INGENIEURWISSENSCHAFTEN DEUTSCHLAND

Mess- und Sensortechnik

Sensorik und Messtechnik
Schlüsseltechnologie der Industrie
Seite 26

Intelligente Sensoren
für die Zukunft – Die analoge Seite der Digitalisierung
Seite 62

Modernisierung
im Wasserwerk
Seite 94

AMA
Verband für Sensorik + Messtechnik
Innovatoren verbinden

SENSOR+TEST
DIE MESSTECHNIK - MESSE
The Measurement Fair
Nürnberg, Germany
9. – 11.5.2023

sps
smart production solutions
32. Internationale Fachmesse der industriellen Automation
Nürnberg, 14. – 16.11.2023

electronica
Komponenten I Systeme I Anwendungen I Lösungen
Weltleitmesse und Konferenz der Elektronik
14. bis 17. November 2023

INSTITUT FÜR WISSENSCHAFTLICHE VERÖFFENTLICHUNGEN

www.sensor-test.com

Willkommen zum

Innovationsdialog!

SENSOR+TEST

DIE MESSTECHNIK - MESSE

Nürnberg

09.-11. Mai 2023

Effizient und persönlich:
Hohe Informationsdichte und umfassendes Beratungsangebot internationaler Experten

Wissenschaftlich fundiert:
Internationale Kongresse und Tagungen bieten Einblick in die Technologie der Zukunft

Vom Sensor bis zur Auswertung
Mess-, Prüf- und Überwachungslösungen für die Innovationen in allen Industriebranchen

AMA Service GmbH - 31515 Wunstorf, Deutschland
Tel. +49 5033 96390 - info@sensor-test.com

„Die Sensorik- und Messtechnik-Branche wächst stabil und investiert.“

DIPL.-ING. (FH) HENDRIK HÄRTER
AMA-VERBAND 2022

INSTITUT FÜR WISSENSCHAFTLICHE VERÖFFENTLICHUNGEN

In Zusammenarbeit mit

AMA Verband für Sensorik + Messtechnik
Innovatoren verbinden

SENSOR+TEST
DIE MESSTECHNIK - MESSE
The Measurement Fair
Nürnberg, Germany
9. – 11.5.2023

sps
smart production solutions
32. Internationale Fachmesse der industriellen Automation
Nürnberg, 14. – 16.11.2023

electronica
Komponenten I Systeme I Anwendungen I Lösungen
Weltleitmesse und Konferenz der Elektronik
14. bis 17. November 2023

Strategische Partnerschaft Sensorik

Wissenschaftliche Institute und Forschungseinrichtungen bundesweit

Um zum Onlineportal der Mess- und Sensortechnik zu gelangen, scannen Sie bitte den QR-Code auf der Titelseite oder gehen auf
www.messundsensortechnik-online.de

IMPRESSUM

JAHRESMAGAZIN
MESS- UND SENSORTECHNIK
2022/2023

Idee, Konzeption und redaktionelle Koordination:
INSTITUT FÜR
WISSENSCHAFTLICHE VERÖFFENTLICHUNGEN (IWV)

INSTITUT FÜR
WISSENSCHAFTLICHE
VERÖFFENTLICHUNGEN

Anzeigenverwaltung und Herstellung:
ALPHA-Informationsgesellschaft mbH
Finkenstraße 10
68623 Lampertheim
Tel.: 06206 939-0
www.alphapublic.de

Abteilungsleiter und Ansprechpartner:
Sascha Bückermann / sascha.bueckermann@alphapublic.de
Tel.: 06206 939-442

Titelbild:
451266869 autonomous online car sharing service controlled – von vegefox.com

ISSN 1618-8357

Projekt Nr. 96-671

Schutzgebühr 9,80 Euro

Die Informationen in diesem Buch sind sorgfältig geprüft worden, dennoch kann keine Garantie übernommen werden. Eine Haftung für Personen-, Sach- und Vermögensschäden ist ausgeschlossen.

Die einzelnen Bildquellen sind über das Institut für Wissenschaftspublikationen erfragbar. Die Auskunft ist kostenfrei und kann per E-Mail erfragt werden.

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die des Nachdrucks, des Vortrags, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwendung, vorbehalten.

Eine Vervielfältigung des Werkes oder von Teilen des Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechts der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der jeweils gültigen Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechts.

LD8000 PLUS WEIST STICKSTOFFSPUREN IM SUB-PPB-BEREICH NACH

Hochreine Gase sind für zahlreiche Anwendungen in der Halbleiter- und Elektronikindustrie unerlässlich. Um niedrige ppb-Spuren von Stickstoff online zu detektieren war bisher ein teurer Gaschromatograph erforderlich. Jetzt ist dies auch mit dem Analysator LD8000 Plus von LDetek möglich. Die neue Version hat jetzt sogar eine Auflösung von 0,1 ppb im Bereich von 0 bis 100 und eignet sich somit für die Analyse von hochreinem Argon oder Helium.

Das Design des 3 HE hohen Plasma-Emissionsdetektors im 19 Zoll-Format basiert auf einem Duty-Cycle-gesteuertem System und ist speziell auf die Bedürfnisse der Halbleiterindustrie ausgelegt.

Der optimierte LD8000 Plus bietet nicht nur eine kurze Ansprechzeit von 60 s, sondern auch eine Wiederholgenauigkeit von < 0,2 % sowie eine Drift von < ± 0,5 %. Diese wird erreicht, indem der Analysator Interferenzen und Temperaturdrift durch die kontinuierliche Differenzmessung zwischen Messgas und stickstofffreiem Referenzgas auf ein Minimum reduziert.

Das macht diesen Analysator zum effektivsten Gerät, das derzeit auf dem Markt ist, um Spurenstickstoff im sub-ppb-Bereich zu messen.

Zur Ausstattung gehören ein 5,6'' TFTLCD-Modul mit Touchscreen, ein isolierter 4-20 mA-Ausgang

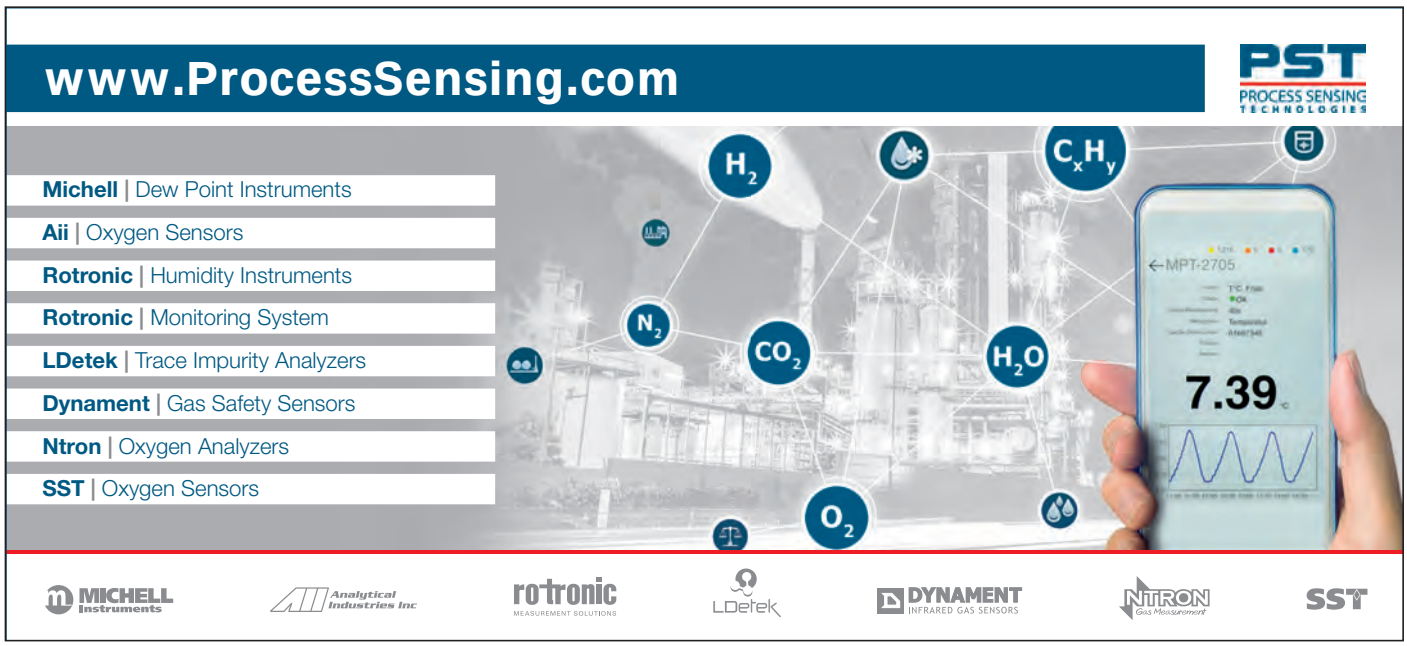
sowie fünf digitale Ausgänge für die Fernüberwachung, welche als potentialfreie Relaiskontakte ausgeführt sind.

Zudem bietet der LD8000 Plus optimierte Vakuumbedingungen sowie eine Beschichtung der Gasleitung, um Verschmutzungen und eine Absorption der Oberfläche zu verhindern.

Weitere Vorteile sind eine Bypass-Probenflusskontrolle zur Sicherstellung hoher Reinheit, geringer Messgasverbrauch und ein integrierter Bootloader für ein Software-Update über Ethernet. ■

KONTAKT

MICHELL INSTRUMENTS GMBH
Process Sensing Technologies PST
Max-Planck-Str. 14
61381 Friedrichsdorf
Tel.: +49 (0)6172 5917-0
Rolf.kolass@processsensing.com
www.processsensing.com



VORWORT

Prof. Dr.-Ing. Stefan Zimmermann

Sensorik und Messtechnik: Schlüsseltechnologie der Zukunft

Die großen Themen der Branche bleiben auch in ungewissen Zeiten die Digitalisierung und die Industrie 4.0. Schätzungen zufolge werden in den kommenden Jahren voraussichtlich 20 Milliarden Geräte miteinander kommunizieren. Dadurch werden Unmengen an Daten entstehen, die dank innovativer Algorithmen in sogenannte „Smart Data" umgeformt werden und so relevante Informationen zu Energieverbrauch, Anlagestatus und Prozessverlauf für informierte Entscheidungen liefern. Dabei bleibt der Mensch im Mittelpunkt und entscheidet, welche Chancen sich durch die Informationstechnologie und Digitalisierung bieten.

Diese Entwicklung zeigt sich in vielen Unternehmen. Dort wird verstärkt auf eigene Datenerhebungen und daraus abgeleitete Erkenntnisse gesetzt, um die eigenen Prozesse der Qualitätssicherung und Produktentwicklung zu optimieren sowie den Energiebedarf zu senken. Angestrebt wird immer häufiger eine Vernetzung und Automatisierung des Datenmanagements innerhalb der Unternehmen, Lieferanten und Kunden.

Gefordert ist die intelligente Verknüpfung verschiedenster Sensordaten mit anderen Informationen. Ob die Lokalisierung per GPS oder WLAN oder modellbasiertes Wissen über den Prozess, Sensorsysteme sollen mittels intelligenter Algorithmen schon im Feld entscheiden können, welche Ereignisse von besonderer Relevanz sind und daher gemeldet werden müssen. Gleichzeitig wird auch die intelligente Verknüpfung unterschiedlichster Sensordaten immer wichtiger.

„Smarte Sensoren" lassen sich schon heute trotz ihrer zunehmenden Komplexität per „Plug and Play" einfach in die Anwendung einbinden. Je mehr Intelligenz in den Sensor in Form anspruchsvoller Signalverarbeitungsalgorithmen integriert wird, desto mehr Möglichkeiten der Selbstüberwachung, Kalibrierung und Neukonfiguration ergeben sich. Predictive Maintenance und Maschinenüberwachung erweitern so das Geschäftsfeld der Branche.

Der digitale Zwilling, die digitale Abbildung einer Anlage oder Maschine, bietet ebenfalls ein interessantes Entwicklungspotential für die gesamte Industrie. Die Simulation, gespeist mit Sensordaten, verhält sich dann so, wie eine reale Anlage oder Maschine. Das spart Zeit und Kosten bei der Entwicklung, Inbetriebnahme und Optimierung.

Ein weiterer Trend für unsere Branche ist das sogenannte Retrofitting, also das Umrüsten bestehender Industrieanlagen mit neuer Technik. Als Schlüsseltechnologie können Sensoren sowohl bewährte Technik zukunftsfit machen, als auch innovative technische Neuentwicklungen vorantreiben.

PROF. DR.-ING. STEFAN ZIMMERMANN
Vorsitzender des AMA Wissenschaftsrates
AMA Verband für Sensorik und Messtechnik e.V.
Sophie-Charlotten-Str. 15
14059 Berlin
info@ama-sensorik.de
www.ama-sensorik.de

LEIBNIZ UNIVERSITÄT HANNOVER
Leiter des Institutes für Grundlagen der Elektrotechnik und Messtechnik
Leiter des Fachgebietes Sensorik und Messtechnik
Appelstraße 9A, 30167 Hannover
zimmermann@geml.uni-hannover.de
www.geml.uni-hannover.de/de/smt/

SENSORIK IN DER AUTOMOBILINDUSTRIE

Neben einfachen **Temperaturmessungen** in verschiedensten Anwendungsbereichen und Industrien können heutzutage über Sensoren nicht nur Temperaturänderungen, sondern Veränderungen von verschiedensten Materialien und Systemen gemessen und kontrolliert werden.

Es gilt hierbei, nichtelektrische Signale in elektrische Signale mittels Einheitssignalen oder Feldbussen umzuwandeln.

Im Bereich der **Elektromobilität**, wo Hochvolt-Batterien angesteuert werden und die Sicherheit des Anwenders gewährleistet sein muss, hat die SAB Bröckskes GmbH & Co. KG zusammen mit ihrem Partner CSM GmbH ein spezielles **Temperatur-Messsystem** entwickelt.

Das **Messsystem** wurde speziell für die sichere Temperaturmessung an **Hochvolt Komponenten** konzipiert und ist damit hervorragend für den mobilen und stationären Einsatz im Bereich Elektromobilität – Elektro- und Hybridfahrzeugen – geeignet.

Neben diesen **Hochvolt-Sensoren** stellt die SAB Bröckskes GmbH auch Konfektionen und **Leitungen für Drucksensoren**, Turbo Drehzahlmesser und **Durchflusssensoren** her. Die von SAB konfektionierten Leitungen für Dehnmessstreifen, welche durch Widerstandsänderungen die Dehnung und Stauchung von Messobjekten bestimmen, werden zum Beispiel in der Automobilindustrie zur Bestimmung von Materialveränderungen am Auto eingesetzt. Hier wird die Veränderung des Metalls durch Erschütterungen auf der Straße gemessen.

SAB Bröckskes GmbH & Co KG ist im Bereich der Sensorik und Messtechnik seit über 70 Jahren ein führender Partner der Industrie. Das Unternehmen liefert Temperaturmesstechnik, flexible Leitungen und Konfektionen aus einer Hand. ■

KONTAKT

SAB BRÖCKSKES GMBH & CO. KG
info@sab-broeckskes.de
Tel.: +49 (0)2162 8980
Fax: +49 (0)2162 898101
www.sab-kabel.de

GRUSSWORT

Liebe Leserinnen und Leser,

Selbst die Optimisten konstatieren, dass wir momentan turbulenten und schwierigen Zeiten entgegen gehen. Die Auswirkungen der Pandemie sind noch nicht verdaut, schon ziehen neue Wolken am Horizont auf: Der Krieg in der Ukraine, eine stark anwachsende Inflation, die Energiekrise, Fachkräftemangel. Wir Ingenieurinnen und Ingenieure haben sicherlich nicht die Lösung für alles, aber zumindest in Bezug auf die Technik sind wir all dem nicht hilflos ausgeliefert. Wir können gegensteuern, in dem wir zum einen kluge und mutige Entscheidungen treffen und zum anderen unsere Stärken besser nutzen denn je. Was Ersteres anbelangt, haben wir meines Erachtens mit der Bavarian Chips Alliance (BCA) eine wichtige Weichenstellung vorgenommen. Die Verfügbarkeit von leistungsstarker und vertrauenswürdiger Mikroelektronik ist für die bayerische Wirtschaft und Forschung essenziell, um deren Wettbewerbsfähigkeit und technologische Souveränität langfristig zu erhalten und weiter auszubauen. Dies betrifft auch sehr stark den Bereich der Sensorik, sowohl auf Komponenten- als auch auf Systemebene. Viele Mitglieder des Clusters „Strategische Partnerschaft Sensorik" engagieren sich auch in der Alliance, sodass sich das Bündnis auf ein gewachsenes und erprobtes Netzwerk stützen kann!

Was unsere besonderen Stärken betrifft, möchte ich heute vor allem einen Punkt hervorheben: Die Innovationskraft der bayerischen F&E-Landschaft lebt von den Wissenschaftlern und Ingenieurinnen, die immer wieder kreative Lösungen auf neue technologische Fragestellungen finden. Gerade in Zeiten des Fachkräftemangels sind schlaue Köpfe ein unermesslicher Wettbewerbsvorteil. So wichtig es ist, neue Fachkräfte, die „frischen Wind" einbringen, für das Unternehmen zu gewinnen, so wichtig ist es auch, in die kontinuierliche Weiterbildung der bestehenden Belegschaft zu investieren.

Hier leistet das Cluster seit vielen Jahren hervorragende Arbeit mit seinem qualitativ hochwertigen und breit gefächerten Weiterbildungsangebot. Die Seminare und Ausbildungsreihen des Clusters schaffen nicht nur den Mehrwert der Wissensvermittlung, sondern stärken darüber hinaus auch die Vernetzung der Cluster-Mitglieder untereinander. Nehmen Sie also die Möglichkeit wahr, Ihre Mitarbeitenden über das Cluster weiterzubilden und beteiligen Sie sich mit Ihrem wertvollen Know-how auch aktiv an den Weiterbildungsaktivitäten des Netzwerks! Ich bin überzeugt, dass wir dadurch in eine zentrale tragende Säule unseres künftigen Erfolgs investieren.

Herzlichst,

Ihr Christoph Kutter

Direktor Fraunhofer EMFT, München

BOT – DIE NÄCHSTE GENERATION DIGITALER DRUCKAUFNEHMER

Je flexibler die Einsatzmöglichkeiten, desto größer die Erfolgschancen – nach diesem Motto hat Barksdale den neuen BoT Druckaufnehmer insbesondere für OEM-Ansprüche entwickelt. Basis ist ein breites Standardportfolio. Gleichzeitig können durch die modulare Designplattform viele Konfigurationen nach Kundenwunsch erfüllt werden.

Der BoT Druckaufnehmer ist optimal für die Überwachung und Steuerung von Gasversorgungsanlagen, mobilen hydraulischen Geräten und Industrieausrüstungen, Pumpen und Kompressoren u.v.m.

55 Standardoptionen verfügbar

3 verschiedene Modelle stehen standardmäßig in verschiedenen Ausführungen zur Verfügung. Kennzeichnend für die C-Reihe ist eine keramische Messzelle mit einem Messbereich von 0 bis 400 bar, bei einer Genauigkeit von 0,5%. Die P-Reihe ist bis 600 bar erhältlich und zeichnet sich durch einen bis zu 23-fachen Überdruckschutz aus. Die Genauigkeit von 0,25 % ist für P- und W-Reihe identisch. Die hervorragende Korrosionsbeständigkeit des BoT beruht auf einer strapazierfähigen, robusten Konstruktion aus 316er und 17-4er Edelstahl. Die W-Reihe besticht durch eine komplett verschweißte Konstruktion. Ihre Messbereiche belaufen sich auf 0 bis 200 bar.

Konfiguration nach Ihrer Anforderung

Das modulare Design und eine fortschrittliche Software ermöglichen eine einfache Konfiguration des Druckaufnehmers, um den Anforderungen an Anschlüsse, elektrischen Ausgängen, Materialien, Drücken und andere Wünsche zu erfüllen. Auch eine technische Designvalidierung und neue behördliche Genehmigungen können mit den Barksdale Experten zusammen geplant werden.

Höchste Sicherheitsansprüche

Der BoT-Druckaufnehmer erfüllt von Haus aus die Industriestandards für Genauigkeit, Prozessanschlüsse, Druckbereiche und thermische Leistung in Hochleistungsanwendungen und extremen Umgebungen. Fortschrittliche digitale Elektronik reduziert die Auswirkungen von EMI/EMC gemäß der Norm IEC 61000 und bietet hohe Langzeitstabilität. Industrielle Zulassungen und behördliche Standards (CE, IEC, NEMA, UL, REACH, RoHs) liegen vor. ■

KONTAKT

BARKSDALE GMBH
Dorn-Assenheimer Str. 27
61203 Reichelsheim
Tel.: +49 (0)6035-949-0
info@barksdale.de
www.barksdale.de

Barksdale®
CONTROL PRODUCTS

BOT: DIE NÄCHSTE GENERATION DIGITALER DRUCKAUFNEHMER

Konfigurieren Sie Ihre Lösung aus einen breiten Standardportfolio oder sprechen Sie mit unseren Experten.

www.barksdale.de

E-JOYN – EXPERIENCE THE SMART WAY OF ELECTRIFIED DRIVING

Zusätzlich zum Automotive-Portfolio treibt Hirschmann Automotive die Entwicklung innovativer Mobilitätskonzepte voran und entwickelte für diese Art der Fortbewegung eine eigenständige Division: E-JOYN. Diese Business Unit steht für eine smarte, dynamische sowie fortschrittliche Einstellung zur Mobilität. Die Produkte sind zukunftsweisend und eignen sich für alle E-Fahrzeuge im Bereich der Mikromobilität.

Hirschmann Automotive ist seit über 60 Jahren erfolgreicher Entwicklungs- und Produktionspartner in der Automobilindustrie. Die Produkte finden weltweit ihre Anwendung bei allen namhaften Fahrzeugherstellern und in allen Bereichen des Fahrzeugs. Die Anwendungsgebiete der Produkte sind breit gefächert und reichen von der Steuerungs- und Regelfunktion für Motor, Fahrwerk oder Getriebe bis hin zur Emissionsregelung und gewährleisten Sicherheit, Komfort und Fahrassistenz.

Als Experte für maßgeschneiderte Kundenlösungen bietet das Unternehmen ein umfassendes Produktspektrum an Einzelkomponenten als auch elektromechanische Baugruppen bestehend aus Sensoren, Steckverbindungen und Spezialkabellösungen.

Mikromobilität

Aber nicht nur der Automobilindustrie stellt sich Hirschmann Automotive als ambitionierter Partner. Das Unternehmen setzt gleichermaßen auf eine zeitgemäße Form der individuellen Mobilität. Technologien und Entwicklungsleistungen aus der Automotive-Sparte werden auf E-Bikes und Pedelecs, Scooter und andere moderne, elektrifizierte Freizeitfahrzeuge angewandt, damit die Produkte für diesen Markt die Anforderungen an Emissionsfreiheit, Fahrfreude, Design und Technologie bestens bedienen – und einer neu gedachten Mobilität einen starken Auftritt ermöglichen.

Die Neuentwicklungen für diesen Markt unterscheiden sich von den herkömmlichen Automotive Produkten in ihrer Stromtragfähigkeit und Datenprotokollübermittlug, sowie der Miniaturisierung der Steckverbindungen. „Wir befinden uns hier in einem »Light E-Mobility« Bereich, somit zwischen High- und Low-Voltage. Unsere Produktpalette deckt die komplette Fahrzeugverkabelung ab, nicht nur Teilbereiche wie in der Achse oder dem Motor, sondern vom Speed- oder ABS-Sensoren im Hinterrad bis hin zum Display am Lenker und alles was dazwischen liegt. Hierzu gehören sowohl Motor- und Akkuschnittstellen, wie auch Leitungssätze, Datenleitungen, Sensoren und so weiter. Damit sind wir in der Lage den Markt für denkbar alle Gefährte vom Elektro Scooter, E-Skateboards bis Cargo-Vehikel im Sinne von innerstädtischer Zustelldienste und ähnlichen Größenordnungen auszustatten“, so Sven Capelli.

Umweltbewusstsein und Ressourcenknappheit

Mit intelligenten und innovativen Produkten schafft Hirschmann Automotive nicht zuletzt die Voraussetzung für einen erfolgreichen Fortschritt, der dem gestiegenen Umweltbewusstsein und der evidenten Ressourcenknappheit Rechnung trägt. Denn nur durch den intelligenten und innovativen technologischen Beitrag kann der Klimawandel eingedämmt und können die CO_2-Emissionen reduziert werden. ■

KONTAKT

E-JOYN BY HIRSCHMANN AUTOMOTIVE GMBH
Sven Capelli
Account Manager
Oberer Paspelsweg 6-8
6830 Rankweil, Austria
Tel.: +43 (0)5522 307-1325
sven.capelli@e-joyn.com
www.hirschmann-automotive.com

UNIVERSELLE HIGH-SPEED DATENERFASSUNGSLÖSUNGEN

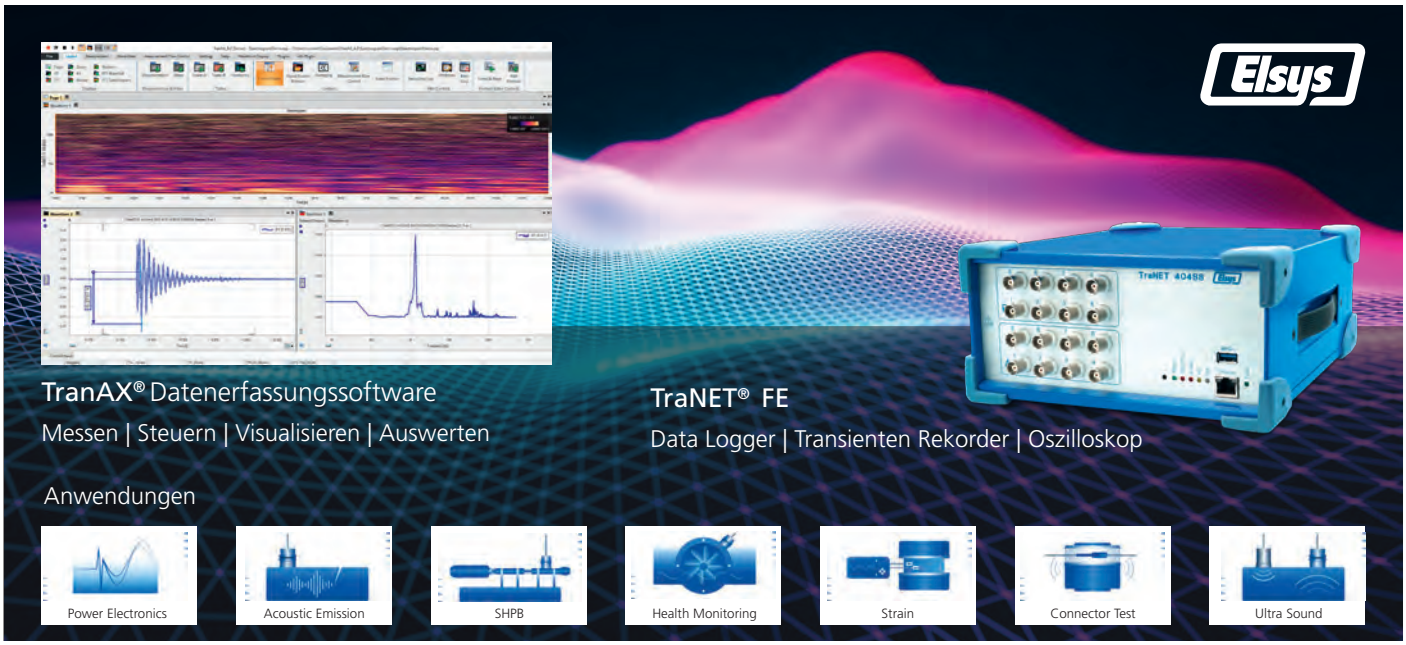
Die Elsys AG ist ein mittelständisches Messtechnik-Unternehmen mit Sitz in der Schweiz. Der Tätigkeitsbereich erstreckt sich über diverse Branchen, vom Energie- über den Automobil- bis hin zum Ballistiksektor. Sie erhalten kundenspezifische Gesamtlösungen, schlüsselfertig und aus einer Hand.

Die Produkte in der Familie der Datenerfassungsgeräte lassen sich grundsätzlich in drei Kategorien einteilen: Die Datenlogger, welche Signale bis einige kHz meistens über eine längere Zeit aufzeichnen. Typische Anwendungen sind Langzeitüberwachungen von Temperaturen oder Drücken. Die Oszilloskope, welche ab 1 GHz und höher arbeiten, diese meist 4-Kanaligen Geräte werden hauptsächlich in der Elektronikentwicklung eingesetzt und zeichnen entweder periodische Signale auf oder es wird gezielt auf eine Signalform getriggert. Dazwischen liegt die Kategorie der Datenerfassungsgeräten, welche zwischen 1 und 500 MS/s pro Kanal arbeiten, in Mehrkanalvarianten bis zu mehreren 100 Kanälen erhältlich sind und als Langzeitaufzeichnungsgerät eingesetzt werden können sowie auch getriggert einzelne Ereignisse erfassen können. In der zuletzt genannten Kategorie positionieren sich die Produkte der Elsys AG.
Je nach Anwendungsumgebung und benötigten Anzahl an Eingangskanälen bieten sich verschiedene Datenerfassungsgeräte an. Die Produktreihe TraNET® FE ist als 4, 8, 16 oder 32 Kanal Variante erhältlich. Die Geräte werden über eine Ethernet Schnittstelle an einen Mess-PC angeschlossen oder autonom betrieben. Für Daten-Streaming oder andere datenintensive Anwendungen bieten sich die TraNET® EPC Geräte an. Diese können bis 40 Kanäle ausgebaut werden und basieren auf einem leistungsstarken Industrie-PC.
Die PCIe Datenerfassungskarte TPCE bildet die Basis der soeben beschriebenen Datenerfassungslösungen. Diese DAQ-Karten sind in verschiedenen Abtastraten von 2 bis 240 MHz, als 4 oder 8 Kanal mit single-ended oder differenziellen Eingängen erhältlich. Der Eingangsbereich lässt sich jeweils pro Kanal von 100 mV bis 100 V einstellen. Optional können ebenfalls IEPE Sensoren direkt an der Messkarte betrieben werden, ohne dass eine zusätzliche Speisung notwendig ist.

In Kombination mit der TranAX® Datenerfassungssoftware erhält der Anwender eine schlüsselfertige, aber trotzdem flexible Messlösung. ■

KONTAKT

ELSYS AG
Mellingerstrasse 12
CH-5443 Niederrohrdorf
Schweiz
Tel.: +41 (0)56 496 01 55
info@elsys-instruments.com
www.elsys-instruments.com



INHALTSVERZEICHNIS

SENSOR + TEST 2023
Die Messtechnik-Messe

09. – 11. Mai 2023
in Nürnberg

2 **Impressum**

4 **Vorwort**
Prof. Dr.-Ing. Stefan Zimmermann
Vorsitzender des AMA Wissenschaftsrates – AMA Verband für Sensorik und Messtechnik e. V.

sps – smart production solutions

14. – 16. November 2023
Nürnberg

6 **Grußwort**
Prof. Dr. Christoph Kutter
Direktor Fraunhofer EMFT, München

26 **Sensorik und Messtechnik: Schlüsseltechnologie der Industrie**
AMA Verband für Sensorik und Messtechnik e. V.

46 **Institut für Grundlagen der Elektrotechnik und Messtechnik**
Prof. Dr.-Ing. Stefan Zimmermann
Fachgebiet Sensorik + Messtechnik, Leibniz Universität Hannover

16. DRESDNER SENSOR-SYMPOSIUM

5. – 7. Dezember 2022
Bilderberg Bellevue
in Dresden

62 **Intelligente Sensoren für die Zukunft – Die analoge Seite der Digitalisierung**
Prof. Olfa Kanoun, Dr. Christian Viehweger, Dr. Thomas Keutel, Salem Nasraoui, Amin Fischer, Dhivakar Rajendran, Ahmed Yahia Kallel, Bilel Ben Atitallah, Adiraju Anurag
Technische Universität Chemnitz

70, 99 **SENSOR + TEST 2023**
Die Messtechnik-Messe – The Measurement Fair

BATTERIEMESSTECHNIK FÜR DIE AUTOMATISIERTE FERTIGUNGSPRÜFUNG

Mit dem weltweiten Anstieg des Einsatzes von qualitativ hochwertigen Batteriezellen als Energiequelle in Bereichen der E-Mobilität, Energiespeicherung oder mobiler standardisierter Power-Tools u.v.a.m. gewinnt auch die Batteriemesstechnik zunehmend in der industriellen Automation an Bedeutung. Die innovative Messtechnik von burster unterstützt Sie bei der Umsetzung Ihrer hohen Qualitätsanforderungen und der Notwendigkeit einer industrietauglichen Vernetzung Ihrer Produktions-, Montage- und Entwicklungsprozesse.

Der Zusammenschluss mehrerer gleicher Akkuzellen zu einem Batterieverbund birgt dieselben Herausforderungen wie bei der Kette, die bekanntlich nur so stark ist wie ihr schwächstes Glied. Bei der Serienfertigung von Akkus für E-Mobilität, Großspeicher, Kommunikationselektronik oder Flurfahrzeuge müssen daher zum Teil zigtausende Zellen in höchster Geschwindigkeit und Präzision einzeln getestet werden. Nur Zellen gleicher Leistung dürfen für optimale Speicher- und Lebensdauer zur Erreichung höchster Qualitätsanforderungen zusammengefügt werden. Die **Messtechnik-Spezialisten von burster** bieten für die Serienfertigung ein neues, feldbusfähiges **Highspeed-Batteriemessmodul** zur automatischen Fertigungsprüfung von Hochleistungs-Batteriemodulen und Batteriepacks aus runden, prismatischen oder Pouchzellen. Das kompakte **Modul 2511** eignet sich für den Einsatz in rauer Industrieumgebung direkt an der Fertigungslinie und ist für Ein- oder Mehrkanalbetrieb ausgelegt. In nur wenigen Millisekunden kann das All-in-One-Gerät bis zu fünf Einzelzellen gleichzeitig testen und mittels **AC- und DC-Innenwiderstandsmessung** und Messung der Batteriespannung signifikante Batterieparameter ermitteln und bewerten. Eine intuitive PC-Software zur Parametrierung und Konfiguration via Ethernet/USB erlaubt flexible Mess- und Bewertungsmodi für eine 100 % Inline-Prüfung in der Serienfertigung.

Für eine intensive Qualitätskontrolle oder die Fehlersuche z. B. in der Entwicklung, stehen mit dem **Batteriecontroller 2550** oder dem **Batterietester 2560** weitere Messmodule zur Verfügung. Alle Komponenten sind kompatibel mit bewährten **burster Produkten**. Von der gesamten Bandbreite hochpräziser Sensoren, über RESISTOMAT Widerstandsmessgeräte, Messverstärker/Feldbuscontroller bis hin zu DIGIFORCE Auswerteeinheiten ist das Gesamtprogramm für die Batteriemesstechnik perfekt aufeinander abgestimmt und liefert hochgenaue Messergebnisse innerhalb kürzester Taktzeiten. ■

burster

KONTAKT

BURSTER PRÄZISIONS-MESSTECHNIK GMBH & CO KG
76593 Gernsbach
Tel.: +49 (0)7224-645-0
info@burster.com
www.burster.com

INHALTSVERZEICHNIS

76 **Batteriemessmodul für automatisierte Fertigungsprüfung**
Matthias Bodemer
burster präzisionsmesstechnik gmbh & co. kg

78 **sps 2023 – smart production solutions**
14. – 16. November 2023
Nürnberg

80 **Strategische Partnerschaft Sensorik e. V. (SPS)/Cluster Sensorik**
Stefanie Fuchs, Mathias Streller
Strategische Partnerschaft Sensorik e. V.

86 **HallinOne® – Mehrdimensionale Hall-Sensoren für anspruchsvolle Anwendungen**
Dr. Markus Stahl-Offergeld
Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen IIS

90 **Medical Wearables zur Gesundheitsdetektion am Körper**
Fraunhofer-Einrichtung für Mikrosysteme und Festkörper-Technologien EMFT

94 **Modernisierung im Wasserwerk**
Gerd Milde
Bürkert Fluid Control Systems

100 **Mess- und Datenplanung als Grundlage für eine valide und robuste Modellbildung mittels maschinellem Lernen**
Christian Bur, Christopher Schnur, Andreas Schütze
Universität des Saarlandes, Lehrstuhl für Messtechnik

DANFOSS MIT NEUEM DRUCKMESSUMFORMER FÜR DIE MOBILHYDRAULIK-BRANCHE

Die Digitalisierung ebnet den Weg zu zukunftsfähigen Mobilhydraulik-Lösungen gleichzeitig steigen die Anforderungen. Um die Nachfrage nach intelligenteren, sichereren und leistungsfähigeren Lösungen zu erfüllen, hat Danfoss Sensing Solutions seine Produktion von Dünnschicht-Druckmessumformern in 2022 mit zusätzlichen Kapazitäten im Werk in Minden mehr als verdoppeln können. Zeitgleich mit der Produktionssteigerung kam die nächste Generation des Druckmessumformers DST P650 auf den Markt.

Mit dem DST P650 präsentiert Danfoss Sensing Solutions einen robusten, digitalfähigen Druckmessumformer, der sich durch zukunftsweisende Effizienz, Zuverlässigkeit und Sicherheit auszeichnet. Mit leistungsstarken Funktionen und einer Grundlage für intelligente, skalierbare Diagnosen ist er für die rauen Umgebungsbedingungen in der Landwirtschaft, im Baugewerbe und bei Materialtransportanwendungen auf der ganzen Welt ausgelegt. Der hochpräzise digitale Signalprozessor (ASIC) ermöglicht Diagnosefunktionen, bei denen zeitkritische Daten an eine Benutzerschnittstelle übermittelt werden, um die Sicherheit zu erhöhen, die Betriebszeit der Maschine durch vorbeugende Wartung zu verlängern und eine energieeffiziente Leistung zu erzielen.

Mit bahnbrechenden Funktionen wie der automatischen Fehlererkennung in Kombination mit dem weltweiten 24/7-Fernsupport von Danfoss ist der DST P650 ein kompakter und dennoch leistungsstarker Druckmessumformer im Herzen riesiger Maschinen. Die praktische kleine Hex 22-Größe optimiert Nachrüstungsprozesse und passt auf viele Anwendungsteile. Um eine lange Lebensdauer des Sensors zu bieten, sorgt die vollverschweißte Konstruktion für hohe Berstdruck- und Überdruckfestigkeit, während die Null-Drift-Funktion die Stabilität der Maschine ermöglicht. ■

KONTAKT

DANFOSS GMBH
Carl-Legien-Straße 8
63073 Offenbach/Main
Tel.: +49 (0)69 80885400
cs@danfoss.de
ia.danfoss.de

Danfoss DST P650, die ideale Unterstützung für ein zukunftssicheres Flottenmanagement

Robuster, digital einsatzfähiger Druckmessumformer von Danfoss Sensing Solutions, der zukunftsweisende Effizienz und Zuverlässigkeit bietet.

- Leistungsstarke Funktionen für energieeffiziente Leistung
- Skalierbare Plattform für intelligente, anpassbare Diagnosen
- Ausgelegt für die anspruchsvollen Umgebungsbedingungen in der **Landwirtschaft, im Baugewerbe und bei Materialtransportanwendungen** auf der ganzen Welt.

www.danfoss.de

ENGINEERING TOMORROW

Danfoss

INHALTSVERZEICHNIS

106 **Forschung auf dem Gebiet der LiDAR-Sensorik am Lehrstuhl für Messsystem- und Sensortechnik (MST) der Technischen Universität München (TUM)**
M. Fink, M. Jakobi, A. W. Koch
Technische Universität München

110 **Nicht-invasives Ultraschall-Durchflussmessverfahren zur Detektion von Durchflussraten im Mikroliterbereich**
Philipp Arneth, Dr. Philipp Linke, Prof. Dr. Klaus Stefan Drese
Hochschule für angewandte Wissenschaften Coburg

116 **Optimierung eines optofluidischen Diagnoseverfahrens der Krankheit Mukoviszidose**
Anika Nietert, Michael Schlüter
Westfälische Hochschule Gelsenkirchen
Manuel Nietert
Universitätsmedizin Göttingen

SMARTE GASWARNANLAGEN

Ein digitaler Messfühler allein bietet keine ausreichende Grundlage für ein intelligentes Messsystem

LogiDataTech ist Hersteller ortsfester Gaswarnsysteme. So war die Vision geboren mit neuen, digitalen Systemstrukturen die physikalischen Begrenzungen bisheriger Systeme, so, wie sie heute in der Industrie verbreitet sind, zu überwinden. Die funktionalen Anforderungen des Zukunftsmarktes sind softwaretechnisch vernetzte Lösungen, mit ausbaufähigen Strukturen. Die Planung, Installation und der Service der Systeme müssen dabei ganzheitlich betrachtet werden.

