



Tagungsbericht

8. HSN-Fachsymposium

„Innovative Sensorik, verteilte Sensorsysteme, neue Technologien und Anwendungsfelder“

„Innovative Sensor Technology, Distributed Sensor Nets and New Technologies and Application Fields “

11. November 2021, online Veranstaltung

Herausgeber: Hubert B. Keller¹, Rolf Seifert²

¹Vorsitzender HybridSensorNet e.V. (HSN)

²Geschäftsführer HybridSensorNet e.V. (HSN)

Vorwort

Das 7. Fachsymposium im Jahre 2020 musste wegen Corona ausfallen. Das nunmehr im Jahre 2021 durchgeführte 8. Symposium des HybridSensorNet e.V. am 11. November 2021 greift die Themen der früheren Symposien auf und bietet unter dem Titel „Innovative Sensorik, verteilte Sensorsysteme, neue Technologien und Anwendungsfelder“ wieder interessante Vorträge im Rahmen einer Online Veranstaltung.

Innovative Sensorsysteme sowie datenbasierte Soft-Sensoren liefern umfassende Informationen, detektieren potentielle Gefährdungen und sind auch unverzichtbar zur Steigerung der Energie- und Ressourceneffizienz. Neuartige vernetzte Sensoren überwachen z. B. kritische Infrastrukturen. Hierzu ist auch eine hohe IT-Sicherheit erforderlich. Experten aus Forschung, Wissenschaft und Industrie stellen im 8. Fachsymposium 2021 den Stand der Forschung und Entwicklung sowie die interdisziplinären Anforderungen an innovative Projekte dar. Das Symposium bietet eine offene Plattform zur Förderung von Kooperationsgesprächen und Diskussionen. Eine Partnerbörse ermöglicht die Darstellung der Kompetenzen der Teilnehmer zur Initiierung neuer gemeinsamer Projekte. Integriert war die Partnerbörse (Open Forum) zur Darstellung der Kompetenzen der Teilnehmer, um neue Projekte zu initiieren.

An die Erforschung, Entwicklung und Umsetzung intelligenter und robuster Sensorik werden enorme Anforderungen gestellt, denen keine Forschungseinrichtung und kein Unternehmen allein gewachsen sind. Nur die Vernetzung aller Beteiligten wird diesen Anforderungen gerecht. HybridSensorNet e.V. wurde gegründet, um diesen hohen Anforderungen zu entsprechen und die Kompetenzen aller Fachgebiete aus Industrie, Forschung, Entwicklung und öffentlicher Hand so miteinander zu vernetzen, damit diese neuen Sensorsysteme und -netze und die zugrundeliegenden Sensortechnologien der Zukunft entwickelt und in die Realität umgesetzt werden können.

Der HybridSensorNet e.V. ist anerkannt als Cluster-Initiative in Baden-Württemberg. Die Intension des Vereins ist, als gemeinnütziger und ideeller Träger die Vernetzung im Bereich Sensorik zu fördern und nachhaltige Synergieeffekte und Innovationen bei den Mitgliedern zu bewirken.

Die Vorträge nach dem Open Forum waren in 3 Sessions unterteilt. Vom KIT, Karlsruhe, wurde zusammen mit IMTEK, Freiburg, über „Sensorgestützte Mikroreaktoren: Moderne Methoden für die Multi-Analyt-Detektion in der Wasserstoffperoxid-Direktsynthese in mikrostrukturierten Reaktoren“ vorgetragen. Neue Technologien erfordern neue Messtechniken und damit neue Sensorik. Dies zeigte sich auch am Vortrag des KIT, Karlsruhe, über „Tritiummesstechnik und Wasserstofftechnologie am Tritiumlabor Karlsruhe“. Aber auch die Elektromobilität fordert neue Sensoren, wie der Vortrag vom Fraunhofer Institut für chemische Technologie ICT, Pfinztal-Berghausen, „In-situ Gasanalytik und maßgeschneiderte Sensorik zur Erhöhung der Batteriesicherheit“ zeigt.

Der Vortrag „Very Sensitive Tar Monitoring in Syngas Streams by Estimation of Oxygen Demand – A Preliminary Study“ vom Institute for Sensor and Information Systems (ISIS), Karlsruhe, und von der University of Applied Sciences, Offenburg, beschäftigte sich mit der kontinuierlichen Analyse des Teeranteils im Synthesegas aus der Vergasung von Biomasse. Das Steinbeis-Transferzentrum für Sensorik und Informationssysteme der SRH Hochschule Heidelberg hat über „Entwicklung und Verifizierung eines Algorithmus zur Emissionsgradkorrektur bei Pyrometermessungen“ vorgetragen. Hier ging es um die Bestimmung des richtigen Emissionsgrades um die Messung zu korrigieren.

Die „Integration von modernster Sensorik und Aktorik in einem »Intelligenten Pflaster“ der GED Gesellschaft für Elektronik und Design, Ruppichteroth, führt zu elektronischen Pflaster, die Körperparameter wie Temperatur, Feuchtigkeit, pH-Wert, Sauerstoffsättigung und elektrische Potenziale überwachen können. Im Vortrag „KI-Tool für prädiktive Prozessoptimierung und –steuerung“ von der EDI GmbH – Engineering Data Intelligence, Pfinztal-Berghausen, und dem Institut für Technische Chemie, Karlsruher Institut für Technologie, Eggenstein-Leopoldshafen, sowie der 3MVV Energie AG, Mannheim, wurden die Möglichkeiten der Optimierung technischer Prozesse mittels KI Verfahren erläutert.

Die Veranstaltung richtet sich grundsätzlich an Unternehmen, Universitäten/Hochschulen, Forschungseinrichtungen sowie Verwaltungen und Gremien, die sich mit diesen Sensorthemen auseinandersetzen. Veranstaltet werden die Fachsymposien vom Verein HybridSensorNet e.V. in Kooperation mit weiteren Einrichtungen.

Mein Dank gilt meinen Vorstandskollegen und beteiligten Experten sowie unserem Geschäftsführer Rolf Seifert für die Organisation des Symposiums.

Hubert B. Keller, Vorsitzender HybridSensorNet e.V.

Inhaltsverzeichnis

Vorwort Dr. Hubert B. Keller	Seite 2
Inhaltsverzeichnis	Seite 4
Tagungsprogramm	Seite 6
Vorträge:	Seite 8
Sensorgestützte Mikroreaktoren: Moderne Methoden für die Multi-Analyt-Detektion in der Wasserstoffperoxid-Direktsynthese in mikrostrukturierten Reaktoren <u>Laura L. Trinkies</u> ¹ , Moritz Döring ² , Sebastian Urban ² , M. Kraut ¹ , A. Weltin ² , J. Kieninger ² , G. A. Urban ² , R. Dittmeyer ¹ ¹ Institut für Mikroverfahrenstechnik (IMVT), KIT ² IMTEK – Institut für Mikrosystemtechnik, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg	Seite 8
Tritiummesstechnik und Wasserstofftechnologie am Tritiumlabor Karlsruhe (<u>R. Größle</u> , F. Priester, M. Röllig, M. Schlösser KIT-Institute for Astroparticle Physics - Tritium Laboratory Karlsruhe)	Seite 10
In-situ Gasanalytik und maßgeschneiderte Sensorik zur Erhöhung der Batteriesicherheit (M. Abert; <u>S. Geiger</u> ; P. Rabenecker, Fraunhofer Institut für chemische Technologie ICT)	Seite 16
Very Sensitive Tar Monitoring in Syngas Streams by Estimation of Oxygen Demand – A Preliminary Study (<u>Binayak Ojha</u> ¹ , Stefan Turad ² , Joachim Jochum ² and Heinz Kohler ¹ ¹ Institute for Sensor and Information Systems (ISIS), Karlsruhe University of Applied Sciences, ² Offenburg University of Applied Sciences	Seite 19
Entwicklung und Verifizierung eines Algorithmus zur Emissionsgradkorrektur bei Pyrometermessungen (<u>Denise Reichel</u> Steinbeis-Transferzentrum für Sensorik und Informationssysteme SRH Hochschule Heidelberg)	Seite 22
Integration von modernster Sensorik und Aktorik in einem »Intelligenten Pflaster« (<u>Hanno Platz</u> , GED Gesellschaft für Elektronik und Design)	Seite 24
KI-Tool für prädiktive Prozessoptimierung und –steuerung (<u>T. Freudenmann</u> ¹ , M. Eberhard ² , J. Angert ³ , A. Baehr ¹ , D. Stapf ² ¹ EDI GmbH – Engineering Data Intelligence) ² Institut für Technische Chemie, KIT, ³ MVV Energie AG)	Seite 27

OpenForum Beiträge	Seite 30
• Sequip S&E GmbH	Seite 30
• TechnologieRegion Karlsruhe	Seite 33
• Freudenberg Sealing Technologies	Seite 34
• Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM)	Seite 35
• GED Gesellschaft für Elektronik und Design mbH	Seite 36
• HS Karlsruhe	Seite 36
Zu den Autoren der Fachvorträge	Seite 37
• Laura Trinkies	Seite 37
• Robin Größle	Seite 38
• Sebastian Geiger	Seite 39
• Binayak Ojha	Seite 40
• Denise Reichel	Seite 41
• Hanno Platz	Seite 36
• Thomas Freudenmann	Seite 44

Tagungsprogramm

11. November 2021	8. HSN-Fachsymposium
09:00 – 09:15	Begrüßung H. B. Keller, Vorstandsvorsitzender HybridSensorNet e.V., Karlsruhe
09:15 – 10:15	OpenForum (Chair: R.Seifert)
09:15 – 09:25	Sequip S&E GmbH
09:25 – 09:35	TechnologieRegion Karlsruhe
09:35 – 09:45	Freudenberg Sealing Technologies
09:45 – 09:55	Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM)
09:55 – 10:05	GED Gesellschaft für Elektronik und Design mbH
10:05 – 10:15-	HS Karlsruhe
10:15 – 10:30	Pause
	Session 1 (Chair: H. Kohler)
10:30 – 11:00	Sensorgestützte Mikroreaktoren: Moderne Methoden für die Multi-Analyt-Detektion in der Wasserstoffperoxid-Direktsynthese in mikrostrukturierten Reaktoren <i>Laura L. Trinkies¹, Moritz Döring², Sebastian Urban², M. Kraut¹, A. Weltin², J. Kieninger², G. A. Urban², R. Dittmeyer¹</i> ¹ Institut für Mikroverfahrenstechnik (IMVT), Karlsruher Institut für Technologie, Hermann-von-Helmholtz-Platz 1, 76344 Eggenstein-Leopoldshafen ² IMTEK – Institut für Mikrosystemtechnik, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Georges-Köhler-Allee 103, 79110 Freiburg
11:00 – 11:30	Tritiummesstechnik und Wasserstofftechnologie am Tritiumlabor Karlsruhe <i>R. Größle, F. Priester, M. Röllig, M. Schlösser</i> KIT-Institute for Astroparticle Physics - Tritium Laboratory Karlsruhe
11:30 – 12:00	In-situ Gasanalytik und maßgeschneiderte Sensorik zur Erhöhung der Batteriesicherheit <i>M. Abert¹; S. Geiger¹; P. Rabenecker¹,</i> ¹ Fraunhofer Institut für chemische Technologie ICT; 76327 Pfinztal-Berghausen, Deutschland
12:00 – 12:30	Mittagspause

	Session 2 (Chair: S. Geiger)
12:30 – 13:00	<p>Very Sensitive Tar Monitoring in Syngas Streams by Estimation of Oxygen Demand – A Preliminary Study <u>Binayak Ojha</u>¹, <u>Stefan Turad</u>², <u>Joachim Jochum</u>² and <u>Heinz Kohler</u>¹</p> <p>¹Institute for Sensor and Information Systems (ISIS), Karlsruhe University of Applied Sciences, Moltkestr. 30, D-76133 Karlsruhe (Germany) ²Offenburg University of Applied Sciences, Badstr. 24, D-77652 Offenburg (Germany)</p>
13:00 – 13:30	<p>Entwicklung und Verifizierung eines Algorithmus zur Emissionsgradkorrektur bei Pyrometermessungen <u>Denise Reichel</u></p> <p>Steinbeis-Transferzentrum für Sensorik und Informationssysteme SRH Hochschule Heidelberg</p>
13:30 – 13:45	Pause
	Session 3 (Chair: M. Graf)
13:45 – 14:15	<p>Integration von modernster Sensorik und Aktorik in einem »Intelligenten Pflaster« <u>Hanno Platz</u>, GED Gesellschaft für Elektronik und Design, Ruppichteroth</p>
14:15 – 14:45	<p>KI-Tool für prädiktive Prozessoptimierung und –steuerung <u>T. Freudenmann</u>¹, <u>M. Eberhard</u>², <u>J. Angert</u>³, <u>A. Baehr</u>¹, <u>D. Stapf</u>²</p> <p>¹EDI GmbH – Engineering Data Intelligence, Wöschbacher Str. 73, 76327 Pfinztal-Berghausen, Deutschland ²Institut für Technische Chemie, Karlsruher Institut für Technologie, Hermann-von-Helmholtz-Platz 1, 76344 Eggenstein-Leopoldshafen, Deutschland ³MVV Energie AG, Luisenring 49, 68159 Mannheim, Deutschland</p>
14:45 – 15:00	Abschluss

Vorträge

Sensorgestützte Mikroreaktoren: Moderne Methoden für die Multi-Analyt-Detektion in der Wasserstoffperoxid-Direktsynthese in mikrostrukturierten Reaktoren

Laura L. Trinkies¹, Moritz Döring², Sebastian Urban², M. Kraut¹, A. Weltin², J. Kieninger², G. A. Urban², R. Dittmeyer¹

¹*Institut für Mikroverfahrenstechnik (IMVT), Karlsruher Institut für Technologie, Hermann-von-Helmholtz-Platz 1, 76344 Eggenstein-Leopoldshafen*

²*IMTEK – Institut für Mikrosystemtechnik, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Georges-Köhler-Allee 103, 79110 Freiburg*

Wasserstoffperoxid ist ein Oxidationsmittel mit vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten und hohem Zukunftspotential. Die Direktsynthese von H_2O_2 aus H_2 und O_2 in mikrostrukturierten Reaktoren ist ein vielversprechender Ansatz für eine dezentrale, wirtschaftliche und nachhaltige Synthese und somit ein weiterer Baustein auf dem Weg zur grünen Chemie der Zukunft.

Für die industrielle, sichere Umsetzung des Verfahrens sind die Überwachung und Kontrolle der Reaktoren hierbei von großem Interesse. Durch den Einsatz miniaturisierter Sensoren zur orts- und zeitaufgelösten Messung der Konzentrationsverteilung im System kann die Reaktion in Verbindung mit einer leistungsfähigen Signal- und Datenverarbeitung und geeigneten Prozessmodellen außerdem nahe am physikalisch-chemischen Optimum sicher durchgeführt werden. Der hierfür eigens entwickelte mikrostrukturierte und 3D-gedruckte Reaktor lässt sich durch sein Design modular an die Prozessbedingungen anpassen und ist durch seine Eignung für die additive Fertigung kostengünstig vervielfältigbar.

Wasserstoffperoxid, gelöster Wasserstoff und gelöster Sauerstoff können prinzipiell alle durch direkte amperometrische Detektion gemessen werden, bei der die Analyten an auf ein entsprechendes Potential polarisierten Platinelektroden umgesetzt werden. Die größte Herausforderung bei der Entwicklung selektiver Sensoren sind die sich überlappenden Potentialbereiche, in denen die elektrochemischen Prozesse ablaufen. Wasserstoff und Wasserstoffperoxid können oxidiert, Sauerstoff und Wasserstoffperoxid können reduziert werden. Durch die Entwicklung einer neuartigen elektrochemischen Sensormethode konnte das bisher hierbei auftretende Problem der überlappenden Potentialbereiche gelöst werden, indem bei mehreren Potentialen gemessen und Querempfindlichkeiten berücksichtigt werden. Dies ermöglicht schließlich die Gewinnung hochselektiver Signale in Gegenwart aller Analyten.

Durch die im Reaktor integrierten elektrochemischen Sensoren und die Implementierung eines entsprechenden Modells soll nun die Grundlage für eine modellbasierte Optimierung des Synthesebetriebs realisiert werden. Das Reaktorkonzept bietet die Möglichkeit einer Nachsättigung des Reaktionsstromes mit den Edukten. Durch die lokale Messung der Komponenten kann diese Nachsättigung zielgenau gesteuert werden und die Produktkonzentration weiter optimiert werden.

