of St Andrews, UK)  
Heinz Kitzerow (Universität Paderborn)
- **Laufzeit:** 11/2018 – 05/2020

1 C. Keum, D. Becker, E. Archer, H. Bock, H. Kitzerow, M. C. Gather, C. Murawski, *Adv. Opt. Mater.* 8 (2020) 2000414.

## Erweiterung der wissenschaftlich-technischen Infrastruktur der Nachwuchsforschergruppe des KSI Meinsberg zur innovativen, angewandten Sensorforschung

**Die Infrastruktur der Nachwuchsforschergruppe soll um Geräte zur Atomlagendeposition und zur Abscheidung von Parylenen sowie um ein Patch-Clamp-System erweitert werden.**

Caroline Murawski

Im Rahmen des Förderprogramms „Forschungsinfrastruktur und Forschungsprojekte im Bereich anwendungsnahe öffentlicher Forschung“ der Sächsischen Aufbaubank wurden Mittel eingeworben, um die Infrastruktur der Nachwuchsforschergruppe zu erweitern. Dadurch soll die Entwicklung neuer Sensortechnologien im Bereich der medizinischen Diagnostik und Therapie ermöglicht werden. Ziel ist die Entwicklung flexibler, tragbarer und implantierbarer Sensoren zur Überwachung von Körperfunktionen und zur medizinischen Diagnostik und Behandlung. Zur Herstellung flexibler Substrate soll im Rahmen des Projekts eine Anlage zur Abscheidung von Parylenen angeschafft (Abbildung 1) werden.

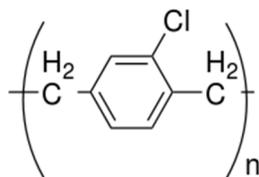


Abbildung 1. Chemische Struktur von Parylene-C.

Parylene-C bietet in Kombination mit Metalloxidschichten, die mittels Atomlagendeposition (ALD) hergestellt werden, hervorragende Barriereeigenschaften und ermöglicht so zum Beispiel

die Herstellung extrem flexibler, wasserdichter organischer Leuchtdioden (OLEDs) (Abbildung 2). Alternierende Schichtstapel aus Parylene-C und 50 nm dicken Nanolaminaten bestehend aus  $\text{Al}_2\text{O}_3$  und  $\text{ZrO}_2$ , die mittels ALD hergestellt wurden, erlauben die Lagerung von OLEDs über zwei Wochen hinweg in wässriger Umgebung (Abbildung 3).<sup>1</sup> Dies ist essentiell für den zukünftigen Einsatz organischer Halbleiterbauelemente im biomedizinischen Kontext, beispielsweise als Implantat zur Hirnstimulation. Zur weiteren Erforschung geeigneter Barrierschichten soll ein ALD-Gerät angeschafft werden.



Abbildung 2. Flexible, wasserdichte OLEDs mit Parylene/ALD-Verkapselung.<sup>1</sup>

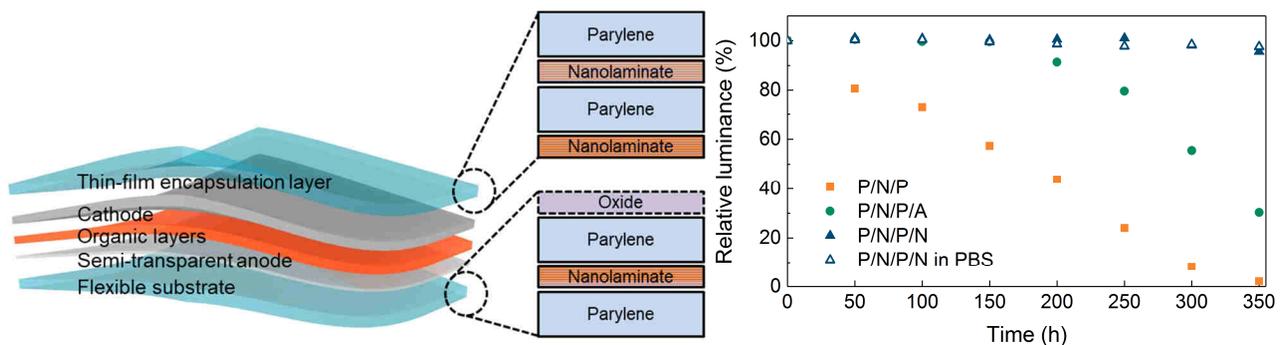


Abbildung 3. Links: Aufbau der flexiblen OLED mit Parylene/Nanolaminat-Verkapselung. Rechts: Lebensdauer von OLEDs mit Parylene-C (P) / Nanolaminat (N)-Verkapselung bei Lagerung der OLEDs in DI-Wasser bzw. Phosphatpufferlösung (PBS).<sup>1</sup>

Ziel der damit entwickelten Sensoren ist die optische Stimulation und Detektion von neuronalen Signalen. Zur Verifizierung der am KSI Meinsberg entwickelten optischen Schnittstellen soll außer-

dem ein Patch-Clamp-System angeschafft werden, welches zur elektrischen Stimulation von Zellen sowie zur Messung von Ionenströmen durch die Zellmembran genutzt werden soll. ■

- **Projektleiter:** Dr. Caroline Murawski
- **Projekträger:** Sächsische Aufbaubank
- **Laufzeit:** 12/2020 – 12/2021
- **Förderkennzeichen:** 100398870

<sup>1</sup> C. Keum, C. Murawski, E. Archer, S. Kwon, A. Mischok, M. C. Gather, *Nat. Commun.* 11 (2020) 6250.

## Einsatz der Methode der gepulsten Laserabscheidung (PLD) für die Herstellung von Chemosensoren

**Vakuumtechnische Verfahren zur Abscheidung dünner amorpher Schichten eröffnen im Vergleich mit konventionellen und etablierten Fabrikationsmethoden von Gläsern neue Möglichkeiten der Sensorentwicklung. Die bezieht sich auf die erzielbaren Sensorinnenwiderstände und die Miniaturisierbarkeit von Anordnungen. Eine besondere Herausforderung stellt auf Grund der fehlenden Flüssigkomponente auf Seiten der Innenableitung die Potential- und Langzeitstabilität der Strukturen dar. Dieses Grundlagenprojekt verknüpft die spezifischen Vorteile verschiedener Technologien, insbesondere Siebrucktechnik, Sputtertechniken und Methoden der Laserabscheidung bei der Entwicklung neuartiger Sensoren.**

Frank Gerlach, Kristina Ahlborn, Winfried Vonau

Die Entwicklung chemisch-sensitiver Gläser stellt im Kurt-Schwabe-Institut traditionell ein schwerpunktmäßig bearbeitetes Forschungsthema dar. Das Material Glas bildet u.a. den Ausgangsstoff zur Herstellung verschiedener ionenselektiver Membranmaterialien für potentiometrische Indi-

katorelektroden. Diese Grundwerkstoffe zeichnen sich in ihrer amorphen Phase insbesondere durch Langzeitstabilität und Korrosionsfestigkeit aus. Diese Materialeigenschaften gilt es mit den technologischen Möglichkeiten neuer Beschichtungsverfahren zu kombinieren.

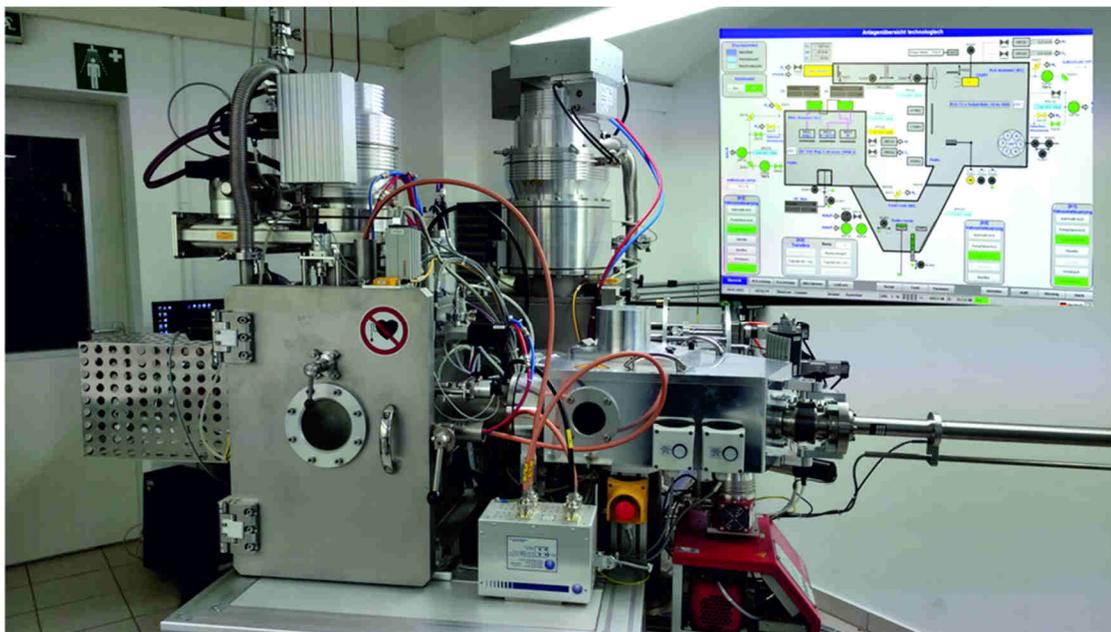


Abbildung 1. Beschichtungsanlage für die Anwendung von Sputtertechniken und Laserabscheidung (PLD).

Grundlage der Entwicklungen ist eine Spezialanfertigung einer Beschichtungsanlage CREAMET 500 PLD S2, deren Konfiguration speziell auf die Anforderungen der Herstellung von chemischen Sensoren auf der Grundlage funktionaler amorpher Rezeptormaterialien ausgerichtet ist (Abbildung 1). Sie besteht aus einem gepulsten Laserablationsmodul, einer Sputterkammer mit 3 Magnetrons, einem Maskenhandler und einer Transfereinheit zwischen den Kammern. Die Sputterkammer verfügt über eine Plasmareinigung und Magnetrons, welche mit 500 W DC Quellen und HF-Generatoren angesteuert werden können.



Abbildung 2. Konfektioniertes Sputtertarget aus pH-sensitiven Glas.

Die für alle vakuumbasierten Verfahren benötigten Targets (siehe Abbildung 2) werden am KSI Meinsberg bis zu einem Durchmesser von 50 mm hergestellt. Sowohl mit den etablierten

Sputtertechniken, als auch den laserbasierten Abscheidungsverfahren ist es nunmehr möglich, homogene, stabile Glasschichten zu erzeugen. Der Fokus aktueller Arbeiten wurde insbesondere auf die Ausbildung reproduzierbarer Verhältnisse an den Festableitungen sowie auf den Übergang von ionischer zu elektronischer Leitung gelegt. In Abbildung 3 konnte eine verbesserte Potentialstabilität der Sensoranordnungen jeweils nach einer 20-stündigen Konditionierung in flüssigen Medien nachgewiesen werden.

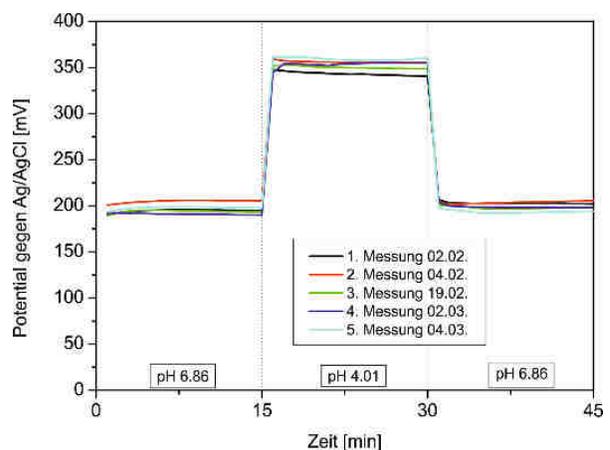


Abbildung 3. Sensorverhalten von pH-Sensoren (Glasbeschichtungen mit dem PLD-Verfahren).

Es wird derzeit geprüft, ob und inwieweit die Ergebnisse dieser Arbeiten geeignet sind Schutzrechte anzumelden. Desweiteren befindet sich aktuell ein ZIM-Kooperationsvorhabensantrag in der Begutachtungsphase bei der AiF Projekt GmbH, welcher u.a. eine Sensorentwicklung auf der Basis o.g. Beschichtungstechnologie beinhaltet. ■

- **Projektleiter:** Prof. Winfried Vonau
- **Projekträger:** KSI-Haushaltsprojekt
- **Laufzeit:** 01/2018 – 12/2020

## Ausbau der wissenschaftlich-technischen Infrastruktur für die innovative, anwendungsnahe Sensorforschung am KSI Meinsberg

**In der zweiten Phase des Projektes wurde die Apparatur zur hochempfindlichen molekularen Interaktionsanalyse basierend auf elektrisch schaltbaren, biologischen Schichten (DRX<sup>2</sup>-Biosensor-Analysator) für Untersuchungen von Einflussfaktoren auf Gewebetransglutaminase genutzt.**

Andreas Heerwig, Christine Schirmer, Alfred Kick, Michael Mertig

Der Ausbau der wissenschaftlich-technischen Infrastruktur des KSI Meinsberg um einen DRX<sup>2</sup>-Biosensor-Analysator ermöglichte Untersuchungen zu dynamischen Messungen an größeren Biomolekülen mittels DNA-Origami, zu Aptamerfaltungen in Anwesenheit von Lipopolysacchariden oder zu Konformationsänderungen der humanen Gewebetransglutaminase (hTG2). Letztere werden im Folgenden näher beleuchtet.

Die hTG2 ist in Abhängigkeit ihrer Umgebung für multiple Aufgaben innerhalb des menschlichen Körpers zuständig. Sie wird allosterisch von Nucleotiden und Ca<sup>2+</sup>-Ionen reguliert. Außerhalb von Zellen, d.h. bei hohen Ca<sup>2+</sup>-Konzentrationen, besteht ihre Hauptfunktion in der Proteinquervernetzung durch Transamidation. Deshalb spielt sie eine wichtige Rolle für die Matrixstabilisierung, Zelldifferenzierung, Signalübertragung, Apoptose und Zelladhäsion. Innerhalb der Zellen, d.h. bei niedrigen Ca<sup>2+</sup>-Konzentrationen, übernimmt sie GTPase- und G-Protein-Funktionen.

Die Einflussfaktoren auf die hTG2 bezüglich notwendiger Konzentrationen, Einwirkzeiten sowie resultierender Konformation wurden eingehend untersucht. Dafür wurde der DRX<sup>2</sup>-Analysator verwendet, der sowohl den Zugang zu kinetischen als auch thermodynamischen Parametern ermöglicht. Um die hTG2 auf den Messelektroden zu immobilisieren, wurde sie an DNA gekoppelt,

welche eine komplementäre Sequenz zu bereits auf den Elektroden installierter DNA trägt. Abbildung 1 zeigt die erfolgreiche Kopplung und Abtrennung des hTG2-DNA-Addukts mit Hilfe des Ionenchromatographs „proFIRE“. Die Abtrennung der hTG2, welche nur eine DNA trägt, ist notwendig, um einheitliche Addukte auf den Messelektroden zu immobilisieren.

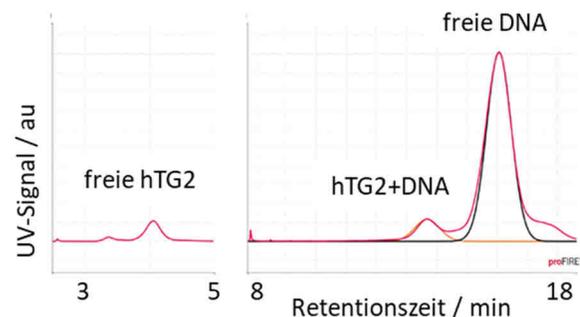


Abbildung 1. Ionenchromatogramm der Kopplungsprodukte der Reaktion hTG2 + DNA.

Zwei Einflussfaktoren, die Ca<sup>2+</sup>-Konzentration und die Guanosin-5'-O-[gamma-thio]triphosphatkonzentration (GTPγS-Konzentration), die auch im menschlichen Körper die Konformation und damit die Funktion der hTG2 bestimmen, wurden eingehend untersucht. Dabei konnte sowohl die Bindungskinetik des GTPγS (Abbildung 2), als auch die Änderung der hydrodynamischen Durchmesser, hervorgerufen durch hohe GTPγS-

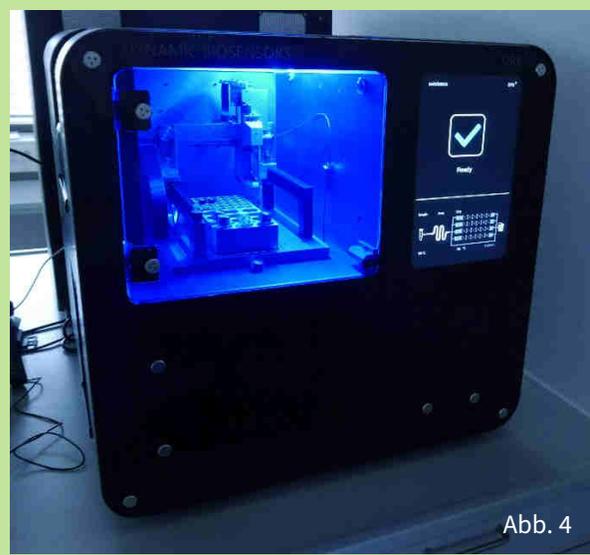
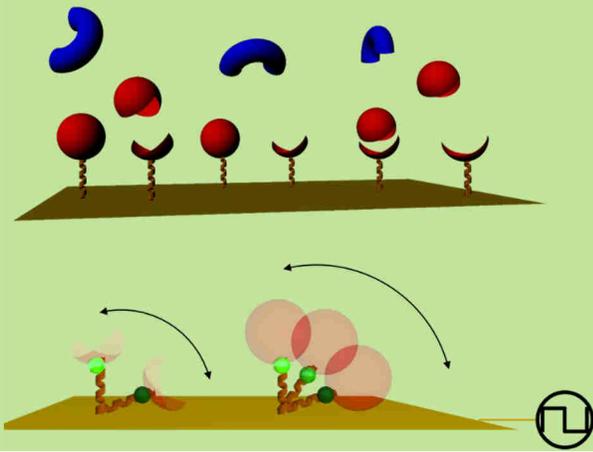


Abb. 4

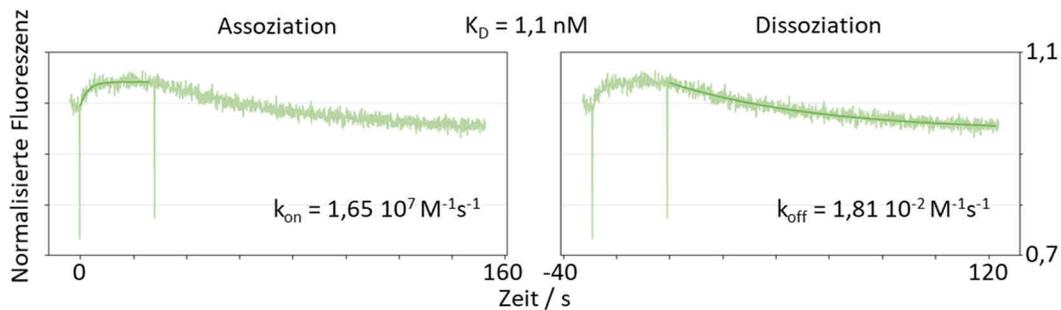


Abbildung 2. Kinetikbestimmung der Bindung von 20 nM GTP $\gamma$ S an hTG2.

oder Ca<sup>2+</sup>-Ionenkonzentrationen (Abbildung 3), bestimmt werden.

Weiterhin wurden irreversibel bindende hTG2-Inhibitoren bezüglich der induzierten Konformationsänderungen untersucht. Die daraus resultierenden Ergebnisse sollen in Publikationen mit

neuen Forschungspartnern des Helmholtz-Zentrums Dresden-Rossendorf e.V. (Institut für Radiopharmazeutische Krebsforschung), der Uniklinik Köln (Institut II für Pharmakologie) und der TU Dresden (Institut für Physiologische Chemie) einfließen. ■

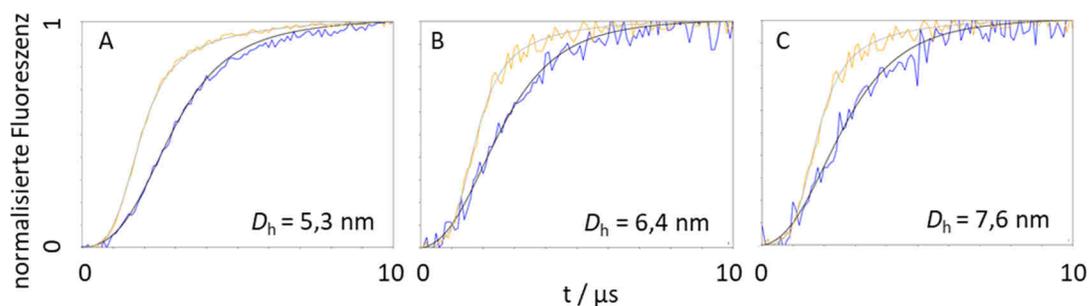


Abbildung 3. Aufstehbewegung der DNA-Schichten mit unterschiedlichen Beladungen (A = hTG2 + GTP $\gamma$ S; B = hTG2; C = hTG2 + Ca<sup>2+</sup>) und den daraus bestimmten hydrodynamischen Radii  $D_h$ ; die orange-graue Kurve zeigt jeweils die Doppelstrang-DNA ohne Analyt als Referenz.

- **Projektleiter:** Prof. Michael Mertig
- **Projekträger:** Sächsische Aufbaubank
- **Laufzeit:** 07/2019 – 06/2020
- **Förderkennzeichen:** 100357470

Abbildung 4. Messgerät DRX<sup>2</sup> und zugrundeliegendes Messprinzip.

## Ausbau der wissenschaftlich-technischen Infrastruktur für die innovative, anwendungsnahe Sensorforschung am KSI Meinsberg #2

**Im Vorhaben wurde ein 3D-Keramikdrucker zur additiven Fertigung von keramischen Funktionselementen aus verschiedenen Grundmaterialien angeschafft, in Betrieb genommen und erprobt.**

Frank Gerlach, Jens Zosel, Michael Mertig

Der Ausbau der wissenschaftlich-technischen Infrastruktur des KSI Meinsberg um einen 3D-Drucker ermöglicht die additive Fertigung komplexer keramischer Funktionselemente, die vor allem für neue elektrochemische Sensoren eingesetzt werden sollen. Die wissenschaftlich-technischen Aufgabenstellungen zielen vor allem auf den Materialdruck verschiedener keramischer Stoffe wie Aluminiumoxid, stabilisiertes Zirconiumdioxid, dotiertes Ceroxid und Perowskite sowie neue, am KSI entwickelte Funktionskeramiken. Diese Materialien werden mit verschiedenen Edelmetallbeschichtungen bzw. -bauteilen kombiniert und so zu komplexen miniaturisierten Funktionselementen verbunden. Neben dem Einsatz zur Herstellung funktionsbestimmender Bauelemente ist eine weitere Arbeitsaufgabe auf die Entwicklung hochpräziser Halbzeuge für sensorische Applikationen gerichtet; im Speziellen für hermetische Abdichtungen und den Schutz von Komponenten unter harschen Umgebungsbedingungen. Das in Abbildung 1 dargestellte Gerät Cerafab7500 der Firma Lithoz GmbH, Wien, nutzt die spatialelektive Kurzzeit-Belichtung einer Suspension keramischer Nanopartikel in einem lichtvernetzenden Binder. Dazu wird die Suspension auf eine rotierende durchsichtige Scheibe aufgetragen und mit einem Rakel gleichmäßig dünn (10-100  $\mu\text{m}$ ) auf der Scheibe verteilt (Abbildung 2a). Danach wird die Scheibe angehalten und die bereits bestehende Grundstruktur

des Druckkörpers auf die Schicht aufgesetzt, um dann den konstruktiv an dieser Stelle geplanten Querschnitt des Druckkörpers durch die Scheibe



Abbildung 1. 3D-Keramikdrucker Cerafab7500.

hindurch mit Laserlicht zu belichten und so die Suspension zu vernetzen (Abbildung 2b). Nach Abheben des Druckkörpers von der Scheibe (Abbildung 2c) wird der Ablauf wiederholt und so Schicht für Schicht auf den Druckkörper aufgetragen, der so nach unten wächst. Die räumlich exakte Verteilung des Laserlichts auf dem Querschnitt erfolgt durch einen Multipixel-Spiegel und weist Auflösungen im Bereich 40  $\mu\text{m}$  auf. Die fertigen Druckkörper werden von überschüssiger Suspension gereinigt und anschließend in Hochtemperaturöfen bei Temperaturen zwischen 1000 und 1600  $^{\circ}\text{C}$  eingebrannt.

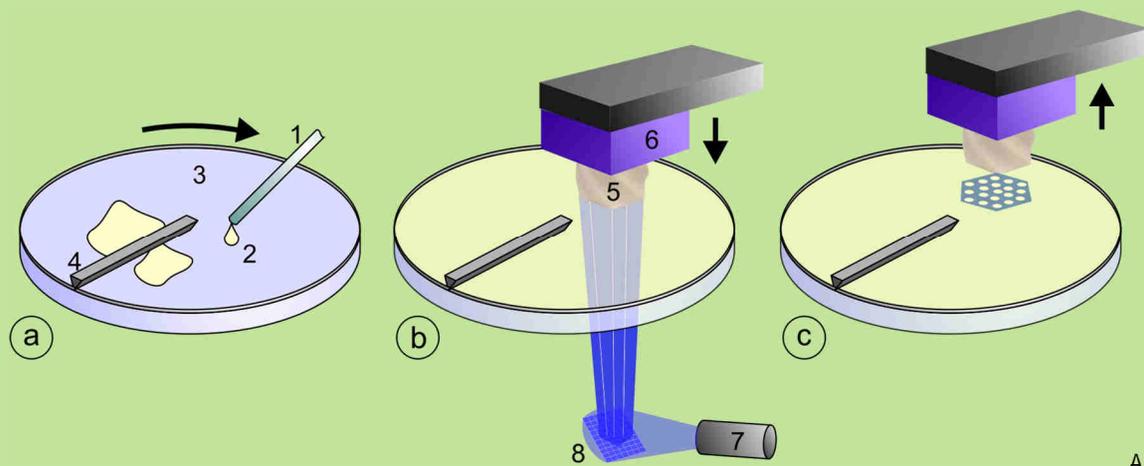


Abb. 2

In Abbildung 3 sind Probekörper dargestellt, an denen die Auswirkungen von Druck- und Prozessparametern untersucht wurden.

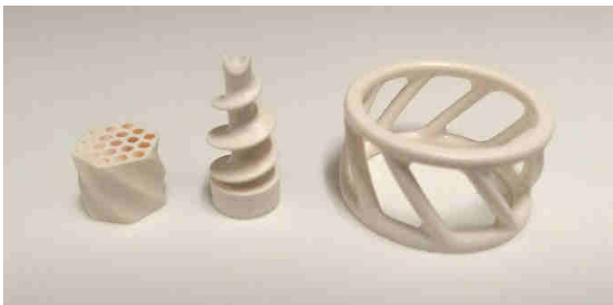


Abbildung 3. Probekörper zur Untersuchung der Druck- und Prozessparameter.

Weiterhin ist es mit dem erworbenen Gerät möglich, die bislang getrennte Herstellung von Elektrolyt, Elektroden sowie Stütz- und Verbindungselementen zusammenzufassen und somit völlig neue Ansätze bei der Sensorauslegung zu verfolgen. Insbesondere können komplexe Strömungsgeometrien, vergrabene Kanäle und Messkammern mit versteckten Elektroden in einzelnen Bauelementen hergestellt werden. Damit lassen sich neben dem eigentlichen sensorischen

Element auch vorgeschaltete Funktionsteile wie Trennsäulen und Einspritzventile in einer Baugruppe zusammenfassen und so hochminiaturisierte komplexe Sensorsysteme entwerfen, die bislang noch nicht auf dem Markt verfügbar sind.

Ein weiteres potentielles Applikationsfeld für den keramischen 3D-Drucker stellt die Entwicklung elektrochemischer Sensoren für hohe Drücke und Temperaturen dar, die z.B. in der Geothermie benötigt werden. Das gleichzeitige Vorhandensein hoher Temperaturen und hoher Drücke schränkt die konstruktiven und materialtechnischen Möglichkeiten signifikant ein. Einen Ausweg bilden Materialkombinationen aus beispielsweise Glas-Metall, Glas-Keramik oder Keramik-Hochleistungskunststoff, welche dem Anforderungsprofil einer Einsatztemperatur bis 250 °C und einem Druck bis 200 bar gerecht werden. Hinzu kommt das inerte Verhalten von keramischen Materialien, das den Einsatz in hochkorrosiven salinen Medien im Hinblick auf mögliche Korrosionsvorgänge enorm vereinfacht. Im Resultat der mit dem 3D-Drucker angestrebten Neuentwicklungen werden so verbesserte Werte der Langzeitstabilität der Sensoren erwartet. ■

- **Projektleiter:** Prof. Michael Mertig
- **Projekträger:** Sächsische Aufbaubank
- **Laufzeit:** 07/2019 – 06/2020
- **Förderkennzeichen:** 100357470

Abbildung 2. Ablauf des Druckprozesses im 3D-Drucker. (a) Dosierung 1 und gleichmäßige Verteilung der keramischen Suspension 2 auf einer rotierenden, durchsichtigen Scheibe 3 mit Hilfe eines Präzisions-Rakels 4. (b) Anhalten der Scheibe, Aufsetzen des Druckkörpers 5 auf die Suspension mit Hilfe des traversierbaren Supports 6 und spatialelektive Belichtung der Suspension im Querschnittsbereich des Druckkörpers mittels Laser 7 und Multipixel-Spiegel 8. (c) Abheben des Druckkörpers und weitere Prozessierung mit Schritt (a).

## Überwachung der Wasserqualität als bedeutender Beitrag zum Umweltschutz

**Forscher des KSI Meinsberg entwickeln im Rahmen verschiedenster Kooperationen mit nationalen und internationalen Partnern innovative Sensoren zur Bestimmung von umweltrelevanten Metallionen, Anionen und organischen Verbindungen in Gewässern vor Ort.**

Anastasiya Svirepa, Alfred Kick, Christine Schirmer, Johannes Schwarz, Jingying Yao, Janek Weißpflog, Michelle Brandao Silva de Assis, Julia Lenhart, Katrin Rebatschek, Kathrin Trommer, Michael Mertig

Wasser ist die wichtigste Grundlage unseres Lebens und zugleich bedeutende Ressource. Der vom Menschen als Süßwasser nutzbare Anteil am gesamten Wasservorkommen der Erde beträgt lediglich ca. 3%. Davon wiederum ist nur eine sehr geringe Menge als Oberflächen- und Grundwasser direkt verfügbar - jedoch nicht unbegrenzt. Es ist daher eine grundsätzliche Aufgabe, stets für sauberes Wasser frei von Kontaminationen zu sorgen, um unseren Lebensraum zu erhalten. Unmittelbar daraus ergibt sich die Notwendigkeit, dass die Qualität des Wassers intensiv überwacht und streng kontrolliert werden muss.