Hauptentwicklungsziel war es eine maximale Anlagentransparenz zu gestalten. Jede Komponente sollte frei konfigurierbar sein und lokales, sowie globales Monitoring gewährleisten. Um dies zu realisieren ist ein neuartiger Aufbau für die Messfühler umgesetzt worden. Der Messfühler zur Gasdetektion ist dreigeteilt aufgebaut: die Messzelle mit Ihren Kenndaten, das Analyse-Modul zur messtechnischen Auswertung und eine applikationsbezogene Kommunikationsschnittstelle. Der Aufbau der Messfühler legt somit hardware- wie softwareseitig die Basis für eine transparente-, digitale Systemstruktur.

Herz der Warnanlage ist ein Kontroller mit einer Intelligenz, ähnlich einer SPS. Echtzeitperformance und Datenlogging ermöglichen ressourcensparende IT Strukturen. Der Kontroller warnt vor gefährlichen Konzentrationen und steuert Gegenmaßnahmen. Das Gerät kann je nach Bedarf durch Verbindung mit weiteren Kontrollern frei skaliert und an jede Aufgabenstellung angepasst werden. Herausragend ist hierbei die Fähigkeit analoge, wie digitale Signale über verschiedene Schnittstellen verarbeiten zu können. Somit können nahezu unbegrenzt viele Sensoren für unterschiedliche Gase auch über größere Distanzen angeschlossen werden. Aktoren werden über Relaisausgänge mit Wechselkontakten angesteuert. Status- sowie Messdaten können z.B. über eine TCP/IP-Schnittstelle abgerufen werden, diese Daten stehen somit übergeordnete Leit-, ERP- oder SPS-Systeme zur weiteren Verarbeitung zur Verfügung. Ein besonderer Kundenvorteil besteht darin, dass der Kontroller in bestehende Anlagen integriert werden kann und bei Um- und Ausbau sich an ändernde Bedürfnisse leicht anpassen lässt. Über weitere Schnittstellen können sowohl die Konfiguration eingestellt, als auch Daten vom internen Speicher ausgelesen werden.

Alle Systembestandteile verfügen über eine Geräte-Eigendiagnose diese erhöht somit die Störfestigkeit und erleichtert das Auffinden von Fehlern im System. Zum hohen Komfort der Konfiguration gesellt sich darüber hinaus ein einheitliches und leicht bedienbares Servicekonzept. ■

KONTAKT

LogiDataTech GmbH
Aschmattstr. 7
76532 Baden-Baden
Tel.: +49 (0)7221 97062-0
info@logidatatech.com
www.logidatatech.com

INSERENTENVERZEICHNIS

www...		DIE UNTERNEHMEN
ahlborn.com	75	AHLBORN MESS- UND REGELUNGSTECHNIK GMBH
althen.de	59	ALTHEN GMBH MESS- UND SENSORTECHNIK
druck.com	72, 73	BAKER HUGHES DE
barksdale.de	7	BARKSDALE GMBH
bay-sensortec.com	93	BAYSENSORTEC GMBH
bdsensors.de	19	BD|SENSORS GMBH
beckhoff.de	42, 43	BECKHOFF AUTOMATION GMBH & CO. KG
burster.com	11	BURSTER PRÄZISIONSMESSTECHNIK GMBH & CO KG
cgs-gruppe.de	32	CGS GMBH
chips4light.com	41	CHIPS 4 LIGHT GMBH

ROBUSTE WINKELSENSOREN IM MOBILEN EINSATZ

Mobile Arbeitsmaschinen, wie sie in Bau-, Agrar- und Forstwirtschaft eingesetzt werden, sowie Flurförderzeuge stellen aufgrund ihrer Einsatzumgebung sehr hohe Anforderungen an die Sensorik. Außer zuverlässiger Funktion bei rauen Betriebsbedingungen sind häufig noch weitere Eigenschaften gefragt, z. B. kompakte Abmessungen, wenn der Einbauraum knapp bemessen ist, Eignung für sicherheitsrelevante Anwendungen und last but not least spielt auch der Kostenfaktor eine wesentliche Rolle. Speziell für solche Anforderungen hat Novotechnik gleich drei Baureihen magnetischer Winkelsensoren entwickelt, die alle auf dem gleichen elektronischen Design basieren. Sie sind besonders robust und überzeugen durch ein günstiges Preis-Leistungs-Verhältnis.

Die magnetischen Winkelsensoren der Baureihe RFC-4800 haben sich bereits in vielen mobilen Anwendungen bewährt. Sie sind kompakt, durch den getrennten Positionsgeber einfach zu montieren und erfassen den Drehwinkel über volle 360 Grad mit einer Auflösung von bis zu 14 Bit. Speziell für den Einsatz in Nutzfahrzeugen gibt es sie auch mit CANopen oder CAN SAE J1939-Schnittstelle. Hinzu kommen je nach Schnittstelle weitere attraktive Sensorfunktionen wie z. B. parametrierbare Drehrichtung, Positions-Offset und ein (flüchtiger) Umdrehungszähler. Die Positions- und Geschwindigkeitssignale werden ein- oder zweikanalig ausgegeben. Außerdem sind die Sensoren sehr widerstandsfähig: Sie verkrafteten Schwingungen und Vibrationen bis 20 g (gemäß IEC 600658-2-6) sowie Stöße bis 50 g (gemäß IEC 68068-2-27) und erfüllen vor allem sämtliche in mobilen Anwendungen geforderten EMV-Spezifikationen. Die hohen Anforderungen aus der ECE-R10-Regelung zur elektromagnetischen Verträglichkeit werden weit übertroffen. Sie können bei Umgebungstemperaturen zwischen -40° C und +105° C eingesetzt werden und erfüllen die Anforderungen der Schutzart IP67 bzw. IP6K9K.

Die magnetischen Winkelsensoren der Baureihe RSA-3200 und RFE-3200 gibt es sowohl in Wellenausführung (RSA) als auch in der berührungslosen Variante mit separatem Positionsgeber (RFE). Sie sind speziell für Hochtemperatur-Anwendungen bis +125° C entwickelt und bieten mit dem MicroQuadlock-Stecker eine branchenübliche Kontaktierung. ■

KONTAKT

NOVOTECHNIK MESSWERTAUFNEHMER OHG
Horbstraße 12
73760 Ostfildern
Tel.: +49 (0) 711 4489-0
info@novotechnik.de
www.novotechnik.de

Robuste Winkelsensoren

Stark in rauer Umgebung
kompakt – berührungslos – sicher

- Verschleißfreie, berührungslose Messung
- Temperaturbeständig bis +125° C
- Funktionale Sicherheit (EN ISO13849)
- KBA E1 Typgenehmigung
- Analog, CANopen, CAN SAE J1939

Neue Lösungen –
spektakuläre Anwendungen

support@novotechnik.de
Tel. +49 711 4489-250
www.novotechnik.de

novotechnik
Siedle Gruppe

INSERENTENVERZEICHNIS

www...		DIE UNTERNEHMEN
cismst.de	34 – 37	CIS FORSCHUNGSINSTITUT FÜR MIKROSENSORIK GMBH
ia.danfoss.de	13	DANFOSS GMBH
http://dimetix.com	24, 25	DIMETIX AG
driesen-kern.de/dkp	45	DRIESEN + KERN GMBH
hirschmann-automotive.com	8	E-JOYN BY HIRSCHMANN AUTOMATIVE GMBH
elsys-instruments.com	9	ELSYS AG
etogruppe.com	30, 31	ETO SENSORIK GMBH
galltec-mela.de	33	GALLTEC+MELA
heinz-messwiderstaende.de	44	H. HEINZ MESSWIDERSTÄNDE GMBH
hensoldt.net	21	HENSOLDT

UNTER DRUCK UNSCHLAGBAR – ZUVERLÄSSIGE DRUCK- UND FÜLLSTANDSLÖSUNGEN

BD|SENSORS ist eine mittelständische Unternehmensgruppe mit Standorten in Deutschland (Hauptsitz), Tschechien, China und Russland. Die Gruppe ist seit über 25 Jahren inhabergeführt und legt großen Wert auf Unabhängigkeit und Nachhaltigkeit. Weltweit beschäftigt BD|SENSORS mittlerweile mehr als 300 Mitarbeiter und hat sich als zuverlässiger und innovativer Partner etabliert, wenn es um die Messung von Druck und Füllstand geht.

DRUCK auf höchstem NIVEAU.
Das Unternehmen wurde im Januar 1994 unter der Führung des CEO Rainer Denndörfer als 5-Personen-Firma gegründet. Die Fokussierung auf den Markt der **industriellen Druckmesstechnik** hat von Beginn an ein stetiges, in den Anfangsjahren sogar stürmisches Wachstum ermöglicht.

Heute ist BD|SENSORS ein etablierter und zuverlässiger Partner im Feld der elektronischen Druck- und Füllstandsmessung, der eng mit Kunden weltweit kooperiert und in gemeinschaftlicher Abstimmung individuelle Lösungen erarbeitet wie kein anderer.

Breit aufgestelltes Sortiment
Das Produktportfolio setzt sowohl in der Breite als auch in der Produktionstiefe hohe Maßstäbe und bietet Lösungen zur Druck- und Füllstandsmessung im Bereich von 0,1 mbar bis 8.000 bar.

BD|SENSORS Lösungen zur **Drucküberwachung** reichen vom Einstiegsmodell für den OEM-Markt bis hin zu vielseitig konfigurierbaren Ausführungen, die aufgrund ihrer variablen Komponenten perfekt auf den jeweiligen Einsatz im industriellen Umfeld zugeschnitten sind. Auch das Zeitalter „Industrie 4.0" wird durch High-End Geräte abgedeckt, die digital z.B. über Modbus oder IO-Link mit der Peripherie kommunizieren.

Im Bereich der **hydrostatischen Füllstandsmessung** umfasst das Sortiment Tauch- und Einschraubsonden in vielfältigen Ausführungen. Die Kombination unterschiedlicher Sensortechnologien, Gehäusewerkstoffe sowie Kabel- und Dichtungsmaterialien stellt sicher, dass Messung stets zuverlässig und präzise erfolgt. Varianten mit integriertem Überspannungsschutz, Temperatursensor oder Datenlogger gehören ebenfalls zum Programm wie kommunikationsfähige Modelle mit RS485-Schnittstellt oder HART-Protokoll. ■

KONTAKT

BD|SENSORS GMBH
BD-Sensors-Str. 1
95199 Thierstein
Tel.: +49 (0)9235 98110
www.bdsensors.de

INSERENTENVERZEICHNIS

www...		DIE UNTERNEHMEN
heraeus-nexensos.com	60, 61	HERAEUS NEXENSOS GMBH
ist-ag.com	29	INNOVATIVE SENSOR TECHNOLOGY IST AG
keller-druck.com	40, U4	KELLER DRUCKMESSTECHNIK AG
lcpgmbh.de	79	LCP LASER-CUT-PROCESSING GMBH
logidatatech.com	15	LOGIDATATECH GMBH
pce-instruments.com	74	PCE DEUTSCHLAND GMBH
polytec.com	38	POLYTEC GMBH
processsensing.com	3	MICHELL INSTRUMENTS GMBH
micro-epsilon.com	56, 57	MICRO-EPSILON MESSTECHNIK GMBH & CO. KG
https://de.microsensorcorp.com	23	MICRO SENSOR GMBH

HENSOLDT – INNOVATIONEN FÜR EINE SICHERERE WELT

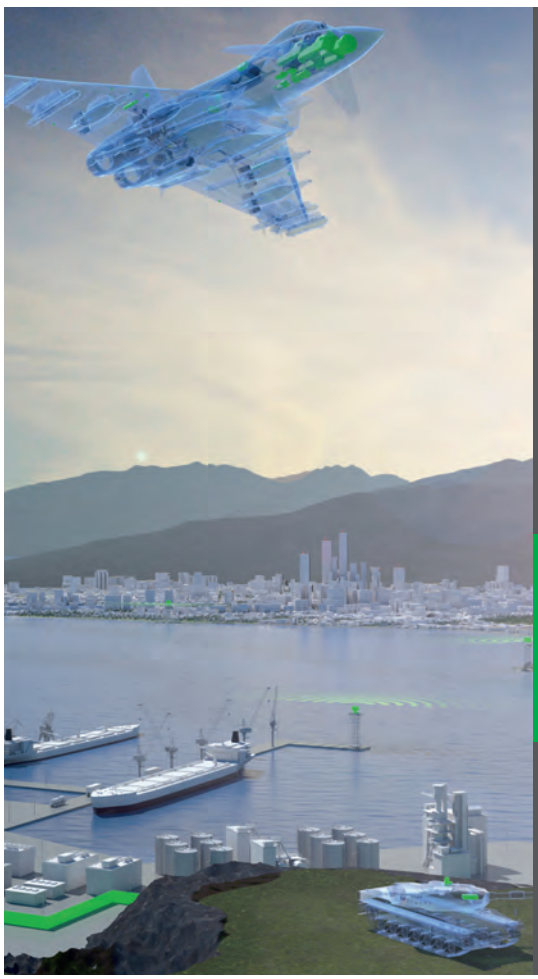
HENSOLDT ist ein führendes Unternehmen der europäischen Verteidigungsindustrie mit globaler Reichweite. Das Unternehmen mit Sitz in Taufkirchen bei München entwickelt Sensor-Komplettlösungen für Verteidigungs- und Sicherheitsanwendungen. Als Technologieführer treibt HENSOLDT die Entwicklung der Verteidigungselektronik und Optronik voran und baut sein Portfolio auf der Grundlage innovativer Ansätze für Datenmanagement, Robotik und Cybersicherheit kontinuierlich aus.

Mit mehr als 6.400 Mitarbeitern erzielte HENSOLDT 2021 einen Umsatz von 1,5 Milliarden Euro. HENSOLDT ist an der Frankfurter Wertpapierbörse notiert.

Zu den Haupttätigkeitsbereichen des Unternehmens gehören Sensoren zur Nachrichtengewinnung und Aufklärung, Lösungen zur Kontrolle des elektromagnetischen Spektrums und Systeme der Missionsavionik. Das Unternehmen vereint verschiedene missionskritische Sensortechnologien zu Komplettlösungen, die durch Sensor- und Datenfusion eine wesentliche Verbesserung der Erkennungsfähigkeiten gewährleisten. Damit trägt HENSOLDT zur Abwehr von Gefahren für Streitkräfte und Gesellschaft bei. ■

KONTAKT

HENSOLDT
Lea Schmutz, Recruiting
Wörthstr. 85
89077 Ulm
Tel.: +49 (0)731 392-0
jobs@hensoldt.net
www.hensoldt.net



Gemeinsam machen wir die Welt sicherer.

Detect and Protect ist unser Grundsatz. Aufbauend auf unserem starken Erbe ist HENSOLDT bereit die Technologie in die Zukunft zu führen. Immer mit Fokus auf höchste Qualität auf dem Weg über die physikalischen Grenzen. Werden Sie Teil dieser spannenden Entwicklung und gestalten Sie unsere Zukunft mit!

Software-Entwicklungsingenieur*in (w/m/d)
System-Ingenieur*in (w/m/d)
Safety-Ingenieur*in (w/m/d)

hensoldt.net/karriere

HENSOLDT
Detect and Protect

INSERENTENVERZEICHNIS

www...		DIE UNTERNEHMEN
novotechnik.de	17	NOVOTECHNIK MESSWERTAUFNEHMER OHG
sab-kabel.de	5	SAB BRÖCKSKES GMBH & CO. KG
stw-mm.com	58	SENSOR-TECHNIK WIEDEMANN GMBH
siegert-tft.de	39	SIEGERT THINFILM TECHNOLOGY GMBH
umweltsensortechnik.de	98	UST UMWELTSENSORTECHNIK GMBH
vibrationresearch.de	69	VIBRATION RESEARCH EUROPE GMBH

MICRO SENSOR: YOUR RELIABLE PARTNER OF SENSING AND MEASURING

Seit 1971 erforscht, konstruiert und produziert Micro Sensor Druckelemente und Instrumente, die auf piezoresistiven Messprinzipien basieren. Heute können Kunden mit hochwertigen Druckzellen, Drucksensoren, Füllstandsensoren, Durchflussmessern und drahtlosen IoT-Geräten beliefert werden. Die Micro Sensor GmbH mit Sitz in Essen ist ein 100 % Tochterunternehmen der Micro Sensor Co., Ltd in China und betreut westeuropäische Kunden mit lokalen Sales und Service, damit die Kunden ihre Erfolgsziele qualitativ und kostengünstig erreichen können.

Am 7. Juli 2022 unterzeichneten Micro Sensor und LEEG Instruments eine strategische Kooperationsvereinbarung zur Eigenkapitalrestrukturierung. Somit wurde Shanghai LEEG Instrument Co., Ltd. offiziell zum 100%igen Tochterunternehmen von Micro Sensor Co., Ltd.

Diese Übernahme wird das Portfolio von Micro Sensor für die Prozessindustrie effektiv erweitern und die strategische Ausrichtung auf dem internationalen Markt beschleunigen. Gleichzeitig wird LEEG Instruments weiterhin unterstützt, seine Stärke in F&E und Produktdesign auszubauen, und seine Produkte inkl. Services weltweit besser zu positionieren. Die beiden Parteien werden auf dem globalen Drucktransmitter-Markt eng zusammenarbeiten und eine zuverlässige chinesische Spitzenmarke für industrielle Fertigung schaffen. ■

KONTAKT

MICRO SENSOR GMBH
Dipl.-Ing. Kai Lu
Tel.: +49 (0)176 7387 7396
kai.lu@microsensorcorp.de
https://de.microsensorcorp.com/

MESSEN MIT SCHWEIZER PRÄZISION

In diesem Jahr feiert die Dimetix AG ihr 20-jähriges Bestehen. Das Schweizer Unternehmen entwickelt und produziert Laser-Distanzsensoren und strebt dabei höchstmögliche Qualität an. Die Sensoren messen Distanzen bis 500 m mit einer Genauigkeit von ±1 mm und sind so kompakt, dass sie, einmal in einer Anlage verbaut, kaum oder gar nicht mehr wahrgenommen werden. Und trotzdem findet man sie weltweit, zum Beispiel bei sensiblen Logistik-Prozessen oder Krananwendungen, bei der Überwachung von Felsen oder Staumauern, im Gleisbau mit seinen besonders hohen Anforderungen an die Genauigkeit, im Bergbau oder in der Metallverarbeitung. Aktuell überwachen in der Schweiz rund 20 Dimetix-Sensoren die Strukturen beim Tunnelbau unter dem Bahnhof in Bern.

2002 ▶ **Founded**

2003 ▶ **DLS-A**

2006 ▶ **DLS-B**

2010 ▶ **DLS-C**
EDS-C

2011 ▶ **FLS-C**

2018 ▶ **D-Series**

Today ▶ **D-Series**

Das Unmögliche möglich machen

Vielfach werden die Schweizer Sensorexperten dann angefragt, wenn sich sonst keine passende Lösung finden lässt, denn auf große Distanzen erreicht kein anderes Gerät weltweit diese Messgenauigkeit. Solche Anfragen sind die Triebfeder, die Laser-Distanzsensoren stetig weiterzuentwickeln und auf alle möglichen Anwenderbedürfnisse anzupassen. Dank eines kompetenten Entwicklungs- und Support-Teams lassen sich so selbst herausfordernde Anwendungen realisieren. Beispielsweise kann Stahl bis zu einer Temperatur von 1'000 °C problemlos gemessen werden. Die Dimetix-Sensoren schaffen es sogar bis zu einer Oberflächentemperatur von 1'300 °C . Da jeder einzelne Sensor am Standort Herisau produziert, geprüft und mit einer Seriennummer versehen wird, lassen sich bei Kundenanfragen alle Messdaten im Teststand abrufen - bis zurück zum ersten Gerät.

Globaler Vertrieb

Dimetix-Sensoren sind seit 20 Jahren fest im Markt integriert und aus zahlreichen Anwendungsbereichen nicht mehr wegzudenken. Dank eines gut ausgebauten Vertriebsnetzes, das kontinuierlich erweitert und geschult wird, stehen den Anwendern weltweit kompetente Ansprechpartner zur Verfügung; beispielsweise für Support oder schnelle Ersatzteillieferung.

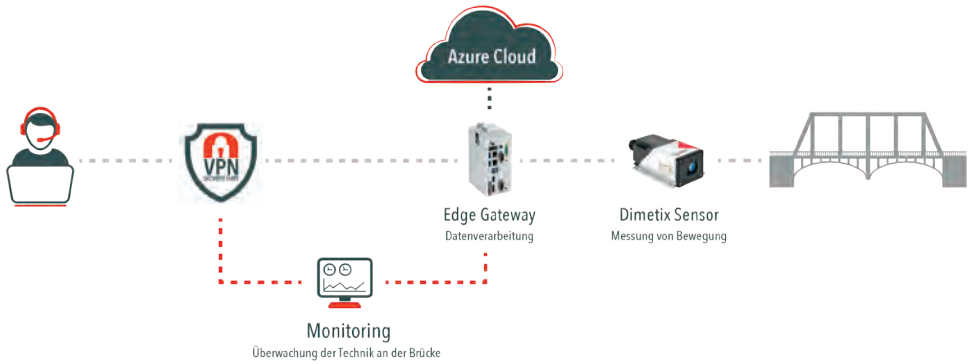
20 JAHRE DIMETIX

Scharfer Blick in die Ferne

Laserdistanzsensoren messen klassischerweise entweder die Lichtlaufzeit oder die Phasenverschiebung. Die Laufzeitmessung ist schnell, durch die anspruchsvolle Zeitmessung aber oft nicht ausreichend genau. Die Messung der Phasenverschiebung ist entfernungsabhängig und deutlich genauer, aber durch die aufwendigere Auswertung nicht so schnell wie die reine Laufzeitmessung. Die Schweizer Sensorikspezialisten der Dimetix AG kombinieren deshalb bei ihren Laser-Distanzsensoren die Vorteile beider Messmethoden, indem sie sowohl Laufzeit als auch Phasenversatz auswerten. Um eine hohe Messgeschwindigkeit zu erreichen, arbeitet das Verfahren mit einer Hochfrequenzmodulation der Laseramplitude und wertet die Phasenlage und den Abstand dieser aufmodulierten Hochfrequenzsignale (Bursts) aus. Dadurch kann man sehr schnell die entfernungsabhängige Laufzeitverschiebung der einzelnen Pulspakete messen, aber auch die Phasenverschiebung der einzelnen Wellen innerhalb der modulierten Pakete. Abhängig vom Geräte-Typ eignen sich die Dimetix-Sensoren deshalb für Distanzen von 0,05 bis 500 m und messen mit einer Genauigkeit von ± 1 mm bei einer Wiederholgenauigkeit von ± 0,3 mm.

KONTAKT

DIMETIX AG
Degersheimerstr. 14
CH-9100 Herisau
Tel.: +41 (0)71 353 00 00
info@dimetix.com
http://dimetix.com

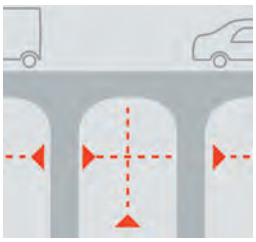


Überwachung eines Eisenbahntunnels

Bei Bauarbeiten am Berner Hauptbahnhof wurde ein automatisches Überwachungssystem installiert, um potenziell gefährliche Deformationen des Tunnelgewölbes frühzeitig zu erkennen. Normalerweise werden hierfür fest im Tunnel installierte Tachymeter verwendet, die die Position vieler am Tunnelgewölbe angebrachter Reflexionsprismen periodisch messen. In diesem Fall war die Sichtbarkeit der Tunneldecke jedoch durch Querstreben eingeschränkt. Um Verformungen dennoch präzise zu erkennen, wurde ein zweistufiges Messprinzip eingesetzt: Tachymeter messen die Position der Querstreben, während rund 20 Dimetix-Lasersensoren die Abstände zwischen Querstreben und Tunneldecke erfassen. Dadurch konnten Kosten für zusätzliche Tachymeter eingespart werden. Die Messwerte werden vor Ort in der Steuerung verarbeitet und ausgewertet. Bei Überschreitungen der Sicherheitsgrenzwerte erhalten die Verantwortlichen automatisch eine Benachrichtigung per E-Mail oder SMS. Eine besondere Herausforderung war die geforderte 24-Stunden-Verfügbarkeit der Sensoren während der Bauarbeiten, denn durch die hohe Verkehrsdichte war der Zugang zum Tunnel nur eingeschränkt möglich. Dank der professionellen Unterstützung durch den Sensorhersteller ließ sich das Projekt trotzdem schnell und unbürokratisch umsetzen.

Brückenmonitoring mit Hilfe von Edge Computing

Brücken sind ständig der Witterung, starker Belastung und Bewegung ausgesetzt. Um eventuelle Deformationen festzustellen, ohne dass es durch die Prüfungen zu Verkehrsbeeinträchtigungen kommt, bieten sich Verfahren an, die kontinuierlich Veränderungen an der Brücke messen und melden. Basierend auf einem Laser-Distanzsensor bietet Dimetix dafür eine passende Lösung an. Der Sensor kann dank seiner Genauigkeit und hohen Messrate bis 250 Hz selbst kleinste Bewegungen der Brücke erkennen. Durch die große Reichweite ist zudem eine flexible Befestigung im Umfeld der Brücke möglich. Die vom Sensor gesammelten Daten werden an ein Edge-Gateway von der Firma Welotec übermittelt und dort verarbeitet. Durch die vollständige Cloud-Integration des Gateways in Azure IoT Hub und Azure Edge können die Daten dezentral verarbeitet sowie Anwendungen bereitgestellt werden. Die Softwareumgebung und die integrierte Firewall sorgen zudem für höchste Sicherheit; Anwender profitieren vom sicheren Zugriff aus der Ferne. Die in der Cloud gespeicherten Daten werden in Dashboards dargestellt und mit einem Warnsystem verknüpft. Bei einer auffälligen Messung an der Brücke können die Betreiber deshalb sofort handeln und die notwendigen Maßnahmen ergreifen. ■


Überwachung

Positioning

Anti-Kollision

SENSORIK UND MESSTECHNIK: SCHLÜSSELTECHNOLOGIE DER INDUSTRIE

AMA Verband für Sensorik und Messtechnik e.V

Sensorik und Messtechnik ermöglicht Innovationen in nahezu allen Anwendungsbereichen. Insbesondere bei der Digitalisierung, die für fast alle Geräte angestrebt wird und die Ebenen des digitalen Fortschritts gestaltet. Dabei steht der Mensch im Mittelpunkt der Digitalisierung und entscheidet darüber, welche Chancen sich durch Informationstechnologie und Digitalisierung bieten. In vielen Unternehmen wird verstärkt auf Erkenntnisse aus eigenen Datenerhebungen und daraus abgeleiteten Erkenntnissen gesetzt, um die internen Prozesse der Qualitätssicherung und der Produktentwicklung zu optimieren. Angestrebt wird aber inzwischen auch eine Vernetzung und Automatisierung des Datenmanagements des Unternehmens mit denen der Lieferanten und denen der Kunden. Dabei werden Anwendungen häufig über das Internet der Dinge abgewickelt. Damit steigt der Bedarf an intelligenten Sensoren, die nicht nur Sensordaten erfassen, sondern diese Daten für unterschiedlichste Anwendungen auswerten.

Daher ist eine Entwicklung in der Sensorik die fortschreitende Miniaturisierung. In einer sich vernetzenden Welt ermöglichen Sensoren zahllose Anwendungen. Mehrere Sensoren werden eingesetzt, die trotz kleiner Abmessungen dieselbe Leistung bringen und den Energiebedarf verringern. Das kann gerade in der aktuell angespannten Lage deutliche Vorteile bringen.

Ein weiterer sich durchsetzender Trend ist die Sensorfusion. Wie beim Digitalisierungstrend werden Multi-Sensoren integriert und ermöglichen eine direkte Verarbeitung im Internet der Dinge und damit eine vollständige Vernetzung. Zudem können mehrere Messungen in äußerst kleinen Gehäusen erfassen werden und die Entwicklung von Multi-Sensor-Elementen vorantreibt. Dabei gibt es innerhalb dieser Trends in der Sensorik immer wieder auch Schnittmengen aber das Ziel der Anwenderindustrien ist fast immer gleich: Höhere Leistungen zu geringeren Kosten.

Wirtschaftliche Entwicklung und Ausblick

Insbesondere das Jahr 2020 war pandemiebedingt eine Herausforderung für die Branche der Sensorik und Messtechnik. Bereits im Jahr 2021 konnte die Branche wieder aufholen und Nachholeffekte für sich nutzen.

Nach eigenen Angaben erwirtschaftete die Branche insgesamt ein Umsatzplus von zwanzig Prozent, verglichen zum Vorjahr. Im ersten Quartal 2021 verzeichnete die Branche ein deutliches Umsatzplus durch Nachholeffekt, die nachfolgenden Quartale wiesen einen stabilen Umsatz auf hohen Niveau aus.

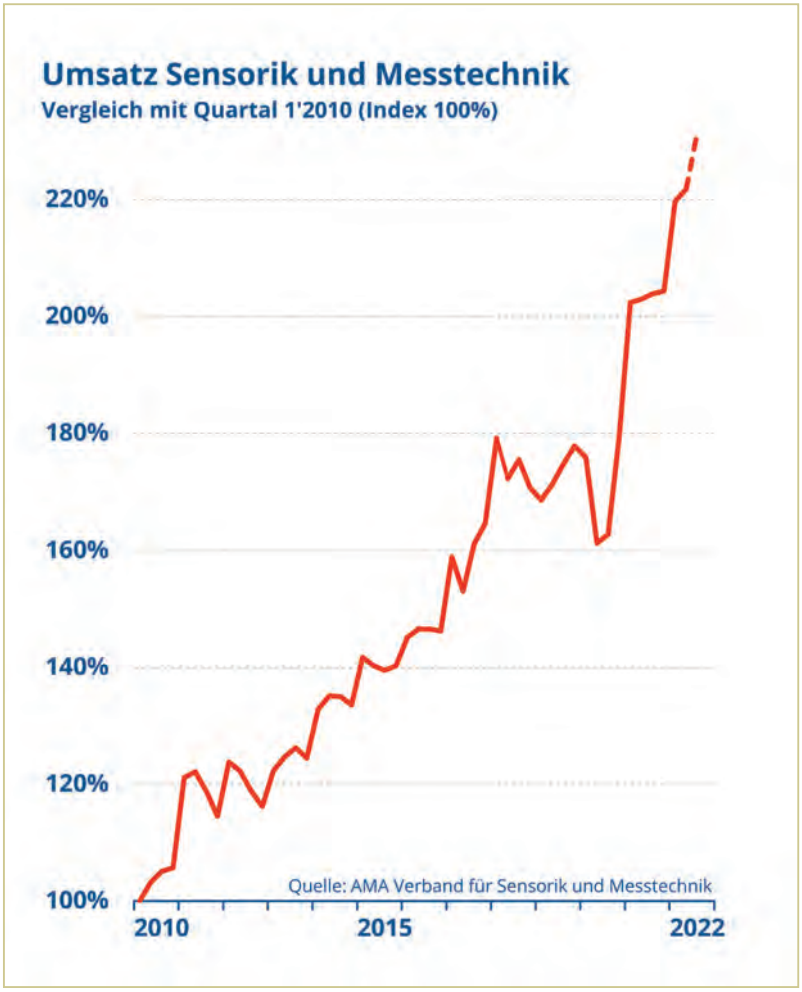
Bisher wuchsen die Exportquoten der Branche kontinuierlich an, das änderte sich im vergangen Jahr. Die Exportquote ging um elf Prozent zurück, insgesamt liegt die Sensorik und Messtechnik mit einer Exportquote von 50 Prozent aber im vergleichbaren Durchschnitt der Industrie.

Die Kurzarbeit sank bei den AMA Mitgliedsunternehmen von rund 50 Prozent im Vergleichsquartal auf sieben Prozent im 4. Quartal 2021. Stellte die Branche im vergangen Jahr drei Prozent neue Mitarbeiter ein, plant sie für dieses Jahr weitere Neueinstellung von plus fünf Prozent.

Sensorik und Messtechnik Branche investiert wieder

Die Branche zeigt sich wieder investitionsfreudig. Gingen die Investitionen im Jahr 2020 zurück, investierten die AMA Mitglieder im vergangenen Jahr zwölf Prozent mehr und planen für das laufende Jahr die Investitionen um weitere 14 Prozent zu erhöhen. Damit zeigt sich die Sensorik und Messtechnik als optimistische Branche in Aufbruchsstimmung.

Der AMA Verband befragte seine Mitglieder nach dem Anteil des Umsatzes, den die Unternehmen in Forschung und Entwicklung investieren. Die großen Unternehmen investierten zwölf Prozent und die kleinen und mittelgroßen zehn Prozent. Insgesamt investierte die Branche rund elf Prozent des Umsatzes in Forschung und Entwicklung. Das ist eine vergleichbar hohe Innovationsintensität, wie sie die Elektronikindustrie erreicht. Diese hat die höchste in Deutschland, laut der aktuellen Studie des ZEW (Leibniz-Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung GmbH).



Sensorik und Messtechnik wächst auch im Jahr 2022. Im ersten Quartal 2022 einen weiteren Umsatzanstieg um sieben Prozent, im zweiten Quartal stabilisierten sich die Umsätze bei einem Plus von einem Prozent. Die Auftragseingänge der Branche bleiben stabil bei plus einem Prozent.

Das Umsatzplus ist bei den großen und kleineren AMA Mitgliedern in etwa gleich. Überdurchschnittlich gut entwickelte sich bisher der Absatz in die Elektronikbranche, der Absatz in die Automobilbranche bleibt schwierig, insbesondere für die kleinen und mittelgroßen Unternehmen. Die Stimmung der Branche ist positiv, die AMA Mitglieder rechnen für das dritte Quartal 2022 mit einem Umsatzplus von insgesamt vier Prozent. Bei der positiven Auftragsentwicklung ist die Kurzarbeit in der Branche derzeit kein Thema mehr.

Gefragt nach den Auswirkungen der Sanktionen aufgrund des Ukrainekriegs gaben 87 Prozent der AMA Mitglieder an, betroffen zu sein. Allerdings schätzen die AMA Mitglieder den Anteil der eigenen Betriebsleitungen durch das Embargo auf verkraftbare sieben Prozent. Seit Beginn der militärischen Invasion hat es allerdings zum Teil hohe Preissteigerungen bei Energie und Rohstoffen gegeben, damit bleibt die Unsicherheit über die wirtschaftliche Entwicklung der Industrie insgesamt weiterhin hoch.

Trotz der Unsicherheiten im politischen Umfeld und andauernder Lieferschwierigkeiten, konnte die Branche im ersten Halbjahr 2022 die Umsätze deutlich steigern und rechnet für das dritte und vierte Quartal 2022 mit einer weiteren positiven Entwicklung.

KONTAKT

AMA VERBAND FÜR SENSORIK UND MESSTECHNIK E.V.
Sophie-Charlotten-Str. 15, 14059 Berlin
info@ama-sensorik.de
www.ama-sensorik.de

„PIGTAILS“ ERHALTEN ESCC-QUALIFIKATION

Mit der ESCC Qualifikation der Drahtverlängerungen – auch „Pigtails“ genannt – für Ihre ESCC qualifizierten HiRel Temperatursensoren erfüllt die IST AG ihren Kunden einen lang ersehnten Wunsch.

Die Innovative Sensor Technology IST AG mit Hauptsitz in der Schweiz ist als einzige Anbieterin von ESCC-qualifizierten Hi-Reliability Dünnschicht-Platin-RTDs bekannt. Seit Erhalt der Qualifizierung seiner HiRel-Sensoren arbeitete der Sensorhersteller an der Qualifizierung der verlängerten Drähte, um der hohen Nachfrage insbesondere von Flugzeugingenieuren gerecht zu werden.

Temperatursensoren der IST AG sind seit über zwanzig Jahren im Weltraum unterwegs. Eine der bekanntesten Weltraummissionen, an denen ihre Sensoren beteiligt waren, war die Rosetta-Mission der Europäischen Weltraumorganisation. Im Jahr 2014 gelang es der ESA, ihren Landeroboter Philae nach einer zehnjährigen Reise erfolgreich auf dem Kometen Tschurjumow-Gerassimenko zu landen.

Vor über vier Jahren erhielt IST AG ihre erste ESCC-Qualifikation für HiRel Pt RTDs, welche halbjährlich rezertifiziert werden. Mit der schnell wachsenden Nachfrage nach Sensoren mit Verlängerungskabeln begann die IST AG mit dem ESCC-Zertifizierungsprozess für die Pigtails.

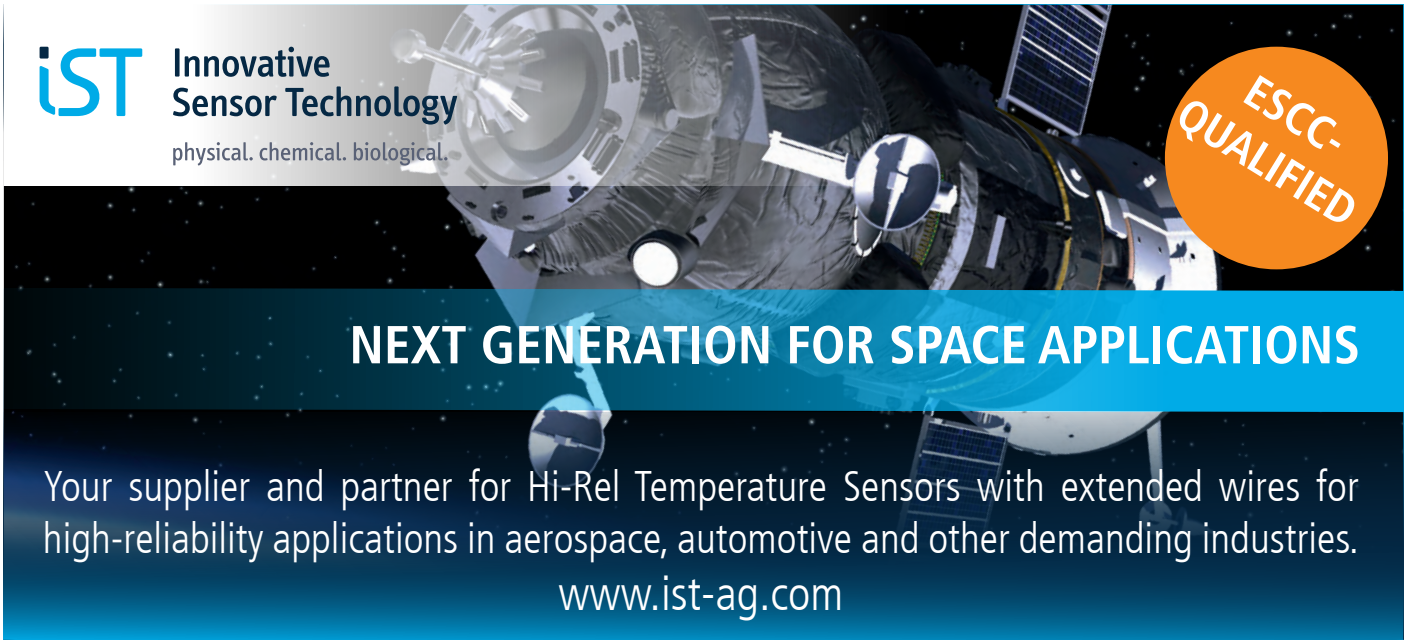
Mit diesem Standardprodukt steht den Ingenieuren nun ein einfach zu implementierendes und zuverlässiges Produkt zur Verfügung, das Kosten und Zeit und viele Testrunden spart und die zahlreichen Normen der Luft- und Raumfahrtvorschriften erfüllt.