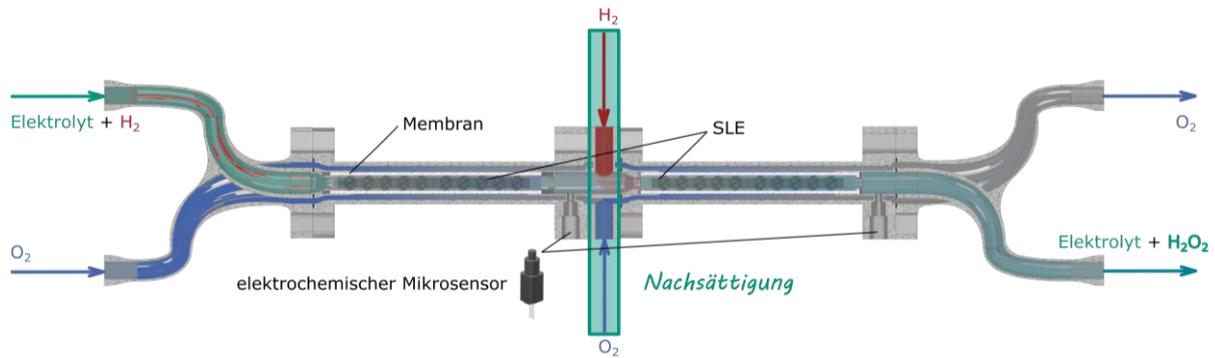


Abbildung 1: Schematische Darstellung des additiv fertigen Reaktordesigns für die Direktsynthese von Wasserstoffperoxid. Dem mit Wasserstoff vorgesättigten Lösungsmittel wird über eine Membran Sauerstoff zugeführt. Am über Kanaleinbauten („Strömungsleitenelement“, SLE) eingebrachten Edelmetall-Katalysator kommt es dann zur Reaktion. Über die eingebauten Sensoren kann der Reaktionsverlauf überwacht und später über die Anpassung der Gaszufuhr an den Nachsättigungsstellen gesteuert werden.



Abbildung 2: Foto des additiv gefertigten, geöffneten Reaktors und eines SLEs im Vordergrund. Der Reaktor wurde mittels selektiven Laserschmelzens aus Edelstahlpulver (SS 316L) hergestellt (ReaLizer SLM125, Germany).

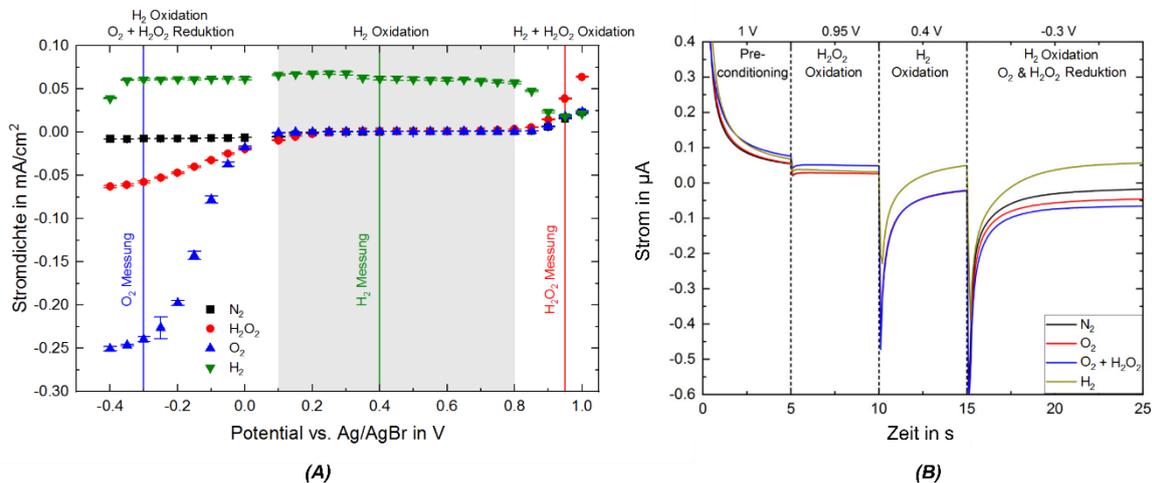


Abbildung 3: (A) Untersuchung möglicher Arbeitspotentiale durch chronoamperometrische Messungen. Es werden Potentialbereiche für die verschiedenen Analytreaktionen identifiziert und die Messpotentiale des abgeleiteten Protokolls angegeben. (B) Stromantwort eines Scandurchlaufs des entwickelten, mehrstufigen chronoamperometrischen Sensorprotokolls der verschiedenen im Lösungsmittel vorhandenen Analyten. In vier chronoamperometrischen Schritten werden vier unterschiedliche Potentiale angelegt: $E_{\text{PtO}} = 1 \text{ V}$ für die PtO-Bildung, $E_{\text{H}_2\text{O}_2} = 0,95 \text{ V}$ für die anodische Messung von H_2O_2 , $E_{\text{H}_2} = 0,4 \text{ V}$ für die anodische Messung von H_2 und $E_{\text{O}_2} = -0,3 \text{ V}$ für die kathodische Messung von O_2 nach Subtraktion der berechneten Signale von H_2 und H_2O_2 [1].

Literatur

- [1] S. Urban, B. J. Deschner, L. L. Trinkies, J. Kieninger, M. Kraut, R. Dittmeyer, G. A. Urban, A. Weltin, *ACS sensors* **2021**, 6 (4), 1583–1594. DOI: 10.1021/acssensors.0c02509.

Tritiummesstechnik und Wasserstofftechnologie am Tritiumlabor Karlsruhe

R. Größle, F. Priester, M. Röllig, M. Schlösser

KIT-Institute for Astroparticle Physics - Tritium Laboratory Karlsruhe

Die Tritium- und Wasserstoffanalytik gewinnt gegenwärtig immer mehr an Bedeutung, zum einen für die Energiewende und zum anderen in der Grundlagenforschung. In der Energiewende spielt insbesondere flüssiger Wasserstoff eine wichtige Rolle für die Energiespeicherung und deren Transport aber auch Deuterium und Tritium als Brennstoff in Fusionskraftwerken. In der Grundlagenforschung sind Wasserstoff und seine Isotopologe ideale, weil einfache, Modellsysteme um quantenmechanische Theorien und deren Auswirkung bis hin zu makroskopischen Größen wie bspw. Wärmekapazität und Schallgeschwindigkeit mit höchster Genauigkeit zu untersuchen. Tritium wiederum wird vor allem wegen seiner Eigenschaft als niederenergetischer Betastrahler geschätzt. Hochpräzisionsexperimente wie KATRIN messen mithilfe von Tritium Eigenschaften fundamentaler Teilchen wie die Masse der Neutrinos und sind aktueller Forschungsgegenstand.

Das Tritiumlabor Karlsruhe (TLK) betreibt seit ca. 25 Jahren einen geschlossenen Tritiumkreislauf. Ursprünglich geplant zur Demonstration der Machbarkeit für zukünftige Fusionsreaktoren wurde dieser geschlossene Kreislauf zu einem Schlüssel für die Grundlagenforschung. So wird die Tritiumquelle des Neutrinomassenexperiments KATRIN mit einem Tritiumdurchsatz von 40 g/Tag am TLK betrieben. Um den besonderen Anforderungen beim Umgang mit einer radioaktiven Substanz gerecht zu werden wurde eine Vielzahl von Nachweismethoden für Tritium in fester, flüssiger und gasförmiger Phase entwickelt.

Daneben entstand durch die Handhabung von Tritium - des radioaktiven Isotop von Wasserstoff - ein tieferes Verständnis was allgemein die sichere Handhabung von Wasserstoff betrifft sowie einer Vielzahl grundlegender physikalischer Eigenschaften, welche besonders für die zukünftige Verwendung von Wasserstoff als „grüner Energieträger“ von Interesse sein können.

Im Folgenden sollen daher exemplarisch jüngere Entwicklungen am TLK mit Bezug auf Wasserstofftechnologie und dem Nachweis von ionisierender Strahlung vorgestellt werden.

IR Spektroskopie an kryogenen Wasserstoffisotopen

Für den Betrieb eines geschlossenen Tritiumkreislaufes wird neben anderen Prozessen immer eine Isotopenseparation benötigt. Das TLK hat derzeit für diesen Zweck zwei Systeme. Für Infrastrukturaufgaben kommt ein System, basierend auf *Displacement Gas Chromatography*, zum Einsatz. Für Forschung&Entwicklung im Bereich der Isotopenseparation wird eine kryogene Destillation (CD) verwendet [1]. Hierbei werden die Unterschiede in den Siedepunkten und Siededrücker der sechs Wasserstoffisotopologe (H₂, D₂, T₂, HD, HT, DT) ausgenutzt. Die am TLK betriebene Anlage kann hierbei im Bereich von ca. 20...25 K und Drücken bis 8 Bar arbeiten.

Neben der Entwicklung der Isotopentrennung kann diese Anlage auch genutzt werden um beispielsweise HD jenseits des chemischen Gleichgewichts anzureichern. Zudem erlaubt die Anlage die deutlich schwerer zu trennenden ortho-para Isomere der homonuklearen Moleküle (H₂, D₂, theoretisch auch T₂) zu trennen und jeweils in makroskopischen Mengen (> 100 bar liter) zur Verfügung zu stellen. Dabei handelt es

sich um sehr wertvolle Untersuchungsobjekte für Forschung im Bereich der Thermodynamik, sowie optischen und anderen, grundlegenden Eigenschaften von Wasserstoffisotopologen in allen drei Aggregatzuständen.

Zur Überwachung des Prozesses der kryogenen Destillation wird ein handelsübliches Infrarot (IR) Spektroskopiesystem verwendet, mit welchem alle sechs Wasserstoffisotopologe gleichzeitig in der flüssigen Phase überwacht werden können [2,3,4]. Das besondere Know-How des TLKs liegt hier in der komplexen Interpretation der IR Absorptionsspektren. Für den direkten Vergleich und die Querkalibrierung sind das Tritium Absorption IR (TApIR) Experiment, ein Massenspektrometer sowie ein Raman-Spektroskopiesystem für Gase angeschlossen. Eine Weiterentwicklung, das TApIR2 Experiment zur Untersuchung von Tritium im Gramm-Maßstab, wird folgen [5,6]. Durch die Kombination dieser Systeme werden Untersuchungen an kalten Isotopologen und Isomeren (H_2 , HD, HT, D_2 , DT and T_2) hinsichtlich Austausch- und Konversionsraten, Separationsvermögen sowie grundlegenden Eigenschaften (z.B. molekulare Dimere) möglich. Weiterhin können systematische Untersuchungen für die Tritiumquelle von KATRIN durchgeführt werden, welche mit reinem (>95%) Tritium im Temperaturbereich zwischen 30-100 K betrieben wird.

Die Verfügbarkeit dieser im Rahmen des KATRIN Experiments und der Fusionsforschung entwickelten analytischen Systeme ist außerdem der Schlüssel für zukünftige Forschung Bereich der Wasserstofftechnologie, welche einer der Hauptkandidaten für eine CO_2 -neutrale Energieform darstellt. So ist z.B. die katalytische ortho-para-Konversion ein energiekritischer Prozess bei der Wasserstoffverflüssigung [7]. Mit Raman und IR Spektroskopie ist es möglich diese Konversion in-situ in der Flüssig- sowie der Gasphase zu verfolgen und die Reaktionskinetik genauer zu untersuchen um daraus effizientere Prozesse zu entwickeln.

Das TLK verfügt somit über die notwendige Infrastruktur, das Wissen und die Werkzeuge welche notwendig sind für die sichere Durchführung und den Erfolg von Experimenten an der Grenze des momentan machbaren mit Tritium, aber auch für zukünftige „grüne Technologieentwicklung“ mit Wasserstoff.

Raman-Spektroskopie

Laser-Raman-Spektroskopie ist eine vielseitige Technik zur Bestimmung der Zusammensetzung von festen, flüssigen und gasförmigen Proben in einer Vielzahl von Anwendungen. Zur Untersuchung von radioaktiven oder anderweitig gefährlichen Proben ist die Raman-Spektroskopie im Besonderen interessant, da sie eine verlässliche und kontaktfreie qualitative und quantitative in-situ Analyse ermöglicht. Dabei können wesentliche Komponenten wie Laser und Spektrometersysteme entfernt von der eigentlichen Messzelle und somit außerhalb eines potentiell gefährlichen Bereichs aufgestellt werden. Dies ermöglicht eine einfache Bedienung und Wartung dieser Komponenten und schützt das Bedienpersonal.

Die Hauptanwendung der Ramanspektroskopie am TLK liegt in der Bestimmung der Zusammensetzung von zirkulierenden Gasen (H_2 , HD, HT, D_2 , DT and T_2) im Bereich von 1...1000 mbar. Verwendung findet dabei ein 4 W Laser (532 nm), ein auf $-75^\circ C$ gekühlter Detektor und ein Spektrometer mit großer Apertur. Dadurch kann in einer Messzeit < 1 Minute eine Präzision von $\approx 10^{-3}$ erreicht werden (bei 100 mbar

Probendruck) [8]. Die Steuerung des Lasers, Datenaufnahme und -vorverarbeitung sowie die quantitative Analyse der Zusammensetzung aus dem Ramanspektrum werden durch eine voll automatisierte, eigenentwickelte Software erledigt [9]. Das System kann dabei flexibel eingesetzt werden, von der Einzelmessung an statischen Gasproben bis hin zu einem mehrmonatigen 24/7 Betrieb beim Karlsruhe Tritium Neutrino Experiment (KATRIN) [8].

Die notwendige Kalibrierung des kompletten Systems mit einer Unsicherheit von ca. 1% erfolgt gegen ein sog. „Standard Referenz Material“ (SRM2242), bereitgestellt durch das National Institute of Standards and Technologies (NIST) [10,11,12].

Vier der hier beschriebenen Ramansysteme befinden sich im Routinebetrieb zur Gasanalyse im TLK. Aktuell wird die Anwendung ausgedehnt zur Messung an Flüssigwasserstoffisotopen bei kryogenen Temperaturen. Außerdem wurde am TLK ein konfokales Ramanmikroskop zur Untersuchung von tritiierten Oberflächen aufgebaut. Daneben entwickeln wir derzeit ein kompaktes und hochintegriertes Ramansystem welches die momentane Freistrahloptik komplett durch Glasfaserkopplung ersetzt. Dadurch wird ein hohes Maß an Robustheit gegenüber Umwelteinflüssen erzielt, was das System zur perfekten Wahl für industrielle Anwendungen macht.

Aktivitätsmessung in flüssiger Phase (TRAMPEL)

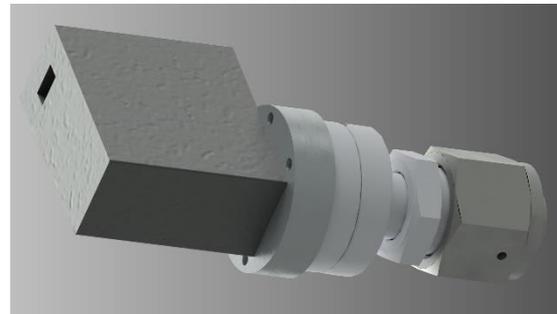
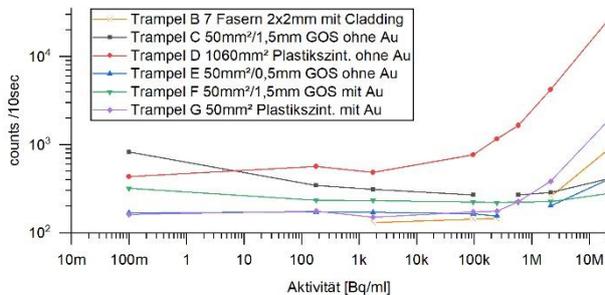
Die Bestimmung der Tritiumaktivität in Wasser ist von Bedeutung in verschiedenen Disziplinen welche i.d.R. unterschiedliche Anforderungen bzgl. unterer Nachweisgrenze, Messbereich, Wiederholbarkeit etc. haben. Die aktuell sensitivste Methode ist das *Liquid Scintillation Counting* (LSC) wo die flüssige Probe mit Szintillatorflüssigkeit vermischt und mittels Photomultiplier gemessen wird. Hierbei entsteht jedoch kontaminierter Abfall und die Methode kann nicht online/inline in einem Prozess eingesetzt werden.