Die klassischen instrumentellen Analysemethoden für die Bestimmung von Metallionen, Anionen oder organischen Substanzen in Wasser erfordern sowohl eine hoch entwickelte Labor-Infrastruktur als auch qualifiziertes Personal. Rapide Konzentrationsänderungen von Schadstoffen in verschiedenen Bereichen der Industrie oder in der Umwelt verlangen jedoch eher ein kontinuierliches Monitoring sowie eine Detektion vor Ort.

Am Kurt-Schwabe-Institut Meinsberg werden elektrochemische, physikalische und biologische Sensoren zum Monitoring der Wasserqualität

entwickelt. Das Ziel ist es, möglichst miniaturisierte, robuste und kostengünstige Sensoren als vor Ort anwendbare Alternative zu den labordiagnostischen Verfahren zu entwickeln und zu etablieren. In einer ganzen Reihe von Projekten und Kooperationen mit nationalen und internationalen Forschungs- und Industriepartnern werden nachhaltige Methoden und innovative Technologien entwickelt, um dem Umweltmonitoring mittelfristig neue, verbesserte Möglichkeiten in die Hand zu geben.

Eine bedeutende Rolle in der Natur spielen Schwermetalle. Manche von ihnen sind in niedrigen Konzentrationen biologisch essentiell für Mensch, Tier und Pflanze. Allerdings können geringe Überkonzentrationen bereits gesundheitsgefährdend und umweltgiftig sein. In Industrienationen und Ländern mit extensivem Bergbau sind zum Beispiel viele Flüsse und Böden mit Schwermetallen kontaminiert, die von unbehandelten Industrieabwässern oder Bergbaurückständen stammen. Obwohl in Sachsen schon seit ca. 30 Jahren kein aktiver Bergbau mehr betrieben wird, sind in den südlichen Gebirgsregionen von Sachsen Gewässer mit Schadstoffen wie Cadmium oder Blei belastet, die aus stillgelegten Gruben ausgewaschen werden. In Kooperation mit der Universität und der Umweltbehörde von



Chongqing in China werden im Projekt „*Water-Monitor*“ (*Mobile Sensing System for On-Site Water Quality Monitoring*) elektrochemische Wasserqualitäts-Monitoringsysteme für die dezentrale Bestimmung von umweltrelevanten Spurenelementen wie Cadmium, Blei und Chrom in Grund- und Oberflächenwässern erarbeitet. Insbesondere wird ein kostengünstiges, miniaturisiertes Grenzwertüberwachungssystem entwickelt, um toxische Metallspezies im Wasser vor Ort detektieren zu können.

Auch hochgiftig-wirkende Arsen-Verbindungen kommen als Rückstände in Bergbauwässern vor. Im Frühjahr 2021 startete das Projekt „*TERZinn*“ (*Technologieentwicklung und Erprobung für nachhaltiges Wassermanagement und additive Rohstoffgewinnung am Modellstandort Zinnerzgrube Ehrenfriedersdorf*). Unter Koordination des Fraunhofer-Instituts für Keramische Technologien und Systeme Dresden sollen Verfahren zur Detektion von Arsenspezies und zur Aufreinigung der aus der Zinnerzgrube austretenden Grubenwässer entwickelt werden. Es ist zudem geplant, die Grube Ehrenfriedersdorf als international beachteten Modellstandort auszubauen.

Ein weiteres aktuelles Umweltproblem stellt die Verockerung der Spree als eine drastische Folge des menschlichen Eingriffs in den Wasserkreislauf der Natur dar. Durch großflächige Tagebaue in der Lausitz wurde in der Vergangenheit der Grundwasserspiegel massiv beeinflusst. Im Ergebnis dessen verschlechterte sich die Wasserqualität der Spree in Sachsen und Brandenburg durch hohe Sulfat- und Eisenionenkonzentrationen stark. Das Flussbett ist durch eine sich absetzende Eisenhydroxidschicht (Braunschläm) sichtbar belastet. Darüber hinaus stellen die Sulfationen in hoher Konzentration eine unsichtbare Gefahr dar. Dadurch werden Bauwerke wie

z.B. Brücken angegriffen und langfristig zerstört. Im Projekt „*DeFloWasser*“ (*Biopolymer-basierte Sensor-Aktor-Systeme zur Detektion und Flockung von Schadstoffen in verockerten Oberflächenwässern*) beschäftigen Wissenschaftler des KSI Meinsberg in Zusammenarbeit mit dem Leibniz-Institut für Polymerforschung Dresden mit dem Einsatz von umweltfreundlichen Biopolymeren wie Chitosan zur Lösung des Problems. Dank seiner vorteilhaften Eigenschaften ist Chitosan als gutes Adsorptions- und Flockungsmittel bekannt. Durch Komplexierung mit den Metallionen und Anionen können deshalb unerwünschte Stoffe aus dem belasteten Wasser entfernt werden. Chitosan wird außerdem als Alternative zu synthetischen Substanzen bei der Herstellung von elektrochemischen Sensoren untersucht, um im Spreewasser kontaminierende Ionen zu bestimmen. Im Erfolgsfall kann Chitosan als effektives Flockungsmittel und gleichzeitig als Sensormaterial wirken. Damit wird ein aktiver Beitrag zur Entwicklung von neuartigen nachhaltigen Methoden durch den Einsatz von Biokomponenten, welche atoxisch, rückstandsfrei und damit umweltverträglich sind, geleistet.

Ca. 70 % der Gesamtmenge von Wasser, welches uns zur Verfügung steht, wird für die Landwirtschaft in der Viehzucht oder zur Bewässerung genutzt. Um die Qualität der landwirtschaftlichen Erzeugnisse zu verbessern, werden ammoniak- und stickstoffhaltige Düngemittel eingesetzt. Durch nicht bedarfsgerechte Düngung von Ackerflächen gelangt Nitrat ins Grundwasser und damit als Belastung in unseren Trinkwasserhaushalt. Als wichtiges Instrument zur Überwachung der Nitrat-Konzentration in Wasser und Boden können nitratselektive elektrochemische Sensoren dienen. Sie sollen ermöglichen, den Düngemittleinsatz direkt im Boden zu bestimmen und damit zu optimieren. Dafür wird im EU-Projekt

„PLANTAR“ (*Miniaturized monitoring sensor systems for plants and agriculture*) eine Sensorplattform für die Digitalisierung in der Landwirtschaft ausgearbeitet. Die Innovation des Teilprojekts des KSI Meinsberg besteht darin, einen miniaturisierten und in der zweiten Projektphase biologisch abbaubaren Sensor für das Monitoring der Nitrat-Konzentration in Böden zu entwickeln. Durch den Aufbau von *Low-Power*-Netzwerken kann dann eine gezielte Dosierung von Düngemitteln auf einem großen Raum erreicht werden. Mehrere europäische Partner sind im Projekt integriert, u.a. auch für die Durchführung umfangreicher Feldtests der autark arbeitenden Sensorsysteme.

Nicht nur anorganische Verbindungen gefährden unsere Umwelt. Bestimmte organische Substanzen haben ebenfalls negative Auswirkungen auf lebende Organismen. Beispielweise weisen viele polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) starke karzinogene, mutagene und teratogene Eigenschaften auf. Die Hauptquellen der anthropogenen PAK-Emissionen in die Umwelt sind die Chemieindustrie, Raffinerien und das Transportwesen. Aus diesem Grund müssen beispielsweise Schiffsabgase entschwefelt werden. Bei der Reinigung gelangen PAK-Verbindungen in das Waschwasser und damit oft auch ins Meerwasser. Um dem entgegenzuwirken, werden in der Zusammenarbeit mit der IL Metronic Sensortechnik GmbH und der IfU GmbH Privates Institut für Umweltanalysen neuartige impedimetrische Sensoren zur PAK-Überwachung im Waschwasser von Schiffsabgasreinigungsanlagen entwickelt, welche sowohl Einzelkonzentrationen als auch Summenwerte detektieren und die Information an die Systemsteuerung weitergeben, so dass die gesetzlichen Grenzwerte von der Umwelt-Richtlinie eingehalten werden können.

Als weitere umweltgefährdende organische Verbindungen sind Arzneimittelrückstände zu nennen. Das gegenwärtig am häufigsten angewandte Schmerzmittel ist Diclofenac. Das entzündungshemmende Mittel wird verbreitet in der Chirurgie, Sportmedizin, Traumatologie und anderen Bereichen der Medizin angewendet. Etwa 63 Tonnen Diclofenac gelangen jährlich vom Menschen über Ausscheidung in die Kläranlagen. Da aktuell Diclofenac dort nur zum Teil abgebaut werden kann, gelangen die Rückstände in die Oberflächengewässer. Bestimmte Fische, Tiere und Vögel leiden bereits an gesundheitsschädlichen Wirkungen von Diclofenac, was langfristig zum Aussterben dieser Arten führen kann. Eine Lösungsstrategie besteht in der Entwicklung von vor Ort einsetzbaren Sensoren zur Detektion von Diclofenac in Oberflächen- und Abwässern. Im Projekt „ISAR“ (*Implementierung eines Hefe-Pheromon-basierten Signalverstärkersystems zum Umweltmonitoring von Arzneimittelrückständen in Wässern*) wird zusammen mit dem Institut für Genetik der Technischen Universität Dresden ein biologischer Sensor mit zellbasiertem Verstärkungssystem zur Erhöhung der Sensitivität entwickelt. Dank mikrofluidischem Sensoraufbau soll Diclofenac so zukünftig vor Ort und in geringer Konzentration detektierbar sein.

Als Hightech-Forschungsinstitut im ländlichen Raum der Region Mittelsachsen ist das KSI Meinsberg vielerorts in der Welt auf dem Gebiet der Umweltforschung wissenschaftlich aktiv. Die Themengruppe „Umweltsensorik“ beschäftigt sich mit modernen Know-how-Technologien und entwickelt innovative Sensoren zur Detektion von verschiedenen umweltgefährlichen Substanzen für den Einsatz nicht nur in Deutschland, sondern auch an anderen Orten in der Welt. Im Fokus stehen der Einsatz von ungiftigen sowie



umweltverträglichen Materialien, die kostengünstige Herstellung mit geringem Chemikalien- und Geräteaufwand sowie der Aufbau von Sensoren mit einem hohen Miniaturisierungsgrad für die dezentralen Messungen in verschiedenen

Wässern oder Böden. Mit einem umfangreichen Netzwerk aus Projektpartnern besitzt so die Forschung des Kurt-Schwabe-Instituts Meinsberg ein großes Potenzial für das Wasser-Monitoring und damit für den Umweltschutz. ■

Die Forschung der Themengruppe „Umweltsensorik“ wird gegenwärtig im Rahmen folgender Projekte durchgeführt:

- Mobile Sensing System for On-Site Water Quality Monitoring (**WaterMonitor**)
- Technologieentwicklung und Erprobung für nachhaltiges Wassermanagement und additive Rohstoffgewinnung am Modellstandort Zinnerzgrube Ehrenfriedersdorf (**TERZinn**)
- Biopolymer-basierte Sensor-Aktor-Systeme zur Detektion und Flockung von Schadstoffen in verockerten Oberflächenwässern (**DeFloWasser**)
- Miniaturized monitoring sensor systems for plants and agriculture (**PLANTAR**)
- PAK-Sensor für Schiffsabgasreinigungsanlagen
- Implementierung eines Hefe-Pheromon-basierten Signalverstärkersystems zum Umweltmonitoring von Arzneimittelrückständen in Wässern (**ISAr**)

## Mobiles Wasserqualitätsmonitoringsystem (WaterMonitor)

### Entwicklung von *All-Solid-State*-Sensoren für voltammetrische Vor-Ort-Bestimmungen von $\text{Pb}^{2+}$ , $\text{Cd}^{2+}$ , $\text{Cr}^{3+}$ und $\text{Cr}^{6+}$ in Grund- und Oberflächenwässern.

Jingying Yao, Johannes Schwarz, Kathrin Trommer, Michael Mertig

Schwermetalle wie beispielsweise Blei und Cadmium kommen in den südlichen Gebirgsregionen von Sachsen geogen in wässrigen Umweltprouben stark erhöht vor. Sowohl durch natürliche Auslaugungen als auch durch zusätzliche anthropogene Freisetzungen gelangen relevante Frachten davon in das Grundwasser und in die Oberflächengewässer. Diese Kontaminationen führen dazu, dass die Richtwerte nach der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie kontinuierlich kontrolliert werden müssen. Für die systematische Erfassung sollen künftig Sensoren eingesetzt werden, die Messungen direkt vor Ort ermöglichen. Bisher basierten die Bestimmungen vorrangig auf Laboranalysen, die hoch qualifiziertes Personal, eine aufwendige Laborinfrastruktur sowie den Einsatz spezifischer Chemikalien erfordern. Die Entwicklung einer kostengünstigen Vor-Ort-Analytik mit feldtauglichen Analysatoren zur *In-situ*-Überwachung des Schadstoffaufkommens in Oberflächenwässern ist deshalb von großer Wichtigkeit.

Im Rahmen des Projektes *Mobile Sensing System for On-Site Water Quality Monitoring* mit der Universität Chongqing und der dortigen Umweltbehörde (China) sowie der Technischen Universität Chemnitz und der Staatlichen Betriebsgesellschaft für Umwelt und Landwirtschaft (BfUL) in Sachsen sollen neuartige mobile Überwachungssysteme zur kontinuierlichen Vor-Ort-Überwachung von Schwermetallen und pathogenen Bakterien entwickelt und erprobt werden. Im Teilvorhaben WasserMonitor des KSI Meinsberg

werden laut Kooperationsvertrag insbesondere *All-Solid-State*-Sensoren für die stripping-voltammetrische Vor-Ort-Bestimmung von  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$ ,  $\text{Cr}^{3+}$ - und  $\text{Cr}^{6+}$ -Ionen in Grund- und Oberflächenwässern entwickelt.

Die Sensoren sollen preisgünstig herstellbar, feldtauglich sein und einen hohen Miniaturisierungsgrad besitzen. Sie sollen neben einer hohen Empfindlichkeit und Selektivität auch reproduzierbare Ergebnisse liefern, so dass zuverlässige Aussagen über Kontaminationen von Schwermetallen ermöglicht werden. Als Bestimmungsmethode wird die Anodische-Stripping-Voltammetrie (ASV) verwendet. Durch den *In-situ*-Anreicherungsschritt soll die notwendig hohe Messempfindlichkeit erzielt werden. Abbildung 1 zeigt schematisch das Messprinzip der ASV ein Beispiel von  $\text{Pb}^{2+}$ -Ionen.

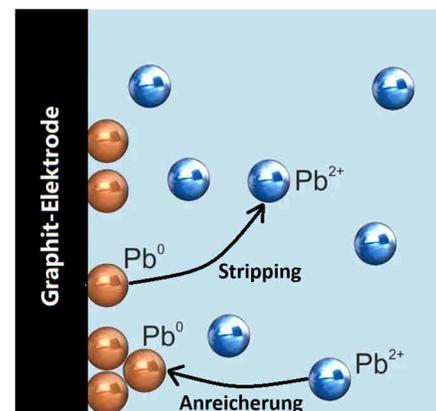


Abbildung 1. Anodische-Stripping-Voltammetrie an einer Graphitelektrode.

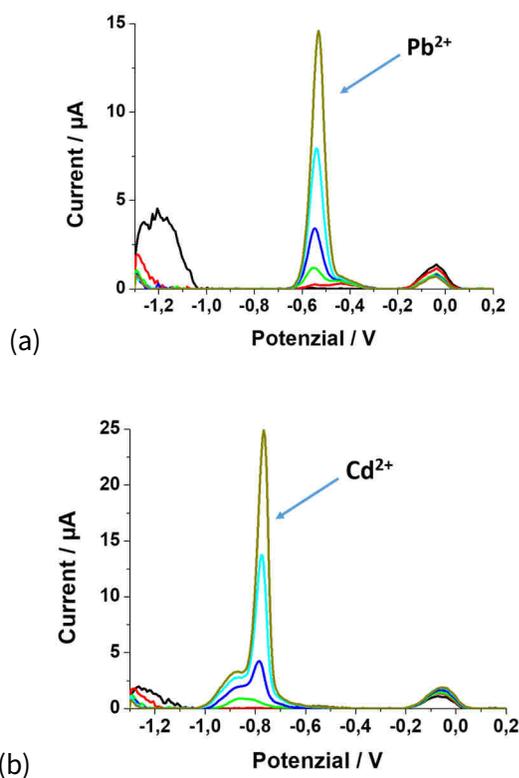


Abbildung 2. Voltammetrische Einzel-Bestimmungen von  $Pb^{2+}$  (a) und  $Cd^{2+}$  (b).

Blei- und Cadmium-Ionen wurden an unmodifizierten Graphit-Elektroden im Labor mittels ASV bestimmt. Abbildung 2 zeigt Messkurven der voltammetrischen Bestimmung von  $Cd^{2+}$  (a) und

$Pb^{2+}$  (b) an einer Graphit-Elektrode.  $Cd^{2+}$  kann gegenwärtig so ab einer Konzentration von 300  $\mu g/l$  bestimmt werden; die Bestimmungsgrenze für  $Pb^{2+}$  beträgt 200  $\mu g/l$ .

Nach den Einzel-Bestimmungen wurden auch simultane Detektionen von den beiden Metallionen an Graphit-Elektroden durchgeführt, da die entsprechenden Peaks bei unterschiedlichen Potenzialen auftreten. Die Messkurven in Abbildung 3 zeigen, dass auf diese Weise die Konzentrationen von Blei- und Cadmium-Ionen mittels ASV simultan bestimmt werden können. ■

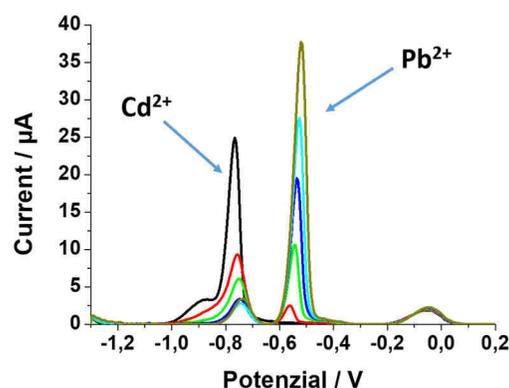


Abbildung 3. Simultane voltammetrische Bestimmungen von  $Cd^{2+}$  und  $Pb^{2+}$ .

- **Projektleiter:** Prof. Michael Mertig
- **Projekträger:** Sächsische Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie
- **Projektpartner:** Chongqing Universität und Umweltbehörde Chongqing (China), Technische Universität Chemnitz, BfUL Sachsen, Radebeul
- **Laufzeit:** 05/2020 – 04/2023
- **Förderkennzeichen:** 33-8128/157/1

## Biopolymer-basierte Sensor-Aktor-Systeme zur Detektion und Flockung von Schadstoffen in verockerten Oberflächenwässern

**Chitosan wurde als ein umweltfreundliches Biopolymer zur Entwicklung elektrochemischer Sensoren für die voltammetrische Detektion von Eisenionen eingesetzt.**

Anastasiya Svirepa, Johannes Schwarz, Kathrin Trommer, Michael Mertig

Chitosan als nicht giftiges, biokompatibles und biologisch abbaubares Polymer findet heute eine breite Anwendung in Bereichen, wie Kosmetik und Medizin, in der Landwirtschaft und in der Lebensmittelindustrie. Als gutes Adsorptions- und Flockungsmittel kann Chitosan für die Behandlung und Reinigung von kontaminierten Gewässern eingesetzt werden.

Ein neuer Trend in der Elektrochemie besteht darin, Biopolymere wie Chitosan als Analyt-komplexierende Verbindungen zur Herstellung von elektrochemischen Sensoren aufgrund seiner besonderen Eigenschaften einzusetzen. Einer der Gründe dafür ist, dass Chitosan als umweltfreundliches Material eine vielversprechende Alternative zu synthetischen Polymeren darstellt.

Als Folge der langjährigen Braunkohlegewinnung in den Tagebauen des Lausitzer Reviers wurde die Wasserqualität in den Flüssen und Bächen in der Spreereion durch erhöhte Konzentrationen an Sulfat und Eisen erheblich geschädigt. Als Ergebnis dieses anthropogenen Eingriffs in den Grundwasserhaushalt stellt die sogenannte Verockerung der Spree ein weitreichendes und großflächiges Umweltproblem dar. In Kooperationsarbeit mit dem Leibniz-Institut für Polymerforschung (IPF) Dresden werden gegenwärtig am Kurt-Schwabe-Institut Chitosan-basierte elektrochemische Sensoren zum Online-Monitoring und für die Vor-Ort-Detektion von Sulfat- und Eisenionen in verockerten Gewässern entwickelt.

Dazu wurden Graphitpaste-basierte Elektroden für die voltammetrische Bestimmung von  $\text{Fe}^{3+}$ -Ionen präpariert. Die Modifikation der Elektroden erfolgte durch Zumischung von Chitosan-Pulver in die Graphitpaste. Da Chitosan über zahlreiche Amino- und Hydroxylgruppen verfügt, welche wiederum Wechselwirkungen mit Ionen ermöglichen, sollte die Sensitivität der modifizierten Elektroden erhöht werden.

Die  $\text{Fe}^{3+}$ -Bestimmung erfolgt durch anodische Stripping-Voltammetrie. Abbildung 1 zeigt das voltammetrische Messprinzip mit Anreicherungs- (Reduktion) und Bestimmungsschritt (Oxidation).

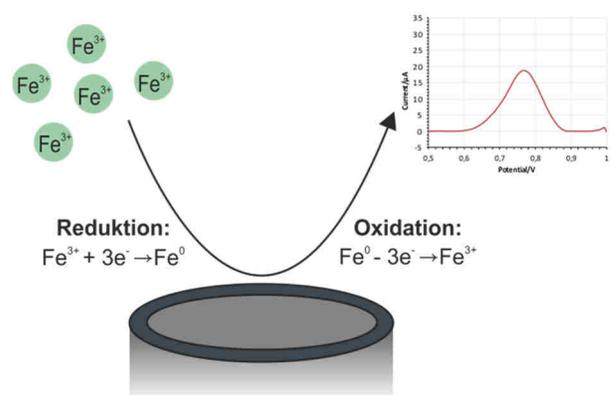


Abbildung 1. Voltammetrisches Messprinzip von  $\text{Fe}^{3+}$ -Ionen an Graphitpaste-basierten Elektroden.

Die  $\text{Fe}^{3+}$ -Ionen werden bei einem negativen Anreicherungspotential reduziert und auf der Elektrodenoberfläche abgeschieden. Im nachfolgenden



Abb. 3

Schritt erfolgt die Oxidation des angereicherten Metalls. Während des „Strippings“ wird das angereicherte Metall von der Elektrodenoberfläche „abgelöst“. Die Daten von Peakpotential und Peakhöhe identifizieren das Metall und bestimmen seine Konzentration.

In Abbildung 2 sind Stripping-voltammetrische Messkurven, aufgenommen bei verschiedenen  $\text{Fe}^{3+}$ -Konzentrationen, und die zugehörigen Kalibrierkurven einer Chitosan-modifizierten Elektrode (links) und einer nicht modifizierten Graphit-basierten Elektrode (rechts) dargestellt. Eisen wird bei einem Peakpotential von +0,77 V detektiert. Zur  $\text{Fe}^{3+}$ -Konzentration proportionale voltammetrische Signale wurden mittels Chitosan-modifizierter Elektrode erhalten. Zu Eisen gehörige Stromsignale wurden mittels der nicht

modifizierten Elektrode ebenfalls detektiert. Jedoch erhöht die Modifizierung der Elektrode mit Chitosan die Sensitivität und ermöglicht somit die  $\text{Fe}^{3+}$ -Bestimmung im größeren Messbereich (siehe Kalibrierkurven).

Die vorteilhaften Eigenschaften wie Bioabbaubarkeit, geringe Toxizität und die Fähigkeit zur Komplexbildung und Modifizierung machen das Biopolymer attraktiv für viele Anwendungsmöglichkeiten. Die Untersuchungen zeigen, dass Chitosan ein großes Potenzial zur Entwicklung von elektrochemischen Sensoren zur quantitativen Detektion von Eisen durch Stripping-Voltammetrie hat. Die Messbedingungen und die voltammetrischen Parameter werden zukünftig weiter optimiert. ■

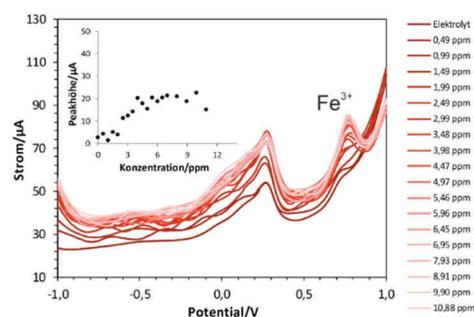
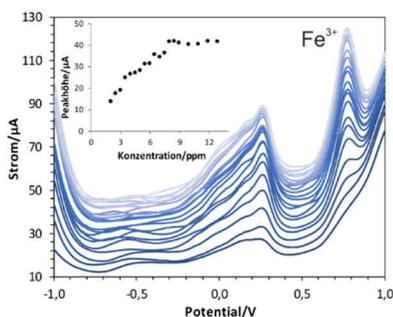


Abbildung 2. Bestimmung von  $\text{Fe}^{3+}$ -Ionen durch anodische Stripping-Voltammetrie an Chitosan-modifizierter Graphitpaste-basierter Elektrode (links) und nicht modifizierter Elektrode (rechts).

- **Projektleiter:** Prof. Michael Mertig
- **Projektträger:** Sächsische Aufbaubank
- **Projektpartner:** Leibniz-Institut für Polymerforschung Dresden e.V.
- **Laufzeit:** 09/2019 – 03/2022
- **Förderkennzeichen:** 100377118

Abbildung 3. Eine Aufnahme von Google Maps zeigt mehrere braun „gefärbte“ Seen und Teichgräben nahe des ehemaligen Bergbaubereichs in Lichterfeld. Map data ©2021 GeoBasis-DE/BKG (©2009) Imagery ©2021 TerraMetrics

## Implementierung eines Hefe-Pheromon-basierten Signalverstärkersystems zum Umweltmonitoring von Arzneimittelrückständen in Wässern (ISAr)

**Das Vorhaben ist auf die Entwicklung eines neuartigen biologisch-basierten Verstärkersystems für einen Ganzzellbiosensor zur verbesserten Detektion von Diclofenac in Abwässern gerichtet.**

Julia Lenhart, Christine Schirmer, Alfred Kick, Katrin Rebatschek, Michael Mertig

Der Wirkstoff Diclofenac ist eines der am häufigsten angewendeten Schmerzmittel. Da ein Großteil (60 – 70 %) des eingenommenen Wirkstoffes durch den Menschen unverändert wieder ausgeschieden wird, kann sich dieser in Abwässern ansammeln. Die durchschnittliche Diclofenac-Konzentration in kommunalen Abwässern liegt bei 0,11 bis 2,3 µg/l, kann aber in der Nähe von Krankenhäusern (6,88 µg/l) oder der pharmazeutischen Industrie (203 µg/l) deutlich erhöht vorliegen. Da der Wirkstoff bereits bei sehr geringen Konzentrationen zu Umweltschäden, z.B. Nierenschäden bei Fischen, führen kann, hat die Europäische Union ihn im Zuge ihrer Wasserrahmenrichtlinie auf die Beobachtungsliste gesetzt. Auf dieser Liste finden sich Stoffe, deren Überwachung schwierig ist oder weiter ausgebaut werden soll. Das Ziel des Projektes ISAr ist die Etablierung eines Ganzzellensensors zur Detektion von Diclofenac, der ein Hefe-Pheromon-basiertes intrinsisches Verstärkersystem aus Sensor- und Aktorhefen beinhaltet. Das KSI Meinsberg setzt den Schwerpunkt auf die Entwicklung des Senso-raufbaus in Hinblick auf die Lagerung und Nährstoffversorgung der Hefen sowie auf das Auslesen und die Auswertung der optischen Signale. Die gentechnische Modifizierung der Hefen findet durch den Projektpartner am Institut für Genetik der Technischen Universität Dresden statt. In Abb. 1 ist schematisch das intrinsische Verstär-

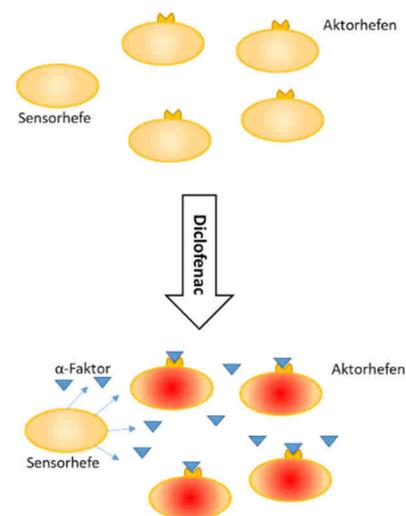


Abbildung 2. Schematische Darstellung des intrinsischen Verstärkersystems der Hefezellen.

kersystem gezeigt. Die Sensor- und die Aktorhefen befinden sich in einem gemeinsamen Medium. Bei Zugabe von Diclofenac wird bei den Sensorhefen die Produktion des Paarungspheromons  $\alpha$ -Faktor induziert. Dieses Pheromon wiederum induziert in den genetisch modifizierten Aktorhefen die Bildung eines Fluoreszenzproteins. Diese Signalkaskade führt zur deutlichen Verstärkung der Diclofenac-Wirkung auf das Sensorsystem. Die Messung der Fluoreszenz kann dann zur Detektion des  $\alpha$ -Faktors und damit zur Bestimmung von Diclofenac genutzt werden. Zurzeit wird mit drei verschiedenen Fluoreszenz-

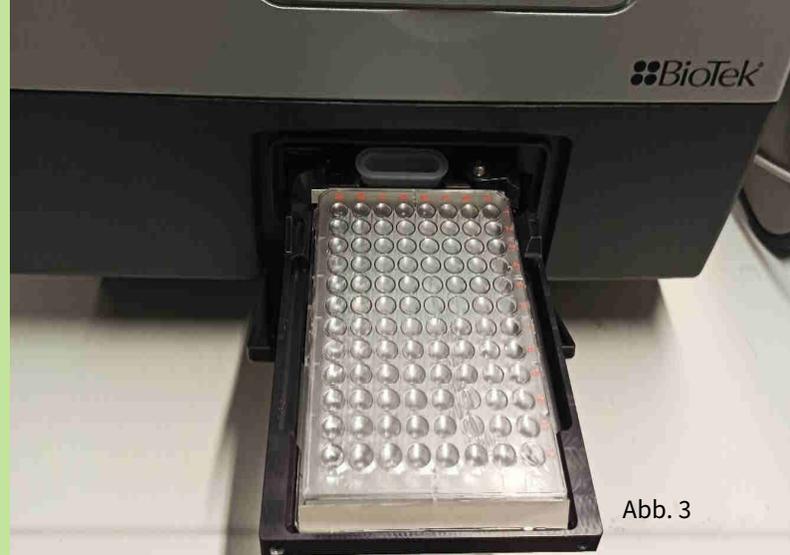


Abb. 3

proteinen: EGFP, *mNeonGreen* und *mScarlet-I* gearbeitet. Im Labor wurden die Aktohefen mit dem Gen für EGFP in einem Agarose-Nährmedium-Gemisch immobilisiert und auf ihr Wachstums- und Fluoreszenzverhalten in Anwesenheit von  $\alpha$ -Faktor untersucht. Das Agarose-Nährmedium-Gemisch enthält alle notwendigen Nährstoffe bis auf Glucose. Die Glucose wird zusammen mit dem  $\alpha$ -Faktor vor Beginn der Fluoreszenzmessung in die entsprechenden Wells gegeben. Die Versuche wurden in einem Mikrotiterplatten-Lesegerät (96-Well-Platte) bei 30 °C (Abbildung 3) durchgeführt. Es wurde die Änderung der optischen Dichte bei einer Wellenlänge von 600 nm

(OD600) und die Fluoreszenzintensität (Anregung: 479 nm, Emission: 520 nm; Abbildung 2) beobachtet. Außerdem wurde auch der Einfluss der Lagerung auf das Wachstum und die Fluoreszenz der Hefen untersucht (Abbildung 2). Eine Lagerung der Sensorschichten von 4 bis 6 Wochen ist durchaus möglich, um weiter eine Konzentration von 250 nM  $\alpha$ -Faktor nachweisen zu können.