Die HiRel-Pt-Temperatursensoren sind mit einem Widerstand von 100 Ω bis 2000 Ω, in Temperaturbereichen von -50 °C bis +150 °C oder -200 °C bis +200 °C, mit reinen Platindrähten oder mit verdrillten 2- oder 4-drahtigen Verlängerungskabeln bis zu 10’000 mm, mit oder ohne Ummantelung erhältlich.

Alle Sensoren sind sowohl als Flugmodelle (FM) als auch als Konstruktionsmodelle (EM) erhältlich. Es gilt die allgemeine ESCC-Spezifikation Nr. 4006/015. Details zu den verschiedenen Sensorvarianten sind auf der ESCC Qualified Parts List (QPL) oder auf www.ist-ag.com einsehbar. ■

KONTAKT

INNOVATIVE SENSOR TECHNOLOGY IST AG
Stegrütistrasse 14
CH-9642 Ebnat-Kappel
Tel.: +41 (0)71 992 0100
info@ist-ag.com
www.ist-ag.com



ETO SENSORIC STELLT NEUEN MEDIENRESISTENTEN DRUCKSENSOR VOR

ETO SENSORIC mit Sitz in Nürnberg ist seit 20 Jahren ein verlässlicher Partner, wenn es um die Herstellung maßgeschneiderter Drucksensoren höchster Genauigkeit und Qualität geht. Die Sensoren sind für ihre Langlebigkeit bekannt: Sie überstehen Einsätze von mehr als 2 Millionen Kilometern in Brems- oder Federungssystemen. Jetzt hat ETO SENSORIC einen Drucksensor entwickelt, der selbst aggressiven und korrosiven Kältemitteln, Ölen oder Additiven standhält.

Hinter dem Produktnamen MRS-50A verbirgt sich eine Neuheit der ETO SENSORIC GmbH im Bereich der Drucksensoren – ein Sensor, der sogar zuverlässig in höchst aggressiven Medien arbeitet. Die Drucksensoren messen mithilfe eines piezoresistiven Drucksensorelements Druckveränderungen. Piezoresistiv beschreibt die Veränderung des elektrischen Widerstands durch Druck oder Zug, also die eigentliche Funktion des Sensors. Im Fall des neuen MRS-50A-Drucksensors reagiert eine Membran im Drucksensorelement auf Druck, wodurch eine Widerstandsänderung verursacht wird. Sie wiederum wird von einer elektronischen Schaltung gemessen und als Signal ausgegeben. Aus diesem Signal lässt sich der Druck mit hoher Genauigkeit bestimmen.

Bei gängigen Lösungen werden die Drucksensorelemente mit ihrer Membran über dem Druckloch angebracht, an dem später der zu messende Druck anliegt. Die Fixierung erfolgt über eine Klebeverbindung auf einem Träger. Dies ist für einige Anwendungen dieses Sensor-Typs eine vertretbare Lösung – nicht aber, wenn die Sensoren mit Kältemitteln, Ölen oder Additiven in Kontakt geraten. Denn reaktive chemische Verbindungen greifen den Klebstoff an. Um eine dauerhafte Funktionsstabilität des Sensors auch in dieser anspruchsvollen Umgebung sicherzustellen, hat ETO mit dem MRS-50A daher einen Drucksensor geschaffen, bei dem der Klebstoff durch einen hochfesten und chemisch stabilen Glasverbund ersetzt wurde. Eine dauerhafte Resistenz des Drucksensors gegenüber aggressiven Medien kann somit sichergestellt werden.

Der MRS-50A besitzt außerdem eine hohe mechanische Festigkeit gegenüber Nenndrücken bis zu 60 bar. Trotz seines kompakten Aufbaus sind kundenspezifische Auslegungen in Bezug auf die Anschlussgeometrie, die Druckart (absolut / relativ) oder die Ausgangsignale (analog / digital) möglich. Die Stecker-Geometrie des neuen Sensors entspricht HDSCS oder Hirschmann, die Schlüsselweite beträgt 24.

Mit dem neuen Drucksensor MRS-50A konnte ETO SENSORIC in Nürnberg das Einsatzspektrum seiner Drucksensoren entscheidend erweitern. ■

ETO GRUPPE
MOTION TECHNOLOGIES

KONTAKT

ETO SENSORIC GMBH
Löffelholzstr. 20
90441 Nürnberg
Tel.: +49 (0)911 41891-0
Fax: +49 (0)911 41891-19
END@etogruppe.com
www.etogruppe.com

ETO GRUPPE
MOTION TECHNOLOGIES

ETO SENSORIC ist Spezialist für die Entwicklung und Fertigung digitaler und analoger Sensorik. Die innovativsten Drucksensoren im Automotive-Sektor sowie in Bereichen des Maschinen- und Anlagenbaus sind nicht selten echte Nürnberger. Als Teil der ETO GRUPPE sind für uns auch E-Mobilität, autonomes Fahren, smarte Werkstoffe, IoT sowie sichere, intelligent vernetzte, digitale Kommunikation bestimmende Themen.

Sie können daher sicher sein: ETO entwickelt für Sie die Sensorik von morgen.

WIR FINDEN DIE OPTIMALE SENSORIK-LÖSUNG.

S400LP

STM201

SM10

ETO SENSORIC GmbH
Löffelholzstraße 20, 90441 Nürnberg
Telefon: +49 911 41891-0
www.etogruppe.com

ZERTIFIZIERTES SENSOR-PROGRAMMIERGERÄT FÜR PRODUKTIONSLINIEN

Sie sind auf der Suche nach einem Sensor-Programmiergerät für ihre Baugruppe oder unverbauten Magnetfeldsensor? CGS bietet Ihnen die flexibelste Lösung für eine Vielzahl an verschiedenen Sensorherstellern und Sensortypen. Das Programmiergerät basiert auf einem CompactRIO-Chassis von National Instruments. Aufgrund der kompakten Bauweise lässt sich das cRIO unweit des Prüflings in der Fertigungslinie verbauen. Je nach Anforderung kann das Chassis mit verschiedenen cRIO-Modulen bestückt werden.

Die aus der Entwicklung von CGS stammenden und von den Sensorherstellern zertifizierten cRIO-Module – Intelligent Sensor Calibration Module (ISCM) – können Sensoren beschreiben sowie auch zurücklesen. Selbst bei einem Produktwechsel in der Linie muss nicht das ganze Programmiergerät samt Softwaresuite gewechselt werden, es genügt einfach das sensorspezifische ISCM zu tauschen. Damit ist die Linie in wenigen Minuten wieder einsatzbereit.

Durch die Verwendung der cRIO-Plattform ist das Programmiergerät zu einhundert Prozent für den Fertigungseinsatz geeignet. Ein weiterer Vorteil ist die Möglichkeit zeitsynchron die Referenzsensoren auszulesen. Die hierfür unterstützten Protokolle zum Einlesen umfassen SENT, PSI5, PWM, OWI, Analog, Inkremental und CAN. Somit können z. B. Mehrpunktkalibrierungen in wenigen Sekunden dynamisch erfolgen. Ein separates anfahren und stoppen zur Aufnahme der Messwerte entfällt. Dadurch kann der Durchsatz in ihrer Linie erheblich gesteigert werden und das ohne Einbußen in der Genauigkeit oder Zuverlässigkeit.

Durch den modularen Aufbau können sie zum Beispiel mit dem optional erhältlichen cRIO-Modul ICVM die Spannungen und Ströme der zu programmieren Sensoren parallel überwachen und mitloggen. Damit lässt sich sicherstellen ob die Sensoren mit genügend Energie beschrieben wurden und ihre Kalibrierwerte alterungsbedingt in Zukunft nicht vorzeitig verlieren. Gerne beraten wir Sie über weitere Kombinationsmöglichkeiten.

Durch unsere direkten Kooperationen mit den Sensorherstellern erweitert sich das Spektrum an unterstützten Sensoren stetig. ■

KONTAKT

CGS
Henleinstraße 7
85570 Markt Schwaben
Tel.: +49 (0) 8121 2239-30
info@cgs-gruppe.de
www.cgs-gruppe.de

ZWEI GRUNDLEGENDE MESSPRINZIPIEN

Im Fokus der Arbeit von Galltec+Mela steht das Messen und Kontrollieren von Luftfeuchtigkeit und Temperatur. Neben der Temperatur ist die Luftfeuchte eine wichtige Messgröße u. a. für industrielle Prozesse, Qualitätskontrolle oder unser Wohlbefinden. Wir haben das Know-How um mit zwei sehr grundlegend unterschiedlichen Messprinzipien die Luftfeuchte zu messen: hygrometrisch und kapazitiv.

Die hygroskopische POLYGA®-Fasern
Basierend auf der bekannten Tatsache, dass menschliches Haar seine Länge in Abhängigkeit der Luftfeuchtigkeit ändert, hat GALLTEC® die einzigartige hygroskopische POLYGA®-Fasern entwickelt, die ihre Länge in Abhängigkeit zur Luftfeuchtigkeit ändert – sie ist in unerreichtem Ausmaß langzeitstabil und zu 100 % wasserfest. In Hygrostaten wird die Längenveränderung über ein Hebelsystem auf einen Mikroschalter übertragen. In Transmittern wird sie in elektrische Widerstandswerte konvertiert.

Hochdynamischer Kapazitiver MELA®-Sensorchip
In seiner firmeneigenen Reinraumproduktion stellt MELA Sensortechnik GmbH sehr genaue und hochdynamische kapazitive Dünnfilmchips her. Auf ein keramisches Trägermaterial wird ein System von Schichten aus einer Elektroden-Struktur, einem von MELA® entwickelten hygroskopischen Polymer und einer extrem dünnen wasserdampfdurchlässigen Goldschicht aufgetragen. Das Polymer absorbiert und desorbiert Wasserdampf in der Atmosphäre, wodurch sich dessen Permittivität ändert, was wiederum eine Änderung der elektrischen Kapazität des Chips bewirkt. Diese Kapazität ist ein direktes Maß für relative Feuchte.

KONTAKT

GALLTEC+MELA
Marvin Kiel
Boschstraße 4
71149 Bondorf
Tel.: +49(0)7457 9453-0
sensoren@galltec.de
www.galltec-mela.de

Hygrometrisch und kapazitiv

Technik zur Messung der Luftfeuchte

Engagierte Mitarbeiter mit großem Erfahrungsschatz und junge, kreative Ingenieure sind am Werk die unterschiedlichsten Messaufgaben exakt und zuverlässig zu lösen.

Seit mehr als 50 Jahren Hersteller und Entwickler von Feuchtesensoren

Feuchte- und Temperaturmesstechnik *high quality*

Galltec +mela

Tel.: 0049 7457 9453-0
sensoren@galltec.de
www.galltec-mela.de

OBERFLÄCHLICH, ABER GRÜNDLICH: DAS CIS ANALYTIK KOMPETENZZENTRUM (CAK)

Permanent benötigen viele Industriezweige leistungsfähigere Bauteile und Werkstoffe mit immer kleiner werdenden Strukturen und Dimensionen bis in den Nanometerbereich. Viele Eigenschaften dieser Materialien und daraus entwickelter Bauelemente werden durch ihre Oberflächeneigenschaften bestimmt. Morphologie bzw. Topographie und chemische Zusammensetzung dieser Oberflächen entscheiden oft über chemische und physikalische Wechselwirkungen mit ihrer Umgebung, entsprechend der einwirkenden Umweltbedingungen. Hier setzt die Korrosion eines Bauteils an oder die mögliche Emission von Teilchen an die Umgebung. Steht ein Material unter starker Verspannung, so beginnt die Bildung von Rissen im oberflächennahen Bereich und kann zu seiner Zerstörung führen. Verfahren wie Galvanisierungsprozesse, verschiedene Schichtabscheidungen für Optiken oder Bonding-Prozesse in der Verbindungstechnik werden weitgehend durch die Oberflächeneigenschaften des zu bearbeitenden Materials bestimmt. Haftet bspw. eine aufgebrachte Beschichtung nicht, kann das an Oberflächenkontaminationen liegen. Auch Dotierungen oder Passivierungen von Bauelementen finden im oberflächennahen Bereich statt. Somit ist die Oberfläche häufig Ausgangspunkt von Kontroll- und Fehleranalysen. Besonders in der Halbleiterindustrie oder Photonik, schreitet die Miniaturisierung extrem voran und erfordert umfangreiche Analysen.

Um den Herstellungsprozess von Materialien und Bauelementen verstehen, kontrollieren und optimieren zu können, ist der Einsatz von Nano- bzw. Oberflächenanalytik, wie sie das CAK im CiS Forschungsinstitut für Mikrosensorik bietet, unabdingbar, gerade wenn Fragen der Qualitätskontrolle, Fehlersuche oder Umweltverträglichkeit aufkommen. Führt der angedachte Herstellungsprozess zum gewünschten Ergebnis? Was befindet sich tatsächlich auf dem Bauelement? Wie viel von der gezielt aufgetragenen oder implantierten Substanz befindet sich auf oder im Bauelement? Wie ist es strukturiert? Wie verändert es sich durch Nutzung? Wie wechselwirkt es mit seiner Einsatzumgebung?

Die Analysetools im CiS Analytik Kompetenzzentrum liefern verschiedene, komplementäre Informationen über die Oberfläche. Einige bieten vor allem physikalische, andere vorwiegend chemische Informationen. Oftmals ist eine Kombination verschiedener Analysemethoden notwendig, um die Oberfläche hinreichend verstehen und bewerten zu können. Der Gerätepool umfasst:

- Sekundärionenmassenspektrometrie (SIMS)
- Rasterelektronenmikroskopie (REM)
- Energiedispersive Röntgenspektroskopie (EDX)
- Raman-Spektroskopie
- Focused Ion Beam (FIB)
- Rasterkraftmikroskopie (AFM)
- Licht- und Lasermikroskopie
- Profilometrie (taktil und optisch)
- Probenpräparation

Herzstück des CAK ist ein Sekundärionenmassenspektrometer (SIMS). Diese SIMS 7f auto der Firma Cameca ist aktuell eine der modernsten verfügbaren SIMS-Anlagen. Damit können dreidimensionale Elementverteilungen, vorrangig im Spuren- und Ultraspurenbereich, gemessen werden. Durch Beschuss einer Probe mit Primärionen (O2+, O- oder Cs+) im Ultrahochvakuum werden Sekundärionen aus dieser ausgelöst, danach im elektrischen Feld beschleunigt und nach Massentrennung in einem Magnetfeld mittels hochempfindlicher Detektoren gezählt. Durch das so gemessene Masse-zu-Ladungsverhältnis der ausgelösten Sekundärionen lässt sich auf die elementare und isotopische Zusammensetzung der Probe schließen. Deren gemessene Intensität ermöglicht die Berechnung von Elementkonzentrationen. Durch das Auslösen von Ionen aus der Probe wird diese während des Messvorgangs schrittweise abgetragen, wodurch eine Messung in die Tiefe erfolgt. Eine SIMS zeichnet sich durch

KONTAKT

CIS FORSCHUNGSINSTITUT FÜR MIKROSENSORIK GMBH
Konrad-Zuse-Str. 14
99099 Erfurt
Tel.: +49 (0)361 663 1160
info@cismst.de
www.cismst.de

niedrige Nachweisgrenzen bis in den Bereich < 1 ppb bei Probenvolumen im Bereich von 10 µm³ aus. So lässt sich Bor in Silizium bis zu einer Konzentration von E13 at/cm³ detektieren. Proben können auf eventuelle Verunreinigungen untersucht, Dotierprofile und -konzentrationen bestimmt werden (**s. Abb. 1**). Ebenfalls können Schichtfolgen von leitenden sowie nichtleitfähigen Proben chemisch analysiert, ihre Dicke ausgemessen und deren Abfolge überprüft werden (**s. Abb. 2**). Die Alterung von Oberflächen, Auslaugungsprozesse, die Diffusion von Netzwerkwandlern in Gläsern ist mit SIMS analysierbar. Bei einer Tiefenanalyse kann auch die laterale Verteilung von Elementen bestimmt werden (**s. Abb. 3**). Metallverarbeitung (Korrosion, Oberflächenvergütung, Dekorations- und Schutzschichten, Haftvermittler), Geologie (Massenspektren), Life Sience (Oberflächenvergütung von Medizinprodukten, Untersuchungen von Zahnfluoridierungen sowie krankhaften Zahnveränderungen), oder Umweltschutz profitieren ebenfalls von SIMS-Analysen.

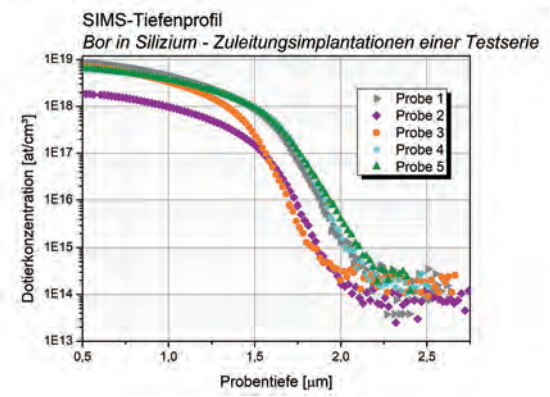


Abb. 1: Bestimmung von B-Dotierprofilen in Si-Zuleitungen mit Hilfe von SIMS.

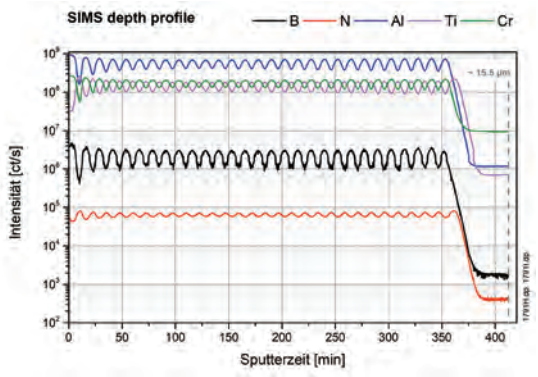


Abb. 2: Analyse eines Systems aus 58 alternierenden Schichten TiN und Bor dotiertem AlTiCrN. Besonders hervorzuheben ist die hohe Stabilität der Tiefenauflösung über mehrere Stunden.

Flankiert wird die SIMS durch ein hochauflösendes Rasterelektronenmikroskop, kombiniert mit einer EDX- sowie FIB-Einheit. Es erlaubt die Analyse der Struktur und der chemischen Zusammensetzung von Probenoberflächen sowie ihrer elektronischen Defekte und Schichten (**s. Abb. 4**).

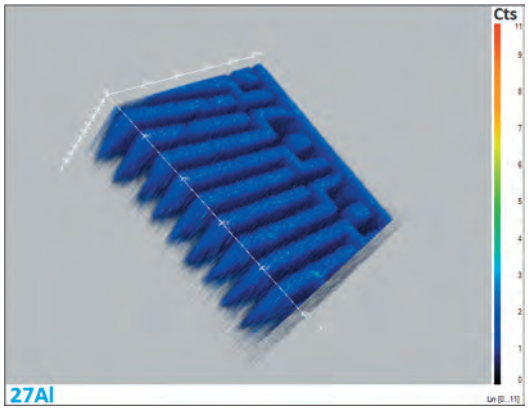


Abb. 3: Beispiel für die Messung von 3-dimensionalen, also auch lateralen Elementverteilungen mittels SIMS. Gemessen wurde an einem Aluminium-Grid eines Silizium-basierten Chips das Al-Signal des Ions 27Al-.

Dazu wird ein Elektronenstrahl in einem bestimmten Muster über das vergrößert abzubildende Objekt gerastert. Die dabei durch den Primärstrahl aus der Probe gelösten Sekundärelektronen, aber auch die an der Probe rückgestreuten Elektronen erlauben die Abbildung des Untersuchungsobjektes. Die erzeugten Bilder besitzen hohe Tiefenschärfe. Der maximale Vergrößerungsfaktor liegt bei 1000000:1, während er in der Lichtmikroskopie bei etwa 2000:1 liegt. Die auf die Probe auftreffenden Elektronen regen auch Röntgenemission an, die charakteristisch für jedes Element ist. So kann auf die chemische Zusammensetzung der Probe und ihrer einzelnen, mit REM abgebildeten Strukturen geschlossen werden. Dies wird mittels einer angeschlossenen EDX-Einheit realisiert. Die ebenfalls fest montierte FIB-Einheit erlaubt mit einem Ionenstrahl das Untersuchungsobjekt über mehrere Mikrometer „aufzuschneiden" und damit die topographische und chemische Beschaffenheit in der Tiefe zu analysieren. (**s. Abb. 4 und 5**)

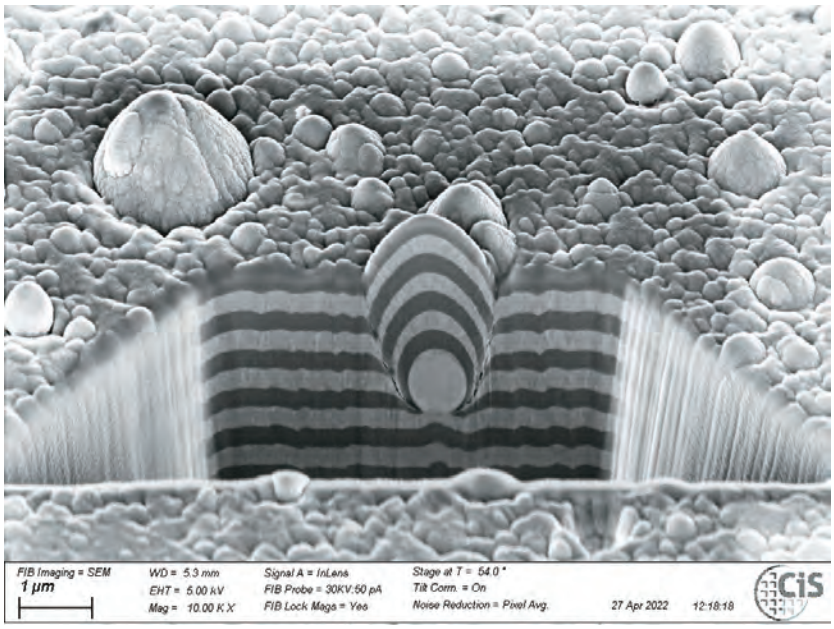


Abb. 4: REM-Aufnahme eines Schichtsystems. Neben der Schichtabfolge zeigen sich zahlreiche Oberflächendefekte, die durch den Abscheidungsprozess der Schichten bedingt sind. Die chemische Zusammensetzung der Schichten lässt sich mit der EDX-Einheit des REM bestimmen.

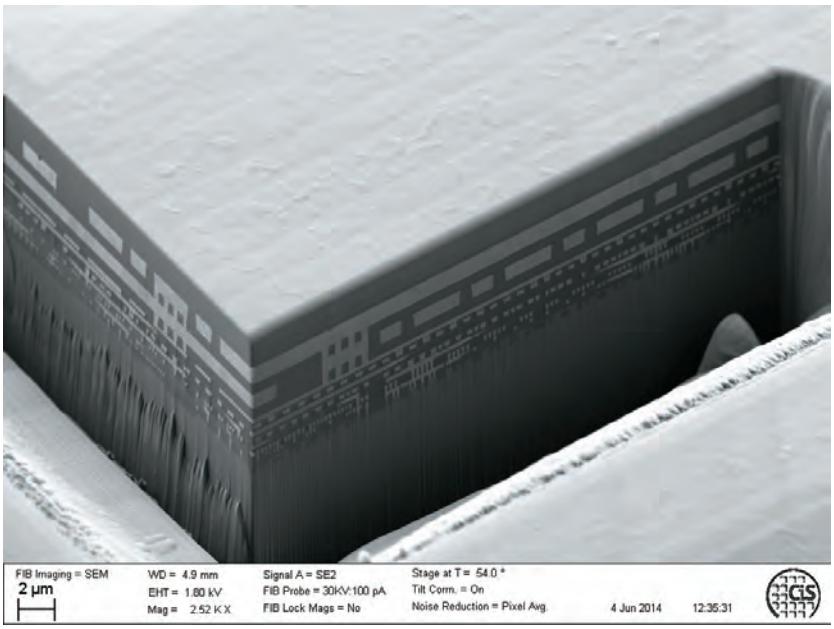


Abb. 5: REM-Aufnahme nach FIB-Schnitt durch einen Chip.

Neben Standardmessungen werden im CiS Analytik Kompetenzzentrum auch eigene Messverfahren und Spezialanpassungen für die Gerätetechnik entwickelt.

Durch den Ausbau des REMs ist es im CiS Analytik Kompetenzzentrum möglich, niederenergetische Elektronen und UV-Photonen mit hoher Quanteneffizienz zu detektieren und damit Elektronendetektoren zu qualifizieren.

Aus der Messung des Elektronenstroms des REM in einem Faradaybecher und der Messung des durch diese Elektronen generierten Stromes eines Detektors, wird dessen Quanteneffizienz bestimmt. Durch Variation der Elektronenenergie wird die Quanteneffizienz in Abhängigkeit von der Elektronenenergie ermittelt.

Ein weiteres entwickeltes Messverfahren, misst die Totzonenbreite von Elektronendetektoren. Durch Verkippen des Probentisches im REM ist es reproduzierbar möglich, unter bestimmten Winkeln auf einen Detektor einzustrahlen. Die Elektronen durchqueren unterschiedlich lange die Totzone, wodurch sich der Strom des Detektors ändert. Aus diesem Messsignal wird die Totzonenbreite ermittelt.

Die Rasterkraftmikroskopie (AFM) ist eine Form der Rastersondenmikroskopie. Deren Auflösung reicht in die Größenordnung von Bruchteilen eines Nanometers und ist damit mehr als 1000 Mal besser als die optische Beugungsgrenze. Hierbei wird eine Feder (Cantilever), an der sich eine kleine Nadel mit einer Messspitze von nur wenigen Atomen befindet, über eine Probenoberfläche bewegt. Aufgrund der atomaren Kräfte zwischen Messspitze und zu messender Oberfläche verbiegt sich der Cantilever unterschiedlich stark. Aus der ermittelten Verbiegung der Feder wird ein dreidimensionales, mikroskopisches Bild erstellt, um die topographischen Eigenschaften einer Oberfläche zu untersuchen und Rückschlüsse auf Adhäsionskräfte, die Elastizität oder Dotierungsgebiete dieser Oberfläche ziehen.

Die Raman-Spektroskopie erlaubt Aussagen über die chemische Zusammensetzung eines zu untersuchenden Materials, deren Kristallisationsgrad und -orientierung sowie Defekte. Das Verfahren beruht auf der inelastischen Streuung von Photonen (Raman-Streuung). Die Photonen einer monochromatische Lichtquelle (Laser) interagieren mit den Molekülschwingungen, Phononen oder anderen Anregungen einer Probe, wodurch die Energie

der einfallenden Laserphotonen zu höheren oder niedrigeren Werten verschoben wird. Diese Energieverschiebung gibt Aufschluss über die Schwingungsmoden im System und sind wiederum charakteristisch für bestimmte Moleküle oder Phasen eines Materials.

Welche Methode letztlich zum Einsatz kommt, hängt sowohl von der Fragestellung als auch der zu untersuchenden Probe ab. SIMS, Raman und EDX geben primär chemische Informationen. SIMS und EDX benötigen für ihre chemische Analyse vakuumstabile Proben, Raman hingegen nicht. SIMS hat die unschlagbar niedrigsten Nachweisgrenzen. Sie gibt Auskunft über die vorhandenen Elemente in der Probe, jedoch nicht über Molekülverbindungen, wie es die Raman-Spektroskopie kann. AFM und REM klären die physikalische Beschaffenheit von Proben. REM verlangt jedoch vakuumstabile Proben. Während AFM Gebiete unterschiedlicher chemischer Zusammensetzung in bestimmten Modi sichtbar machen kann, erlaubt nur das REM in Kombination mit EDX auch die chemische Analyse dieser.

Neben der klassischen Halbleiterindustrie können auch andere Branchen vom CiS Analytik Kompetenzzentrum profitieren, u.a. bei der Analyse metallischer Werkstoffe, Beschichtungen in der Batterieentwicklung, anorganischer oder biomedizinischer Oberflächen oder technischer Gläser der optischen Industrie.

Ein Team aus erfahrenen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern berät sie gerne umfangreich und kompetent, um ihre Fragestellungen bestmöglich zu beantworten und somit ihre Forschung und Innovationen voranzutreiben.

Das CiS Analytik Kompetenzzentrum ist Teil des Fachbereiches Messtechnik und Analytik im CiS Forschungsinstitut. Diese wirtschaftsnahe Forschungseinrichtung besitzt fast 30 Jahre Erfahrung als Partner der Industrie im Bereich der siliziumbasierten Sensorik. Mit dem CAK, dessen Ausbau mit Mitteln des Freistaates Thüringen und der EU unterstützt wurde, erweitert das CiS Forschungsinstitut sein Dienstleistungsspektrum in der Material- und Festkörperanalyse deutlich. ■

DAS NEUE VIBROGO®: LASER-SCHWINGUNGS-MESSUNG FÜR DEN MOBILEN EINSATZ MIT ECHTZEITDATENÜBERWACHUNG

VibroGo® ist die Laser-Schwingungsmesstechnik für unterwegs – von Forschung über Feldstudien bis hin zur Zustandsüberwachung von Maschinen und Anlagen. Nun sorgt ein neues Feature dafür, dass das erste tragbare Laservibrometer Messdaten direkt auf dem Gerät speichern und diese live und zur nachträglichen Analyse auf dem Display oder per Webbrowser anzeigen kann.

VibroGo® misst das reale Schwingverhalten, die Akustik und Dynamik angeregter Strukturen berührungsfrei und flexibel mit einer großen Frequenzbandbreite von DC bis 320 kHz. Mit Datenrecorder und on-board Datenansicht wird es zum komplett autarken Messsystem für unterwegs. Als ein leistungsfähiges Werkzeug für Forschung, Produktentwicklung und Qualitätssicherung hilft es dabei, Phänomenen der Dynamik und Akustik in Natur und Technik auf den Grund zu gehen.

Ausrichten und losmessen

Der Auto- und Remotefokus des VibroGo® erleichtert das Einrichten der Messung. Der gewünschte Messbereich wird bequem per Touchscreen ausgewählt, um Schwinggeschwindigkeit, Schwingweg und Beschleunigung zu erfassen.

Integrierter Speicher und on-board Datenanalyse
Auch wenn die Verbindung zur Herausforderung wird, misst das VibroGo® autark unterwegs und zeichnet mehrere Stunden an Schwingungsmessdaten auf, während sich die Ergebnisse direkt am Gerät überprüfen und Einstellungen ggf. sofort feinjustieren lassen. Dieser völlig autarke Modus stellt sicher, dass Forscher und Instandhalter stets mit validen und aussagekräftigen Daten zur weiteren Auswertung nach Hause kommen.

Zuverlässig Akustik und Dynamik erforschen

Das neue VibroGo® misst Maschinenschwingungen selbst an schwer zugänglichen Stellen oder in Gefahrenbereichen durch Hochspannung, Temperatur oder Strahlung aus sicherem Abstand. Anwender steuern das Messgerät per Ethernet oder kabellos per WLAN bequem von überall fern, konfigurieren den Sensor und übertragen ihre Messdaten. ■

KONTAKT

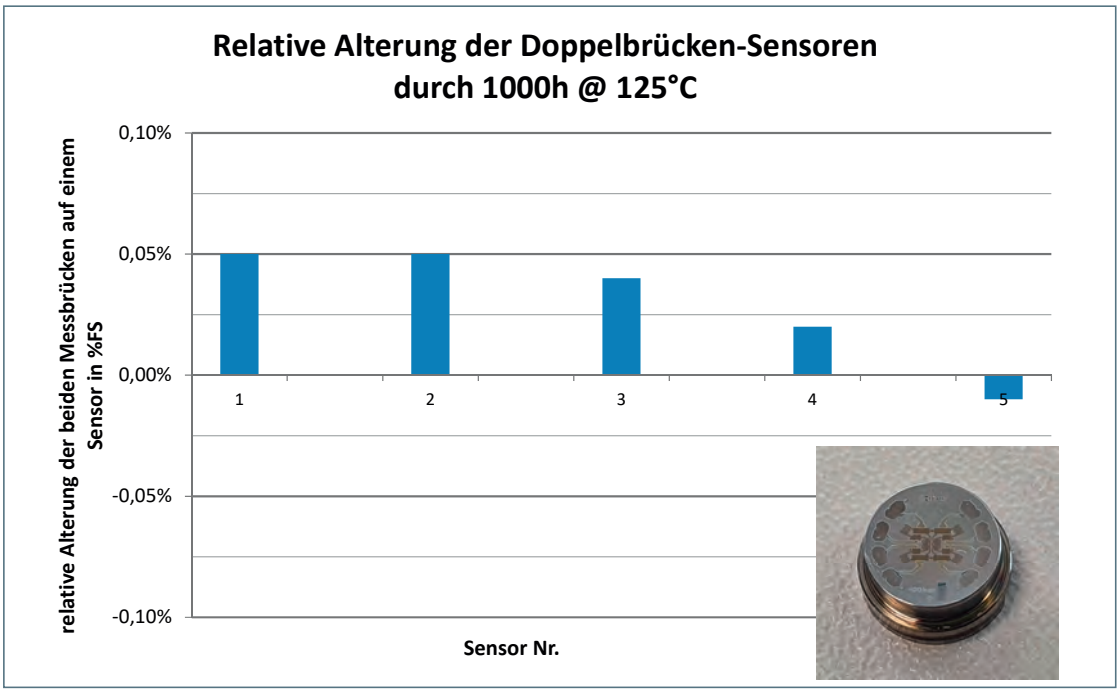
POLYTEC GMBH
Polytec-Platz 1-7
76337 Waldbronn
Tel.: +49 (0)7243 604-0
Fax: +49 (0)7243 69944
info@polytec.de
www.polytec.de

DÜNNFILM-MEMBRANDRUCKSENSOR MIT DOPPELBRÜCKENTECHNOLOGIE

Die Firma Siegert TFT GmbH mit Sitz in Thüringen ist ein renommierter Hersteller von Dünnfilm-Produkten für den Einsatz in Industrieelektronik, Messtechnik und weiteren Hightech-Branchen.

Die Siegert Thinfilm Technology GmbH hat ab 2022 Ihr Produktportfolio durch einen Drucksensor auf Edelstahlmembranen mit zwei integrierten Messbrücken erweitert. Die beiden Wheatstone'schen Messbrücken werden in demselben Beschichtungsschritt prozessiert, so dass hervorragende relative Eigenschaften erreicht werden. Die Doppelbrücke ist aktuell auf dem 8mm-Grundkörper für Druckbereiche zwischen 25 und 850 bar verfügbar. Die Umsetzung auf den 10mm Grundkörper für den Niederdruckbereich bis hinunter zu 1,6 bar ist aktuell in Vorbereitung.

Für den überwachten, ausfallsicheren Einsatz von Drucksensoren können entweder zwei getrennte Sensorelemente auf einem gemeinsamen Anschlussstück verwendet werden, die eine gegenseitige Überwachung erlauben. Unter bestimmten Voraussetzungen kann jedoch auch eine Doppelbrücke in Form von zwei getrennten Wheatstone´schen Messbrücken auf einer Messmembran verwendet werden. Somit wird die Komplexität des Aufbaus deutlich verringert. Weitere Vorteile dieses Systems liegen in der geringen relativen Abweichung der beiden Messbrücken zueinander sowie die deutlich reduzierten relativen Drifts der beiden Messbrücken bei der Langzeit-Alterung. Da sich beide Messbrücken auf einer Membran befinden, gibt es sehr geringe Kennwertunterschiede mit < ± 0,5%FS, welches die Kalibrierung der Sensoren vereinfacht. Durch die Herstellung der beiden Vollbrücken in einem Prozessschritt liegen die relativen Abweichungen im Langzeittest (1000h @ 125°C) deutlich unterhalb von 0,1%. Dies ermöglicht den Aufbau von langzeitstabilen, sich selbst überwachenden Systemen für kritische Anwendungsfälle. Versuche haben gezeigt, dass die beiden Messbrücken galvanisch voneinander mit einer Durchbruchspannung > 500 VAC getrennt sind.



SIEGERT THINFILM TECHNOLOGY

KONTAKT

SIEGERT THINFILM TECHNOLOGY GMBH
Dr. Ralf Koppert
Robert-Friese-Straße 3
07629 Hermsdorf
Tel.: +49 (0)36601 858-63
ralf.koppert@siegert-tft.de
www.siegert-tft.de

CUSTOM SOLUTIONS

Das KELLER-Standardsortiment deckt grundsätzlich die meisten Anwendungsfelder für Drucksensoren ab. Oftmals lohnt es sich aber, das Produkt spezifisch für den Einsatz und die Integration in übergeordnete Gesamtsysteme zu optimieren. Durch die hausinterne Fertigung diverser Einzelteile und eine enge Zusammenarbeit mit unseren Lieferanten können viele Anpassungen entsprechend einfach umgesetzt werden.

Gemeinsames Know-How für passende Sensorlösungen

Unsere Kunden sind Spezialisten auf Ihrem Gebiet und kennen die Anforderungen und die Umgebungsbedingungen am besten. KELLER kennt die Möglichkeiten piezoresistiver Sensortechnik und hat seit 1974 unzählige anspruchsvolle Projekte realisiert. Der gegenseitige Erfahrungsaustausch war dabei immer die Basis des Erfolgs.

Messbereiche & Performance

Zu Beginn werden grundlegende Sensorspezifikationen festgelegt wie Gesamtmessbereich, Genauigkeit, Kalibrierung auf bestimmte Messpunkte und Druckeinheiten oder die Skalierung des Ausgangssignals.

Ideale Anpassung an die Umgebung

Die Berücksichtigung der Einsatzbedingungen ist ebenfalls ein zentraler Teil der Anforderungen und erhöht nicht nur die Lebensdauer des Sensors, sondern ist oftmals auch eine Voraussetzung für korrekte Messergebnisse. Ist im druckhaltenden System mit großem Überdruck oder dynamischer Belastung zu rechnen, sollte die Konstruktion des Sensors dafür optimiert werden. Gewisse Anwendungen oder benachbarte Anlagenteile bergen die Gefahr von Signalverfälschungen und Ausfällen durch Vibration oder Schock. Die Temperatur hat ebenfalls starken Einfluss auf alle Materialien und ihre Beständigkeit. Neben Extremwerten können auch schnelle Temperaturwechsel Komplikationen verursachen. Nicht weniger wichtig ist die chemische Beständigkeit. Aggressive Messmedien greifen Gehäuse- und Dichtungsmaterialien an, wenn diese nicht sorgfältig ausgewählt wurden. Die Berücksichtigung aller relevanten Faktoren ist essentiell.

Mechanische Konstruktion

Der Aufbau eines Sensors muss alle vorhergehenden Überlegungen berücksichtigen und ist entscheidend für die Performance. Von der Auswahl des Sensorchips über das Koppelmedium bis hin zu den verwendeten Werkstoffen und Fertigungstechniken. Zusätzlich kommen hier Kundenwünsche bezüglich Bauform, Druckanschluss usw. sowie Anforderungen aus der Anwendung und Vorgaben aus Normen und Gesetzen zum Tragen.

Elektronik & Konfiguration

Die Grundfunktion der Elektronik ist es, das Messsignal aufzubereiten, eventuell zu speichern und über die entsprechende Schnittstelle auszugeben. In diesem Zusammenhang ist auch die Integration applikationsspezifischer Berechnungen in die Firmware oder die Konfiguration von Geräten und Software nach Kundenwunsch möglich. Andere Anforderungen sind wiederum von der Umgebung abhängig, wie zum Beispiel erweiterter Blitzschutz, EMV oder Explosionsschutz. Eigensichere Produkte können auch spezifisch auf Parameter des Gesamtsystems beim Kunden abgestimmt werden.

