



Tagungsband

9. HSN-Fachsymposium

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

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

9. und 10. November 2022

Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie (ICT)
Joseph-von-Fraunhofer-Straße 7
76327 Pfinztal

Herausgeber: Hubert B. Keller¹, Rolf Seifert²

¹Vorsitzender HybridSensorNet e.V. (HSN)

²Geschäftsführer HybridSensorNet e.V. (HSN)

Vorwort

Das 9. Fachsymposium im Jahre 2022 konnte endlich wieder in Präsenz unter dem Thema „Innovative Sensorik, verteilte Sensorsysteme, neue Technologien und Anwendungsfelder“ am Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie (ICT) in Pfinztal, Karlsruhe, veranstaltet werden.

Dem Institut und den Herren Dr. Rabenecker und Dr. Geiger danke ich für die lokale Organisation einschließlich der Führung durch das Institut.

Alle Welt spricht von Ressourceneffizienz und gleichzeitig müssen immer mehr Stoffe in der Umwelt und in technischen Anwendungen detektiert, gemessen und meist auch in ihrer Konzentration geregelt werden. Hierfür bedarf es einer innovativen und modernen Sensorik.

Dieses Jahr stehen insbesondere die Verfahren der „Künstlichen Intelligenz“ im Vordergrund. Nicht, dass diese Verfahren wirklich neu wären, aber die enorme Steigerung der Rechenleistung erlaubt neuartige Erkenntnisse und Messmethoden. Soft-Sensoren messen Größen aus Ersatzvariablen und erlauben komplexe Vorgänge messtechnisch zu erfassen.

Der erste Hauptvortrag beschäftigt sich mit „Intelligente Sensorik für die zukünftige Zustands- und Prozessüberwachung“ von H.-G. Herrmann vom Fraunhofer-Institut für Zerstörungsfreie Prüfverfahren IZFP in Saarbrücken.

Der zweite Hauptvortrag trägt den Titel „Kapazitive Feldeffektsensoren für Biosensorenanwendungen“ von Michael J. Schöning sowohl vom Institute of Nano- and Biotechnologies, Aachen University of Applied Sciences als auch vom Institute of Biological Information Processing, Forschungszentrum Jülich.

Der dritte Hauptvortrag mit dem Titel „Maschinelles Lernen für non-invasives Brückenmonitoring: Eventerkennung als Beispiel“ von Sina Keller vom Karlsruher Institut für Technologie geht deutlich stärker auf die grundlegenden Verfahren und ihre Anwendung in den Geowissenschaften ein.

Der vierte Hauptvortrag von Dr. Michael Overdick von der SICK AG, Waldkirch, behandelt das Thema "Sensorlösungen und KI auf dem Weg zur Digitalisierung" und spricht eine wichtige Entwicklung von sogenannten Soft-Sensoren auf KI Basis an.

Damit zeigen alle Hauptvorträge wie weit die „intelligenten“ Verfahren den Weg in die Praxis gefunden haben.

Daneben gab es noch weit mehr Vorträge zu den unterschiedlichsten Themen an vorderster Front der Forschung oder der Praxis. Beides zusammen erst ermöglicht die realen Innovationen.

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.

Das Symposium richtet sich sowohl an Unternehmen wie Universitäten/Hochschulen oder Forschungseinrichtungen. Auch Verwaltungen und Gremien, die sich mit diesen Sensorthemen auseinandersetzen, profitieren davon. Veranstaltet werden die Fachsymposien vom Verein HybridSensorNet e.V. in Kooperation mit jeweils weiteren Einrichtungen. Alle beteiligten Partner sind hoch aktiv in den Innovationen im Sensorikbereich und damit nutzen alle Teilnehmer von diesen Expertisen.

Mein Dank gilt meinen Vorstandskollegen und beteiligten Experten sowie unserem Geschäftsführer Rolf Seifert für die Organisation des Symposiums. Gleichzeitig freue ich mich, dass wir mit Dr. Gliemann vom Karlsruher Institut für Technologie und Prof. Graf von der Hochschule Karlsruhe neue Personen für den Vorstand gewinnen konnten. Prof. Heinz Kohler und Dr. Daniel Sommer möchte ich an dieser Stelle für ihr Engagement in den letzten Jahren ganz herzlich danken.

Hubert B. Keller, Vorsitzender HybridSensorNet e.V.

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	Seite 2
Tagungsprogramm	Seite 5
Eingeladene Vorträge	Seite 7
- Prof. Dr.-Ing. Hans-Georg Herrmann	Seite 7
- Prof. Dr. Michael J. Schöning	Seite 11
- Dr. Michael Overdick	Seite 13
- Dr. Sina Keller	Seite 15
Vorträge	Seite 17
Poster	Seite 29
OpenForum	Seite 36

Tagungsprogramm

9.11.2022 HybridSensorNet e.V., Mitgliederversammlung, Open Forum (Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie (ICT))	
14.00-15.00	Mitgliederversammlung HSN e.V
15.00-17.00	Besichtigung ICT
17.00-19.00	Open Forum – Partnerbörse für alle
19.00	Get Together

10.11.2022 9. Fachsymposium (Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie (ICT))	
ab 08:30	Einlass und Registrierung
8:50-9:00	Begrüßung, Eröffnung & Ausblick, H. B. Keller, Vorstandsvorsitzender HybridSensorNet e.V. P. Rabenecker, Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie
	Session 1 (Chair: M. Graf)
9:00-09.40	Hauptvortrag Intelligente Sensorik für die zukünftige Zustands- und Prozessüberwachung H.-G. Herrmann Fraunhofer-Institut für Zerstörungsfreie Prüfverfahren IZFP; Saarbrücken
9:40-10.10	Entwicklung von Präkonzentratorsystemen für Gasphasensensoren mit Hilfe der inversen Gaschromatographie (iGC) M. Wittek Fraunhofer ICT, Pfinztal
10.10-10.40	QCM type e-Nose Applications with a Metal Organic Frames Sensor Array for Discrimination of Aromatic Plants, VOCs, Isomers and Their Ternary Blends Salih Okur KIT, Institute of Functional Interfaces (IFG), Eggenstein-Leopoldshafen
10:40-11:00	Kaffeepause und Poster
	Session 2 (Chair: H. Gliemann)
11:00-11.40	Hauptvortrag Kapazitive Feldeffektsensoren für Biosensoranwendungen Michael J. Schöning Institute of Nano- and Biotechnologies, Aachen University of Applied Sciences; Institute of Biological Information Processing, Forschungszentrum Jülich.
11:40-12:10	Sauerstoff-sensitive Mikrokavitätenarrays zur Messung von Sauerstoff in der Mikroumgebung von 3D-Zellkulturen Christoph Grün KIT, Institut für Funktionelle Grenzflächen
12.10-12.40	Keramische Mikro-PEM-Brennstoffzellensysteme zur autarken Versorgung von miniaturisierten Systemen kleiner ein Watt (eMikro) Hartmut Stoltenberg Prignitz Mikrosystemtechnik GmbH, Wittenberge
12:40-13:40	Mittagspause und Posterrundgang
	Session 3 (Chair: H. Kohler)

13:40-14:20	Hauptvortrag Sensorlösungen und KI auf dem Weg zur Digitalisierung Dr. Michael Overdick SICK AG, Waldkirch
14:20-14:50	Der siebte Sinn: Multi-sensor mit „künstlicher Intelligenz“ zur Maschinenüberwachung Hanno Platz GED Gesellschaft für Elektronik und Design mbH, Ruppichteroth
14:50-15:20	System-Design of a Modular Multi Sensor Platform for In-Situ Ocean Monitoring J. Harms Hamburg University of Technology, Institute for Mechatronics in Mechanics,
15:20-15:40	Kaffeepause und Poster
	Session 4 (Chair: H. Keller)
15:40-16:20	Hauptvortrag Konzeption und Einsatz Maschinelner Lernverfahren zur Schätzung physikalischer Größen aus heterogenen Geoinformationsdaten Sina Keller, KIT
16:20-16:50	Erhöhung der Dimensionalität und Stabilität von Gassensoren als Basis für die erfolgreiche Anwendung von Methoden des maschinellen Lernens Martin Leidinger 3S GmbH – Sensors, Signal Processing, Systems, Saarbrücken,
16:50-17:20	KI-Tool für prädiktive Prozessoptimierung und –steuerung Thomas Freudenmann EDI GmbH – Engineering Data Intelligence, Pfinztal-Berghausen
	Abschluss
17.20	Ausklang mit Best Paper Presentation

Eingeladene Vorträge:

Referentenprofil von Prof. Dr.-Ing. Hans-Georg Herrmann

Stellvertretender Institutsleiter

Leiter Zustandsüberwachung und Lebensdauermanagement

Fraunhofer Institut für zerstörungsfreie Prüfverfahren IZFP

Ausbildung, Studium und weitere Qualifikationen

Nach dem Studium Luft- und Raumfahrttechnik an der Universität Stuttgart mit der Vertiefung Leichtbau- und Systemtechnik promovierte Hans-Georg Herrmann am DLR-Institut für Bauweisen- und Konstruktionsforschung (DLR) zum Thema "Untersuchung zur Anwendbarkeit neuronaler Netze in der Strukturoptimierung". Im Rahmen eines Daimler-Stipendiums beschäftigte er sich am Massachusetts Institute of Technology (MIT) im Bereich Manufacturing-Systems mit dem Thema: "Axiomatic Design Theory".

Beruflicher Werdegang

Prof. Hans-Georg Herrmann ist seit 2012 Inhaber des Lehrstuhls für Leichtbausysteme an der Universität des Saarlandes und gleichzeitig stellvertretender Institutsleiter am Fraunhofer IZFP mit der Verantwortung des Fraunhofer-Zentrums für Sensor-Intelligenz ZSI (ZSI).

Zuvor war er 16 Jahre in leitenden Funktionen sowohl für Leichtbau-Technologien im Bereich Forschung und Entwicklung der Daimler AG tätig als auch als Leiter des Produktcenters „Batteriekühlung“ verantwortlich für die Serienentwicklung und Produktion von Batteriekühlungskomponenten der MAHLE BEHR GmbH.

„Intelligente Sensorik für die zukünftige Zustands- und Prozessüberwachung“

H.-G. Herrmann¹; D. Koster¹; K. Becker¹

*¹Fraunhofer-Institut für Zerstörungsfreie Prüfverfahren IZFP; Campus E3 1;
66123 Saarbrücken, Deutschland*

Die digitale Transformation erfasst nahezu alle Bereiche von Wirtschaft und Gesellschaft – von unserem privaten Alltagsleben bis zur digitalisierten Berufswelt mit entsprechenden Infrastrukturen und Ökosystemen für Unternehmen und Industrie. Geräte und Maschinen werden zu Daten- und Informationsquellen, welche sich über das »Industrial Internet of Things« (IIoT) vernetzen und miteinander kommunizieren. Daten- bzw. Informationsaustausch und -bereitstellung werden dadurch zu zentralen Elementen im Konzept der digitalen Transformation. Die sensorische Befähigung der »Dinge« im Sinne des IIoT und die zugehörige Informationsgenerierung stellen die Basis für die intelligente und sich individuell selbst steuernde Produktion im Konzept von I4.0 und der sogenannten »Smart Factory« dar. Klassische, auf zerstörungsfreien Prüfmethode basierende Sensoren werden dabei zunehmend zu komplexen »intelligenten« Systemen. Dies wird durch die zunehmende Implementierung von »Künstlicher Intelligenz« (KI) ermöglicht. Neben dem etablierten Einsatz von KI-Algorithmen in softwarebasierten Systemen verspricht die sensornahe Signal- und Datenverarbeitung in der Sensorelektronik ein essentieller Baustein für den erfolgreichen Einsatz von IIoT-Sensorsystemen für die Zustands- und Prozessüberwachung von morgen zu werden. Basis ist und bleibt dabei die physikalische, auf zerstörungsfreien Prüfmethode basierende Sensortechnik ergänzt um fortschrittliche Sensorprinzipien und Edge-Computing Technologien. Dies beinhaltet ein tiefes Verständnis von Signalerzeugung und -empfang, der Wechselwirkung von ZfP-Sensoren mit Materie sowie der Bewertung und Interpretation der Sensorsignale bereits im Sensor. Damit ist das Fundament für zunehmend intelligente, energieeffiziente und hoch performante IIoT-Sensorsysteme der Zukunft gelegt.