Im weiteren Verlauf des Projektes sollen die gewonnenen Ergebnisse mit den noch ausstehenden Ergebnissen der Sensorhefen kombiniert werden, um ein optimales Verhältnis beider Zellarten innerhalb des Sensors zu finden. ■

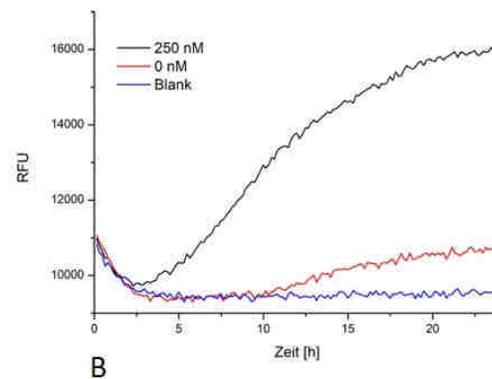
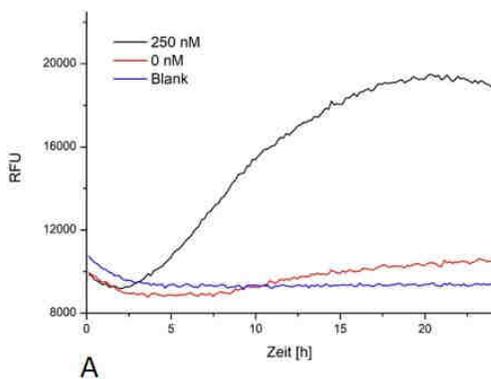


Abbildung 3. Auswertung eines Lagerungsversuchs. Die Aktohefen wurden in 0,75 % Agarose immobilisiert und bei 4°C gelagert, bei jeder Versuchsdurchführung wurde den Zellen auf das Gesamtvolumen des Ansatzes berechnet 250 nM  $\alpha$ -Faktor hinzugegeben. Zum Vergleich wurden auch Zellen ohne Zugabe von  $\alpha$ -Faktor untersucht. Es wird der zeitliche Verlauf der Fluoreszenzintensität (Anregung: 479 nm, Emission: 520 nm) bei frischen Hefen (A) und nach einer Lagerung von zwei Wochen (B) gezeigt.

- **Projektleiter:** Prof. Michael Mertig
- **Projekträger:** Sächsische Aufbaubank
- **Projektpartner:** Institut für Genetik, Technische Universität Dresden
- **Laufzeit:** 05/2020 – 04/2022
- **Förderkennzeichen:** 100388387

Abbildung 3. Mikrotiterplatte im Mikrotiterplatten-Lesegerät

## Miniaturisierter, kompostierbarer Nitratsensor (MinioNs)

**Im Rahmen des Europäischen PENTA-Kooperationsprojektes „Miniaturized monitoring sensor systems for plants and agriculture (PLANTAR)“ entwickelt das KSI Meinsberg miniaturisierte potentiometrische Sensoren zur dezentralen mobilen Nitratüberwachung im Boden.**

Michelle Brandao Silva de Assis, Johannes Schwarz, Kathrin Trommer, Michael Mertig

Die steigende Nachfrage nach landwirtschaftlichen Produkten bei der gleichzeitig immer höher werdenden Belastung der Böden verlangt nach neuen Lösungen für eine effiziente und kostengünstige Überwachung der Pflanzen sowie von landwirtschaftlichen Produktionsprozessen. Insbesondere Nitrat stellt einen essentiellen Nährstoff für viele Kulturpflanzen dar. Deshalb ist die Überwachung von Nitrat im Boden von fundamentaler Bedeutung in der Landwirtschaft.

PLANTAR hat sich daher zum Ziel gesetzt, an kosteneffizienten, hochintegrierten und miniaturisierten Sensoren sowie Low-Power-Netzwerken zu forschen und die Ergebnisse in verschiedenen Anwendungsbereichen (Farm monitoring, Greenhouse farming und Precision farming sowie als Nebeneffekt in der Lebensmittelqualitätskontrolle) zu demonstrieren.

Im Teilprojekt MinioNs entwickelt das KSI Meinsberg einen miniaturisierten und in der zweiten Projektphase kompostierbaren Nitratsensor, mit dessen Hilfe der in der EU-Trinkwasserverordnung verankerte Nitrat-Grenzwert von 50 mg/l sicher bestimmt werden kann. In Kooperation mit verschiedenen Partnern aus den Niederlanden, Spanien und Deutschland soll der Nitratsensor in ein autarkes, kompostierbares Multisensorsystem integriert und für verschiedene Anwendungen in der modernen Landwirtschaft im Feldeinsatz validiert werden.

Es gibt bereits nitratselektive Sensoren auf dem Markt. Allerdings sind diese Sensorsysteme meist zu teuer oder erfordern einen hohen manuellen Präparationsaufwand, sodass sie bisher für ein kontinuierliches Vor-Ort-Monitoring ungeeignet sind.

Zur Überwindung dieser Situation entwickelt das KSI Meinsberg miniaturisierte potentiometrische Sensoren in All-Solid-State-Konfiguration für die Nitratbestimmung im Boden.

Die potentiometrischen Sensoren werden aus einer nitratselektiven Elektrode und einer Referenzelektrode mit verschiedenen Funktionsschichten bestehen. Leitfähige Polymere sind als Festableitungen einzusetzen. Die Nitrat-komplexierende Verbindung wird in die Polymermembran eingebunden.

Hauptziel ist, eine leistungsfähige Sensorplattform für eine Digitalisierung in der Landwirtschaft aufzubauen. Ein Nitrat-Überwachungssystem wird über mehrere Monate direkt in Böden installiert werden. Die Kalibrierung soll vor dem Sensoreinsatz erfolgen. Die Datenübertragung bei dem Einsatz im Boden wird drahtlos per Funk erfolgen.

Die Einsatzzeit der Sensoren im Boden soll mehrere Monate betragen. Es werden täglich Messungen durchgeführt. Hierzu sollten einige Aspekte des Aufbaus und der ordnungsgemäßen Funktion des Sensors berücksichtigt werden, die

gleichzeitig zu bewältigende Herausforderungen sind.

Die größte Herausforderung hängt mit der Arbeitsweise des Sensors zusammen - die Elektroden müssen immer befeuchtet sein. Außerdem muss der Sensor eine Schutzvorrichtung besitzen, um die empfindlichen Teile vor mechanischer Beanspruchung zu schützen. Eine wasser-durchlässige Membran soll den Übergang der Nitrationen von der Bodenmatrix zur ionenselektiven Membran ermöglichen. Der spezifische Sensoraufbau mit Schutzvorrichtung soll so eine sichere Nitratbestimmung im Boden gewährleisten.

Temperatur, Feuchtigkeit und pH-Wert des Bodens sind weitere wichtige Parameter für den geplanten Sensoreinsatz. Verschiedene Einflussfaktoren auf das Sensorsignal, wie organische und anorganische Komponenten, müssen in einer nicht kontrollierbaren Umgebung im Boden berücksichtigt werden.

- **Projektleiter:** Prof. Michael Mertig
- **Projekträger:** EUREKA-Cluster PENTA über VDI/VDE Innovation + Technik GmbH, Berlin
- **Projektpartner:** Infineon Technologies AG, Neubiberg, Fraunhofer Institute for Electronic Nano Systems, ENAS, Chemnitz, HANSENHOF\_electronic Fa. Steffen Schmieder, Reifland, Freudenberg Industrie Siebdruck, GmbH, Dresden, Munisense BV, NL, Evalan BV, Amsterdam, NL, Stichting Wageningen Research, Wageningen, NL, RockWool B.V., Roermond; NL, AlphaSip, Spanien, Stichting IMEC, Eindhoven, NL, Alteria Automation SL, Spanien, Alianza Nanotecnología Diagnóstica ASJ, SL, Spanien
- **Laufzeit:** 11/2020 – 10/2023
- **Förderkennzeichen:** 16ME0159S

Die hauptsächlichen Anwendungsgebiete der Sensoren sind *Greenhouse farming* und *Farm Monitoring*. Durch den geplanten Aufbau eines Sensors für Bodenmessungen kann auch dafür gesorgt werden, dass dieser Sensor *in-situ* im wässrigen Medium arbeitet. Dies bedeutet, dass auch die Nitratüberwachung in Oberflächenwässern und Abwässern mit diesen potentiometrischen Sensoren vorgesehen werden kann. ■



Abbildung 1. Anwendungsfeld für autark arbeitende Nitratsensor in der Landwirtschaft.

1 J. Schwarz, K. Trommer, M. Mertig, *GIT Labor-Fachzeitschrift* 3 (2018) 35-37.

2 J. Schwarz, K. Trommer, M. Mertig, *American Journal of Analytical Chemistry* 9 (2018) 591-601.

## Anwendung der Impedimetrie in Landwirtschaft und Umwelt

**Die Impedimetrie - die Messung des frequenzabhängigen Wechselstromwiderstands - kann als sensitive Methode für die Echtzeitüberwachung in umweltrelevanten Medien eingesetzt werden.**

Wolfgang Fichtner, Alfred Kick, Michael Mertig

### Vorteile der Impedimetrie

Der Einsatz der Impedimetrie ist gegenüber elektrochemischen Methoden mit dem Vorteil einer kurzen Messzeit verbunden. Das zu untersuchende Medium ist außerdem nicht nur punktuell an den Messelektroden lokalisiert, sondern kann integrierend in einem größeren Messvolumen zwischen flächigen Elektroden erfasst werden. Gegenüber chemischen und biochemischen Sensoren ist die Konstanz der Sensoreigenschaften erhöht und in der Regel nicht von der Historie des vorhergehenden Messgeschehens abhängig, was zum Vorteil vereinfachter Handhabung und Wartung der Sensorik führt.

### Messprinzip der Impedimetrie

Die Impedimetrie beruht auf der Messung des frequenzabhängigen elektrischen Wechselstromwiderstands. Dabei wird in der Regel eine harmonische Schwingung der Spannung unterschiedlicher Frequenzen ( $\omega = 2\pi f$ ) durch das Messgerät generiert und der resultierende Strom gemessen (potentiostatische Impedanzspektroskopie). Die komplexe Größe  $Z$  ist im Allgemeinen frequenzabhängig, so dass die Messung über einen Frequenzbereich von etwa 1 Hz bis 1 MHz ein Impedanzspektrum ergibt, welches wesentliche Informationen über die elektrischen und dielektrischen Eigenschaften des Mediums und über die Elektrodenprozesse enthält.

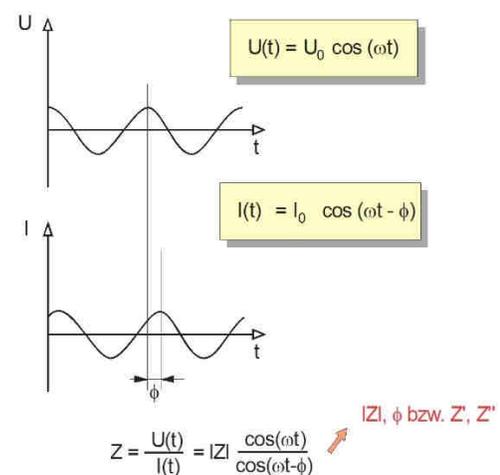


Abbildung 1. Impedanzmessung auf Basis einer zeitabhängigen Wechselspannung  $U(t)$  und dem resultierenden Wechselstrom  $I(t)$ . Die Wechselspannung hat die Frequenz  $f$  bzw. die Kreisfrequenz  $\omega = 2\pi f$ . Es werden der Realteil ( $Z'$ ) und der Imaginärteil ( $Z''$ ) der komplexen Impedanz ( $Z$ ) bzw. deren Betrag ( $|Z|$ ) und Phasenverschiebung ( $\phi$ ) bestimmt.

### Sensoren zur Bestimmung von Bodenparametern

Durch Einbettung von chemisch inerten und mechanisch stabilen Elektroden in die zu untersuchende Matrix, können elektrische Leitfähigkeit und Bodenfeuchte bestimmt werden, welche durch Niederschläge und Düngung beeinflusst werden (Abbildung 2). Damit können für Digitalisierung der Landwirtschaft erforderliche Informationen über Impedanzsensoren verfügbar gemacht werden.



Abbildung 2: Drillscheiben als Elektroden zur Impedanzmessung in Ackerböden.



Abbildung 3: Impedanzsensor zur Bestimmung des Sickerlinienverlaufs in erdgebundenen Deichbauwerken.

### Impedimetrie in Wasserbau und Deponieabdichtung

Mit dem Einsatz von Impedanzsensoren auf Basis von Kohlenstofffaserelektroden (Abbildung 3) kann die Verteilung des Wassergehaltes im teilgesättigten Bereich oberhalb der Sickerlinie, sowie deren Verlauf in erdgebundenen Dammbauwerken bestimmt werden. Nach dem gleichen Messprinzip lässt sich die Ausbreitung von Schadstoffen frühzeitig erkennen.

### Steuerung von Schiffsabgasreinigungsanlagen

Die Reinigung der Abgase, die durch die Verbrennung von Diesel bzw. Schweröl auf Schiffen entstehen, erfolgt durch das Einleiten der Gase in Washwasser. Die Beschaffenheit des Washwassers muss überwacht werden, um die Reinigungsanlage regeln zu können. Dafür werden Messwerte gebraucht, die den Verschmutzungsgrad des Washwassers anzeigen. Mit Hilfe der Impedanzspektroskopie kann die Leitfähigkeit des Washwassers kontinuierlich verfolgt werden. Außerdem belegen Ölrückstände und andere Verbindungen, die bei der Verbrennung entstehen, die Messelektroden. Diese Adsorptionen können sehr sensitiv mittels Impedimetrie erfasst werden. ■

Die Forschung zur Anwendung der Impedimetrie in Landwirtschaft und Umwelt wird gegenwärtig im Rahmen folgender Projekte durchgeführt:

- Entwicklung eines Vorhersagesystems für Deichbrüche auf Basis experimenteller und mathematischer Modelle (**VSDS**)
- Bodenfeuchteabhängige Saatgutablage (**BoSa**)
- PAK-Sensor für Schiffsabgasreinigungsanlagen

## Bodenfeuchteabhängige Saatgutablage (BoSa)

### Automatisierte Einstellung der optimalen Drilltiefe zur Kompensation klimatisch ungünstigen Aussaatbedingungen.

Wolfgang Fichtner, Katrin Rebatschek, Michael Mertig

Die optimale Ablagetiefe für Saatgut hinsichtlich der Keimfähigkeit hängt von der Bodenfeuchte ab. Witterungs- und Standort-bedingt sind starke lokale Schwankungen möglich. Variiert die Bodenfeuchte auf einem Feld stark, könnten durch eine teilflächenspezifische Variation der Bodenbearbeitung, hier durch den Parameter der Ablagetiefe für das Saatgut repräsentiert, die Nachteile bei der Saatgutkeimung minimiert werden. Die dafür notwendigen agrotechnischen, sensorischen und aktorischen Komponenten sind in Abb. 1 dargestellt.

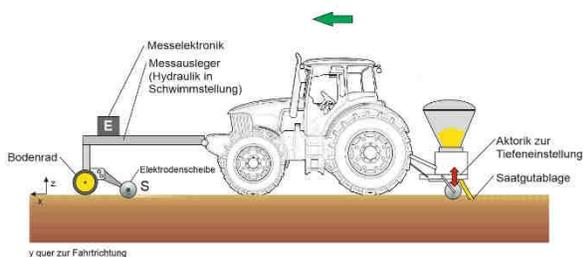


Abbildung 1. Prinzipdarstellung der Technik zur bodenfeuchteabhängigen Saatgutablage.

Orientierende Laborversuche erfolgten in Ackerboden, der in eine ca. 20 l fassende Versuchsbox eingebracht war. Hier wurden Impedanzmessungen an Drillscheiben (Durchmesser 330 mm) durchgeführt. Dabei wurden die im Erdreich eintauchenden Scheiben mittels Festkontaktierungen bei verschiedenen Feuchtwerten untersucht (Abbildung 2). Die Erfassung kompletter Impedanzspektren im Bereich von 1 Hz bis 100

kHz erfolgte an ruhenden sowie an bewegten Elektroden (oszillierende Bewegung mit einer Geschwindigkeit von ca. 0,2 m/s in Messbox). Diese Versuchsreihen dienten der Abschätzung auftretender Rauscheffekte bei der Bewegung von Drillscheiben als Impedanzelektroden im Erdreich und der Übertragung an die mitbewegte Messelektronik.

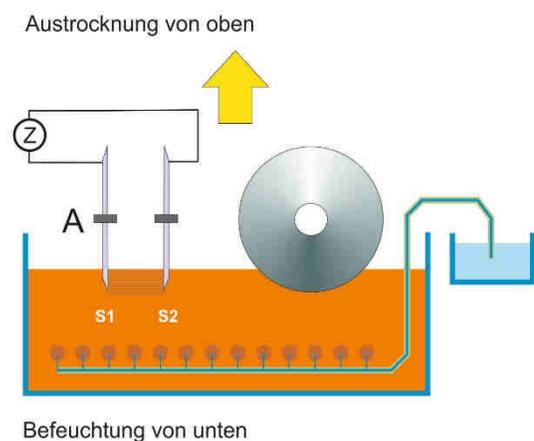


Abbildung 2. Laboranordnung zur Feuchtemessung an Drillscheiben (schematisch).

Für die Erprobung der sensorischen Komponenten wurde ein befahrbares Versuchsbeet aufgebaut. Aus dieser Anordnung resultieren einige wesentliche Vorteile: reproduzierbare und definierte Bodenverhältnisse, Unabhängigkeit von großer Trockenheit (Mai- August 2020) auf dem Realacker, gleichmäßige und homogene Bodenbeschaffenheit. Konstruktiv besteht das Ver-



Abb. 5

suchsbeet aus einer Mulde von 5 m x 1 m im Holzrahmen, gefüllt mit ca. 20 cm Ackerboden. Das Versuchsbeet kann zum Verdunstungs- und Niederschlagsschutz gegenüber Umwelteinflüssen abgedeckt werden. Über dem Beet operiert auf seitlichen Fahrbahnen (ohne separate Bodenverdichtung durch Antriebsräder) ein selbstfahrender, elektrisch angetriebener Messwagen (Kooperation TEB, Abbildung 3). Während der 4 m langen Überfahrten in zwei Richtungen (Vor- und Rückfahrt) werden auf den mitgeführten Messgeräten orts aufgelöste Signalverläufe aufgezeichnet. Am Fahrgestell des Messwagens ist ein Drillscheibenpaar mit einstellbarem Scheibenabstand und einstellbarer Eindringtiefe in das Erdreich montiert.



Abbildung 3. Versuchsbeet zur Erprobung der Sensorik bei Variation verschiedener Messparameter.

- **Projektleiter:** Dr. Wolfgang Fichtner
- **Projektträger:** ZIM-Kooperationsprojekt, AiF Projekt GmbH, Berlin
- **Projektpartner:** Landwirtschaftsbetrieb Heinz Friedrich Schönleber e.K., Littdorf  
TEB Ingenieurbüro, Berlin
- **Laufzeit:** 01/2020 – 12/2021
- **Förderkennzeichen:** ZF4088706SA9

Zur Verifizierung der Ortsauflösung des Messsystems bei der Überfahrt über inhomogen beschaffene Feldbereiche wurden im Versuchsbeet Niederschläge simuliert. Ein beispielhaftes Ergebnis ist im Diagramm (Abbildung 4) gezeigt. Die feuchten Bodenbereiche (20 mm Niederschlag) führen zu zwei Plateaus mit deutlich abgesenkten Impedanzwerten zwischen 500 – 700  $\Omega$ , während die trockenen Bodenbereiche dazwischen Werte bei ca. 3000  $\Omega$  zeigen. ■

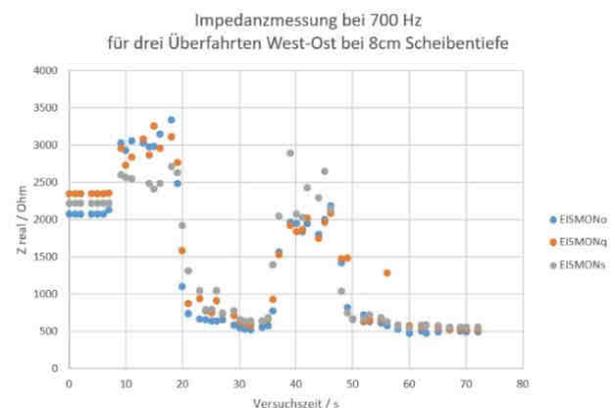


Abbildung 4. Impedanzwerte bei 700 Hz bei Simulation von 20 mm Niederschlag.

Abbildung 5. Ansicht eines Getreidefeldes mit ungleichmäßiger Verteilung von Jungpflanzen.

## Entwicklung eines Vorhersagesystems für Deichbrüche auf Basis experimenteller und mathematischer Modelle (VSDS)

**Teilthema: Entwicklung, Bau und Erprobung von Sensoren zur Bestimmung des Sickerlinienverlaufes in Deichen (Senside)**

**Die experimentelle Ermittlung des Verlaufes der Sickerlinie ermöglicht die Kontrolle der Standsicherheit eines Deiches während verschiedenster Durchfeuchtungsszenarien.**

Wolfgang Fichtner, Katrin Rebatschek, Michael Mertig

Das Ziel des Projektes soll die Entwicklung eines praxisrelevanten Vorhersagesystems für Deichbrüche an wasserbaulichen Erddämmen sein, womit die Gefährdung von Deichbauwerken auf Basis experimenteller Ergebnisse und mathematischer Modelle unter Berücksichtigung von Niederschlag und Vegetation bei sich ändernden Klimabedingungen zuverlässig vorhergesagt werden kann.

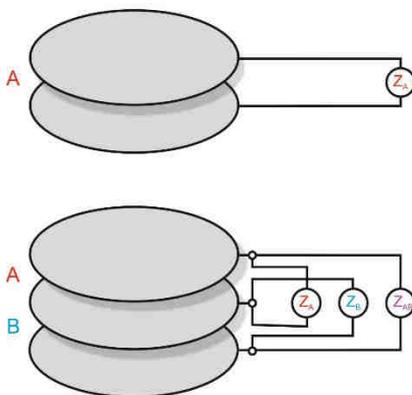


Abbildung 1: Elektrodenanordnung zur Impedanzmessung in Erddämmen, bestehend aus Kohlenstofffasermatten in Leinwandbindung (siehe Abbildung 2).

Der derzeitige Stand der Technik berücksichtigt den Einfluss der Instabilität im Bereich einer teilweisen Wassersättigung von Erddämmen und

Deichen oberhalb der Sickerlinie nur unzureichend. Die Bewertung der Standsicherheit erfolgt zurzeit auf Basis traditioneller ingenieurtechnischer Verfahren, die für diese Aufgabe nur bedingt geeignet sind.

Die Erfassung der Bodenfeuchte des Deichmaterials soll durch einen elektrischen Sensor erfolgen. Die zu entwickelnden Sensorelemente sollen in der Fertigung preiswert, langzeitstabil und robust hinsichtlich Einbau und Betrieb sein. Sie sollen nur umweltneutrale Konstruktionsmaterialien beinhalten. Als Elektrodenmaterialien kommen Kohlenstofffasermatten zum Einsatz, die in Zwei- bzw. Dreielektrodenanordnungen integriert sind (Abbildung 1). Bei der Konstruktion ist zu berücksichtigen, dass im künftigen Praxiseinsatz eine Tiefbaufirma die Einbringung in den Deich vornehmen wird und die Sensoren dabei eine anschließende mechanische Verdichtung unbeschadet überstehen müssen.

Zum Test der Funktionstüchtigkeit der Sensoren wurden 10 Exemplare in einen Versuchsdeich der Technischen Universität Dresden (Hubert-Engels-Labor) eingebaut. Die Positionierung erfolgte in drei verschiedenen Ebenen (I, II und III) gemäß Abbildung 3.

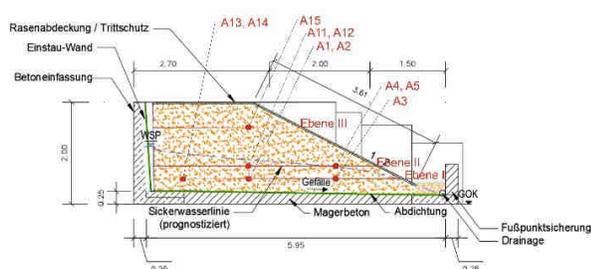


Abbildung 3. Querschnitt durch einen Versuchsdeich mit Lage der Sensoren A1 bis A15.

Nach ca. 44 h steigen die Impedanzwerte langsam wieder an, die Sensoren befindet sich nun oberhalb der Sickerlinie im teilgesättigten Bereich. Die Sensoren in der unteren Einbauebene I werden stark von den Einstauvorgängen beeinflusst. Zunächst sinken nach 14 h die Impedanzwerte (Modulus der komplexen Impedanz in Abbildung 4) rasch auf ein Tiefplateau ab. Zu diesem Zeitpunkt erreicht die Sättigung 100 %; die Sensoren befinden sich nun unterhalb der Sickerlinie.

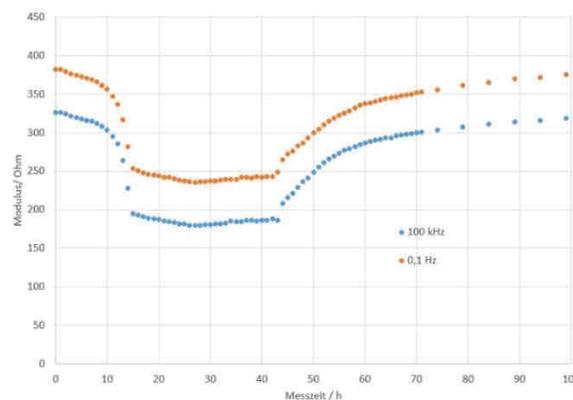


Abbildung 4. Zeitlicher Verlauf des Modulus der komplexen Impedanz, Sensor A1 bei Einstaupegel 95 cm.

Die Untersuchungen an einem Versuchsdeich zeigen, dass sich mittels der neuentwickelten Sensoren punktuelle Veränderungen des Wassergehaltes in der ungesättigten Zone qualitativ rechtzeitig erkennen lassen. ■

- **Projektleiter:** Prof. Michael Mertig
- **Projekträger:** Sächsische Aufbaubank
- **Projektpartner:** M&S Umweltprojekt GmbH, Plauen (M&S), Weischlitzer Tiefbau und Umweltschutz GmbH, Weischlitz (WTU), Institut für Grundwasser (IGW), Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und Technische Hydromechanik (IWD), Technische Universität Dresden
- **Laufzeit:** 05/2019 – 12/2021
- **Förderkennzeichen:** 100362350

## PAK-Sensor für Schiffsabgasreinigungsanlagen

**Ziel ist die Erweiterung eines Sensors zur Detektion polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) mit einem Impedanzmodul zur Steuerung von Schiffsabgasreinigungsanlagen.**

Alfred Kick, Michael Mertig

Die Umweltvorgaben für die Abgasreinigung bei Schiffen sind seit dem Jahr 2020 verschärft worden. Die meisten Schiffe verwenden als Treibstoff noch immer Schweröl und können ohne entsprechende Abgasreinigung die gesetzlich festgelegten Grenzwerte nicht einhalten. Um das Schweröl nutzen zu können, müssen Schiffe mit Abgasreinigungssystemen (Scrubber) ausgerüstet werden. In einem Scrubber werden die Dieselabgase durch Wasser geleitet, in dem sich Schwefeloxide, Öle, Ruß und Feinstaub anreichern. Dabei steigt die Konzentration an polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffen (PAK), welche mittels Fluoreszenzmesssonden detektiert werden. Dieser Parameter sowie Trübung und pH-Wert müssen bei dem Betreiben eines Scrubbers überwacht und geregelt werden.

Die Aufgabe des KSI Meinsberg besteht in der Entwicklung eines Impedanzmoduls zur Kontrolle des Verschmutzungsgrades des Waschwassers eines Scrubbers. Dazu soll unter anderem die Adsorption der aus dem Abgas angereicherten Stoffe an Elektroden untersucht werden. Durch die Messung des frequenzabhängigen Wechselstromwiderstands (Impedanzspektroskopie) können solche Prozesse sehr sensitiv detektiert werden. Außerdem kann mit demselben Elektrodenystem die Leitfähigkeitsänderung im Waschwasser detektiert und ebenfalls als Parameter für fortschreitende Verschmutzung des Waschwassers genutzt werden.

Im ersten Jahr der Projektlaufzeit konnte ein robuster Elektrodenaufbau realisiert und untersucht werden. Dazu wurden Platinelektroden als Arbeits- und Gegenelektrode in einen Glaskörper eingeschmolzen. Dadurch ist die Formstabilität des gesamten Aufbaus gewährleistet. Außerdem ist eine Ag/AgCl-Pseudoreferenzelektrode ebenfalls mit dem Glaskörper verschmolzen (Abbildung 1).

Mit diesem Elektrodenaufbau wurden Impedanzmessungen durchgeführt (Abbildung 2). Diese zeigen, dass die gemessenen spezifischen Leitfähigkeiten dem aus der Literatur erwarteten Wertebereich entsprechen (in S/m): 5,0 (künstliches Meerwasser); 4,4 (Mittelmeer); 4,5 (Nordsee); 2,0 (Ostsee).

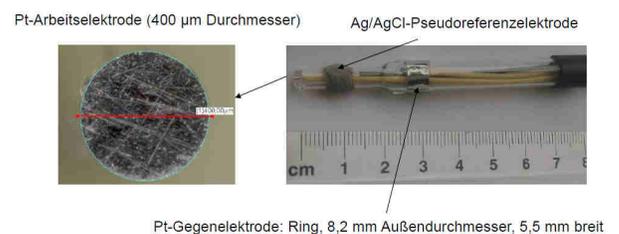


Abbildung 1. Elektroden im Glaskörper eingeschmolzen: Ag/AgCl Pseudoreferenzelektrode, Pt-Arbeits- und Gegenelektrode, 400 µm Durchmesser, Pt-Gegenelektrode: Ring, 8,2 mm Außendurchmesser, 5,5 mm breit.