Am TLK entsteht z.B. tritiiertes Wasser (HTO) hauptsächlich durch die kontinuierliche Reinigung der Atmosphäre der Handschuhboxen, welche die Primärsystem als 2. Barriere umschließen. Dort wird Tritium auf Molekularsieben zu HTO oxidiert, welches anschließend bei der Regeneration der Molekularsiebe aufgefangen wird. Dieses Wasser (HTO) besitzt üblicherweise eine Aktivität im Bereich von $10^5 \dots 10^7$ MBq/ml.

Um dieses HTO in Zukunft direkt in der Prozessanlage messen zu können haben wir am TLK ein kompaktes System (ca. 0,3 l Volumen) entwickelt, TRAMPEL (**TR**itium **A**ctivity **M**easurement with a **P**hotomultiplier in **L**iquids) [13,14]. TRAMPEL verwendet ebenfalls einen hochsensitiven Photomultiplier, kombiniert diesen jedoch mit festen Szintillatoren welche sich nicht mit der zu messenden Flüssigkeit vermischen. Somit entsteht kein kontaminierter Abfall.

Nachdem eine breite Vielfalt an szintillierenden Materialien untersucht wurde (Stufenindexfasern, stabförmige Szintillatoren unterschiedlicher Länge, keramische Szintillatoren - mit und ohne Goldbeschichtung zur Reduktion des „Memoryeffekts“) erreichten wir eine untere Nachweisgrenze von ca. $10^4 \dots 10^5$ Bq/ml und einen Messbereich von mehr als vier Größenordnungen. Durch Veränderung von Parametern wie dem Szintillatormaterial, der Verwendeten aktiven Oberfläche etc. kann ein maßgeschneidertes System konfiguriert werden; nicht nur zur Messung von

tritiiertem Wasser, sondern für praktisch alle Radioisotope (β - und γ -Emitter) in wässriger Lösung. Durch die Reduzierung auf eine einzelne 5 V Betriebsspannung (USB) ist das System einfach zu handhaben, die Verwendung eines Prozessinterfaces mit $\frac{1}{2}$ " Swagelok VCR Anschluss macht es mechanisch kompatibel zu einer Vielzahl von Prozessen. Die kompakte Bauweise und die vergleichsweise geringen Kosten machen TRAMPEL zu einem wertvollen Werkzeug, welches zukünftig in der Laborroutine am TLK eingebunden wird.



Links: Vergleich verschiedener szintillierten Materialien und Geometrie bzgl. der Photonen ausbeute und Nachweisgrenze. Rechts: Ansicht des CAD Modells welche die komplette, ca. 12 cm lange TRAMPEL Messzelle mit Photomultiplier zeigt.

Aktivitätsmessung durch β -induzierte Röntgenspektrometrie (BIXS)

Beta induzierte Röntgenspektrometrie (BIXS) ist eine Methode zur Überwachung der Tritiumaktivität welche für eine Vielzahl von Anwendungen angepasst werden kann. Diese schließen die Aktivitätsmessung auf oder in Festkörpern, Flüssigkeiten und Gasen mit ein ohne dass die BIXS Methode eine aufwändige Probennahme erfordert. Die eigentliche Messzelle ist üblicherweise ganzmetallisch aufgebaut, so dass es zu keinen Problemen bei radioaktiven oder sonst gefährliche Stoffen kommt. BIXS Systeme können kompakt gebaut werden, sind vergleichsweise günstig und robust gegen externe Einflüsse wie bspw. Temperaturschwankungen oder Vibrationen. Nach initialer Kalibrierung mittels einer bekannten Gasprobe oder mittels Kalorimeter, können i.d.R. sämtliche Drifts der Elektronik anhand des Standard BIXS-Spektrums in-situ re-kalibriert werden.

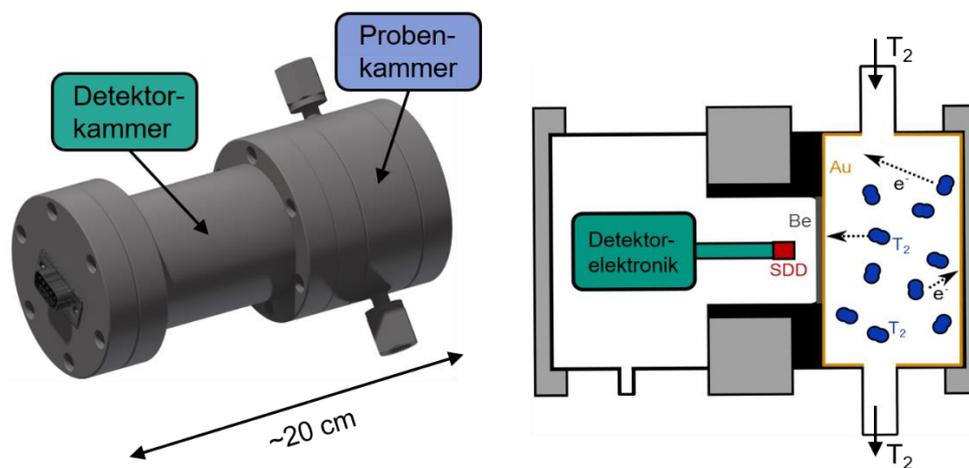
Aktivitätsüberwachung per BIXS wurde in einem Bereich zwischen 10^{-5} ...1000 mbar Tritiumpartialdruck erfolgreich demonstriert [15, 16, 17]. Dabei kann bei einer typischen Gasprobe von 100 mbar Tritium eine Präzision von 10^{-3} bereits nach ca. 20 Sekunden erreicht werden. Im Gegensatz zu Ionisationskammern werden Messungen der Aktivität mittels BIXS Methode unterhalb von 10 mbar nicht durch andere Gasspezies beeinflusst, was es zu einem wertvollen Werkzeug in der Bilanzierung macht.

BIXS Systeme können prinzipiell mit jeder Art Röntgendetektor konstruiert werden. Jedoch besitzen sogenannte Silizium-Driftdetektoren (SDD) die höchste Sensitivität bei gleichzeitig kompakter Bauform. SDD sind einfach zu betreibende, da Peltier gekühlte, Detektoren für Röntgenstrahlung welche ein sehr geringes intrinsisches Rauschen und eine hohe Energieauflösung besitzen. Im Gegensatz zu den eher „klassischen“ Detektoren (PIN Diode, HPGe-Detektor) besitzen SDD eine vergleichsweise große aktive Fläche von bis zu 150 mm².

Am TLK werden BIXS-Systeme regulär zur Überwachung von gasförmigem Tritium im Bereich von 1...1000 mbar eingesetzt [16, 17]. Durch spezialisierte Geometrien wird

eine Nachweisgrenze, für mit Tritium beladene Festkörperproben, im Bereich von Bruchteilen eines atomaren Monolayers möglich, was für Materialstudien im Bereich der Fusionsforschung interessant ist. Beim KATRIN Experiment sind zwei BIXS Systeme 24/7 seit dem ersten Tritiumbetrieb 2019 im Einsatz um die Aktivität/Stabilität der gasförmigen Tritiumquelle präzise zu überwachen [15]. Ein weiteres System bei KATRIN misst geringe Konzentrationen von Tritium in einem Argon/Helium Gasgemisch (typ. GBq/m³).

Jedes System wurde dabei für die jeweilige Aufgabe bzgl. Geometrie der Probenkammer und Messsignal durch Geant4-Monte-Carlo Simulationen optimiert [18]. Durch diese Simulationen kann die Leistungsfähigkeit eines Systems basierend auf geometrischen Faktoren, Arbeitspunkt und Art der Probe (fest/flüssig/gasförmig) genau vorausberechnet werden, aufwändiges „probieren“ entfällt somit. Es ist damit ebenfalls möglich den Einfluss von z.B. externen elektromagnetischen Feldern abzuschätzen.



Links: BIXS Messzelle mit Gaseinlass (1/4" Swagelok VCR) und Detektorkammer. Rechts: Schematischer Aufbau einer BIXS Messzelle. Der die Elektronen des β -Emitters erzeugen in einer Goldschicht (Au) Bremsstrahlung, deren Intensität proportional zur Anzahl ist, was eine Quantifizierung ermöglicht.

References

- [1] I. Cristescu et al. Review of the TLK Activities Related to Water Detritiation, Isotope Separation Based on Cryogenic Distillation and Development of Barriers Against Tritium Permeation Fusion Science and Technology 71 (2017), Nr. 3, S. 225-230
- [2] R. Größle et al. First calibration measurements of an FTIR absorption spectroscopy system for liquid hydrogen isotopologues for the isotope separation system of fusion power plants Fusion Science and Technology 67 (2015), Nr. 2, S. 357-360
- [3] R. Größle et al. First Calibration of an IR Absorption Spectroscopy System for the Measurement of H₂, D₂, and HD Concentration in the Liquid Phase Fusion Science and Technology 71 (2017), Nr. 3, S. 369-374
- [4] S. Mirz et al. Concentrated non-equilibrium HD for the cross-calibration of analytical systems for hydrogen isotopologues Fusion Science and Technology
- [5] S. Mirz et al. Design of a Spectroscopy Experiment for All Hydrogen Isotopologues in the Gaseous, Liquid, and Solid Phase Fusion Science and Technology 71 (2017), Nr. 3, S. 375-380
- [6] B. Krasch et al. Design of a cryostat for spectroscopic investigation of all hydrogen isotopologues in the solid, liquid and gaseous phase Fusion Science and Technology
- [7] Wilhelmssen, Øivind et al. Reducing the exergy destruction in the cryogenic heat exchangers of hydrogen liquefaction processes International Journal of Hydrogen Energy 43 (2018), Nr. 10, S 5033-5074

- [8] Aker, M. et al., G. Quantitative Long-Term Monitoring of the Circulating Gases in the KATRIN Experiment Using Raman Spectroscopy. *Sensors* **2020**, *20*, 4827. <https://doi.org/10.3390/s20174827>
- [9] James, T.M.; Schlösser, M.; Lewis, R.J.; Fischer, S.; Bornschein, B.; Telle, H.H. Automated quantitative spectroscopic analysis combining background subtraction, cosmic ray removal, and peak fitting. *Appl. Spectrosc.* **2013**, *67*, 949–959. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
- [10] Schlösser, M.; Rupp, S.; Brunst, T.; James, T.M. Relative intensity correction of Raman systems with National Institute of Standards and Technology Standard Reference Material 2242 in 90°-scattering geometry. *Appl. Spectrosc.* **2015**, *69*, 597–607. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
- [11] Schlösser, M.; Rupp, S.; Seitz, H.; Fischer, S.; Bornschein, B.; James, T.M.; Telle, H.H. Accurate calibration of the laser Raman system for the Karlsruhe Tritium Neutrino experiment. *J. Mol. Struct.* **2013**, *1044*, 61–66. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
- [12] Niemes, S; Telle, H.H.; Bornschein, B.; Fasselt, L.; Größe, R.; Priester, F.; Schlösser, M.; Sturm, M.; Welte, S.; Zeller, G; Accurate reference gas mixtures containing tritiated molecules: their production and Raman-based analysis, submitted to *Sensors*, 2021
- [13] F. Priester, Manuel Klein, TRitium Activity Measurements with a Photomultiplier in Liquids–The TRAMPEL experiment, *Fusion Engineering and Design*, Volumes 109–111, Part B, page 1356-1359 (2016)
- [14] F. Priester, A new Device for Activity Measurement of Tritiated Water, *Fusion Science and Technology*, 71:4, 600-604 (2016)
- [15] M. Babutzka et al. Monitoring of the operating parameters of the KATRIN Windowless Gaseous Tritium Source, *New Journal of Physics*, 14:10, (2012)
- [16] M. Röllig, S. Ebenhöch, S. Niemes, F. Priester, M. Sturm Development of a compact tritium activity monitor and first tritium measurements, *Fusion Eng. Des.*, 100 (2015), 177-180
- [17] S. Ebenhöch, S. Niemes, F. Priester, M. Röllig, Investigations of the applicability of a new accountability tool in a closed tritium loop, *Fusion Engineering and Design*, Volumes 109–111, Part B (2016), 1376-1379,
- [18] M. Röllig, B. Bornschein, S. Ebenhöch, F. Priester, Florian, Geant4 Monte Carlo simulations for sensitivity investigations of an experimental facility for the measurement of tritium surface contaminations by BIXS, *Fusion Eng. Des.*, 109 Part A (2016), 684-687

In-situ Gasanalytik und maßgeschneiderte Sensorik zur Erhöhung der Batteriesicherheit

M. Abert¹; S. Geiger¹; P. Rabenecker¹

¹*Fraunhofer Institut für chemische Technologie ICT; Joseph-von-Fraunhofer-Straße 7; 76327 Pfinztal-Berghausen, Deutschland*

Die wiederaufladbare Batterie stellt das Kernelement der aus ökologischer Sicht notwendigen Transformation der Mobilität und der stationären Energiespeicherung dar. Ihre Energiedichte kann z. B. direkt in erzielbare Reichweite von E-Fahrzeugen umgelegt werden. Leider geht bei der derzeitigen Lithium-Ionen-Technologie die Erhöhung der Energiedichte auch immer mit einer erhöhten Reaktivität und Heftigkeit der chemischen Reaktionen bei einem (ungewollten) Durchgehen der Batterien einher. Es ist davon auszugehen, dass alle am Markt befindlichen Elektroautos und andere größere Batteriesysteme (wie stationäre Speicher) sicher sind. Dennoch ist nicht auszuschließen, dass eine einzelne Batteriezelle in einen sicherheitskritischen Zustand gerät und durch eine Kettenreaktion (Zellpropagation) zur Gefahr für das ganze Batteriesystem oder sogar Personen wird. Eigensichere Lithium-Ionen-Batterien (LIB) sind derzeit ein Wunsch der Entwicklung, aber bislang noch lange nicht (nachgewiesener) Stand der Technik. Darüber hinaus sollen zukünftig neue Batteriematerialien die Energiespeicher umweltfreundlicher, sicherer, und langlebiger machen, sowie eine höhere Energiedichte erlauben.

Beispielsweise sind in heutigen Automobilen bereits eine Fülle von verschiedenen Sensoren verbaut, die v. a. der Erhöhung der Verkehrssicherheit, dem Schutz der Insassen oder auch dem Komfort der Passagiere dienen. Welche Art von Sensoren wären nun im Fall der Elektromobilität einzusetzen und von besonderem Nutzen? Ein großer Unterschied von Elektrofahrzeugen im Vergleich zu Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor ist die Antriebsbatterie. Sie ist - neben dem Elektromotor – das Herzstück von E-Fahrzeugen und bestimmt aufgrund der aktuellen Preise für Lithium-Ionen-Batterien auch zu einem großen Teil den Preis des Gesamtfahrzeuges. Neben der erzielbaren Reichweite spielt in der aktuellen Diskussion auch die Sicherheit von Elektrofahrzeugen eine wichtige Rolle. Diese drei Kriterien (Preis, Reichweite, Sicherheit) sind derzeit sicherlich die entscheidenden Faktoren für oder gegen die Anschaffung eines Elektrofahrzeugs. Dazu kommt meist noch die Frage der Lademöglichkeit vor Ort und unterwegs.

Die Elektromobilität kann derzeit als die treibende Kraft im großvolumigen Einsatz von LIB gesehen werden. Entsprechend hoch sind hier die Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten. Daneben gibt es noch den Massenmarkt der mobilen Endgeräte und Handwerker-/Gartengeräte, sowie der Consumer-Artikel mit einer oder wenigen Batteriezellen (z. B. elektrische Zahnbürsten). Letztere Geräte sind zahlenmäßig viel häufiger eingesetzt als Elektroautos, das Gefährdungspotenzial ist aber aufgrund der geringen Zellzahl und verbauten Kapazitäten aber eher als gering einzuschätzen - vorausgesetzt, dass Batteriebrände hier keine weitere Nahrung in Form von leichtentzündlichen Brandlasten finden. Bei den Akkus von e-Bikes kommt man jedoch langsam in Bereiche von hierin gespeicherter (elektrischer und chemischer) Energie, die bei einem Durchgehen einer Zelle und einer Zellpropagation (also dem Übergreifen des Durchgehens auf weitere Zellen) eine erhebliche

Schadwirkung auslösen können. Dieses gilt in ähnlicher Weise für elektrische Hausspeicher zur Speicherung von Solarenergie etc., die einen stetigen Zuwachs an installierten Einheiten verzeichnen.