Ein stark wachsendes Anwendungsgebiet für zuverlässige, intelligente, vernetzte als auch leistungsstarke Sensorsystem stellt beispielsweise das Infrastruktur-Monitoring dar. Ebenso rückt die permanente Zustandsüberwachung von Anlagen und Prozessen während des Betriebes im Kontext einer optimalen, vorausschauenden Instandhaltung zunehmend in den Vordergrund. Aber auch für zukünftige Energieträger wie z.B. Wasserstoff ergeben sich vor dem Hintergrund von Anforderungen zur Sicherheit, Lebensdauer und Zuverlässigkeit vielfältige Fragestellungen entlang des Produktlebenszyklus in den Feldern Werkstoffcharakterisierung, Prozess- und Qualitätsüberwachung, z. B. hinsichtlich Brennstoffzellen-Komponenten oder Zustandsüberwachung beim Betrieb von wasserstoffrelevanten Bauteilen und Strukturen. Im Zusammenhang von zukünftigen nachhaltigen Wirtschaftssystemen spielen die Lösungsansätze für eine Kreislaufwirtschaft eine tragende Rolle. Hierbei ist eine frühzeitige Identifikation von unterschiedlichen Materialien oder Materialverbänden mittels intelligenter Sensorsysteme für einen optimierten Recyclingprozess von entscheidender Bedeutung.

Vor diesem Hintergrund wurde mit dem Fraunhofer-Zentrum für Sensor-Intelligenz ZSI eine gemeinsame strategische FuE-Initiative der Fraunhofer-Gesellschaft für angewandte Forschung e. V. und des Saarlands etabliert, die als eine zentrale Anlaufstelle der Stärkung von Forschung und Wissenschaft in der Großregion Saarland zum Nutzen von Gesellschaft und Wirtschaft dient. Das neu entstehende Kompetenz- und Forschungsfeld wird im Zusammenwirken der beiden Fraunhofer-Institute IBMT und IZFP für die Innovationsstärkung

im Themenfeld der intelligenten Sensorsysteme aufgebaut. Die Arbeit des Fraunhofer ZSI orientiert sich an den Zukunftsfeldern und Herausforderungen des Strukturwandels von Wirtschaft und Gesellschaft, insbesondere im oben angesprochenen Kontext der Digitalisierung. Es adressiert relevante forschungspolitische Schwerpunktfelder des Saarlands und der Fraunhofer-Gesellschaft mit dem Ziel, den Transfer von wissenschaftlichen Entwicklungen in die industrielle Anwendung zu beschleunigen.

Das Zentrum entwickelt Sensorsysteme der nächsten Generation mit KI-Komponenten für neue Anwendungen in den Bereichen Materialprüfung, Produktions- und Bioprozesse sowie im Gesundheitswesen. Dabei steht der gesamte Prozess von der Datenerfassung bis zur Analyse und Auswertung im Fokus. Hier kommen Sensoren bzw. Sensorsysteme zum Einsatz, die in Echtzeit und vor Ort autark Entscheidungen treffen und so in einem definierten Rahmen Prozesse steuern. Die Thematik Sensor-Intelligenz orientiert sich an der Datenwertschöpfungskette, die anhand kognitiver Sensorsysteme aus sensorisch erfassten Messdaten selbstlernend höherwertige, handlungsbestimmende Informationen für wissensbasierte Entscheidungen entwickelt. Das Fraunhofer ZSI komplettiert mit seinen Kernkompetenzen und dem aufzubauenden Exzellenz-Portfolio in Sensor-Intelligenz einen bisher fehlenden essentiellen Baustein zur digitalen Transformation von Wirtschaft und Gesellschaft im Saarland. Der ganzheitliche, integrative Ansatz trägt dazu bei, innovative Anwendungssysteme gemeinsam mit Partnern aus der Wissenschaft und Wirtschaft zu entwickeln. Damit werden in einer späteren Phase deren Produkte ergänzt und erweitert.

Das Zentrum deckt die Innovationskette, beginnend von FuE im Labormaßstab bis hin zur prototypischen Fertigungs- und Produktumsetzung (Demonstration und Evaluierung), für komplexe, auto-adaptive Sensorsysteme der digitalen Welt von morgen ab. Ziel ist es zudem, ein Verwertungs- und Transfermodell aufzubauen, um eine über die Prototypenentwicklung hinausreichende Verwertung der Sensorsysteme in Industrieprodukten zu erreichen. Insbesondere fügt es der digitalen Daten- und Informationskette ein neues Exzellenz-Zentrum hinzu. Es wird über seine organisatorischen / inhaltlichen Kernsäulen

- Lab als Forschungs- und Entwicklungsbereich
- Fab als Demofabrik und industrielle Erprobungsplattform
- Hub als Transferplattform für Wirtschaft und Wissenschaft

eng mit den weiteren Forschungs- und Innovationsinitiativen insbesondere in der regionalen Forschungs- und Unternehmenslandschaft vernetzt.

Im Rahmen der oben beschriebenen Anforderungen von intelligenten Sensorsystemen werden im Fraunhofer ZSI neuartige Ansätze der Datenverarbeitung für performante Sensoriknetze entwickelt. Die Intelligenz oder kognitive Leistungsfähigkeit eines Sensorsystems bezieht sich vor allem auf die Rechenleistung des verwendeten Prozessors und somit im Hinblick auf die Verarbeitung von Daten auf die Anzahl der Operationen pro Sekunde die erbracht werden können. Weiterhin verbrauchen komplexe Entscheidungen verglichen mit dem menschlichen Gehirn einen enorm hohen Anteil an Energie. Die Energieeffizienz bei der Verarbeitung von Daten innerhalb eines Prozessors ist für das Voranschreiten von künstlicher Intelligenz für Edge- sowie Cloud-Computing in immer mehr Anwendungen in Bereichen Materialprüfung, Produktion, Medizintechnik, Militär und ziviler Sicherheit von entscheidender Bedeutung. Durch den ineffizienten Datentransport klassischer von Neumann Mikroarchitekturen und die Grenzen klassischer CMOS-Technologien bieten neue Paradigmen für die Verarbeitung von Daten neue Potentiale, um die konträren Ansätze

von energieeffizienten als auch leistungsfähigen Sensorsystemen zu bedienen und Probleme in der Verarbeitung von Daten wie z.B. die Memory Wall zu lösen.

Zwei Konzepte, welche im Fraunhofer ZSI untersucht und erforscht werden sind die Verarbeitung der Daten innerhalb eines Speichers sowie die Entwicklung generischer Hardwarebeschleuniger zur Berechnung von Algorithmen des maschinellen Lernens. Ersteres wird auch als In-Memory Computing bezeichnet. Der Vorteil gegenüber der Berechnung in klassischen von Neumann oder Harvard Architekturen ist die Reduktion des Datentransports zwischen Speicher und Verarbeitungsstufe. Unterschiedliche Speichertechnologien werden aktuell entwickelt und auf ihre Zweckmäßigkeit vor allem für Anwendungsgebiete der künstlichen Intelligenz untersucht. Das Fraunhofer ZSI untersucht hierbei die Verwendung von SRAM (Static Random Access Memory) Beschleunigern für Anwendungen in der Infrastruktur sowie Produktion. Der Vorteil der Verwendung von SRAM-Zellen gegenüber anderen Technologien wie z. B. ReRAM (Resistive RAM), PCM (Phase Change Memory) oder Flash Speichern ist die geringe Latenzzeit für Lese oder Schreibvorgänge sowie der Energieverbrauch pro Bit, (bei hoher Sense Amplifier Dichte) aber auch die Möglichkeit der Verwendung des Speichers als General-Purpose Speicher Array. Zum Einsatz soll der Beschleuniger für verschiedene Sensorsysteme der zerstörungsfreien Prüfung kommen.

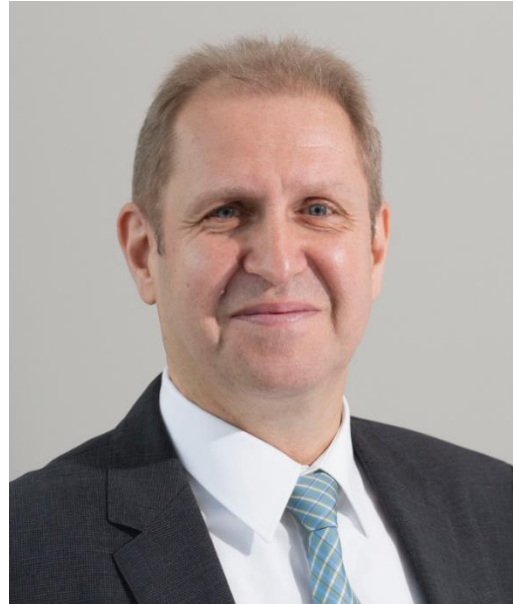
Ein weiterer Ansatz ist die Entwicklung von generischen Hardwarebeschleunigern auf Field Programmable Gate Arrays (FPGA). Der Vorteil von FPGAs ist die Flexibilität und die hohe Anzahl an verfügbaren I/Os (Ein und Ausgänge) und damit auch die Möglichkeit, die Datenverarbeitung in hohem Maße zu parallelisieren. Dies eröffnet das Potenzial, multimodale Sensorik mit geringen Latenzzeiten zu fusionieren und aufgrund der Flexibilität von FPGAs auf die Problemstellung angepasste Module zu entwickeln. In Anwendungsgebieten von neuronalen Netzen ist es damit möglich, geringe Latenzzeiten sowie eine energieeffiziente Berechnung zu erreichen, da viele Rechenschritte parallel ablaufen. Um den Aufbau von neuronalen Netzen auf FPGAs zu vereinfachen und zu beschleunigen, wurde am ZSI ein Beschleuniger entwickelt, der durch einfache Parameteranpassung vortrainierte Netze angepasst an die zur Verfügung stehenden Ressourcen instanziiert, um damit eine ideale Lösung für bestimmte Problemstellungen mit geringen Latenzzeiten zu ermöglichen. Durch die Quantisierung von neuronalen Netzen ist es dabei möglich die Menge der Daten zu reduzieren. Es konnte gezeigt werden, dass sich die Genauigkeit bei Reduktion der Präzision nicht signifikant reduziert, und sich die Latenzzeiten bei der Berechnung deutlich verringern lassen, was das Nutzen von quantisierten Netzen attraktiv macht.

Mit dem am ZSI entwickelten System konnten schon erste Netze erfolgreich implementiert und durch einfache Parameteranpassungen in ihrer Ausführung der Berechnung variiert werden. Die Weiterentwicklung des Beschleunigers soll es ermöglichen, neuere Netzarchitekturen von neuronalen Netzen wie RNNs (Recursive Neural Networks) oder Transformer zu realisieren. Eine Vereinfachung der Handhabung der Module durch höhere Programmiersprachen wie Python wird auch in Erwägung gezogen.

Der Vortrag soll damit die Einsatzmöglichkeiten von intelligenten Sensoren für verschiedene Anwendungsszenarien aufzeigen und auf Basis der bereits erzielten Ergebnisse zu einer konstruktiven Diskussion hinsichtlich neuer Lösungswege und ggf. zu zukünftigen Forschungspartnerschaften führen.

Vita von Prof. Dr. Michael J. Schöning

Prof. Dr. Michael J. Schöning studierte Elektrotechnik an der TU Karlsruhe und promovierte am Forschungszentrum Karlsruhe (Institut für Radiochemie und Analytische Chemie) auf dem Gebiet der chemischen Dünnschichtsensorik. Danach war er sechs Jahre lang als Gruppenleiter am Institut für Schicht- und Ionentechnik des Forschungszentrums Jülich tätig, wo er sich schwerpunktmäßig mit der Entwicklung siliziumbasierender Chemo- und Biosensoren beschäftigte. 1999 folgte er einem Ruf an die FH Aachen, Campus Jülich, auf eine Professur für Medizinische Messtechnik und Biosensorik. Im Jahr 2005 lehnte er einen Ruf auf eine C4-Professur an die TU Chemnitz ab. Seit 2007 fungiert er als Gründungsdirektor des Instituts für Nano- und Biotechnologien (INB) an der FH Aachen.



Er hat mehr als 450 peer-review Originalarbeiten in Fachjournals, als Buch- oder Review-Artikel publiziert; h-Index: 59 (Google Scholar). Er wirkt als Gutachter bei diversen wissenschaftlichen Organisationen und in Editorial Boards von fünf internationalen Journals mit. Seine Hauptarbeitsgebiete sind: Halbleiterbasierende Chemo- und Biosensoren, Dünnschichttechnik, Mikro- und Nanosystemtechnik.

Kapazitive Feldeffektsensoren für Biosensoranwendungen

Capacitive field-effect sensors for biosensoric applications

Michael J. Schöning^{1,2}

*¹Institute of Nano- and Biotechnologies, Aachen University of Applied Sciences,
Jülich/Germany*

²Institute of Biological Information Processing, Forschungszentrum Jülich, Jülich/Germany

Among the multitude of concepts and different types of chemical sensors and biosensors discussed in the literature, the strategy to integrate chemical or biological recognition elements together with semiconductor-type field-effect devices is one of the most attractive approaches. Typical examples are capacitive electrolyte-insulator-semiconductor (EIS) field-effect sensors, light-addressable potentiometric sensors (LAPS) or ion-sensitive field-effect transistors (ISFETs). These sensors provide a lot of advantages over conventional approaches such as small size and weight, fast response time, possibility of on-chip integration of sensor arrays, high robustness, and low-cost fabrication. Fields of application reach from medicine, biotechnology, process control and environmental monitoring through food and drug industries up to defense and security requirements.