Eine Probe vom Auslass einer Reinigungsanlage zeigte eine spezifische Leitfähigkeit von 4,8 S/m. Das Impedanzspektrum in dieser Probe unterscheidet sich deutlich von entsprechenden Messungen im künstlichen und in den natürlichen

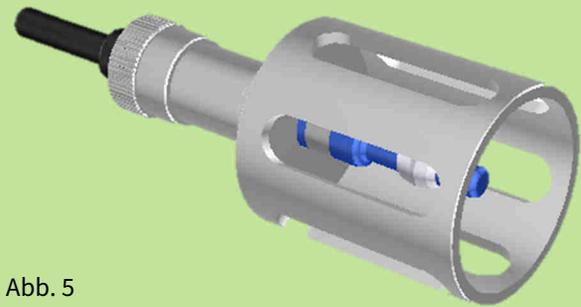
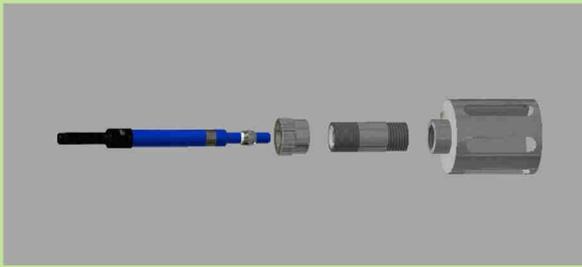


Abb. 5

Meerwässern. Daraus lassen sich Doppelschichtkapazitäten als Maß für den Verschmutzungsgrad ermitteln. In einer Nordseeprobe wurde eine Doppelschichtkapazität von etwa 82 nF und in der Probe vom Ausgang einer Schiffsabgasreinigungsanlage von nur etwa 33 nF bestimmt. Eine Reinigung der Arbeitselektrode wurde mittels Cyclovoltammetrie durchgeführt, bei der größere elektrische Spannungen genutzt werden (Abbildung 3).

Auch die Änderung der Stromstärke bei der Cyclovoltammetrie kann die Verschmutzung des Wassers anzeigen. Der Strom ändert sich im Vergleich zu den nicht verschmutzten Meerwasserproben um etwa -300 nA sehr deutlich (Abb. 4).

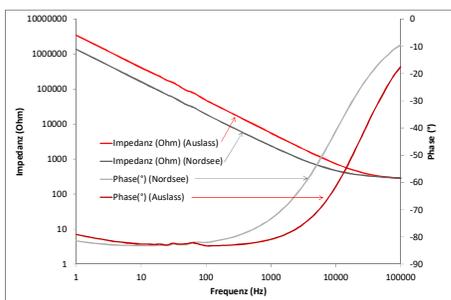


Abbildung 2. Impedanzspektren in Nordsee-Wasser und im Wasser vom Auslass einer Schiffsabgasreinigungsanlage bei 0,5 V gegen Ag/AgCl-Referenzelektrode.

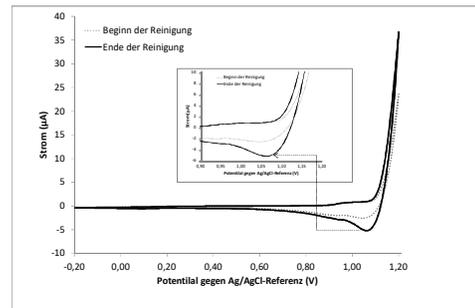


Abbildung 3. Cyclovoltammogramm zu Beginn und am Ende der elektrochemischen Reinigung.

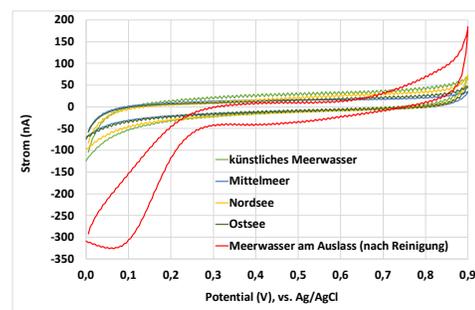


Abbildung 4. Cyclovoltammetrie im künstlichen Meerwasser, Mittelmeer-, Nordsee- und Ostsee-Wasser und im Wasser vom Auslass einer Abgasreinigungsanlage.

Für eine Anwendung in einer Schiffsabgasreinigungsanlage wurde die Elektrode in eine Halterung aus Edelstahl eingesetzt und mit Gewinde und Schutzkappe versehen, um damit die mechanische Stabilität zu erhöhen (Abbildung 5.).

- **Projektleiter:** Dr. Alfred Kick
- **Projekträger:** ZIM Kooperationsprojekt, AiF Projekt GmbH, Berlin
- **Projektpartner:** IL Metronic Sensortechnik GmbH, IfU GmbH Privates Institut für Umweltanalysen
- **Laufzeit:** 01/2020 – 12/2021
- **Förderkennzeichen:** 4088708ST9

Abbildung 5. Konstruktionszeichnungen der Einhausung in Edelstahl für die Elektroden.

## Oxidative stress monitoring of food to optimize the individual nutrition (Oximon)

**Ziel des Vorhabens ist die Realisierung eines Messsystems, mit dem eine Bestimmung der Parameter pH-Wert, Redoxpotential und Leitfähigkeit in kleinen Volumina von Speichel oder Lebensmittelsäften möglich ist.**

Manfred Decker, Winfried Vonau

Um den oxidativen Status eines Lebensmittels abschätzen zu können, werden in der orthomolekularen Medizin dem pH-Wert, dem Redoxpotential und der Leitfähigkeit eine besondere Bedeutung zugesprochen. Im Speichel von Patienten werden diese Größen zur Beurteilung des oxidativen Status der Probanden bestimmt, um weiterführende Informationen über den körperlichen Zustand von Patienten zu gewinnen und potenzielle Entwicklungen abzuschätzen. Des Weiteren wird von den medizinischen Partnern angestrebt, mit diesen Parametern eine Aussage über die antioxidative Kapazität von Lebensmitteln zu generieren. Damit soll perspektivisch ein objektives Gütekriterium zur Beurteilung der Qualität eines Lebensmittels erhalten werden, um Ernährungsempfehlungen auszusprechen. Zentrale Aufgabe des KSI Meinsberg in dem Vorhaben war die Entwicklung und Bereitstellung geeigneter Sensorik, die auch ungeübten Nutzern ohne Probenaufbereitung eine einfache und schnelle Bestimmung der Zielgrößen in Speichel und in Lebensmittelsäften erlaubt.

Zur pH-Messung wurde auf ein ISFET-System in Kombination mit einer Ag/AgCl-basierten Referenzelektrode zurückgegriffen. Die planaren Sensoren für die Leitfähigkeits- und Redoxpotentialbestimmung wurden auf keramischen Substraten mittels Siebdruck gefertigt.

Zur Analyse geringer Probenvolumina haben die Partner zwei verschiedene Ansätze gewählt.

Für die Speicheluntersuchung wurde eine Messzelle favorisiert, bei der die frisch gesammelte Probe mittels einer Spritze in die Messkammer überführt werden kann. Der Aufbau ist schematisch in Abbildung 1 dargestellt und erlaubt die Analyse kleiner Speichelvolumina von 650  $\mu\text{L}$ .

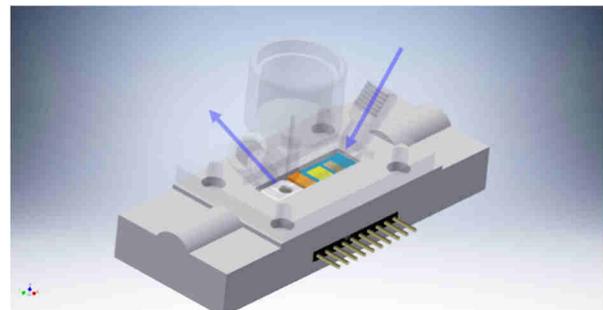


Abbildung 1. Schematische Darstellung der Messzelle zur Untersuchung von Speichelproben (Probenein- und -auslass farblich gekennzeichnet).

Die Aufgabe des Speichels sowie der Kalibrier- und Reinigungsflüssigkeit erfolgt mit einer Spritze. Die Probe passiert zuerst die Sensoren zur Leitfähigkeits- und Redoxpotentialmessung. Nach Kontakt mit der Referenzelektrode und dem pH-ISFET verlässt die Probe den Messkanal. Diese Vorgehensweise erlaubt eine nahezu blasenfreie Aufgabe der Flüssigkeit in den Messkanal und verringert das Risiko einer Kontamination des Anwenders mit der Messmatrix. Die

Sammlung erfolgt zuvor mit einem saugfähigen Zellstoff.

Für die Analyse von Lebensmittelsäften wurde von einem Projektpartner ein anderer Aufbau bevorzugt, der eine einfachere Handhabung für den Kunden erlauben soll. Die Messfühler sind dabei gemeinsam in einem Sensorkopf integriert. Als Referenzelektrode dient ein Ag/AgCl-basiertes System, integriert in einer Kapillare mit Keramikdiaphragma. Abbildung 2 zeigt den Sensorkopf.

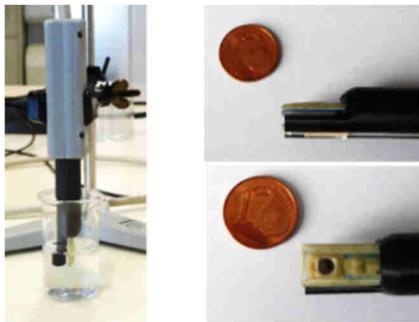


Abbildung 2. Links: Sensorkopf in einer Kalibrierlösung. Rechts oben: Seitliche Aufnahme des Sensorkopfes mit ISFET-Struktur (nach oben gerichtet). Rechts unten: Draufsicht auf den verkapselten ISFET.

Angepasst an die vom KSI gefertigten und optimierten Sensoreinheiten wurde zusammen mit

dem Partner TecSense GmbH ein Messgerät entwickelt. Um die Handhabung auch für Interessenten aus dem *Life-Science*-Bereich einfach zu gestalten, wurde für eine schnelle Messung eine Einpunktkalibrierung in das Messprogramm implementiert. Die graphische Darstellung der Resultate erfolgt auf einem Display des Messgeräts (Abbildung 3). Die Daten können per USB-Stick ausgelesen werden. Zusätzlich wurde auch eine Übermittlung der Ergebnisse per Bluetooth auf das Smartphone in die Geräteentwicklung implementiert. ■



Abbildung 3. Display des entwickelten Messgeräts des Projektpartners TecSense GmbH mit Messkurven zum Verlauf des pH-Werts (oben links), des Redoxpotentials (unten links) und der Temperatur (oben rechts); Leitfähigkeit (unten rechts, nicht angeschlossen).

- **Projektleiter:** Prof. Winfried Vonau
- **Projekträger:** Eurostars, Projektträger DLR
- **Projektpartner:** TecSense GmbH, Grambach, Österreich  
IPP – Ing. Peter Peutler GmbH; Seiersberg, Österreich  
Klinik im LEBEN GmbH, Greiz, Cuboffice GmbH & Co.KG, Magdeburg  
Frankenförder Forschungsgesellschaft mbH, Luckenwalde  
Alpstein Klinik AG, Gais, Schweiz
- **Laufzeit:** 01/2017 – 03/2020
- **Förderkennzeichen:** 01QE1707D

## Autark funktionsfähiges mobiles Messsystem für das Monitoring der Wasserqualität in Industriefolgeseen (HydroSens)

### Entwicklung eines miniaturisierten tauchfähigen Multisensormoduls zur Detektion qualitätsbestimmender Wasserparameter.

Winfried Vonau, Frank Gerlach, Kristina Ahlborn, Ramona Sauer, Mike Weber, Bettina Hahnebach, Thomas Lamz

Die Überwachung und Renaturierung von Tagebauseen und Industriefolgeseen besitzt im europäischen Maßstab, insbesondere vor dem Hintergrund des Ausstiegs aus der Kohleproduktion, einen besonderen Stellenwert. Grundlage bildet die im Jahr 2000 eingeführte Europäische Wasserrahmenrichtlinie, welche die Bewertung von Seen von mehr als 50 ha vorschreibt. Ziel aller Maßnahmen ist, diese Seen in einen guten ökologischen Zustand zu versetzen. Dieses umfasst u.a. eine diverse Besiedlung mit Unterwasserpflanzen und -tieren, eine geringe Trophie sowie eine große Sichttiefe.

Ein Baustein für den Erfolg der Maßnahmen zur Renaturierung ist ein flächendeckendes Monitoring von relevanten Wasserparametern unter Nutzung von mobilen und zugleich autarken Messplattformen (Sonobot® der Fa. Evologic). Diese ermöglichen eine GPS-basierte Aufnahme von Messdaten und somit eine effiziente Modellierung des Wasserkörpers. Das KSI Meinsberg entwickelt im Rahmen des o.g. Projektes eine miniaturisierte Tauchsonde zur Aufnahme von Wasserparametern bis zu Tauchtiefen von 200 m. Die Einheiten werden auf Mehrrumpfschwimmkörpern mit Winde installiert und können mit einer Abtastrate von 1 Messung/s für eine Dauer von 8 Stunden Daten mit einem integrierten Datenlogger sammeln. Insgesamt besitzt das System eine

ausreichende Kenterstabilität und die Möglichkeit, noch weitere Systeme und Module aufzunehmen.

Die in Abbildung 1 dargestellte Sensorkonfiguration verfügt im jetzigen Entwicklungsstand über die klassischen Parameter kommerzieller CTD-Sonden: Leitfähigkeit, Druck und Temperatur. Darüber hinaus sind die Parameter pH-Wert und Redoxpotential implementiert. Die Sensoren werden z.T. in modernen planaren Technologien gefertigt [1].



Abbildung 1. Sensorkonfiguration der miniaturisierten Multiparametersonde.

Für die Analyse vor Ort wird ein Steuerrechner mit Auswertesoftware zur Verfügung gestellt. Die Verbindung wird über ein Funkmodul ZIGBEE ISM 3.0 2.4 GHz sichergestellt (Abbildung 2). Dieses

ermöglicht, neben dem Datenloggermodus parallel einen Messmodus zu aktivieren, um die

Funktionalität und die Messwerte vor Ort zu kontrollieren und direkten Einfluss auf das Messregime zu nehmen. ■



Abbildung 2. Steuerrechner mit Auswerteprogramm, Funkmodul ZIGBEE ISM 3.0 2.4 GHz und Multiparametersonde mit integriertem Datenlogger.

- **Projektleiter:** Prof. Winfried Vonau
- **Projekträger:** EU EuroStars,  
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V (DLR), Bonn
- **Projektpartner:** Institut für angewandte Gewässerökologie GmbH, Seddiner See,  
Deutschland  
BVT Technologies, a.s., Brno, Tschechische Republik  
Palivový Kombinát Ústi, Chlumec, Tschechische Republik  
scan Messtechnik GmbH, Vienna, Österreich  
EvoLogic GmbH, Berlin, Deutschland
- **Laufzeit:** 07/2019 – 12/2021
- **Förderkennzeichen:** 01QE1907C

1 F. Gerlach, K. Ahlborn, W. Vonau, *J. Electrochem. Sci. Eng.* 10 (2020) 177-184.

## Wasserstoffdetektoren in Elektrofahrzeugen / Hydrogen detectors in electric vehicles (H2D4EV)

Im Vorhaben wird ein komplexes Multisensorsystem für die Überwachung des Abgases und der Umgebung von Brennstoffzellen für die Elektromobilität entwickelt.

Anastasiya Ruchets, Jingying Yao, Jens Zosel, Michael Mertig

Im Verbundvorhaben H2D4EV, einem chinesisch-deutschen Kooperationsprojekt, wird ein hochsensitives, intelligentes Wasserstoffüberwachungssystem entwickelt und erprobt, das zur Gewährleistung der Betriebssicherheit von Brennstoffzellen (Abgasseite und Umgebung) in Elektrofahrzeugen vorgesehen ist. Dieses System basiert auf einem innovativen Sensorarray mit dessen Daten ein hochpräzises und zuverlässiges Brennstoffzellen-Monitoring kontinuierlich erfolgen soll. Das System umfasst neben neu zu entwickelnden, digitalen, hochintegrierten, miniaturisierten und feuchtekompensierten Wasserstoff-(H<sub>2</sub>)-Sensoren für Abgas (Exhaust) und Umgebung (Ambient) weitere Sensoren für wichtige Betriebsparameter der Brennstoffzellen sowie eine intelligente Signalverarbeitung und Steuerung. Für die Sensorsignalverarbeitung und integrale Datenauswertung werden mathematische Algorithmen entwickelt und erprobt, mit denen der aktuelle Brennstoffzellensicherheitsstatus beurteilt und dessen zukünftige Entwicklung abgeschätzt werden kann. Das Zielkonzept des beim Partner UST zu entwickelnden H<sub>2</sub>-Sensor-systems ist in Abbildung 1 dargestellt.

Im Teilprojekt des KSI Meinsberg werden Beschichtungstechnologien für metallische oder oxidische Schichten unterschiedlicher Dicke entwickelt, die auf die H<sub>2</sub>-Sensoren als Sensitivmaterial aufgebracht werden sollen.

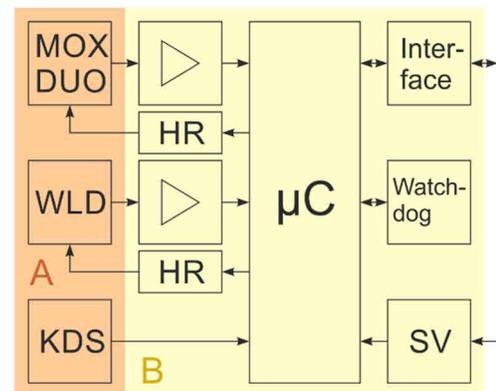


Abbildung 1. Zielkonzept des H<sub>2</sub>-Sensorsystems, HR = Heizungsregelung, WLD = Wärmeleitfähigkeitsdetektor, KDS = Kalibrierdatenspeicher, SV = Stromversorgung, MOX = Metalloxid-Gassensor, µC = Mikrocontroller, A = Sensorkopf, B = Sensorelektronik.

Dafür kommen der Siebdruck (Dickschichttechnik) bzw. die *Pulsed Laser Deposition* (PLD, Dünnschichttechnik) zum Einsatz. Beide Methoden sollen für metallische und oxidische Schichten qualifiziert werden. Ein wesentlicher Vorteil der PLD besteht in der flexiblen Herstellbarkeit von Schichten weit abseits vom Gleichgewicht zwischen Abscheidematerial und Gasphase bzw. Substrat.

Die Schichten werden nach der Präparation mit verschiedenen bildgebenden und analytischen Verfahren charakterisiert, um ihre sensorischen Parameter zu ermitteln und diese mit der Morphologie, der Zusammensetzung und der Integrität abzugleichen. Dazu kommen hochauflösende

Methoden der Röntgenmikroskopie und -spektroskopie sowie die Sauerstoffaustauschcoulometrie [1] und die Messung der katalytischen Aktivität [2] zum Einsatz. Die so gewonnenen Resultate werden mit denen der sensorischen Charakterisierung in komplexen Gasgemischen korreliert, wobei auch dynamische Messverfahren

wie zyklische Voltammetrie, Square-Wave-Voltammetrie und Impedanzspektroskopie angewendet werden [3]. In Abbildung 2 ist ein Beispiel für die bildgebende und sensorische Charakterisierung neuentwickelter Metalloxid-Gassensoren gezeigt. ■

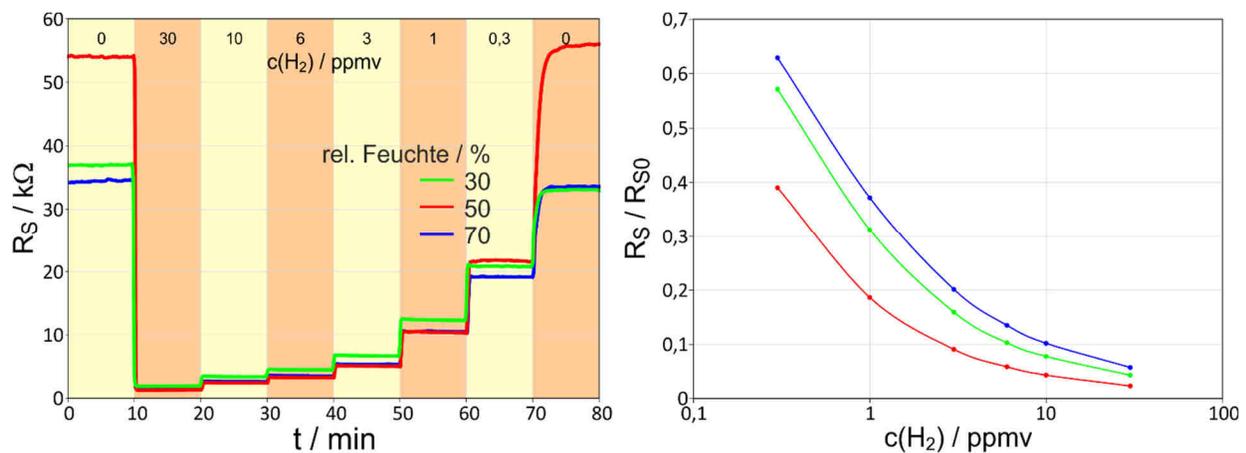


Abbildung 2. Charakterisierung einer sensitiven Schicht in wasserstoffhaltigen Gasgemischen mit unterschiedlichen relativen Feuchten. Links: Gemessene Signalkurven. Rechts: Relative Signale in Abhängigkeit von der Wasserstoffkonzentration.

- **Projektleiter:** Prof. Michael Mertig
- **Projekträger:** BMBF, Projektträger Jülich GmbH
- **Projektpartner:** UST Umweltsensortechnik GmbH, Geschwenda  
Tongji University, Shanghai, China  
Guangxi Yuchai Machinery Group Co., LTD, Guangxi, China  
Mercedes-Benz Fuel Cell GmbH, Kirchheim/Teck-Nabern
- **Laufzeit:** 11/2019 – 10/2022
- **Förderkennzeichen:** 03B11015B

1 A Herms, J. Yao, J. Zosel, Vashook, W. Oelßner, M. Mertig, *J. Sens. Sens. Syst.* 7 (2018) 621–625.  
 2 C. Vonau, J. Zosel, M. Paramasivam, K. Ahlborn, F. Gerlach, V. Vashook, U. Guth, *Solid State Ionics* 225 (2012) 337-341.  
 3 A. Ruchets, N. Donker, J. Zosel, D. Schönauer-Kamin, R. Moos, U. Guth, M. Mertig, *J. Sens. Sens. Syst.* 9 (2020) 355-362.

## Entwicklung eines hochsensitiven Festelektrolyt-Wasserstoffsensors (FeWaS)

**Das im Rahmen des Konsortiums “HYPOS – Hydrogen Power Storage & Solutions East Germany” der BMBF-Initiative “Zwanzig20 - Partnerschaft für Innovation” durchgeführte Vorhaben ist auf die Entwicklung eines Sensors zur Lecküberwachung an Anlagen für die Wasserstoffwirtschaft gerichtet.**

Pramit Sood, Jens Zosel, Michael Mertig

Grüner Wasserstoff ( $H_2$ ) als Energieträger aus erneuerbaren Quellen wird sich in den kommenden Jahren zur tragenden Säule einer  $CO_2$ -freien skalenübergreifenden Energieversorgung entwickeln. Die Dezentralisierung der  $H_2$ -basierten Versorgungskette wird dabei auch den Consumerbereich betreffen, in dem die Anwendungssicherheit zu neuen Herausforderungen führt. Um diesen zu begegnen, werden automatisierte hochselektive Onlinemessungen in einem breiten Konzentrationsbereich bis unter 10 Vol.-ppm angestrebt, so dass Leckagen, Fehlbedienungen oder Anlagenschäden frühzeitig detektiert und möglichst schnell ohne Folgeschäden behoben werden können. Das Ziel des vom KSI Meinsberg koordinierten Verbundprojekts „Prozess- und Sicherheitssensorik für das Wasserstoff-Qualitätsmanagement (HyProS)“ besteht deshalb in der Entwicklung einer komplexen  $H_2$ -Sensor-Infrastruktur zur Sicherheitsüberwachung und Qualitätskontrolle in der gesamten Wertschöpfungskette, die auf hochsensitiven, selektiven und langzeitstabilen Sensorsystemen basiert und flexibel im Feld eingesetzt werden kann. Im Teilvorhaben FeWaS wurde dazu ein hochsensitives  $H_2$ -Messsystem mit coulometrischem Festelektrolyt-Gassensor (FES) entwickelt [1]. Die Grundidee dieses Messsystems besteht in der chromatographischen Vortrennung des Messgasgemisches in Einzelkomponenten, die dann mit einem speziell

angepassten Festelektrolytdetektor quantifiziert werden. Hauptziel des Projektes war die Miniaturisierung von Injektionseinheit, Säulenofen und Detektor und die umfassende Charakterisierung des Messsystems. Beim Projektpartner ACI wurden diese Komponenten in ein Gerät integriert und die Steuersoftware entwickelt. In Abbildung 1 ist ein Prototyp dieses Systems gezeigt.

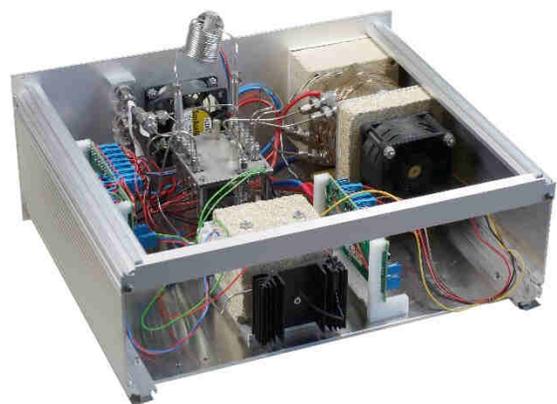
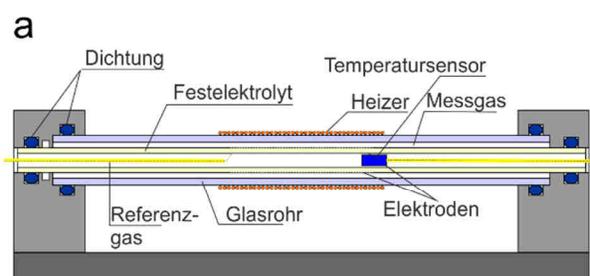


Abbildung 1. Prototyp des  $H_2$ -Messsystems, untergebracht in einem 19-Zoll-Gehäuse.

Im Labor wurde der komplexe Zusammenhang zwischen Sensoreigenschaften (Selektivität, Langzeitstabilität und untere Messgrenze) und Betriebsbedingungen (Sauerstoffpartialdruck, Detektortemperatur, injizierte  $H_2$ -Konzentration, Säulenkonfiguration und -temperierung sowie

Trägergasvolumenstrom) untersucht, um die Betriebsbedingungen für eine möglichst niedrige untere Messgrenze und einen breiten Messbereich zu optimieren.

Eine weitere Aufgabe im Vorhaben bestand in der Miniaturisierung der Hauptkomponenten des chromatographischen Systems. In Abbildung 2a ist als Beispiel der miniaturisierte Detektor gezeigt, der etwa halb so groß wie die bislang verwendeten Detektoren ist. In diesem wird der Wasserstoffpeak mit Oxidionen titriert, wobei der detektierte Strom über das Faradaysche Gesetz mit der den Detektor passierenden Wasserstoffmenge zusammenhängt. In Abbildung 2b sind Ausschnitte aus Chromatogrammen bei verschiedenen Wasserstoffkonzentrationen gezeigt.



Insgesamt konnte gezeigt werden, dass eine untere Messgrenze des Messsystems bei etwa 0,2 Vol.-ppm erreichbar ist.

Der verwendete Festelektrolytdetektor weist zudem eine kurze Ansprechzeit im Millisekundenbereich auf, so dass perspektivisch damit auch Messungen in Hochgeschwindigkeits-Chromatographie-Systemen möglich sind.

Da mit dem Gesamtsystem außerdem Messungen mit verteilten räumlichen Messorten leicht umsetzbar sind, ist das System insbesondere für die Leckageüberwachung komplexer Anlagen geeignet. ■

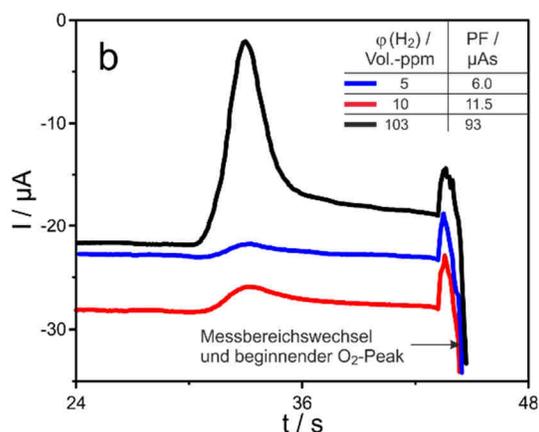


Abbildung 2. a) Schema des miniaturisierten Festelektrolytdetektors (Länge 80 mm), b) Ausschnitte aus Chromatogrammen im Bereich des  $\text{H}_2$ -Peaks bei verschiedenen  $\text{H}_2$ -Konzentrationen.

- **Projektleiter:** Prof. Michael Mertig
- **Projekträger:** BMBF, Projekträger Jülich GmbH
- **Projektpartner:** ACI GmbH, Berlin; Unterauftragnehmer: Materion GmbH, Wismar
- **Laufzeit:** 05/2017 – 10/2020
- **Förderkennzeichen:** 03ZZ0724A

1 P. Sood, J. Zosel, M. Mertig, W. Oelßner, O. Herrmann, M. Woratz, *J. Sens. Sens. Syst.* 9 (2020) 309–317.

## Dynamische Methoden für elektrochemische Gassensoren (DynaSens)

**Im Vorhaben werden neue Strategien der dynamischen Steuerung von Festelektrolyt-Gassensoren entwickelt, die zur gleichzeitigen selektiven Detektion von Wasserstoff, Sauerstoff, Kohlenstoffmonoxid, Wasserdampf und Stickoxiden in Inertgasen eingesetzt werden können.**

Anastasiya Ruchets, Jens Zosel

Die Sensortechnik ist ein untrennbarer und ständig wachsender Teil moderner Geräte und Leitsysteme, die sowohl in verschiedenen Bereichen von Wissenschaft und Technik als auch im täglichen Leben weit verbreitet sind. Festelektrolytsensoren wie die Lambdasonde, sind von großer Bedeutung, da sie aufgrund ihrer hohen Betriebstemperatur und Langzeitstabilität sowie ihres großen Messbereichs vor allem zur Kontrolle von Verbrennungsprozessen eingesetzt werden.

Es stellt sich die Frage, ob der Anwendungsbereich solcher Sensoren auf die Detektion verschiedener Redoxgase wie  $\text{NO}_x$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2$ , Kohlenwasserstoffe in Ab- oder Inertgasatmosphären erweitert werden kann. Die Motivation für diese Entwicklung schöpft sich zudem aus der Forderung nach umwelt- und effizienzbezogenen Steuerungen für technische und chemische Prozesse sowie aus dem Wunsch, alle wesentlichen Vorgänge an heißen Gaselektroden vollständig aufzuklären.