Die Anforderungen an LIB und ihre Belastung sind dabei so vielfältig wie ihre Einsatzgebiete: Sie werden in mobilen und stationären Systemen, in zivilen wie im militärischen Bereich und zu Land, zu Wasser sowie in der Luft und Raumfahrt eingesetzt. Sie werden produziert, transportiert, gelagert, verwendet, evtl. sogar missbraucht und wieder recycelt. In allen diesen Bereichen sollen sie keine Gefahr für Mensch und Umwelt darstellen. Dies bedarf einer möglichst lückenlosen Überwachung des Zustandes der Zelle, des Moduls oder des gesamten Batteriepacks.

An diesem Punkt setzt ein Teil der Forschungsarbeit des Fraunhofer ICT an: Mit einer breit aufgestellten chemischen Analytik wird versucht, bereits bei der Entwicklung von neuen Zellchemien die ablaufenden Reaktionsmechanismen sowie die parasitären Nebenreaktionen beim Formieren sowie später beim Zyklieren der Testzellen aufzuklären. Ebenso werden die Alterungsmechanismen erforscht, die zu einem (frühzeitigem) Ausfall der Zellen führen. Hier hat sich v. a. die Gasanalytik in Form der Gaschromatographie und der Online-Massenspektrometrie als wertvolles Hilfsmittel erwiesen.

Die Durchführung von Abusetests auf Zell- und Modul-Level am Fraunhofer ICT gibt darüber hinaus einen Einblick in das Sicherheitsverhalten aktueller Batterien und erlaubt neben einer Risikobewertung auch Aussagen über ein adäquates Design z. B. des Moduls oder Batterielayouts, des Kühl- oder Abluftsystems. Dazu wurden Techniken zur Messung der Temperatur, des Gasdruckes, der freigesetzten Wärmeenergie und der qualitativen wie auch quantitativen Zusammensetzung der emittierten Gase am Fraunhofer ICT entwickelt. Neben der Gaschromatographie und der Online-Massenspektrometrie kommen hier weitere analytische Techniken wie z. B. die Fourier-Transformation Infrarot-Spektroskopie zum Einsatz. Relevante Ergebnisse sollen im Vortrag präsentiert werden.

Eine Initiative deutscher sowie europäischer Forschungseinrichtungen und Firmen zielte vor einiger Zeit auf die Entwicklung einer stark durch Sensorik geprägte Batteriezelle ab. Dadurch sollte zum einen der Technologievorsprung asiatischer Länder im Bereich der Batteriematerialien aufgeholt und zum anderen ein Mehrwert in Form integrierter Sensorik geschaffen werden, um eventuelle Preisunterschiede wettzumachen. Diese Anstrengungen mündeten leider bis heute in kein kommerziell verfügbares Produkt. Aber bereits im Verbundprojekt SafeBatt wurden vor einigen Jahren erste Schritte zur Entwicklung zellinterner als auch zellexterner Sensorik durchgeführt. Hierbei zeigte sich bereits die Notwendigkeit, sehr konkrete Kenntnisse über die zellintern ablaufenden Prozesse zu erlangen, um hieraus entsprechende Anforderungen an die Sensorik ableiten zu können. Die vorhandenen, wie auch die zusätzlich zellintern gebildeten chemischen Komponenten (organische Lösemittel, fluorhaltige Komponenten wie HF) stellen dabei eine große Herausforderung an die Entwicklung und Standfestigkeit zellinternen (chemischer) Sensoren dar. Die Anwendung von chemischen Sensoren ist deshalb auch eher in einer zellexternen Überwachung zu sehen. Hier gibt es vielfältige Anwendungsmöglichkeiten in der Produktion, dem Transport, der Lagerung und der Anwendung von LIB.

Die Frage einer möglichen sensorischen Überwachung einer Batteriezellproduktion ist aktuell für den Aufbau der Forschungsfabrik Batterie (FFB) zu beantworten. In ihr erfolgt die Bereitstellung und Erprobung von produktionstechnischen Werkzeugen für eine fortschrittliche Batterieproduktion in Deutschland. Das bereits vorhandene Knowhow deutscher Firmen im Werkzeug-, Maschinenbau und in der Zellfertigung soll gezielt mit den neuesten wissenschaftlichen Erkenntnissen kombiniert und der Industrie zur Verfügung gestellt werden. Fertigungsbegleitende Analytik und Sensorik zur Qualitätsüberwachung werden hier ebenfalls untersucht.

Aber auch die sensorische Überwachung von Batterielagern, Transportbehältern, Elektrofahrzeugen oder stationären Speichern wären wichtige Anwendungsfelder. Die Fragen variieren je nach Anwendung in ihrer Gewichtung, bleiben aber im Grunde immer dieselben:

Welche Selektivität eines Sensors ist notwendig?

Welche Sensitivität?

Welche Standzeit (Ausfallsicherheit, Drift, etc.)?

Was darf ein Sensor kosten?

Wie wird er in das (Überwachungs-)System eingebunden?

Der Vortrag soll hier Einsatzmöglichkeiten für (chemische) Sensoren in der Überwachung von Lithium-Ionen-Batterien aufzeigen und auf Basis der bereits erzielten Ergebnisse zu einer angeregten Diskussion mit dem Auditorium sowie zu Lösungswegen und ggf. zu zukünftigen Forschungspartnerschaften führen.

Very Sensitive Tar Monitoring in Syngas Streams by Estimation of Oxygen Demand – A Preliminary Study

Binayak Ojha¹⁾, Stefan Turad²⁾, Joachim Jochum²⁾ and Heinz Kohler¹⁾

¹⁾ *Institute for Sensor and Information Systems (ISIS), Karlsruhe University of Applied Sciences, Moltkestr. 30, D-76133 Karlsruhe (Germany)*

²⁾ *Offenburg University of Applied Sciences, Badstr. 24, D-77652 Offenburg (Germany).*

Motivation

Thermochemical conversion of biomass to syngas by gasification of biological wastes like food or wood residuals gains more and more importance for energy supply because this kind of fuel is sustainable and generally available on demand. The syngas is composed of fuel components like CO, CH₄, H₂ and light hydrocarbons, but also contains undesired components like particulate matter and particularly tar. The latter constituents represent a complex mixture of aromatic compounds like toluene, phenol or naphthalene, which vary in relative fractions and absolute concentrations related to the composition of the biomass and the actual quality of the gasification process.

Tar content in the raw syngas leads to complications like tar deposition on the walls and clogging of pipes in the equipment of the associated processes as e.g. generation of electric energy driven by combustion motors which use syngas as the fuel. The continuous monitoring of the tar in the syngas even at low concentrations is, therefore, of major importance to enable installation of a feedback operation control of the gasifying process and achieve minimization of the tar content. Analysis of tar in syngas is well established, but for continuous monitoring in the past only expensive analysis methods like FTIR, NMR and GC/MS were published [1]. Also, tar analysis by LED induced fluorescence spectroscopy was reported in [2], but preliminary tests were conducted in the liquid phase at relatively high concentrations of phenol (8-10%). Recently, online monitoring of the tar concentration in producer syngas by use of a photo ionization detector (PID) [3] or a flame ionization detector (FID) [4] was described. In the latter concept the FID difference signal based on the syngas stream without and with condensation of the tar (cooled filter at 20°C-100°C) represents the tar concentration. This concept of tar analysis seems to be quite accurate for tar concentrations higher than 5g/m³. But, this is definitely not sensitive enough for most applications mentioned above. PID promises to enable tar component detection and to be more sensitive. However, the robustness of this analysis method suffers severely on condensation of molecules with high boiling points [3] and probably of particulate matter on the excitation chamber windows of the PID. This needs automated, repeated cleaning of the windows if continuous monitoring is necessary to gain enough long-term stability.

New concept of more sensitive tar-monitoring in syngas

In this paper a new novel concept of continuous tar monitoring in syngas is presented. The setup for evaluation in the laboratory is schematically given in Fig.1a. It allows accurate measurements of toluene (used as a model tar) even below 1000ppm. The

sensing principle is based on the estimation of the residual oxygen demand for tar combustion.

First, a very small flow (e.g. 9l/h) of the hot syngas stream is extracted from the gasifier and dosed with synthetic air to adjust stoichiometric combustion conditions ($\lambda=1$) by use of an electronic mass flow controller (MFC) operated in a feedback loop with the signal of a wide band high-temperature Pt/8YSZ/Pt - oxygen sensor (LSU 4.9, Bosch GmbH). In the second step this synthetic air flow is kept constant, but now the syngas is lead over a condensation unit ($T=-32^{\circ}\text{C}$) and again conducted to the oxygen sensor. Now the sensor provides a signal (coulometric current I_p) proportional to the excess oxygen concentration measured after tar condensation ($\lambda>1$). The difference signal $\Delta I_p = I_p(\lambda>1) - I_p(\lambda=1)$ represents the excess oxygen concentration after tar condensation which is directly related to the oxygen demand for tar oxidation.

Discussion and outlook

Of course, this method of tar monitoring does not provide an analysis of the tar content because the measured oxygen demand depends on the tar concentration and on the specific mixture of aromatic compounds forming the tar. In addition, even at a condensation temperature of approximately -32°C volatile components like toluene, which is one of the major constituents of tar, according to Clausius-Clapeyron equation can only be condensated to a residual saturation concentration of about 800 ppm (Fig. 1b), which corresponds to a concentration of about $3\text{g}/\text{m}^3$ (25°C). This means, at this condensation temperature other important components of tar with higher evaporation enthalpies like naphthalene or phenol will be estimated down to a much lower sensitivity limit. To investigate this aspect, in the next step this novel procedure of tar monitoring was experimentally evaluated with naphthalene as the model tar. The results demonstrated the very good sensitivity and long-term stability of this monitoring concept. A clear signal was recorded even at a very low naphthalene concentration ($14\text{ppm}/74\text{mgm}^{-3}$). This sensitivity limit is comparable with the most sensitive tar detection methods published until now [3], but the oxygen sensor used for estimation of the oxygen demand by tar oxidation is well known for its excellent robustness in harsh exhaust gas environments [5].

For field monitoring of tar in hot syngas of a wood-chip fed gasifier the setup in Fig. 1a had to be modified. A special method of small hot syngas stream extraction was developed by use of a Laval Nozzle. Preliminary results from those experiments in the laboratory and in field tests with the gasifier will be presented and limits of detection in context with some technical advantages/restrains will be discussed.

Acknowledgement

This work is part of the EBIPREP collaboration project (www.ebiprep.eu) financed by the EU International Programme INTERREG V Oberrhein 2017-2020.

References

- [1] Rudy Michel, Sergio Rapagnà, Philippe Burg, Giuseppe Mazziotti di Celso, Claire Courson, Thierry Zimny, René Gruber; Steam gasification of Miscanthus X Giganteus with olivine as catalyst production of syngas and analysis of tars (IR, NMR and GC/MS) Biomass & Bioenergy 35 (2011) 2650
- [2] Sean Capper, Zakir Khan, Prashant Kamble, James Sharp, Ian Watson; Progression towards online tar detection systems, Energy procedia 142 (2017) 892
- [3] Mozhgan Ahmadi, Harrie Knoef, Bert Van de Beld, Truls Liliedahl, Klas Engvall; Development of a PID based on-line tar measurement method – Proof of concept, Fuel 113 (2013) 113
- [4] A. Gredinger, R. Spörl and G. Scheffknecht; Comparative measurements of tar concentrations in gasification systems between an online method and the tar protocol; Proceedings 24th European Biomass Conference and Exhibition, 6.-9. June 2016, Amsterdam, p. 466
- [5] Thorsten Baunach, Katharina Schänzlin und Lothar Diehl; Sauberes Abgas durch Keramiksensoren, Physik Journal 5 (2006) 33-38

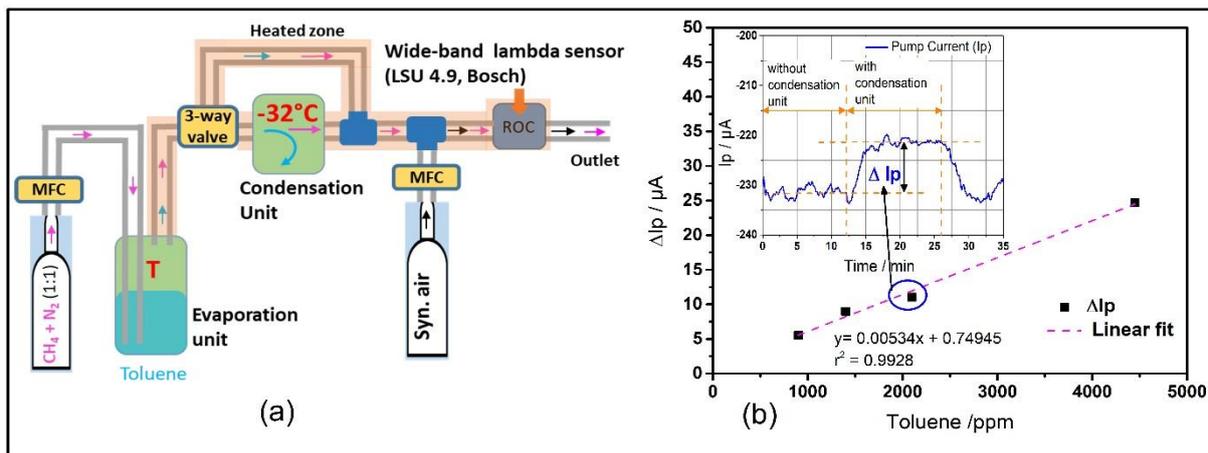


Figure 1: (a) Lab setup for estimation of toluene (model tar). (b) Dependency of ΔI_p on toluene concentration. Inset: Sensor signal of LSU 4.9 (I_p) achieved at stoichiometric ($\lambda=1$, without condensation) and excess oxygen ($\lambda>1$, with condensation) conditions.

Entwicklung und Verifizierung eines Algorithmus zur Emissionsgradkorrektur bei Pyrometermessungen

Prof. Dr. Denise Reichel

Steinbeis-Transferzentrum für Sensorik und Informationssysteme
SRH Hochschule Heidelberg

Email: denise.reichel@sensin.eu
denise.reichel@srh.de

Extended Abstract

Sensorik für kontaktlose Temperaturmessung ist unverzichtbar für Anwendungen, bei denen entweder die äußeren Bedingungen keinen Kontakt zulassen oder aber auch die Anforderungen an die Reinheit des Materials eine Berührung ausschließen. Ersteres kann z.B. rotierende Körper, letzteres etwa Materialien der Mikroelektronik betreffen. Zu diesem Zweck werden Messgeräte (Pyrometer) verwendet, die die thermische Strahlung der Materialien kontaktlos erfassen. Pyrometer messen die von jedem Körper aufgrund seiner Temperatur ausgesandte Strahlung über das gesamte Spektrum (Breitbandpyrometer) oder in einem Teil dessen (Spektralpyrometer), der sich aus Gründen der Detektionsempfindlichkeit für die Temperaturspanne 0 °C bis 3000 °C oft zwischen dem Visuellen und dem mittleren Infrarot befindet. Dafür ist allerdings die Kenntnis des meist unbekanntem Emissionsgrades ε , also des Abstrahlverhaltens des Materials, notwendig. Diese dimensionslose Größe ist durch den Anteil an thermischer Strahlung definiert, den ein realer Körper gegenüber einem schwarzen Körper abgibt und ist wellenlängen-, temperatur-, winkel-, oberflächen- und materialabhängig. Ohne die Kenntnis des Emissionsgrades bleibt es eine Messung der Intensität der vom betrachteten Körper ausgesandten Strahlung und nicht der Temperatur.