This presentation gives an overview on recent examples of capacitive, field-effect (bio-)chemical sensors developed at the Institute of Nano- and Biotechnologies. The sensors have been dealing with different receptor molecules such as enzymes, polyelectrolytes or DNA molecules, and virus particles, as well as device concepts and various immobilization strategies.

Lebenslauf von Dr. Michael Overdick

- 3.3.1969 geboren in Porz am Rhein, Nordrhein-Westfalen
- 1989 – 1994 Studium der Physik an der Universität Bonn und der University of Cambridge (UK)
Abschlüsse MPhil und Diplom-Physiker
- 1994 – 1998 Promotion am Physikalischen Institut der Universität Bonn (Experimentalphysik)
- 1998 – 2004 Wissenschaftlicher Mitarbeiter in den Philips Forschungslaboratorien Aachen:
Medizinische Bildgebung, vor allem dynamische Röntgendetektoren
- 2004 – 2009 Gruppenleiter „X-ray Imaging Systems“ in den Philips Forschungslaboratorien Aachen
Zuletzt auch verantwortlich für die gesamte Forschung zu „Medical X-ray Imaging“ im Philips-Konzern.
- 2009 – 2017 Divisionleiter Forschung & Entwicklung der Division Analyzers bei SICK (Reute):
Gasanalytoren (vor allem optische Spektroskopie) und Staubmessgeräte für Emissionsmessungen und Prozessmesstechnik
- seit 1.7.2017 Technology Management für den SICK-Konzern (Waldkirch):
Verbindung zu Hochschulen, Instituten und Verbänden sowie Technology Scouting



Sensordlösungen und KI auf dem Weg zur Digitalisierung

Dr. Michael Overdick¹, Dr. Dominic Mai¹, Dr. Tobias Schubert¹

¹SICK AG, Waldkirch, Deutschland

Bei der Digitalisierung spielen Sensoren eine entscheidende Rolle, da sie eine der wichtigsten Quellen für den „Treibstoff“ der Digitalisierung sind – Daten. Diese Aussage gilt besonders dort, wo industrielle Prozesse automatisiert ablaufen oder stärker automatisiert werden sollen, wie zum Beispiel in der Fabrikautomation, der Logistikautomation oder in Branchen der Prozessindustrie.

Die Digitalisierung findet dabei auf verschiedenen Skalen oder Ebenen statt. Ausgehend von einzelnen Sensoren erstreckt sie sich über die Digitalisierung von Maschinen über ganze Produktionsabläufe bis hin zur digitalisierten Fabrik, die ihrerseits mit anderen Produktionsstätten, Warenwirtschaftssystemen, Lieferanten und Kunden vernetzt ist. Der Beitrag zeigt auf, wie sowohl intelligente Lösungen auf Sensorebene als auch beispielsweise KI-gestützte Ansätze auf Datenebene die Digitalisierung mit vorantreiben. Praktische Anwendungen u.a. aus der Logistikautomation werden präsentiert und erläutert. Dabei spielen moderne Verfahren der Bildverarbeitung eine wichtige Rolle, die auf Deep Learning basieren und bereits in verschiedenen Applikationen eingesetzt werden. Hierbei wird auch das Training der entsprechenden neuronalen Netze thematisiert.

Kurz-CV von Dr. Sina Keller

Dr. Sina Keller studierte Mathematik und Geographie an der Universität Karlsruhe, jetzt Karlsruher Institut für Technologie (KIT), mit den vertieften Fachgebieten Analysis und zusätzlich Informatik sowie Klimageographie und Stadtgeographie. Ihre Promotion schloss sie am Institut für Städtebau und Landesplanung / Institut für Regionalwissenschaft am KIT ab. Die Dissertation beschäftigte sich mit der datenbasierten Analyse und Modellbildung zur Abschätzung spezifischer Gefahren des Klimawandels für Straßen. Sie entwickelte datengetriebene Konzepte und Methoden auf Basis maschineller Lernverfahren für Klimadaten, um die Auswirkungen auf die Straßeninfrastruktur abzuschätzen. Seit 2015 arbeitet Sina Keller am Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung als Postdoktorale Wissenschaftlerin. 2017 übernahm sie die Leitung einer Doktorierendengruppe. Ihre Forschungsgebiete umfassen die Erarbeitung von überwachten, semi- und unüberwachten maschinellen Lernverfahren, wie Self-Organizing Maps (SOMs) und Shallow Learning bis Deep Learning. Eine eminent wichtige Zielsetzung ist dabei die Schätzung relevanter physikalischer und physikochemischer Größen mit Geoinformationsdaten. Seit 2018 ist Sina Keller aktiv im Koordinierungsausschusses des interdisziplinären Centers for Disaster Management and Risk Reduction Technology (CEDIM) tätig. Neben der universitären Laufbahn ist ihr zweites Standbein die industrielle Tätigkeit, die sie seit 2015 ausübt. Bei der Firma ci-Tec GmbH hat sie 2017 die Leitung Forschung und Entwicklung übernommen. Seit 2021 ist sie Mitglied der Geschäftsführung und verantwortet den Forschungs- und Entwicklungsbereich.

Maschinelles Lernen für non-invasives Brückenmonitoring: Eventerkennung als Beispiel

Sina Keller

ci-tec GmbH, Karlsruhe

Abstract:

Kritische Verkehrsinfrastrukturen wie Brücken müssen bezüglich ihres Zustandes überwacht werden. Für diese Überwachung können mobile, berührungslose fernerkundliche Sensoren eingesetzt werden. Beispiele für solche Sensoren sind bodenbasierte interferometrische Radarsensoren. Mit diesen kann die Datenaufnahme während des laufenden Verkehrs auf der Brücke stattfinden. Die Anregung der Brücke erfolgt somit über Fahrzeugüberfahrten (Events). Zur Validierung, welche Fahrzeuge sich während der Messungen auf der Brücke befinden, können unbemannte Luftfahrzeuge bzw., in Englisch, unmanned aerial vehicle (UAV), oftmals als Drohne bezeichnet, eingesetzt werden. Der UAV-Einsatz ist jedoch nicht immer rechtlich und technisch machbar. Um eine Analyse der dynamischen Belastungen von Brücken aus Radardaten zu ermöglichen, müssen folglich in einem ersten Schritt die Fahrzeugüberfahrten aus den Radardaten erkannt und extrahiert werden.

Vorge stellt wird die Eventerkennung aus Zeitreihen-Radardaten mittels maschinellen Lernverfahren. Die sich bei dieser Klassifikationsaufgabe ergebenden Herausforderungen werden anhand einer Deep-Learning-Architektur gelöst. Auf die an realen Brücken gemessenen Radardaten wird ein 1-dimensionales Convolutional Neural Network (1D CNN) trainiert und angewandt, um eine rein datengetriebene Eventdetektion zu realisieren. Das 1D CNN wird zudem auf unbekannte, von einer anderen Brücke stammende, Radarmessungen übertragen. UAV-Videsequenzen dienen für diese Klassifikationsaufgabe als Referenz. Im Vortrag werden kurz das Messprinzip an Brücken mit Radarsensoren und die Messkampagnen, die Datengrundlage sowie die methodische Herangehensweise beschrieben. Weitere Ansätze zur Klassifikation des Fahrzeugtyps werden angerissen.

VORTRÄGE:

Entwicklung von Präkonzentratorsystemen für Gasphasensensoren mit Hilfe der inversen Gaschromatographie (iGC)

M. Wittek¹

¹Fraunhofer ICT, Pfinztal/ Deutschland

Um die Sensitivität und Selektivität von Gasphasensensoren zu steigern lässt sich das Prinzip einer Aufkonzentration der Gasphase über einen Präkonzentrators anwenden. Dabei wird ein Adsorbiermaterial verwendet, welches entweder aktiv mit dem zu untersuchenden Gasgemisch durchströmt oder passiv im Raum eingesetzt wird. Dabei werden die sich in der Gasphase befindenden Moleküle am Präkonzentratormaterial adsorbiert und reichern sich an dessen Oberfläche an. In zyklischen Intervallen kann durch eine Temperaturerhöhung des Präkonzentrators die adsorbierten Moleküle an einen angeschlossenen Sensor pulsartig freigegeben werden. Durch ein entsprechend ausgelegtes Präkonzentrator-System lässt sich eine erhebliche Vervielfachung der Gasphasenkonzentration für diesen Puls erreichen. Darüber hinaus ermöglichen selektive Materialien eine Trennung des Gasgemischs bereits vor dem Sensor. Möglichen Querempfindlichkeiten kann so vorgebeugt werden.

Um das Prinzip der Präkonzentration optimal einsetzen zu können, ist entscheidend das Zusammenspiel aus Gasphase und Adsorber zu verstehen. Hierzu eignen sich Messungen der inversen Gaschromatographie (iGC) um die Wechselwirkungen des Materials fundamental zu charakterisieren. In einer Messung wird dabei der Verteilungskoeffizient des Materials mit einem Analyten bestimmt. Die Messungen sind bei unterschiedlichen Temperaturen möglich, wodurch das Retentionsvolumen für den Fall der Adsorption als auch der Desorption bestimmt werden kann. Dieses gibt an wie viel Gas durch den Adsorber strömen muss, um die adsorbierten Moleküle zu entfernen und stellt eine wichtige Größe für die Auslegung des Präkonzentrators dar. Darüber hinaus können weitere relevante Größen aus den Messungen bestimmt werden.

Neben bewährten Adsorbieren stehen in der Forschung diverse neue Klassen an Materialien mit für die Gasanreicherung vielversprechenden Eigenschaften im Fokus. Zu diesen Materialien zählen unter anderem poröse Polymeren, Aktivkohlen, Zeolithe, Metallorganische Frameworks (MOFs) und modifiziertes Graphen.

QCM type e-Nose Applications with a Metal Organic Frames Sensor Array for Discrimination of Aromatic Plants, VOCs, Isomers and Their Ternary Blends

Salih Okur¹, Peng Qin¹, Chun Li¹, Zejun Zhang¹, Abhinav Chandresh¹, Mohammed Sarheed², Uli Lemmer³, Peter Nick², Lars Heinke¹ and Christof Wöll¹

¹KIT, Institute of Functional Interfaces (IFG), 76344 Eggenstein-Leopoldshafen, Germany

²Molecular Cell Biology, Botanical Institute, KIT, 76131 Karlsruhe, Germany

³Light Technology Institute, Karlsruhe Institute of Technology, 76131 Karlsruhe, Germany

Detection and recognition of volatile organic compounds (VOCs) are crucial in many applications. While pure VOCs can be detected by various sensors, the discrimination of VOCs in mixtures, especially of similar molecules, is hindered by cross sensitivities. Isomer identification in mixtures is even harder. Metal-organic frameworks (MOFs) with their well-defined, nanoporous, and versatile structures have the potential to improve the VOC sensing performance by tailoring the adsorption affinities. Here, we detect and identify ternary xylene isomer mixtures by using an array of six gravimetric, quartz crystal microbalance (QCM)-based sensors coated with selected MOF films with different isomer affinities. The sensor array has a very low limit of detection of 1 ppm for each pure isomer and allows the isomer discrimination in mixtures. At 100 ppm, 16 different ternary o-p-m-xylene mixtures were identified with high classification accuracy (96.5%). In addition, sensor arrays based on six different SURMOFs were used successfully to discriminate eight aromatic Basil and Mint plants, seven of which belonged to the taxonomically challenging family Lamiaceae. The data sets (four cycles) obtained from a low-cost custom-made portable e-Nose were analyzed using a linear discriminant analysis (LDA) and n-Nearest Neighbor (k-NN) classification models. The discrimination accuracy for each cycle is around 99%. Nevertheless, the crosscheck prediction accuracies are obtained between 73.5 and 90.2%. Our results show the unprecedented performance of MOF-sensor arrays also referred to as QCM type MOF-electronic nose (MOF-eNose) for quickly analyzing the sample constituents of a complex mixture.

References:

- 1- Qin, P., Day, B. A., Okur, S., Li, C., Chandresh, A., Wilmer, C. E., & Heinke, L. (2022). VOC Mixture Sensing with a MOF Film Sensor Array: Detection and Discrimination of Xylene Isomers and Their Ternary Blends. *ACS sensors*.
- 2- Okur, Salih, et al. "Sniff species: SURMOF-based sensor array discriminates aromatic plants beyond the genus Level." *Chemosensors* 9.7 (2021): 171.
- 3- Okur, S., Zhang, Z., Sarheed, M., Nick, P., Lemmer, U., & Heinke, L. (2020). Towards a MOF e-Nose: A SURMOF sensor array for detection and discrimination of plant oil scents and their mixtures. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 306, 127502.