Elektrische Schnittstellen & Anschluss

Digitale Schnittstellen können an Kommunikationsprotokolle angepasst oder kundenspezifisch konfiguriert werden. Gerade in der Sensorik haben analoge Schnittstellen weiterhin einen hohen Stellenwert. In beiden Bereichen hat KELLER Erfahrung in der Entwicklung applikationsspezifischer Lösungen, darunter solche mit Lichtwellen- und Frequenzausgängen. Für den elektrischen Anschluss lassen sich die benötigten Anschlussstecker in die Konstruktion integrieren und Kabelabgänge nach Wunsch konfektionieren.

Beschriftung

Neben Kundenlogos können auch funktionale Beschriftungen – wie zusätzliche Teilebezeichnungen, Seriennummern, Data Matrix Codes oder Hilfsmarkierungen – als Laserbeschriftung oder auf Etiketten angebracht werden. ■

KELLER

KONTAKT

KELLER DRUCKMESSTECHNIK AG
St. Gallerstr. 119
CH-8404 Winterthur
info@keller-druck.com
www.keller-druck.com

LED CHIPS UND LASER DIODEN KUNDENSPEZIFISCH GEMESSEN FÜR PRÄZISE ANFORDERUNGEN

Die Chips 4 Light GmbH in Sinzing unterstützt Unternehmen, die spezielle Anforderungen an optoelektronische Bauelemente stellen und nach spezifischen Lösungen für kleine und mittlere Stückzahlen suchen. Das Unternehmen ist in erster Linie Distributor für LED Chips, Detektoren und Laserprodukte führender Hersteller, entwickelt aber auch LEDs und LED-Module außerhalb der marktüblichen Standards bzw. fertigt Prototypen auf Kundenwunsch.

Entwickler von Präzisionssensoren suchen häufig Bauteile mit besonderen Eigenschaften. Nicht immer sind diese auf dem Markt zu finden. Individuelle Rahmenbedingungen wie beispielsweise knapper Platz und hohe Umgebungstemperaturen erschweren den Einsatz von Standard-Bauelementen. Der reine LED Halbleiterchip bietet hier im Gegensatz zur größeren LED Komponente oft die einzige Möglichkeit, dem Kundenwunsch zu folgen. Der Chip erlaubt unter anderem das Design sehr klein zu halten, oder durch Kombination mehrerer Chips verschiedene Funktionen auf einer Platine zu realisieren. Genau diesen Herausforderungen begegnet Chips 4 Light mit einem umfangreichen LED Chip Portfolio (synonym LED bare dice oder die). Neben den eigentlichen Optohalbleitern verfügt das Unternehmen über das nötige Equipment um die oft speziellen Anforderungen auch kundengerecht zu realisieren.

Chips 4 Light hat deshalb auch in „Die-Sorter" investiert, mit deren Hilfe die einzelnen Chips vom Wafer aufgenommen und auf verschiedene Träger platziert werden können. Neben dem sog. Sortierservice um kleine oder Mustermengen vom Wafer abzusortieren, bietet das Unternehmen seinen Kunden auch die Langzeitlagerung von LED Chips im Waffle- oder Gel-Pack an. Einzelne Chips können auch in einzelnen optoelektronischen Parametern gemessen werden. Das Unternehmen unterstützt seine Kunden auch in der Fertigung von Prototypen.

Solche präzise Detailarbeit liefert das Unternehmen nicht nur im Bereich LED- und Detektorchips, sondern auch für Halbleiterlaserdioden im sichtbaren und infraroten Spektralbereich. Eine weitere Dienstleistung des Unternehmens ist die Charakterisierung einzelner Laser Dioden nach spezifischen Leistungsparametern mit Hilfe einer eigens entwickelten Messstation. So erhalten die Auftraggeber genau ausgemessene Laserdioden gemäß der gewünschten Spezifikation.

KONTAKT

CHIPS 4 LIGHT GMBH
Am Kühlen Kasten 8, 93161 Sinzing
Tel: +49 (0)9404 64133 0, info@chips4light.com
www.chips4light.com

CHIPS 4 LIGHT

DISTRIBUTOR FÜR KUNDENSPEZIFISCHE OPTOELEKTRONIK

- LED Chips von UV bis Infrarot
- Weiße LED Chips
- Detektorchips
- Laserdioden
- LEDs
- LED Module

Services für unsere Kunden

- LED Chip Sorting Service
- Langzeitlagerung von LED Chips
- Spezifikation von Laserdioden nach Leistungsparametern
- Kundenspezifische Entwicklung und Prototypenfertigung

info@chips4light.com
www.chips4light.com

ROBUSTE, PRÄZISE WEGMESSTECHNIK EINFACH UND KOMPAKT IN DIE STEUERUNGSTECHNIK INTEGRIERT

Die nur 12 mm breite EtherCAT-Klemme EL5072 von Beckhoff dient zum direkten Anschluss von bis zu zwei induktiven Wegsensoren, dazu zählen Messtaster in LVDT- und Halbbrückenausführung oder induktive Winkelpositionssensoren in RVDT-Ausführung. Somit können präzise Positions- und Abstandsmessungen z. B. im Rahmen der Prozesskontrolle oder der Steuerung von Fügeprozessen kompakt, fein skalierbar und kostengünstig gelöst werden.

Mit der EtherCAT-Klemme EL5072 steht die präzise Wegmesstechnik als integraler Bestandteil der Steuerungstechnik zur Verfügung.

Wegmessung gehört zu den wichtigsten messtechnischen Aufgaben, sowohl im industriellen Produktionsumfeld als auch bei der Infrastrukturüberwachung. Beispiele sind die Messung und Prüfung der Werkstückgeometrie, die Überwachung von Einpress- und Fügevorgängen, die Inline-Qualitätssicherung sowie das Bauwerkmonitoring. Mit der EtherCAT-Klemme EL5072 lassen sich hierfür alle marktüblichen induktiven Messtaster ohne großen Aufwand in die zugehörige Steuerungstechnik einbinden und auswerten.

Die integrierte Erregerquelle der EL5072 stellt einen weiten Bereich mit parametrierbaren Erregerfrequenzen und -spannungen zur Verfügung. Weitere besondere Features sind der automatisch angepasste Messsignalbereich, zuschaltbare Eingangsimpedanzen für verschiedene Messtastertypen sowie ein digitaler Eingang je Kanal zum Setzen und Speichern des Positionswerts (inkl. Zeitstempel). Der Messwert wird durch eine 24-Bit-A/D-Wandlung hochgenau bestimmt und direkt als einfach in das Steuerungsprogramm integrierbarer 32-Bit-Positionswert ausgegeben. Zudem werden Kurzschluss und Überlast der Erregerquelle sowie Amplitudenfehler des Messsignals pro Kanal diagnostiziert.

KONTAKT

BECKHOFF AUTOMATION GMBH & CO. KG
Hülshorstweg 20
33415 Verl
Tel.: +49 5246 963-0
info@beckhoff.de
www.beckhoff.de

www.beckhoff.com/el5072

Einstieg in die Highend-Messtechnik: präzise, schnell, robust

Basic-Serie ELM3x0x
24 Bit
10 … 50 kSps pro Kanal
simultan
25 bzw. 100 ppm @ 23 °C

Economy-Serie ELM3x4x
24 Bit
1 kSps pro Kanal
multiplexed
100 ppm @ 0...50 °C

Die EtherCAT-Messtechnik-Module der ELM-Basis- und Economy-Serie:
- erweitern das Spektrum der systemintegrierten und hochskalierbaren Highend-Messtechnik
- umfangreiche variable Filterfunktionen
- TrueRMS Berechnung und Differentiator/Integrator
- Standard EtherCAT-Interface zum Betrieb an jedem EtherCAT Master

Basic-Serie ELM3x0x
- Eingangsbeschaltungen: Spannung 20 mV … 60 V, Strom 20 mA, IEPE, DMS, RTD/TC, Widerstand

Economy-Serie ELM3x4x
- ergänzt die Basisserie um die Sampleklasse 1 kSps bei niedrigen Kanalkosten
- Eingangsbeschaltungen: Spannung 1,25 … 10 V, Strom 20 mA, RTD/TC

Scannen und alles über die Vorteile systemintegrierter Highend-Messtechnik erfahren

New Automation Technology **BECKHOFF**

MASSGESCHNEIDERTE TEMPERATURSENSORIK AUS THÜRINGEN

Die H. Heinz Meßwiderstände GmbH blickt auf über 31 Jahre erfolgreiche Entwicklung zurück. Seit der Gründung des Unternehmens im Jahr 1991 wurde das Produkt- und Leistungsspektrum kontinuierlich erweitert und an die sich ändernden Marktbedürfnisse angepasst. Mit mehr als 4.000 m² Produktionsfläche und 165 hoch qualifizierten Mitarbeitern ist das Unternehmen ein leistungsfähiger und zuverlässiger Partner für verschiedenste Branchen.

KONTAKT

H. HEINZ MESSWIDERSTÄNDE GMBH
Goethestraße 16
98716 Elgersburg/Thür.
Tel.: +49 (0)3677 4628-0
Fax: +49 (0)3677 4628-29
www.heinz-messwiderstaende.de

Die H. Heinz Meßwiderstände GmbH produziert eine Vielzahl verschiedener Typen von Bauelementen und Systemen für die Temperatur-, Feuchte-, Druck- und Funkmesstechnik. Darüber hinaus bietet sie die Auftragsfertigung von CNC-Dreh-, -Fräs- und -Bohrteilen in flexiblen Stückzahlen sowie technische Elektroheizungen an. Die Materialprüfung/-bestimmung kann durch uns als Dienstleistung durchgeführt werden.Die leistungsfähige Forschungs- und Entwicklungsabteilung findet auch für komplexe Anwendungen maßgeschneiderte Lösungen für den Kunden. Erklärtes Ziel des Unternehmens ist es, den Kunden stets Produkte auf höchstem technischen Niveau, Termintreue und wettbewerbsfähige Preise, auch in schwierigen Zeiten, zu bieten. Im Mittelpunkt der Firmenphilosophie stehen seit über 31 Jahren Qualität, kompetente Beratung, exzellenter Service und der ständige Ausbau der Forschungs- und Entwicklungskapazitäten.

HUMI-PRESSURE-PROBE VON DRIESEN + KERN DIE NEUE ALL-IN-ONE SONDE

Driesen + Kern bietet ab sofort die Kombisonden-Serie HumiPressureProbe an. Diese neue Modellreihe kombinierter Luftdruck-, Feuchte- und Temperatursonden zeichnet sich durch hohe Flexibilität und Vielseitigkeit aus. Alle Messgrößen stehen gleichzeitig analog und digital über Modbus zur Verfügung.

Der kombinierte Druck-, Feuchte- und Temperatursensor im Sondenkopf kann anwenderseitig getauscht oder über das weit verbreitete ModBus-RTU-Protokoll kalibriert und justiert werden. Dadurch ergeben sich extrem kurze Wartungseinsätze und minimale Ausfallzeiten.

Über die RS485-Schnittstelle können sämtliche Primärmesswerte, also Luftdruck, Feuchte und Temperatur abgerufen werden, aber genauso auch berechnete Größen wie Taupunkt oder Mischungsverhältnis. Dabei werden stets reale Messwerte ausgegeben, die über den Luftdruck korrigiert werden.

Parallel stehen zusätzlich vier Analogausgänge mit 0…10V-Signalen gleichzeitig zur digitalen Messdatenübertragung zur Verfügung, die beliebig mit primären oder berechneten Messwerten belegt werden können und frei skalierbar sind, z.B. auf 0…1V oder 0…2,5V.

Auch die RS485-Schnittstelle ist anwenderseitig umschaltbar, z. B. auf ASCII-Protokoll. So lässt sich die Sonde langfristig nutzen und immer wieder an neue Einsatzbedingungen und Gegebenheiten anpassen.

Eine Auswahl verschiedener Bauformen ermöglicht den Einsatz einer HumiPressureProbe auch in sehr anspruchsvollen Umgebungen. Von der Miniatursonde mit nur 4mm Durchmesser für schwer zugängliche Bereiche bis hin zur druckfesten Einschraubsonde für bis zu 30bar Überdruck sind viele Anwendungen realisierbar.

Die HumiPressurerProbe wird stets mit Kalibrierzertifikat geliefert. Die EA-Variante beinhaltet eine Werkskalibrierung nach ISO-9001, die DA-Variante eine ISO-17025 DAkkS-Kalibrierung. ■

Montage mit Strahlenschutzgehäuse

KONTAKT

DRIESEN + KERN GMBH
Am Hasselt 25
24576 Bad Bramstedt
Tel.: +49 (0)4192 817087
info@driesen-kern.de
www.driesen-kern.de/dkp

INSTITUT FÜR GRUNDLAGEN DER ELEKTROTECHNIK UND MESSTECHNIK

FACHGEBIET SENSORIK + MESSTECHNIK

Das Fachgebiet Sensorik und Messtechnik am Institut für Grundlagen der Elektrotechnik und Messtechnik der Leibniz Universität Hannover konzentriert seine Aktivitäten auf die Erforschung neuer physikalischer und chemischer Sensorprinzipien sowie die Entwicklung neuer Sensoren (insbesondere Nanosensoren) bis hin zu kompakten Messsystemen zur schnellen Detektion kleinster Stoffkonzentrationen in Flüssigkeiten und Luft überwiegend für medizin-, bio-, umwelt- und sicherheitstechnische Anwendungen. Hierbei werden sowohl grundlegende wissenschaftliche Fragestellungen untersucht als auch applikationsorientierte Forschungsprojekte in enger Kooperation mit wissenschaftlichen, klinischen und industriellen Partnern durchgeführt.

Das Fachgebiet Sensorik und Messtechnik verfügt über langjährige Erfahrungen und umfassendes Know-how im Bereich der (bio)chemischen Sensorik. Ein Schwerpunkt ist die Entwicklung kompakter hochauflösender **Ionenmobilitätsspektrometer** (**IMS**) mit Nachweisgrenzen im pptv-Bereich für eine schnelle Analyse gasförmiger und flüssiger Proben. Hierbei werden alle relevanten Aspekte von der analytischen Systemmodellierung und numerischen FEM-Simulation über den Systementwurf, die Konstruktion und Bauteilfertigung bis hin zur **Entwicklung spezieller Elektronik**, wie schnelle, sehr rauscharme Verstärker und Datenerfassungsmodule mit hoher vertikaler und zeitlicher Auflösung, betrachtet. Ein besonderer Fokus liegt auf der Entwicklung **nichtradioaktiver Ionisationsquellen**. Hierzu zählen Elektrosprayionisationsquellen, dielektrisch behinderte und Koronaentladungsquellen, UV-Ionisationsquellen sowie schwache Röntgen- und nichtradioaktive Elektronenstrahler, die neben der IMS auch in der Massenspektrometrie, Gaschromatographie (Elektroneneinfangdetektoren) und Sensorik (Ionisationsdetektoren) Anwendung finden.

In diesem Zusammenhang werden auch verwandte Themen untersucht, wie die **Ionisationsprozesse bei Atmosphärendruck (APCI)**, und neue Verfahren erforscht, wie der Betrieb eines **IMS bei reduziertem Druck (HiKE-IMS)** mit dem Ziel einer schnellen, direkten und quantitativen Erfassung von Spurengasen selbst in komplexen Gasgemischen. Weiterhin werden **kombinierte Systeme** aufgebaut, wie kompakte IMS mit geschlossenem Gaskreislauf und schneller gaschromatographischer Vortrennung **(GC-IMS)** oder Kopplungen mit der Hochleistungsflüssigkeitschromatographie **(HPLC-IMS)** und Massenspektrometern **(IMS-MS)**. Mehrstufige IMS mit integrierter Fragmentierung (**IMS-FAT-IMS**) bieten ganz neue Identifikationsmöglichkeiten anhand substanzspezifischer Fragmente.

Neben der Ionenmobilitätsspektrometrie werden am Fachgebiet Sensorik und Messtechnik auch **Gassensoren** auf Basis neuartiger Sensorprinzipien sowie **elektromagnetische Sensoren und Messverfahren**, beispielsweise zur nichtinvasiven Überwachung von Bioprozessen durch die Reaktorwand oder die Charakterisierung von menschlichem Gewebe, entwickelt. Hierzu zählen auch Biosensoren auf Basis von Split-Ring-Resonatoren. Sensorentwurf und -optimierung werden durch die **Entwicklung analytischer Modelle** und numerische **FEM-Simulationen** unterstützt.

Für die erfolgreiche Realisierung von Sensoren bis hin zu kompletten Messsystemen besteht umfassendes Know-how bei der **Entwicklung applikationsspezifischer Elektronik**.

Das Fachgebiet Sensorik und Messtechnik verfügt über **hervorragend ausgestattete Laboratorien und Werkstätten, wie Chemielabore mit Referenzanalytik und Gasdosiersystemen für die Einstellung definierter Gaskonzentrationen im unteren ppb_v-Bereich, Elektroniklabore und mechanische Werkstätten (CNC)** zur Bauteilfertigung bis hin zur Kleinserienproduktion. Sowohl die mechanischen als auch die Elektronikwerkstätten werden von erfahrenen Mitarbeitern geleitet.

Ausstattung und Know-how auf einen Blick:

Detektion kleinster Stoffkonzentrationen in Gasen und Flüssigkeiten, kompakte hochauflösende Ionenmobilitätsspektrometer (IMS) mit Nachweisgrenzen im ppt_v-Bereich, GC-IMS, HLPC-IMS, IMS-MS, HiKE-IMS, nicht-radioaktive Ionisationsquellen (UV, DBD, CD, ESI, Röntgen- und Elektronenstrahler), Gassensoren, Nanosensoren, elektromagnetische Sensoren, spezielle Elektronik inklusive Messverstärker, Systemmodellierung und FEM-Simulationen, elektronische und mechanische (CNC) Werkstätten, Gasdosiersysteme (ppb_v-Bereich).

Ionenmobilitätsspektrometrie

Ionenmobilitätsspektrometer (IMS) sind kompakte Messgeräte zur schnellen Detektion kleinster Stoffkonzentrationen mit Nachweisgrenzen im pptv-Bereich und Messzeiten unterhalb einer Sekunde. Anwendungen reichen von der Sicherheits- über die Medizin- bis hin zur Prozessmesstechnik, wo oft eine schnelle Analyse von Stoffgemischen gefordert ist. Sei es der Nachweis von Sprengstoffen im Rahmen von Personenkontrollen, die quantitative Bestimmung von Metaboliten in der Ausatemluft im klinischen Umfeld oder die Überwachung der Umgebungsluft - die Ionenmobilitätsspektrometrie überzeugt hier durch den geringen instrumentellen Aufwand kombiniert mit hoher analytischer Leistungsfähigkeit.

Das Fachgebiet Sensorik und Messtechnik konzentriert seine Aktivitäten auf die Entwicklung und Konstruktion sogenannter Flugzeitionenmobilitätsspektrometer. Das zugrundeliegende Prinzip lässt sich leicht anhand von drei Schritten erklären.

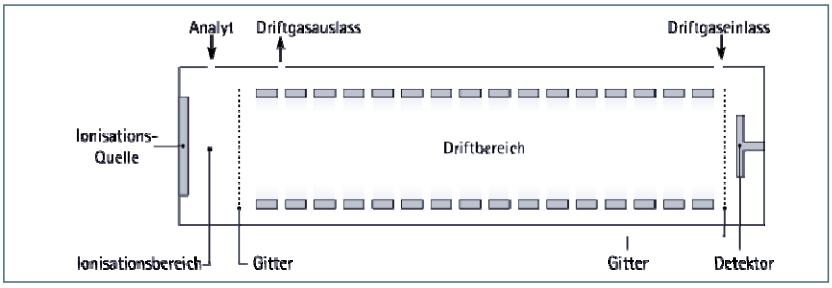


Abb. 1: Schematische Darstellung eines Ionenmobilitätsspektrometers.

Im ersten Schritt wird die Probe in die Gasphase überführt, in den Ionisationsbereich geleitet und dort ionisiert. Zur Ionisation eignen sich verschiedene Ionisationsquellen, siehe weiter unten. Die ionisierten Moleküle werden im zweiten Schritt durch ein schaltbares Ionentor in den Driftbereich geleitet. Im Driftbereich kommt es aufgrund eines elektrischen Driftfeldes zu einer Driftbewegung in Richtung Ionendetektor. Die Driftgeschwindigkeit wird neben der elektrischen Feldstärke von der Mobilität der Ionen im Driftgas bestimmt. Ionenspezies mit unterschiedlicher Ionenmobilität benötigen daher eine unterschiedliche Driftzeit vom Ionentor bis zum Detektor. Im letzten Schritt erfolgt die zeitliche Erfassung des Ionenstroms am Detektor, der den Driftbereich abschließt. Mithilfe des so gewonnen Ionenmobilitätsspektrums lässt sich aufgrund der stoffspezifischen Ionenmobilitäten die Zusammensetzung einer Probe ermitteln. **Abbildung 1** zeigt den schematischen Aufbau eines IMS.

Die zwei wesentlichen Leistungsmerkmale eines IMS sind das Auflösungsvermögen als Maß für die Trennleistung und die Nachweisgrenze. Das Auflösungsvermögen, ermittelt als Verhältnis von Driftzeit zu Peakbreite bei halber Peakhöhe, der meisten kommerziell erhältlichen IMS liegt im Bereich von 20 bis 60. Abhängig von der Substanz lassen sich Nachweisgrenzen im pptv.-Bereich bei Messzeiten von unter einer Sekunde erreichen. Um den Anforderungen verschiedener Applikationen gerecht zu werden, forscht das Fachgebiet Sensorik und Messtechnik an verschiedenen Ionisationsquellen und IMS-Konstruktionen. Das Spektrum reicht dabei von sehr baukleinen Systemen (15 mm x 15 mm x 90 mm) mit einem Auflösungsvermögen von 65 und einer Koronaentladung als Ionisationsquelle, siehe **Abbildung 2**, über besonders kostengünstig herstellbare IMS aus Leiterplatten mit hoher analytischer Leitungsfähigkeit, siehe **Abbildung 3**, bis hin zu kompakten IMS mit ultrahohem Auflösungsvermögen von bis zu 250, siehe **Abbildung 4**.

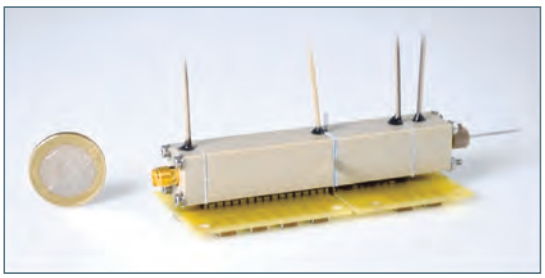


Abb. 2: Miniaturisiertes IMS mit Korona-Ionisationsquelle.

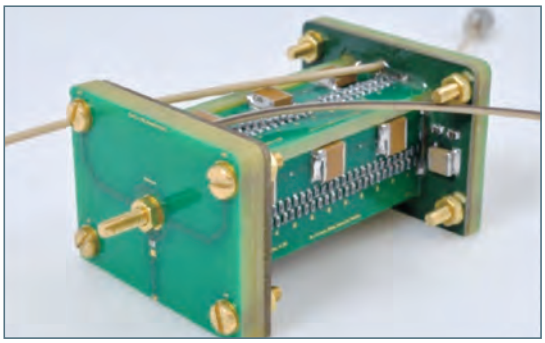


Abb. 3: Sehr kostengünstig herstellbares mini-IMS aus Leiterplatten mit radioaktiver Ionisationsquelle.

Abb. 4: Kompaktes IMS (75 mm Driftlänge) mit ultra-hohem Auflösungsvermögen.

Mit einem Auflösungsvermögen von bis zu 250, siehe **Abbildung 5**, verfügt das Fachgebiet Sensorik und Messtechnik über das weltweit beste Auflösungsvermögen im Verhältnis zur Driftlänge für einfach geladene Ionen. Diese extrem hohe Trennleistung ermöglicht erstmals die Trennung von Isotopologen mit einem IMS, wodurch sich eine Vielzahl weiterer Anwendungsgebiete erschließt, wie die Detektion und Trennung mit Isotopen markierter Stoffe.

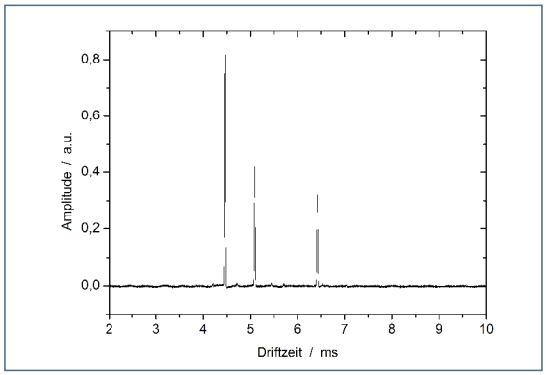


Abb. 5: Spektrum einer Luftprobe mit Dimethylmethylphosphonat.

Hochenergie-Ionenmobilitätsspektrometrie (HiKE-IMS)

Wie bereits oben erwähnt kombinieren Ionenmobilitätsspektrometer (IMS) als Spurengasdetektoren einen geringen instrumentellen Aufwand mit extrem hoher Sensitivität bei gleichzeitig kurzer Messzeit von unter einer Sekunde. Dies wird durch eine chemische Gasphasenionisation bei einem Druck von etwa 1000 mbar ermöglicht, bei der die Analyten über chemische Reaktionen durch vorher erzeugte Reaktantionen ionisiert werden. Dieser Prozess bringt neben seinen Vorteilen jedoch auch drei entscheidende Nachteile mit sich: Erstens erfolgt die Ionisation nur dann, wenn für diese ein möglicher Reaktionspfad besteht, für eine Ionisation per Protonentransferreaktion muss beispielsweise die Protonenaffinität des Analyten höher sein als die der Reaktantionen. Dies führt zu einem eingeschränkten messbaren Stoffspektrum und erklärt auch die Abhängigkeit der Sensitivität für bestimmte Substanzen von der Luftfeuchtigkeit im IMS. Zweitens können nach der Ionisation des Analyten noch weitere, ungewollte Ionisationsreaktionen auftreten, bei denen andere Substanzen die Ladung bereits ionisierter Analyten an sich ziehen, wodurch es zu chemischen Querempfindlichkeiten kommt. Drittens führt die begrenzte Anzahl an Reaktantionen zu einem begrenzten Dynamikbereich.

Ein Ansatz, die genannten Nachteile ohne Vortrennung von Stoffgemischen oder Verzicht auf die hocheffiziente chemische Gasphasenionisation zu minimieren, ist das vom Fachgebiet Sensorik und Messtechnik erstmals vorgestellte Hochenergie-Ionenmobilitätsspektrometer (High Kinetic Energy IMS, HiKE-IMS). Hier laufen die chemischen Reaktionen in der Gasphase nicht bei 1000 mbar ab, sondern bei einem Druck von 10...60 mbar und in einem starken elektrischen Feld. Hierdurch können die Ionen eine hohe kinetische Energie erreichen, was zu einer Veränderung der ablaufenden Reaktionen führt, beispielsweise wird die Protonenaffinität der Reaktantionen durch das Abspalten angelagerter Wassermoleküle reduziert und so das messbare Stoffspektrum erheblich vergrößert. Gleichzeitig führt die Kombination aus verkürzter Reaktionszeit, sehr hoher Dichte an Reaktantionen und geringer Dichte an Analytmolekülen zu einer geringeren Wahrscheinlichkeit von ungewollten Reaktionen zwischen bereits ionisierten Analyten und neutralen Molekülen, einer immer noch sehr hohen Sensitivität und einem deutlich verbesserten Dynamikbereich.

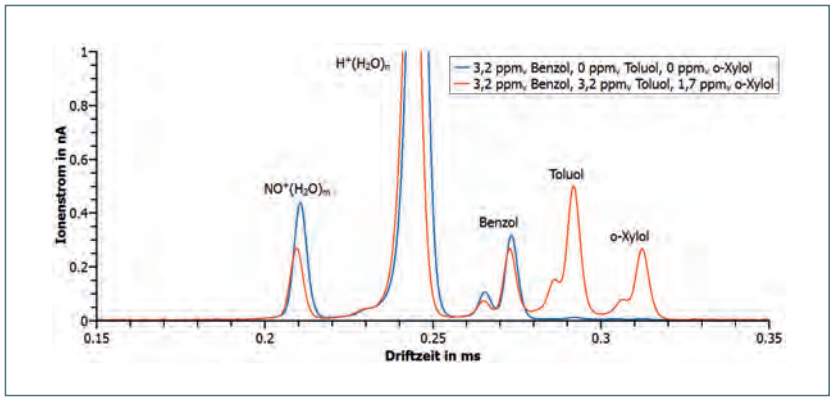


Abb. 6: Gleichzeitige Messung von Benzol, Toluol und o-Xylol mittels eines HiKE-IMS.

Ein Anwendungsbeispiel des HiKE-IMS zeigt **Abbildung 6** anhand der gleichzeitigen Bestimmung von Benzol, Toluol und Xylol (BTX) in Luft. Benzol ist aufgrund der geringen Protonenaffinität mit klassischen IMS nur schwer und aufgrund der höheren Protonenaffinitäten von Toluol und Xylol in einem BTX-Gemisch praktisch gar nicht nachweisbar. Dabei reichen schon kleinste Konzentration an Toluol oder Xylol, um eine deutlich höhere Konzentration an Benzol chemisch vollständig zu unterdrücken. Wie in Abbildung 6 gezeigt, bleibt im HiKE-IMS die Signalintensität der Benzolpeaks (aufgrund von zwei möglichen chemischen Ionisationswegen über NO+ und H+ bilden sich zwei Ionenspezies und somit zwei Benzolpeaks) trotz Zugabe von Toluol und Xylol in vergleichbaren Konzentrationen nahezu unverändert. Die Nachweisgrenze für Benzol bei hoher Luftfeuchte von 90% r.H. und gleichzeitiger Anwesenheit von Toluol und Xylol mit Konzentrationen im zweistelligen ppmv-Bereich liegt bei 10 ppbv für eine Messzeit von nur zwei Sekunden.

Ionisationsquellen

In der Gasmesstechnik existieren zahlreiche Detektoren und Messsysteme, wie Massenspektrometer (MS), Ionenmobilitätsspektrometer (IMS), Photoionisations- (PID) und Elektroneneinfangdetektoren (ECD), die die nachzuweisenden Analyten zunächst ionisieren und dann detektieren. Gegebenenfalls erfolgt zur Identifikation vor der Detektion noch eine Ionentrennung. Der Ionisationsprozess ist somit der erste Schritt in der Messkette und hat bereits einen großen Einfluss auf die analytische Leistungsfähigkeit des Systems, wie Sensitivität, Nachweisgrenze und Querempfindlichkeit.

Am Fachgebiet Sensorik und Messtechnik werden verschiedene Ionisationsquellen untersucht. Hierzu gehören UV-Strahlungsquellen, welche

Photonen emittieren und eine direkte Ionisation der Analyten ermöglichen. Aufgrund der direkten Ionisation ist die erreichbare Sensitivität im Vergleich zur chemischen Gasphasenionisation für viele Substanzen jedoch geringer. Außerdem können nur Substanzen mit einer niedrigeren Ionisierungsenergie als die des Photons (üblicherweise 10,6 eV) ionisiert und somit nachgewiesen werden. Dies führt bereits während der Ionisation zu einer Diskriminierung von Analyten mit höherer Ionisierungsenergie und einem eingeschränkten Stoffspektrum. UV-Strahlungsquellen mit höherer Photonenenergie besitzen immer noch eine zu geringe Lebensdauer. Dennoch werden UV-Strahlungsquellen für spezielle Anwendungen am Fachgebiet Sensorik und Messtechnik in der Ionenmobilitätsspektrometrie (UV-IMS) eingesetzt.

Eine andere Ionisationsmethode nutzt chemische Gasphasenreaktionen zur Ionisation der Analyte. Durch Ausnutzung der Feldüberhöhung an einer spitzen Elektrode kann es beispielsweise zu einer Koronaentladung kommen, wobei freie im elektrischen Feld beschleunigte Elektronen eine chemische Gasphasenionisation (Atmospheric Pressure Chemical Ionization, APCI) initiieren. Die Ionisation wird dabei durch das thermodynamische Gleichgewicht bestimmt und ist besonders effizient, wenn das chemische Gleichgewicht ganz auf der Seite der Analytionen liegt. So können bereits kleinste Stoffkonzentrationen schnell nachgewiesen werden. Nachteilig an Korona-Ionisationsquellen sind die begrenzte Lebensdauer der Elektrodenspitze und die damit einhergehende zeitliche Veränderung der Ionisationseigenschaften sowie die Bildung von Stickoxiden in Luft, welche den Ionisationsprozess ebenfalls negativ beeinflussen können.

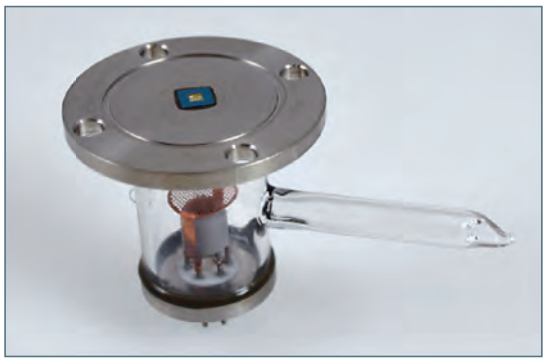


Abb. 7: Baukleiner nicht-radioaktiver Elektronenstrahler.

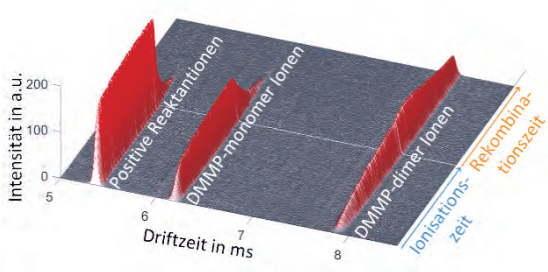


Abb. 8: Ionenmobilitätsspektren mit Variation der Ionisations- und Rekombinationszeit.

Zu den in der Ionenmobilitätsspektrometrie am häufigsten eingesetzten Ionisationsquellen gehören radioaktive Beta-Strahler, die hochenergetische Elektronen emittieren und so ebenfalls eine chemische Gasphasenionisation einleiten. Nachteilig sind die mit radioaktiven Strahlungsquellen verbundenen gesetzlichen Auflagen sowie die konstante und dauerhafte Elektronenemission, so dass die Strahlungsintensität nicht variierbar ist. Eine nicht-radioaktive Alternative mit vergleichbaren Ionisationsprozessen ist eine schwache Röntgenquelle mit einer geringen Beschleunigungsspannung von unter 5 kV. Neben der einstellbaren Strahlungsintensität ist diese Quelle abschaltbar. Nachteilig ist die große Eindringtiefe selbst schwacher Röntgenstrahlung in Luft. Durch eine spezielle Konstruktion des Ionisationsbereichs konnte am Fachgebiet Sensorik und Messtechnik ein Röntgen-IMS mit sehr hoher Sensitivität und ultrahohem Auflösungsvermögen realisiert werden.

Weiterhin wird die Realisierung baukleiner nicht-radioaktiver Elektronenstrahler vorangetrieben, siehe **Abbildung 7**. Diese Elektronenstrahler emittieren hochenergetische Elektronen, die eine chemische Gasphasenionisation analog zu radioaktiven Strahlungsquellen initiieren.

Die Elektronenemission eines nicht-radioaktiven Elektronenstrahlers kann dabei gezielt gesteuert werden. Besonders interessant ist hier die Möglichkeit eines gepulsten Betriebes mit Pulsdauern von nur 20 ns und geregeltem Emissionsstrom. Über die Einstellung der Pulslänge ist eine Variation der Ionisationsdauer möglich, was Untersuchungen zur Ionenbildungskinetik ermöglicht. Zudem kann eine Rekombinationszeit eingestellt werden (Zeit zwischen Abschalten der Elektronenquelle und Öffnen des Ionentores), wodurch die ionenspezifische Rekombination untersucht werden kann. Durch Variation der Ionisations- und Rekombinationszeit lässt sich der Informationsgehalt erhöhen und so die Stofferkennung verbessern. Ionen mit hoher Bildungsrate können im Spektrum betont (kurze Ionisationszeit und kurze Rekombinationszeit) oder kurzlebige Ionen diskriminiert werden (lange Rekombinationszeit). **Abbildung 8** zeigt Ionenmobilitätsspektren mit variabler Ionisations- und Rekombinationszeit.

Elektrosprayionisation-IMS (ESI-IMS)

In Grund- und Oberflächengewässern findet sich eine Vielzahl an von Menschen verursachten Kontaminationen. Beispiele hierfür sind der Eintrag von Schwermetallen aus gewerblichen Betrieben oder der Industrie, Verunreinigungen durch Düngemittel und Pestizide aus der Landwirtschaft, sowie die Kontamination durch Medikamente aus dem kommunalen Abwasser. Mit dem Nachweis der genannten Verunreinigungen in Grund- und Oberflächengewässern befasst sich ein Teilbereich der Wasseranalytik. Für die Analyse von Flüssigkeiten ist die Elektrosprayionisation (ESI) eine häufig eingesetzte Ionisationsmethode. Ein Elektrospray ermöglicht in nur einem Vorgang die Ionisation von flüssigen Proben sowie deren Übertragung in die

Abb. 9: Foto eines Elektrosprays

Gasphase. Unter dem Einfluss eines starken elektrischen Feldes am Ende einer spitzen Metallkapillaren (ESI-Nadel) entsteht aus der flüssigen Probe ein feiner Nebel von geladenen Tröpfchen, siehe hierzu **Abbildung 9**.

In einem nachfolgenden Prozess, basierend auf Verdampfungsprozessen des Lösungsmittels sowie dem weiteren Zerfall der Tröpfchen, werden aus den Tröpfchen Ionen in der Gasphase erzeugt. In Verbindung mit einem Ionenmobilitätsspektrometer (IMS) lassen sich mit dieser Ionisationsmethode flüssige Proben direkt in die Gasphase überführen und ionisieren. Anschließend können die generierten Ionenspezies mit Hilfe eines IMS nach Kollisionsquerschnitt, Masse und Ladung separiert und detektiert werden. So ein kompaktes ESI-IMS ist daher als mobiles, schnelles Messinstrument für die Wasseranalytik sehr interessant. Am Fachgebiet Sensorik und Messtechnik werden daher verschiedene Konstruktionen von ESI-IMS zur Analyse von wässrigen Proben untersucht. Ein Beispiel eines nur 150 mm langen Aufbaus mit hoher Sensitivität und einem Auflösungsvermögen von 100 zeigt **Abbildung 10**. Mit diesem Aufbau lässt sich in nur 2 s Messzeit und mit einem hohen

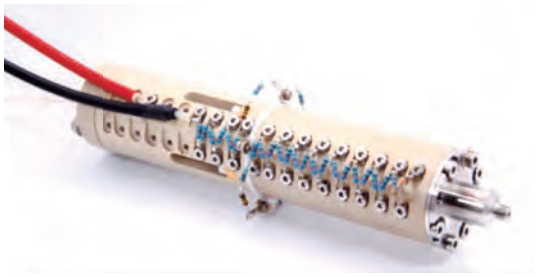


Abb. 10: Foto des kompakten ESI-IMS

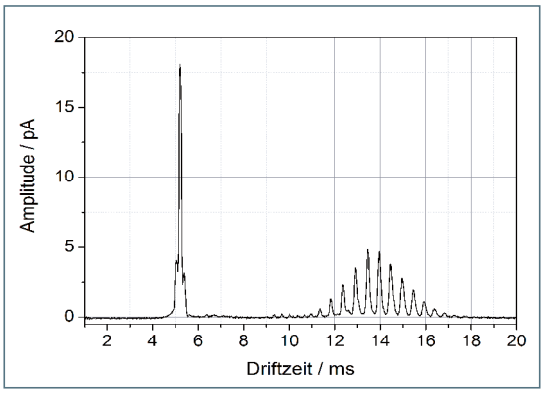


Abb. 11: ESI-IMS-Spektrum von 50 µl/l Triton X-100 in Ethanol

Wasseranteil von 50% des Lösungsmittels eine Nachweisgrenze von 4 µg/l für das Herbizid Bentazon erzielen. In **Abbildung 11** ist beispielhaft ein hochauflösendes Spektrum des Oligomers Triton X-100 zu sehen.