Der Emissionsgrad lässt sich experimentell u.a. durch eine geeignete Auswertung der Messsignale mindestens zweier Detektoren unterschiedlicher spektraler Empfindlichkeit iterativ bestimmen. Diese Voraussetzungen erfüllt unter anderem ein Quotientenpyrometer (ratio pyrometer). Hierbei werden zwei – am besten sehr schmale und sehr eng beieinander liegende – Spektrallinien der ausgesandten thermischen Strahlung detektiert und der Quotient $F_{ratio}^{1,2}(T)$ aus den Intensitäten M_1 und M_2 gebildet. Dies geschieht, um z.B. die Temperatur von Objekten mit kleinerem Durchmesser als der Messfleck des Pyrometers oder auch von solchen, die durch eine Rauchwolke verdeckt werden, zu bestimmen. [1,2]

Bei vollständiger Messfeldausfüllung und ohne jegliche Abschattung der Messstelle hingegen kann ein Quotientenpyrometer aber auch dazu dienen, den Emissionsgrad der zu messenden Oberfläche und damit ihre wahre Temperatur T zu bestimmen. Allerdings werden bei allen bisherigen aus der Literatur bekannten Ansätzen zusätzliche Modelle oder weitere Kenngrößen aus der Literatur für die Bestimmung des Emissionsgrades herangezogen. [3,4,5]

Es konnte allerdings gezeigt werden, dass auch einzig aus den gemessenen Größen bei Verwendung eines Quotientenpyrometers die Temperatur der Messstelle ermittelt werden kann, solange sichergestellt ist, dass alle beteiligten Detektoren (hier: 1 und 2) auf exakt dieselbe Messstelle schauen [6]. Dann muss auch die gemessene

thermische Strahlung $M(T)$ bei beiden übereinstimmen. Mathematisch stellt sich dies wie folgt dar, wobei M_{BB} die Intensität eines Schwarzkörperstrahlers (Black Body) beschreibt:

$$I \quad \varepsilon_1 M_{BB}^1(T) = M_1(T)$$

$$II \quad \varepsilon_2 M_{BB}^2(T) = M_2(T)$$

$$III \quad \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1} F_{ratio}^{1,2}(T) = \frac{M_{BB}^1(T)}{M_{BB}^2(T)}$$

Es gilt nach dem Planck'schen Strahlungsgesetz:

$$M_{bb}^\lambda = \frac{8\pi hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{\exp(hc/\lambda k_B T) - 1}$$

Für das Lösungspaar $\{\varepsilon_1; \varepsilon_2\}$ ergibt Gleichung III eine wahre Aussage. Hat man bereits Anhaltswerte für die gesuchten Emissionsgrade, so kann man diese durch iteratives Vorgehen $\{\varepsilon_1; \varepsilon_2\}$ weiter annähern (vgl. Abbildung 1). Ausgangspunkt bildet eine Annahme für ε_1 , womit sich unter Zuhilfenahme der Messgröße M_1 M_{BB}^1 bestimmen lässt. Damit erhält man gleichfalls M_{BB}^2 und mit der zweiten Messgröße M_2 schließlich ε_2 . Entspricht der sich daraus ergebende Quotient nicht (!) $F_{QP}^{1,2}$, muss die Annahme geändert werden. Sind keine Vorkenntnisse über das Material vorhanden, kann alternativ eine Matrix aus den Indizes ε_1 und ε_2 erstellt werden, deren Elemente aus der Temperaturabweichung ΔT bestehen, die sich zwischen Quotiententemperatur und der der Einkanäle 1 und 2 ergibt, solange $\{\varepsilon_1; \varepsilon_2\}$ noch nicht gefunden wurde. In Abhängigkeit von der Genauigkeit und dem Rauschen der Messung sowie der gewählten Toleranz κ erhält man das Lösungspaar, für welches $\Delta T < \kappa$ gilt.

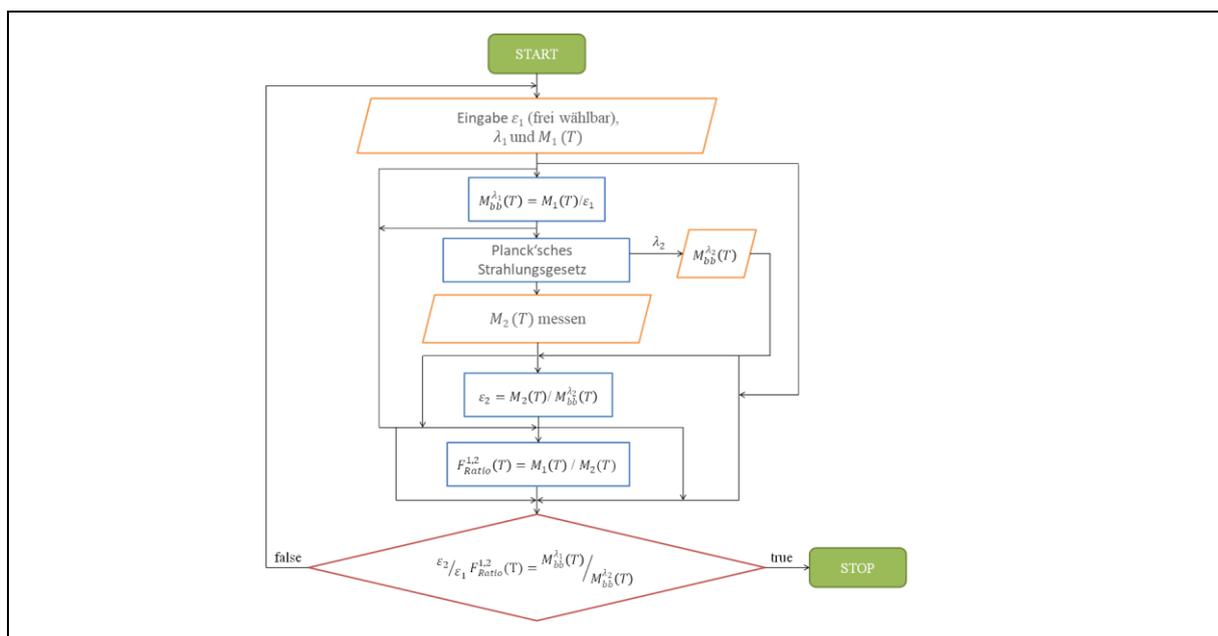


Abbildung 1: Programmablaufplan zur iterativen Bestimmung des Emissionsgrades

Die Ergebnisse der Arbeit zeigen, dass mit einem Fehler $< 8 K$ bei einer imaginären Messtemperatur von $1100 K$ auch unter Berücksichtigung realer Messeinflüsse die

wahre Temperatur ermitteln werden kann [6]. Einbezogen wurden der relative und absolute Wert des Emissionsgrades selbst, gerätespezifische Messfehler von 25 K und 100 K sowie Detektionswellenlängen λ von 1 μm , 2 μm und 4 μm .

Mit der Wellenlänge und der Emissivität steigende Abweichungen zwischen tatsächlichem und abgeleitetem Emissionsgrad waren nach dem Planck'schen Strahlungsgesetz zu erwarten. Ein signifikanter Einfluss des Emissionsgradverhältnisses auf den Fehler der Simulation konnte nicht festgestellt werden.

Literatur

- [1] Gibson, A. F.: A two-colour infra-red radiation pyrometer. *Journal of Scientific Instruments* **28**(5), 153 (1951)
- [2] Araújo, A.: Multi-spectral pyrometry – a review. *Journal of Measurement Science and Technology* **28**, 082002 (2017)
DOI: <https://doi.org/10.1088/1361-6501/aa7b4b>
- [3] Madura, H., Piatkowski, T.: Emissivity compensation algorithms in double-band pyrometry. *Journal of Infrared Physics and Technology* **46**(1-2), 185-189 (2004)
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.infrared.2004.03.024>
- [4] Müller, B., Renz, U.: Development of a fast fiber-optic two-color pyrometer for the temperature measurement of surfaces with varying emissivities. *Review of Scientific Instruments* **72**, 3366 (2001)
DOI: <https://doi.org/10.1063/1.1384448>
- [5] Muller, M. Fabbro, R.: Temperature measurement of laser heated metals in highly oxidizing environment using 2D single-band and spectral pyrometry. *Journal of Laser Applications* **24**(2), 022006 (2012)
DOI: <https://doi.org/10.2351/1.3701400>
- [6] Reichel, D.: Development and Validation of an Algorithm for Emissivity-Corrected Pyrometry Independent of Material Properties. *Proceedings CERC: Data Computing and Artificial Intelligence* **2815**, 89 (2020)
urn:nbn:de:0074-2815-0

Integration von modernster Sensorik und Aktorik in einem »Intelligenten Pflaster«

Hanno Platz

GED Gesellschaft für Elektronik und Design, Ruppichteroth

Intelligente, elektronische Pflaster können heute mehr als nur Wunden abdecken: Mit entsprechender Sensorik ausgestattet, überwachen sie Körperparameter wie Temperatur, Feuchtigkeit, pH-Wert, Sauerstoffsättigung und elektrische Potenziale.

Mehr als 3 Mio. Patienten benötigen alleine in Deutschland, eine langfristige Behandlung von chronischen Wunden. Im EU-Projekt *ULIMPIA* hat GED gemeinsam mit 17 Partnerinnen und Partnern aus sechs Ländern ein Intelligentes Pflaster entwickelt, das auch physikalische Prozesse tief im Körper erkennen kann – etwa den Blutdruck messen oder die Blase überwachen. Dazu kombinieren die Forschenden hochmoderne MEMS-Ultra-Sound-Technologie (CMUT) von Philipps mit Innovationen in der konformen Patch-Technologie.

Wissenschaftler des deutschen Konsortiums entwickelten im Rahmen des Projekts eine Packaging-Technologie zur Integration von Sensoren und Ultraschall-Aktoren. Ziel war unter anderem die Entwicklung eines hautfreundlichen, flexiblen Sensor-Pflaster mit zugehörigen Mikroelektronik-Komponenten für Datenerfassung und Funkübertragung. Die entstehende Plattform ist für unterschiedliche Anwendungen nutzbar und legt den Fokus auf die Entwicklung von medizinischen Anwendungen.

GED hat im Projekt zusammen mit NXP die Entwicklung der Elektronik übernommen. Für die 4 unterschiedlichen Demonstratoren wurde ein BLE-Controller Modul entwickelt, sowie das anspruchsvolle Powerkonzept, mit Lowpowersensorik und Hochspannungserzeugung von 5Volt auf +/- 30 Volt und 150 Volt zur Ansteuerung der CMUT-Ultraschallsensoren.

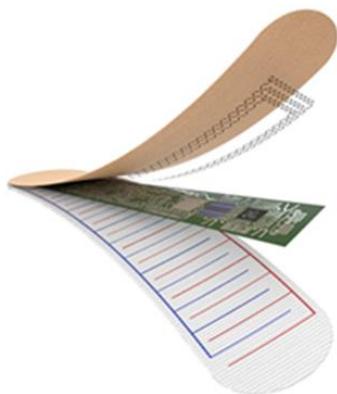


Bild: Schema vom Pflaster mit Elektronik Sensor für die Integration in Wundauflagen

Bei der Entwicklung konnte GED aus Know How und Erfahrungen von Vorgängerprojekten schöpfen wie Freiform und HySep, BMBF Projekte wo innovative Konzepte für die Multisensorintegration entwickelt wurden. Für die neue Generation von IoT-Sensoren (Internet of Things) und Healthcare Sensorik liegen die Aufgaben ähnlich. Die Aufbereitung der analogen und digitalen Sensorsignale, Vorverarbeitung der Sensordaten auf dem μ Controller, Energiesparender Langzeitbetrieb und

gesteuerte Übertragung per Funk sowie die Adaption an die Messapplikation und das Verpacken im Gehäuse.

Die Herausforderungen in der Entwicklung ULIMPIA-Pflasters waren sehr vielfältig:

- Modulares NXP-Mikrocontroller Modul mit BLE Funk und Antenne
- Umsetzung der kleinen Sensorsignale in digitale Größen
- Spannungsversorgung mit Lowpower Funktion
- Spannungserzeugung von 5V Akkuspannung auf +/- 30 Volt und 150 Volt
- Adaptierung des Ph-Foliensensors von Fraunhofer (mit 15µm Leiterstrukturen)
- Elektrische Kontaktierung eines dehnbaren Sensor-Patches
- Aktor Steuerung für ein Flächen-Heizpatch mit 5 Watt Leistung
- Interconnection zwischen Sensorebene und Controllermodul
- Packaging Feuchtesensor und Füllstandsensor als leitendes Gewebe

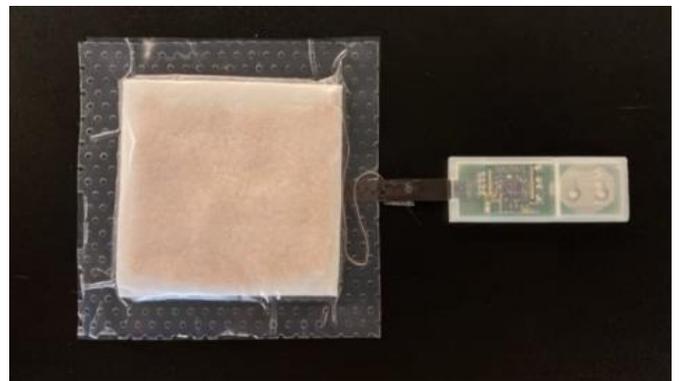
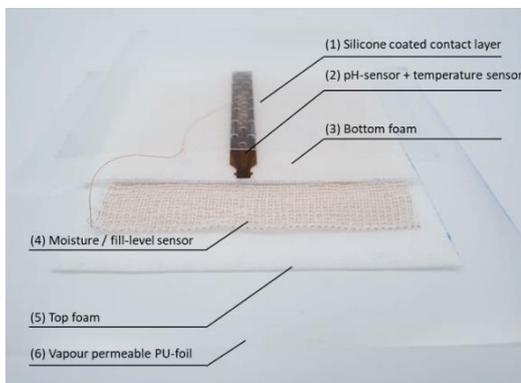


Bild ©KOB: Aufbaukonzept der Elektronischen Pflasters mit integrierter Multisensorik

Im Rahmen der 3 jährigen Kooperationsentwicklung entstanden neue Anforderungen und Gesichtspunkte. Normativen Anforderungen des Medizinproduktgesetzes aber auch Umweltaspekte machten Änderungen bzw. Anpassungen der Aufbaukonzepte erforderlich. Im Vortrag werden die einzelnen Technologien und Disziplinen im Einzelnen erläutert.



Bild ©KOB:
Sensorpflaster an einer künstlichen Wunde, mit der „reusesable Electronic“ im Gehäuse

Ergebnis der Entwicklung ist ein hautfreundliches, flexibles Sensor-Pflaster mit zugehörigen Mikroelektronik-Komponenten für Datenerfassung und Funkübertragung. Daten und Alarmzustände werden per BLE-Funk auf eine App übertragen. Die entstandene Plattform kann für unterschiedliche Sensoraufgaben genutzt werden und legt den Fokus auf Produkte mit medizinischen Anwendungen.

KI-Tool für prädiktive Prozessoptimierung und –steuerung

T. Freudenmann^{1*}, M. Eberhard², J. Angert³, A. Baehr¹, D. Stapf²

* freudenmann@edi.gmbh

¹ EDI GmbH – Engineering Data Intelligence, *Wöschbacher Str. 73, 76327 Pfinztal-Berghausen, Deutschland*

² *Institut für Technische Chemie, Karlsruher Institut für Technologie, Hermann-von-Helmholtz-Platz 1, 76344 Eggenstein-Leopoldshafen, Deutschland*
MVV Energie AG, Luisenring 49, 68159 Mannheim, Deutschland

Abstract

Für die Anwendung von Künstlicher Intelligenz (KI) in der industriellen Produktion insbesondere bei Kleineren und Mittleren Unternehmen (KMU) fehlen geeignete Werkzeuge und Methoden, die mit geringem Unternehmensaufwand implementiert werden können¹. Ziel des Projekts ist die Entwicklung, Validierung und Bereitstellung eines KI-Tools für KMU.

Das KI-Tool ist ein generisches Werkzeug, um eine prädiktive Anlagensteuerung für unterschiedliche chemische Prozesse bzw. Anlagen von KMU zu ermöglichen, ohne dass der Anwender KI- und Programmierkenntnisse benötigt.