Sauerstoff-sensitive Mikrokavitätenarrays zur Messung von Sauerstoff in der Mikroumgebung von 3D-Zellkulturen

Christoph Grün, Eric Gottwald

Karlsruher Institut für Technologie, Institut für Funktionelle Grenzflächen,

AG 3D-Zellkultursysteme, Karlsruhe/Deutschland

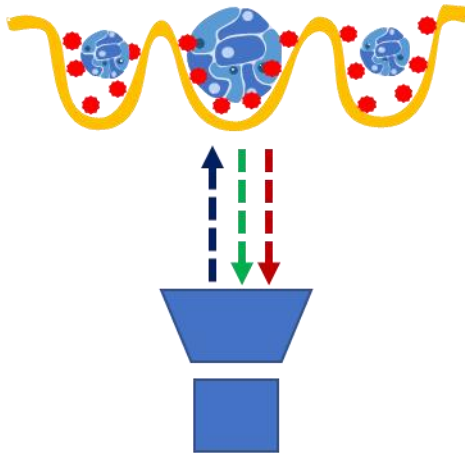
In den letzten 70 Jahren wurden fast 500 Medikamente auf Grund ihrer Toxizität wieder vom Markt genommen. Dies ist vor allem auf Diskrepanzen der Ergebnisse der derzeitigen *in vitro*-Screening-Methoden und den klinischen Studien im Menschen zurückzuführen. Aktuelle Screening-Methoden bedienen sich häufig wenig organotypischer 2D-Kulturen, die typischerweise einer Hyperoxie (21 % Sauerstoff) ausgesetzt werden, was zu Stressbedingungen in der Zellkultur (Beeinflussung der NrF2-, NF-κB- und MAPK-Signalwege) und damit zu verfälschten Ergebnissen in der Substanztestung führt. Dagegen liefern humane 3D-Zellkultursysteme, die zur Bildung von O₂-Gradienten führen und denen von *in vivo*-Geweben ähneln, deutlich relevantere Ergebnisse. Eine Herausforderung ist jedoch, die Sauerstoffkonzentration in 3D-Kulturen in Echtzeit zu bestimmen. Weitverbreitete Methoden zur Sauerstoffmessung, wie die Winkler-Titration oder Clarke-Elektroden eignen sich für die Anwendung in 3D-Zellkulturen nicht, da sie bspw. unlösliche Niederschläge bilden oder den Analyten verbrauchen. Andere, optische Ansätze, sind meist nur in der Lage Sauerstoff global im System zu bestimmen. Gerade in 3D-Zellkulturen spielen gewebetypische Sauerstoffkonzentrationen eine große Rolle, da der lokale Sauerstoffgehalt einen wichtigen Einfluss auf das organotypische Verhalten von Zellen hat und der Sauerstoffgehalt in Geweben, selbst in der Lunge, niedriger ist, als der Anteil in der Umgebungsluft. Dennoch werden in der Regel Zellkulturen unter Umgebungsatmosphäre, also mit 21 % Sauerstoff, kultiviert, was somit zu einer Hyperoxie, mit den damit verbundenen Veränderungen im Stoffwechsel der Zellen, führt. Eine orts aufgelöste Sauerstoffbestimmung ist daher auch für die Versuchsdurchführung unter physiologischen Bedingungen unerlässlich.

Um Zellen dreidimensional als Zellaggregate zu kultivieren, wurden am Karlsruher Institut für Technologie (KIT) sogenannte Folien-basierte Mikrokavitätenarrays etabliert, die durch ein Mikrothermoformverfahren hergestellt werden können. Dieses Verfahren wurde im Rahmen einer Kooperation mit der PreSens Precision Sensing GmbH (Regensburg) weiterentwickelt, indem die verwendeten Polymerfolien mit Sauerstoff-sensitiven Fluorophoren beschichtet wurden. Durch das Prinzip der dynamischen Fluoreszenzlöschung ist es nun möglich in den Mikrokavitäten, also in unmittelbarer Mikroumgebung der Zellen, Sauerstoff zu bestimmen (Abbildung 1 A).

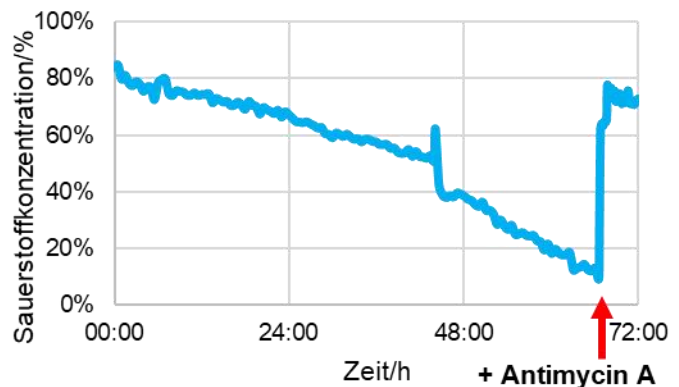
Durch den Einsatz von Mikrokavitätenarrays sind so bis zu 634 Datenpunkte/cm² möglich, was das System für Hochdurchsatzscreenings interessant macht. Zudem ist es möglich neben der Sauerstoffmessung auch hochauflösende Konfokalmikroskopie im System durchzuführen.

In HepG2 Sphäroiden, als erstem Modellsystem, konnte zum einen der Sauerstoffverbrauch über längere Kultivierungszeiten, sowie die reproduzierbare Beeinflussung der Atmungskette durch spezifische Inhibitoren gezeigt werden (Abbildung 1 B). Zum anderen wurde ein Assay etabliert, mit dem die Zellatmung in den Mitochondrien genauer charakterisiert werden kann (Mito-Stress-Test).

A) Messprinzip



B) Einfluss von Atmungsketten-Inhibitoren



C) Auswertung und automatisierte Erkennung der ROIs

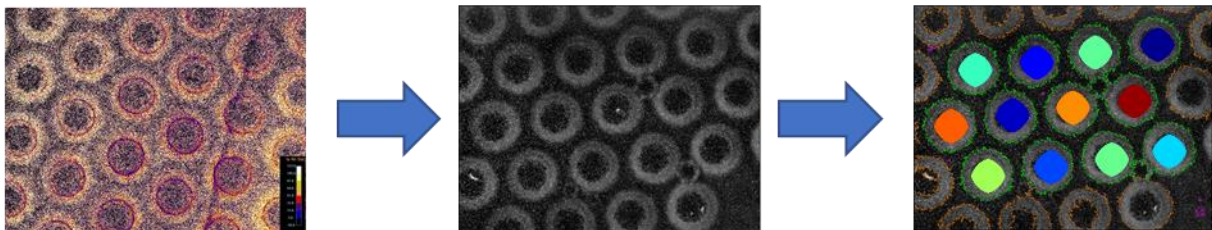


Abbildung 1: A) Darstellung des Messprinzips. In Sauerstoff-sensitiven Mikrokavitäten können dreidimensional Zellaggregate kultiviert werden. B) Abnahme der Sauerstoffkonzentration in der Mikroumgebung der Zellen während einer dreitägigen Kultivierungsphase und ein Anstieg nach Zugabe des Atmungsketteninhibitors Antimycin A. C) Das VisiSens System (PreSens GmbH, Regensburg) nimmt Mikroskopbilder mit den Fluoreszenzsignalen auf. Diese können mit der Open Source Software CellProfiler prozessiert werden. So ist eine automatisierte Erkennung der ROIs möglich, was die Auswertung mehrerer Datenpunkte pro Aufnahme ermöglicht.

Die Verwendung einer Vielzahl von Zelltypen in diesem System ist möglich. Unter anderem können in den Mikrokavitäten Zellaggregate aus humanen Stammzell-abgeleiteten Herzmuskelzellen (Kardiomyozyten) generiert werden, die als Modell für Toxizitätstests im Bereich der ischämischen, kardiovaskulären Toxizität dienen können.

Mit dem entwickelten System ist es nun weltweit erstmals möglich Sauerstoff in unmittelbarer Mikroumgebung von dreidimensionalen Zellaggregaten zu bestimmen. Zudem ist die Auswertung weiterer Parameter bspw. über Mikroskopie möglich.

Keramische Mikro-PEM-Brennstoffzellensysteme zur autarken Versorgung von miniaturisierten Systemen kleiner ein Watt (eMikro)

Steffen Ziesche¹, Felix Heubner², Bastian Ruffmann³, Uwe Krieger⁴, Hartmut Stoltenberg⁵

¹Fraunhofer Institute for Ceramic Technology and Systems IKTS, Dresden,

²Fraunhofer Institute for Manufacturing Technology and Advanced Materials, Dresden,

³balticFuelCells GmbH, Schwerin,

⁴VIA Electronic GmbH, Hermsdorf, ⁵Prignitz Mikrosystemtechnik GmbH, Wittenberge

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Es werden Ergebnisse aus dem öffentlich geförderten Projekt “eMikro” vorgestellt. Die Partner balticFuelCells GmbH, VIA Electronic GmbH, Prignitz Mikrosystemtechnik GmbH, Fraunhofer IKTS und Fraunhofer IFAM entwickelten ein keramisches Mikroenergiesystem, das aus einem miniaturisierten Metallhydridspeicher, einem dafür entwickelten Belade- und einem Entladeventil, einer Niedertemperaturbrennstoffzelle basierend auf einem 4-Zellen-Stack und einer Steuerelektronik besteht. Als Anwendungsfall wurde eine

Pegelsonde genutzt, die in dieser Konfiguration, ausgerüstet mit einem Funkmodul, autark betrieben werden kann.

Ebenso, wie andere IoT Systeme stellt eine solche Pegelsonde Anforderungen an die Energieversorgung: Lange Lebensdauer, Hohe Zuverlässigkeit, Unterbrochener Betrieb mit langen Pausen und Betrieb unter rauen und variablen Umgebungsbedingungen.

In diesem Kontext bietet eine Brennstoffzellenlösung im Vergleich zu herkömmlich verwendeten Batterien eine Reihe von Vorteilen: hohe Energiedichten, hohe Zyklenfestigkeit und schnelle Wiederaufladbarkeit, geringer Wartungsaufwand, kaum Selbstentladung, keine Energieverluste durch Temperaturänderungen.

Es sind aber auch eine Reihe von Hindernissen zu überwinden. Die Brennstoffzelle sollte in einem optimalen Betriebszustand arbeiten. Sie muss auch bei Minustemperaturen sicher anlaufen. Das entstehende Wasser ist abzuführen.

Im Projekt entstand eine Lösung für diese Aufgabenstellung auf Keramikbasis. Eine Ausnahme bildet hier der Wasserstofftank. Er hat die Aufgabe die Hydride in pelletierter Form aufzunehmen und Drücken bis 30 bar standzuhalten. Deshalb wurde er aus einer Stahllegierung mit einem, dem Keramikmaterial ähnlichen, Ausdehnungskoeffizienten gefertigt. Für die Befüllung des Tanks entstand ein keramisches Füllventil. Die Versorgung des Brennstoffzellenstacks erfolgt mittels eines im Projekt entwickelten Wasserstoffdruckreduzierventils, das in Ceramic Multilayer Technology hergestellt wurde.

Die Brennstoffzelle selbst wurde als PEM-basierter, planarer Mikro-Brennstoffzellenstapel realisiert. Sie arbeitet mit einer Stackspannung von 2 Volt und einer Leistung von 150mW/cm². Für die Steuerung des Mikroenergiesystems wurde eine Baugruppe entwickelt, die es ermöglicht, Energie zwischenzuspeichern und die Brennstoffzelle zyklisch am optimalen Arbeitspunkt zu betreiben.

Der siebte Sinn: Multi-sensor mit „künstlicher Intelligenz“ zur Maschinenüberwachung

Hanno Platz

GED Gesellschaft für Elektronik und Design mbH, Ruppichterath-D

Verschleiß, Unwucht, Korrosion und Verformungen treten im Lebenszyklus jeder Maschine oder Anlage auf. Solche Fehler führen auch schnell zu Produktionsausfällen. Doch wenn Fehler frühzeitig durch abnorme Änderungen der Vibration, Geräuschen oder auch Temperaturen erkannt werden, lassen sich durch vorbeugende Service-Maßnahmen erhebliche Kosten einsparen. Im Rahmen der GED Entwicklung „Predictive Maintenance“ werden die Multisensorik Module des „Sensor Node“ mit einer künstlichen Intelligenz ausgestattet. Durch die integrierte Intelligenz des SensorNode ist der in der Lage, die verschiedenen Messsignale intern zu filtern, zu verarbeiten, zu analysieren und zu bewerten („Computing on the Edge“). Im Anschluss daran können fertige Auswertungen oder Warnungen an die entsprechenden Empfänger weitergeleitet werden. Durch die kleine Bauform des Multi-SensorNodes ist er einfach nachträglich an die optimale Stelle der Maschine anzubringen. Wahlweise mit integriertem BLE-Funk zum Gateway oder auch über unterschiedliche drahtgebundenen Schnittstellen ausgestattet, kann der kleine SensorNode nachträglich in bestehende Maschinenlösungen integriert werden. Im Rahmen des GED Sensor-Baukastens können damit die spezifischen Anwendungen schnell konfiguriert und individuelle IoT-Sensorlösungen für den Kunden entwickelt werden.