Atemluftanalyse in der Medizintechnik

Der menschliche Körper atmet eine Vielzahl an flüchtigen Substanzen aus. Das wohl bekannteste Beispiel ist die Abgabe von Kohlenstoffdioxid. Weiterhin werden etliche gering konzentrierte Stoffe ausgeatmet. Ein Teil dieser Substanzen sind Stoffwechselprodukte, die von den Zellen im Körper in den Blutkreislauf abgegeben werden. Über die Lungenbläschen gelangen flüchtige Stoffe dann in die Ausatemluft. Die Zusammensetzung der Ausatemluft spiegelt demnach in gewisser Weise auch die Zusammensetzung des Blutes wider. Anstatt einer aufwändigen und teuren Analyse des Blutes sollten somit durch eine Analyse der Ausatemluft Aussagen über den aktuellen physiologischen Zustand eines Patienten möglich sein. Beispielsweise lässt sich nach dem Genuss von Alkohol, der Blutalkoholspiegel anhand der Alkoholkonzentration im Atem ermitteln. Der Vorteil bei der Analyse von Atemluft besteht darin, dass eine Messung nicht-invasiv erfolgt und sie quasi kontinuierlich z. B. während einer Operation oder der Beatmung von Intensivpatienten durchgeführt werden kann. Allerdings erfordert die hohe Sensitivität, die bei der Atemluftanalyse notwendig ist,

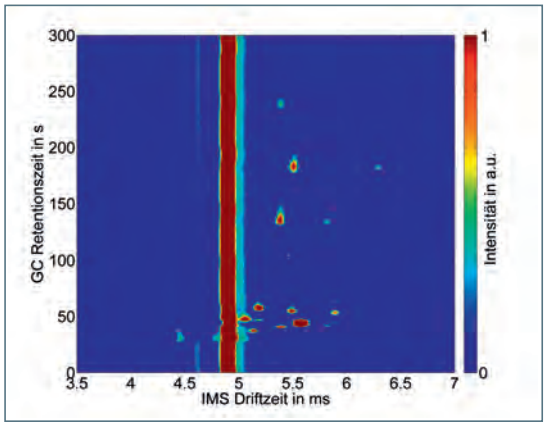


Abb. 12: Atemluftanalyse mittels GC-IMS

auch eine hohe Selektivität. Die Vielzahl an exogenen und endogenen Substanzen müssen eindeutig voneinander unterschieden und quantitativ gemessen werden.

Am Fachgebiet Sensorik und Messtechnik werden daher spezielle Messgeräte entwickelt, die Substanzen in geringsten Konzentrationen nachweisen können und die eine gute Unterscheidung dieser Substanzen ermöglichen. Geeignet sind z. B. Ionenmobilitätsspektrometer (IMS) mit gaschromatographischer (GC) Vortrennung. Der Hauptvorteil von IMS besteht darin, dass geringste Stoffkonzentrationen (pptv-Bereich) in weniger als einer Sekunde nachgewiesen werden können. In Kombination mit einem Gaschromatographen kann bereits eine gute Vortrennung der einzelnen Substanzen im Atem erreicht werden. Jede Messung lässt sich in einer zweidimensionalen Darstellung visualisieren, wobei auf der x-Achse die Driftzeit im IMS und auf der y-Achse die GC-Retentionszeit aufgetragen wird. In **Abbildung 12** ist eine beispielhafte Atemluftanalyse gezeigt. Jeder Punkt stellt eine gemessene Substanz dar. Für klinische Studien wurde am Fachgebiet Sensorik und Messtechnik ein hochempfindliches, hochauflösendes GC-IMS entwickelt, siehe **Abbildung 13**. Aufgrund des integrierten Gaskreislaufes benötigt dieses System keine externe Gasversorgung. In einer aktuellen Studie wurde mit diesem GC-IMS untersucht, ob durch die Analyse der Ausatemluft eines erkälteten Probanden zwischen bakteriellen und viralen Infektionen der oberen Atemwege unterschieden werden kann. Es konnten dabei zwei Substanzen im Atem gefunden werden, die möglicherweise eine bakterielle gegen eine virale Infektion diskriminieren, siehe **Abbildung 14**. Ziel ist eine Unterstützung der ärztlichen Diagnose zur Vermeidung unnötiger Antibiotikagaben.

Abb. 13: Foto des GC-IMS mit integriertem Gaskreislauf

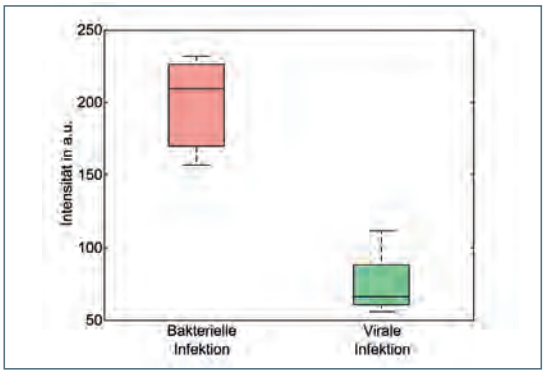


Abb. 14: Boxplot einer Substanz, hinsichtlich derer sich der Atem von Probanden mit einer bakteriellen Infektion der oberen Atemwege vom Atem der Probanden mit viraler Infektion unterscheidet.

Messelektronik

Allgemein betrachtet wandeln fast alle Sensoren eine zu messende Größe in eine elektrische Größe wie Strom oder Spannung um, häufig unter Zuhilfenahme weiterer Ströme und Spannungen. Beispielsweise liefert ein Thermoelement eine von der Temperaturdifferenz abhängige Spannung oder eine Vollbrücke aus Dehnungsmessstreifen eine zur Dehnung proportionale Brückenspannung. Hieraus folgt ein wichtige Konsequenz: Die Qualität des mit einem Sensor erzielbaren Messergebnisses hängt nicht nur von der Qualität des Sensors selbst ab, sondern auch von der Qualität der elektronischen Signalerfassung und -verarbeitung sowie der zur Verfügung gestellten Hilfsspannungen und -ströme. Insbesondere bei der Entwicklung neuartiger Sensorkonzepte und Anwendungen müssen daher immer auch die Anforderungen an die Elektronik mit betrachtet werden. Häufig lässt sich die Qualität der Messergebnisse bzw. die Leistungsfähigkeit der Sensoren durch eine angepasste und optimierte Elektronik verbessern.

Beispielsweise messen Flugzeitionenmobilitätsspektrometer die Zeit, die die Ionen zum Zurücklegen einer definierten Strecke in einem definierten elektrischen Feld benötigen. Hieraus ergeben sich

bereits drei elektronische Herausforderungen – es werden schnelle Hochspannungsschalter, um alle Ionen zu einem definierten Zeitpunkt in die Driftstrecke zu überführen, stabile Hochspannungsquellen, um ein konstantes und definiertes elektrisches Driftfeld zu gewährleisten, sowie schnelle, rauscharme Transimpedanzverstärker, um den auf den Detektor auftreffenden Ionenstrom in eine proportionale Spannung zu wandeln, benötigt.

Am Fachgebiet Sensorik und Messtechnik wurde speziell für die Anforderungen in der IMS ein Transimpedanzverstärker entwickelt, welcher bei einer Bandbreite von 175 kHz eine Verstärkung von 5 GΩ aufweist und über die gesamte Bandbreite integriert einen Gesamtrauschstrom von lediglich 9,7 pA erreicht. Dies ermöglicht im Vergleich zu den vorher eingesetzten kommerziellen Verstärkern bei gleicher Messdauer eine um eine Größenordnung bessere Nachweisgrenze beziehungsweise bei gleicher Nachweisgrenze eine Reduzierung der Messdauer um zwei Größenordnungen.

Für die Entwicklung neuer Sensoren und Messsysteme wird am Fachgebiet Sensorik und Messtechnik ein eigens hierfür entwickeltes, modulares Elektroniksystem genutzt, welches spezialisierte Funktionen auf einzelnen Einschubkarten im Euroformat zur Verfügung stellt. Dieses ist in einer beispielhaften Konfiguration in **Abbildung 15** zu sehen. Zum einen stehen so häufig benötigte Grundfunktionen, wie das Erzeugen, Messen und Regeln von Spannungen, Temperaturen und Durchflüssen, direkt zur Verfügung und können durch die Modularität in der jeweils benötigten Anzahl in das Messsystem eingesetzt werden. Zum anderen können durch Sensorneuentwicklungen benötigte neue Funktionen als neue Einschubkarten realisiert und diese aufgrund der gewählten Systemarchitektur ohne Änderungen an anderen Karten oder der Software integriert und angesteuert werden.

Abb. 15: Modulare Messelektronik für die Sensorentwicklung

Bestimmung des Wassergehaltes in Gewebe

Während einer Autopsie kann die Quantifizierung der Ödeme im Hirngenwebe Hinweise auf die Todesursache liefern, da Agoniezeit (Dauer der Sterbephase) und Wassergehalt im Gewebe in direkter Verbindung zueinander stehen. Eine lange Agoniezeit geht z.B. mit einer starken Ödembildung im Gehirn einher, da während der Agonie das Gehirn großem Stress ausgesetzt ist, es deswegen expandiert und sich Ödeme bilden. Bei einer kurzen Agoniezeit hingegen werden alle Körperfunktionen sofort gestoppt und dem Gehirn somit keine Zeit zur Expansion gegeben. Deswegen sind in diesem Fall auch keine Ödeme vorzufinden. Im Rahmen einer gerichtsmedizinischen Untersuchung kann somit die Bestimmung des Wassergehaltes im Gewebe bei der Diagnose der Todesursache unterstützen. Dies ist insbesondere im Falle multipler möglicher Todesursachen von großer Wichtigkeit, oder wenn keine offensichtlichen Anzeichen für die Todesursache vorzufinden sind, wie zum Beispiel bei der Unterscheidung zwischen plötzlichem Kindstod und dem Tod durch ein Schütteltrauma. Bislang existiert kein standardisiertes Verfahren zur Quantifizierung von Ödemen im menschlichen Gehirn. Die gängige Praxis ist die Untersuchung des Gehirngewichts und die subjektive Beurteilung der Ventrikelkompression sowie Schwellungen im Gehirn durch den Obduzenten, weswegen eine belastbare, objektive Diagnose nicht gewährleistet ist. Zudem können kleine, aber für die Differenzierung von Todesursachen essentielle, Unterschiede praktisch nicht nachgewiesen werden. Ziel ist daher die Entwicklung einer schnellen, kostengünstigen, in der Handhabung einfachen aber genauen Messtechnik zur Erfassung der Gewebefeuchte von menschlichen Organen. Grundlage ist die Bestimmung der effektiven Permittivität der Gewebeprobe bei 500 MHz mit einem speziell entwickeltem koplanaren Tastkopf, siehe **Abbildung 16**. Hiermit ist es erstmalig möglich innerhalb einer Sekunde bis auf ±2% genau den Wassergehalt in Organen zu bestimmen. Sämtliche Komponenten des Messsystems (Tastkopf, Mess- und Auswerteelektronik) sind einfach aufgebaut und sehr kostengünstig herstellbar. In Zusammenarbeit mit dem Institut für Rechtsmedizin der Medizinischen Hochschule Hannover wurde mit einem Demonstrator bereits erfolgreich der Zusammenhang zwischen effektiver Permittivität und Wassergehalt in menschlichen Organen untersucht. Erste Auswertungen zeigen, dass so tatsächlich Rückschlüsse auf die Dauer der Agonie möglich sind. Darauf aufbauend wurde das Potential dieser Technik in der Medizinischen Hochschu-

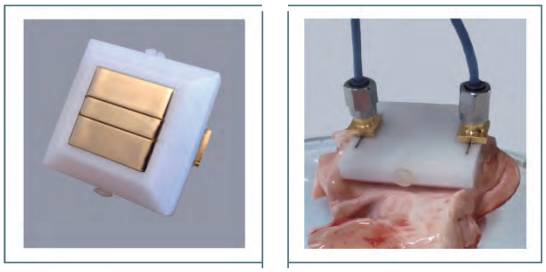


Abb. 16: Messung der Hirnfeuchte mit einem koplanaren Tastkopf

le Hannover bezüglich der objektiven Einordnung des plötzlichen Kindstods erforscht. Das gleiche System eignet sich auch zur nicht-invasiven Überwachung des Zellwachstums in Einwegbioreaktoren. Weitere Anwendungen, wie die Beurteilung der Wundheilung durch den Wundverband hindurch, sind denkbar.

Kalorimetrischer Nanosensor zur Quecksilberbestimmung in Luft

Im Bereich der Sicherheitstechnik stellt die Überwachung der Quecksilberkonzentration in der Luft eine große Herausforderung dar. Quecksilber wird in großen Mengen durch industrielle Prozesse freigesetzt, bedeutende Emissionsquellen sind beispielsweise die Öl- und Erdgasförderung. Da Quecksilber hochtoxisch ist, erfordert das Arbeiten mit Quecksilber besondere Schutzmaßnahmen. Es werden kompakte Quecksilbermesssysteme benötigt, welche möglichst kontinuierlich mit einer ausreichend hohen Nachweisempfindlichkeit Quecksilber schnell detektieren können.

Für die Entwicklung solcher Systeme wird am Fachgebiet Sensorik und Messtechnik u.a. an einem neuartigen kalorimetrischen Sensorprinzip für die Quecksilberdetektion geforscht. Hierbei wird nanostrukturiertes Gold genutzt, welches bei Kontakt mit Quecksilber an der Oberfläche Amalgam bildet. Die geringe Wärmekapazität des nanostrukturierten Goldes ermöglicht ein besonders schnelles Aufheizen des Materials, so dass die Quecksilbermoleküle schnell wieder in die Gasphase übergehen. Aufgrund der Desorptionsenthalpie des Quecksilbers unterscheidet sich die Aufheizkurve des reinen Goldes von der Aufheizkurve des amalgamierten Goldes, was den Messeffekt darstellt. In **Abbildung 17** ist der theoretische Verlauf der Aufheizkurve für reines Gold und für amalgamiertes Gold im Vergleich gezeigt. In der Aufheizkurve des amalgamierten Goldes ist ein Plateau zu erwarten, da ab einer gewissen Temperatur die Heizenergie für die Desorption der Quecksilbermoleküle genutzt wird und damit nicht mehr zur Erwärmung des Goldes zur Verfügung steht. Ein weiterer Effekt, der sich zur Quersilberbestimmung nutzen lässt, ist die geringere Wärmeleitung der Amalgamschicht im Vergleich zu reinem Gold. Dies führt zu einem entgegengesetzten Effekt, d.h. die Aufheizkurve des amalgamierten Goldes sollte bei gleicher Heizleitung oberhalb der Aufheizkurve des reinen Goldes liegen. Welcher Effekt sich schließlich zur Bestimmung der Quecksilberkonzentration in Luft besser eignet, ist Gegenstand der aktuellen Forschung.

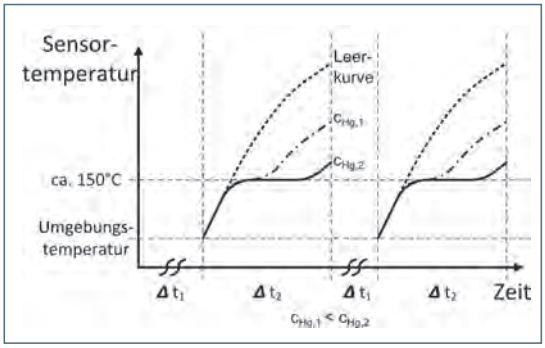


Abb. 17: Messprinzip eines kalorimetrischen Quecksilbersensors

Split-Ring-Resonator als Biosensorplattform

Split-Ring-Resonatoren sind hochsensitive elektrische Leiterstrukturen, welche unter anderem zur elektromagnetischen Materialcharakterisierung (Messung der relativen Permittivität) oder zur Detektion von Biomolekülen verwendet werden und grundlegend aus nur einer Streifenleitung und einem ringförmigen Resonator bestehen. An einer Stelle des Resonators befindet sich ein Schlitz, welcher als Kapazität fungiert. Mit einem Netzwerkanalysator oder einer reduzierten Messelektronik wird die Transmission einer elektromagnetischen Welle vom Sender zum Empfänger entlang der Streifenleitung in Abhängigkeit von der Frequenz gemessen. Bei einer Anregungsfrequenz außerhalb der Resonanz, ist die ringförmige Resonatorstruktur praktisch feldfrei, weswegen sich die elektromagnetische Welle quasi ungedämpft auf der Streifenleitung ausbreiten kann. Im Resonanzfall koppelt die elektromagnetische Welle in den Ring ein, was jetzt zu kleinen Feldstärken auf der Empfängerseite der Streifenleitung führt. Die Transmission bei einer Anregung mit der Resonanzfrequenz ist also stark gedämpft. Die Resonanzfrequenz dieser Schaltung wird zum einen durch den Umfang des Rings und zum anderen durch die Kapazität des Schlitzes bestimmt, was hier als Sensoreffekt ausgenutzt wird. Die Kapazität kann analog zur Antennentechnik als eine kapazitive Verlängerung der Ringstruktur aufgefasst werden. Es ergeben sich Resonanzfrequenzen für Wellenlängen mit $\lambda/2$ deutlich größer als der Umfang des Kreises. Das grundlegende Messprinzip

basiert auf einer Kapazitätsänderung des Schlitzes durch eine Materialprobe oder die spezifische oder unspezifische Bildung von Molekülen, was durch eine Verschiebung der Resonanzfrequenz detektiert wird. Hierdurch lässt sich eine sehr hohe Sensitivität erreicht, weswegen diese Leiterstrukturen in den letzten Jahren vermehrt im Bereich der Sensorik und Messtechnik eingesetzt werden. Eine mögliche Anwendung ist die Bestimmung der Polarisierbarkeit (relative Permittivität) eines Materials. Weiterhin ist aber auch, bei entsprechender Funktionalisierung des Schlitzes, anhand der Detektion spezifischer Molekülbindungen die selektive Erfassung von Biomarkern möglich. **Abbildung 18** zeigt den experimentellen Aufbau eines Split-Ring-Resonators als Biosensor.

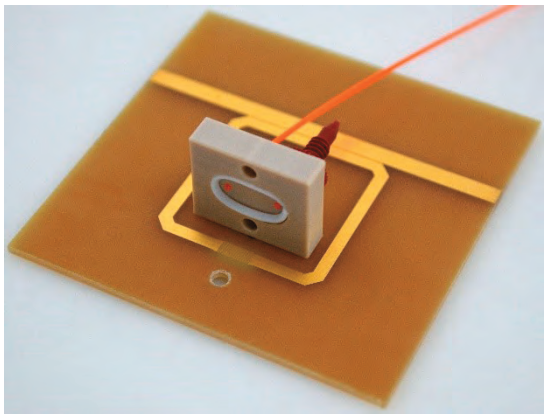


Abb. 18: Split-Ring-Resonator als Biosensor für C-reaktives Protein (CRP)

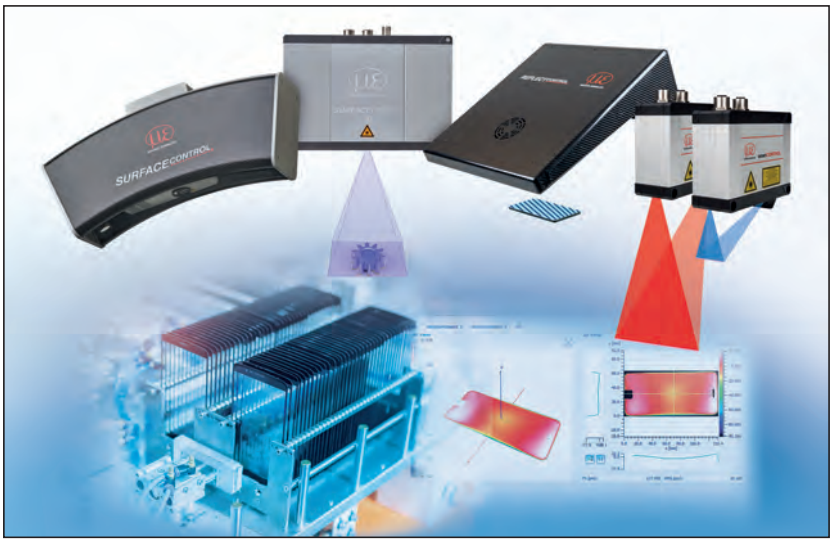
Quelle aller Abbildungen vom Institut für Grundlagen der Elektrotechnik und Messtechnik der Leibniz Universität Hannover

KONTAKT

LEIBNIZ UNIVERSITÄT HANNOVER
INSTITUT FÜR GRUNDLAGEN DER ELEKTROTECHNIK UND MESSTECHNIK
FACHGEBIET SENSORIK + MESSTECHNIK
Prof. Dr.-Ing. Stefan Zimmermann
Appelstraße 9A, 30167 Hannover
Tel. +49 (0)511 762 4672, Fax +49 (0)511 762 3917
zimmermann@geml.uni-hannover.de
www.geml.uni-hannover.de/de/smt/

LEISTUNGSSTARKE 3D-GESAMTLÖSUNG MIT EINHEITLICHER SOFTWARE

Mit den neuen Generationen von surfaceCONTROL, reflectCONTROL und scanCONTROL präsentiert Micro-Epsilon ein leistungsstarkes 3D-Produktportfolio für die präzise Geometrie-, Form- und Oberflächenprüfung. Ein großer Vorteil ist die leistungsstarke Software 3DInspect, die mit allen 3D-Sensoren von Micro-Epsilon kompatibel ist und zahlreiche Features mit sich bringt.



Zu allen 3D-Sensoren des eigenen Portfolios bietet Micro-Epsilon die Software 3DInspect an. Diese ist bedienerfreundlich aufgebaut und lässt sich intuitiv steuern. Die Software ermöglicht die Parametrierung der Sensoren, aber auch die Erfassung der Messdaten. Die Werkzeugpalette ist vielseitig und reicht von der Ausrichtung der Punktewolken über Berechnungsprogramme für Abstand, Höhe, Winkel und Radius sowie eine einfach Ausgabemöglichkeit an die SPS und die anschließende Weiterverarbeitung der Messdaten. Neben der Standardversion wird die Funktionserweiterung „Automation" für automatisierte Produktionsprozesse angeboten.

Das umfangreiche 3D-Software-Paket von Micro-Epsilon ist unter anderem mit den surfaceCONTROL 3D-Sensoren kompatibel. Diese werden zur schnellen 3D-Vermessung und Inspektion diffus reflektierender Oberflächen wie Metall, Kunststoff oder Keramik genutzt. Mit einer z-Wiederholpräzision von bis zu 0,4 µm setzt der Sensor neue Maßstäbe in der hochgenauen 3D-Messtechnik.

Für 3D Messungen auf spiegelnden und glänzenden Oberflächen wurde der reflectCONTROL Sensor konzipiert. Der Sensor kann für mikrometergenaue Messungen stationär zur Überwachung der Fertigungslinie oder für die Inline-Inspektion beispielsweise am Roboter eingesetzt werden. Auf dem Sensordisplay wird ein Streifenmuster generiert, welches über die Oberfläche des Messobjekts in die Kameras des Sensors gespiegelt wird. Abweichungen auf der Oberfläche verursachen Verzerrungen im Streifenmuster, die mit der Software ausgewertet werden.

Laserscanner der Reihe scanCONTROL zählen zu den leistungsfähigsten Profilsensoren weltweit im Hinblick auf Genauigkeit und Messrate. Um 3D-Scans zu generieren, muss eine Bewegung erfolgen. Entweder werden die Scanner beispielsweise per Roboter oder Verfahranlage über das Messobjekt bewegt oder die Messobjekte z.B. über Förderbänder am Scanner vorbeigeführt. Die Laserscanner von Micro-Epsilon bieten eine einmalige Kombination aus hoher Dynamik, Präzision und kompakter Baugröße. Es sind zahlreiche Messbereiche erhältlich sowie Red- und Blue-Laser-Technologien und umfangreiches Zubehör. Die Scanner überzeugen sowohl bei Integratoren als auch beim Serieneinsatz in der Fertigungslinie.

KONTAKT

MICRO-EPSILON MESSTECHNIK GMBH & CO. KG
Königbacher Str. 15
94496 Ortenburg
Tel.: +49 (0)8542 168-0
www.micro-epsilon.de

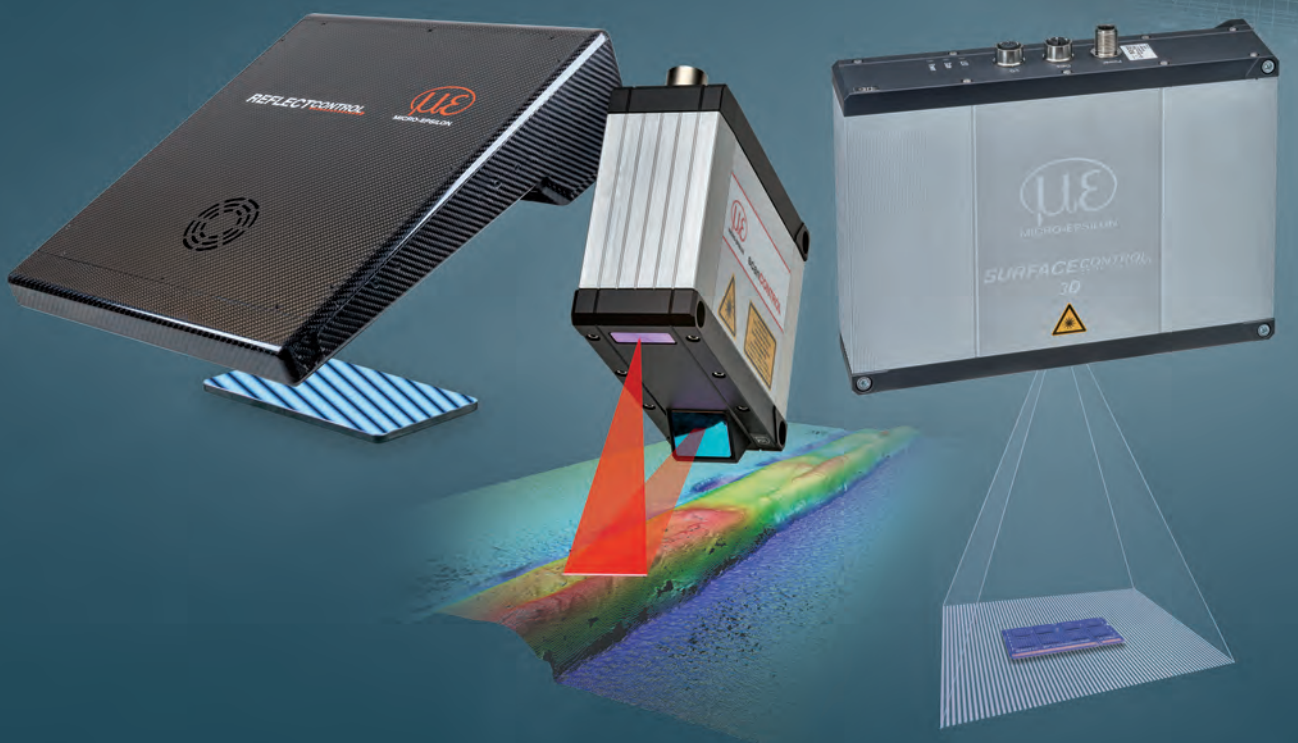
Mehr Präzision.

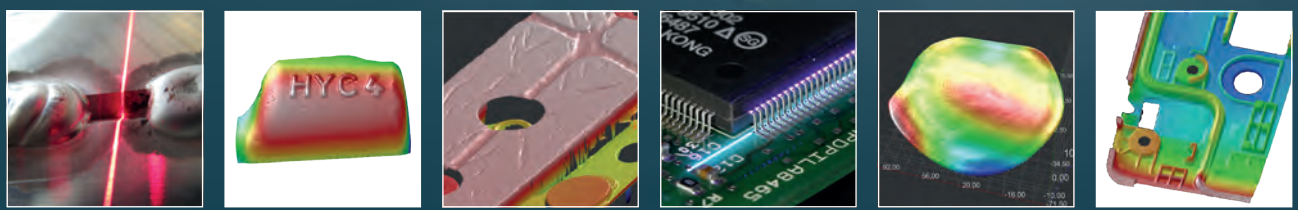
MICRO-EPSILON

Präzise 3D-Sensoren

für Geometrie & Oberflächeninspektion

- Präzise Geometrie-, Form- und Oberflächenprüfung
- Hohe Genauigkeit zur Erkennung feinster Details
- Ideal zur Inline-Überwachung in Fertigungsprozessen
- Leistungsstarke Software zur Lösung von 3D-Messaufgaben und Inspektionsaufgaben





MICRO-EPSILON Messtechnik | Tel. 0 85 42/168-0 | www.micro-epsilon.de/3D

ROBUSTE DEHNUNGSAUFNEHMER FÜR MOBILE MASCHINEN

Die Ausleger mobiler Maschinen, wie etwa der eines Mobilkrans, neigen zu Schwingungen, je weiter sie ausgefahren sind. Die Dehnungsaufnehmer SMX.dms-a von STW helfen dabei, diese Schwingungen zu reduzieren und die Produktivität der Maschinen zu optimieren.

In mobilen Arbeitsmaschinen, wie beispielsweise Mobilkranen, Hebebühnen, Drehleiterfahrzeugen oder Betonpumpen, ermöglichen Arbeitsgeräte auf Auslegern, den Arbeitsbereich dieser Maschinen deutlich zu erweitern. Die Arbeitsgeräte dieser Fahrzeuge lassen sich teilweise sehr weit ausfahren. Je weiter der Ausleger ausgefahren ist, umso eher neigt er dazu, ins Schwingen zu geraten. Sei es durch externe Faktoren wie Wind oder ein zu hebendes Gewicht, aber auch durch Eigenfrequenzen, die durch die Vibration der Maschine entstehen können.

Diese Schwingungen können dazu führen, dass die Produktivität der Maschine leidet, beispielsweise bei Hebebühnen oder Drehleitern, die sich erst auspendeln müssen. Schwingungen können jedoch auch ein Sicherheitsrisiko darstellen, wenn beispielsweise ein Kran eine tonnenschwere Last hebt und diese durch die Vibrationen des Kranauslegers unkontrollierbar werden sollte.

Daher ist es von größter Wichtigkeit, diesen Eigenfrequenzen und externen Kräften entgegenzuwirken. Dies gelingt mit Dämpfungssystemen, die den auftretenden Einflüssen aktiv entgegenwirken und sie so ausgleichen. Damit diese effektiv arbeiten können, müssen die Kräfte jedoch zunächst aufgenommen und gemessen werden. Diese Aufgabe übernehmen die Dehnungsaufnehmer SMX.dms-a von STW aus Kaufbeuren. Sie zeichnen sich durch ihre niedrige Bauhöhe aus, die es ermöglicht, sie bauraumsparend in die Maschine und das Automatisierungssystem zu integrieren. Auch die Möglichkeit, den Sensor gleich mit der optionalen Trägerplatte zu liefern, macht es Maschinenherstellern einfach, auf den SMX.dms-a zu setzen. Umständlicher Montage und Inbetriebnahme, wie sie andere Dehnungssensoren auszeichnet, ist somit vorgebeugt.

Die Dehnungsaufnehmer von STW bieten einen analogen und digitalen Ausgang. Die Messspanne kann in Schritten von 120 µm/m bis zu 2000 µm/m konfiguriert werden. Die Einrichtung eines Offset-Werts und eines bestimmten Messbereichs innerhalb der konfigurierten Spanne ist ebenfalls realisierbar. Die Parametrierung, Inbetriebnahme und das Monitoring des Sensors sowie des übergeordneten Automatisierungssystems gelingt mit der open-source Software-Plattform openSYDE von STW besonders anwenderfreundlich.

openSYDE ist dank Drag-and-Drop-Editor und vordefinierten Libraries sehr intuitiv zu bedienen. Darüber hinaus ist openSYDE im Gegensatz zu anderen vergleichbaren Entwicklungsumgebungen open-source und somit offen für stetige Verbesserungen aus der Community.

Der Dehnungsaufnehmer SMX.dms-a ist für harsche Einsatzbedingungen ausgelegt. Die Betriebstemperatur liegt zwischen -40 und +85°C, dank Schutzklasse bis IPX9k verfügen die Sensoren über maximalen Schutz vor Staub, Schmutz und Vibration. Die E1-Zulassung macht die Integration der Dehnungsaufnehmer in mobile Anwendungen noch einfacher.

Der STW-Sensorikbaukasten für die Mobilhydraulik bietet verschiedene Produkte zur Erfassung physikalischer Größen, wie Temperatur, Druck, Dehnung, Neigung und Winkelgeschwindigkeit, sowie Druckschalter auch in funktional sicherer Ausführung. Die Messwerte dienen in mobilen Maschinen u.a. der Überwachung und Regelung des Antriebs, der Arbeitsfunktion oder des Energiemanagements. Sie können zusätzlich mit Onboard-Software- und Cloudlösungen zur Verfügung gestellt werden. Darüber hinaus zeichnen sich STW-Sensoren durch besondere Belastbarkeit und Langlebigkeit aus. ■

KONTAKT

SENSOR-TECHNIK WIEDEMANN GMBH
Am Bärenwald 6
87600 Kaufbeuren
Tel.: +49 (0)8341 9505-0
presse@wiedemann-group.com
www.stw-mm.com

MASSGESCHNEIDERTE SENSORIK FÜR KOMPLEXE MESSAUFGABEN

Althen ist Spezialist für kundenspezifische Messtechnik und Sensorik. Die Entwicklung innovativer und bedarfsgerechter Messlösungen steht dabei im Mittelpunkt. Die Mess- und Sensortechnik von Althen kommt in nahezu allen Branchen und Industrien zum Einsatz: Von Automotive über Erneuerbare Energien, Prozessindustrie und Schifffahrt bis zur Verpackungsindustrie und der Papier- und Zellstoffproduktion sind die maßgeschneiderten Lösungen von Althen überall vertreten.

Das Portfolio umfasst die physikalischen Messgrößen Druck, Kraft, Drehmoment, Dehnung, Weg, Drehwinkel, Neigung, Beschleunigung, Vibration, Drehrate, Temperatur, sowie Messver¬stärker, Datenlogger, Joysticks und Elektronik für die Automatisierungstechnik. Spezialisiert auf die elektrische Erfassung dieser Parameter bietet Althen vielseitige Produkte unterschiedlicher Hersteller sowie Eigenentwicklungen und maßgeschneiderte Lösungen. Faire und herstellerneutrale Kundenberatung, enge Zusammenarbeit von Vertrieb und Entwicklung sowie hauseigene Fertigung inklusive Kalibrierlabor sind die Grundpfeiler für den Erfolg des Unternehmens.

Sensordaten spielen eine zentrale Rolle im **Bereich IoT** (Internet der Dinge). Flexible Produktionstechniken sowie optimierte Datenerfassung und -verarbeitung tragen dazu bei, die betriebliche Effektivität zu erhöhen und gleichzeitig Kosten zu senken. Althen bietet schlüsselfertige Messlösungen, die die Hardware ebenso beinhalten wie die Übertragung, Speicherung und Analyse der vom Messsystem erfassten Informationen.

Für **OEM-Kunden** fertigt Althen exklusive Serienprodukte in kleinen und mittleren Stückzahlen. In enger Zusammenarbeit mit den Kunden entstehen so hochwertige, individuell zugeschnittene Sensor-Lösungen. Serienkomponenten und Messketten, z.B. für Prüfstände und Testanwendungen im Automobil- und Maschinenbau, werden in hoher Qualität termingerecht bereitgestellt.

Test & Measurement steht bei Althen für individuelle Messtechnik und effiziente Plug&Play-Lösungen, die alle Kundenanforderungen erfüllen, von speziellen Messsystemen wie z. B. zur Erdbebenerkennung bis hin zu hochgenauen Neigungsmesssystemen. Prototypen werden in der hauseigenen Konstruktions- und Fertigungsabteilung hergestellt und innerhalb kürzester Zeit getestet und zur Serienreife gebracht. ■

KONTAKT

ALTHEN GMBH
MESS- UND
SENSORTECHNIK
www.althen.de

HERAEUS NEXENSOS: SINTERBARE TEMPERATURSENSOREN FÜR SIC LEISTUNGSMODULE

Die Leistungselektronik ist der Schrittmacher eines jeden Elektrofahrzeugs: Leistung, Tempo und Effizienz werden von der Auslegung und den Möglichkeiten der Spannungswandler- und Wechselrichtereinheiten bestimmt. Höhere Schaltfrequenzen, höhere Leistungen und der daraus resultierende Betrieb bei höheren Temperaturen tragen zu längeren Reichweiten und dynamischen Fahrweisen bei. Höhere Betriebstemperaturen erfordern aber auch neue Materialien und neue Verbindungstechniken: Die Sintertechnologie ist auf dem Weg, sich als Standardverbindungstechnik für SiC Module der nächsten Generation durchzusetzen. Temperatursensoren kommt eine neue Bedeutung zu.

Sicherheit ist bei hohen Spannungen und erhöhten Temperaturen ein zentraler Aspekt: In der SiC Leistungselektronik gewährleistet eine zuverlässige und präzise Temperaturüberwachung den sicheren Betrieb. Heraeus Nexensos hat speziell für diese Anwendungen einen Pt1000-Temperatursensor in SMD-Bauform entwickelt, der die Optimierung des Gesamtsystems in mehrfacher Hinsicht unterstützt. Der sinterfähige Pt1000 im SMD-Format kombiniert dabei die Zuverlässigkeit eines Pt1000 mit neuen Vorteilen, um die Herausforderungen bei der Temperaturmessung und beim Bauteilschutz in modernen Leistungsmodulen sicherzustellen: Die Pt-Sensorschicht befindet sich auf der Oberseite des Bauteils und ist von der Rückseitenmetallisierung elektrisch isoliert

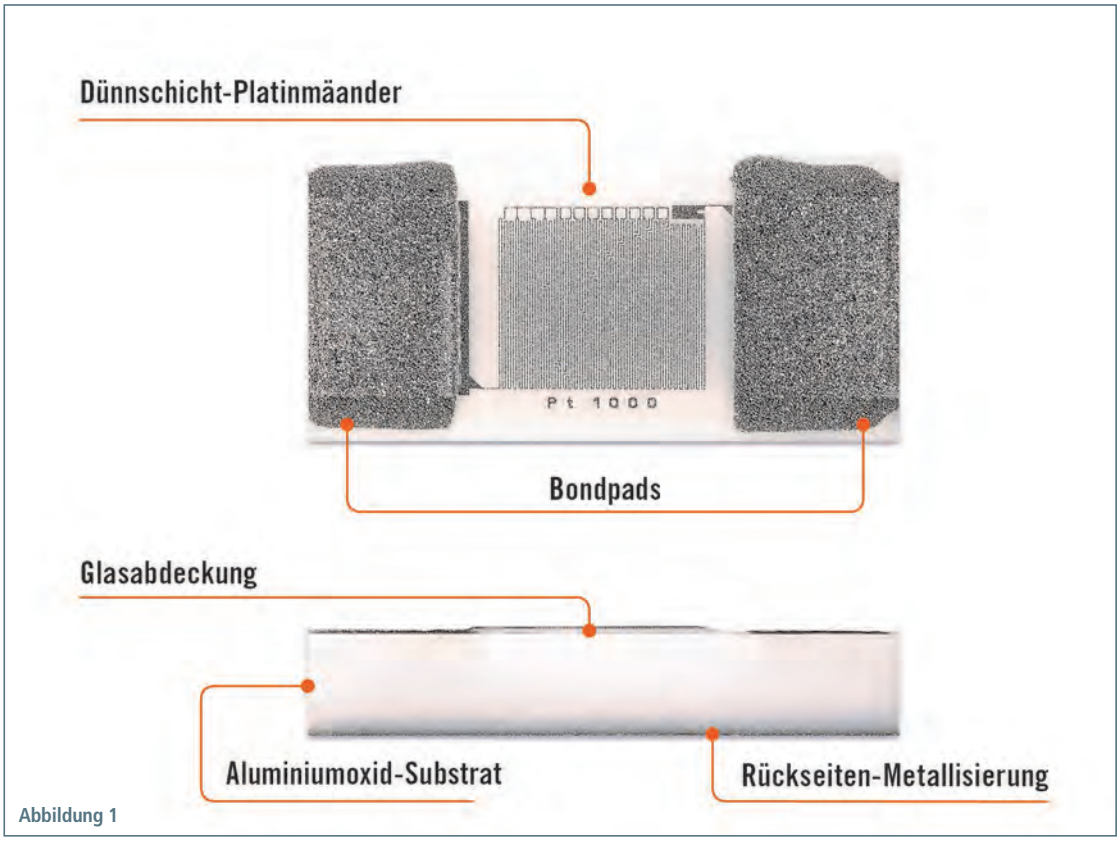


Abbildung 1

KONTAKT

HERAEUS NEXENSOS GMBH
Tobias Holz
Reinhard-Heraeus-Ring 23
62801 Kleinostheim
Tobias.holz@heraeus.com
www.heraeus-nexensos.com

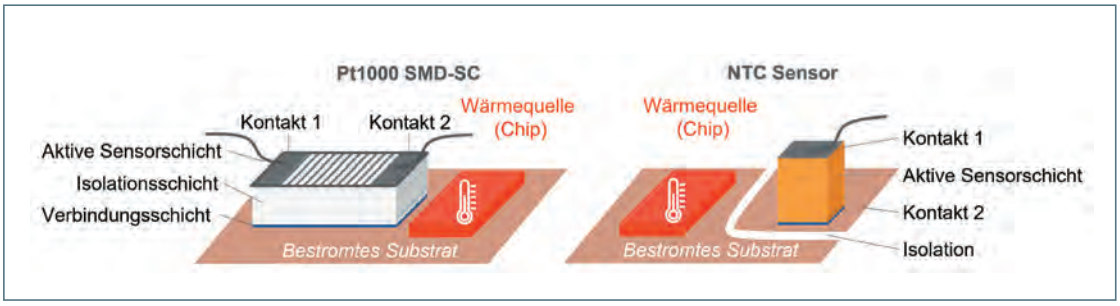


Abbildung 2

(siehe **Abb. 1**). Dieses Layout ermöglicht eine potenzialfreie Positionierung des Temperatursensors, der Sensor kann damit an beliebigen Positionen auf dem Substrat aufgesintert werden. Er lässt sich so näher an der Wärmequelle platzieren, was eine schnellere und genauere Temperaturmessung erlaubt.