Vorgehen und Methodik

KI-Algorithmen werden mittels cloud-basierter Technologie skalierbar bereitgestellt. Als weitere Besonderheit kommt ein KI-basierter hybrider Modellansatz zur Anwendung, der sowohl datenbasiert als auch erfahrungsbasiert ist. Hybridmodelle kombinieren Erfahrungswissen (in Köpfen und in physikalisch/chemischen Modellen), Messdaten (aus Leitsystemen und zusätzlichen Sensoren) und maschinelles Lernen. Abbildung 4 visualisiert den Top-Down- & Bottom-Up-Ansatz des KI-basierten Hybridmodells, wodurch das interaktive lernen und stetige verfeinern des Modells ersichtlich wird. Ebenfalls wird dadurch eine Zusammenarbeit zwischen Domänen-spezifischen Experten und Datenwissenschaftlern gestützt. Somit ermöglicht der Top-Down- & Bottom-Up-Ansatz des KI-basierten Hybridmodells ein kooperatives Lernen der Experten mit der KI.

¹ Bauer, W.; Ganz, W.; Hämmerle, M.; Renner, T.: Studie: Künstliche Intelligenz in der Unternehmenspraxis, Fraunhofer Verlag, 2020

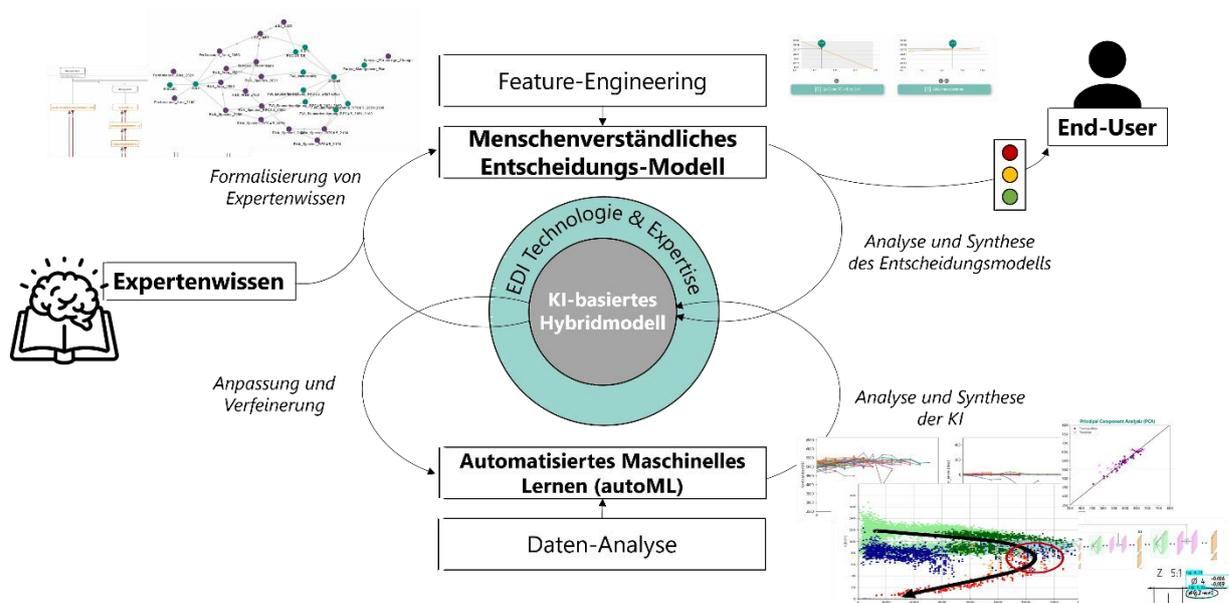


Abbildung 4: Top-Down- & Bottom-Up-Ansatz des KI-basierten Hybridmodells

Das cloud-basierte EDI hive IoT Framework und der KI-basierte Hybridmodell-Ansatz von EDI stellen die hierfür benötigten Voraussetzungen bereit. Die Plattform wurde bisher in der Fertigungsindustrie und besonders im Forschungs- und Entwicklungsbereich angewendet. Im Rahmen dieses Projekts erfolgt erstmals die Übertragung und Anwendung auf die Prozessindustrie, die Komplettierung des KI-basierten hybriden Modellansatzes, um physikalisch/chemische Modelle, sowie die Validierung im großen Maßstab:

- an einer Müllverbrennungsanlage der MVV Energie AG (MVV) in Mannheim (Datenbasiert und basiert auf Erfahrungswissen) (siehe Abbildung 5)
- an der biolq®-Demonstrationsanlage für nachhaltige chemische Produktion von synthetischem Kraftstoff des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) (Erfahrungswissen + datenbasiertes Wissen + physikalisch/chemisches Modell) (siehe Abbildung 6).

Beide Anwendungsfälle haben die Steigerung der Prozesseffizienz bei komplexen, variierenden Einsatzstoffen zum Ziel und demonstrieren die Übertragbarkeit in die Prozessindustrie. Im Rahmen des Projekts kann mit den Daten und dem Expertenwissen von zwei unterschiedlichen Prozessen und Anlagen die Generalisierbarkeit des Ansatzes dargestellt werden.

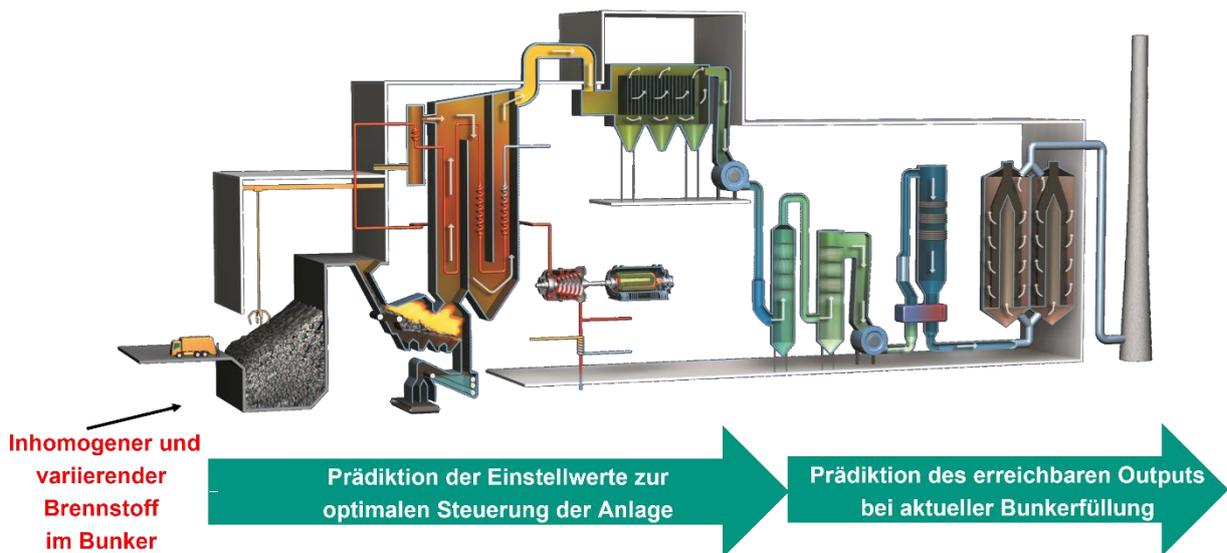


Abbildung 5: Anwendungsfall MVV: Prädiktive Steuerung einer Müllverbrennungsanlage

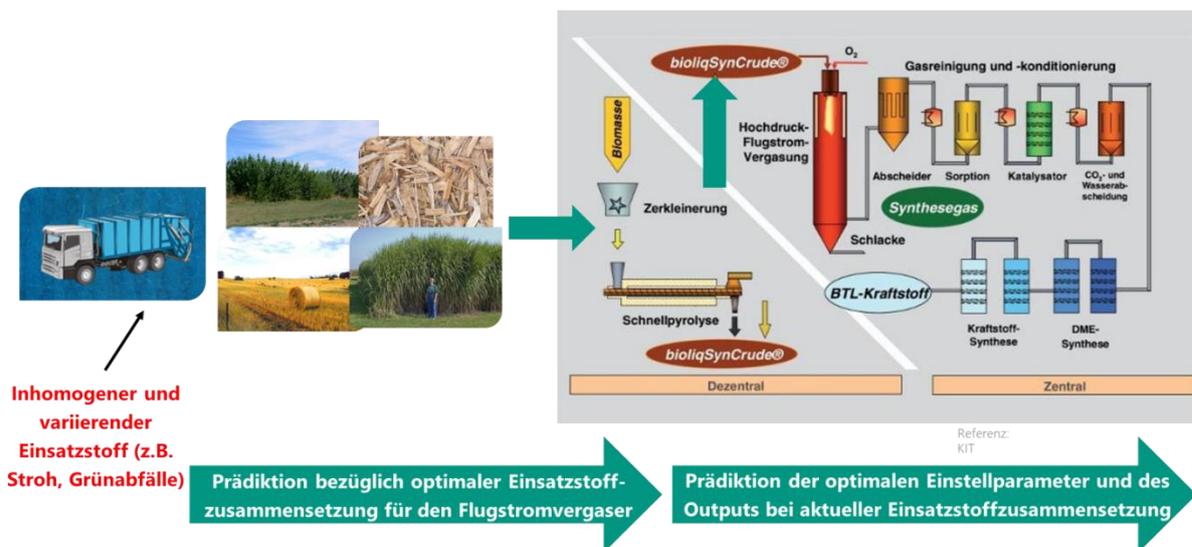
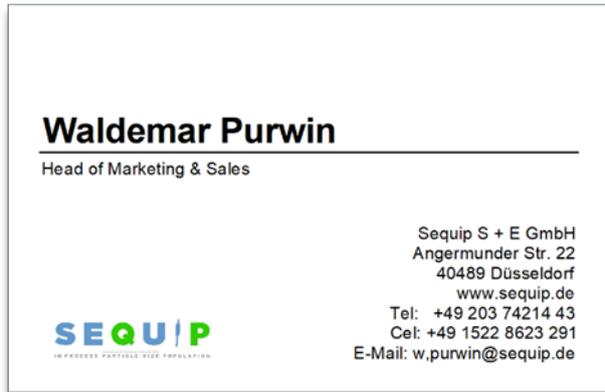


Abbildung 6: Anwendungsfall KIT: Prädiktive Steuerung der bioliq® - Anlage

In der Veröffentlichung werden ausführlich die Vorteile von KI-basierten Hybridmodellen in der chemischen Prozessindustrie diskutiert. Des Weiteren werden erste Ergebnisse des KI-basierten Hybridmodells in den beiden Anwendungsgebieten vorgestellt. D.h. zum einen wird das Vorgehen und die erarbeiteten Ergebnisse bzgl. dem semantisch erfassten und formalisierten Expertenwissens dargestellt. Zum anderen wird auf die eingesetzten Verfahren bzgl. dem automatisierten Maschinellen Lernens (autoML) und der erzeugten Datenabstraktion eingegangen, wodurch neue Entscheidungsgrundlagen, in Form von einfach verständlichen Entscheidungsmodellen für die Domänen-spezifischen Experten, bereitgestellt werden können.

OpenForum Beiträge



Abstract

Die Sequip S + E GmbH wurde 1993, mit dem Ziel einer kontinuierlichen Inlinemessung von partikulären Systemen, gegründet

Als Launching-Partner wurde die Sequip, unter anderem von Bayer, BDF Beiersdorf, UNI Regensburg, Merck Darmstadt, Henkel unterstützt

Die Sequip bietet als Hersteller in-situ Sensoren zur Messung der Partikelgrößenverteilung an.

Dies für jegliche Art von Dispersionen, die einen geringen Unterschied der Brechungsindizes zwischen Partikel und Trägerphase haben. Damit können die Sequip ORM-Sensoren unter realen Bedingungen direkt im Prozess in Echtzeit analysieren und messen.

Diese Messergebnisse können sowohl zur Qualitätssicherung als auch zur Produktentwicklung verwendet werden. Alle Messungen stehen in Abhängigkeit zu den optischen Oberflächen-eigenschaften ihres Produktes.

Damit kann: Die Aggregation von Partikeln / Tröpfchen und Zellen sowie etwaigen Dispersionsphasen Inline direkt im Prozess im Originalmedium bewertet werden.

Das bedeutet: Eine kontinuierliche Messung von Suspensionen, alle Dispersphasengemische, Biozellen, Emulsionen, Pulver, Granulate und Aerosole. Damit können: Dynamischen Vorgängen und Reaktionskinetische Systeme unter realen Prozessbedingungen beobachtet und bewertet werden.

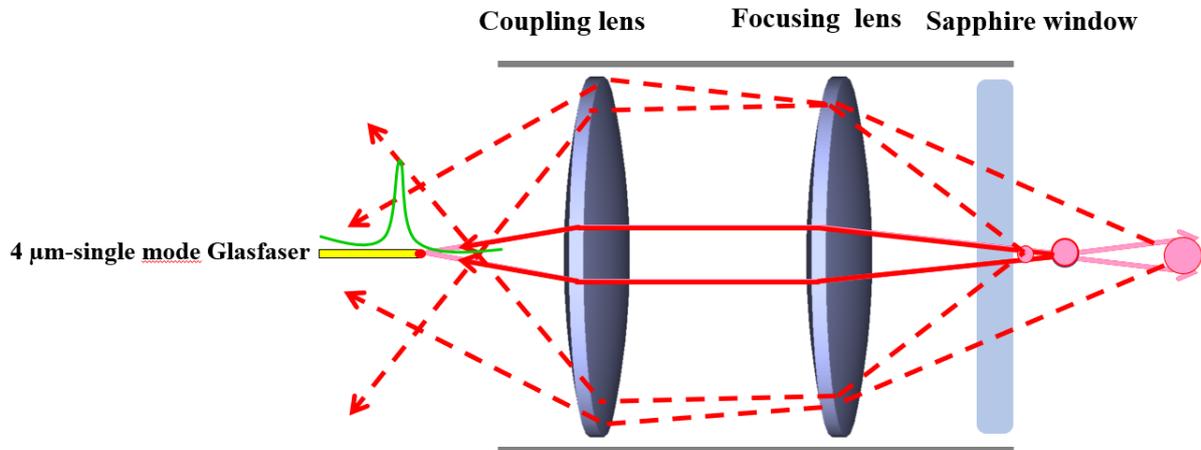
Messprinzip der Sequip ORM-Technologie

Die Sequip ORM Technologie basiert auf der Eingabe eines fokussierten Lichtsignals in dem Prozess um von im Fokus sich befindlichen Partikeln eine Rückreflektion zu generieren. Durch diese Rückreflektion entsteht ein definiert auswertbares Signalprofil.

Diese durch ein Partikel erzeugte Rückreflektion passiert das opto-mechanische System und wird durch dieselbe 4µm Single-Mode Glasfaser ohne das sogenannte „Scattering“ zur APD übertragen. Durch diese Methode wird ein definiertes und auswertbares Signal erzeugt.

Dadurch kommt das Sequip ORM Prinzip, verglichen zu unseren Wettbewerbern, mit weniger Statistikauswertungen aus.

Schematische Darstellung ORM Messprinzip



Partikelgrößenbereich: 0.5 µm bis 2000/4000 µm → Auflösung: 0.124 µm

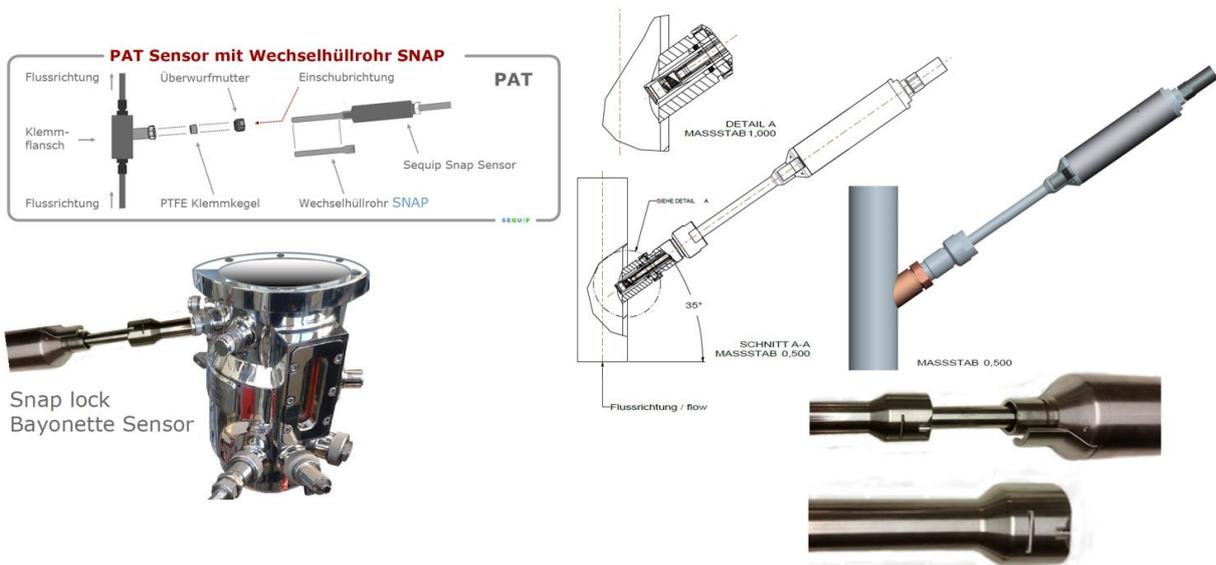
Suspensionsdichtebereich: 2-40 Gew.% (in speziellen Fällen bis hin zu 80Vol.%)

Die Sequip SNAP Wechselhüllrohre mit trennbarem Sensor

Durch den Einbau von Sequip SNAP Wechselhüllrohren kann die Analyse auf mehrere Messstellen ausgeweitet werden. Anstatt den Sensor fest an einem Ort, kann ein Wechselhüllrohr pro Messstelle installiert werden.