System-Design of a Modular Multi Sensor Platform for In-Situ Ocean Monitoring

J. Harms¹, F.J. Klar, T.A. Kern

¹Hamburg University of Technology

Institute for Mechatronics in Mechanics, 2073 Hamburg Germany Julius.harms@tuhh.de

Collecting reliable measurement data from the ocean surface is essential for environmental and climate research. Ocean drifters are free-floating measurement buoys used to track particle dispersion and validate oceanic circulation models by simply tracking their GPS position. Interest in these small measurement platforms is increasing worldwide to improve spatial measurement resolution and monitoring capabilities. At the same time, the requirements for the measurement instruments are increasing. In addition to position tracking, other environmental parameters such as sea surface temperature and salinity are of great interest but require a more complex technical implementation. Furthermore, each deployment has different requirements in terms of the sensors to be used and the frequency of data transmission. Since there is no established system that enables this modular tracking task, most experiments develop their custom designs. Commercially available solutions either only provide GPS positioning or require high integration costs for the implementation of specialized sensor technology. For this reason, the Institute of Mechatronics in Mechanics (IMEK) is developing a modular measurement platform which allows the use of custom sensor technologies. The result is a modular multi-sensor platform that enables the acquisition of various measurement data and solves the problem of technical implementation. A holistic design is considered that includes energy harvesting, cost- and power-optimized sensors, and an electronic hardware architecture. The motherboard consists of a processing unit that controls a GPS module, data transmission via satellite communication, and is also equipped with an IMU and an on-board temperature sensor. The hardware is designed with focus on low power consumption and has a power management circuit to switch off the connected sensors for a low-power sleep mode. Satellite communication is implemented with state-of-the-art IOT communication solutions to reduce cost and power consumption even further. An open sensor interface allows the measurement platform to be expanded with external sensor units. With a standardized protocol all measurement data from the connected sensors can be received. To simplify the individual configurations, a user interface enables to set up the measurement parameters. In order to be able to carry out cost-effective measurements of the sea surface salinity, IMEK is also developing an integrated inductive conductivity sensor which is suitable for use on a compact measuring buoy in terms of both form factor and measurement requirements. In total, the project presents an easy and cost-effective solution that greatly simplifies the in-situ monitoring of the oceans with individual sensor technology.

Erhöhung der Dimensionalität und Stabilität von Gassensoren als Basis für die erfolgreiche Anwendung von Methoden des maschinellen Lernens

Martin Leidinger, Caroline Schultealbert, Tobias Baur,

Wolfhard Reimringer, Thorsten Conrad

3S GmbH – Sensors, Signal Processing, Systems, Saarbrücken, Deutschland

Der temperaturzyklische Betrieb (TCO) von Halbleitersensoren (MOS-Sensoren) zur Erhöhung des Informationsgehalts wird mit großem Erfolg eingesetzt. Er basiert auf der temperaturabhängigen Reaktivität des gemessenen Gasgemisches sowie der Ausnutzung transienter Effekte nach Temperaturänderung der sensitiven Schicht. In der praktischen Anwendung ergeben sich mehrere Herausforderungen für eine Kalibrierung solcher Sensoren mit Methoden des maschinellen Lernens. Zum einen stehen häufig nur in begrenztem Maße Referenzdaten bereit, da die Kalibrierung wirtschaftlich und damit vorzugsweise kurz sein muss, zum anderen sind gerade im Bereich der Geruchsdetektion benötigte Referenzproben häufig nur in begrenztem Umfang und begrenzter Variabilität überhaupt verfügbar. Für komplexe Messaufgaben können außerdem zusätzliche Informationen orthogonal zum TCO interessant sein, um eine selektivere und stabilere Messung zu ermöglichen.

Um diese Herausforderungen anzugehen, und den verfügbaren Informationsgehalt zu erhöhen, werden mehrere Ansätze anhand realer Beispiele vorgestellt:

- eine anwendungsspezifische Kalibrierung in einem Gasmischsystem zur Sicherstellung der Stabilität im unüberwachten Feld am Beispiel der TVOC-Messung im Innenraum
- die Untersuchung des Mehrwerts der Kombination mehrerer unterschiedlicher Halbleitersensoren und deren Einfluss auf die Messgenauigkeit
- der Einsatz eines Präkonzentrator-Sensor-Moduls, das zusätzlich Informationen über Flüchtigkeit und Diffusionsgeschwindigkeit bereitstellt
- die Kombination von MOS-Sensoren mit anderen Sensortechnologien wie elektrochemischen Zellen (EC-Zellen), die durch unterschiedliche Sensitivitätsspektren z. B. Maskierungseffekte in der Außenluft aufdecken (z.B. durch Ozon oder Stickoxide).

Synthetische Kalibrierung von Gassensoren in Gasmischanlage

Basis jeglicher Anwendung von Methoden des maschinellen Lernens ist die statistische Kalibrierung, die im Idealfall die Anwendung möglichst gut simuliert. Hierbei werden Trainingsdaten erzeugt, auf deren Basis die Modellbildung erfolgt. Am Markt erhältliche Gassensoren besitzen häufig bereits verarbeitete Ausgabesignale wie die Summenkonzentration der flüchtigen organischen Verbindungen (TVOC) in Innenräumen. Die Qualität dieser Signale genügt jedoch nur bedingt dem Anspruch verschiedener Anwender, weshalb eine anwendungsspezifische Kalibrierung ratsam ist. Abbildung 1 zeigt die Signalverläufe von zwölf Sensorsystemen. Die Kalibrierung wurde für das Szenario Innenraumluftqualität parametrisiert. Die Gasangebote sind Gemische repräsentativer VOCs bei Summenkonzentrationen von 0,6-3 mg/m³, die verschiedene Responsespektren auf den Sensoren abdecken. Zusätzlich werden die Hintergrundgase Wasserstoff und Kohlenstoffmonoxid variiert.

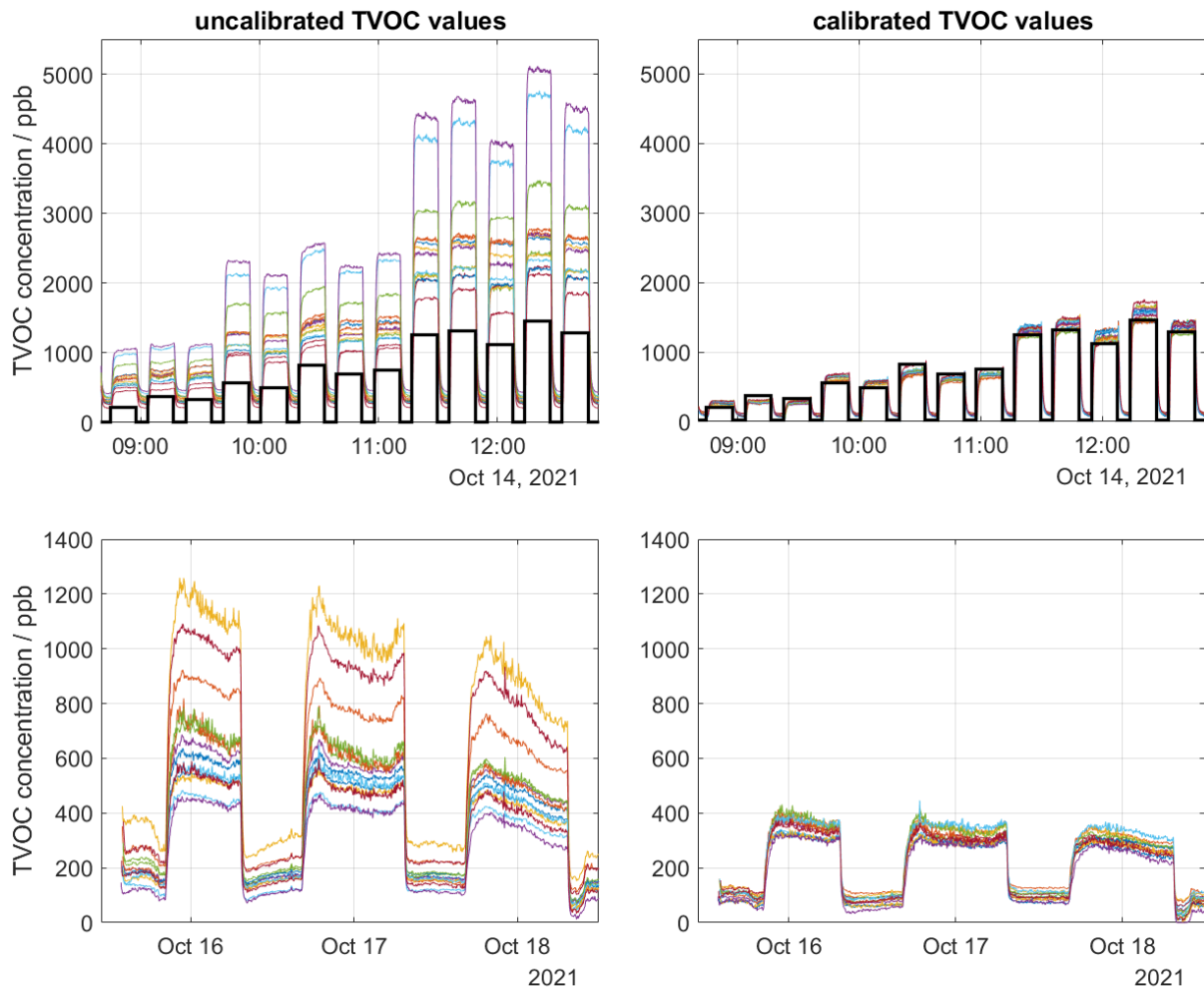


Abbildung 2: Vergleich der ab Werk vom Sensor ausgegebenen TVOC-Werte (links) in der Kalibrierung (oben) mit den kalibrierten Werten erhalten durch eine PLSR-Bildung mehrerer Sensormerkmale (rechts). Die unteren Graphen zeigen den Vergleich beider Signale über mehrere Tage an Raumluft.

Die Ausgabe der MOS-Sensoren ab Werk (uncalibrated TVOC values) sind in den beiden Plots links dargestellt. Aus der Kombination von zwei Ausgabewerten des Sensors wird mit Hilfe eines Regressions-Verfahrens eine kalibrierte TVOC-Ausgabe erzeugt (rechte Seite, calibrated TVOC values). Die oberen beiden Graphen zeigen denselben Abschnitt aus einer Werkskalibrierung in einer Gasmischanlage. Die unteren beiden Graphen zeigen Signale derselben Sensorsysteme im Feld im Anschluss an die Kalibrierung über mehrere Tage – ein Tag-Nach-Rhythmus der Raumbelüftung ist deutlich zu erkennen. Im Ergebnis weisen die kalibrierten Ausgabewerte einen vielfach besseren Gleichlauf auf, wodurch Messergebnisse in verschiedenen Räumen verglichen werden können. Darüber hinaus liegen die kalibrierten Messsignale bei deutlich niedrigeren Konzentrationen, da die Response der Sensoren auf ein für die Anwendung repräsentatives Gemisch (inkl. Störgrößen) bestimmt wurde.

Nutzung verschiedener Halbleiter-Sensoren und Kombination der Signale

Auf Basis des temperaturzyklischen Betriebs wurden für fünf verwendete Sensorschichten (ein Einzelsensor und ein 4-fach Sensor) mehreren Gasen in verschiedenen Konzentrationen ausgesetzt und aus den Signalen Merkmale berechnet. Mit diesen Merkmalen wurden Regressions-Modelle trainiert und zur Quantifizierung der Einzelgase und zwei Gemisch-Varianten ein RMSE gebildet. Im Ergebnis wurde ersichtlich, dass, je nach Zielparameter, der

RMSE aus der Kombination aller vier Schichten für die Einzelgase in etwa das beste Ergebnis der besten Einzelschicht repräsentiert – die Verwendung mehrerer Schichten geht also in diesem Fall mit keiner Verbesserung im Gesamtergebnis einher. Im Gegensatz dazu zeigt das Modell zur Vorhersage der Gesamt-VOC-Konzentration einen um den Faktor 2 niedrigeren RMSE mit der Kombination allen vier Schichten im Vergleich zu den einzelnen Schichten.

Integrierter Mikro-Präkonzentrator

Eine weitere getestete Methode zur Erhöhung des Sensorsignal-Informationsgehalts ist die künstliche temporäre Erhöhung der Gaskonzentration mittels Präkonzentrator. Es wurde ein Mikro-Präkonzentrator entwickelt und zusammen mit einem Gassensor in ein Gehäuse integriert (Pre-concentrator Gas Sensor Module, PCSM).