Die elektrische Isolierung ermöglicht die Positionierung auf der gleichen Substrat- oder Potentialfläche ohne zusätzliche Trennungselemente wie Ätzgraben, die bei dem Einsatz von NTC-Thermistoren berücksichtigt werden müssten (siehe **Abb. 2**). Das vereinfacht das Substratlayout sowie den Herstellungsprozess und erlaubt kompaktere Designs. In der Anwendung erhöht der reduzierte Abstand zwischen der Wärmequelle und dem Sensorelement aufgrund des wegfallenden Trennelements die Genauigkeit und führt zu einer kürzeren Ansprechzeit, die je nach Design um bis zu 30 % schneller sein kann.

Die elektrische Kontaktierung des Pt1000 SMD-SC erfolgt über die Pads auf der Sensor-Oberseite; die Materialauswahl basierend auf einer AgPt Legierung ist optimiert für Dünn- und Dickdrahtbonden.

Die Rückseitenmetallisierung des Sensors ermöglicht das Aufsintern in Standard-Silbersinter-Prozessen und somit die nahtlose Integration in bestehende Prozessschritte. Die damit darstellbaren Sinterverbindungen erlauben eine aktuell spezifizierte Einsatztemperatur bis 200 °C, was den Pt1000 SMD-SC zu einer idealen Lösung für die Temperaturkontrolle in modernen SiC basierten Leistungsmodulen macht. Darüber hinaus haben laufende Entwicklungsaktivitäten eine Erweiterung des Temperaturfensters zum Ziel.

Detaillierte Informationen zu den Vorteilen des sinterbaren SMDs, Modellierungsergebnisse zur Dynamik der Temperaturbestimmung und Messungen finden Sie auf unserer Website sowie in unserem aktuellen Whitepaper. ■

INTELLIGENTE SENSOREN FÜR DIE ZUKUNFT – DIE ANALOGE SEITE DER DIGITALISIERUNG

Prof. Olfa Kanoun, Dr. Christian Viehweger, Dr. Thomas Keutel, Salem Nasraoui, Amin Fischer, Dhivakar Rajendran, Ahmed Yahia Kallel, Bilel Ben Atitallah, Adiraju Anurag

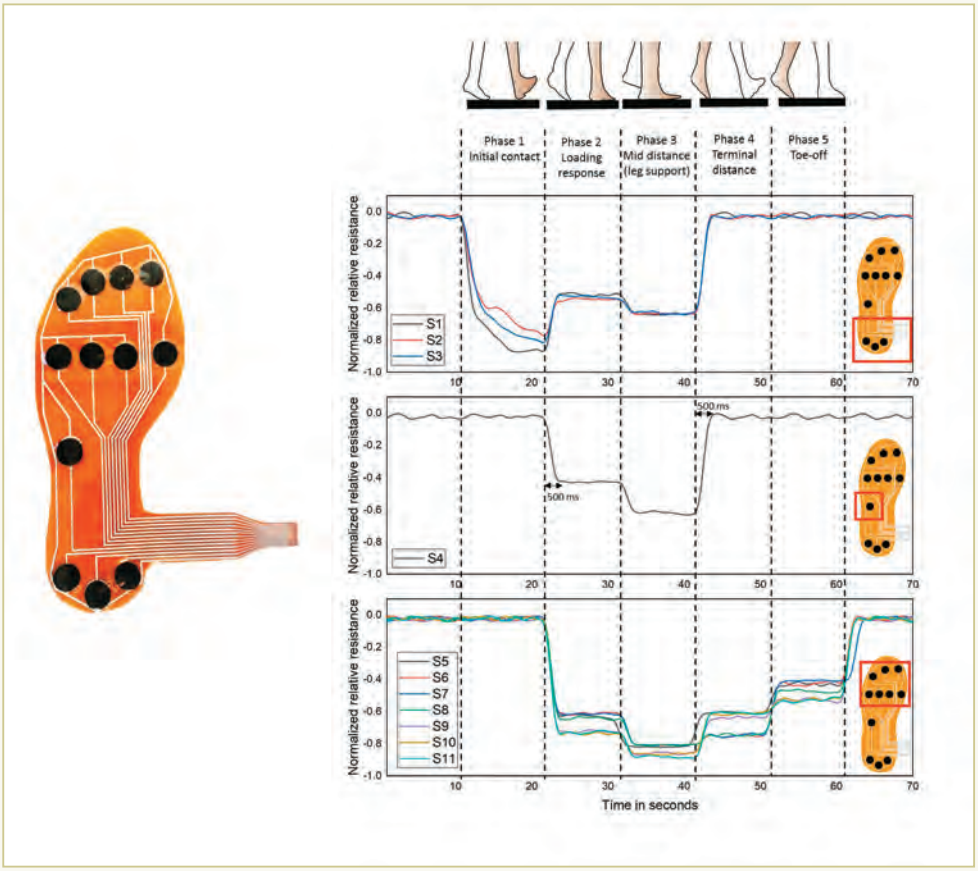


Abb. 1: Beispiel einer Einlegesohle für das Monitoring von Druck am Fuß

Ob in der Industrie, der Umwelt oder im Automobil- und Medizinbereich, die Digitalisierung schreitet voran und erfordert neuartige Sensoren, die nicht nur genau oder schnell messen sollen, sondern auch flexibel, energiesparend, leistungsstark und unbedingt robuster und kostengünstiger denn je sein müssen. Es entstehen Anwendungsfälle mit besonderen Anforderungen, die bisher noch nicht aufgegriffen worden sind. Das Anforderungsprofil an Sensoren entwickelt sich dementsprechend rasant und nur durch den Einsatz neuester Technologien in Sensorik, Messverfahren, Elektronik und Signalverarbeitung können wir den großen Bedarf an neuen Sensoren decken.

Einführung

Viele heutige technologische Entwicklungstrends werden durch die zunehmende Digitalisierung in den verschiedenen Wirtschaftssektoren getragen. Dabei sollen erheblich mehr Informationen gesammelt werden, um darauf aufbauend übergeordnetes und auch grundlegendes Wissen zu extrahieren und damit einen wesentlichen Fortschritt mit dedizierten Diensten zu erreichen. Dadurch steigt die Nachfrage nach Sensoren mit unterschiedlichen Eigenschaften über viele Sektoren rasanter als noch nie. Die Liste der Anforderungen an Sensoren und Sensorsystemen wächst in vielen Richtungen für eine bessere Integration in der Anwendung, Robustheit, Langlebigkeit und Echtzeifähigkeit.

In diesem Beitrag werden neuartige Sensorlösungen vorgestellt, die die Digitalisierung mit ihren besonderen technischen und ökonomischen Eigenschaften unterstützen. Diese stellen ein Unabdingbarer analoger Bestandteil der Digitalisierung, der sie mit reellen Felddaten versorgt, damit sich die notwendigen Dienste im Feld, an der Edge oder in der Cloud bedienen können. Sie beruhen auf die Entwicklung neuartiger Sensoren für physikalische und chemische Größen, die Weiterentwicklung von Messmethoden am Beispiel der Impedanzspektroskopie, die Verbreitung der Sensornetzwerke im industriellen Bereich sowie im Bereich der smarten Wearables.

Im Bereich Sensoren werden zunehmend flexible Sensoren [1] benötigt, die sich leicht anpassen und in Strukturen integrieren lassen. Hier geht der Trend in Richtung ultradünner und hochempfindlicher Sensoren aus Polymeren und Nanopartikeln, die sich an die Anforderungen der Anwendung bereits durch ihre speziellen Materialkompositionen anpassen. Auch bei den elektrochemischen Sensoren werden zunehmend hochsensible Sensoren für die Detektion von verschiedenen Schadstoffen gefragt. Diese benötigen den Einsatz von Nanomaterialien, Sensortechnologien und versierte Signalverarbeitungsmethoden, um die notwendige Selektivität, Linearität und Detektionslimits zu erreichen.

Messmethoden, die bisher mehr als Labormethoden bekannt sind, wie die Impedanzspektroskopie, kommen zunehmend in die Feldapplikation in Sensoren und Messysteme. Damit wird er ermöglicht z. B. Batterien in der Applikation zu diagnostizieren. Für den flexiblen Einsatz der Sensoren sind die drahtlose Kommunikation und die autarke Energieversorgung durch Energy Harvesting oder drahtlose Energieübertragung besonders wichtig. Durch die aktuellen technologischen Entwicklungen werden intelligente Wearables mehr realistisch und attraktiv. Diese sind wichtige Bestandteile bei der Erkennung von menschlichen Aktivitäten für medizinische und gesellschaftliche Anwendungen. Speziell bei der Digitalisierung der Gesellschaft spielt die Gestenerkennung basierend auf körpergetragenen drahtlosen Sensoren eine wichtige Rolle.

Flexible nanomaterialienbasierte Sensoren

Die Digitalisierung stellt besondere Anforderung bezüglich der den Eigenschaften von Sensoren und deren Integration in der Applikation. Herkömmliche Sensoren wie Metallfolien und starre Halbleiter weisen verschiedene Einschränkungen auf, wie z. B. geringe Flexibilität und Dehnbarkeit, was sie für verschiedene Strukturen und Anwendungen unbrauchbar macht.

Nanoverbundwerkstoffe aus Polymeren erweitern wesentlich den technologischen Horizont und finden aufgrund ihrer hohen Empfindlichkeiten, Flexibilität und Energiesparsamkeit in verschiedenen technologischen Bereichen Anwendung [2]. Sie haben außergewöhnliche mechanische und elektrische Eigenschaften und können in ihren Materialeigenschaften angepasst werden, was bei der Entwicklung von Sensoren ein enormes Potential mit sich bringt. Polymer-Nanokomposite basierend auf Kohlenstoff-Nanomaterialien wie Graphen und Carbon Nanotubes (CNTs) könnten zur Entwicklung neuartiger empfindlicher Sensoren verwendet werden, um kritische physikalische Eigenschaften wie Dehnung/Spannung [2], Druck [3] oder Temperatur zu erfassen.

Durch die Sensorik basierend auf Polymer-Nanomaterialen können neuartige Sensorprinzipien genutzt werden und intelligente Sensorsysteme entwickelt werden. Die über 18-jährige Erfahrung der Professur in diesem Bereich erstreckt sich vom Gebiet des Designs von Sensoren, über Messverfahren bis hin zu signifikanten Entwicklungen von Sensoren und Sensorsystemen, wie z.B. flexible Dehnungs-, Druck-, Feuchtigkeits- und Temperatursensoren mit hoher Empfindlichkeit, die über einen großen Messbereich robust arbeiten können. Hierfür wird die Synthese von Nanokompositmaterialien optimiert, Dispersionstechniken und Charakterisierungsmethoden implementiert und dedizierte eingebettete Systeme als Sensorsysteme implementiert.

Die Sensoren können als Matrizen realisiert werden, um Druckverteilungen zu messen. Eine interessante Bauform ist als RFID-Streuantenne. Dadurch lassen sich drahtlose und batterielose Sensorsysteme erstellen. Diese können durch integrierte RFID-Chips identifiziert werden und können bei UHF-Frequenzen die Überwachung von Dehnung und Temperatur in verschiedenen Anwendungen wie Luft- und Raumfahrt, Ziviltechnik und Industrie 4.0 übernehmen.

Elektrochemische und impedimetrische Sensoren

In verschiedenen Sektoren wie Umwelt und Biomedizin besteht heutzutage ein großer Bedarf für innovative, kostengünstige, empfindliche, benutzerfreundliche und mobile Sensoren zur Überwachung von Schadstoffen oder Biomarkern. Diese Anforderungen können nur erfüllt werden indem neuartige Lösungen entwickelt werden, angefangen bei der Herstellung elektrochemischer Sensoren, über die Funktionalisierung mit Nanomaterialien und die Realisierung der eingebetteten Elektronik. Durch gezielte Nutzung von Nanomaterialien können elektrochemische Sensoren entwickelt werden [5], die eine hohe Empfindlichkeit und Selektivität gegenüber verschiedenen Schadstoffen wie zum Beispiel Nitraten [6] und Nitriten, Phosphaten, Schwermetallen, phenolischen Verbindungen [7], Pestiziden, Biomarkern für Prostatakrebs und Helicobacter-Bakterien aufweisen.

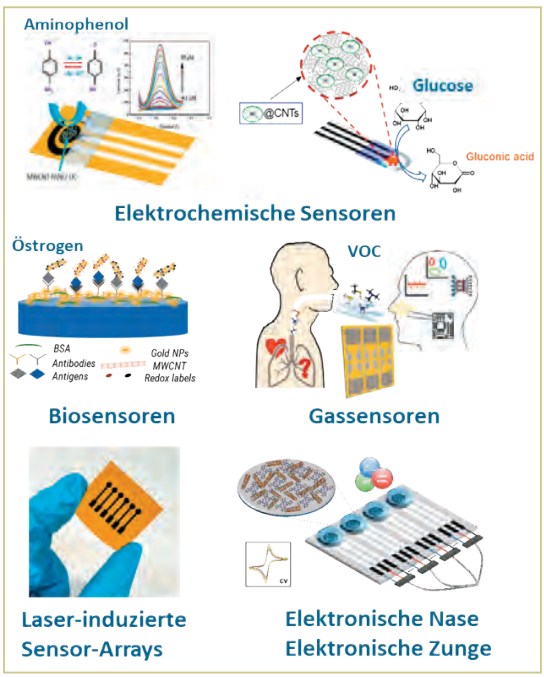


Abb. 2: Übersicht elektrochemischer Sensoren für Schadstoffe in flüssiger und gasförmiger Form

Das Herzstück elektrochemischer Sensoren ist die Funktionalisierung von siebgedruckten Elektroden mit Nanomaterialien und Nanokompositen wie Graphen, CNTs, Polymeren und metallischen Nanopartikeln. Die stoffspezifische Funktionalisierung und die Vergrößerung der aktiven Oberfläche und der Leitfähigkeit sorgen für die erforderliche Empfindlichkeit und Selektivität bei der Detektion auf der Grundlage der von international festgelegten Vorschriften. Im Bereich der Biosensoren wurden tragbare Sensoren entwickelt, die Biomarker in außergewöhnlich niedrigen Konzentrationen bis hin zu pico- und femto-molaren Konzentrationen nachweisen können. Neben Einzelsensoren liegt der Forschungsschwerpunkt auch auf der Integration von Sensoren mit Techniken des maschinellen Lernens und der Signalverarbeitung für die Entwicklung elektrochemischer Sensorarrays oder Sensorarrays von Gassensoren [8]. Dadurch können mehrere Schadstoffe, auch in sehr geringen Konzentrationen, unabhängig von den Querempfindlichkeiten der Sensoren mit vielseitigen Methoden der Signalverarbeitung überwacht werden. Eine eingebettete Elektronik ist für den Feldeinsatz elektrochemischer Sensoren unabdingbar. Daher wurde ein eingebettetes Potentiostat entwickelt, das mehrere voltametrische und impedimetrische elektrochemische Methoden implementiert.

Eingebettete Impedanzspektroskopie für Mess- und Sensorlösungen

Die Impedanzspektroskopie gewinnt zunehmend insbesondere in der Feldsensorik an Bedeutung. Diverse cyber-physische Systeme, Sensoren aber auch Materialien oder Kabel können mit Hilfe von Impedanzen auf eingebetteten Systemen charakterisiert, ausgewertet und diagnostiziert werden [9]. Bei der Impedanzspektroskopie wird der Zusammenhang von der komplexen Impedanz in Abhängigkeit der Frequenz eines spezifischen Anregungssignals genutzt, um unterschiedliche frequenzabhängige Phänomene zu untersuchen [10].

Im Hinblick auf die vorschreitende Digitalisierung und die weitere Verbreitung des Messverfahrens, spielt die eingebettete Impedanzspektroskopie für kompakte und insbesondere wirtschaftliche Systemlösungen eine entscheidende Rolle. Hierzu besteht die zentrale Herausforderung darin, die wesentlichen Komponenten der Messmethode eingebettet zu realisieren. Neben der Synthese geeigneter Anregungssignale und der zeitsynchronen Abtastung der Strom- und Spannungsantwort, spielt die Signalverarbeitung mit der Impedanzbe-

rechnung und der Signalinterpretation eine entscheidende Rolle.

Im Bereich der Batteriediagnose, mit dem Ziel der verbesserten Abschätzung des Ladezustands (SOC) und des allgemeinen Zustands (SOH) werden verschiedene Projekte bearbeitet, mit dem Ziel eine eingebetteten Systemlösung zu schaffen. Hierbei ist es notwendig die einzelnen, für das Messverfahren erforderlichen Aspekte, im Detail zu betrachten und an die spezifischen Anforderungen der Messaufgabe anzupassen.

In diesem speziellen Applikationsfeld, elektrochemische Systeme, sind die Phänomene, die mit sehr niedrigen Frequenzen bis in den mHz-Bereich angeregt werden müssen für die Diagnostik besonders wichtig. Die Anregung der elektrochemischen Systeme braucht dabei mehrere Minuten und die Einhaltung der Systemstabilität wird besonders herausfordernd. Deshalb sollen Anregungssignale optimiert werden und auch unter Berücksichtigung der Hardwareperformance speziell synthetisiert werden. Mit dem Konsistenzcheck nach der Kramers Kronig (KK) Methode, die den mathematischen Zusammenhang zwischen Realteil und Imaginärteil einer Impedanz eines stabilen Systems festlegt, können Abweichungen durch das Anregungssignal und die unvollkommenen Versuchsbedingungen ermittelt werden. Hierbei zeigte sich deutlich, dass der klassische „Sinus Sweep", der heute in vielen markterhältlichen Messgeräten als Anregungssignal implementiert ist, insbesondere im niedrigen Frequenzbereich, zu großen Abweichungen führt. Multi-Sinus Signale können dagegen optimiert werden und können damit eine besser Systemstabilität realisieren.

Weitere Beispiele für die eingebettete Umsetzung des Messverfahrens bestehen zum Beispiel in der Detektion von Falschmünzen oder zur Erkennung von Kabeldefekten. Für die Messung werden dabei applikationsspezifische Signalgeneratoren und Messsysteme entwickelt [12], welche abhängig vom Bedarf über die notwendige Genauigkeit, Bandbreite, und dabei über eine angepasste Komplexität verfügen. Basierend auf der Impedanzspektroskopie lassen sich tomographische Verfahren entwickeln [13], die nichtinvasiv eine Impedanzverteilung im medizinischen oder industriellen Bereich als bildgebendes Verfahren messen können.

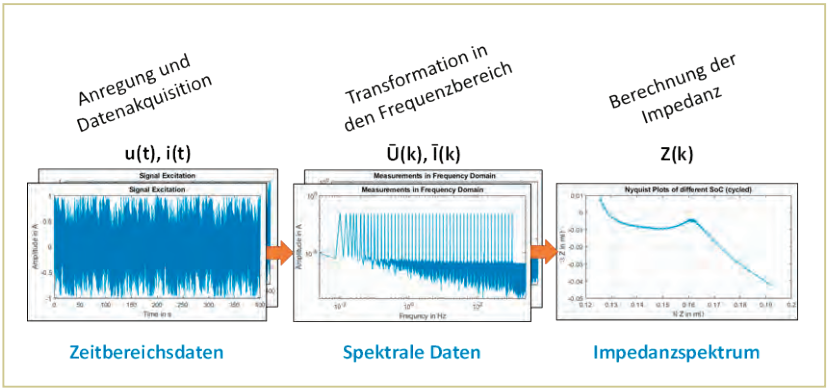


Abb. 3: Darstellung erforderlicher Komponenten der Impedanzspektroskopie

Drahtlose Sensoren für die Digitalisierung

Für die Digitalisierung werden zunehmend autarke drahtlose verteilte Sensoren und Messsysteme benötigt, die an der richtigen Stelle sitzen um die Messgröße direkt zu erfassen, aber keinen Batteriewechsel oder Energieversorgungsleitungen benötigen [14]. Moderne drahtlose Sensorsysteme helfen Zustände zu erfassen und zu verstehen, rechtzeitig zu reagieren oder Trends aufzuzeigen, egal ob für Temperaturmessungen, Vibrationsanalysen, Strahlungsgrößen oder elektrochemische Prozesse. Dafür ist ein verzahntes Zusammenwirken von autarker Energieversorgung durch Energy Harvesting, intelligente Energiemanagementsysteme, drahtlose Energieübertragungssysteme, energiesparende Kommunikationsstrategien sowie effiziente Programmierung von Sensorknoten notwendig. Nach diesen Prinzipien aufgebaute Sensorsysteme können dauerhaft ohne Batteriewechsel oder Laden arbeiten, lassen sich per Funk steuern und neu konfigurieren, die Messdaten sind aus der Ferne abrufbar und ihre Integration in Datenbanken oder Cloud-Systeme lässt sich leicht realisieren. Zukünftig werden solche Systeme unumgänglich sein, um die Handhabbarkeit bei ständig steigendem Informationsbedarf zu gewährleisten.

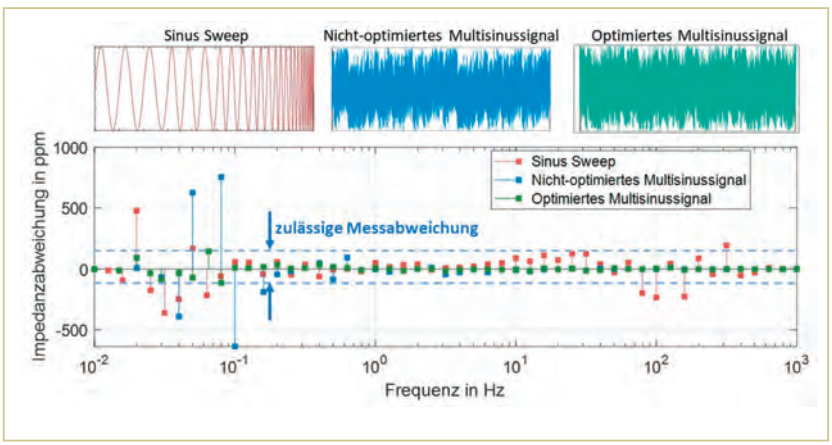


Abb. 4: Optimierung von Anregungssignalen mit logarithmischer Frequenzverteilung für die Anwendung in der Batteriediagnose

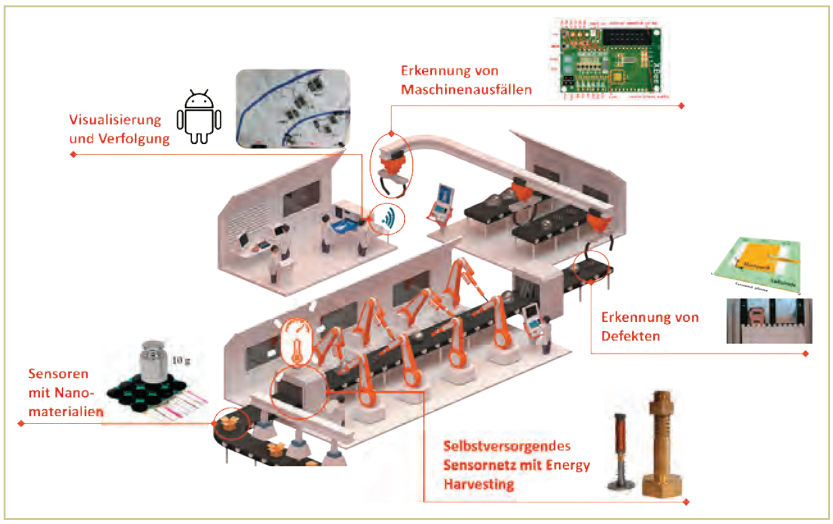


Abb. 5: Die digitalisierte Fabrik: Überwachung, Nachverfolgung, adaptive Steuerung

Drahtlose Energieübertragung und Energy Harvesting sind für zukünftige Sensorsysteme im Bereich Predictive Maintenance von besonderer Bedeutung. Dadurch können mehr Sensoren zum Einsatz kommen und dort platziert werden, wo sie direkt die Messgrößen aufnehmen können. Dies kann in rotierenden Teilen oder im Inneren einer Maschine sein. Dadurch wird der Wartungsbedarf gezielt ermittelt und geplant, sodass beispielsweise das Vibrationsverhalten einer Maschine überwacht und daraus der Zustand von Lagern oder Werkzeug bestimmt wird. Wenn durch Materialabnutzung oder mangelnde Schmierung Amplituden ansteigen oder sich Frequenzen verändern, meldet das Messsystem diese Veränderungen in Echtzeit. Die Wartung kann dadurch besser geplant werden und unnötige Kosten und Ausfallzeiten werden vermeiden.

Mit induktiven Energieübertragungssystemen können die Sensorknoten zudem auch drahtlos mit Energie versorgt werden. In [15] wird ein Energieübertragungssystem vorgestellt, das Energie zu einem Empfängerknoten mit freier Positionierung einkoppeln kann. Die Detektion des Knotens kann dabei direkt über das Spulensystem selbst erfolgen, wodurch eine hohe Effizienz und Übertragungsgüte erreicht wird.

Abb. 6: Entwurfsaspekte von energieautarken drahtlosen Sensorsystemen

Intelligente Sensoren als Wearables

Die Erkennung von menschlichen Aktivitäten hat aufgrund ihrer signifikanten Rolle bei Mensch-Mensch- und Mensch-Roboter-Interaktionen in verschiedenen Bereichen, z. B. in hybriden Gesellschaften, im Gesundheitswesen und in der Industrie 4.0, zunehmend an Bedeutung gewonnen. Diese zielt darauf ab, die von einer Person ausgeführten physischen Aktivitäten auf der Grundlage von diversen Bewegungsüberwachungssystemen zu verfolgen. Dafür werden neuartige Sensorlösungen benötigt, die mit ihren besonderen technischen und ökonomischen Eigenschaften die Digitalisierung unterstützen, basierend auf Kameras oder auf Smart-Wearables-Systeme. Während Kameras aufwendig installiert werden müssen und nicht überall verfügbar sein können, erlauben Smart Wearables eine ständige Verfolgung unabhängig von Installationen. Es können verschiedene physiologische und nicht-physiologische Signale direkt am Menschen aufgezeichnet werden. Unter den relevanten Sensoren sind Inertial Measurement Units (IMU), Elektroenzephalogramm (EEG), Elektromyographie (EMG), Kraftmyographie auf der Basis von Druck- und Dehnungssensoren (FMG), Bioimpedanzmessung sowie Bioimpedanzspektroskopie (BIS) [16] und elektrische Impedanztomographie (EIT) [13]. Intensive Forschung widmet sich dem Verständnis, der Entwicklung und der Integration dieser Sensoren als intelligente Sensorsysteme zur Überwachung von Aktivitäten. Dabei werden verschiedene Aspekte wie Genauigkeit, Sensitivität, Datenübertragung, Rechenleistung, Energieeffizienz und Systemflexibilität analysiert und untersucht, um ein einfachbedienbares, genaues und robustes Aktivitätsüberwachungssystem zu realisieren. In dieser Zielrichtung werden in der Professur MST intelligente Systeme entwickelt, wie z. B. intelligente Einlegesohlen für die Ganganalyse [3] und Energiegewinnung, Multisensorknoten für Body-Attached-Network, EIT-Systeme für die Überwachung von Muskeln [17] und Lunge [13], intelligente Armbänder für die Gestenerkennung auf der Grundlage von Nanokomposit-Drucksensoren [18] und intelligente Handschuhe für die Fingerbewegungserkennung auf der Grundlage von Dehnungs- und Drucksensoren.

Die Gestenerkennung wird im Rahmen des Sonderforschungsbereichs Hybrid Society an der TU-Chemnitz erforscht. Dieser Bereich zielt darauf ab, die Nutzung verkörperter digitaler Technologien im öffentlichen Raum mit den menschlichen Bedürfnissen und Fähigkeiten in Einklang zu bringen und die dafür notwendigen technologischen Innovationen voranzutreiben. Die Erkennung und Vorhersage von Gesten ist dabei von entscheidender Bedeutung, da sie eine wichtige Form der Kommunikation in gemeinsam genutzten öffentlichen Räumen darstellt. Angestrebt ist eine reibungslose Interaktion zwischen intelligenten Agenten wie z. B. Robotern, Drohnen, automatisierten Fahrzeugen. Gesten sind dabei wichtig für die Kommunikation. Es werden neuartige Gestenerkennungssysteme, insbesondere Sensoren und Algorithmen für Body Attached Sensor Networks (BASN), entwickelt.

Zusammenfassung

Die Digitalisierung stellt neue Anforderungen an die Sensorik und treibt sie zugleich voran. Diese sollen zunehmend empfindlicher, flexibler und autarker werden. Mit dem Einsatz von flexiblen Nanokompositsensoren, eine autarke Energieversorgung und intelligenter Messverfahren, lassen sich zukünftig Sensorsysteme realisieren, welche die Grenzen der Informationsgewinnung wesentlich erweitern. Sie schlagen eine Brücke zwischen Erfassung, Verarbeitung und Auswertung von Daten im Sinne smarter IoT Systeme und können für viele Sektoren und Anwendungsbereiche die Basis für einen wirklichen Fortschritt bilden. Reelle Messungen sind besonders wichtig für die Digitalisierung, um Veränderungen rechtzeitig zu erfassen und darauf in geeigneter Weise zu reagieren. Sie sind der analoge feste Bestandteil der Digitalisierung, der die solide Basis vieler interessanten Dienste bietet.

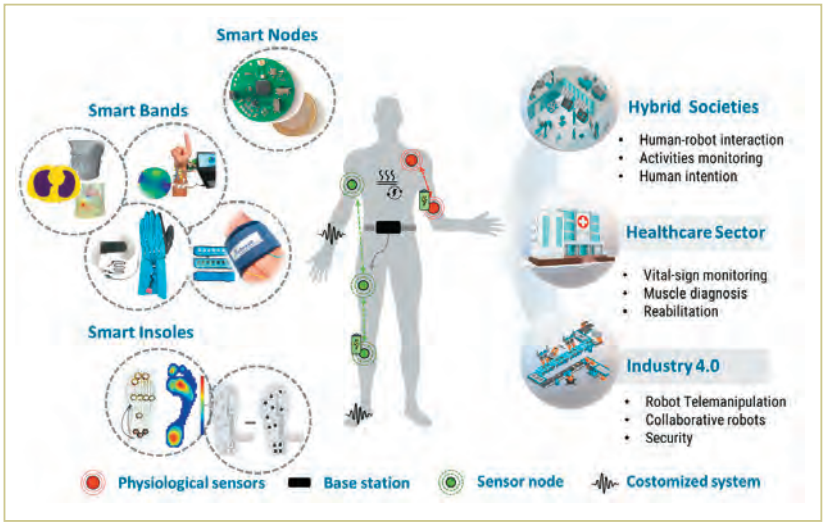


Abb. 7: Überblick zu smart Wearables

Danksagung

Die vorgestellten Lösungen wurden in den letzten 15 Jahren an der Professur Mess- und Sensortechnik (MST) der TU Chemnitz in zahlreichen Projekten mit der Unterstützung von Fördergebern, denen wir hiermit herzlich danken, entwickelt. Wir möchten uns bedanken bei der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG), der europäischen Kommission (EC), dem Sächsische Ministerium für Wissenschaft und Kunst (SMWK), der Sächsische Aufbaubank (SAB), dem Deutsche Akademischen Austauschdienst (DAAD), der Arbeitsgemeinschaft Industrielle Forschung (AIF) und den zahlreichen Industriellen Partnern für Ihre Unterstützung und Ihr Vertrauen.

LITERATUR

1 C. Wang, K. Xia, H. Wang, X. Liang, Z. Yin, Y. Zhang: „Advanced Carbon for Flexible and Wearable Electronics", Adv. Mater. 2019, 31, 1801072

2 O. Kanoun, A. Bouhamed, R. Ramalingame, R. Bautista-Quijano, D. Rajendran, A. Al-Hamry: "Review on conductive polymer/CNTs nanocomposites based flexible and stretchable strain and pressure sensors", Sensors, Volume 21, Issue 2, 2 January 2021, Article number 341, Pages 1-29

3 R. Ramalingame, A. Lakshmanan, F. Müller, U. Thomas, O. Kanoun: „Highly sensitive capacitive pressure sensors for robotic applications based on carbon nanotubes and PDMS polymer nanocomposite", J. Sens. Sens. Syst., 8, 87-94, 2019

4 D. Rajendran; R. Ramalingame, S. Palaniyappan, G. Wagner, O. Kanoun: Flexible Ultra-Thin Nanocomposite Based Piezoresistive Pressure Sensors for Foot Pressure Distribution Measurement. Sensors 2021, 21, 6082. https://doi.org/10.3390/s21186082

5 O. Kanoun, T. Lazarevic-Pašti, I. Pašti, S. Nasraoui, M. Talbi, A. Brahem, A. Adiraju, E. Sheremet, R. D. Rodriguez, M. Ben Ali, A. Al-Hamry: "A review of nanocomposite-modified electrochemical sensors for water quality monitoring", Sensors 2021, 21(12), 4131

6 M. Talbi, A. Al-Hamry, P. R. Teixeira, L. G. Paterno, M. B Ali, O. Kanoun: "Enhanced Nitrite Detection by a Carbon Screen Printed Electrode Modified with Photochemically-Made AuNPs". Chemosensors 2022, 10, 40. https://doi.org/10.3390/chemosensors10020040

7 S. Nasraoui, S. Ameur, A. Al-Hamry, M. Ben Ali, O. Kanoun: "Development of an Efficient Voltammetric Sensor for the Monitoring of 4-Aminophenol Based on Flexible Laser Induced Graphene Electrodes Modified with MWCNT-PANI", Sensors 2022, 22(3), 833.

8 T. Lu, A. Al-Hamry, J.M. Rosolen, Z. Hu, J. Hao, Y. Wang, A. Adiraju, T. Yu, E.Y. Matsubara, O. Kanoun: Flexible impedimetric electronic nose for high-Accurate determination of individual volatile organic compounds by tuning the graphene sensitive properties. Chemosensors 2021, vol. 9, 360.

9 O. Kanoun, A. Y. Kallel, H. Nouri, B. Ben Atitallah, D. Haddad, Z. Hu, M. Talbi, A. Al-Hamry, R. Munjal, F. Wendler, R. Barioul, T. Keutel, A. Mangler: „Impedance Spectroscopy: Applications, Advances and Future Trends," in IEEE Instrumentation & Measurement Magazine, vol. 25, no. 3, pp. 11-21, May 2022, doi: 10.1109/MIM.2022.9759355.

10 O. Kanoun, A. Y. Kallel, A. Fendri: "Measurement Methods for Capacitances in the Range of 1 pF–1 nF: A review", Measurement, 195,111067, 2022

11 A. Y. Kallel, V. Petrychenko, O. Kanoun: "State-of-Health of Li-ion Battery Estimation Based on the Efficiency of the Charge Transfer Extracted from Impedance Spectra", Appl. Sci. 2022, 12(2)

12 A. Y. Kallel, D. Bouchaala, O. Kanoun: "Critical implementation issues of excitation signals for embedded wearable bioimpedance spectroscopy systems with limited resources", Meas. Sci. Technol. 32 (2021) 084011 (14pp)

13 M. Hafsa, B. Ben Atitallah, T. Ben Salah, N. Essoukri Ben Amara, O. Kanoun: „A genetic algorithm for image reconstruction in electrical impedance tomography for gesture recognition" tm - Technisches Messen, vol. 89, no. 5, 2022, pp. 310-327. https://doi.org/10.1515/teme-2021-0126

14 O. Kanoun, S. Khriji, S. Naifar, S. Bradai, G. Bouattour, A. Bouhamed, D. El Houssaini, Ch. Viehweger: "Prospects of Wireless Energy-Aware Sensors for Smart Factories in the Industry 4.0 Era", Electronics 2021, 10(23), 2929

15 G. Bouattour, M. Elhawy, S. Naifar, C. Viehweger, H. Ben Jmaa Derbel, O. Kanoun: "Multiplexed supply of a MISO wireless power transfer system for battery-free wireless sensors", Energies 2020, 13(5), 1244

16 B. Ben Atitallah, A. Y. Kallel, D. Bouchaala, N. Derbel, and O. Kanoun, "Comparative Study of Measurement Methods for Embedded Bioimpedance Spectroscopy Systems," Sensors, vol. 22, no. 15, p. 5801, Aug. 2022, doi: 10.3390/s22155801

17 B. Ben Atitallah, Z. Hu, D. Bouchaala, M. Abrar Hussain; A. Ismail; N. Derbel, Olfa Kanoun: „Hand Sign Recognition System Based on EIT Imaging and Robust CNN Classification," in IEEE Sensors Journal, vol. 22, no. 2, pp. 1729-1737, 15 Jan.15, 2022, doi: 10.1109/JSEN.2021.3130982

18 R. Ramalingame, R. Barioul, X. Li, G. Sanseverino, D. Krumm, S. Odenwald, O.: „ Wearable Smart Band for American Sign Language Recognition with Polymer Carbon Nanocomposite-Based Pressure Sensors," in IEEE Sensors Letters, vol. 5, no. 6, pp. 1-4, June 2021, Art no. 6001204, doi: 10.1109/LSENS.2021.3081689

KONTAKT

TECHNISCHE UNIVERSITÄT CHEMNITZ
Prof. Olfa Kanoun
Reichenhainer Str. 70 / Raum W207
09126 Chemnitz
Tel.: +49 (0)371 531 36931
Olfa.Kanoun@etit.tu-chemnitz.de
http://www.tu-chemnitz.de/etit/messtech

VIBRATION RESEARCH
INNOVATORS IN VIBRATION CONTROL

Vibration Research ist seit mehr als 25 Jahren im Bereich der Regelung für Schwingprüfanlagen tätig und gilt hier als führender Innovator. Wir bieten unseren Kunden ein umfassendes Angebot an hochwertiger Hardware, eine flexible und leistungsstarke Software und einen umfassenden kontinuierlichen Support. Qualität und Präzision sind die Eckpfeiler bei der Entwicklung der Produkte. Die Nutzung neuester Forschungsergebnisse und Technologien sowie ein Team aus kreativen Ingenieuren, Physikern und Technikern mit einer umfangreichen Erfahrung auf dem Gebiet der Signalerfassung, der Signalanalyse und der praktischen Durchführung von Schwingungsprüfungen helfen unseren Kunden, realistische Testszenarien in ihren Entwicklungs- und Testlabors durchzuspielen. In vielen verschiedenen Branchen und Applikationen werden unsere Produkte für die Produktentwicklung und Qualitätssicherung eingesetzt und sind weltweit von internen und externen Testlaboren, Entwicklern und Prüfingenieuren anerkannt. VibrationVIEW ist die innovative flexible und leistungsstarke Software von Vibration Research, die zusammen mit unserer Hardware VR9500 oder MedallionII alle notwendigen Aufgaben bei der Schwingungsprüfung im Labor übernimmt. Ob SINUS, RAUSCHEN, SCHOCK oder die Kombination – Schwingungstests können einfach definiert, problemlos gestartet und sicher überwacht werden. Integriert ist auch ein variables und einfach zu programmierendes Tool für die Berichtserstellung. Es ermöglicht dem Prüfingenieur zu beliebigen Zeitpunkten der Testdurchführung, den Test zu dokumentieren und einen aussagekräftigen Bericht zu erstellen. Prüfungen nach verschiedenen nationalen oder internationalen Normen und Standards als auch anwenderspezifische Anforderungen lassen sich definieren. Innovative und patentierte Softwarelösungen wie iDOF®, FDS, FDR und Kurtosion® bieten Lösungen für anspruchsvolle Aufgaben aus der Industrie. So kann z. B. die Ermüdungsbeanspruchung aus einem gemessenen Zeitsignal mit der zu erwartende Lebensdauer für das Produkt oder Vibrationsprüfungen mit ihren gewählten Testpegeln und Testzeiten verglichen werden. ■

KONTAKT

VIBRATION RESEARCH EUROPE GMBH
www.vibrationresearch.de

VIBRATION RESEARCH
Innovators in Vibration Control

Wir übernehmen die Regelung Ihrer Schwingprüfanlage mit den beiden leistungsstärksten Regelsystemen ihrer Klassen.