Das Hauptziel des Vorhabens besteht somit in der umfassenden Untersuchung dynamischer Wechselwirkungen zwischen Gasphasen und zeitlich periodisch polarisierten Elektrodensystemen im Kontakt mit Hochtemperatur-Ionenleitern, um aus diesen Erkenntnissen neue Entwicklungsmöglichkeiten für dynamisch betriebene Hochtemperatur-Gassensoren abzuleiten. In die-

sem Projekt werden Methoden für Festelektrolytsensoren entwickelt, die darauf abzielen, ihre Selektivität unter Einsatz dynamischer Polarisation der Elektroden deutlich zu erhöhen.

Gemeinsam mit dem Lehrstuhl für Funktionsmaterialien an der Universität Bayreuth werden Methoden wie die Pulspolarisation (PP) [2,4], die Cyclo- und Square-Wave-Voltammetrie (CV/SWV) [1,3], sowie die Impedanzspektroskopie (EIS) an verschiedenen Elektrodenmaterialien und Sensoranordnungen in Gasgemischen untersucht, die  $\text{O}_2$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}$  und  $\text{NO}_x$  enthalten.

Im Teilvorhaben des KSI werden die CV, die SWV und die EIS an kommerziell erhältlichen YSZ-Durchflusssensoren erprobt. An solchen Sensoren mit CV aufgenommene Voltammogramme belegen, dass neben Sauerstoff ( $\text{O}_2$ ) auch Stickstoffmonoxid ( $\text{NO}$ ) und Kohlenstoffmonoxid ( $\text{CO}$ ) unter bestimmten Bedingungen selektiv und unabhängig von  $\text{O}_2$  nachgewiesen werden können.

Die Kurven in Abbildung 1 zeigen zyklische Voltammogramme, die bei  $700^\circ\text{C}$  im trockenen Gasstrom mit einem Gemisch aus verschiedenen Konzentrationen von  $\text{CO}$  und  $\text{NO}$  in  $\text{N}_2$  aufgenommen wurden. Darin treten  $\text{NO}$ -Peaks bei Polarisationsspannungen zwischen  $-0,3$  und  $-0,6$  V und Potentialvorschubgeschwindigkeiten von  $1000$  mV/s auf, während  $\text{CO}$ -Peaks bei  $20$  mV/s und bei Polarisationsspannungen zwischen  $-0,1$

und -0,3 V gefunden wurden (Abbildung 1B). Die erzielten Ergebnisse belegen die Selektivität dieses dynamischen Messverfahrens. ■

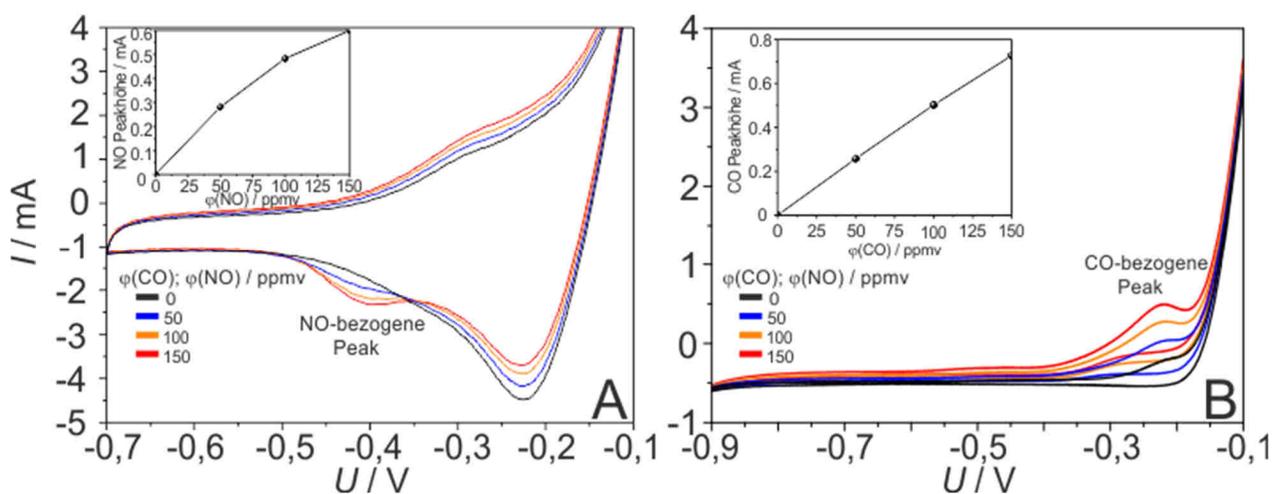


Abbildung 1. Voltammogramme im Gasgemisch von in Stickstoff verdünnten NO- und CO-haltigen Gasen bei (A) 1000 mV/s Potentialvorschubgeschwindigkeit und (B) bei 20 mV/s Potentialvorschubgeschwindigkeit. Sensortemperatur  $T = 700\text{ °C}$ ; Volumenstrom = 20 ml/min;  $c(\text{O}_2) = 65\text{ Vol.-%ppm}$ .

- **Projektleiter:** Dr. Jens Zosel
- **Projekträger:** Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)
- **Projektpartner:** Lehrstuhl für Funktionsmaterialien, Universität Bayreuth
- **Laufzeit:** 12/2017 – 06/2021
- **Förderkennzeichen:** ZO 139/3-1

- 1 A. Ruchets, N. Donker, J. Zosel, D. Schönauer-Kamin, R. Moos, U. Guth, M. Mertig, *Sensors and Actuators B: Chemical* 290 (2019) 53-58.
- 2 N. Donker, A. Ruchets, D. Schönauer-Kamin, J. Zosel, U. Guth, R. Moos, *Sensors and Actuators B: Chemical* 290 (2019) 28-33.
- 3 A. Ruchets, N. Donker, J. Zosel, D. Schönauer-Kamin, R. Moos, U. Guth, M. Mertig, *Journal of Sensors and Sensor Systems* 9 (2020) 355-362.
- 4 N. Donker, A. Ruchets, D. Schönauer-Kamin, J. Zosel, U. Guth, R. Moos, *Journal of Sensors and Sensor Systems* 9 (2020) 293-300.

## Flexibilisierung der Biogasproduktion durch Prozessphasenseparation und Dünnschlammrezirkulation – (ProPhaSep)

**Das Vorhaben ist auf die energetische Nutzung biogener Rest- und Abfallstoffe gerichtet. Im Teilvorhaben des KSI Meinsberg wird ein Messsystem für in Biogasmedien gelöste Gase (H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>) entwickelt und erprobt.**

Rodrigo Renato Retamal Marin, Jens Zosel, Michael Mertig

Die Umwandlung organischer Natur- und Abfallstoffe in Biogas ist ein tragender Pfeiler für die erneuerbaren Energien und ermöglicht die signifikante Verringerung von Treibhausgas-Emissionen. Die Flexibilisierung von Biogasanlagen bei gleichzeitiger hoher Gesamteffizienz und garantierter Prozesssicherheit steht im Fokus des BMU-Förderprogramms Energetische Biomassenutzung der Bundesregierung. Um diese Ziele zu erreichen, wird eine kontinuierliche Prozessüberwachung von Biogasanlagen mit Hilfe zuverlässiger On-line-Messtechnik benötigt. Neben einer Reihe von physikalischen Anlagenparametern werden in diesem Zusammenhang bereits umfangreich chemische Parameter in den Biogasmedien als unerlässliche Eingangsgrößen für die Beurteilung der Prozesssicherheit wie pH-Wert, Fettsäurenkonzentration und Biogaszusammensetzung bestimmt. Für die Analyse in der Flüssigphase dominiert die Labordiagnostik an manuell gewonnenen Proben. Da diese zu langsam und fehleranfällig ist, werden Online-Messungen angestrebt, wobei zunehmend auch die Detektion gelöster Gase in den Fokus der Prozesssteuerung gelangt. Mit der Online-Erfassung des Partialdrucks von Wasserstoff in Biogas-Gärmedien lassen sich zum Beispiel Abbauweg und -grad im Fermenter bestimmen, wodurch die Prozessstabilität beurteilbar wird.

Viele Biogasanlagen in Deutschland sind zweistufig aufgebaut. Im Hauptfermenter laufen alle Schritte der Stoffumwandlung (Hydrolyse der Makromoleküle – hydrolytische Phase, Vergärung der Spaltprodukte – acidogene Phase und Acetatbildung – acetogene Phase, sowie Methanbildung – methanogene Phase) ab, während im Nachfermenter Substratrete aufgeschlossen und die Methanogenese zu Ende geführt werden. Der anaerobe Abbau von organischen Substraten für die Biogasentstehung ist ein mikrobiell katalysierter Prozess [1], bei dem der gelöste Wasserstoff einen wichtigen Schlüsselparameter bildet [2-4]. Um die Prozessstabilität weiter zu verbessern, ist im Vorhaben die Entwicklung einer Dünnschlammrezirkulation vorgesehen, deren Prozessführung wie in Abbildung 1 skizziert anhand des Gelöstwasserstoffs geregelt werden soll.

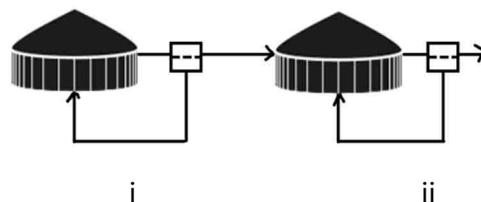


Abbildung 1. Anlage (schematisch) mit zweifacher Dünnschlammrezirkulation, i) Hauptvergärer und ii) Nachvergärer.

Die hohe Korrosivität der Messmedien, das Auftreten verschiedener Inhomogenitäten und vor allem die schnelle Ausbildung von Biofilmen auf allen Oberflächen führen zu enormen Schwierigkeiten bei der sensorischen Erfassung chemischer Parameter in Biogasmedien. Um dennoch gelöste Gase in Biogasmedien langzeitstabil online gewinnen und analysieren zu können, wurde am KSI Meinsberg ein neuartiges Messsystem entwickelt und erprobt, das eine speziell an Biogasmedien angepasste membranlose Extraktion der zu messenden gelösten Komponenten vorsieht. Nach dieser Extraktion erfolgt die Analyse dieser Komponenten in einem Gaschromatograph [5, 6].

Das Messsystem wurde unter verschiedenen Randbedingungen im Labor erprobt. In Abbildung 2 sind entsprechende H<sub>2</sub>-Peaks nach chromatographischer Trennung von Gasgemischen mit verschiedenen H<sub>2</sub>-Konzentrationen gezeigt.

Die Ergebnisse belegen, dass es möglich ist, sehr geringe Wasserstoffpartialdrücke unter 0,2 Pa mit hoher Genauigkeit zu erfassen. Da der Festelektrolyt-Detektor auf der Basis des Faradayschen Gesetzes operiert, ist ein langzeitstabiler, kalibrierfreier Betrieb gewährleistet. ■

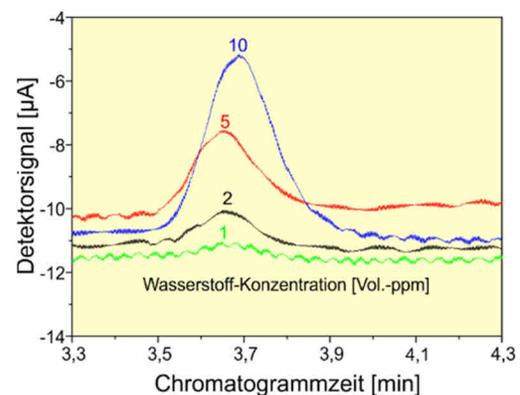


Abbildung 2. Wasserstoffpeaks, aufgezeichnet mit einem Prototyp des Online-Messsystems bei verschiedenen H<sub>2</sub>-Konzentrationen.

- **Projektleiter:** Dr. Jens Zosel
- **Projekträger:** BMWi
- **Projektpartner:** ACI GmbH, Berlin; FWE GmbH, Marktredwitz ; TUB, Berlin;
- **Laufzeit:** 01/2020 – 06/2022
- **Förderkennzeichen:** 03EI5409B

- 1 B. Haeffner, C. Nied, J. Voigt, K. Sommer, *Chemie Ingenieur Technik* 82 (2010) 1261-1264.
- 2 M. Schelter, J. Zosel, W. Oelßner, M. Mertig, *Sensors and Actuators B: Chemical* 193 (2014) 113-120.
- 3 J. Zosel, M. Schelter, W. Oelßner, M. Mertig, *Vorrichtung und Verfahren zur Extraktion gelöster Komponenten aus Flüssigkeiten*, DE 10 2011 108 133 A1, 2011.
- 4 M. Schelter, J. Zosel, W. Oelßner, U. Guth, M. Mertig, *Sensors and Actuators B: Chemical* 187 (2013) 209-214.
- 5 M. Schelter, J. Zosel, F. Berthold, W. Oelßner, U. Guth, *Sensor+Test Conference Proceedings I* (2011) 654-658.
- 6 J. Zosel, W. Oelßner, U. Guth, P. Zimmermann, E. Petersson, K. Sensel, *In: Messen, Steuern, Regeln bei der Biogaserzeugung*. Bd. 27. Gülzow: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (2008) 58-71.

## Neuartiger, dickschichtbasierter Anionensensor für wässrige Medien (AnSens)

### Entwicklung und Verifizierung von Anionen-sensitiven Gläsern sogenannter Chalkogenidgläser für potentiometrische Sensoren.

Ute Enseleit, Ramona Sauer, Felix Trommer, Marcel Rudelt, Winfried Vonau

Der Stand der Technik bei der quantitativen Anionenanalytik ist durch eine Reihe von photometrischen Methoden, die Ionenchromatographie sowie für einige Species auch elektroanalytische Verfahren auf der Basis von ISEs (Ionenselektive Elektroden) mit Polymermatrix- oder Einkristallmembranen sowie mit Membranen aus schwerlöslichen Salzen gegeben.

Das Ziel des Verbundprojekts AnSens ist es, mit der Dickschichttechnologie einen miniaturisierten Anionensensor mit integriertem pH- und Temperatursensor sowie die hierfür erforderliche Messgerätetechnik zu entwickeln und zu testen. Mit der Dickschichttechnologie können kostengünstig im Mehrfachnutzen sowohl Einzelsensoren als auch Multisensoren auf einem chemisch und mechanisch stabilen, keramischen Substrat dargestellt werden. Im Vordergrund stehen hierbei die Erfassung der Anionen Sulfid, Bromid und Iodid in wässrigen Medien. Ganz speziell die Bestimmung von Sulfiden ist in vielen Bereichen notwendig, denn diese können in gefährlicher und schädlicher Form als Schwefelwasserstoff vorliegen. Auch bei der Überwachung von geothermalen Bohrlöchern, Biogasanlagen, Deponien, Kompostwerken, Klärwerken und Tierkörperverwertung bzw. Massentierhaltung sind diese Sensoren zur Vermeidung schädlicher Ausdünstungen oder Verbreitung unzumutbarer, übler Gerüche notwendig. Bromide und Iodide wer-

den zu Produktion von Pharmazeutika eingesetzt. Silberiodid z.B. dient dazu, Trinkwasser zu sterilisieren, wobei auf Grund seiner toxischen Wirkung ein bestimmter Grenzwert nicht überschritten werden darf. Hierbei wird der Einsatz eines Sensors zur Bestimmung der Konzentration im Trinkwasser empfohlen.

Die Aufgabe des KSI Meinsberg umfasst die Herstellung und Verifizierung neuer anionensensitiver Chalkogenidgläser (CG) mit für den nachfolgenden Dickschichtprozess geeigneten Materialeigenschaften zur Bestimmung der Anionen. Das schließt die Konfektionierung kompletter konventioneller, potentiometrischer Sensoren ein, um festzustellen, ob die Sensoren in der Lage sind, die entsprechenden Ionen nachzuweisen und ein stabiles, reproduzierbares Messsignal zu liefern.



Abbildung 1. Chalkogenidglasstücke (links) und Chalkogenidglas-ISEs (rechts).

Der Herstellungsprozess der ionensensitiven, amorphen Chalkogenidgläser erfolgte in einem

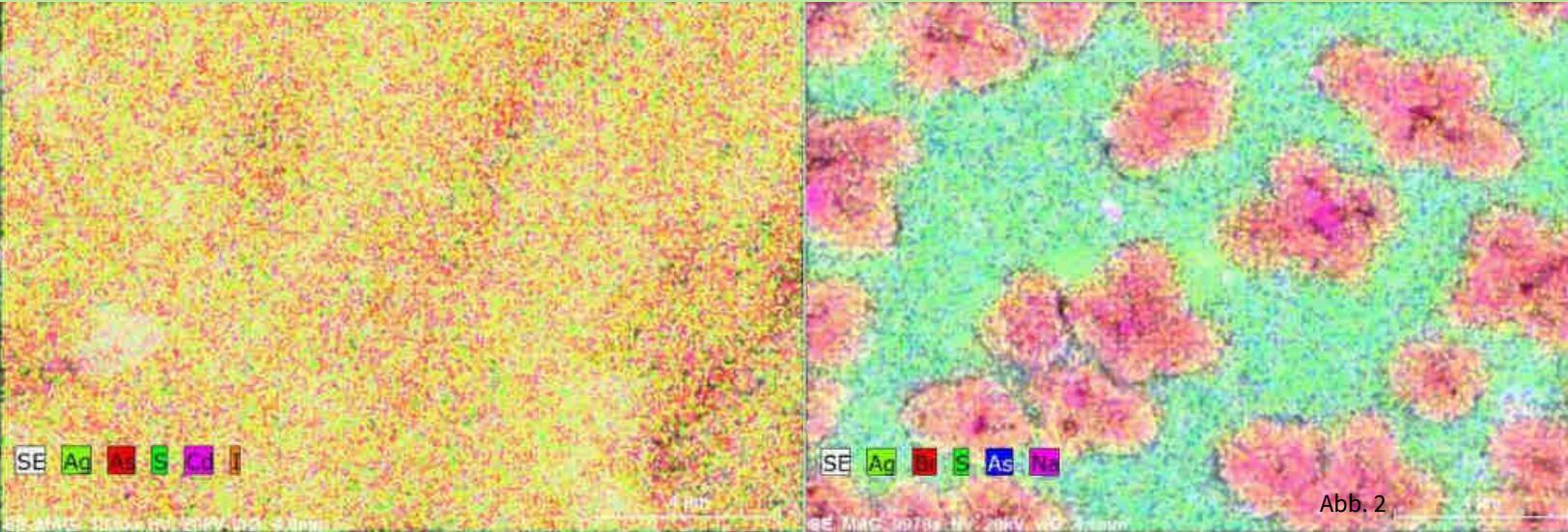


Abb. 2

Rohröfen ca. 30 Stunden bei einer Temperatur von 1100 °C. Die einzelnen Glaskomponenten wurden in eine Quarzampulle eingebracht und unter Vakuum zugeschmolzen. Größere Glasstücke wurden zur Konfektionierung von ISEs verwendet (Abbildung 1). CG-Schüttgüter und GC-Pulver wurden einer Charakterisierung zur Bestimmung ihrer glastechnischen Eigenschaften unterzogen. Die Verteilung der Elemente in zwei Chalkogenidgläsern mittels EDX-Untersuchungen zeigt Abbildung 2.

Mit Hilfe der Röntgendiffraktometrie wurde überprüft, ob die CG im amorphen oder kristallinen Zustand vorliegen. Abbildung 3 zeigt Röntgenbeugungsdiagramme von CG-Pulver, wobei einige Peaks beobachtet werden, die auf kristalline Bereiche im Schmelzkörper hinweisen. Der Nachweis von I<sup>-</sup>-Ionen erfolgte mit einer AgI-Ag<sub>2</sub>S-As<sub>2</sub>S<sub>3</sub>-CG-Elektrode. In Abbildung 4 sind die Elektrodenpotentiale des Sensors in Abhängigkeit von der Messzeit in Kalibrierlösungen dargestellt. Die Steilheit der Elektrode lag bei 58 mV/pl. ■

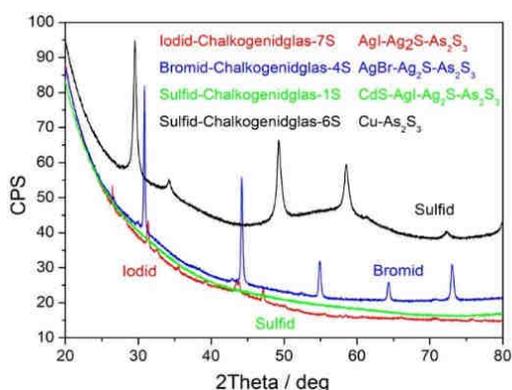


Abbildung 3. Röntgenbeugungsdiagramme von I<sup>-</sup>, B- und S<sup>2-</sup>-sensitiven Chalkogenidgläsern.

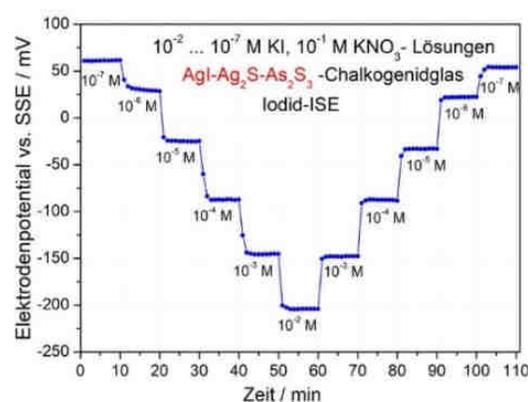


Abbildung 4. Darstellung des Ansprechverhaltens einer Iodid-sensitiven Chalkogenidglas-ISE.

- **Projektleiter:** Ute Enseleit
- **Projekträger:** ZIM-Kooperationsprojekt, AiF Projekt GmbH, Berlin
- **Projektpartner:** Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und Systeme (IKTS), Dresden, viimagic GmbH, Dresden PRONOVA Analysentechnik GmbH & Co. KG, Berlin
- **Laufzeit:** 02/2020 – 07/2022
- **Förderkennzeichen:** ZF4088707AW9

Abbildung 2. Aufnahmen der Verteilung der Elemente mittels EDX-Messungen im Bromid-sensitiven CG (rechts) und im Sulfid-sensitiven CG (links).

## Früherkennung von lokalen Brandherden in verdichteten Kunststoffabfällen (FELOBRA)

**Energetisch autarke und vernetzte Multisensormodule sollen in verdichteten Kunststoffballen entstehende Brandherde frühzeitig und mit hoher räumlicher Auflösung signalisieren.**

Janek Weißpflog, Jens Zosel

Jahrzehntlang wurden Kunststoffabfälle gesammelt und im Entsorgungsfahrzeug u.a. durch Pressplattensysteme vorverdichtet und temporär zwischengelagert. Diese Abfälle werden anschließend zerkleinert, zu Würfeln verdichtet und eingelagert. Während der Lagerzeit kam es in den letzten Jahren sowohl weltweit als auch in Deutschland immer wieder zu Großbränden durch Selbstentzündung der Ballen in diesen Lagern. Neben den jeweiligen Schäden in Millionenhöhe wird leider auch die umliegende Bevölkerung häufig einem sehr hohen Gefährdungspotential ausgesetzt. Trotz der zunehmenden Verschärfung des Problems durch zahlreiche neue Komponenten im Abfallstrom (Li-Batterien, Mini-Feuerzeuge, brennbare Sprays etc.), konnte bisher keine Möglichkeit zur erfolgreichen Eindämmung bzw. Frühwarnerkennung praxistauglich entwickelt werden. Die bisher eingesetzte Überwachungstechnik (Brandmelder, Gasmonitore und Kamerasysteme) zur automatischen Rauch-,

Flammen- und Wärmequellendetektion kann oft nur Brände erkennen, die bereits voll entwickelt sind. Sehr oft entsteht jedoch ein Feuer im Inneren eines Ballens und breitet sich dort unter Sauerstoffmangel als Schwelbrand aus. Erreicht ein solcher Schwelbrand erst einmal die Oberfläche, ist es für eine vorbeugende Brandbekämpfung zu spät. Aus diesem Grund wird ein neuartiges Detektionssystem entwickelt, welches in der Lage ist, Initialzündungen innerhalb der vorverdichteten Kunststoffabfallballen und Halden mit wesentlich höherer Sicherheit als bisher zu erkennen und dies bereits im Moment des Entstehens zu signalisieren. Auch die Position der Gefährdung kann so bestimmt werden, dass bestimmte Maßnahmen räumlich gezielt ergriffen werden können. Herzstück dieses Detektionssystems sind dabei vor der Verdichtung in die Ballen eingelagerte kugelförmige Multisensoren mit eigener Stromversorgung und Bluetooth-Modul zum Aufbau eines Netzwerks zur Lokalisierung der

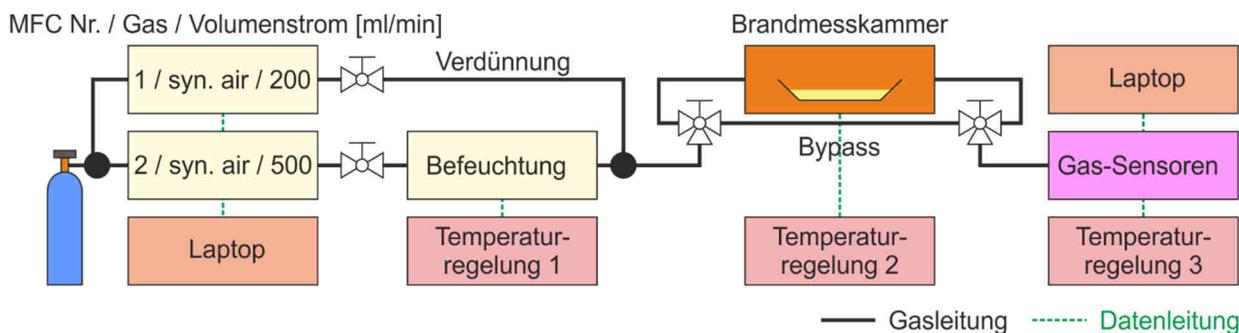


Abbildung 1. Versuchsaufbau zur Detektion von Schwel- und Brandgasen aus Kunststoffen und Akkumulatoren, Temperatur 1: 12-20 °C, Temperatur 2: RT-300 °C, Temperatur 3: 35-45 °C.

präzisen Position im Ernstfall. Zusammen mit einer externen Überwachungseinheit zur Auswertung aller Signale und Mustererkennung im Brandfall bilden sie ein dreidimensionales Netzwerk zur Überwachung von Kunststofflagern. Das KSI Meinsberg befasste sich dabei u.a. mit der Auswahl, Erprobung, Anpassung und Charakterisierung des Versuchsstands (Abbildung 1) von Gassensoren zur Erzeugung und Messung von realen brandinduzierenden Gaskomponenten. Für die Versuche in diesem Aufbau wurde ein kleiner Lithium-Ionen-Akku verwendet, dessen Typ bereits in verschiedenen Kunststofflagern zu Brandgefahren geführt hat. Darauf aufbauend werden die Gassensoren in Multisensoren integriert. Die in Abbildung 2 dargestellten Kurven bestätigen die bereits bei CO gefundene hohe Empfindlichkeit für Kohlenwasserstoffe, wie sie auch in Brandgasen vorkommen. Weiterhin werden Mess- und Auswertalgorithmen für die Sensoren und deren Signale weiterentwickelt. Beiträge zur Aufbau- und Verbindungstechnik sowie zur klimatischen Charakterisierung der Multisensoren sind ebenfalls Teil des Arbeitsprogramms.

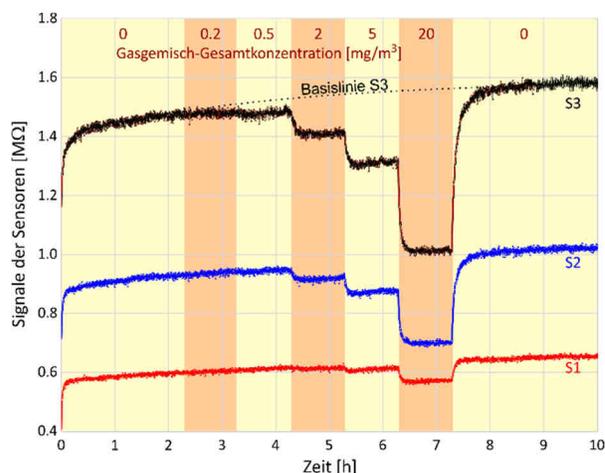


Abbildung 2. Abhängigkeit der Signale dreier verschiedener Metalloxid-Gassensoren von der Gesamtkonzentration eines komplexen Gasgemisches aus 8 verschiedenen organischen Dämpfen in befeuchteter synthetischer Luft (Hauptkomponenten Toluol und Styrol).

Als Ergebnis soll ein Testverfahren für die fertigen Multisensoren entwickelt werden, mit dem sie nach erfolgreichem Einsatz vor der Wiederverwendung auf ihre fehlerfreie Funktion geprüft werden können. Der innovative Kern des Teilprojekts besteht in der Anpassung von hochminiaturisierten *Low-Energy*-Gassensoren an raue Umgebungsbedingungen. ■

- **Projektleiter:** Dr. Jens Zosel
- **Projektträger:** ZIM-Kooperationsprojekt, AiF Projekt GmbH, Berlin
- **Projektpartner:** Sand- und Kiesgruben Sönitz GmbH, Chemnitz
- **Laufzeit:** 09/2019 – 08/2021
- **Förderkennzeichen:** ZF4088705 HM9

## Recycling von mehradrigen Kabeln mit Sonderfüllstoff

**Das wertstoffsichernde Recycling mehradriger Kabeln aus Telekommunikationsnetzen erfordert die vorherige möglichst vollständige Entfernung der Petrolatfüllung, für die im Verbundvorhaben ein eigensicheres Verfahren entwickelt werden soll.**

Jens Zosel

Gegenwärtig werden durch die Umrüstung auf Glasfasertelekommunikation kupferhaltige Telefonkabel in hohem Umfang recycelt. Um das darin enthaltene Kupfer von der Kunststoffummantelung zu trennen und die Materialien getrennt anderen Produktionsprozessen zuführen zu können, werden die Kabel geschreddert und die Partikel anschließend durch Windsichtung getrennt. Die in Telefonkabeln meist enthaltenen vaselineartigen Füllstoffe (Petrolate) müssen vor dem Schreddern möglichst vollständig aus den Kabeln entfernt werden, da diese Kohlenwasserstoffgemische den Schredderprozess nachhaltig beeinträchtigen. Im Rahmen des Projektes soll deshalb ein Verfahren entwickelt werden, mit dem solche Füllstoffe aus Kabeln extrahiert und zur Energieerzeugung genutzt werden. Das neu zu entwickelnde Verfahren beruht aus einer Kombination aus Heißdampf und Mikrowellenenergie, mit der die Füllstoffe möglichst im geschlossenen Kreislauf getrennt werden sollen. Im Ergebnis wird eine Anlage zur kostengünstigen, geregelten thermischen Trennung von Füllstoff unter gassensorischer Überwachung geschaffen. Danach werden die so gereinigten Kabel der bisher üblichen Entsorgung zugeführt. Im Teilprojekt des KSI Meinsberg werden Analyseverfahren entwickelt, mit denen Einzelbestandteile der Füllstoffe bestimmt und daraus Gefährdungspotentiale bei der Kabelerwärmung abgeleitet werden. Weiterhin wird eine Gassensorik zur Prozessüberwachung entwickelt und erprobt.