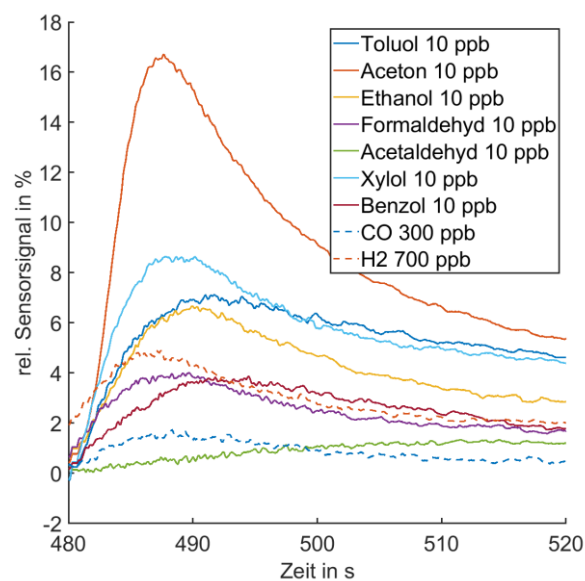


Abbildung 3: Relative Änderung von Sensorsignalen eines PCSM-Systems; Berechnet durch Division des Signals mit Präkonzentrator-Desorption durch das Signal ohne Desorption

Abbildung 2 zeigt die relative Signaländerung einer sensitiven Schicht des MOS-Sensors im PCSM bei Desorption des Präkonzentrator-Materials für verschiedene Gase. Man sieht, dass für die verschiedenen Gase unterschiedliche Signalformen entstehen; sowohl die Höhe als auch die Position und Form des Peaks sind von der Art des Gases abhängig.

Kombination mehrerer Sensortechnologien

Abbildung 3 zeigt normierte Signalverläufe einer elektrochemischen Zelle für NO_2 und mehrerer MOS-Sensoren im dynamischen Betrieb im Feld. Vor allem bei Außenluftmessungen können oxidierende Gase wie Stickoxide und Ozon in Kombination mit reduzierenden Zielgasen zu Maskierung und gegenläufigen Signalen führen. In den markierten Ausschnitten ist das in verschiedenen Ausprägungen beispielhaft gezeigt. Ausschläge der MOS-Sensoren nach unten, die für oxidierende Gase typisch sind, korrelieren gut mit Peaks im Signal der elektrochemischen Zelle.

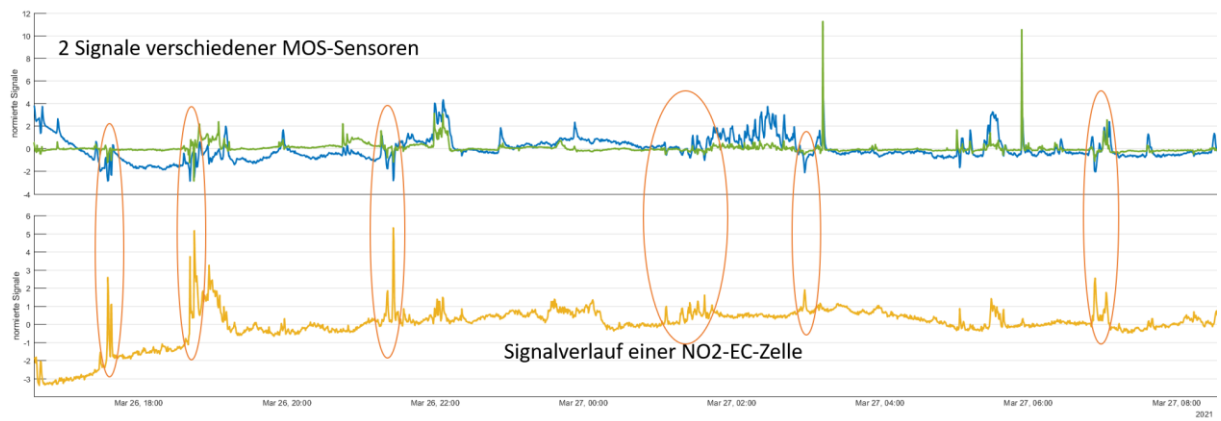


Abbildung 4: Ausgewählte Events einer Messstation im Außenbereich eines Chemieparcs und Vergleich der normierten Sensorsignale verschiedener Messtypen (oben: MOS-Sensoren, unten: NO2-EC-Zelle).

KI-Tool für prädiktive Prozessoptimierung und –steuerung

T. Freudenmann^{1*}, T. Stürmlinger¹, D. Sokop², A. Baehr¹
* freudenmann@edi.gmbh

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

² MVV Energie AG, Luisenring 49, 68159 Mannheim, Deutschland

Abstract

Die Steuerung der Abfallverbrennungsanlage der MVV Energie AG (MVV) in Mannheim stellt eine große Herausforderung dar. Trotz des modernen Leitsystems liegt der größte Einfluss auf den Verbrennungsprozess bei einer Person: dem Kranführer, der den angelieferten Abfall schichtet und dem Trichter zur Verbrennung zuführt. Um diesen kritischen Vorgang nicht vom Expertenwissen einer Person abhängig zu machen, welches je nach Kranführer unterschiedlich ausgeprägt ist, entwickelt die EDI GmbH gemeinsam mit MVV ein Bilderkennungssystem, welches den eingehenden Abfall nach dessen kalorischem Energiegehalt klassifiziert. Hierfür wird eine hochauflösende Kamera, die an die IT-Infrastruktur von MVV angebunden ist, in der Krankanzel installiert und deren Fotos mit neuronalen Netzen (NN) evaluiert. Zusätzlich werden die Informationen aus der Kransteuerung, wie Fahrwege und das Öffnen und Schließen der Greifer, mit den NN zur Bilderkennung verschrieben. Somit wird mittels Künstlicher Intelligenz (KI) ein digitaler Zwilling des Abfallbunkers erstellt, in dem die für eine möglichst optimale Verbrennung relevanten Informationen enthalten sind.

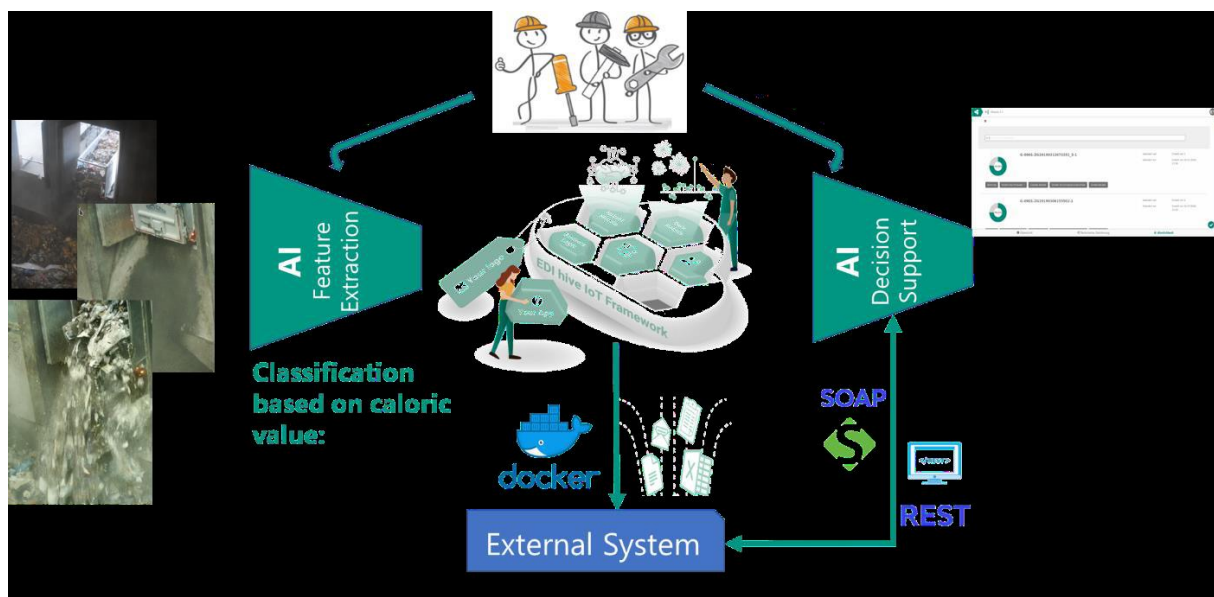


Abbildung 1: KI Entscheidungsunterstützung im operativen Betrieb

Wird der Verbrennung zu niederkalorischer Abfall zugeführt, muss aktuell mit Erdgas zugeheizt werden, was hohe Kosten verursacht und zu einem hohen CO₂-Ausstoß führt. Die Entscheidungsunterstützung des digitalen Zwillings für den Kranführer kann diesen Erdgaseinsatz minimieren oder gar eliminieren.

Poster:

Automatic generation of Digital Calibration Certificate for temperature sensors and implementation of it in a Use-case for temperature measurement

*N. Brunner, K. Nattuveetil, C. Tiebe, M. Melzer, S. Johann, P. P. Neumann, M. Bartholmai
Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Berlin*

The increasing pace of digitalization in the world requires measures to transform analog certificates, especially in meteorology and calibration laboratories into a digitized form. Digital certificates are analogous to paper-based certificates but are machine-readable, interpretable, and controllable certificates. A Digital certificate can be a digital calibration certificate (DCC), a digital test certificate (DTC), a digital certificate for reference materials (DRM), a digital certificate for the accident report (DRA), and so on. The digital certificates will have a common scheme or structure defined by different National Metrology Institutes (NMIs) around the world coordinated by Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB).

As a designated calibration lab, Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) is working with the generation and implementation of DCC for temperature sensors, following the good practice guidelines established by PTB. The concept of DCC will be explored within the QI-Digital project on a hydrogen refueling station within the use-case for temperature measurement for developing novel approaches of quality assurance. Digital calibration certificates are automatically generated via a self-developed middleware and provided with a digital signature, which can be validated by customers or the accreditation body. It will also include a human-readable certificate in PDF format. The DCCs generated in the calibration lab at BAM, will be transferred in machine-interpretable XML format to a cloud which will be retrieved by a temperature measurement setup. As these certificates can be read and interpreted by machines, the conformity of calibration can be checked, and the temperature recorded by the sensors can be corrected with uncertainty values determined during calibration with respect to metrological traceability. The machines can also give a warning for the expiry of calibration.

Keywords: Digital calibration certificate, QI-Digital, Hydrogen, Digitalization, Digital signature, Temperature sensor, Calibration

In-situ Charakterisierung von Tritiumanalytik in einem semi-technischem Maßstab am Tritiumlabor Karlsruhe (TLK)

S. Niemes¹, M. Aker¹, R. Größle¹, F. Priester¹, M. Röllig¹, M. Schlösser¹, G. Zeller¹

¹Karlsruhe Institut für Technologie (KIT), Institut für Astroteilchenphysik (IAP), Tritiumlabor Karlsruhe (TLK), Karlsruhe/Deutschland

In der Forschung und Industrie bekommt Tritium, ein radioaktives Wasserstoffisotop, und damit eine robuste Tritiumanalytik eine immer zentralere Bedeutung zugeschrieben. Unter anderem wird Tritium mit Deuterium als Brennstoff in zukünftigen Fusionsreaktoren erforscht, eine mögliche Option für die Energieversorgung in der Zukunft [1]. Hierbei muss Tritium sowohl *in-situ* erbrütet als auch das Tritium-Deuterium-Verhältnis im Reaktor kontrolliert werden [2]. Eine permanente Reinigung und Rezyklierung ist notwendig, da nur wenige Prozent des eingespeisten Tritiums direkt fusioniert werden. Dies erfordert entsprechende Analytikmethoden, um eine exakte Prozesssteuerung zu ermöglichen [3]. Im Bereich der Grundlagenforschung wird Tritium beispielsweise als Elektronenquelle für die Bestimmung der Neutrinomasse im Experiment KATRIN eingesetzt [4]. Eine wichtige Herausforderung bei KATRIN ist die akkurate Überwachung der Gaszusammensetzung in der Tritiumquelle [5], der Quelldichte [6] und der Quellaktivität [7].

Wasserstoffisotopologe können einfache Moleküle bilden, deren Struktur und Energieniveaus sich verhältnismäßig genau berechnen lassen. Mittels ultrahochauflösender spektroskopischer Techniken lassen sich diese ebenso experimentell bestimmen [8] [9]. Der systematische Vergleich der Moleküle mit H, D und T ermöglicht dabei eine Validierung zugrunde liegender Quantentheorien. Auf ähnliche Weise lassen sich Isotopeneffekte bei intermolekularen Wechselwirkungen zwischen den sechs Wasserstoffisotopologe in der flüssigen Phase untersuchen, welche sich beispielsweise in den komplexen IR Absorptionsspektren widerspiegeln [10,11]. Im Speziellen ist auch der Einfluss der ortho/para Eigenschaften von H₂, D₂ und T₂ auf thermodynamische Eigenschaften von Interesse, beispielsweise in Anwendungen im Bereich der Wasserstoffverflüssigung und der Speicherung von flüssigem Wasserstoff. In der Industrie wird Tritium als Tracer in der analytischen Chemie und Biologie genutzt und ist Bestandteil radiolumineszenz-basierter Leuchtmittel. Letztere werden in der Industrie mit einer großen Bandbreite an Einsatzgebieten verwendet, wie beispielsweise Leuchtziffern in Uhren.