VIBRATION RESEARCH

Funktional
- Für die Ansteuerung elektro-dynamischer, piezo-elektrischer oder servo-hydraulischer Schwingprüfsysteme
- Von 1 bis 256 parallelen Eingangskanälen und in beliebigen Stufen zu jeder Zeit erweiterbar
- Fernzugriff und Steuerung der Regelsysteme mit iPad oder Web-Server
- Umfangreiche ActiveX-Bibliothek für die Einbindung in komplexe Prüfstände
- Digitale I/O Schnittstelle zur Steuerung von Prüflingen, einer Klimakammer oder des Schwingprüfsystems

Benutzerfreundlich
- Einfache intuitive Testeingabe und Umsetzung von Prüfprofilen für verschiedenste Anregungsarten
- „Copy and Past" Funktion und Konvertierungsmöglichkeiten für einen schnellen und einfachen Datenaustausch
- Frei konfigurierbare Versuchsberichte über einfache Report und Template Erstellung mit WORD oder EXCEL

Verfügbare Anregungsarten

Telefon: +49 (0)36764 816363 | E-Mail: info@vibrationresearch.de | www.vibrationresearch.de

Die Messtechnik-Messe – The Measurement Fair

SENSOR+TEST 2023

Nachdem die SENSOR+TEST im Jahr 2022 endlich wieder live stattfinden konnte, möchte sie auch in 2023 den gelungenen Neustart fortsetzen. Die international führenden Fachmesse für Sensorik, Mess- und Prüftechnik und wichtigste Plattform für Neuheiten und Trends, öffnet dann vom 9.-11. Mai im Messezentrum Nürnberg ihre Tore. Anbieter, Forscher und Entwickler aus dem Bereich der Sensorik, Mess- und Prüftechnik treffen hier auf Anwender aus nahezu allen Industriebereichen. In den Messehallen finden Experten die gesamte messtechnische Systemkompetenz für die Mess-, Prüf- und Überwachungsaufgaben aller Branchen – vom Sensor bis zur Auswertung. Begleitet wird die SENSOR+TEST als Präsenzmesse von einem interessanten digitalen Angebot. Willkommen zum Innovationsdialog!

Sonderthema „Sensorik und Messtechnik für neue Energien“

Das Sonderthema für 2023 könnte angesichts der jüngsten Entwicklungen aktueller nicht sein: „Sensorik und Messtechnik für neue Energien“. Deren Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit werden mit ihrer wachsenden Bedeutung für die sichere Versorgung von Menschen und Wirtschaft zu unverzichtbaren Grundlagen unseres Lebens. Ob Windparks auf hoher See oder Solarkraftwerke im Wüstensand – immer mehr kleinere Anlagen verteilen sich auf einer immer größeren Fläche. Hohe Ausfallsicherheit, weitgehend autonomer Betrieb und erhöhter Kostendruck stellen die Überwachung von Anlagen und Betriebszuständen vor intensive Herausforderungen. Die Bedeutung intelligenter Mess- und Überwachungstechnologien für das Gesamtkonzept der Energieerzeugung wird daher zukünftig immer bedeutender. Für die Vielzahl neuer Anbieter und Innovationen aus diesem hochinteressanten Bereich sind bereits jetzt eine große Gemeinschaftsfläche und eine kostenlose Vortragsreihe fest eingeplant.

Gemeinschaftsstand Junge innovative Unternehmen

Bereits zum sechzehnten Mal werden junge Unternehmen aus Sensorik, Mess- und Prüftechnik ihre Neuentwicklungen auf dem vom Bundesministerium für Wirtschaft geförderten Gemeinschaftsstand „Innovation made in Germany“ präsentieren. Teilnahmeberechtigt sind junge Unternehmen mit Sitz in Deutschland, die eigene Neuentwicklungen präsentieren möchten.

Fachforen

Auf den zwei traditionellen Foren in der Messehalle präsentieren die Aussteller der SENSOR+TEST 2023 an allen drei Veranstaltungstagen neue Entwicklungen, Produkte und Anwendungsmöglichkeiten.

Auch in den Fachforen werden sich zahlreiche Vorträge mit dem Thema „Sensorik und Messtechnik für neue Energien“ befassen.

Paralleler Kongress

Ihr Fachwissen können Teilnehmer auf dem parallel stattfindenden Kongress vertiefen:
Die internationale Fachkonferenz SMSI 2023 – Sensor and Measurement Science International (**www.smsi-conference.com**) findet zum ersten Mal live in Nürnberg statt. Beginnen wird sie bereits am Vortag der Messe (8. Mai 2022) mit einer Eröffnung und einem ersten Networking für die Teilnehmer, bevor es dann vom 9.–11. Mai 2023 in die drei Themenblöcke „Sensors and Instrumentation“, „Measurement Science“ und „System of Units and Metrological Infrastructure“ geht. Das neue Format vernetzt in Nürnberg nationale und internationale Vertreter aus Forschung, Wissenschaft und Industrie. SMSI bietet eine Plattform für den Austausch der neuesten Forschungsergebnisse. Anbieter wie Anwender werden fundierte Einblicke in zukunftsrelevante Forschungsergebnisse erhalten, die sie dann, nur ein paar Schritte entfernt, auf der SENSOR+TEST mit den Experten der Aussteller und weiteren Teilnehmern diskutieren können.

AMA Innovationspreis

Anlässlich der SENSOR+TEST 2023 verleiht der AMA Verband für Sensorik und Messtechnik wieder den AMA Innovationspreis. Der Preis ist mit einem Preisgeld von 10.000 Euro dotiert und wird für außergewöhnliche anwendungsnahe Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten auf dem Gebiet der Sensorik und Messtechnik vergeben.

SENSOR+TEST digital

Wie bereits in den vergangenen Jahren wird auch die kommende SENSOR+TEST einen großen digitalen Anteil aufweisen. So können sich Besucher und Interessierte rund um das Jahr über die Neuheiten und Technologien der Aussteller informieren – über Newsletter, die Website und über eine durchgängige Präsenz in den Social-Media-Kanälen. Das bietet eine hervorragende Möglichkeit zum ganzjährigen Technologieaustausch rund um die Themen von Sensorik und Messtechnik.

Besucherstruktur

Internationale Experten, Entwickler und Entscheider aus allen Branche, in denen technisch gemessen wird, nutzen die SENSOR+TEST regelmäßig als „Werkzeugkasten“, der sie mit aktuellem Know-How versorgt, um Investitionen vorzubereiten oder zu tätigen.

Weitere Details zur Messe und den begleitenden Veranstaltungen finden Sie unter:

http://www.sensor-test.de

Daten und Fakten:

Datum:
9. – 11. Mai 2023

Ort:
Messegelände

Stadt:
Nürnberg

Veranstalter:
AMA Service GmbH
31515 Wunstorf
+49 5033 9639-0
www.sensor-test.de

THE ICONIC DRUCK IS BACK

When Druck launched the DPI610 series pressure calibrator back in 1997, it was an instant hit. The flagship model of the company's calibrators included seven commercial versions and four intrinsically safe versions. Today, the DPI610E is the latest evolution of the device that was an industry favourite.

The DPI610E handheld pressure calibrator has been designed using the latest advances in pressure measurement technologies, combined with a range of much loved features from the legacy DPI605/610/615 units.

The DPI610E is a battery-powered, self-contained manual pressure calibrator capable of pressure generation, fine control, and loop measurement. Most importantly, it was designed for instrument technicians using input from those working in the field. For instance, input from pressure calibrator users indicated that performance was vital. Druck responded with a form factor that includes an integrated handle that makes manual pumping vastly easier and a quick-fit connector that enables attachment to a device without using tools. The company also redesigned the unit's integrated pump, which requires 40% fewer strokes to simulate inline pressure, enabling technicians to reach larger volumes more quickly.

Druck added other features too that show how deeply they understand the user experience. The user interface (UI) is 100% readable in bright sunlight and low light conditions. The simplified UI features multiple languages, a touch screen usable with gloves, and a snappy processor to keep things moving along nicely.

To drive efficiency into the process chain, Druck incorporated both USB connectivity and optional documenting in the DPI610E. With the ability to create and download procedures and data quickly and easily from the device, paper logs are a thing of the past. In addition, when paired with Druck's Calibration Unified platform, plant managers get an elevated level of insight to proactively do routine maintenance rather than falling victim to unscheduled downtime.

The DPI610E is a self-contained field calibration device that can operate over the 20 bar sweet spot to 35 bar (500 psi / 3.5 MPa) pneumatic pressure, 1000 bar (15000 psi/ 100 MPa) hydraulic pressures and is available in both commercial and intrinsically safe versions. ■

KONTAKT

METIN AKPINAR
Darmstädter Landstraße 116
60598 Frankfurt am Main
Tel.: + 49 (0)172 4930333
Metin.Akpinar@
bakerhughes.com
www.Druck.com

Druck
a Baker Hughes business

DPI610E Series

The iconic Druck is back

Druck's latest addition to the DPI600 Series is now available. The DPI610E has been designed using the latest advances in pressure measurement technologies, combined with a range of much loved features from the legacy DPI605/610/615 units.

The DPI610E retains the iconic handle, the ease of use, and the robust, reliable design of its predecessors, but offers exciting new functionality, including:

- An internal barometer with barometer port for easy calibration
- A fast response touchscreen display with a high contrast, backlit display
- Expanded pressure ranges up to 35 bar (pneumatic) and 1000 bar (hydraulic)
- Enhanced battery life with over 90 hours use from a single, 2 hour charge
- Also available as Intrinsically Safe version

The iconic Druck is back

The design of the DPI610E incorporates all of the best features of the legacy DPI600 family into one efficient unit.

Copyright 2022 Baker Hughes company. All rights reserved.

MITTELS FEUCHTEBESTIMMERWAAGE ZUR PRÄZISEN MESSUNG DER FEUCHTIGKEIT

Der Feuchtegehalt hat einen großen Einfluss auf Qualität, Lagerfähigkeit und Verwendbarkeit von Rohstoffen und anderen Materialien. Auch bei der Preisermittlung von Lebensmitteln muss der Feuchtegehalt berücksichtigt werden. Die neue Feuchtebestimmerwaage PCE-MA 110TS von PCE Instruments bietet eine präzise Bestimmung des Feuchtegehalts für viele verschiedene Bereiche.

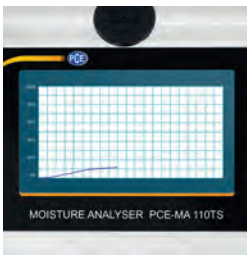


Bild 1

Bild 2

Feuchtebestimmer werden zur Bestimmung von Feuchtigkeit in Materialien oder zur Qualitätssicherung in der Industrie verwendet. Die elektronischen Feuchtebestimmer haben den Vorteil, dass mit ihnen vor Ort schnell und präzise gemessen werden kann.

Die Feuchtebestimmerwaage setzt sich zusammen aus einer Heizkammer mit Halogenleuchten und einer Waage. Durch diese beiden Komponenten ist das Messgerät eine Kombination aus Trockenkammer und Präzisionswaage. Die Heizkammer kann bis zu 165 °C aufgeheizt werden.

Die Feuchtebestimmerwaage ist speziell für geringe Probenmengen ausgelegt, dies hat den Vorteil, dass die Trocknungszeit verkürzt wird und der Feuchtegehalt schneller als im klassischen Darrofen ermittelt werden kann.

Ein großer Vorteil der Feuchtebestimmerwaage ist, dass dieses Messgerät jedes Material messen kann ohne vorher Kennlinien festlegen zu müssen. Das bedeutet, es ist nicht nötig Voreinstellungen für den Feuchtegehalt der verschiedenen Materialien bestimmen zu müssen.

Vor der Trocknung ist es wichtig, die Temperatur an das Material anzupassen. Bei der Temperatureinstellung zur Trocknung kommt es darauf an, wie hoch der Feuchtegehalt der jeweiligen Probe ist.

Bei hohem Feuchtegehalt muss die Heizkammer schneller aufgeheizt werden als bei Proben mit einem niedrigen Feuchtegehalt. Wenn bei diesen Materialien die Heizkammer zu schnell aufgeheizt wird, kann die Probe verkohlen. Oder die Heizkammer wird zu langsam aufgeheizt und dann wird der Trocknungsprozess beendet, obwohl noch Restfeuchte in der Probe enthalten ist. Der Feuchtegehalt kann relativ in Prozent oder absolut in Gramm angegeben werden.

Die Probe wird während des Trocknungsprozesses kontinuierlich gewogen und anschließend wird aus der Gewichtsdifferenz der Anfangsmasse und der Endmasse der Feuchtegehalt bestimmt. Im automatischen Modus wird die Messung beendet, wenn das Gewicht nach einer bestimmten Zeit keine Veränderung mehr aufweist. Der Trocknungsverlauf kann auf dem Touch-Display graphisch dargestellt werden (**Bild 1**). Das Menü der Feuchtebestimmer waage kann auf mehreren Sprachen angezeigt werden, was den internationalen Einsatz dieses Feuchtebestimmers erleichtert.

Eine Besonderheit der Feuchtebestimmerwaage liegt in der PC-Anbindung. Über die RS-232 Schnittstelle kann die Messung auf einen PC übertragen werden und mit der Analysesoftware von PCE Instruments ausgewertet werden (**Bild 2**). ■

KONTAKT

PCE DEUTSCHLAND GMBH
Im Langel 26
59872 Meschede
Tel.: +49 (0)2903 976 99 0
info@pce-instruments.com
www.pce-instruments.com

WIE DIGITALE ANSCHLUSSSTECKER SENSORIK UND MESSGERÄT VERÄNDERN

In der Automatisierung, Prozessindustrie oder Forschung und Entwicklung steht die Messtechnik vor einer Zunahme vielfältiger und komplexer Messaufgaben. Wachsende Datenmengen zu interpretieren wird immer schwieriger. Zudem nehmen Qualitätsstandard, Zertifizierung und Kalibrierung zu. Daneben stehen Kosten und Zeit. Analoge Technologien stoßen hier an ihre Grenzen. Für die Integration erforderlicher Messwerte in Datenverarbeitungssysteme ist die Digitalisierung zu erfassender Messwerte daher unerlässlich.

Um Sensoren beliebiger Hersteller zu digitalisieren und an flexible Datenlogger anzuschließen, hat AHLBORN eine Messtechnik entwickelt, die sich auf den Anschlussstecker konzentriert. Durch Verwendung leistungsfähiger Mikroprozessoren werden über die intelligenten Stecker autarke, digitale Fühler geschaffen, die selbst wie ein Messgerät funktionieren. Die Konfiguration ist denkbar einfach und wird über das geräteseitige Sensormenü oder eine kostenlose Konfigurationssoftware vorgenommen. Vorteile der neuen Technologie sind neben der Anbindung unterschiedlichster Sensoren die digitale Signalübertragung, beliebige Kabellängen und austauschbare Sensoren ohne Verlust von Kalibrierdaten. Zudem können individuelle Parameter wie Skalierung, Dämpfung, Mittelwertbildung, Messrate oder längere Kommentare im Anschlussstecker gespeichert werden. Jeder Stecker bietet Platz für 10 Mess- und Rechenkanäle. Die Darstellungsbereiche im Gerät können auf

200.000 Digits erweitert werden. Die Sensoren sind beliebig tauschbar und erweitern die Anwendungsmöglichkeiten der Messgeräte um ein Vielfaches. Eine komplexe Messsoftware erledigt die Auswertung und Protokollierung der Messdaten. Systemintegration, Fernabfrage und Online-Monitoring sind ebenso möglich. ■

KONTAKT

AHLBORN MESS- UND REGELUNGSTECHNIK GMBH
Eichenfeldstraße 1
83607 Holzkirchen
Tel.: +49 (0)8024 300 70
info@ahlborn.com
www.ahlborn.com

BATTERIEMESSMODUL FÜR AUTOMATISIERTE FERTIGUNGSPRÜFUNG

Leistungsfähige und sichere Batteriezellen durch 100 % Inlinekontrolle

Matthias Bodemer

Abb. 1: 100 % Inlinemessung in der Akkufertigung per Highspeed-Messung mit dem Batteriemessmodul 2511, wahlweise mit oder ohne Display (Urheber: burster)

Der Zusammenschluss mehrerer gleicher Akkuzellen zu einem Batterieverbund birgt dieselben Herausforderungen wie bei der Kette, die bekanntlich nur so stark ist wie ihr schwächstes Glied. Bei der Serienfertigung von Akkus für E-Mobilität, Großspeicher, Kommunikationselektronik oder Flurfahrzeuge müssen daher zum Teil zigtausende Zellen in höchster Geschwindigkeit und Präzision einzeln getestet werden. Nur Zellen gleicher Leistung dürfen für optimale Speicher- und Lebensdauer zur Erreichung höchster Qualitätsanforderungen zusammengefügt werden. Die Messtechnik-Spezialisten von burster bieten jetzt für die Serienfertigung ein neues, feldbusfähiges Highspeed-Batteriemessmodul zur automatischen Fertigungsprüfung von Hochleistungs-Batteriemodulen und Batteriepacks aus runden, prismatischen oder Pouchzellen.

Das kompakte Modul 2511 eignet sich für den Einsatz in rauer Industrieumgebung direkt an der Fertigungslinie und ist für Ein- oder Mehrkanalbetrieb ausgelegt. In nur wenigen Millisekunden kann das All-in-One-Gerät bis zu fünf Einzelzellen gleichzeitig testen und mittels AC- und DC-Innenwiderstandsmessung und Messung der Batteriespannung signifikante Batterieparameter ermitteln und bewerten. Eine intuitive PC-Software zur Parametrierung und Konfiguration via Ethernet/USB erlaubt flexible Mess- und Bewertungsmodi für eine 100 % Inline Prüfung in der Serienfertigung.

Abb. 2: Batteriemesstechnikgeräte: Highspeed-Batteriemessmodul 2511 sowie der Batteriecontroller 2550 und der Batterietester 2560 (Urheber: burster)

Prüfparameter anpassen

Das Batteriemessmodul 2511 bestimmt unterschiedliche elektrische Parameter per Vierleiter-Messmethode in höchster Präzision. Die Parameter lassen sich dann zu spezifischen Prüfprogrammen zusammenstellen. Dabei wird die Impedanzmessung typischerweise bei 1 kHz vorgenommen, wahlweise sind auch die Bereiche 1 Hz, 20 Hz und 100 Hz zusätzlich möglich. Der Widerstandsmessbereich beträgt 0 bis 10 mOhm, 0 bis 30 mOhm bzw. 0 bis 100 mOhm; die Leerlauf- und Modulspannungsmessung umfasst die Bereiche 0 bis 5 VDC und 0 bis 60 VDC. Die Temperatur kann im Bereich von -40 bis +80 °C gemessen werden. Akkus und Batteriepacks lassen sich bei Bedarf also auch unter Extrembedingungen testen. Verschiedene Gehäuse und Montagevarianten erlauben die flexible Integration der IP54 Module in praktisch jede Fertigung via Profinet.

Für eine intensive Qualitätskontrolle oder die Fehlersuche z. B. in der Entwicklung, stehen mit dem Batteriecontroller 2550 oder dem Batterietester 2560 weitere Messmodule zur Verfügung.

Alle Komponenten sind kompatibel mit bewährten burster Produkten. Von der gesamten Bandbreite hochpräziser Sensoren, über RESISTOMAT Widerstandsmessgeräte, Messverstärker/Feldbuscontroller bis hin zu DIGIFORCE Auswerteeinheiten ist das Gesamtprogramm für die Batteriemesstechnik perfekt aufeinander abgestimmt und liefert hochgenaue Messergebnisse innerhalb kürzester Taktzeiten.

Über burster

Ob messtechnische Einzelkomponenten oder Systemlösungen, burster beliefert schwerpunktmäßig Anwender im Maschinen- und Anlagenbau, in der Automation, im Automobilbau mit Zulieferindustrie, in Elektrotechnik, Elektronik- und der Chemiebranche. Das Portfolio umfasst Mess- und Prüfgeräte sowie Standardsensoren für mechanische und elektrische Messgrößen, wie z. B. Kraft-, Druck-, Drehmoment- und Wegsensoren und Milli- bzw. Megohmmeter oder Widerstandsdekaden. Daneben sind individuelle, kundenspezifische OEM-Lösungen möglich, z. B. auch für viele andere Branchen und Zukunftsmärkte wie Medizintechnik und Biotechnologie. Die langjährige Erfahrung im Bau von messtechnischen Geräten und Sensoren garantiert immer optimale Lösungen. Vom Entwicklungs- und Produktionsstandort Deutschland aus gehen Sensoren, Verstärker- und Transmittermodule, Präzisionsmessgeräte und Messsysteme zur Sensorsignalverarbeitung an Kunden in aller Welt.

KONTAKT

burster präzisionsmesstechnik gmbh & co. kg
Talstr. 1 – 5, D-76593 Gernsbach
E-Mail: info@burster.de
Tel.: +49 (0) 7224 645-0
www.burster.de

mesago
sps
Save the date
14. – 16.11.2023
32. Internationale Fachmesse
der industriellen Automation
Nürnberg, Deutschland
Messe Frankfurt Group

LASER-MADE SOLUTIONS – PRÄZISIONSBAUTEILE AUS SONDERMATERIALIEN

Je filigraner ein Layout und je empfindlicher ein Werkstoff ist, desto höher sind die Anforderungen an die Herstellung des jeweiligen Produktes. Hier sind langjähriges Know-how und die richtige Technologie gefragt. Die LCP Laser-Cut-Processing GmbH bietet mit der Fertigung individueller und anspruchsvoller Fein- und Mikropräzisionsbauteile für vielfältige Anwendungen der Elektronikbranche die passende Lösung.

In den Bereichen Sensorik & Systeme, Leistungselektronik, Feinmechanik & Gerätebau sowie E-Mobilität & Energie stehen wir unseren Kunden als verlässlicher Fertigungsdienstleister und agiler Entwicklungspartner zur Seite. Von der Beratung über das Prototyping bis hin zur Serienfertigung begleiten wir unsere Kunden entlang der gesamten Prozesskette.

Dabei haben wir uns auf die Laserfeinbearbeitung von Sondermaterialien spezialisiert. Die Bandbreite reicht von Hochleistungskeramik (Al2O3, AlN, SiN, SiC, 3YSZ) über Glas- und Siliziumwafer bis hin zu organischem Leiterplattenmaterial.

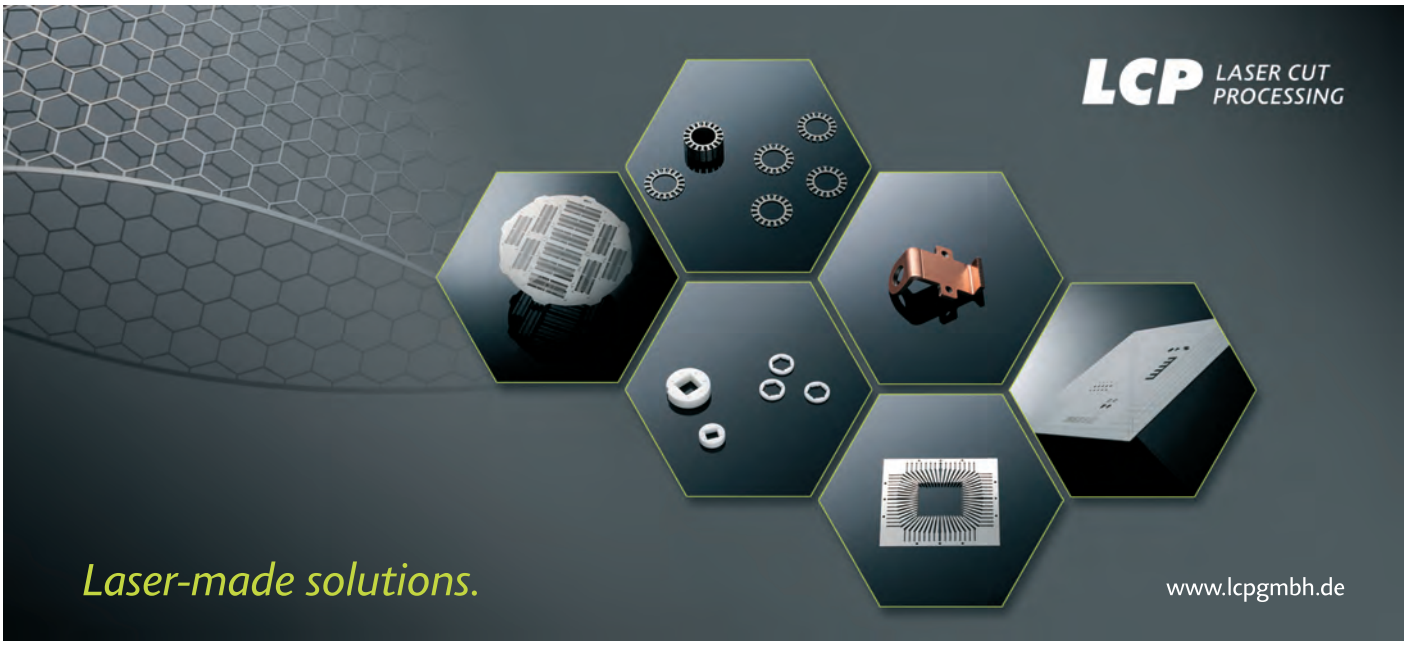
Ebenso fertigen wir aus Edel- und Federstahl, Aluminium, Titan oder Kupferlegierungen Kontaktelemente, Lead Frames, Heat Sinks oder Heat Spreader für elektrische Schaltungen. Spezifische Layouts werden mittels Laserscriben, -bohren sowie -strukturieren (bspw. durch UKP-Bearbeitung) oder Wafer Dicing umgesetzt. Außerdem stellen wir Fertigungshilfsmittel wie Stütz- oder Sputtermasken, Niederhalter, Vakuummatrizen und Metallschablonen aller Art her.

Spezielle Kundenanforderungen können wir in unserem Laseranwendungszentrum dank eigenem Gerätebau und angepasster Automatisierungslösungen präzise und individuell realisieren. Mit unserem starken F&E-Bereich treiben wir zukünftige Entwicklungen selbst voran und bleiben durch Kooperationen mit Hochschulen und Forschungseinrichtung stets „up to date".

Seit über 25 Jahren vertrauen Kunden auf unsere Kompetenz in der Lasermaterialbearbeitung. Gern unterstützen wir auch Sie bei der Realisierung Ihrer anspruchsvollen Projekte. ■

KONTAKT

LCP LASER-CUT-PROCESSING GMBH
Heinrich-Hertz-Str. 16
07629 Hermsdorf
Tel.: +49 (0)36601 9327-0
vertrieb@lcpgmbh.de
www.lcpgmbh.de



STRATEGISCHE PARTNERSCHAFT SENSORIK E.V. (SPS)/CLUSTER SENSORIK

Strategische Partnerschaft Sensorik e.V. ist mehr als nur Netzwerken:
Technologieentwicklung interdisziplinär und crosssektoral

Strategische Partnerschaft Sensorik

„Intelligent Sensor Systems made in Bavaria" – das ist das gemeinsame Ziel der rund 80 Mitglieder des bayerischen Sensorik-Netzwerks. International führenden, hoch innovativen Unternehmen und Institutionen gibt die Strategische Partnerschaft Sensorik e.V. (SPS) hierfür ein Dach. Seit über 15 Jahren bündelt das regionale Netzwerk die bayerische Sensorik-Kompetenz im Auftrag des Freistaats Bayern als Cluster Sensorik. Zahlreiche Partner aus Wirtschaft, Wissenschaft und Politik sind wichtige ergänzende Schnittstellen hin zu anderen Technologien, Branchen und Sektoren. Das Netzwerkmanagement konzentriert sich aktuell in der Zusammenarbeit mit Mitgliedern und Partnern auch auf interdisziplinäre und crosssektorale Ansätze, hier liegt hohes Potenzial für neue nachhaltige, technologiebasierte Lösungen, die helfen, Herausforderungen mit gesamtgesellschaftlicher Relevanz zu bewältigen. Leitlinien für ein technologisches Roadmapping und politische Handlungsempfehlungen liefert das Netzwerk in Form von wissenschaftlichen Studien sowie quantitativen und qualitativen Analysen.

„Intelligent Sensor Systems made in Bavaria" lautet das Motto bei der gemeinsamen Entwicklung innovativer, international wettbewerbsfähiger Geschäftsmodelle, Produkte und Services. Das Sensorik-Netzwerk ist ein „One-Stop-Shop" für Unternehmen: Statt trendgetriebener Einzelangebote bietet das Netzwerkmanagement seinen Mitgliedern ein Gesamtpaket in den Bereichen Netzwerken, Marketing, Technologieentwicklung sowie Organisations- und Personalentwicklung. Es unterstützt zudem bei der Akquise von Fördermitteln und berät, begleitet und arbeitet an technologischer Innovation aktiv mit. Das Netzwerkmanagement hat so bereits über 200 Innovationsprojekte im Bereich Sensorik mit einem Volumen von über 50 Millionen Euro zwischen den Netzwerk-Akteuren initiiert. Technisches Fachwissen trifft hierfür auf Netzwerk-Know-how in der Regensburger Geschäftsstelle: Die Expertise der 100%igen Tochter Sensorik-Bayern GmbH als langjähriger Forschungs- und Entwicklungspartner schätzen und nutzen die Mitglieder: In sämtlichen Bereichen der Sensortechnologien wie auch bei der Entwicklung von Elektronikhardware, Firmware und Prototypenserien sowie der Miniaturisierung und Optimierung bestehender Systeme stellt die Sensorik-Bayern GmbH für sie eine zusätzliche Ressource dar. Aktivitäten finanziert das Sensorik-Netzwerk durch Fördermittel der Cluster-Offensive Bayern des Bayerischen Wirtschaftsministeriums, Vereinsbeiträge der Netzwerk-Mitglieder und weiteren Fördergelder aus Projekten auf Landes-, Bundes- und EU-Ebene.

Netzwerken – Plattform für Wirtschaft, Wissenschaft und Politik

Rund 200 Veranstaltungen pro Jahr sprechen für einen lebendigen und konstruktiven Austausch von Wirtschaft, Wissenschaft und Politik unter dem Dach des Sensorik-Netzwerks. Branchenspezifische Insights tauschen die Sensorik-Experten u.a. in den Technologieforen, Praxisvorträgen und Exkursionen aus, vertiefen sie in Arbeitskreisen. In Seminar- und Workshopeinheiten vermittelt das Netzwerk technologiespezifisches und fachübergreifendes Fachwissen. Besonderes Gewicht liegt dabei auf dem Austausch von „Praktiker zu Praktiker" – aktiv können sich Unternehmen in der Learning Community im Netzwerk engagieren. Die jährliche Sensorik Summer School beleuchtet in einer dreitägigen Rundreise nicht nur fachliche Highlights aus dem Netzwerk, sondern dient Mitgliedern auch dazu, Beschäftigungsmöglichkeiten zu präsentieren und direkten Zugang zu neuen Fachkräften oder auch interessierten Quereinsteigern zu erhalten. Der Sensorik-Fachkräftepool bietet ergänzend hierzu Unternehmen die Möglichkeit, sich als attraktiver Arbeitgeber zu präsentieren.

Als Sprachrohr der Branche betreibt das Netzwerkmanagement nachhaltige Öffentlichkeitsarbeit und stärkt die Außenwahrnehmung der bayerischen Sensorik-Akteure auf Landes-, Bundes- und internationaler Ebene u.a. bei Kongressen, Messen oder Delegationsreisen. Mit einem großen Gemeinschaftsstand zeigt sich das Netzwerk auf der Messe SENSOR+TEST der internationalen Sensorik-Fachwelt. Regelmäßig erfährt das gesamte Bundesgebiet durch das monatlich erscheinende Sensorik-Magazin sowie in sozialen Medien aktuelle Informationen über Hightech-Produkte und Innovationen aus dem bayerischen Netzwerk.

Cluster als beratende Partner und Impulsgeber sind seit jeher ein strategischer Lösungsansatz, die Lern- und Innovationsfähigkeit von KMU zu fördern. Im Cluster Sensorik greifen Servicestel-

len spezifische Themen auf wie Nachhaltigkeitsmanagement, Digitales Lernen oder auch die Entwicklung datengetriebener Geschäftsmodelle (Data-Driven Business). Dieser Ansatz wurde auch auf Bundesebene – u.a. mit dem deutschen Personalwirtschaftspreis – honoriert. Auch im Bereich Organisations- und Personalentwicklung repräsentiert die SPS ihre Mitglieder bundesweit durch das Engagement in verschiedenen überregionalen Arbeitsgruppen, Think Tanks und Initiativen des Bundes wie auch des Landes, z.B. in der Bavarian Chips Alliance.

Cross-Cluster-Kollaborationen: Innovationsmanagement, Entwicklung von Sensoren und Sensorsystemen und Transformationsbegleitung

Sensorik als Querschnittstechnologie und Enabler in zahlreichen Bereichen bietet sich als gemeinsames Dach für Akteure der gesamten Wertschöpfungskette an. Der Aspekt „Nachhaltigkeit" ist mittlerweile in diesem Kontext und auch bei allen Cross-Cluster-Kollaborationen nicht mehr wegzudenken. Ressourcenschonendes und -effizientes Wirtschaften thematisiert das Netzwerk in Workshops und Impulsvorträgen wie auch Projekten. Die Awareness förderte u.a. bereits 2021 die Teilnahme an der Initiative **„Towards Green Transition"** der European Cluster Collaboration Platform (ECCP).

Leiterplatten neu gedacht: biobasiert, biologisch abbaubar, individuell anpassbar

Die Notwendigkeit für einen bewussten Umgang mit Ressourcen zeigten auch die Ergebnisse der breit angelegten Trendstudie **„DiviSs – Digitalisierung via intelligenter Sensorsysteme"** (2019/2020). Als Querschnittstechnologie muss die Sensorik zwingend in den Austausch mit anderen Sektoren gehen. Insbesondere in der Anwendung von Methoden der künstlichen Intelligenz im und am Sensor liegt hohes Potenzial. Sensorik ermöglicht daher die Etablierung neuer Geschäftsmodelle und eine Entwicklung der Unternehmen weg vom Hardware-, hin zum Informationslieferanten. Ressourcen können insbesondere im Hinblick auf die Miniaturisierung und Recyclingfähigkeit von Leiterplatten geschont werden. Elektroschrott verzeichnet schließlich aktuell die größte Zunahme am weltweiten Müllaufkommen.

Im Projekt **NextGenPCB** setzten die beiden bayerischen Cluster Sensorik und Neue Werkstoffe die Gedanken der bayerischen Bioökonomiestrategie operativ um mit dem Ziel, eine neue Generation von Leiterplatten zu realisieren. Deren mögliche Charakteristika: biobasiert bzw. biologisch abbaubar, individuell anpassbar bzgl. ihrer elektrischen sowie mechanischen Eigenschaften. Nicht nur die Natur dankt, damit können sich bayerische Material-, Leiterplatten- und Sensorikanbieter auch weltweit Wettbewerbsvorteile verschaffen.

„Data-driven Business" – Datenressourcen effizienter nutzen

Auch Daten sind Ressourcen und Datenmanagement braucht Ressourcen. Unternehmen im Cluster Sensorik integrieren neue Tools und Methoden für eine digitale Transformation in ihre Strukturen, sind dabei aber mit dem Problem konfrontiert, – oft wahllos gesammelte – Daten aufzubereiten. Nur wenn Daten zu Informationen werden, kann neue Wertschöpfung entstehen: „Data-driven Business" sichert im stark preisgetriebenen Bereich der Sensorik weiterhin eine erfolgreiche Positionierung auf dem Weltmarkt. Der Einsatz künstlicher Intelligenz ist hier unumgänglich, erfordert als Querschnittstechnologie jedoch gemeinschaftliche Konzepte. Bereits seit 2020 arbeitet

die Strategische Partnerschaft Sensorik e.V. mit dem Cluster Mobility & Logistics Regensburg, dem IT Sicherheitscluster e.V. und der BioPark Regensburg GmbH daher in der gemeinsamen KI-Initiative AIR (Artificial Intelligence Regensburg) zusammen für die Entwicklung eines cluster- und domänenübergreifenden Serviceportfolios „goAIR – Artificial Intelligence Regensburg“. Mit Hilfe von Fördermitteln aus dem Programm „goCluster“ ist die neue Servicestelle „Data-driven Business“ entstanden. Ergänzende Weiterbildungsangebote helfen Unternehmen, die Lücke zwischen betrieblicher Anforderung und Qualifikation zu schließen und dem Cluster einen unmittelbaren Zugang zur Zielgruppe zu eröffnen.

Smart Composites: Material meets Sensorik

Die Expertise aus den Welten Materialien und Sensorik hat die SPS mit dem bayerischen Cluster MAI Carbon im Cross-Cluster-Projekt „Smart Composites“ im Jahr 2022 gebündelt. Sensorik kann mittlerweile einfach in die Faserverbundwerkstoffe integriert werden; so lassen sich Daten erfassen – smarte Materialien für eine digitale und intelligente Welt entstehen. Die Integration neuer und leistungsfähigerer Sensorik in die Produktionsprozesse für Faserverbundwerkstoffe reduziert Kosten und steigert die Wettbewerbsfähigkeit dieser Materialien.

Transformationsbegleitung: Wandel der Fahrzeugindustrie und Zulieferer hin zur Elektromobilität

Die bayerische Automobilindustrie ist mit rund 350.000 Beschäftigten eine Schlüsselindustrie für Beschäftigung, Wachstum und Innovation. Gerade bei kleinen und mittleren Unternehmen reichen Kapazitäten aktuell nicht aus, sich für den Wandel hin zur Elektromobilität eigenständig fit zu machen, die künftig erforderlichen Qualifikationen – soweit sie überhaupt schon bekannt sind – durch interne Weiterbildungsangebote zu erwerben. Bei diesem Wandel begleitet das Netzwerk mit dem Cluster Mobility & Logistics; „transform.r“ lautet der Name des gemeinsamen Projekts (gefördert vom BMWK). Den spezifischen Fachkräftebedarf der KMU-geprägten Region adressieren die beiden Cluster mit einem breiten Spektrum: von Seminarreihen, Fachforen und Arbeitskreisen, neuen Angeboten zur Vernetzung und Förderung von Kooperationsprojekten bis hin zum Wissens- und Technologietransfer. Die beiden Cluster etablieren zudem u.a. ein Forum zur Förderung eines Strategiedialogs unter Vertretern und Akteuren der regionalen Automobilwirtschaft, Arbeitnehmer- und Arbeitgeberverbänden. Für ihre Region erarbeiten die beiden Cluster zudem mit den Unternehmen ein gemeinsames Zielbild.