Der Sensor wird dann zur Messung nur noch in das SNAP Wechselhüllrohr eingeführt und verriegelt. So kann ein einzelnes Messsystem mehrere Messstellen in sequenzieller Reihenfolge auswerten.

Hydraulische Strömungsverläufe und deren Partikelgrößenverteilung können so optimal beobachtet werden.



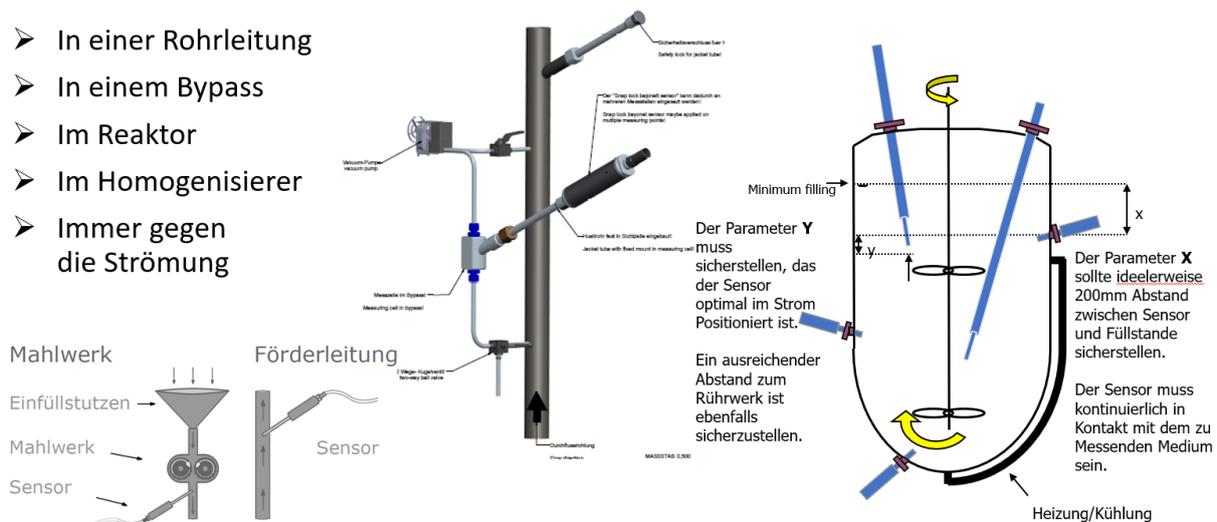
Sensor Einbau

Der Einbau der Sequip in-situ ORM-Sensoren in großtechnische Apparate, Behälter oder Rohrleitungen erfolgt über entsprechende Montagestutzen.

Aufgrund der herrschenden Strömungsverhältnisse sind bestimmte Einbaurichtlinien zu beachten, um optimale Messbedingungen zu erreichen.

Der Sequip Sensor muss immer gegen die Strömung eingebaut werden. Die Grafiken zeigen den typischen Einbau des Sensors direkt im Prozess und Originalmedium.

- In einer Rohrleitung
- In einem Bypass
- Im Reaktor
- Im Homogenisierer
- Immer gegen die Strömung



F A Q s

Ich gehe mal davon aus, dass die Online-Messgeräte, welche sie vorstellen werden, vor allem auf wässrige Systeme ausgelegt sind, d.h. standardmäßige Öl in Wasser-Emulsionen bzw. wässrige Suspensionen

- ✓ **Nein nicht nur**, in allen Dispersphasen flüssig wie gasförmig, Granulate, Wirbelbett usw.

und mit optischen Methoden (Laserbeugung/Streuung) arbeiten

- ✓ **Nein**. ORM – Optische Rückreflektionsmessung von Partikeln die eine Fokuszone durchqueren

Für solche Methoden ist ja vor allem die Messgeometrie, die Brechungsindizes der beteiligten Phasen sowie die Viskosität sehr wichtig

- ✓ **Nicht direkt** – nur ein geringer Unterschied der Brechungsindizes zwischen Partikel und Trägerphase muss bestehen

Mich würde vor allem interessieren, ob die von ihnen vorgestellten Systeme auch in trüben bzw. undurchsichtigen Formulierungen die Größe von dispergierten Feststoffpartikeln bestimmen können

- ✓ **Ja** – die Trübung wird ja durch Partikeln hervorgerufen die von unser Analyse-Technik bestimmt werden

Des Weiteren wäre es auch interessant das Gerät mobil in einem Labor zu betreiben, d.h. ich habe 1L Suspension/Emulsion im Labor stehen und kann mal schnell durch Eintauchen ihres Gerätes die Partikelgröße bestimmen

- ✓ **Ja**, genauso sieht eine mögliche Anwendung als Laborausführung aus, **ohne** jegliche Probenaufbereitung

Simon Emig, Regionaler Innovationsmanager TechnologieRegion Karlsruhe GmbH



Die TechnologieRegion Karlsruhe GmbH, gegründet 2017, ist ein regionaler, bundes-landübergreifender und transnationaler Standortvermarkter fokussiert auf Wirtschaft, Innovation und Wissenschaft. Gemeinsam denken, testen und machen – zu diesem Zweck haben sich 29 Gesellschafter aus Wirtschaft, Wissenschaft und Kommunen in der TechnologieRegion Karlsruhe GmbH zusammengeschlossen. Ihr Ziel: Ein Motor für die Themen Energie, Mobilität und Digitalisierung sein und den Prozess von der Idee bis zur Umsetzung beschleunigen. So sollen modellhaft Lösungen für drängende Zukunftsfragen entwickelt und die Innovation in der Region vorangebracht werden.

Das Regionale Innovationsmanagement der TechnologieRegion Karlsruhe (TRK) hat die Aufgabe Innovationsthemen und branchenübergreifende Querschnittsthemen zu erschließen und die Entwicklung zukunftssträchtiger Wertschöpfungsketten in der Gesamtregion zu unterstützen.

Es wird unter dem Projekt „TRK Innogator NETZ“ geführt, beinhaltet die beiden Instrumente „TRK Innovationsatlas“ und „Expert*innen Netzwerk TRK“ und wird vom Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Tourismus Baden-Württemberg gefördert. Ziel ist es, die in der TRK vorhandenen innovativen Kompetenzen zu bündeln, Maßnahmen abgestimmt und bedarfsgerecht an die Zielgruppen und insbesondere an KMU heranzutragen. Damit soll im Resultat eine deutliche Beschleunigung der regionalen Innovationswertschöpfung ermöglicht werden.

Der digitale „TRK Innovationsatlas“ ermöglicht einen Überblick und direkten Zugang zu Innovationszentren, Clusterinitiativen, Netzwerken und Wirtschaftsförderungen in der vielfältigen Innovationslandschaft der TechnologieRegion Karlsruhe.

Dr. Boris Traber, Freudenberg Sealing Technologies GmbH & Co. KG



Dr. Boris Traber ist verantwortlich für die Globale Vorausbildung innerhalb der Materialentwicklung der Freudenberg Sealing Technologies GmbH & Co. KG. Er studierte Chemie an der Universität Heidelberg mit dem Abschluß als Diplomchemiker und promovierte im Jahre 2003 im Bereich der organischen Chemie. Seine berufliche Karriere begann er als Materialentwickler bei den Freudenberg Forschungsdiensten und wechselte 2008 in den operativen Bereich zur Freudenberg Dichtungs- und Schwingungstechnik, wo er die Vorausbildungsaktivitäten wie das Erstellen von Machbarkeitsstudien und das Nachhalten von neuen Trends für die Dichtungstechnik koordiniert. Er steht ebenfalls im stetigem Kontakt und Austausch mit den globalen Materialentwicklungsteams in USA und Japan innerhalb des Geschäftsbereiches.

Abstrakt:

Elastomere stellen die Basis für Dichtungswerkstoffe und damit das Kern-Knowhow bei Freudenberg Sealing Technologies dar. Im Rahmen der Erschließung neuer Anwendungsfelder beschäftigen wir uns seit mehreren Jahren mit dem Thema Smart Materials: Dabei untersuchen wir, inwieweit sich Produkte aus elastomeren Materialien generieren lassen, die eine Sensor- und Aktorfunktion ermöglichen. Zwei Richtungen sind interessant: Zum einen lassen sich verschiedene Werkstoffe durch ein geeignetes Design zu einer Dichtung kombinieren, die ihren eigenen Abrieb messen kann. Damit ist eine direkte Zustandsüberwachung an der Dichtung möglich - verbunden mit der Vorhersage der Lebensdauer des Dichtsystems. Zum anderen evaluieren wir, wie sich Sensoren und Aktoren auf Basis von elastomeren Trägern darstellen lassen: Durch einen entsprechenden Aufbau als Kondensator können Druck- sowie Kraftsensoren erzeugt werden, deren Präzision und Kennwerte maßgeblich von der Eigenschaft des Elastomers beeinflusst werden.

Dr. Carlo Tiebe, Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM)



Ausbildung/Studium

2000 bis 2004	Hochschule Magdeburg-Stendal, Analytische Chemie
2004 bis 2006	Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Umweltchemie/Analytische Chemie
2007 bis 2010	TU Ilmenau, Doktorand

Beruflicher Werdegang

2002 bis 2003	Praktikant, Stickstoffwerke Piesteritz GmbH
2004 (April bis Oktober)	Praktikant, Degussa AG (heute Evonik), Standort Darmstadt
seit 2006	Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM)
2006 bis 2010	wissenschaftlicher Mitarbeiter mit der Möglichkeit zur Promotion;
2010 bis 2016	wissenschaftlicher Mitarbeiter in verschiedenen Projekten zum Thema Gas- und Feuchtesensorik sowie Herstellung von Prüfgasen

Derzeitige Tätigkeit/Aktivitäten:

seit 2017	wissenschaftlicher Mitarbeiter im BAM-Fachbereich 8.1 Sensorik, mess- und prüftechnische Verfahren
seit 2019	Qualitätsmanagementbeauftragter der Abteilung 8 Zerstörungsfreie Prüfung und der akkreditierten Labore K 11075-08 und PL 11075-08
seit 2020	Wissenschaftlicher Mitarbeiter im Kompetenzzentrum H2Safety@BAM für den Bereich Sensorik, Analytik und zertifizierte Referenzmaterialien (SensRef)

Hanno Platz, GED Gesellschaft für Elektronik und Design mbH

GED – Ihr Elektronikspezialist

Unser Können. Für Ihre Elektronik. Seit über 30 Jahren.

Die GED Gesellschaft für Elektronik und Design mbH ist seit 1986 als inhabergeführtes Dienstleistungsunternehmen tätig. Gegründet wurde die europaweit aktive Firma von Geschäftsführer Hanno Platz.

Kompetentes Team für Top-Leistungen

Unsere Techniker und Ingenieure haben Erfahrung aus der Elektronikentwicklung und Konstruktion in unterschiedlichsten Industriebereichen.

Unsere Designingenieure sind alle von FED Fachverband Elektronik Design und IPC – Institute for Printed Circuits, jetzt: Association Connecting Electronics Industries, USA – als Certified Interconnect Designer (CID) ausgebildet und zertifiziert. Damit zählt unser Team zu den Besten in Europa.

Prof. Dr. Markus Graf, Hochschule Karlsruhe



seit Sept. 2020 Professor an der Hochschule Karlsruhe, Fakultät für Elektro- und Informationstechnik

Arbeitsschwerpunkte: Smarte Umweltsensorik / Nachhaltige & Kollaborative Innovation

2005-2020 Sensirion AG (Schweiz) versch. Positionen, zuletzt Bereichsleiter Globale R&D beim Tochterunternehmen Sensirion Automotive Solutions AG

2016 MBA Nachhaltigkeitsmanagement, Leuphana Universität Lüneburg

2004-2005 Wissenschaftlicher Mitarbeiter und Koordinator in einem europäischen Forschungsnetzwerk, Labor für Physikalische Elektronik, ETH Zürich

1999-2004 Doktorand, Labor für Physikalische Elektronik, ETH Zürich

1992-1999 Physikstudium / Fokus Mikro- und Nanotechnologie, an den Universitäten Konstanz & Joseph-Fourier Grenoble (Frankreich) sowie der Technische Universität Dänemark

Zu den Autoren der Fachvorträge



Laura Trinkies, M. Sc.
Doktorandin

Tel.: [+49 721 608-23430](tel:+4972160823430)

laura.trinkies@kit.edu

Institut für Mikroverfahrenstechnik (IMVT)

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

Hermann-von-Helmholtz-Platz 1

D-76344 Eggenstein-Leopoldshafen

Curriculum Vitae

- Berufliche Erfahrung

seit 09/2019	Karlsruher Institut für Technologie (KIT) - Institut für Mikroverfahrenstechnik (IMVT), Karlsruhe (GER) Wissenschaftliche Mitarbeiterin / Doktorandin
03/2019 – 08/2019	Fraunhofer Project Centre for Embedded Bioanalytical Systems (FPC@DCU), Dublin (IRL) Wissenschaftliche Mitarbeiterin
04/2018 – 06/2018	Acandis GmbH, Pforzheim (GER) Praktikantin
04/2015 – 07/2015	Heinrich-Burghart GmbH, Wedel (GER) Praktikantin
12/2013 – 03/2015	Lehrstuhl für Konstruktionslehre/CAD, Universität Bayreuth (GER) Studentische Hilfskraft

- Ausbildung

04/2016 – 12/2018	Maschinenbau (M. Sc.) Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Karlsruhe (GER)
08/2017 – 12/2017	Auslandssemester University of Iceland, Reykjavík (ISL)
10/2012 – 02/2016	Engineering Science (B. Sc.) Universität Bayreuth, Bayreuth (GER)

Robin Größle, Karlsruhe Institute of Technology

- Institute of Technical Physics, Karlsruhe, Germany

Position

- Group Leader Tritium Analytics

Description

- As group leader for tritium and hydrogen analytics i am responisble for lbaoratory relevant analytic systems like calorimetry and for related systems. My main research focus is on cold hydrogen isotopologues (Q2) from basic research like IR spectroscopy on liquid Q2 up to the develoment of technical scale systems like cryogenic distillation for isotope separation. Ortho-para hydrogen is also of major interest since its a dominant systematic effect in many other investigations.