Am Tritiumlabor Karlsruhe (TLK) wird seit über 25 Jahren ein geschlossener Tritiumkreislauf betrieben, mit dem ursprünglichen Ziel der Entwicklung des Brennstoffkreislaufs für die Fusionsanwendung. Die heutigen Forschungsaufgaben am TLK decken eine große Bandbreite ab: Von der experimentellen Untersuchung von Neutrinos im Bereich der Elementarteilchenphysik bis zur Entwicklung verfahrenstechnischer Anlagen im Bereich „Wasserstofftechnologie“. Zur Erfüllung dieser Forschungsaufgaben wird eine ebensolche Bandbreite von Aufgabenstellungen bearbeitet. Angefangen von grundlegenden kern-, atom- und molekülphysikalischen Fragen bis hin zur Erprobung von Prozessen und deren Entwicklung zu Systemen auf technischem Maßstab.

Eine Besonderheit des TLKs ist die Handhabung von hochreinem Tritium (>99%) in der festen, flüssigen und gasförmigen Phase in makroskopischen Mengen (Gramm-Bereich) bis hinunter zu Spuren (~ppm-Bereich). Diese Bandbreite verlangt den Einsatz von sehr unterschiedlichen verfahrenstechnischen Prozessen, die zur sicheren Prozessüberwachung Tritiumanalytik mit höchster Präzision und Richtigkeit voraussetzen.

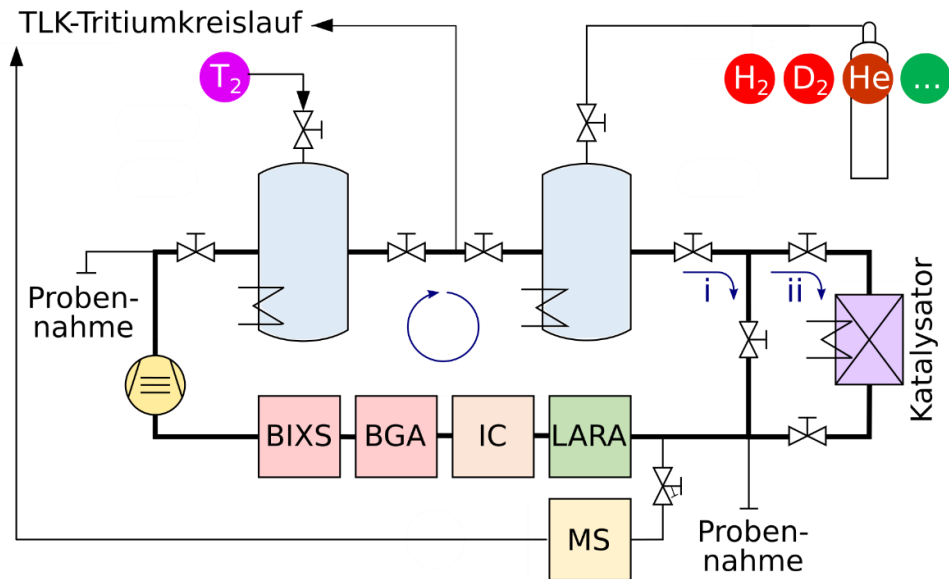


Abbildung 1: Verfahrensschema des Mischkreislaufs TRIHYDE zur Herstellung tritierter Referenzgasmischungen. Zur in-situ Charakterisierung stehen Beta-Induzierte-Röntgenspektroskopie (BIXS), Bingärgasanalysator (BGA), Ionisationskammer (IK), Ramanspektroskopie (LARA) und Massenspektroskopie (MS) zur Verfügung.

Im Allgemeinen können die eingesetzten Messmethoden in zwei Klassen unterteilt werden: Aktivitätsbasiert (nur atomarer Tritiumanteil) und sensitiv auf die Probenzusammensetzung (alle Wasserstoffisotope plus ggf. weitere Moleküle und Verbindungen). Unter anderem werden am TLK die aktivitätsbasierten Methoden

- Ionisationskammer [12],
- Beta-induzierte-Röntgenspektrometrie (BIXS) [13],
- Kalorimetrie [14] und
- Szintillation [15]

sowie die Spezies-auflösenden Methoden

- Raman-Spektroskopie (LARA) [16] [17] sowie Raman-Mikroskopie [18],
- Infrarot-Spektroskopie (Wasser und flüssig Q_2 ($Q = [H, D, T]$)) [19] und
- Gaschromatographie (GC) [20]

entwickelt und eingesetzt. Jede dieser Methoden hat unterschiedliche Vorzüge und Einsatzbedingungen, wodurch die breiten Anforderungen der Tritiumverfahrenstechnik abgedeckt werden können.

Während die nichtaktiven homonuklearen Isotopologe H_2 und D_2 zeitlich stabil sind, werden tritiierte Mischungen aufgrund radiochemisch induzierter Prozesse immer einen Anteil der heteronuklearen Isotopologe HD, HT und/oder DT enthalten. Neben den Herausforderungen bei der Prozessführung stellt diese Eigenschaft eine besondere Fragestellung in der Kalibrierung der benötigten Messanalytik da, sofern diese zum Typ „speziessensitiv“ gehört. Hier ist neben der Präzision eine hohe Richtigkeit im 1 %-Bereich gefordert.

Um diese Kalibrierung zu ermöglichen und Messmethoden in einem weiten Parameterbereich charakterisieren zu können wurde am TLK das TRItium-HYdrogen-DEterium (TRIHYDE)-Gewerk [21], aufgebaut, mit dem präzise Referenzgasmischungen erzeugt, prozessiert und

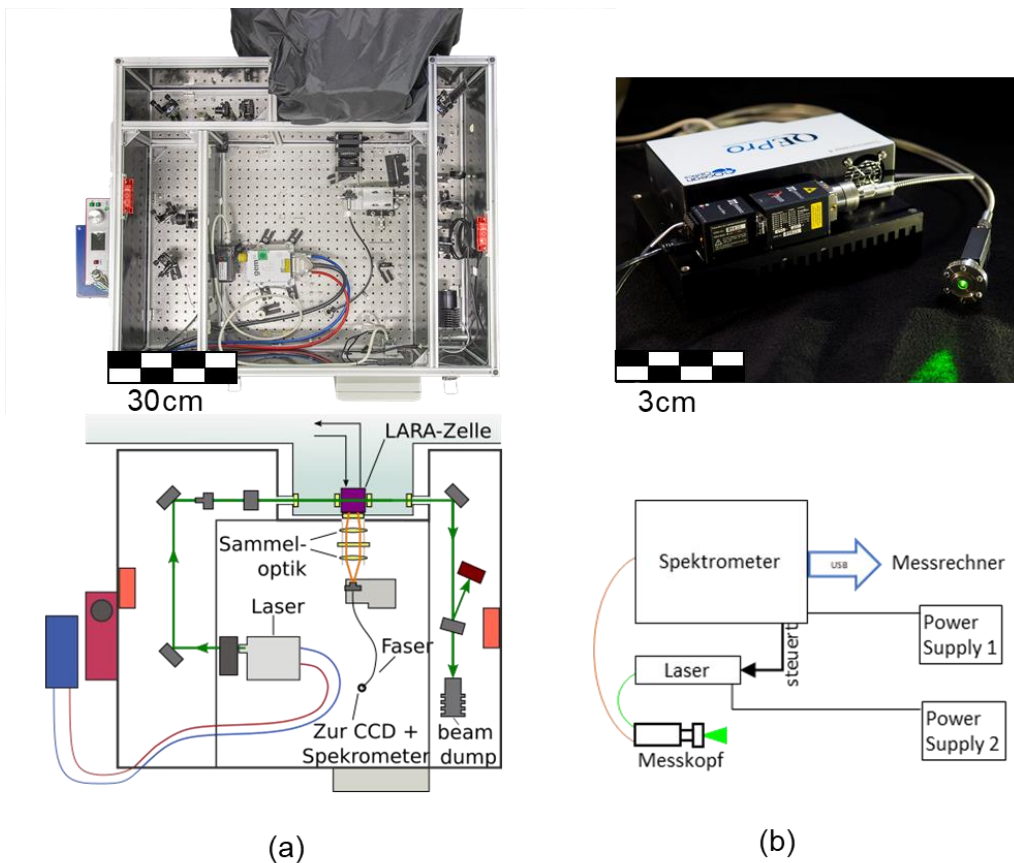


Abbildung 5: Übersicht über die am TLK entwickelten Ramansysteme zum Monitoring tritierter Gasmischungen. Exemplarisch sind der Aufbau eines (a) hochpräzisen und eines (b) kompakten Ramansystem dargestellt.

analysiert werden können. Die Probenherstellung basiert auf manometrischem Mischen der homonuklearen Isotopologe H_2 , D_2 und T_2 und ist in Abbildung 1 skizziert. Für jede Referenzgasmischung werden zunächst die beiden Behälter mit den initialen Isotopologen befüllt. Aufgrund der geringen Unsicherheiten ($\sigma(\text{Druck}) < 0,15\%$, $\sigma(\text{Volumen}) < 0,25\%$, $\sigma(\text{Temperatur}) < 0,2\%$) kann mit diesem Verfahren das Verhältnis der initialen Isotope auf besser 1% kontrolliert werden. Im Anschluss werden die Gase durch Zirkulieren homogenisiert und equilibriert. Der Equilibrierungsprozess, bei dem die heteronuklearen Isotopologe HD, HT und DT gebildet werden, kann sowohl durch radiochemische Prozesse als auch durch Katalysatoren gesteuert werden. Die so hergestellten Gasproben können *in-situ* mit unterschiedlichen Messmethoden untersucht und zu anderen Experimenten transferiert werden. Anhand solcher Referenzgasproben wurden die tritiumtauglichen Ramansysteme, wie sie unter anderem bei KATRIN eingesetzt werden, charakterisiert und kalibriert [21].

Im Gegensatz zu Massenspektrometern erlauben Ramansysteme eine eindeutige Identifizierung aller sechs Wasserstoffisotopologe und ermöglichen eine kontaktlose, genaue *in-line* Prozessüberwachung. Um die unterschiedlichen Anforderungen in Forschung und Betrieb eines geschlossenen Tritiumkreislaufs bedarfsgerecht abzudecken werden am TLK zwei unterschiedliche Systemarten entwickelt und eingesetzt:

- a) Hochpräzise LARA-Systeme für allgemeine Forschungsansätze und präzises Gasmonitoring [5] (>2W Laserleistung, auf -70°C gekühlte CCDs, High-throughput-Spektrometer, offene Strahlführung, etwa Schreibtischgröße),
- b) Kompakte μRA -Systeme zur einfachen Integration und Prozessüberwachung/Steuerung [17], (200 mW Laserleistung, Sensor bei -18°C , kompaktes Spektrometer,

fasergekoppelte Laser- und Ramanlichtführung, insgesamt kleiner als ein Schuhkarton).

Eine Übersicht über typische Aufbauten dieser Systeme ist in Abbildung 2 dargestellt. In beiden Fällen wurde darauf geachtet so wenig tritiumberührende Komponenten wie möglich einzusetzen, um im Betrieb die Bedienbarkeit, Wartbarkeit und Sicherheit zu erhöhen. Alle Systeme werden über am TLK entwickelte Steuer- und Analysesoftware betrieben und haben sich im 24/7-Betrieb im Prozessmonitoring bewährt. Mit Hilfe von TRIHYDE und den LARA-Systemen können detaillierte Untersuchungen zu den radio-chemischen Prozessen in tritiierten Gasmischungen durchgeführt werden, die unterem anderen für die korrekte Auslegung tritiumführender Anlagen wichtig sind.

Die Kombination aus unterschiedlichen Methoden, Messgeräten und einem geschlossenen Tritiumkreislauf ermöglicht eine große Bandbreite an Sensorentwicklungen, welche *in-situ* auf einem semi-industriellen Niveau charakterisiert werden können. Ebenso können kommerzielle Systeme auf ihren Einsatz mit Tritium unter realistischen Einsatzbedingungen geprüft und qualifiziert werden.

In diesem Vortrag wird die Bandbreite der technischen Anforderungen und der Entwicklung von analytischen Systemen am TLK vorgestellt mit dem Ziel, Anknüpfungspunkte und potentielle Kooperationen mit neuen und innovativen Sensorsystemen zu finden.