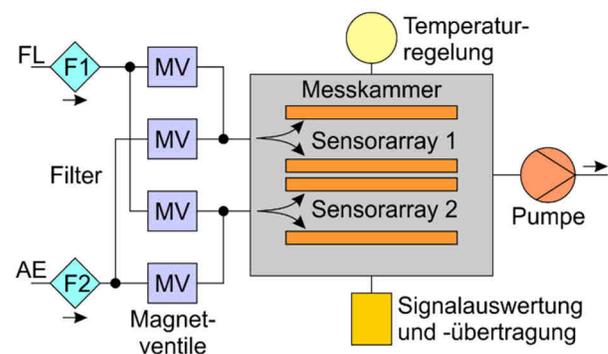


Abbildung 1. Schema des Gassensorarrays zur Überwachung der Anlage zur Extraktion von Füllstoffen, AE = Abgas der Extraktionsanlage, FL = Frischluft.

Die Grundidee der Gasüberwachung an der Anlage zur Füllstoffentfernung besteht im Einsatz mehrerer hochsensitiver und unterschiedlich selektiver Metalloxid-Gassensoren, die im periodischen Wechsel mit Abgas bzw. Frischluft beaufschlagt werden. In Abbildung 1 ist das Schema der neu entwickelten Sensoreinheit gezeigt. Durch die wechselnde Gaszuführung wird einerseits einer schleichenden Verringerung der Sensitivität durch Ablagerungen auf den Sensoren vorgebeugt und andererseits die Kondensation von Abgaskomponenten mit hohen Siedepunkten in der Messkammer vermieden. Dadurch werden die Langzeitstabilität der Online-Gasanalyse deutlich verbessert und die Zuverlässigkeit der Überwachung der Petrolat-Extraktion erhöht.

Im Labor wurde ein erster Prototyp der in Abbildung 1 schematisch dargestellten Überwachungseinheit erprobt. Um das Ansprechverhalten der Sensoren zu testen, wurde als Labormodell für die Anlage zur Füllstoffentfernung eine aufheizbare Verdunstungskammer mit verschiedenen Petrolatproben gefüllt, die dann mit synthetischer Luft überströmt wurden. Die in Abbildung 2 gezeigten Kurven belegen, dass mit Metalloxid-Gassensoren die in die Gasphase übergehenden Bestandteile der Füllstoffe zuverlässig nachweisbar sind. Im Abgleich mit der Einzelstoffanalyse lassen sich so Gefahrensituationen

bei der Füllstoffextraktion zuverlässig vermeiden.

Für die Extraktion der Füllstoffe aus den Kabeln wurde weiterhin am KSI Meinsberg eine neue Methodik erarbeitet, die im Vergleich mit anderen Verfahren deutlich höhere Extraktionsgrade sowie höhere Reinheiten des extrahierten Füllstoffs ermöglicht. Der Aufwand bei der Kabelvorbereitung ist bei dieser Methode zudem deutlich geringer. ■

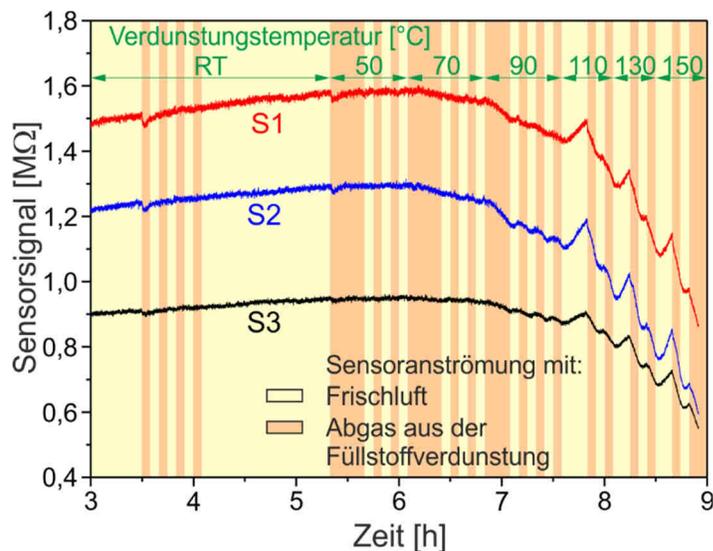


Abbildung 2. Signale verschiedener Metalloxid-Gassensoren bei wechselnder Anströmung mit Frischluft bzw. Abgas aus der Füllstoffverdunstung.

- **Projektleiter:** Dr. Jens Zosel
- **Projektträger:** ZIM-Kooperationsprojekt, AiF Projekt GmbH, Berlin
- **Projektpartner:** Meister Kabelrecycling GmbH, Plauen
- **Laufzeit:** 05/2019 – 04/2021
- **Förderkennzeichen:** ZF4088704 ST9

## Sensorbasiertes System für die Fels- und Böschungssicherung (SmartNet)

### Mess- und Sensorkonzept, Kontaktierung der Sensorelemente und robuste Sensorikpositionierung.

Winfried Vonau, Frank Gerlach, Kristina Ahlborn, Ramona Sauer, Andreas Klockow, Thomas Lamz

Im Fokus stehen die Sicherung von Böschungen und Hängen und damit aktuelle Fragestellungen, die auch in Folge der zunehmenden Anzahl von Extremwetterlagen an Brisanz gewinnen. Gegenwärtig werden verschiedene Schutzbauwerke errichtet, deren Überwachung nur punktuell und nicht kontinuierlich möglich ist. Sensorbasierte Lösungen für ein Flächenmonitoring dieser Bauwerke existieren nicht. Gegenstand des Vorhabens ist die Entwicklung einer sensorbasierten, modular strukturierten Systemlösung (Abbildung 1) für die autarke Charakterisierung von Schutzbauwerken. Entwickelt wird ein aktives Sicherungssystem, das neben der Erfassung von Hangbewegungen und plötzlichem Steinschlag auch Alterungsprozesse der Schutzbauwerke überwacht.

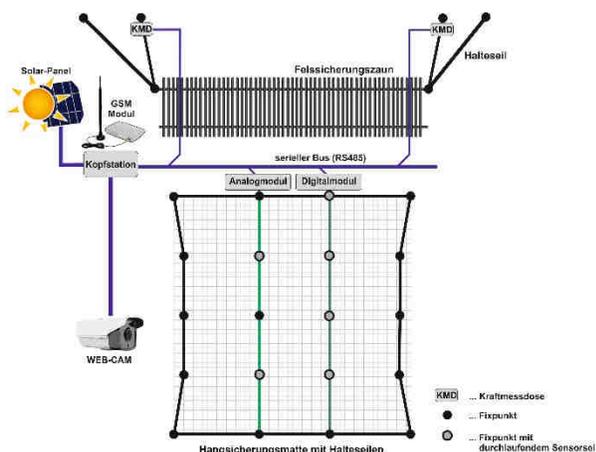


Abbildung 1. Sensorstruktur zur Hang- und Felssicherung.

Der technologische Ansatz besteht in der Implementierung verschiedener Sensorarten zur Charakterisierung der Schutzbauwerke. Dies umfasst federbasierte Sensoren, Sensoren mit einer digitalen Auswertung sowie verschiedene seilbasierte Sensoren. Diese werden so ausgestattet, dass sie je nach Hangbeschaffenheit und Überprüfungsziel in unterschiedlichen Konfigurationen eingesetzt werden können. Zur Testung in der Pilotprojektphase werden kommerziell verfügbare Kraftmessdosen zur Referenzmessung eingesetzt. Das Kurt-Schwabe-Institut zeichnet im Verbund der Projektpartner verantwortlich für die Entwicklung eines federbasierten (Abbildung 2) und eines digitalen Sensors (Abbildung 3) zur Charakterisierung von Schutzbauwerken.



Abbildung 2. Konstruktion und Ausführungsform eines federbasierten Sensors (Gehäuse entfernt).

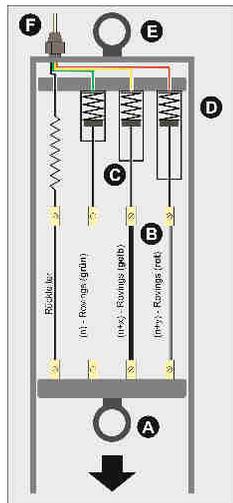


Abbildung 3. Konstruktionsprinzip eines digitalen Kraftsensors.

Das digitale Messprinzip basiert auf dem definierten Reißverhalten hochfester Stähle oder Carbonrovings (B) mit definiertem Durchmesser. Dabei wird die Anordnung mittels Befestigungsösen (A, E) in dem Schutzbauwerk verspannt, und bei auftretenden Belastungen reißen die Prüfkörper. Über ein angeschlossenes Widerstandsnetzwerk können bis zu 8 Abstufungen ausgewertet werden. Die Auswertung dieser quasianaloge Signale (F) erfolgt über eine konventionelle Brückenschaltung. Das Elektronikkonzept sieht eine auf einen digitalen Datenbus basierende, verteilte

Sensorstruktur vor. Diese Netzstruktur wird von sogenannten Sensorknoten gespeist, an die wiederum max. 8 Sensoren angeschlossen werden können. Da die Ereignisse aller Sensoren bereits in den Sensorknoten in einem Ringspeicher aufgezeichnet und validiert werden, kann in dieser untersten Hierarchiestufe bereits entschieden werden, ob es sich um eine klimatisch begründete Verschiebung der Signalkennlinie handelt oder ob ein meldepflichtiges Ereignis vorliegt. In diesem Fall werden die Signalkennlinien an die übergeordnete Kopfstation weitergeleitet und für eine spätere Begutachtung archiviert. Der Abstand zwischen den Sensorknoten kann einige hundert Meter betragen. Damit besteht die Möglichkeit, eine große Fläche von Schutzbauten sensorisch abzusichern.

In einer übergeordneten Kopfstation werden die Daten von Ereignissen aller Sensorknoten gesammelt und diese einer Risikobewertung unterzogen. Im Ergebnis dessen werden Meldungen über kritische Zustände der installierten Sicherheitsbauwerke an die kommunalen oder privaten Betreiber weitergeleitet. Diese sensorgestützte Anlagenkonzeption ist besonders geeignet für Objekte mit einem hohen Sicherheitsanspruch bzw. in einem unwegsamem Territorium. ■

- **Projektleiter:** Prof. Winfried Vonau
- **Projekträger:** ZIM-Kooperationsprojekt, AiF Projekt GmbH, Berlin
- **Projektpartner:** Königl GmbH & Co.KG, Würzburg  
Aspect Systems GmbH, Dresden  
DWH, Drahtseilwerk Hemer, Hemer
- **Laufzeit:** 05/2020 – 07/2022
- **Förderkennzeichen:** ZF4088709LF9

## Entwicklung von Sensoren zur Überwachung des Wasserstoffperoxid-Dekontaminationsprozesses (DEKOSENS)

**Im Fokus des Projekts steht die Realisierung von kostengünstigen sensorischen Lösungen zur Messung von  $H_2O_2$  in der Gas- und Aerosolphase über einen großen Konzentrationsbereich. Ziel ist es, eine effiziente Kontrolle von industriellen Dekontaminationsprozessen zu ermöglichen.**

Anne Müller, Manfred Decker, Winfried Vonau, Jens Zosel

Für die mikrobiologische Oberflächendekontamination wird in der Industrie der Einsatz von  $H_2O_2$  favorisiert. Dabei kann die Verbindung in Dampfform aber auch besonders effektiv als Aerosol eingesetzt werden. Zur Kontrolle des Dekontaminationsprozesses ist bisher keine kostengünstige Online-Sensorik verfügbar. Insbesondere die hohen  $H_2O_2$ -Konzentrationen im Aerosol und die Gehalte im Spurenbereich nach Abschluss des Dekontaminationsprozesses stellen hohe analytische Herausforderungen dar. Für die zwei Grenzfälle wurden verschiedene Sensor-konzepte verfolgt.

Während der Dekontamination wird die Analyse der hochkonzentrierten Aerosolfraction mit einer planaren Dreielektrodenanordnung angestrebt. Preußisch Blau dient als katalytische Beschichtung der Arbeitselektrode, zusätzlich bedeckt mit einem chemisch inerten Gelelektrolyten. Diese Strukturen wurden im ‚klassischen‘ Sensordesign und als Interdigitalstruktur realisiert. Abbildung 1 zeigt Aufnahmen der Sensortypen und lichtmikroskopische Schichtdickenmessungen des mittels einer Lochmaske aufgetragenen Gelelektrolyten.

Die verschiedenen Sensoren wurden mit Aerosolpartikeln mit  $H_2O_2$ -Konzentrationen von 0,1 bis 1 % beaufschlagt und zeigten ein gutes Ansprechen auf den Analyten (Abbildung 2). Das ‚klassi-

sche‘ Sensordesign zeigte ein schnelleres Ansprechen auf  $H_2O_2$ , während die Interdigitalstrukturen bei gleicher Elektrodenfläche eine höhere Empfindlichkeit aufwiesen.

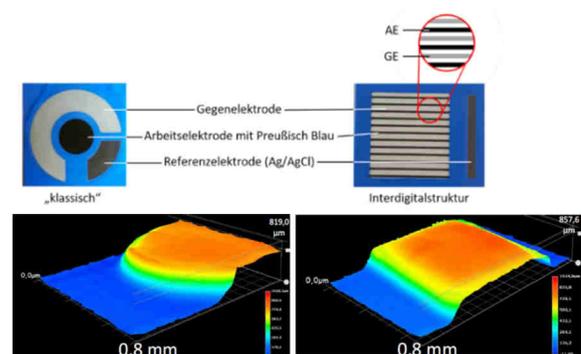


Abbildung 1. Oben: Vergleich der ‚klassischen‘ amperometrischen 3-Elektrodenanordnung mit der Interdigitalstruktur. Unten: Schichtdickenmessung am Gelelektrolyten auf den Strukturen.

Die höheren Ströme für das kondensierte  $H_2O_2$  bei der Interdigitalstruktur beruhen wahrscheinlich auf dem zusätzlichen Diffusionsbeitrag des Analyten von der Seite der Elektroden, während bei dem ‚klassischen‘ Elektrodenaufbau der Hauptbeitrag weitestgehend durch axiale Diffusion erfolgt. Dadurch werden die Umsatzrate bzw. die Empfindlichkeit der Messfühler auf Basis einer Interdigitalstruktur erhöht. Die längeren Diffusionswege führen jedoch auch zu einer Verschlechterung der Ansprechzeiten.

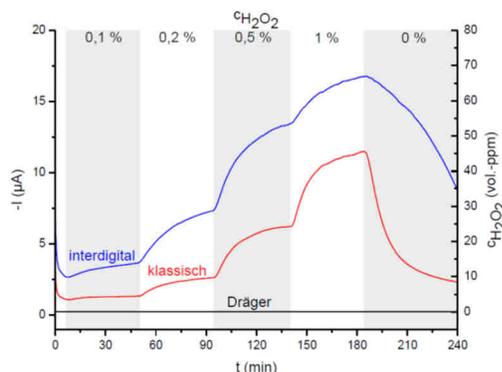


Abbildung 2. Messungen von Elektroden mit ‚klassischem‘ Sensordesign sowie mit Interdigitalstrukturen in  $\text{H}_2\text{O}_2$ -haltigen Aerosolen. Der kommerzielle Sensor von Dräger zeigt kein Ansprechen im gewählten  $\text{H}_2\text{O}_2$ -Bereich.

Nach der Dekontamination muss vor der weiteren Verarbeitung empfindlicher Produkte die Unterschreitung einer  $\text{H}_2\text{O}_2$ -Spurenkonzentration nachgewiesen werden. Für diese Aufgabe sind Mischpotentialsensoren geeignet, deren untere Messgrenze im Vorhaben bis 150 Vol.-ppb gesenkt werden konnte. Zur Kalibrierung dieser Sensoren sind verschiedene Dosierverfahren für die definierte Einbringung von  $\text{H}_2\text{O}_2$  in die Gasphase entwickelt und erprobt worden. Im Spurenbereich wurden die so erzeugten Gasgemische mit einem *Cavity-Ring-Down*-Spektrometer analysiert und so verschiedene Betriebsparameter der Dosierverfahren mit hoher Auflösung charakterisiert. Die in Abbildung 3 aufgeführten Kur-

ven belegen, dass im angestrebten Volumenstrombereich eine geringfügige und reproduzierbare Abhängigkeit des  $\text{H}_2\text{O}_2$ -Partialdrucks vom Volumenstrom besteht, die möglicherweise auch auf einen teilweisen Zerfall von  $\text{H}_2\text{O}_2$  in der Gasphase zurückzuführen ist. Mit dem neu entwickelten Dosierverfahren kann Kalibriergas in einem breiten Konzentrationsbereich mit hoher Präzision kontinuierlich erzeugt werden.

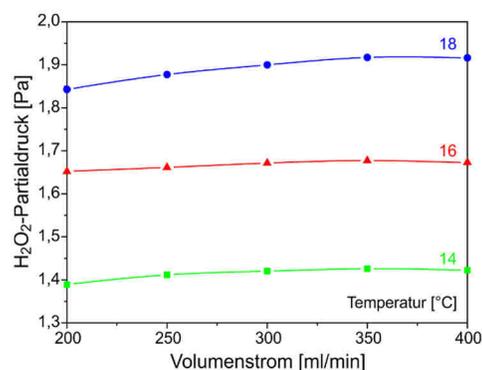


Abbildung 3.  $\text{H}_2\text{O}_2$ -Partialdruck im Kalibriergas bei verschiedenen Volumenströmen und Prozesstemperaturen.

Die im Vorhaben entwickelte Kombination aus kostengünstiger Sensorik für einen breiten Konzentrationsbereich und eigensicherer Laborkalibrierung eröffnet neue Möglichkeiten für einen breiteren und zuverlässigeren Einsatz von  $\text{H}_2\text{O}_2$ -Dampf zur Dekontamination sowie für chemische Prozesse. ■

- **Projektleiter:** Prof. Winfried Vonau
- **Projekträger:** Sächsische Aufbaubank
- **Projektpartner:** Skan Deutschland GmbH, Görlitz
- **Laufzeit:** 04/2017 – 06/2020
- **Förderkennzeichen:** 100270258

## Analysesystem zur Bestimmung von Kaliumgehalt und pH-Wert in frisch gesammelten Bodenproben (Kalibod)

**Ziel der Entwicklung ist eine Messeinrichtung, die eine automatisierte Bestimmung des pH-Werts und des Kaliumgehalts in frisch gesammelten Bodenproben direkt auf dem Acker erlaubt.**

Manfred Decker, Ute Enseleit, Winfried Vonau

Kern des Vorhabens ist die Realisierung eines Prototyps zur Vorbereitung und Analyse von definierten Volumina frischer Bodenproben. Die Hauptaufgabe des KSI Meinsberg besteht in der Entwicklung eines Messsystems zur pH- und Kalium-Messung einschließlich der notwendigen Probenvorbehandlung, der Integration der Komponenten in das Gesamtsystem und der Optimierung einer Bearbeitungsroutine zur Generierung einer schnellen Messabfolge. Der komplette Automat soll, integriert auf einem geländegängigen Fahrzeug, unmittelbar auf dem Acker die Messungen durchführen. GPS-kontrolliert wird so eine Kartierung der pH-Werte und der Kalium-Versorgung der untersuchten Ackerflächen erfolgen, die die Basis für eine bedarfsgerechte Düngung bildet.

Für die pH-Wert- und Kalium-Bestimmung wird auf potentiometrische Sensoren zurückgegriffen. Die modular aufgebaute Messzelle beinhaltet folgende vier Komponenten:

- pH-Analyse mittels einer Sb-Elektrode,
- Kalium-selektive Elektrode,
- Referenzelektrode auf Basis einer Ag/AgCl-Elektrode,
- Modul zur kontinuierlichen Durchmischung der Probe mittels Einperlen von Luft.

Zur Vorbereitung der Messung wird die Bodenprobe gesiebt, mittels Druckluft zu einem Zyklon transportiert und der Feststoff von der Gasphase getrennt. Ein abgemessenes Volumen der Bodenpartikel wird mit einem Probenteller zu einem Mischmodul transportiert, in dem zur Probenvorbereitung unter Rühren eine Aufschläm-mung des Feststoffs mit einer Extraktionslösung hergestellt wird. Nach definierten Zeitvorgaben steuern Ballonventile die Befüllung und Leerung der Messzelle. Der Vorgang wird mittels eines Triggersignals verfolgt. Dieses dient zur zeitlichen Einordnung der Prozessschritte und der Zuordnung der dabei erhaltenen Messwerte. Abbildung 1 zeigt den Aufbau der komplexen Apparatur ohne die dazugehörige Siebeeinheit.

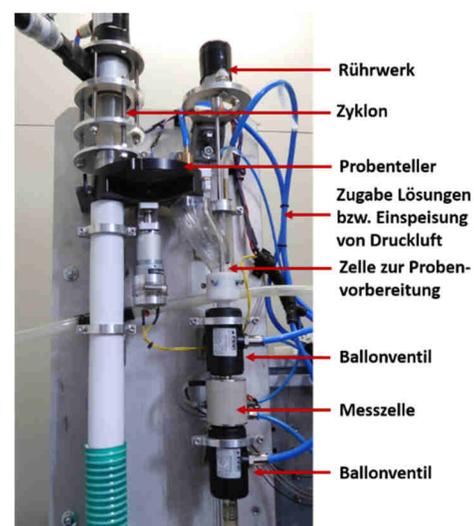


Abbildung 1. Dosier-, Misch- und Messeinheit.

Die Eignung der Messapparatur zur pH-Bestimmung wurde in verschiedenen Versuchsreihen nachgewiesen. Abbildung 2 zeigt das schnelle Ansprechen der Einheit auf einen Pufferwechsel.

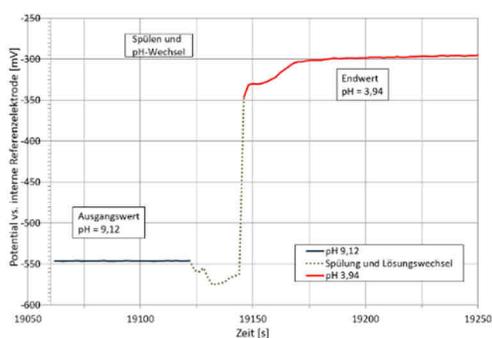


Abbildung 2. Einstellverhalten der pH-Elektrode in der Messzelle bei pH-Wertwechsel von pH = 9,12 zu 3,94.

Schon nach 20 Sekunden wird ein konstanter Potentialwert an der Sb-Elektrode erreicht.

Als entscheidende Faktoren zur Steigerung der Sensitivität, der Reproduzierbarkeit und der Messgeschwindigkeit kristallisierten sich bei den Optimierungsschritten insbesondere das Extraktionsvolumen, die zeitliche Steuerung der Ventilöffnung und -schließung sowie die Durchmischung der Aufschlämmungen in der Zelle heraus. Die folgende Abbildung 3 zeigt die Signalverläufe bei der wiederholten Messung einer Bodenprobe, die der Bodenart ‚sandiger Lehm‘ zuzuordnen ist. Die Unterbrechungen zwischen den einzelnen Messkurven sind auf Spülvorgänge

und den Probenwechsel zurückzuführen, deren Potentialverläufe in dem Graphen nicht dargestellt sind.

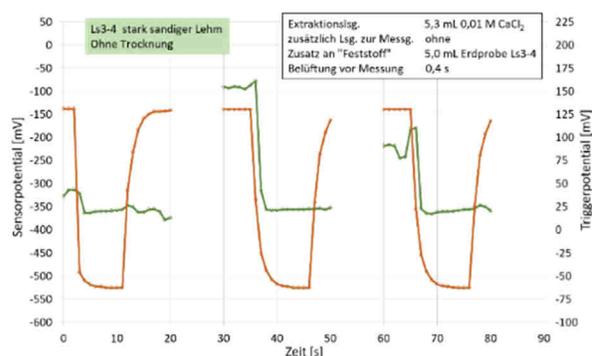


Abbildung 3. Reproduzierbarkeit des Sensorsignals in einer Bodenprobe der Bodenart Ls3-4; das Triggersignal (orange) zeigt die Öffnung (Signalabfall) und das Schließen des oberen Ballonventils an.

Deutlich ist den Kurven die schnelle Signaleinstellung und die hervorragende Reproduzierbarkeit des erhaltenen Potentials bei der Messung der Bodenprobe zu entnehmen.

Die bisherigen Untersuchungen unterstreichen die Eignung des gewählten Ansatzes. Sich anschließende Messreihen werden auf weitere Bodenarten ausgedehnt werden. Bei der Kalium-Bestimmung wird ein vergleichbarer Ansatz verfolgt. Als Messfühler dienen dabei entweder eine Kalium-sensitive, mechanisch verstärkte Polymermembran oder ein robustes, *coated-wire*-basiertes System. ■

- **Projektleiter:** Prof. Dr. Winfried Vonau
- **Projektträger:** Sächsische Aufbaubank
- **Projektpartner:** Agricon GmbH, Ostrau
- **Laufzeit:** 03/2019 – 08/2021
- **Förderkennzeichen:** 100351424

## Umsetzung von Maßnahmen zur Inklusion am Kurt-Schwabe-Institut

**Als eine weitere Inklusionsmaßnahme wurden die zwei großen Zugangstüren zum Innovationslabor und fünf Innentüren mit elektrischen Türantrieben nachgerüstet.**

Das Kurt-Schwabe-Institut Meinsberg hat aktuell im Zuge der Durchführung von Inklusionsmaßnahmen zwei Zugangstüren und fünf Innentüren im Institutsneubau mit elektrischen Türantrieben nachgerüstet.

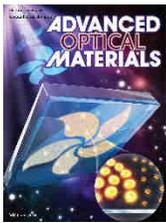
Diese Maßnahme war notwendig, um künftig den barrierefreien Zugang zum Innovationslabor des KSI Meinsberg zu gewährleisten.

Die Firma IBG Elektroplanung GmbH Crottendorf wurde dazu für die Planung und Koordination der Maßnahme beauftragt. Nach Ausschreibung der Maßnahme wurde die Firma Elektro Ludwig GmbH Oberwiesenthal beauftragt die Türen umzurüsten. Die Außentüren konnten bis Ende 2020 umgerüstet werden. Die Innentüren können wegen coronabedingten Lieferengpässen erst im Januar 2021 angepasst werden. Die umgebauten sieben Türen sind aktuell voll funktionsfähig. ■

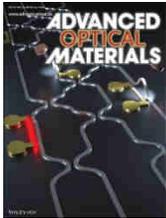
- **Projektleiter:** Antje Böhm, Prof. Michael Mertig
- **Projekträger:** Sächsische Aufbaubank
- **Laufzeit:** 11.07.2019 – 31.12.2020
- **Förderkennzeichen:** 100382235

# WISSENSCHAFTLICHE ERGEBNISSE

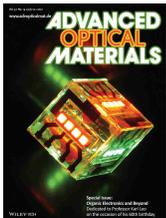
## Publikationen in referierten Zeitschriften\*



E. Archer, S. Hillebrandt, C. Keum, C. Murawski, J. Murawski, F. Tenopala-Carmona, M.C. Gather  
**Accurate Efficiency Measurements of Organic Light-Emitting Diodes via Angle-Resolved Spectroscopy**  
*Adv. Opt. Mater.* 9 (2021) 2000838



Y. Deng, C. Murawski, C. Keum, K. Yoshida, I.D.W. Samuel, and M.C. Gather  
**Development of Very High Luminance p-i-n Junction-Based Blue Fluorescent Organic Light-Emitting Diodes**  
*Adv. Opt. Mater.* 8 (2020) 1901721

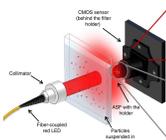


Y. Deng, C. Keum, S. Hillebrandt, C. Murawski, M.C. Gather  
**Improving the Thermal Stability of Top-Emitting Organic Light-Emitting Diodes by Modification of the Anode Interface**  
*Adv. Opt. Mater.* 9 (2021) 2001642

N. Donker, A. Ruchets, D. Schönauer-Kamin, J. Zosel, U. Guth, R. Moos  
**Influence of Pt-paste and the firing temperature of screen-printed electrodes on the NO detection by pulsed polarization**  
*J. Sens. Sens. Syst.* 9 (2020) 293–300

F. Gerlach, K. Ahlborn, W. Vonau  
**New electrochemical and physical measurements on sensitive glasses in thin-film technology**  
*J. Electrochem. Sci. Eng.* 10 (2020) 177-184

U. Guth, P. Shuk, C. McGuire  
**Gas sensing technologies in combustion: A comprehensive review**  
*J. Electrochem. Sci. Eng.* 10 (2020) 103-110



R. Hussain, M. Alican Noyan, G. Woyessa, R.R. Retamal Marín, P.A. Martinez, F.M. Mahdi, V. Finazzi, T.A. Hazlehurst, T.N. Hunter, T. Coll, M. Stintz, F. Muller, G. Chalkias, V. Pruneri  
**An ultra-compact particle size analyser using a CMOS image sensor and machine learning**  
*Light: Science & Applications* 9 (2020) 21

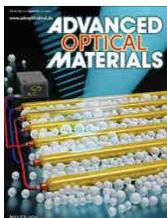
\* Alle Publikationen mit Impact Factor > 5 sind bebildert



M. Karl, A. Meek, C. Murawski, L. Tropf, C. Keum, M. Schubert, I. D. W. Samuel, G. A. Turnbull, M. C. Gather

**Distributed Feedback Lasers Based on Green Fluorescent Protein and Conformal High Refractive Index Oxide Layers**

*Laser Photon. Rev.* 14 (2020) 2000101



C. Keum, D. Becker, E. Archer, H. Bock, H. Kitzerow, M.C. Gather, C. Murawski

**Organic Light-Emitting Diodes Based on a Columnar Liquid-Crystalline Perylene Emitter**

*Adv. Opt. Mater.* 8 (2020) 2000414



C. Keum, C. Murawski, E. Archer, S. Kwon, A. Mischok, M.C. Gather

**A substrateless, flexible, and water-resistant organic light-emitting diode**

*Nature Communications* 11 (2020) 6250

I. Meloni, D. Sachidanandan, A. S. Thum, R. J. Kittel, C. Murawski

**Controlling the behaviour of *Drosophila melanogaster* via smartphone optogenetics**

*Scientific Reports* 10 (2020) 17614

A. Mischok, J. Lüttgens, F. Berger, S. Hillebrandt, F. Tenopala-Carmona, S. Kwon, C. Murawski, B. Siegmund, J. Zaumseil, M.C. Gather

**Spectroscopic near-infrared photodetectors enabled by strong light-matter coupling in (6,5) single-walled carbon nanotubes**

*J. Chem. Phys.* 153 (2020) 201104



C. Murawski, S.R. Pulver, M.C. Gather

**Segment-Specific Optogenetic Stimulation in *Drosophila melanogaster* with Linear Arrays of Organic Light-Emitting Diodes**

*Nature Communications* 11 (2020) 6248

A. Müller, S. Sachse, M. Decker, F.-M. Matysik, W. Vonau

**Comparison of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> Screen-printed sensors with different Prussian blue nanoparticles as electrode material**