**Sebastian Geiger,
Fraunhofer-Institut für
Chemische Technologie
ICT**

Bildungsweg

1998 – 2001: Albert-Schweitzer Grund- und Hauptschule Muggensturm

2001 – 2010: Ludwig-Wilhelm-Gymnasium Rastatt

Juni 2010: Abitur

2010 – 2014: Studium an der Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft

Bachelorstudiengang: Elektrotechnik – Sensorik

März 2014: Abschluss Bachelor of Engineering (B.Eng.) (Elektrotechnik – Sensorik)

„Grundlegende Untersuchungen zur Eignung 99,6% Al₂O₃-Keramik als Substrat für Dickschichtbedruckung unter Berücksichtigung des WIKA-Produktionsprozesses“

2014 – 2016: Studium an der Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft

Masterstudiengang: Elektro- und Informationstechnik – Vertiefungsrichtung
Sensorsystemtechnik

März 2016: Abschluss Master of Science (M. Sc.) (Elektro- und Informationstechnik –
Vertiefungsrichtung Sensorsystemtechnik) „Entwicklung eines reagenzienfreien
elektrochemischen Online-Sensors zur Bestimmung des Phosphatgehaltes in
Gewässern“

Seit März 2016: Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fraunhofer-Institut für Chemische
Technologie (ICT)

Aufgabenschwerpunkte:

- Leitung diverser öffentlich geförderter sowie interner Forschungsprojekte
 - Entwicklung elektrochemischer Sensorprototypen
 - Grundlagenforschung und Mechanismenergründung elektrochemischer Systeme
- Es erfolgte eine Spezialisierung im Bereich der Gewässer-, Gas- sowie
Explosivstoffsensoren

Seit September 2017: Kooperationspromotion am Karlsruher Institut für Technologie (KIT),
Fachbereich Chemieingenieurwesen (CIW)

Promotionsstipendium des Landes Baden-Württemberg im Zuge der
Promotionsförderung im Rahmen des Landesprogramms zur Stärkung der HAW in
Promotionsverfahren durch Förderung kooperativer (Einzel-)Promotionen
„Reagenzienfreie elektrochemische Online-Detektion der Phosphatkonzentration in
Gewässern“ (vorläufig)

**Binayak Ojha, Research Associate at University of Applied Sciences,
Karlsruhe/Germany**

Berufserfahrung

Research Associate

Beschäftigungszeitraum Juni 2015–Heute

Research Assistant

Beschäftigungszeitraum Nov. 2014–Mai 2015

Master Thesis

ISIS, Karlsruhe University of Applied Science

- Sensor chip fabrication using thin film technology
- Nanoparticle synthesis by Sol-gel method
- Thick film deposition by micro-dispensing
- Homogeneity and thickness characterization of sensitive layers by Confocal Microscopy
- Surface morphology and crystal structure characterization by ESEM and XRD
- Sensor contacting using micro-gap welding
- Investigation and analysis of influence of different measurement conditions on exposure to different test gases with help of conductance over time profile (CTP)

Ausbildung

- Hochschule Karlsruhe - Technik und Wirtschaft
Name des Abschlusses: Master's degree, 2012 – 2014
Studienfach Sensor Systems Technology
 - Advanced Natural Sciences (Advanced Physics, Advanced Chemistry)
 - Principles of Sensor Systems (Physical, Chemical & Bio, Optical, and Optofluidic Sensor Systems)
 - Sensor Signal Processing
 - Sensor Actor Networks (Bus Systems, Local Area Network)
 - System Integration (Pattern Recognition, Communication and Visualization)
 - Computer Aided Sensorics
 - Hybrid Technology
 - Microsystems
 - Automotive Sensors Applications
 - Environmental Sensorics (Exhaust gas sensors, Nuclear radiation sensors)
 - Medical Sensorics

Prof. Dr. rer. nat. Denise Reichel, SRH HOCHSCHULE HEIDELBERG -

Akademische Laufbahn

01.03.2020 – HEUTE: PROFESSUR | SRH HOCHSCHULE HEIDELBERG

- Schwerpunkt: Mathematische Methoden und naturwissenschaftliche Grundlagen
- Lehre und Forschung in der School of Engineering and Architecture nach dem Prinzip der Kompetenzorientierung

01.07.2014 – 29.02.2020: LEHRAUFTRAG | AKAD UNIVERSITY STUTTGART

- Schwerpunkte: Allgemeine und Technische Thermodynamik, Energietechnik und Technik Erneuerbarer Energien, Physik
- Studienleitung für mehrere Module
- Konzeption und Erstellung von Lehrmaterialien und Prüfungsformen
- Betreuung studentischer Arbeiten

01.06.2010 – 06.02.2015: PROMOTIONSSTUDIUM | ANGEWANDTE NATURWISSENSCHAFT | TU BERGAKADEMIE FREIBERG

- Schwerpunkt: Oberflächen-Temperaturmessung an bor-dotiertem Silizium während der Blitzlampenausheilung
- Entwicklung eines patentierten Lösungsansatzes im Bereich der Ripple Pyrometrie
- Betreuung durch Dr. W. Skorupa am Institut für Ionenstrahlphysik und Materialforschung, Abteilung Halbleitermaterialien

15.05.2008 – 31.12.2008: WISSENSCHAFTLICHE MITARBEITERIN | TU BERGAKADEMIE FREIBERG

- Betreuung durch Prof. J. R. Niklas am Institut für Experimentelle Physik
- Fachbereich: Halbleiter für die Mikroelektronik
- Betreuung des Photolumineszenz-Messplatzes
- Durchführung von Studentenpraktika

01.10.2001 – 18.04.2008: DIPLOMSTUDIUM | ANGEWANDTE NATURWISSENSCHAFT | TU BERGAKADEMIE FREIBERG

- Schwerpunkt: Grundlagen der Mikroelektronik
- Diplomarbeit: Entwicklung, Bau und Erprobung einer Mikro-Photolumineszenz-Apparatur

22.09.2003 – 05.07.2005: BACHELOR OF SCIENCE | COMBINED STUDIES IN SCIENCE | UNIVERSITY OF NEWCASTLE-UPON-TYNE

- Hauptfächer: Solid State Physics, Inorganic Chemistry
- Nebenfächer: Experimental Physics, Organic Chemistry, Biochemistry

Akademische Auszeichnungen

- **JULI 2012: URKUNDE FÜR DIE ÜBERDURCHSCHNITTlich GUTE BEARBEITUNG EINES PROJEKTES**
 - Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf, Arbeitsgruppe: Dr. W. Skorupa
 - Auszeichnung für die Projektarbeit mit einem Industriepartner sowie der Anmeldung eines gemeinsamen Patentes und der Publikation in einer renommierten Zeitschrift
 - Projektinhalt: Berührungslose Temperaturmessung während der Blitzlampenausheilung mittels Ripple Pyrometrie
- **JULI 2005: FAKULTÄTSPREIS ALS „BEST STAGE 3 STUDENT“**
 - University of Newcastle-upon-Tyne

- Auszeichnung für den besten Abschluss aller Joint und Combined Honours in Science

Publikationsliste

Rezensierte Zeitschriften:

- Prucnal, S. / Glaser, M. / Lugstein, A. / Bertagnolli, E. / Stöger-Pollach, M. / Zhou, S. / Helm, M. / **Reichel, D.** / Rebohle, L. / Turek, M. / Zuk, J. / Skorupa, W.: III-V Semiconductor Nanocrystal Formation in Silicon Nanowires via Liquid-Phase Epitaxy. *Nano Research*. vol. 7. pp. 1769-1776 (2014)
- Prucnal, S. / Jiao, F. / **Reichel, D.** / Zhao, K. / Cornelius, S. / Turek, M. / Pyszniak, K. / Drozdziel, A. / Skorupa, W. / Helm, W. / Zhou, S.: **Influence of Flash Lamp Annealing on the Optical Properties of CIGS Layer**. *Acta Physica Polonica A*. Proceedings of the 8th International Conference NEET. vol. 125. pp. 1404-1407 (2014)
- **Reichel, D.** / Skorupa, W.: **Precise Millisecond Annealing for Advanced Material Processing**, *Physica Status Solidi C*. EMRS Spring Proceedings. vol. 9. pp. 2045-2049 (2012)
- **Reichel, D.** / Skorupa, W. / Lerch, W. / Gelpey, J. C.: **Temperature Measurement in Rapid Thermal Processing with Focus on the Application to Flash Lamp Annealing**. *Critical Reviews In Solid State And Materials Sciences*. vol. 36. pp. 102–128 (2011) Heidelberg, 25.06.2020

Fachbücher:

- **Reicheld, D.** / Rebohle, L. / Prucnal, S.: **Flash Lamp Annealing - From Basics to Applications**. Vol. 1. Wiesbaden: Springer 2019
- **Reichel, D.**: **Temperature Measurement during Millisecond Annealing – Ripple Pyrometry for Flash Lamp Annealers**. vol. 1. Wiesbaden: Springer MatWerk. 2015
- **Reichel, D.** / Schumann, T. / Skorupa, W. / Lerch, W. / Gelpey, J. C.: **Sources of Uncertainty during Temperature Measurement using Radiation Thermometry**. IN: Schmidt, H. / Skorupa, W. Topics in Applied Physics: Subsecond Annealing of Advanced Materials - Annealing by Lasers, Flash Lamps and Swift Heavy Ions. vol. 192. Wiesbaden: Springer Series in Materials Science. pp. 211-228. 2014

Patentanmeldung:

- **Reichel, D.** / Skorupa, W. / Lerch, W. / Gelpey, J. C.: **Vorrichtung zum Bestimmen der Temperatur eines Substrates / Device for determining the temperature of a substrate**. Patentnummer: WO2013056828 A1. Published April 2013, 6828 A1. Published April 2013



**Thomas Freudenmann,
EDI GmbH**

Co-Geschäftsführer &
Mitgründer

Dr.-Ing. Dipl. Wi.-Ing.

Als Co-Geschäftsführer & Mitgründer arbeitet Thomas seit mehr als 10 Jahren auf dem Gebiet des Semantic Web, KI-basierter Algorithmen und digitaler Geschäftsmodelle. Er begann 2008, als er als wissenschaftlicher Mitarbeiter am IPEK - Institut für Produkt Engineering Karlsruhe am KIT tätig war. Während seiner Zeit am IPEK hielt er auch Vorlesungen für Studenten am KIT. Er hat Freude daran, Studenten zu unterrichten, weil es ihm wichtig ist, der jungen Generation die Richtung dessen zu vermitteln, was die Zukunft bringen wird. Thomas hat 2014 mit einer Doktorarbeit mit dem Titel "Ontologien für die Validierung von Produkten auf der Grundlage des Contact & Channel-Ansatzes (C&C²-Ansatzes)" promoviert. Thomas hat nicht nur Erfahrung im Technologiebereich, sondern ist auch unser Marketing- und Vertriebsmeister.

Veröffentlichungen

- M. El-Haji, T. Freudenmann, H. Inoue, P. Raksincharoensak und Y. Saito, "Validation Methodology to Establish Safe Autonomous Driving Algorithms with a High Driver Acceptance Using a Virtual Environment", FASTzero, USA, 2019
- T. Freudenmann, J. Gehrman, M. El-Haji, D. Stapf, "Hybridmodelle zur effizienten Regelung, Optimierung und Überwachung von thermo-chemischen Prozessen und Anlagen am Beispiel der oszillierenden Verbrennung", In: 29. Deutscher Flammentag, Bochum, 2019
- Freudenmann, T.; Gehrman, H.-J.; Aleksandrov, K.; El-Haji, M.; Stapf, D. Hybrid Models for Efficient Control, Optimization, and Monitoring of Thermo-Chemical Processes and Plants. *Processes* 2021

Wissenschaftliche Leitung / Organisation

Wissenschaftliche Leitung

Hubert B. Keller, HybridSensorNet e.V. (HSN)

Heinz Kohler, Hochschule Karlsruhe

Markus Graf, Hochschule Karlsruhe

Peter Rabenecker, Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie (ICT), Pfinztal

Sebastian Geiger, Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie (ICT), Pfinztal

Daniel Sommer, Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

Rolf Seifert, HybridSensorNet (HSN)

Organisation

Hubert B. Keller, HybridSensorNet (HSN)

Rolf Seifert, HybridSensorNet (HSN)

HybridSensorNet e.V.

Intelligente Sensorsysteme und –netze sind die Grundlagen der Zukunft, um im technischen Bereich Ressourcen intelligenter und effizienter zu verwenden, in der menschlichen Umgebung gefährdende Einflüsse zu erkennen oder auch im persönlichen Bereich selektiv Einschränkungen des Menschen selbst auszugleichen. Die Realisierung dieser umfassenden und innovativen Sensorik bedarf einer hoch interdisziplinären und eng abgestimmten Vorgehensweise aller Akteure. An Ihre Erforschung, technologischen Entwicklung und produktorientierten Umsetzung werden enorme Anforderungen gestellt, denen keine Forschungseinrichtung und kein Unternehmen allein gewachsen sind. Nur die Vernetzung aller Beteiligten wird diesen Anforderungen gerecht.

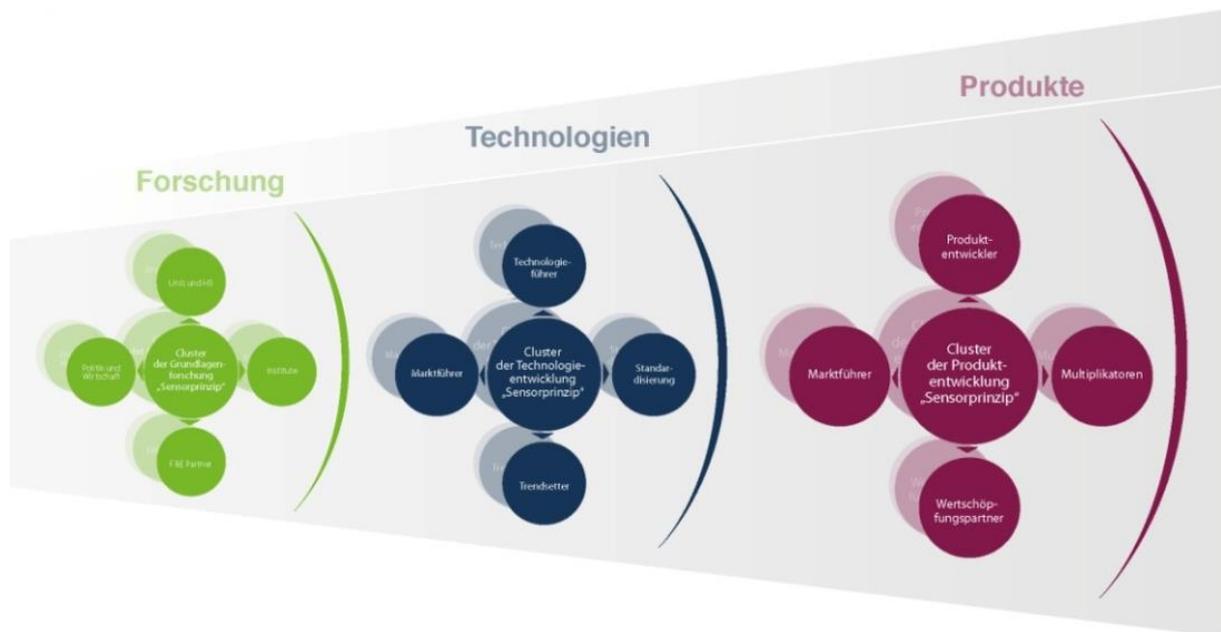
HybridSensorNet e.V. wurde gegründet, um diesen hohen Anforderungen zu entsprechen und die Kompetenzen aller Fachgebiete aus Industrie, Forschung, Entwicklung und öffentlicher Hand so miteinander zu vernetzen, damit diese neuen Sensorsysteme und -netze und die zugrundeliegenden Sensortechnologien der Zukunft entwickelt werden können. HybridSensor-Net e.V. ist anerkannt als Cluster-Initiative in Baden-Württemberg.

In einer langfristig angelegten Strategie erfolgt Forschung, Technologieentwicklung und die Umsetzung in Produkte in spezifisch organisierten Themenbereichen über alle und in allen Fachgebieten, die für hybride Sensoren der Zukunft erforderlich sind. So wird sichergestellt, dass Forschungs- und Technologieentwicklung zielgerichtet durchgeführt und die Ergebnisse ohne Zeitverlust in Innovationen überführt werden können.

Im koordinierten Zusammenwirken von Forschung, Entwicklung, Vermarktung und Verwaltung werden Wissen, Know-How und regulatorische Maßnahmen gebündelt, gezielt eingesetzt und am Marktbedarf wirksam werden. Der Verein treibt Projekte und Forschungen zielgerichtet voran und unterstützt Klein- und Mittelständische Unternehmen in der Projektbeantragung und -durchführung bis zur Produktentwicklung.

Unsere Intention

Die Intension des Vereins ist, als gemeinnütziger und ideeller Träger die Vernetzung im Bereich Sensorik zu fördern und nachhaltige Synergieeffekte und Innovationen bei den Mitgliedern zu bewirken.



HybridSensorNet e.V.

c/o Dr. Hubert B. Keller (Vorsitzender)
Erasmusstraße 3
76139 Karlsruhe

Mobil: +49 171 2 07 52 69
Fax: +49 721 9 68 35 30

info@hybridsensornet.org
www.hybridsensornet.org