Literatur

- [1] A. J. H. Donné, *The European Roadmap towards Fusion Electricity*, Philos. Trans. R. Soc. Math. Phys. Eng. Sci. **377**, 20170432 (2019).
- [2] B. Borschein, C. Day, D. Demange, and T. Pinna, *Tritium Management and Safety Issues in ITER and DEMO Breeding Blankets*, Fusion Eng. Des. **88**, 466 (2013).
- [3] D. Demange et al., *Overview of R&D at TLK for Process and Analytical Issues on Tritium Management in Breeder Blankets of ITER and DEMO*, Fusion Eng. Des. **87**, 1206 (2012).
- [4] M. Aker et al., *The Design, Construction, and Commissioning of the KATRIN Experiment*, J. Instrum. **16**, T08015 (2021).
- [5] M. Aker et al., *Quantitative Long-Term Monitoring of the Circulating Gases in the KATRIN Experiment Using Raman Spectroscopy*, Sensors **20**, 17 (2020).
- [6] F. Priester, M. Sturm, and B. Borschein, *Commissioning and Detailed Results of KATRIN Inner Loop Tritium Processing System at Tritium Laboratory Karlsruhe*, Vacuum **116**, 42 (2015).
- [7] M. Babutzka et al., *Monitoring of the Operating Parameters of the KATRIN Windowless Gaseous Tritium Source*, New J. Phys. **14**, 103046 (2012).
- [8] T. M. Trivikram, M. Schlösser, W. Ubachs, and E. J. Salumbides, *Relativistic and QED Effects in the Fundamental Vibration of T₂*, Phys. Rev. Lett. **120**, 163002 (2018).
- [9] V. Hermann, M. Kamrad, J. Reinking, M. Schlösser, F. Hase, and J. Orphal, *Analysis of the N₁+2v₂, N₂+v₃, N₁+v₃ and the 2v₂+v₃ Bands of HT₁₆O*, J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transf. **276**, 107881 (2021).
- [10] R. Größle, A. Kraus, S. Mirz, and S. Wozniowski, *First Calibration of an IR Absorption Spectroscopy System for the Measurement of H₂, D₂, and HD Concentration in the Liquid Phase*, Fusion Sci. Technol. **71**, 369 (2017).
- [11] R. Grössle, B. Borschein, A. Kraus, S. Mirz, and S. Wozniowski, *Minimal and Complete Set of Descriptors for IR-Absorption Spectra of Liquid H₂-D₂ Mixtures*, AIP Adv. **10**, 055108 (2020).

- [12] R. Wagner, U. Besserer, D. Demange, H. Dittrich, T. L. Le, K. H. Simon, and K. Guenther, *Improvement and Characterization of Small Cross-Piece Ionization Chambers at the Tritium Laboratory Karlsruhe*, Fusion Sci. Technol. **60**, 968 (2011).
- [13] M. Röllig, S. Ebenhöch, S. Niemes, F. Priester, and M. Sturm, *Development of a Compact Tritium Activity Monitor and First Tritium Measurements*, Fusion Eng. Des. **100**, 177 (2015).
- [14] A. Buekki-Deme, C. G. Alecu, B. Kloppe, and B. Bornschein, *Current Status of Tritium Calorimetry at TLK*, Fusion Sci. Technol. **67**, 282 (2015).
- [15] F. Priester, *A New Device for Activity Measurement of Tritiated Water*, Fusion Sci. Technol. **71**, 600 (2017).
- [16] M. Schlösser, B. Bornschein, S. Fischer, T. M. James, F. Kassel, S. Rupp, M. Sturm, and H. H. Telle, *Raman Spectroscopy at the Tritium Laboratory Karlsruhe*, Fusion Sci. Technol. **67**, 555 (2015).
- [17] F. Priester, A. Marsteller, S. Niemes, N. Tuchscherer, and S. Welte, *μ RA—A New Compact Easy-to-Use Raman System for All Hydrogen Isotopologues*, Sensors **22**, 10 (2022).
- [18] G. Zeller, M. Schlösser, Magnus, H. H. Telle, D. D. Barren, and B. Bornschein, *Setup and Characterization of a Confocal Raman Imaging Microscope Built Using Off-the-Shelf Opto-Mechanical Components*, in (Ulm, Germany, 2022).
- [19] S. Mirz, U. Besserer, B. Bornschein, R. Größle, B. Krasch, and S. Welte, *Design of a Spectroscopy Experiment for All Hydrogen Isotopologues in the Gaseous, Liquid, and Solid Phase*, Fusion Sci. Technol. **71**, 375 (2017).
- [20] Z. Koellöe, D. Demange, B. Bornschein, L. Doerr, K. Guenther, and B. Kloppe, *Calibrating a Gas Chromatograph to Measure Tritium Using Calorimetry*, Fusion Eng. Des. **84**, 1073 (2009).
- [21] S. Niemes, H. H. Telle, B. Bornschein, L. Fasselt, R. Größle, F. Priester, M. Schlösser, M. Sturm, S. Welte, and G. Zeller, *Accurate Reference Gas Mixtures Containing Tritiated Molecules: Their Production and Raman-Based Analysis*, Sensors **21**, 18 (2021).

KI-basierter Wohlfühl-Barometer für Senior:innen

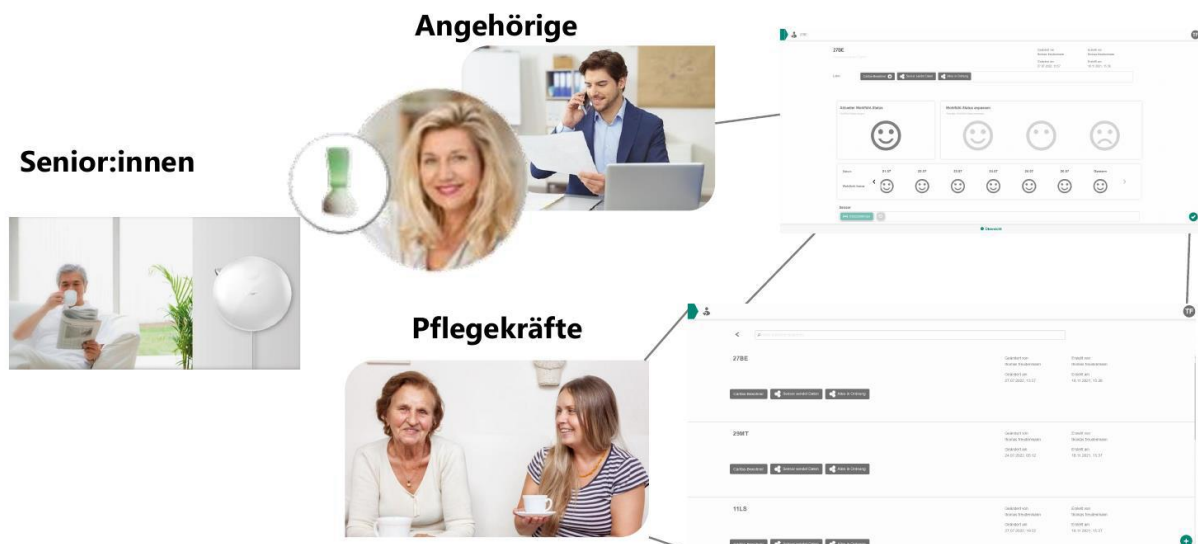
T. Stürmlinger^{1*}, T. Freudenmann¹, M. El-Haji¹, M. Riedel²
* stuermlinger@edi.gmbh

¹EDI GmbH – Engineering Data Intelligence, *Wöschbacher Str. 73, 76327 Pfinztal-Berghausen, Deutschland* ² IoCare GmbH, Zavelsteinstrasse 29B, 70469 Stuttgart

Abstract

Die zunehmende Anzahl alleinlebender, älterer Menschen prägt entscheidend die Entwicklung unserer Gesellschaft: Weltweit und besonders in Deutschland erhöht sich der Anteil an Senioren in der Bevölkerung, während die Geburtenrate kontinuierlich sinkt. Gleichzeitig mit voranschreitendem Alter benötigen alleinlebende Senioren immer mehr Unterstützung. Diese kann durch den demographischen Wandel in der Gesellschaft und anderen Faktoren jedoch durch die jüngere Generation nicht im erforderlichen Maße geleistet werden. Um diesen Konflikt zu lösen, kann mit Lösungen aus dem Bereich der *Künstlichen Intelligenz (KI)* und der *Internet of Things (IoT)*-Vernetzung der Erhalt der Unabhängigkeit im häuslichen Umfeld von Senioren signifikant unterstützt werden.

Das Ziel der KI-basierten Hardware- und Software-Lösung ist, dass die Angehörigen und die Betreuer von Senioren jederzeit über das Wohlbefinden der Personen informiert sind und kritische Zustände angezeigt bzw. sogar im Voraus angekündigt bekommen, wodurch erst gar keine kritische Situation entsteht. Die Funktionsweise ist wie folgt: Ein Infrarotsensor erfasst das Bewegungsverhalten in der Wohnung, eine KI wird auf die individuelle Routine trainiert und erkennt Abweichungen, welche durch eine intuitive Anzeige in einer Webapplikation von Pflegekräften und Angehörigen ersichtlich wird (siehe Abbildung).



OPEN FORUM:

- Carlo Tiebe, Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Berlin
- Hanno Platz, GED Gesellschaft für Elektronik und Design mbH, Ruppichteroth
- Simon Niemes, KIT, Institut für Astroteilchenphysik (IAP), Tritiumlabor Karlsruhe (TLK)
- Hans-Georg Herrmann, Fraunhofer-Institut für Zerstörungsfreie Prüfverfahren IZFP; Saarbrücken
- Thorsten Conrad, 3S GmbH – Sensors, Signal Processing, Systems, Saarbrücken
- Michael Siegrist, Siegrist GmbH, Mess- und Analysentechnik, Karlsruhe
- Lenz Sulzer, TechnologieRegion Karlsruhe GmbH
- Sebastian Geiger, Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie (ICT), Pfinztal
- Mareike Hoyer, ci-tec GmbH, Karlsruhe
- Markus Graf, Hochschule Karlsruhe

Wissenschaftliche Leitung / Organisation

Wissenschaftliche Leitung

Hubert B. Keller, HybridSensorNet (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)

Hartmut Gliemann, Institut für Funktionelle Grenzflächen (IFG), 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.

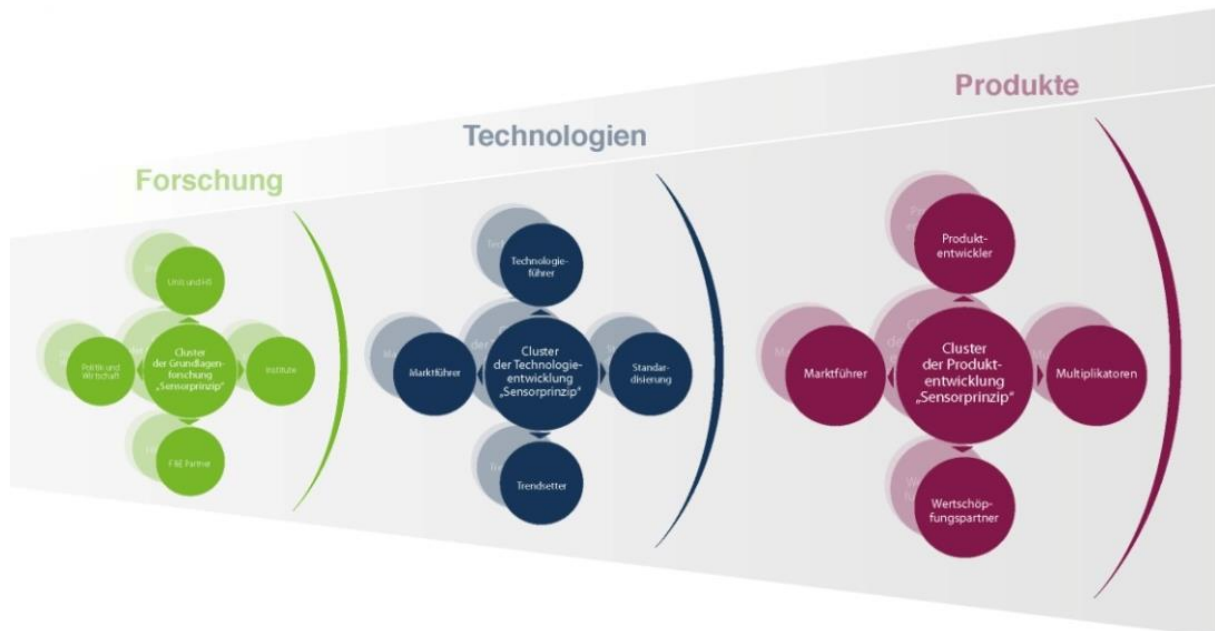
HybridSensorNet e.V. wurde gegründet, um diesen hohen Anforderungen zu entsprechen und die Kompetenzen aller Fachgebiete aus Industrie, Forschung, Entwicklung und öffentlicher Hand so miteinander zu vernetzen, damit diese neuen Sensorsysteme und -netze und die zugrundeliegenden Sensortechnologien der 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