*J. Electrochem. Sci. Eng.* 10 (2020) 199-207

A. Ruchets, N. Donker, D. Schönauer-Kamin, R. Moos, U. Guth, M. Mertig

**Cyclic and square-wave voltammetry for selective simultaneous NO and O<sub>2</sub> gas detection by means of solid electrolyte sensors**

*J. Sens. Sens. Syst.* 9 (2020) 355–362

M. Scholz, Y. Hayashi, V. Eckert, V. Khavrus, A. Leonhardt, B. Büchner, M. Mertig, S. Hampel

**Systematic investigations of annealing and functionalization of carbon nanotube yarns**

*Molecules* 25 (2020) 1144

C. Schirmer, M. Mertig

**Hilfreiche Hefe**

*LABO 1* (2020) 26-29

J. Schwarz, A. Svirepa, K. Trommer, M. Mertig

**Kalziumbestimmung vor Ort**

*LABO 1* (2020) 12-13

J. Schwarz, A. Svirepa, K. Trommer, M. Mertig

**Mobiler Sensor für Nitrat-Detektion**

*GIT 7* (2020)

J. Schwarz, A. Svirepa, K. Trommer, M. Mertig

**Mobile Wasseranalytik, All-Solid-State-Dickschichtsensoren für potentiometrische Cu<sup>2+</sup>-Bestimmung**

*LABO 4* (2020) 24-27

J. Schwarz, A. Svirepa, K. Trommer, M. Mertig

**Elektrochemische All-Solid-State-Dickschicht-Sensoren für die Umweltanalytik**

*Analytik News - Das Online-Labormagazin*



N. Sharma, M. Y. Wong, D. Hall, E. Spuling, F. T. Carmona, G. Copley, D. B. Cordes, A. M. Z.

Slawin, C. Murawski, M. C. Gather, D. Beljonne, Y. Olivier, I. D. W. Samuel, E. Zysman-Colman

**Exciton efficiency beyond the spin statistical limit in organic light emitting diodes based on anthracene derivatives**

*Journal of Materials Chemistry C* 8 (2020) 3773-3783

P. Sood, J. Zosel, M. Mertig, W. Oelßner, O. Herrmann, M. Woratz

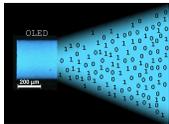
**Development and test of a highly sensitive and selective hydrogen sensor system**

*J. Sens. Sens. Syst.* 9 (2020) 309–317

W. Vonau, M. Decker, U. Enseleit, F. Gerlach

**Is there still a need for the antimony electrode 100 years after its introduction as a pH sensor?**

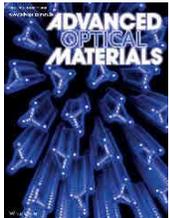
*Journal of Solid State Electrochemistry* 24 (2020) 3269–3277



K. Yoshida, P. P. Manousiadis, R. Bian, Z. Chen, C. Murawski, M.C. Gather, H. Haas, G.A. Turnbull, I.D.W. Samuel

**245 MHz bandwidth organic light-emitting diodes used in a gigabit optical wireless data link**

*Nature Communications* 11 (2020) 1171



J. Zessin, M. Schnepf, U. Oertel, T. Beryozkina, T.A.F. König, A. Fery, M. Mertig, A. Kiriya

**Remarkable mechanochromism in blends of a  $\pi$ -conjugated polymer P3TEOT: the role of conformational transitions and aggregation**

*Adv. Opt. Mater.* 8 (2020) 1901410

## Vorträge

### Eingeladene Vorträge

- A. Svirepa, J. Schwarz, K. Trommer, M. Mertig  
**Biopolymer-basierte All-Solid-State-Elektroden für die Bestimmung von Ionen in Gewässerproben**  
30. Seminar des „Arbeitskreises Elektrochemie in Sachsen“, 07.02.2020, Freiberg
- J. Schwarz, A. Svirepa, K. Trommer, M. Mertig  
**Ionenselektive All-Solid-State-Elektroden für Anwendungen in der mobilen Umweltanalytik**  
30. Seminar des „Arbeitskreises Elektrochemie in Sachsen“, 07.02.2020, Freiberg
- C. Murawski, C.-M. Keum, A. Morton, Y.-L. Deng, A. Mischok, J. Booth, S. R. Pulver, M. C. Gather  
**Tailoring Organic Light-Emitting Diodes for Applications in Biophotonics**  
SPIE (International Society for Optics and Photonics) Photonics Europe Digital Forum, 06.04.2020, virtueller Vortrag
- I. Meloni, D. Sachidanandan, A. S. Thum, R. J. Kittel, C. Murawski  
**Smartphone displays for high-resolution control of neuronal activity**  
KIDS (Korean Information Display Society) International Meeting on Information Display – Young Leaders Conference, 25.-28.08.2020, virtueller Vortrag
- C. Murawski  
**Application and Perspectives of OLED based Biosensors**  
IPC/IPF Get Together, Dresden, 06.-09.10.2020
- J. Zosel, P. Sood, M. Mertig, M. Woratz, O. Herrmann  
**Hochempfindliches Messsystem für das Sicherheitsmonitoring von Wasserstoffanlagen**  
simul+-Fachforum „Wasserstoff-Technologie, Prozesssicherheit und Regionalentwicklung“, 23.09.2020, Meinsberg
- M. Mertig, O. Kiesewetter  
**HyProS: Neue Sensorlösungen für die Wasserstoffwirtschaft**  
6. HYPOS-Forum, HYPOS e.V. Leipzig, 03.-04.11.2020, virtueller Vortrag
- M. Mertig  
**Neue Sensoren für Umweltmonitoring, Landwirtschaft und regenerative Energien**  
Virtuelle Konferenz mit chinesischen Umweltexperten, Wirtschaftsförderung Sachsen GmbH, Dresden, 11.-13.11.2020

## Vorträge

- C. Murawski, I. Meloni, S. R. Pulver, A. S. Thum, R. J. Kittel, M. C. Gather  
**Improving spatial resolution in optogenetics using organic light-emitting diodes and smartphone displays**  
SPIE Optics and Photonics Digital Forum, 24.-28.08.2020, virtueller Vortrag
- C. Murawski, C. Keum, D. Becker, A. Graf, E. Archer, J. Zaumseil, H. Kitzerow, M. C. Gather  
**Improved OLED Outcoupling Using Alternative Emitters with Preferred Horizontal Orientation**  
OSA Advanced Photonics Congress, 13.-16.07.2020, virtueller Vortrag
- I. Meloni, D. Sachidanandan, A. S. Thum, R. J. Kittel, C. Murawski  
**Optogenetic stimulation of *Drosophila melanogaster* with smartphone displays**  
IPC/IPF Get Together, Dresden, 06.-09.10.2020

## Poster

- I. Meloni, A. S. Thum, R. J. Kittel, C. Murawski  
**Optogenetic stimulation of *Drosophila melanogaster* with smartphone displays**  
Forum of the European Neuroscience Society (FENS), 11.-15.07.2020, virtuelles Poster

# LEHRE UND BETREUUNG

## Lehrveranstaltungen

Das wissenschaftliche Personal des Kurt-Schwabe-Instituts beteiligt sich aktiv in der Lehre an der Technischen Universität Dresden und der Hochschule Mittweida. Im Folgenden sind die Lehrveranstaltungen und die geleisteten Semesterwochenstunden getrennt für das Sommersemester und das Wintersemester aufgeführt.

### Jeweils im Sommersemester

- Vorlesung „Elektrochemische Stromquellen“ (2 SWS)  
Technische Universität Dresden  
Prof. Dr. Michael Mertig, Dr. Jens Zosel
- Vorlesung „Messverfahren im Korrosions- und Umweltschutz“ (2 SWS)  
Technische Universität Dresden  
PD Dr. Wolfram Oelßner
- Vorlesung „Chemo- und Biosensorik“ (2 SWS) + Seminar (1 ± SWS)  
Hochschule Mittweida  
Prof. Dr. Winfried Vonau, Dipl.-Chem. Manfred Decker

### Jeweils im Wintersemester

- Vorlesung „Biomimetische Materialsynthese“ (4 2 SWS)  
Technische Universität Dresden  
Prof. Dr. Michael Mertig
- Vorlesung: „Physikalische Chemie fester Körper, inklusive elektrischer Phänomene“ (2 SWS)  
Technische Universität Dresden  
Prof. Dr. Michael Mertig, Dr. Jens Zosel
- Vorlesung „Messmethoden für Studien an organischen Halbleitern und Elektrochemische Korrosionsuntersuchungen“ (2 SWS)  
Technische Universität Dresden  
Dr. Caroline Murawski, PD Dr. Wolfram Oelßner

## Verteidigte Promotionen

- Dr. Yao, Jingying  
Erstgutachter: Prof. M. Mertig, TU Dresden  
*Neuartige Nanokompositmaterialien für zukünftige elektrochemische Energiespeicher*

## Doktoranden intern und extern

- Grieger, Christian  
Erstgutachter: Prof. U. Guth, TU Dresden/Hochschule Mittweida
- Herms, Alexander  
Erstgutachter: Prof. M. Mertig, TU Dresden
- Kröner, Felix  
Erstgutachter: Prof. M. Mertig, TU Dresden/DBS München
- Madeo, Lorenzo Francesco  
Erstgutachter: Prof. M. Mertig, TU Dresden/IFW Dresden
- Meloni, Ilenia  
Erstgutachter: Prof. S. Reineke, TU Dresden
- Müller, Anne  
Erstgutachter: Prof. U. Guth, TU Dresden
- Pohl, Anne  
Erstgutachter: Prof. M. Mertig, TU Dresden
- Ruchets, Anastasiya  
Erstgutachter: Prof. Moos, Universität Bayreuth
- Sood, Pramit  
Erstgutachter: Prof. M. Mertig, TU Dresden
- Svirepa, Anastasiya  
Erstgutachter: Prof. M. Mertig, TU Dresden

## Diplom-, Master- und Bachelorarbeiten

### Bachelorarbeiten

- Ließke, Selina  
BTU Cottbus-Senftenberg  
*Kultivierung von *Sporosarcina ureae* mit Acetat als Kohlenstoffquelle zur Sorptionsmittelproduktion für die Entfernung von Schwermetallionen aus Umweltproben*

## Praktika

### Schülerpraktikum

- Arnold, Robert  
Martin-Luther-Gymnasium Hartha
- Fichtner, Tim  
Martin-Luther-Gymnasium Hartha

## Schule und Forschung regional vernetzt (SFregio)

### Praxisorientierte Stärkung der Ausbildung naturwissenschaftlich technisch interessierter Schüler.

Wolfgang Fichtner, Michael Mertig

Ein neuer innovativer Ansatz zur Nachwuchsförderung in ländlicher Region wird im Dreieck Kommune, Gymnasium und Forschungsinstitut agieren. Das Projekt soll die Kooperation regionaler Akteure in der mittelsächsischen Region rund um die Stadt Hartha zur Stärkung berufsvorbereitender Kompetenzen im Bereich der MINT-Fächer aufbauen und entwickeln (Abbildung 1). Dabei tritt das KSI Meinsberg als Katalysator zur Qualifikation junger Fachkräfte aus der Region für die innovativen Unternehmen in der Region in Aktion. In speziellen Veranstaltungen werden naturwissenschaftlich interessierte Schüler ab Klasse 8 angesprochen, weitergebildet und berufsberatend betreut.

Die Stadt Hartha engagiert sich bislang in besonderer Weise bei der Förderung berufsberatender Veranstaltungen für Schüler der Pestalozzi Oberschule. Das Konzept beinhaltet nunmehr die Erweiterung und Anpassung dieser Angebote für Gymnasialschüler mit besonderem Interesse für die MINT-Fächer. Damit soll parallel für den betreffenden Schülerkreis eine Studienberatung und -vorbereitung installiert werden, die letztendlich dem Bedarf an hochqualifizierten jungen Fachkräften in Betrieben der Region Rechnung trägt.

Das Konzept wurde im Rahmen eines Ideenwettbewerbes mit einem Hauptpreis prämiert (Abbildung 2) [[www.ideenwettbewerb.sachsen.de](http://www.ideenwettbewerb.sachsen.de)]. ■

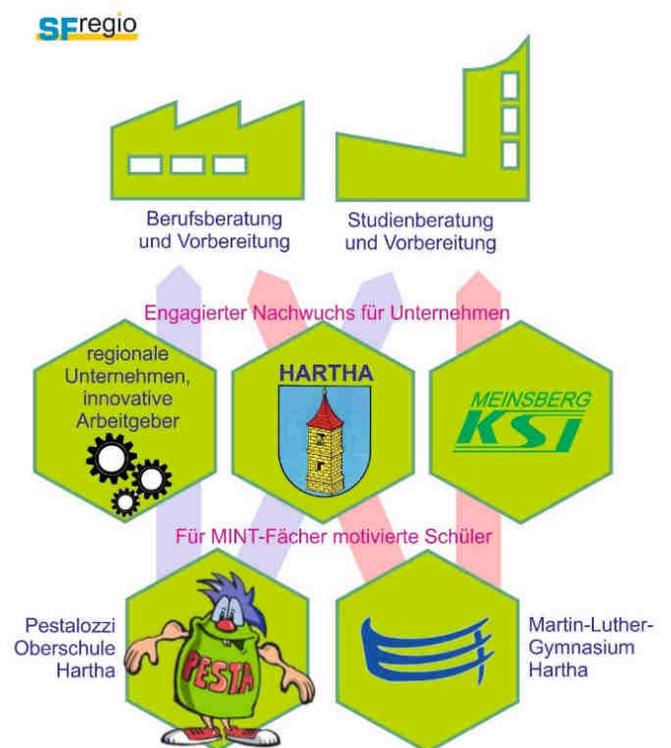


Abbildung 1. Vernetzung der regionalen Akteure im SFregio-Projekt

## Aktionsplan der Einzelprojekte:

### Maßnahme Nr. 1

Naturwissenschaftliches Profil der Klassenstufe 10 mit angewandten Forschungsinhalten der modernen Sensorik

### Maßnahme Nr. 2

Interdisziplinäre Lehrerfortbildung mit Wissenstransfer aus der Sensorentwicklung als Weiterentwicklung des SCHILF-Konzeptes

### Maßnahme Nr. 3

Berufsberatung und Studienvorbereitung am KSI Meinsberg für naturwissenschaftlich interessierte Schüler ab der Klassenstufe 10 bis zum Studienbeginn



Abbildung 2. Preisverleihung durch den Sächsischen Staatsminister für Regionalentwicklung, Thomas Schmidt, am 12. Juni 2020 im Martin-Luther-Gymnasium, Hartha.

- **Projektleiter:** Prof. Michael Mertig
- **Projektträger:** simul+
- **Projektpartner:** Stadtverwaltung, Hartha  
Martin-Luther-Gymnasium, Hartha
- **Laufzeit:** 01/2020 – 12/2022
- **Förderkennzeichen:** 22-8111/16/5



# PRÄSENTATION

## Organisation von Konferenzen

**Das KSI war an der Organisation der folgenden nationalen und internationalen Konferenzen, Workshops und Foren beteiligt:**

- Optical Devices and Materials for Solar Energy and Solid-State Lighting (PVLED) OSA (Optics Society of America) Conference  
Montréal, Canada, 13.-16.07.2020  
Dr. C. Murawski (Technical committee)
- 13th International Workshop on Engineering of Functional Interfaces (EnFI 2020)\*  
Maastricht University, Netherlands, 14.-15.07.2020  
Prof. M. Mertig (Scientific Advisory Board)
- The 25th Congress of the International Commission for Optics (ICO 25)\*  
Dresden, 31.08-04.09.2020  
Dr. C. Murawski (Technical committee)
- European Nanoanalysis Symposium at E-MRS Fall Meeting 2020, (online)  
Warschawa, Poland, 09.10. 2020  
Prof. M. Mertig (Scientific committee)
- simul+ Fachforum „Wasserstoff – Technologie, Prozesssicherheit und Regionalentwicklung“  
Meinsberg, 23.09.2020  
Prof. M. Mertig (Organisation)
- 11th International Conference on Sensor Device Technologies and Applications  
SENSORDEVICES 2020 (virtuell)  
Valencia, Spain, 21.-25.11.2020  
Prof. W. Vonau (Technical committee)

---

\*verschoben auf 2021/22

## Instituts-Kolloquium

### Januar

- Herr Ernesto Pereira, ibes AG, Chemnitz  
*Sichere Datenerfassung in ländlichen afrikanischen Gebieten*

### Februar

- Prof. Dr. Andreas Herrmann, DWI – Leibniz-Institut für Interaktive Materialien und RWTH Aachen  
*Interfacing DNA Nanotechnology with Living Systems*

### März

- Prof. Dr. Ilko Bald, Universität Potsdam  
*Chemical and biological sensing using DNA origami nanostructures*

### Juli

- Prof. Dr. André Thess, Institut für Energiespeicherung (IES) der Universität Stuttgart, und Institut für Technische Thermodynamik (ITT), Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR)  
*Carnot Batterien und die Dekarbonisierung von Kohlekraftwerken*

### August

- Prof. Dr. Heinrich Lang, TU Chemnitz  
*From: Small Tailor-made Molecules, To: New Materials*

### September (Videopräsentation)

- Dr. Hartmut Gliemann, Institut für Funktionelle Grenzflächen (IFG) am Karlsruher Institut für Technologie (KIT)  
*Surface-anchored metal-organic frameworks (SURMOFs): A new material platform with high potential for application including molecular separation, biology and sensing*

## **Oktober**

- Herr Thomas Lenke, Tilia GmbH, Leipzig  
*Wasserwirtschaft und Digitalisierung – oder wie Feuer und Wasser zusammenfinden*

## **November**

- Dr. Tobias König, Leibniz-Institut für Polymerforschung, Dresden  
*Funktionelle optische Oberflächen durch kolloidale Selbstanordnung*

## Teilnahme an Konferenzen und Workshops

- Landwirtschaftsforum: Landwirtschaft in Bewegung  
Wasserkraftwerk Mittweida, 05.02.2020
- AKES Seminar, Arbeitskreis Elektrochemie in Sachsen  
TU Freiberg, 07.02.2020
- SPIE (International Society for Optics and Photonics) Photonics Europe Digital Forum  
virtuelle Konferenz, 06.04.2020
- 12. FENS Forum of Neuroscience  
virtuelle Konferenz, 11.-15.07.2020
- OSA Advanced Photonics Congress  
virtuelle Konferenz, 13.-16.07.2020
- SPIE Optics and Photonics Digital Forum  
virtuelle Konferenz, 24.-28.08.2020
- KIDS (Korean Information Display Society) International Meeting on Information Display – Young  
Leaders Conference, virtuelle Konferenz, 25.-28.08.2020
- simul+ Fachforum „Wasserstoff-Technologie, Prozesssicherheit und Regionalentwicklung“  
Meinsberg. 23.09.2020
- IPC/IPF Get Together  
Dresden, 06.-09.10.2020
- 6. HYPOS-Forum, HYPOS e.V. Leipzig  
virtuelle Konferenz 03.-04.11.2020
- Virtuelle Konferenz mit chinesischen Umweltexperten, Wirtschaftsförderung Sachsen GmbH,  
Dresden, 11.-13.11.2020

# PRESSESPIEGEL

## Projekttag am KSI Meinsberg im Januar



**Technitzer Grundschüler bekamen Einblick in die Arbeit am KSI Meinsberg und probierten sich selbst im Experimentieren aus**

Im Rahmen eines Projekttages haben Grundschüler der 2. bis 4. Klassen des Christlichen Lernraums Döbeln-Technitz das Kurt-Schwabe-Institut besucht. Unter der Leitung von Christine Schirmer und mit Unterstützung von Kollegen durften sich die Schüler die biologischen Labore des Instituts anschauen, bekamen Informationen zu den im Labor benutzten Geräten und konnten Fragen zur Arbeit eines Wissenschaftlers stellen. Anschließend durften die Schüler selbst als kleine Wissenschaftler tätig sein, natürlich ausgestattet mit kompletter Labor-Schutzkleidung. Im ersten Experiment wurde mittels Rotkohlsaft, Zitronensaft, Seife, Waschmittel und anderen Küchenzutaten eine wundervolle Farbpalette gezaubert. Dies ist möglich, da Rotkohl ein Anthocyan in großem Überschuss enthält, das als Indikator fungiert und in Abhängigkeit vom pH-Wert der zugegebenen Substanz einen Farbumschlag aufweist. Mit Hilfe von Filterpapier, welches mit dem Rotkohlsaft getränkt

wurde, konnten die Kinder sogar Indikatorpapier selbst herstellen. Anschließend durften die Grundschüler selbst mikroskopieren. Dass der menschliche Körper aus vielen kleinen Zellen besteht, wussten manche der Kinder schon, selbst unterm Mikroskop betrachtet hatten sie die Zellen bis dahin aber noch nicht. So durften die Schüler bei sich selbst eine Probe ihrer eigenen Mundschleimhaut nehmen, anfärben und anschließend in verschiedenen Vergrößerungen unterm Mikroskop anschauen. Sogar Zellkerne konnten dabei betrachtet werden. Zum Abschluss dieses ereignisreichen Vormittages wurde noch ein Abstecher ins Optik-Labor zu Ilenia Meloni gemacht, wo die Grundschüler die dort verwendeten Forschungsobjekte, Fruchtfliegen, in allen Entwicklungsstadien betrachten konnten. Besonders beeindruckt zeigten sich die Schüler von den stark vergrößerten Augen und Beinen der Fliegen sowie von den Bewegungen der Larven.

## Schule und Forschung regional vernetzt (SF regio)

Am 6. Mai wurde in einer online-Pressekonferenz das Projekt SFregio der Stadt Hartha mit dem KSI als Forschungspartner im Rahmen des simul+Wettbewerbs "Ideen für den ländlichen Raum" prämiert.

Ein neuer innovativer Ansatz zur Nachwuchsförderung in ländlicher Region wird im Dreieck Kommune, Gymnasium und Forschungsinstitut agieren. Der Beitrag soll die Kooperation regionaler Akteure in der mittelsächsischen Region rund um die Stadt Hartha zur Stärkung berufsvorbereitender Kompetenzen im Bereich der

MINT-Fächer aufbauen und entwickeln. Dabei tritt das Kurt-Schwabe-Institut für Mess- und Sensortechnik Meinsberg e.V. (KSI Meinsberg) als Katalysator zur Qualifikation junger Fachkräfte aus der Region für die innovativen Unternehmen in der Region in Aktion.

Donnerstag, 7. Mai 2020

HARTHA • LEISNIG

# Hartha: 300 000 Euro fürs Schulprojekt

Kooperation mit Kurt-Schwabe-Institut soll naturwissenschaftlichen Zweig stärken

Von Max Hempel

Hartha/Meinsberg. Ein Pensenschlag für die Stadt Hartha. Am Mittwochmorgen hat das Sächsische Staatsministerium für regionale Entwicklung in einer Online-Pressekonferenz die Sieger seines Ideenwettbewerbs „Simul+“ für den ländlichen Raum vorgestellt. Mit unter den ersten Gewinnern: Das Projekt „Schule und Forschung regional vernetzt“, eine gemeinschaftliche Kooperation der Stadt Hartha, der Pestalozzi-Oberschule und des Martin-Luther-Gymnasiums gemeinsam mit dem Kurt-Schwabe-Institut (KSI) für Mess- und Sensortechnik aus Meinsberg. Die gewonnene Fördersumme lässt sich sehen: 300.000 Euro gibt es von Land Sachsen.

Auf eine feierliche Übergabe mussten die Verantwortlichen zwar verzichten, die Freude über das viele Geld war am Mittwochvormittag jedoch ungebrochen. Denn das Anliegen lag bei Stadt sowie den Schülern schon länger auf dem Tisch. Bereits der alte Schulleiter Lohar Weisheit und später seine Nachfolgerin Heike Geißler vom Martin-Luther-Gymnasium arbeiteten an dem Konzept mit Bürgermeister Konrad Kunze.

In Hartha sollen in Zukunft engagierte und interessierte SchülerInnen und Schüler in den MINT-Fächern noch besser gefördert werden – etwa durch zusätzliche Lernangebote, die Möglichkeit zum Experimentieren oder Praktika bei Unternehmen und potenziellen Arbeitgebern.

Konkret könnte das etwa am Martin-Luther-Gymnasium wie folgt aussehen: Schüler der zehnten Klassen im naturwissenschaftlichen Profil sollen in Zukunft praxisnah und erweiterten Unterricht in Fächern wie Biologie, Chemie und Physik bekommen. Zum Beispiel, indem sie größere Experimente in der Schule vorbereiten und dann mit entsprechendem Gerät am Kurt-Schwabe-Institut durchführen. Außerdem sollen Experten die Klassen besuchen und zusätzlich



Naturwissenschaftlich interessierte Schüler aus Hartha dürfen demnächst am Kurt-Schwabe-Institut experimentieren.

FOTOMONTAGE: SVEN BARTSCH

Unterricht zu ihrem Fachgebiet geben. Bei den Abituristen ist geplant, dass diese ihre zusätzliche Lernleistung – die das mündliche Abitur ersetzt – durch eine praktische Leistung beim Institut ersetzen können. Einige technische Neuschaffungen sind auch geplant“, verrät Schulleiterin Geißler.

Professor Michael Mertig, Direktor des Kurt-Schwabe-Instituts, weiß welche Vorteile eine solche Kooperation mit sich bringt. Sein Institut arbeitet schon seit Jahren mit Schulen zusammen. „Wir haben Geräte bei uns im Haus, die sich eine Schule nicht so einfach leisten kann.

Dazu gehören sensible Mikroskope, die sogar kleinste Zellen für das menschliche Auge sichtbar machen.“ Für den Unterricht sei dies natürlich hervorragend, da gewisse Inhalte viel anschaulicher vermittelt werden können. Ein Aspekt, den auch Schulleiterin Geißler betont.

„Für uns als Schule wäre das im naturwissenschaftlichen Bereich fest schon ein Alleinstellungsmerkmal.“ Darüber hinaus soll auch ein Netzwerk von Firmen entstehen, die sich den Schülern zum einen vorstellen und dann vielleicht ein Praktika oder ein duales Studium anbieten. Bürgermeister Kunze legt

somit einen längerfristigen Plan vor. „Wir möchten unser Profil als Stadt und Region schärfen und vor allem möglich machen, dass junge Talente hier bleiben möchten. Es gibt hier genügend Firmen, die gute Wissenschaftler und Ingenieure brauchen.“

Für Staatsminister Thomas Schmidt und die Wettbewerbsjury ein entscheidender Punkt. Schmidt lobte den Vorbildcharakter dieser Zusammenarbeit. „Wir finden es gut, wenn Schüler mit Unternehmen in ihrer Heimatregion zusammen kommen.“ Diese Verbindung zwischen Wissenschaft, Wirtschaft

und Bildungsinstituten sei daher beispielhaft.

Bei dem Wettbewerb haben insgesamt 362 Einrichtungen, Vereine und Städte ihre Ideen in zwei Modulen vorgestellt. Im Modul „Projekt“ haben sich Vereine, lokale Verbände, Privatpersonen und Unternehmen mit insgesamt 278 Beiträgen beteiligt. Gemeinden und landesweite Vereine haben im Modul „Land Kommune“ 84 Beiträge eingereicht. Eine Übersicht über alle erfolgreichen Projekte gibt es auf der Internetseite des Sächsischen Staatsministeriums für Regionalentwicklung.

## Wie aus Schülern junge Forscher werden

Hartha

Die Stadt Hartha bekommt Geld für eine Kooperation zwischen dem Kurt-Schwabe-Institut und den Schulen. Jetzt ist auch der Vertrag unterzeichnet.

VON FRANK KORN

Das Fach Physik findet Robert Arnold spannend. Besonders die Elektrizitätslehre hat es dem Zehntklässler vom Martin-Luther-Gymnasium in Hartha angetan. Während der Sommerferien will er ein zweiwöchiges Praktikum am Kurt-Schwabe-Institut in Meinsberg absolvieren.

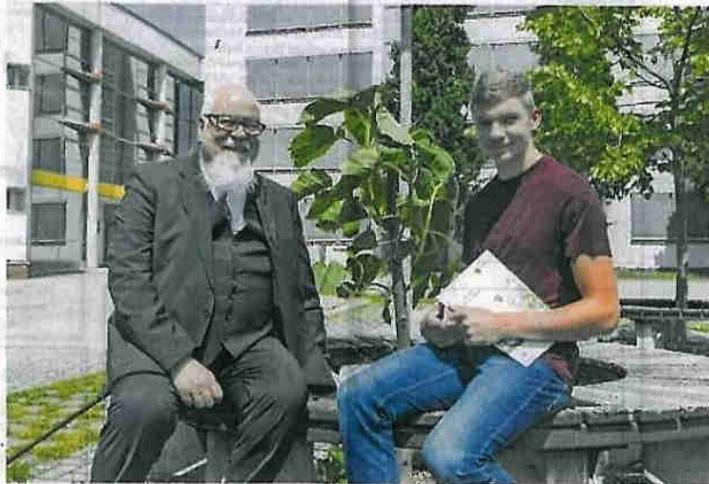
Sein Praktikum wird bereits Bestandteil eines Projektes sein, für das der Staatsminister für Regionale Entwicklung Thomas Schmidt (CDU) und Harthas Bürgermeister Ronald Kunze (parteilos) am Freitag den entsprechenden Vertrag unterzeichnet haben. Die Stadt hatte sich am Wettbewerb simuliert. „Ideen für den ländlichen Raum“ beteiligt und dafür ein Preisgeld in Höhe von 300.000 Euro bekommen (Sächsische.de berichtet).

Kommune, Martin-Luther-Gymnasium und Pestalozzi-Oberschule sowie das Kurt-Schwabe-Institut Meinsberg (KSI) verfolgen dabei einen innovativen Ansatz zur Nachwuchsförderung in der ländlichen Region. Untergliedert ist die Zusammenarbeit in drei Kategorien. So ist geplant, einen speziellen Wahlgrundkurs für naturwissenschaftlich besonders interessierte Schüler aufzubauen. Dazu werden in enger fachlicher Abstimmung zwischen den Fachlehrern beider Schulen und wissenschaftlichen Mitarbeitern des KSI Inhalte aus der aktuellen Forschung in den Wahlgrundkurs MINT (Mathematik, Informatik, Naturwissenschaften und Technik) eingearbeitet.

### Schüler lernen in der Forschung

Zur besseren Veranschaulichung der Lerninhalte ist geplant, Schülergruppen zu ausgewählten Themen im KSI in Form von Schülerpraktika zu betreuen. Diese können sowohl in den Ferien, wie im Fall von Robert Arnold, als auch während der für Praktika vorgesehenen Schulzeiten absolviert werden.

KSI-Institutsleiter Prof. Dr. Michael Mertig freut sich auf die Zusammenarbeit mit den Jugendlichen. „Die Schüler bekommen eine kleine Forschungsaufgabe, die sie gemeinsam mit einem Betreuer lösen. Gleichzeitig bekommen sie die Möglichkeit, das Institut kennenzulernen“, so Mertig. Dazu gehöre zum Beispiel, dass sie am



Zehntklässler Robert Arnold (rechts) will in den Sommerferien ein Praktikum am Kurt-Schwabe-Institut absolvieren. Institutsleiter Prof. Dr. Michael Mertig gibt ihm schon mal die ersten Informationen.

Foto: Dietmar Thomas

Elektronenmikroskop sitzen oder ein biologisches Experiment machen.

Der zweite Maßnahmenblock des Projektes befasst sich mit der Weiterentwicklung des sogenannten SchilfKonzeptes. Damit ist die schulinterne Lehrerfortbildung gemeint. Um das Interesse Schüler an Naturwissenschaften zu wecken und die Inhalte des Fachunterrichtes, insbesondere Physik, Chemie und Biologie, mit aktuellen Forschungsinhalten zu beleben, ist eine gezielte Weiterbildung der Fachlehrer vorgesehen.

Moderne Sensorkonzepte und Messprinzipien, innovative Verfahren der komplexen Datenauswertung aus der aktuellen Projektarbeit des KSI werden in die Lehrpläne der Lehrerfortbildung eingearbeitet. Der Wissenstransfer erfolgt dabei durch Vorträge wissenschaftlicher Mitarbeiter oder während Exkursionen der Fachlehrer ins Institut.

Schließlich soll das Projekt auch für die Berufsberatung und Studienvorbereitung einen Vorteil bringen. Zum einen für die Schüler, die bereits ab der 8. Klasse Ausbil-

dungsweg aufgezeigt bekommen sollen. Damit soll es ihnen ermöglicht werden, später einmal in interessanten technischen Berufen in Unternehmen der Region tätig zu werden.

Doch auch die Firmen und Institute sollen davon profitieren. „Im Kurt-Schwabe-Institut werden in den nächsten zehn Jahren die Hälfte aller Plätze frei, weil die Mitarbeiter altersbedingt ausscheiden“, macht Professor Michael Mertig schon einmal Werbung für künftige Arbeitskräfte. Doch dieser Fakt betreffe nicht nur das KSI, sondern eine Vielzahl innovativer Unternehmen.

### Neue Technik für die Schulen

Doch nicht nur die ideellen Punkte sind wichtig, sondern auch materielle Unterstützung für die Schulen. So soll von einem Teil des Geldes für das Gymnasium ein Elektronenmikroskop angeschafft werden. Zudem wünscht sich Schulleiterin Heike Geißler einen Satz Tablets. Als Laufzeit sind zunächst drei Jahre geplant.

Doch laut Institutsdirektor Prof. Dr. Mi-

chael Mertig und Harthas Bürgermeister Ronald Kunze soll das Projekt langfristig angelegt sein. „Das Preisgeld ist eine Anschubfinanzierung. Das kann noch mit Fördermitteln angereichert werden. Wir hoffen, dass das Projekt später zum Selbstläufer wird“, ist der Bürgermeister optimistisch.

Insgesamt 363 Projektvorschläge wurden für den Wettbewerb eingereicht. Doch nur 70 Teilnehmer sind mit einem Preisgeld bedacht worden. Exakt 4,83 Millionen Euro sind ausgeschüttet worden. Im Modul Land.Kommune, in dem sich 84 Städte und Gemeinden beworben hatten, wurden 20 ausgezeichnet, obwohl eigentlich anfangs nur 15 Preisträger in dieser Kategorie geplant waren.

Doch die Jury sei von den Ideen so beeindruckt gewesen, dass sie die Zahl auf 20 erhöht habe, erklärte Staatsminister Thomas Schmidt (CDU). Nur insgesamt vier Wettbewerbsteilnehmer haben, wie die Stadt Hartha, 300.000 Euro erhalten. Verteilt wurden unter den Gesamtsiegern Beträge ab 5.000 Euro. (mit/mf)

## Handtasche in Döbeln aus Auto gestohlen

Döbeln. Eine Handtasche auf dem Beifahrersitz hat am Donnerstag einen Dieb an einem Mercedes an der Döbelner Bahnhofstraße gelockt. Der Unbekannte nahm sich einen Stein und schlug mit diesem gegen 15.15 Uhr eine Seitenscheibe an dem Fahrzeug ein. Dadurch gelangte der Täter ins Innere des Autos, schnappte sich die Tasche und machte sich mit dieser davon.

Ein Zeuge hat den Unbekannten laut Polizei fliehen sehen. Der Wert des Diebesgutes beträgt rund 1.500 Euro. Denn in der Handtasche hat sich neben einer Geldbörse mit Ausweisen und persönlichen Gegenständen auch ein Laptop befunden. Der Sachschaden, den der Dieb am Mercedes hinterlassen hat, beläuft sich auf rund 500 Euro. (DA/mf)

## Auffahrunfall auf der A 4

Nossen. Ein 54-Jähriger ist am Freitag gegen 8.20 Uhr auf der A 4 mit einem Ford auf den VW einer 68-jährigen aufgefahren. Darüber informierte am Freitag die Pressestelle der PD Chemnitz. Die Fahrerin des VW zog sich bei dem Unfall leichte Verletzungen zu. Der Crash ereignete sich knapp einen halben Kilometer vor der Anschlussstelle Siebenlehn in Fahrtrichtung Chemnitz. An beiden Fahrzeugen entstand durch den Aufprall ein Sachschaden in Höhe von rund 3.000 Euro. (DA/mf)

## Checkpoint wieder geöffnet

Waldheim. Das Jugend- und Freizeitzentrum „Checkpoint“ in Massena empfängt ab sofort wieder Gäste. Voraussetzungen für einen Besuch sind, dass die Kinder und Jugendlichen gesund sind, eine schriftliche Erlaubnis der Eltern dabei haben und sich vorher anmelden. Das ist unter Tel. 034327 53053 oder per E-Mail unter jfz-waldheim@ky-leipzig.de möglich. Die Erlaubniserklärung gibt es im Checkpoint und im Internet. Vorerst dürfen sich nur fünf Personen gleichzeitig im JfZ aufhalten. Geöffnet ist montags und donnerstags in der Zeit von 15 bis 19 Uhr sowie mittwochs von 13 bis 20 Uhr. (DA/rt)

## Neuer Atomschutz

# SACHSEN SONNTAG

8. JG. | Auflage 35 500 | Nr. 25 | 20./21. Juni 2020

**DÖBELN UND UMGEBUNG** kostenlos | www.sachsen-sonntag.de



**Sonntagsfrühstück**  
Entertainerin Melanie Müller über die aktuelle Coronapause, das Muttersein und das Dschungelcamp. **SEITE 3**



**Sicherheit im Wasser**  
Die Wasserwacht Döbeln sorgt in der Region für einen ungetrübten Wasserspaß. **SEITE 9**



**Sport**  
Die Fußballer des Roßweiner SV haben sich für die nächste Saison viel vorgenommen. **SEITE 15**

## Forschung trifft Schule



**Die Harthaer Schulen arbeiten in den kommenden Jahren eng mit dem Kurt-Schwabe-Institut in Meinsberg zusammen. Dank eines 300.000-Euro-Schecks vom Ideenwettbewerb simul+ kann das Projekt zum neuen Schuljahr starten.**

**LESEN SIE WEITER AUF SEITE 2**

v.l.: Staatsminister Thomas Schmidt, Bürgermeister Ronald Kunze, Schulleiterin Heike Geißler und Institutsleiter Prof. Michael Mertig. Foto: AN

### Zwingerstraße in Döbeln nächste Woche gesperrt

**DÖBELN.** Mit Verkehrseinschränkungen muss vom 22. bis zum 26. Juni 2020 in der Döbeler Innenstadt gerechnet werden. In dem Zeitraum wird die Zwingerstraße auf Höhe des Tümlersteges voll gesperrt. Dort werden Abwasserleitungen an den Hauptkanal angebunden. Parallel laufen Arbeiten am Fußgängerüberweg, dazu gehören auch Markierungsarbeiten. Während der Sperrung wird die Einbahnstraßenregelung in der Zwingerstraße aufgehoben. Zwischen Postkreuzung und Tümlerstieg sowie zwischen Niederbrücke und Tümlerstieg wird die Zwingerstraße jeweils im Zweirichtungsverkehr befahrbar sein. Bereits auf den Straßen, die zur Zwingerstraße hinführen wird auf die Sperrung und die Verkehrsveränderungen hingewiesen.

### Mit Bus und Bahn günstig durch die Sommerferien

**LANDKREIS.** In einem Monat starten die Sommerferien und mehr Schüler als gewöhnlich verbringen in diesem Jahr diese Zeit in Sachsen. Damit sie trotzdem viel erleben und rundum mobil sind, bieten die sächsischen Verkehrsverbünde passende Tickets für Schüler und Azubis bis 20 Jahre an. Zum einen gibt es das Ferienticket Sachsen, das im gesamten Freistaat gilt. Alternativ bieten VMS und VVV ein Ferienticket für Mittelsachsen und das Vogtland an. Das Ferienticket Sachsen kostet 30 Euro und gilt sechs Wochen lang in ganz Sachsen und dem gesamten Mittelgebirge nicht an andere Personen weitergegeben werden darf. Ein Fahrrad kann fast überall kostenfrei mit. Alle Details rund um die Tickets haben die Verbünde online auf der gemeinsamen Seite [www.dein-ferienticket.de](http://www.dein-ferienticket.de) zusammengefasst. Die Ferientickets gibt es in den Servicestellen der Verkehrsunternehmen, an allen Automaten sowie bei vielen Zugbegleitern und Busfahrern im Stadt- und Regionalverkehr. Beratungs-Hotline: 0371 40008-88.

**Wir fairkaufen**

# Forschung trifft Schule

**300.000 EURO PREISGELD:** Harthaer Projekt gehört beim Ideenwettbewerb simul+ zu den Preisträgern

**HARTHA.** Heike Geißler und Ronald Kunze war die Freude ganz deutlich anzusehen. Kein Wunder: Die Leiterin des Martin-Luther-Gymnasiums Hartha und der Bürgermeister der Kleinstadt empfingen Mitte Juni schließlich hochrangigen Besuch. Der Staatsminister für Regionalentwicklung, Thomas Schmidt, war ins Gymnasium gekommen und hatte einen richtig großen Scheck im Gepäck.

Im Ideenwettbewerb simul+, einem vom Freistaat Sachsen initiierten Ideenwettbewerb zur Entwicklung des ländlichen Raums, hatte das Harthaer Projekt die Juroren so sehr überzeugt, dass es am Ende zu den Preisträgern gehörte. Der Lohn waren 300.000 Euro.

Der Schulstandort Hartha könnte somit zündend für die Verknüpfung von Schule, Wissenschaft und Wirtschaft werden.

**Heike Geißler**  
Leiterin Martin-Luther-Gymnasium Hartha

Ziel des Harthaer Projektes ist es, durch eine Kooperation mit dem renommierten Kurt-Schwabe-Institut (KSI) in Meinsberg bei den Schülerinnen und Schülern des Harthaer Gymnasiums Begeisterung für die sogenannten MINT-Fächer zu wecken und gleichzeitig wissenschaftlichen Nachwuchs zu entdecken. So soll mit dem Projekt das naturwissenschaftliche Profil der Schule deutlich geschärft und Inhalte aus der praktischen Forschung in den Unterricht aufgenommen werden – darunter die Entwicklung moderner Sensoren. „Unsere Freude ist riesengroß. Wir haben dieses Projekt zum zweiten Mal eingereicht. Diesmal sind wir tatsächlich Preisträger“, freute sich Bürger-

meister Ronald Kunze: „Als Kommune sehen wir uns als Vermittler zwischen allen Parteien. – „Wir als Institut sind angetreten, um die Schüler durcheinanderzubringen. Wir wollen zeigen, dass Wissenschaftler ein toller Beruf ist“, erklärt der Leiter des Instituts, Professor Michael Mertig: „Wir wollen etwas bieten, was die Schule so nicht bieten kann. Außerdem hoffen wir natürlich auch auf viele Zukunftsideen. Aktuell gibt es bei uns einige Ideen, die wirklich abgedreht sind. Unter anderem arbeiten wir gemeinsam mit dem Fraunhofer Institut an der Entwicklung von kompostierbaren Sensoren für die Landwirtschaft.“ In den nächsten zehn Jahren werden in dem Institut aus Altersgründen etwa die Hälfte aller Arbeitsplätze frei. Da gebe es jede Menge Platz für wissenschaftlichen Nachwuchs. Ebenfalls mit im Boot ist bei diesem Projekt auch die Harthaer Pestalozzi-Oberschule.

Initiator des Projektes war Ronald Kunze. Der rannte im vergangenen Herbst bei Heike Geißler, die zu Beginn des aktuellen Schuljahres die Leitung des Gymnasiums übernommen hatte, offene Türen ein. „Schule ist viel Theorie und oft stark verkopft. Lebendig wird die Schule durch verschiedene Projekte wie dieses“, erklärt Heike Geißler mit einem Lächeln. Für sie sei es immer spannend, mit Forschern zusammenzuarbeiten. „Ich weiß, dass es nicht ausreicht, den Schülern ein paar Tablets hinzustellen. Da muss einfach mehr kommen. Man muss den Schülern zeigen, dass sie eine Stadt wie Hartha auch selbst mitgestalten können. Den Schülern soll im Rahmen dieses Projektes sicht- und erlebbar gemacht werden, was in der Forschung möglich ist. Das gibt der Schule und ein echtes Alleinstellungsmerkmal. Der Schulstandort Hartha könnte somit zündend für die Verknüpfung von Schule, Wissenschaft und Wirtschaft werden.“ Starten soll das Projekt im kommenden Schul-



Auch die Schülerinnen und Schüler des Martin-Luther-Gymnasiums in Hartha freuen sich auf die neuen naturwissenschaftlichen Lerninhalte. Foto: Andreas Neustadt

jahr mit der zehnten Klasse. Für Thomas Schmidt ist der Ideenwettbewerb simul+, bei dem diesmal 362 Projekte eingereicht worden sind, „ein echter Segen“ für den ländlichen Raum

im gesamten Freistaat. „In dem gesamten Projekt gibt es nur Gewinner. Schließlich haben sich im Rahmen des Projektes mehrere 1.000 Leute zusammengesetzt und Gedanken darüber ge-

macht, wie man die Potenziale des ländlichen Raums heben kann.“ Wieder einmal habe man gesehen, dass Sachsen ein riesengroßes Potenzial habe.

**ANDREAS NEUSTADT**

## 2. Aufruf Regionalbudget im LEADER-Gebiet SachsenKreuz+ gestartet

**REGION.** Das Sächsische Staatsministerium für Regionalentwicklung (SMR) hat den sächsischen LEADER-Gebieten die Förderung von Kleinprojekten in Form des Regionalbudgets angeboten.

Die Förderung erfolgt auf Grundlage der Richtlinie des Sächsischen Staatsministeriums für Umwelt und Landwirtschaft zur Ländlichen Entwicklung im Freistaat Sachsen (Förderrichtlinie Ländliche Entwicklung - RL LE/2014), die Fördermittel stammen aus dem Fond für Gemeinschaftsaufgabe zur Verbesserung der Agrarstruktur und des Küstenschutzes (GAK). Insgesamt 150.000 Euro stehen dem LEADER-Gebiet SachsenKreuz+ zur Verfügung. Mit der Bewilligung am 15. April wurde am 15. April auch der Aufruf Regionalbudget gestartet. Dem ersten Aufruf sind insgesamt 15 Vereine gefolgt. Die Antragsteller waren unter anderem Sportvereine, Heimatvereine, Schulvereine und Feuerwehreinheiten, dadurch war auch das Spektrum an Förderanträgen vielseitig. Dies reicht von der Qualifizierung des Dorfes in Schönerstadt, über die Parkanlagen in Ehrenberg und Ringelthal, Modernisierung von Schulgebäuden in Hartha und Technitz, bis zum Bau von Sitzunterständen in der Stadt Waldheim (Ortsteile Richzenhain und Reinsdorf) oder der Qualifizierung und Erweiterung von Sportanlagen und Trainingsmöglichkeiten in Leisnig, Geiringswalde und Döbeln (Ortsteil Neudorf).

Allerdings konnten mit den ausgewählten Vorhaben erst 96.384,59 Euro gebunden werden. Daher hat das Entschei-

dungsgremium bei seiner Sitzung am 11. Juni in der Kulturscheune Börtewitz beschlossen, einen zweiten Aufruf zu starten, um möglichst die restlichen Gelder aus dem Regionalbudget zu binden. Der Aufruf endet am 1. Juli.

### UNTERSTÜTZUNG VON KLEINPROJEKTEN

Bis dahin können Anträge zur Förderung von Kleinprojekten bei dem Regionalmanagement des LEADER-Gebietes SachsenKreuz+ eingereicht werden. Kleinprojekte sind Projekte, deren förderfähige Gesamtausgaben 20.000 Euro brutto nicht übersteigen. Maximal stehen 10.000 Euro für ein einzelnes Vorhaben zu Verfügung. In dem LEADER-Gebiet SachsenKreuz+ können die Gelder nur von Vereinen beantragt werden. Unterstützt werden ausschließlich Kleinprojekte, die der Umsetzung der LEADER-Entwicklungsstrategie des LEADER-Gebietes SachsenKreuz+ dienen. Zudem können nur Kleinprojekte gefördert werden, die in Orten und deren Gemarkungen bis 5.000 Einwohner liegen.

Weitere wichtige Informationen zu Förderbedingungen, Formulare und die Liste der benötigten Unterlagen findet man auf der Webseite des LEADER-Gebietes SachsenKreuz+ unter <http://www.sachsenkreuz-plus.de/de/aufrufe/>. Das Regionalmanagement bittet potentielle Antragsteller dieses telefonisch (Telefon: 034362 379-800), per E-Mail ([post@sachsenkreuzplus.de](mailto:post@sachsenkreuzplus.de)) zu kontaktieren oder auch einen Beratungstermin zu vereinbaren.

### NOTDIENSTE

**Notruf**  
Polizei 110  
Feuerwehr/Unfallnotruf 112  
Sozialstation der Volkssolidarität 03431 571070  
Wasser-/Abwasserrettung 0800 9356702  
Frauen- und Kinderschutzwohnungen 0171 9682597  
Seelsorge (kostenfrei) 0800 1110111  
Sorgentelefon (kostenfrei) 0800 0080080  
Kinder- und Jugendtelefon (kostenfrei) 0800 1110333  
MITGAS – Service 0180 2600600  
MITGAS – Entstördienst 0180 22009  
Alle Angaben ohne Gewähr!

Zschoitz, Mochau, Roßwein, Waldheim, Hartha, Leisnig, Tel.: 116 117  
**Zahnärztlicher Notdienst**  
Region Döbeln, Roßwein, Ostrau, Sa., So. und Feiertag, 9 bis 11 Uhr:  
20./21.6.: Praxis Dipl.-Stom. Petra Schindler, Nossener Str. 2, 04741 Roßwein, Tel.: 034322/42734

**Zahnärztlicher Notdienst**  
Region Waldheim, Hartha, Leisnig, Sa., So. und Feiertag, 9 bis 11 Uhr:  
20./21.6.: Praxis Dipl.-Stom. Frank Zenker, Pestalozzistr. 49, 04746 Hartha, Tel.: 034328/38465

**Diensthabender Kinderarzt**  
Region Döbeln, Sa., So. und an Feiertagen 10 bis 12 Uhr, Mi. 16 bis 18 Uhr und Fr. 14 bis 16 Uhr: Bereitschaft

**18 bis 8 Uhr und von Sonnabend 12 bis 8 Uhr des darauffolgenden Tages, Sonn- und Feiertage 8 bis 8 Uhr des darauffolgenden Tages:**

**20.6.:** Park-Apotheke, Franz-Mehring-Str. 7, Hartha, Tel. 034328/41356 und Bergstadt-Apotheke, Markt 23, Siebenlehn, Tel. 035242/64011

**21.6.:** Rosen-Apotheke, Niedermarkt 30, Döbeln, Tel. 03431/571770

**22.6.:** Apotheke zum Riesenstiefel, Unnaer Str. 23, Döbeln, Tel. 03431/704780

**23.6.:** Löwen-Apotheke, Markt 15, Roßwein, Tel. 034322/42181 und Löwen-Apotheke, Markt 3, Leisnig, Tel. 034321/12921

### CORONA-HILFE

Beratungszentrum Konsolidie-



## Projekt SF Regio startet mit ersten 2 Praktikanten

Mit Robert Arnold und Tim Fichtner absolvierten die ersten 2 Schüler vom Martin-Luther-Gymnasium Hartha im Rahmen des Projektes SF Regio (Schule und Forschung regional vernetzt) im August zweiwöchige Praktika am Kurt-Schwabe-Institut. Dieses Projekt des KSI Meinsberg zusammen mit der Stadt Hartha wird im Rahmen des Wettbewerbs simul+ „Ideen für den ländlichen Raum“ vom Land Sachsen gefördert.



Tim Fichtner (vorn) arbeitet mit seiner Betreuerin Dr. Christine Schirmer (M.) gemeinsam an einem Forschungsprojekt.

FOTO: SVEN BARTSCH

# Wissenschaftlicher Nachwuchs dringend gesucht

Kurt Schwabe-Institut beginnt seine Zusammenarbeit mit dem Harthaer Gymnasium. Zwei Schüler nutzen die Sommerferien zum Experimentieren.

Von Max Hempel

**Waldheim/ Hartha.** Auch Wissenschaftler müssen früh aufstehen. Das war mit das erste, das Tim Fichtner und Robert Arnold vom Harthaer Martin Luther-Gymnasium erfahren mussten. Das frühe Aufstehen – zugleich noch in den Sommerferien – hat sich aber gelohnt. Die beiden Schüler hatten in den vergangenen zwei Wochen die einmalige Möglichkeit, in einem weltweit bekannten Forschungsinstitut den Wissenschaftlern über die Schulter schauen.

Und das befindet sich gerade mal eine viertel Stunde entfernt in Meinsberg. Dort hat nämlich das Kurt-Schwabe-Institut (KSI) unter der Leitung von Professor Michael Mertig seinen Sitz. Am Fuße der Zschopau forschen in dem mehrstöckigen Gebäude die Mitarbeiter des KSI im Bereich der Mess- und Sensortechnik. Nun öffnet Leiter Mertig dem Martin Luther-Gymnasium seine Türen für Schüler und potenzielle Nachwuchsforscher. Die Zusammenarbeit ist ein Projekt der Stadt

Hartha, ihrer beiden weiterführenden Schulen und dem Kurt Schwabe-Institut, die durch das Land Sachsen mit dem Wettbewerb Simul+ seit diesem Jahr gefördert wird (die DAZ berichtete).

„Unser Ziel ist es, junge Menschen noch tiefere Einblicke in die Arbeit von Wissenschaftlern zu vermitteln“, erklärt Mertig. Es gebe viele begabte Schüler, die jedoch im Unterricht nicht immer jeden Versuch oder aufwendiges Experiment mit ihren Lehrern ausprobieren könnten. „Dafür wollen wir die Möglichkeit bieten.“

Diese Gelegenheit hatten Tim und Robert, die mit ihren Betreuern Dr. Wolfgang Fichtner sowie Dr. Christine Schirmer so allerhand Neues lernen konnten. Tim zum Beispiel züchtete gemeinsam mit seiner Betreuerin einen besonderen Hefepilz heran. „Der reagiert dann auf bestimmte Chemikalien im Wasser – in unserem Fall Diclophenac – und fängt an zu leuchten“, erklärt der 16-Jährige. „Wir konnten mit diesem Verfahren schließlich nachweisen, wie sehr Wasser durch

Arzneimittel verunreinigt ist.“ Doch nicht nur im Labor war der Erfahrungsgewinn groß, wie Klassenkamerad Robert weiß. „Ich fand es total spannend, an einem Tag zwei Stunden auf dem Feld zu stehen und Messungen durchzuführen und anschließend die Ergebnisse im Büro zu analysieren.“ In Zukunft sollen aber nicht nur die Schüler neue Dinge lernen. Auch ihre Lehrer werden

beim KSI in Klausur gehen und auf den neuesten Stand der Forschung gebracht.

Für Wolfgang Fichtner ist die Zusammenarbeit ein wichtiger Schritt in Sachen Talentförderung in der Region. Es gebe in Mittelsachsen eine Reihe von Instituten und technisch hoch spezialisierten Unternehmen, die in Zukunft auf junge Leute setzen. „Schließlich geht auch an uns Forschern der demographische Wandel nicht vorbei“, sagt Fichtner. Wer ein wissenschaftliches Praktikum im Institut machen wolle, egal ob aus Hartha, Döbeln oder Waldheim, soll sich gerne melden. „Unsere Pforten stehen für interessierte junge Menschen jederzeit offen.“

Michael Mertig ist auf jeden Fall stolz auf seine beiden ersten Praktikanten. „Wir hatten in den vergangenen Wochen zwei hervorragende Schüler bei uns“, sagt der Institutsleiter. „Sollten sie sich mal überlegen Biologie oder Physik zu studieren, würden wir gerne bei möglichen Forschungsarbeiten Pate stehen.“



Unser Ziel ist es, junge Menschen noch tiefere Einblicke in die Arbeit von Wissenschaftlern zu vermitteln.

**Professor Michael Mertig**  
Leiter Kurt-Schwabe-Institut

# simul+ Fachforum Wasserstoff am 23. September 2020 am KSI Meinsberg

STAATSMINISTERIUM FÜR  
REGIONALENTWICKLUNG



## Medieninformation

Sächsisches Staatsministerium für Regionalentwicklung

Ihr Ansprechpartner  
Frank Meyer

Durchwahl  
Telefon +49 351 366 30026

pressestel@smi.sachsen.de\*

23.09.2020

### Wasserstofftechnologie im Fokus

**Minister Schmidt: »Nutzung als Energieträger mit Innovationen vorantreiben!«**

Waldheim steht heute (23. September 2020) ganz im Zeichen des Wasserstoffs. Am Kurt-Schwabe-Institut für Mess- und Sensortechnik Meinsberg e. V. (KSI) diskutieren erstrangige Experten aus Deutschland und der Schweiz auf dem simul+Forum »Wasserstoff - Technologie, Prozesssicherheit und Regionalentwicklung« über Chancen, die sich aus der aktuellen Entwicklung und Nutzung der Wasserstofftechnologie ergeben, aber auch über Herausforderungen in diesem Zusammenhang, insbesondere über die Steuerung der nötigen technischen Prozesse mit Hilfe von Sensortechnik.

»Wasserstoff ist in aller Munde und zweifellos ein wichtiger Pfeiler, um die enormen Herausforderungen zu lösen, die mit dem Ausstieg aus der Kohleverstromung verbunden sind. Als Energiespeicher nicht nur für die Mobilität ist Wasserstoff eine Schlüsseltechnologie«, so Staatsminister Thomas Schmidt. »Ich freue mich, dass unser langjähriger simul+Partner, Professor Michael Mertig vom KSI, Wissenschaftler aus Sachsen und Vertreter der Wirtschaft zusammenbringt, und hier im Freistaat die Lösung der damit verbundenen wissenschaftlich-technischen Fragestellungen vorantreiben. Wir wollen, dass aus wissenschaftlichen Erkenntnissen schnell anwendungsreife Innovationen werden. Das ist der Ansatz dieses simul+Forums heute.«

»Es ist uns gelungen, zur Teilnahme am Forum renommierte nationale und internationale Sprecher zu gewinnen, die wesentliche technologische, wirtschaftliche und regionale Aspekte der Etablierung einer leistungsstarken Wasserstoffwirtschaft thematisieren werden. Wir hoffen, dass wir damit einen aktiven Beitrag zum weiteren Ausbau von Forschung und Wirtschaft zum Energieträger Wasserstoff in Sachsen leisten können«, ergänzt Prof. Michael Mertig, Direktor des KSI. Er ist Koordinator eines größeren Forschungsverbundes zur Entwicklung innovativer Prozess- und

Sicherheitssensorik für die Wasserstoffwirtschaft. Dessen Arbeit wird im Rahmen des Verbundes »HYPOS – Hydrogen Power Storage & Solutions East Germany« gefördert, der durch die Zwanzig20-Initiative »Partnerschaft für Innovation« des Bundesministeriums für Bildung und Forschung initiiert wurde. »Wir sind froh, dass uns das simul+Fachforum eine geeignete Plattform bietet, unsere erreichten Ergebnisse interessierten Vertretern aus der Industrie, von Fachverbänden, Forschungseinrichtungen und regionalen Dienstleistern vorstellen zu können«, so Mertig.

Hintergrund:

Die Zukunftsinitiative simul+ setzt seit dem Jahr 2016 klare Schwerpunkte bei Wissenstransfer und Innovationen, zunächst standen vor allem Fragen der Umwelt-, Forst-, Land- und Ernährungswirtschaft im Fokus der Initiative. Mit Gründung des Staatsministeriums für Regionalentwicklung im Dezember 2020 hat sich das Themenspektrum erheblich erweitert. Im Einklang mit der neuen Innovationsstrategie des Freistaates Sachsen etabliert sich simul+ als eine Plattform für die innovationsgestützte Regionalentwicklung.

Am Kurt-Schwabe-Institut für Mess- und Sensortechnik Meinsberg e. V. (KSI) wird seit 75 Jahren auf dem Gebiet der Mess- und Sensortechnik geforscht. Das Landesinstitut mit seinen rund 40 Mitarbeitern hat sich einen exzellenten Ruf im Bereich der angewandten Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet der modernen Sensorik für Umweltmonitoring, medizinische Diagnostik sowie die Erzeugung und Speicherung erneuerbarer Energien erworben.

Wasserstoff ist das häufigste chemische Element im Universum. Er ist Bestandteil des Wassers und beinahe aller organischen Verbindungen. Wasserstoff gilt als ein Energiespeichermedium der Zukunft, das keinen Ausstoß von Kohlendioxid verursacht, wenn es mit erneuerbaren Energien wie Windenergie oder Sonnenenergie gewonnen wird. Technische Probleme bei der Speicherung von Wasserstoff entstehen unter anderem durch den hohen Dampfdruck und den niedrigen Siedepunkt.

[www.smi.sachsen.de](http://www.smi.sachsen.de)

\* Kein Zugang für verschlüsselte elektronische Dokumente. Zugang für ungeschützte elektronisch signierte Dokumente nur, wenn dies auf [www@smi.sachsen.de](mailto:www@smi.sachsen.de) signalisiert wird. Vermerken Voraussetzungen.

Seite 1 von 2



## Forscher entwickeln Vorhersagesystem für Deichbrüche



Foto: Karsten Repert

### Hochwasserschutz Konsortium präsentiert in Plauen einen großen Erfolg

**Plauen.** Wenn ein Mensch in kurzer Zeit drei Jahrhunderthochwasser und drei Jahrhundertdürren erlebt, kann mit dem Klima was nicht stimmen. “Durch diese wiederkehrenden Extreme werden zum Beispiel Dämme und Deiche porös beziehungsweise in der Folge brüchig”, stellt Isabel Schulze voran.

Zeitungsartikel: [Blick.de](https://www.blick.de) vom 20.10.2020

Das Kurt-Schwabe-Institut für Mess- und Sensortechnik Meinsberg e.V. wird mitfinanziert durch Steuermittel auf der Grundlage des vom Sächsischen Landtag beschlossenen Haushaltes.

SACHSEN



Abdruck (auch von Teilen) oder sonstige Verwendung sind nur nach vorheriger Absprache mit dem Kurt-Schwabe-Institut für Mess- und Sensortechnik Meinsberg e.V. gestattet.