Gemeinsame Technologieentwicklung in Forschungsprojekten

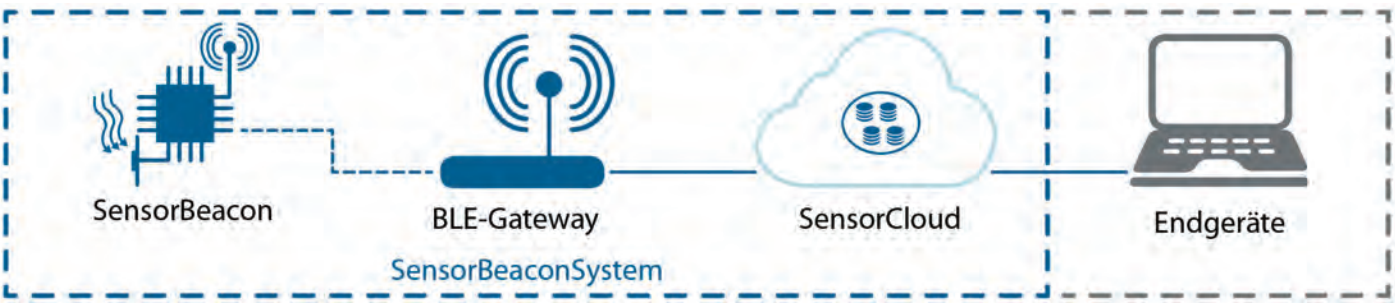
Die Sensorik-Bayern GmbH, 100%ige Tochter der Strategischen Partnerschaft Sensorik e.V., treibt Forschung und Entwicklung aktiv voran im Sensorik-Netzwerk. Mehrere gemeinsame Projekte mit Netzwerkmitgliedern sind ein guter Beleg dafür, wie Hightech-Innovation gelingen kann.

Entstanden ist u.a. das SensorBeacon-System (SBS): Datenerfassung mittels miniaturisierter, batteriebetriebener Ultra-Low-Power-Funksensor-Beacons, Datenverarbeitung und Weiterleitung durch Gateways zur Ablage der Daten in einer Sensor-Cloud sowie die Weiterverarbeitung mittels anwendungs- und kundenspezifischer Apps in der Cloud (Cloud Computing). Somit ist es möglich, via Webservices und Webapplikationen die Daten plattformunabhängig im Browser zu nutzen. Durch die Verwendung des Ultra-Low-Power-Funkstandards Bluetooth Low Energy (BLE) sowie eines optimierten Messdatenerfas-

sungs- und Datenübertragungskonzeptes können Batterielebenszeiten von über fünf Jahren erreicht werden. Einsatzfelder waren bereits die Überwachung von Kühltruhen, das Umweltmonitoring in Lagerstätten sowie die Erfassung von maschinennahen Umgebungsbedingungen. In Kombination von IIoT mit „klassischer" industrieller Messtechnik zur Maschinenüberwachung, also zur Erweiterung des Parameterraums für Machine Learning und Data Analytics, erwies sich das System als besonders effizient.

Hochleistungsfähige Mikroelektronik in Kombination mit Sensorik und eingebetteter Software sammelt und verarbeitet Prozessdaten in Industrieanlagen mit dem Ziel einer umfassenden Digitalisierung von Produktionsprozessen und Betriebsabläufen. Das BMBF-geförderte Projekt **„SiEvEI 4.0 – Sichere und intelligente Elektroniksysteme für vertrauenswürdige Elektronikprodukte in Industrie 4.0"** sorgt für den Brückenschlag von klassischer Sensorik zu KI-basierten, sicherheitsrelevanten und vertrauenswürdigen Elektroniksystemen, die dann u.a. im Bereich der kritischen Infrastruktur, für hochautomatisiertes Fahren oder auch zur Absicherung von Fertigungsumgebungen zum Einsatz kommen können.

Umwelt- und Fertigungsdaten wie Temperatur, Betriebsgeräusche von Anlagen und Maschinen, Luftfeuchte oder auch -qualität lokal erheben, mittels künstlicher Intelligenz (KI) verarbeiten, bewerten und im Abgleich mit Qualitäts- und Produktivitätsparametern auch in verschiedenen verteilten Fertigungen zu optimieren und zu verfolgen, das gibt es noch nicht. Es wäre jedoch ein Gamechanger: Komponenten- und Technologieanbieter, Systemintegratoren, sogar Endanwender erhielten zusätzliche Informationen und Transparenz. Das Projekt **AdaPEdge** (Förderung durch das BMBF) wagt den Schritt von der „Fertigung 4.0" zur „Fertigung 4.0++" und verspricht mehr Resilienz und Produktivität. Minderwertige oder gefälschte Materialien sollen detektierbar, Störungen im Verlauf der gesamten Wertschöpfungskette transparent und der Produktionsprozess kontinuierlich angepasst werden können. Zum Einsatz kommt auch die offene Architektur RISC-V, die nicht nur einen Einsatz in allen Bereichen der Industrie ermöglicht, sondern für Deutschland auch hohes wirtschaftliches Potenzial mit sich bringt. Die Sensorik-Bayern GmbH entwickelt hierfür ein Sensor-Mesh. Die Secure Smart Sub-Edge Modules (S³EM) erfassen und verdichten KI-basiert frei verfügbare Daten.



Bionic RoboSkin – modulare sensorische Oberflächen für die Robotik unter rauen Umgebungsbedingungen

Inspiration für eine weitere neue technologische Lösung lieferte das Tierreich dem Projekt **Bionic RoboSkin** (Förderung im BMBF-Programm „Elektronik- und Sensorsysteme für neuartige Robotikanwendungen (SensoRob)"). Teilautonome Robotersysteme können in Regionen, die für den Menschen schwer oder nur unter Gefahren erreichbar sind, nützliche Dienste leisten. Sind die Systeme entsprechend robust, können sie unter Wasser oder in Umgebungen mit besonders rauen Bedingungen zum Einsatz kommen und wertvolle Daten liefern, u.a. mittels Magnetfeldmessungen metallische Strukturen wie Seekabel, Versorgungsleitungen und Munition aufspüren und kartographieren. Das Konsortium – bestehend aus sechs Partnern aus dem Bundesgebiet – hat eine neuartige dreidimensional-flexible Sensorhaut, die „Bionic RoboSkin", als Kernelement einer Roboterplattform entwickelt. Auf dem textilen Träger werden neben feuchtigkeitsbeständigen elektrischen Verbindungen für Energieversorgung und Kommunikation auch eingewebte Sensorstrukturen realisiert. Verschiedene weitere Sensoren des autonomen Serviceroboters werden in Form hochkompakter Module auf den textilen Träger montiert.

Das Projekt **Deep Sea Protection** verarbeitet die Ergebnisse aus RoboSkin: Hier wird ein multisensorisches Monitoringsystem für den produktionsbegleitenden Umweltschutz beim Tiefseebergbau entwickelt, aufgebaut und getestet. Es ermöglicht die operative Erhebung und feinskalige Verifizierung von geologischen und topographischen Daten, detaillierte Analysen zur Rohstoffverteilung und zugleich die nähere, aktuelle Untersuchung der Tiefseeökologie. Mit dem Sensordatenaggregationsmodul der Sensorik-Bayern GmbH lassen sich sensorische und telemetrische Daten der Multiparametersonden zusammenführen. Es umfasst die Anbindung an die jeweiligen Komponenten der sogenannten „Tiefsee-Kalmare" – also des intelligenten Bodennetzwerks in Form von kleinen Wasserfahrzeugen –, die Rohdatenprozessierung und Ergebnisdatenübertragung in die Sensor-Cloud der Sensorik-Bayern GmbH, die sich schon in anderen Einsatzszenarien bewährt hat.

Blick in die Zukunft – Impulse für die nächste technologische Revolution

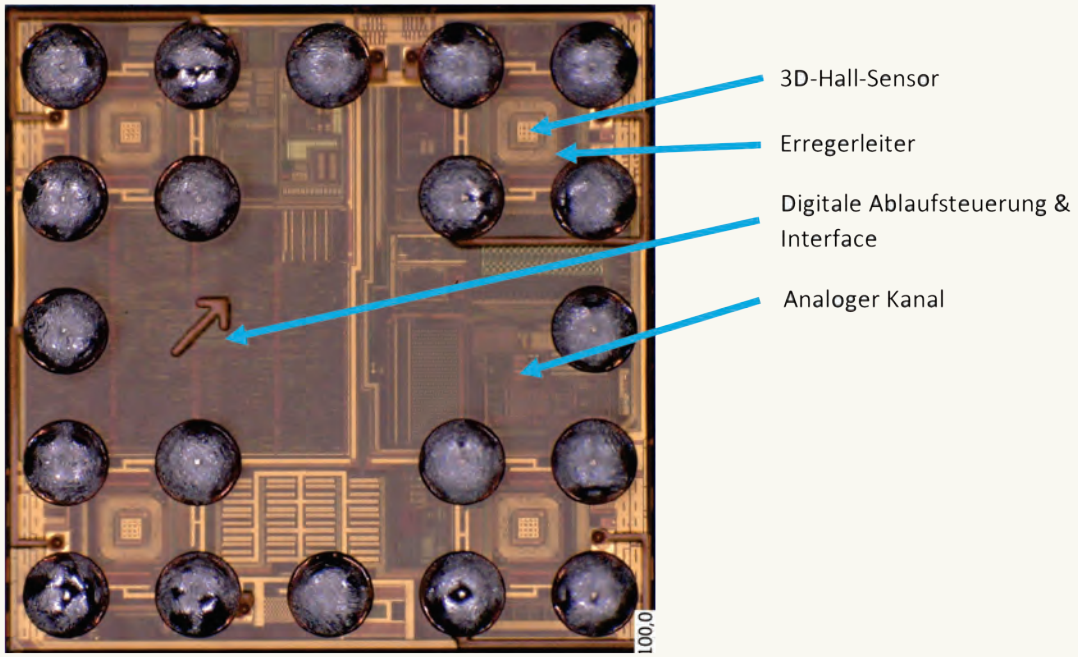
Der Erfolg des Netzwerks beruht auf gegenseitiger Wertschätzung und dem Vertrauen zwischen den beteiligten Akteuren. Der regelmäßige persönliche Kontakt zu Mitgliedern ist nicht nur essenziell für den Aufbau von Vertrauen, sondern auch die wertvollste Informationsquelle des Clustermanagements für ein Leistungsportfolio, das Bedarfe der Mitglieder und der Branche adressiert. Anerkennung finden die Aktivitäten des Sensorik-Netzwerks auch über die Grenzen Bayerns hinaus in einer Vielzahl von Auszeichnungen. Regelmäßig belegt das Netzwerk bei der Evaluierung der bayerischen Cluster eine der Bestplatzierungen. Das Bundesministerium für Arbeit und Soziales prämierte die SPS u.a. als „Innovatives Netzwerk 2014", seit 2015 trägt das bayerische Netzwerk das „Silver Label" der European Cluster Excellence Initiative (ECEI).

Sensorik-Bayern GmbH

KONTAKT

STRATEGISCHE PARTNERSCHAFT SENSORIK E.V.
Stefanie Fuchs, Mathias Streller
Franz-Mayer-Straße 1, 93053 Regensburg
Tel.: +49 (0)941 630916-13, s.fuchs1@sensorik-bayern.de
www.sensorik-bayern.de

HALLINONE® – MEHRDIMENSIONALE HALL-SENSOREN FÜR ANSPRUCHSVOLLE ANWENDUNGEN



FH3D04, Hall-Sensor mit vier 3D-Hall-Elementen
© Gerhard Tischlinger

HallinOne® steht heute für zwei Jahrzehnte Erfahrung mit dreidimensionalen Hall-Sensoren. Um den ursprünglichen 3D-Hall-Sensor von einst ist mittlerweile ein breites Ökosystem entstanden. Angefangen bei Simulationsumgebungen für magnetische Sensorsysteme über die eigentliche Entwicklung des Sensors, das IC-Design, bis hin zum exzellent ausgestatteten Magnetlabor – alles rund um das magnetische Sensor-Messsystem direkt aus einer Hand.

3D-Hall-Element – Kern eines jeden magnetischen Sensorsystems

Herz der HallinOne®-Technologie sind die 3D-Hall-Elemente sowie der auf die Sensorelemente angepasste Signalpfad. Das eigentliche 3D-Hall-Element misst nur ca. 100 µm x 100 µm und kann somit in den Anwendungen als idealer, in einem Punkt messender Sensor betrachtet werden.

Der auf Flexibilität entwickelte Signalpfad ermöglicht eine perfekte Anpassung an die Anwendung. Von schnellen Messungen jenseits der 100 kHz über hochauflösende Messungen für Felder im µT-Bereich hin zu stromsparenden Anwendungen oder Messungen im Tesla-Bereich ist mit HallinOne®-Sensoren alles möglich.

Integrierte Erregerleiter, die bei Bedarf zeitgleich mit der eigentlichen Messung die Funktionsfähigkeit des Chips überprüfen, ermöglichen sicherheitskritische Anwendungen. Sie vereinfachen den Serientest oder ermöglichen eine Empfindlichkeitsnachführung über Temperatur.

	Eigenschaften	Anwendungen und Vorteile
3D-Magnetfeldsensor „FH3D02"	• 2 3D-Hall-Elemente mit 2,5 mm Pitch • Gradienten oder Absolutwert basierte Auswertung • Integrierter Winkel- und Linearencoder • Konfigurierbare Linearisierungstabelle • Offset und Empfindlichkeit temperaturkompensiert • WLCSP	• Durch die im Serientest kalibrierten Sensoren steht dem Anwender ein hochgenauer Magnetfeldsensor zu Verfügung. • Im Sonden-Modus lassen sich beliebige Anwendungen realisieren. • Robust durch Gradientenauswertung • Durch die integrierte Linear- oder Winkelberechnung stehen fertige Winkel- und Positionsmesswerte in Grad oder Millimeter zu Verfügung. • Im WLCSP als Sensor für Magnetfeldkameras mit 2.5 mm Pitch geeignet
3D-Magnetfeldsensor FH3D12	• 2 3D-Hall-Elemente mit 2 mm Pitch • 3D-Magnetfeldsonde • Freie Konfiguration hinsichtlich o Messgeschwindigkeit o Auflösung o Messbereich • Integrierte Erregerleiter • QFN16	• Im Sonden-Modus lassen sich beliebige Anwendungen realisieren. • Robust durch Gradientenauswertung • Breiter Einsatzbereich durch freie Konfiguration • Von µT bis T, von • Von 500 Hz bis 40 kHz • Günstigster HallinOne®-Sensor
3D-Magnetfeldsensor FH3D04	• 4 3D-Hall-Elemente mit 1.5 mm Pitch • 3D-Magnetfeldsonde • Freie Konfiguration hinsichtlich o Messgeschwindigkeit o Auflösung o Messbereich • Integrierte Erregerleiter • OTP mit Trimmwerten und Platz für Kunden-Bits • WLCSP	• Magnetfeldkameras mit 1.5 mm Pitch • Robuste und Mehrachsige Positionsmessung • Von µT bis T • Von 1 kHz Hz bis 100 kHz • Elektrisch getrimmt • OTP-Bits zur freien Verfügung, z.B. für Seriennummer

Vom ASIC bis zum Standardprodukt

Die kontinuierliche Weiterentwicklung der HallinOne®-Technologie findet immer wieder Einsatz in anwendungsspezifischen integrierten Schaltungen (eng. ASICs) für besonders anspruchsvolle Applikationen. Dabei werden die Sensoren für die Anwendung entsprechend angepasst wie z.B.: mehrere 3D-Hall-Elemente auf einem Chip, Abstand der Sensorelemente auf einem Chip zueinander, Leistungsaufnahme, Messfrequenz, Rauschen, Chipgröße oder Package z.B. WLCSP oder QFN. Im WLCSP können die Chips so dicht nebeneinander angeordnet werden, dass eine flächige Magnetfeldkamera mit chipübergreifendem Sensorelementabstand realisiert werden kann. Neben all den technischen Features kann darüber hinaus ein Nachbauschutz und damit ein Wettbewerbsvorteil generiert werden. Auch die Lieferzuverlässigkeit ist bei einem speziell für den Kunden entwickelten Sensor deutlich höher als bei einem frei am Markt verfügbaren Sensor, da einerseits die vorhandene Stückzahl an IC's nicht mit anderen Marktteilnehmern geteilt werden muss und andererseits die benötigte Menge direkt beim Halbleiterhersteller bestellt wird.

Durch das über zwei Jahrzehnte gewachsene IP-Portfolio und den damit verbundenen Re-Use können ASICs günstig, qualitativ hochwertig und zuverlässig realisiert werden. Ein Blick Richtung ASIC-Design sollte deshalb nicht pauschal ausgeschlossen werden. Als eine der führenden IC-Design-Einrichtungen in Europa erarbeitet das Fraunhofer IIS maßgeschneiderte Lösungen für die sich stets weiterentwickelnden Anforderungen der Industrie.

Mit dem Fraunhofer-Auftrag „Forschung in die Anwendung zu bringen" beschreitet das Fraunhofer IIS aktuell gemeinsam mit der LZE GmbH einen neuen Weg. Ausgewählte, bereits entwickelte Sensoren, die besonders vielversprechend erscheinen, sollen als „Forschungsnahe Standardprodukte" verfügbar gemacht werden. Der erste Sensor (FH3D02) ist bereits erhältlich, zwei weitere folgen in Kürze.

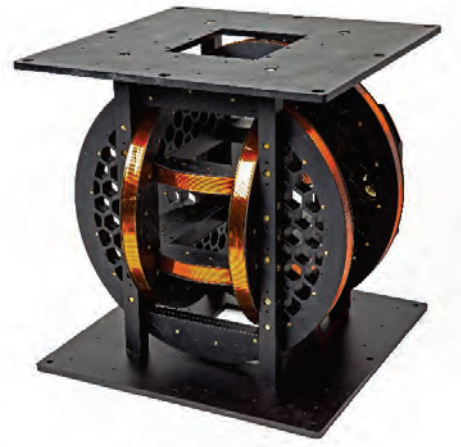
Magnetische Messtechnik

Der Nachweis der Funktionsfähigkeit der entwickelten Sensoren und Systeme stellt höchste Ansprüche an die Messtechnik. Auch in diesem Bereich setzen die dafür eigen-entwickelten Laborgeräte neue Maßstäbe.

3D-Helmholtz-Spulen

Am Fraunhofer IIS wurden verschiedene Typen von Magnetfeldspulen entwickelt, welche eine definierte Felderzeugung in allen drei Raumachsen ermöglichen. Dazu wird beispielsweise das

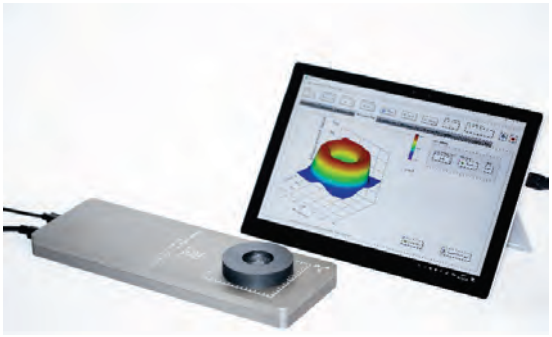
Prinzip der Helmholtzspule genutzt, bei welchem jeweils zwei Luftspulen im Abstand ihres Radius zueinander platziert werden, um ein homogenes Magnetfeld zu erzeugen. Durch Anordnung mehrerer Helmholtzspulen kann eine 3D-Helmholtzspule aufgebaut werden, welche ein homogenes Magnetfeld innerhalb eines bekannten Volumens erzeugt. Die Spule kann für die Kalibrierung von einzelnen Magnetfeldsensoren oder von mehreren auf einem Substrat oder in einem Array angeordneten Sensoren verwendet werden. Durch Anpassungen von Geometrie und Wicklung können die Spulen flexibel an Kundenbedürfnisse angepasst werden. Zudem können auch alternative Spulenanordnungen simuliert und gefertigt werden, um verschiedenste Anforderungen zu erfüllen.



3D-Helmholtz-Spule
© Dr. Philip Beran

Magnetfeld-Kamera

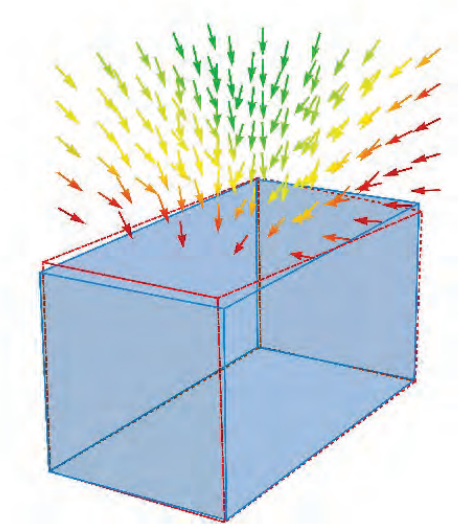
Für die Messung, Visualisierung und Charakterisierung von Magnetfeldern gibt es sogenannte Magnetfeldkameras, zu denen auch Systeme der am Fraunhofer IIS entwickelten Technologie "HallinSight®" zählen. Dabei handelt es sich um Arrays aus mehreren 3D-Magnetfeld-Sensoren, welche flächig angeordnet alle drei Vektorkomponenten des Magnetfelds mit einer Auflösung von wenigen Mikrotesla erfassen können. Die gleichzeitige Messung an bis zu 1024 Punkten innerhalb einer Fläche von 80 mm x 80 mm ermöglicht die flächige Erfassung des Magnetfeldes, wodurch das Feld hinsichtlich Form, Ausrichtung und Stärke analysiert werden kann. Durch eine hochgenaue magnetische Kalibrierung der Sensorarrays in 3D-Helmholtzspulen lassen sich präzise Messgeräte für zahlreiche Anwendungsszenarien herstellen.



Magnetfeld-Kamera
© Dr. Philip Beran

CharaMag®

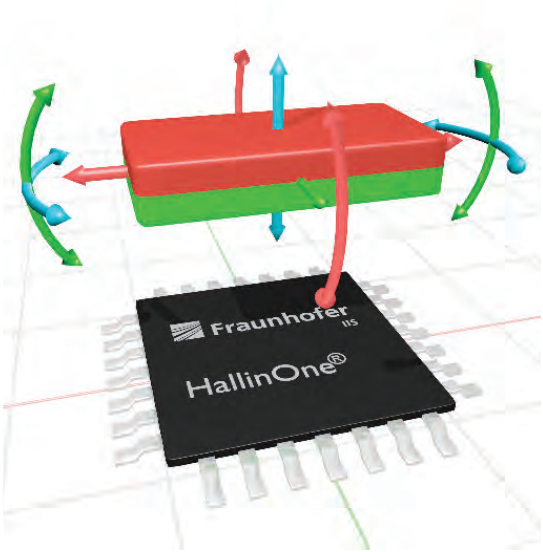
Durch Kombination mit einer Technologie zur Messung der Magnetgeometrie bietet eine Magnetfeldkamera weiteren Mehrwert bei der Charakterisierung von Permanentmagneten oder magnetischen Bauteilen. Dazu wurde vom Fraunhofer IIS die Technologie „CharaMag®" entwickelt, welche die Magnetfeldmessung um die optische Erfassung der Geometrie ergänzt. Die Kombination der beiden Technologien Magnetfeldkamera und Lichtschnitt bietet die innovative Möglichkeit, Magnete umfassend zu charakterisieren. Das Messergebnis ist ein digitaler Zwilling des Magneten, dessen Parameter sowohl die exakte Geometrie (Abmessungen, Verformungen und Abweichungen von der Soll-Geometrie), Position und Lage des Magneten, als auch das vektorielle Magnetfeld des Magneten beinhaltet. Erkannte Defekte beider Messmethoden können anhand einer fusionierten Darstellung anschaulich und nachvollziehbar sichtbar gemacht werden.



Grafische Darstellung der CharaMag®-Messung
© Dr. Daniel Cichon

Magnetische Sensorsysteme

Durch die Integration mehrerer 3D-Hall-Sensoren auf einem Chip stehen eine Fülle von Informationen über das auszuwertende Magnetfeld zur Verfügung. Diese können je nach Anwendung dazu genutzt werden, entweder die Position eines Gebermagneten mit bis zu sechs mechanischen Freiheitsgraden oder einen Erregerstrom präzise zu bestimmen. Durch den modellbasierten Ansatz ist die Technologie robust gegenüber Manipulationen durch störende Magnetfelder und Umwelteinflüsse. Weiterhin lassen sich die Parameter des Modells einfach modifizieren, wodurch das System schnell neuen Anforderungen angepasst werden kann. Aus der Kombination der modernen Sensorik und intelligenten Auswertung wurden am Fraunhofer IIS die Technologien HallinMotion® zur mehrachsigen Positionsmessung und HallinPower® zur galvanisch entkoppelten Strommessung entwickelt. Das Potential der 3D-Hall-Sensoren kann damit in beiden Anwendungsfeldern optimal ausgenutzt werden und auf einfachste Weise dem Kunden zugänglich gemacht werden.



Schematische Darstellung der 6D-Positionsmessung mit HallinMotion®
© Dr. Daniel Cichon

Das Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen IIS ist eine weltweit führende anwendungsorientierte Forschungseinrichtung für mikroelektronische und informationstechnische Systemlösungen und Dienstleistungen. Es ist heute das größte Institut der Fraunhofer-Gesellschaft mit rund 1100 Mitarbeitern und dem Hauptsitz in Erlangen.

Für seine Kunden und Partner aus Wirtschaft und der öffentlichen Hand entwickelt, realisiert und optimiert es Verfahren, Produkte und Anlagen bis zur Einsatz- und Marktreife.

Fraunhofer IIS

KONTAKT

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR INTEGRIERTE SCHALTUNGEN IIS
Dr. Markus Stahl-Offergeld
Am Wolfsmantel 33
91058 Erlangen
Tel.: +49 (0)9131 776-4674
markus.stahl-offergeld@iis.fraunhofer.de
www.iis.fraunhofer.de

MEDICAL WEARABLES ZUR GESUNDHEITSDETEKTION AM KÖRPER

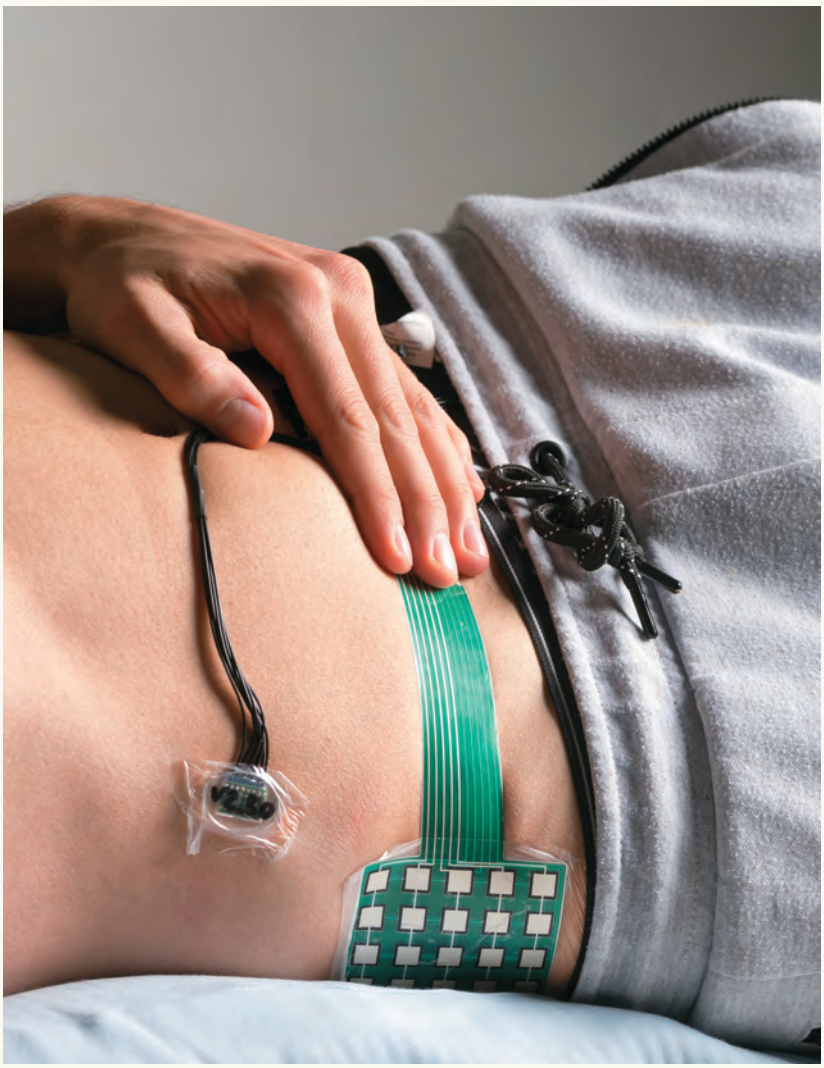


Abb. 1: KIPRODE Projekt: Mobiles Wundfrüherkennungsgerät zur Prophylaxe von Dekubiti (© Fraunhofer EMFT / Bernd Müller)

Smartphones, Apps, Fitnessarmbänder und Smartwatches sind aus unserem Alltag nicht mehr wegzudenken. Wer heutzutage fit bleiben will, braucht einen Fitnesstracker! Derartige Messgeräte sind jedoch lediglich für das private Monitoring des Fitnesszustands einsetzbar und nicht zur Detektion oder zum Monitoring von Krankheitsbildern. Forschende der Fraunhofer EMFT in München arbeiten an Lösungen, um Wearables auch für den medizinischen Gebrauch nutzbar zu machen. Neben ihrer langjährigen Kompetenz im Bereich Sensorik setzen sie dabei auch auf innovative Auswertemethoden auf Basis von Machine Learning (ML).

Wearables mit integrierter Sensorik zur Vitalparametererfassung sind an sich nicht neu: Mit Hilfe optischer Sensoren können Smartwatches schon heute Herzrhythmus, Puls und Sauerstoffsättigung im Blut messen oder „einfache" EKGs aufnehmen. Doch auch wenn die Lifestyle-Tracker auch heute schon sehr viel können, ist es noch ein weiter Weg, sie als Medizinprodukt anbieten zu können. Denn die Hürden dafür sind hoch: Die erste Herausforderung besteht in der fundierten Auswertung medizinischer Daten sowie der Sicherstellung der Datenqualität. Hierfür müssten zunächst in Studien validierte medizinische Daten von Patientinnen vorliegen, die ambulant behandelt werden. Bisher gibt es lediglich Studien über Patienten, die stationär im Krankenhaus oder auf Intensivstationen liegen und somit nicht dem Patientenbild der Anwenderinnen von medizinischen Wearables entsprechen. Zweitens muss die Korrelation zwischen den medizinischen Daten und den Sensordaten der Wearables hergestellt werden. Dies ist nur über eine statistisch relevante Anzahl von Patientinnen mit unterschiedlichen Krankheitsbildern im Rahmen einer Studie möglich.

Ein Forschungsteam der Fraunhofer EMFT arbeitet an der Entwicklung von Wearables, die Lösungsansätze für diese Herausforderungen bieten. Leitfragen für die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler sind dabei: Wie exakt arbeiten die Sensoren zur Vitalparametererfassung von Blutsauerstoffsättigung, Puls und Temperatur? Wie häufig und umfangreich müssen diese Werte gemessen werden, um einen zuverlässigen und aussagekräftigen Datensatz zu erhalten? Was geschieht mit diesen Daten im Anschluss, damit sie medizinisch aufgearbeitet, ausgewertet und genutzt werden können? Welche Quellen und Informationen verwendet die Auswertealgorithmik? Auch der persönliche Datenschutz der Nutzenden ist von zentraler Bedeutung.

In Zusammenarbeit mit Industriepartnern sowie in Kooperation mit Krankenhäusern und ambulanten Praxen entwickeln die Forschenden derzeit Prototypen medizinischer Wearables zur Wundfrüherkennung sowie zur autonomen Blutdruckmessung.

Keine Chance für Druckgeschwüre

Ziel des vom Bundesministerium für Bildung und Forschung BMBF geförderten Projekts KIPRODE zum Beispiel ist, dass jeder Patient oder jede Rollstuhlfahrerin ein mobiles Wearable an der Stelle des Körpers trägt, wo die Wahrscheinlichkeit der Wundentstehung durch Druck am höchsten ist. Das Wearable erkennt, wenn sich eine Wunde zu bilden beginnt und schlägt Alarm, sodass erst zu diesem Zeitpunkt eine Pflegekraft benötigt wird. Aktuell befindet sich das mobile Wundvermeidungs-Device in der Datenerhebungsphase. Gemessen wird, wie viel Druck an den gefährdeten Körperregionen (Hüfte, Fuß) über die Zeit auf die Haut ausgeübt wird. Dieser Wert wird dann im Vergleich mit den Vitalparametern: Sauerstoffsättigung, Puls und Temperatur analysiert, um Aufschluss über den Gesundheitszustand der Haut zu geben. Dadurch kann die Wundentstehung vorhergesagt und verhindert werden, noch bevor eine äußerliche bzw. optische Schädigung erkennbar ist.

Autonome Blutdruckmessung am Handgelenk

Zur arteriellen Blutdruckmessung haben die Münchner Expertinnen ein Sensorarmband mit integrierter Mikropumpe konzipiert. Die Mikropumpe pumpt dabei Luft in ein integriertes flexibles Reservoir, welches dann auf die Arterien am Handgelenk drückt. Die systolischen und diastolischen Blutdruckwerte werden erfasst und mithilfe spezieller Auswertemethodik auf dem Smartphone/ Tablet der ärztlichen Fachkraft dargestellt. Perspektivisch sollen sich aus den Sensordaten auch weitergehende Krankheitsbilder wie etwa Asymmetrien im Herzrhythmus erkennen lassen.

Sensorik und Machine Learning (ML) als Schlüsseltechnologien

Wie bei vielen Zukunftsmärkten ist auch beim Thema Medical Wearables Sensorik eine Schlüsseltechnologie – denn die Qualität der generierten Daten entscheidet letztlich auch über die Performanz des medizinischen Wearables. Hier kann die Fraunhofer EMFT sich auf langjähriges Know-how in der Entwicklung komplexer Sensorsysteme stützen. Gleichzeitig arbeiten die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler an ML-Verfahren, welche die gesammelten Daten auswerten, interpretieren und eine Krankheitsdiagnose abgeben können. Dieses ML-System muss jedoch zunächst mit validen Daten aus klinischen Studien auf unterschiedliche Krankheiten "angelernt" werden, um zu einem aussagekräftigen Diagnosetool „heranzuwachsen", das selbstständig weiter lernt, um kontinuierlich präzisier und zuverlässiger zu werden. „Perspektivisch soll eine Diagnoseplattform für diverse Krankheitsbilder entstehen, mit deren Hilfe unsere Wearables kontinuierlich darauf op-

Abb. 2: Medical Wearable: Sensorarmband für Vitalparametermessung und Gesundheitsdetektion (© Fraunhofer EMFT / Bernd Müller)

timiert werden, auch komplexe Krankheitsbilder zu erkennen und die richtigen Schlüsse daraus zu ziehen", erklärt Lorenz Grünerbel, Gruppenleiter "Design & Data" an der Fraunhofer EMFT.

Medical Wearables sind keine Ärzte

Klar ist aber: Auch das beste medizinische Wearable ersetzt keinen Arzt. Dieser muss immer als Zwischeninstanz mitwirken. "Science-Fiction Szenarien, in denen Roboter operieren oder die Behandlungsmodalität vorschlagen, sind nicht das Ziel unserer Arbeiten", so Projektleiter Lorenz Grünerbel.

Gerade angesichts des aktuell drastischen Fachkräftemangels im Gesundheitsbereich könnten medizinische Wearables jedoch zur Entlastung von Ärztinnen und Krankenpflegern beitragen. Pflegepersonal würde von Routineaufgaben entlastet und hätte mehr Zeit, um nach den Patientinnen schauen und mehr Freiraum für eine bedarfsorientierte Betreuung oder Gespräche. „Darüber hinaus ermöglichen die Wearables durch das Erkennen von Krankheitsbildern mit ML-Methoden eine personalisierte medizinische Behandlung und Betreuung, bei der die individuelle Situation der Patientinnen berücksichtigt werden kann", erklärt Franz Wenninger, Gruppenleiter „Machine Learning enhanced sensor systems" an der Fraunhofer EMFT. Besonders in Bezug auf Risikopatienten ist die anwenderbezogene Diagnosemöglichkeit von hoher Relevanz, da sich der Gesundheitszustand etwa bei Wunden, Sepsis oder Schlaganfällen oftmals innerhalb kürzester Zeit rapide verschlechtern kann. Bisher müssen Personen mit dem Verdacht auf solche Erkrankungen lange im Krankhaus überwacht werden. Mit Hilfe medizinischer Wearables dagegen könnten krankheitsspezifische Parameterveränderungen schnell erkannt oder sogar vorhergesagt werden, sodass auch Risikopatientinnen dank der kontinuierlichen Überwachung nicht mehr zwingend stationär im Krankenhaus bleiben müssten. Während betroffene Patienten auf diese Weise an Mobilität und Lebensqualität gewännen, würde gleichzeitig das Pflegepersonal entlastet – eine wirkliche Win-Win-Situation.

KONTAKT

FRAUNHOFER-EINRICHTUNG FÜR MIKROSYSTEME UND FESTKÖRPER-TECHNOLOGIEN EMFT
Hansastr. 27d, 80686 München
Tel.: +49 (0)89 54759-198, contact@emft.fraunhofer.de
www.emft.fraunhofer.de

DAS MASS DER DINGE FÜRS MESSEN – AUCH IN MINI: BAY-SENSOREN

Präzision und Zuverlässigkeit, kombiniert mit hoher Ingenieurskunst und pfiffigen Anwendungsideen – das sind seit über 30 Jahren die Stärken der Sensoren von Peter Bay, zum Messen von Bewegung, Beschleunigung oder Schwingungen. Deshalb sind die fast unsichtbaren, kompakten Multitalente auch international gefragt und auf der ganzen Welt im Einsatz bei Auto-Crash- und Bremstests, in Flugzeugen oder Zügen, an Windrädern, Bohrinseln, Traktoren, Brücken u. v. m.

Die kleine, feine Sensoren-Schmiede Bay SensorTec in Eching bei München legt viel Wert auf ihren guten Ruf. Firmenchef Peter Bay setzt von jeher auf Top-Qualität „Made in Germany“, große Offenheit für kundenspezifische Spezial-Anwendungen und -Entwicklungen, Produktion auch in kleinen Stückzahlen und kurze Lieferzeiten, die durch die eigene Produktion gewährleistet werden können. Das kommt auch Sonderwünschen der Bay SensorTec-Kunden entgegen. „Wer sich 30 Jahre lang in unzähligen Projekten immer wieder neuen Herausforderungen stellt, technisch am Ball bleibt, und auf viel Erfahrung und ein engagiertes, gut ausgebildetes Team setzen kann, der kann auch für knifflige Fragestellungen individuelle Lösungsstrategien entwickeln.“, schildert Peter Bay seine ungebrochene Neugier auf jedes Projekt.Die Vielfalt der Anwendungsgebiete kommt dem entgegen: In der Luft- und Raumfahrttechnik, bei Windkraftanlagen, im Schiffsbau und in der Agrartechnik geben Bay-Sensoren Auskunft über Dreh- und Schwingungskräfte. Ebenso bei Schienenfahrzeugen und Sicherheits- und Crashtests in der Automobilindustrie. Gefragt sind dabei häufig immer sensiblere und immer kleinere Sensoren. Die neueste Entwicklung aus dem Hause Bay trägt dem Rechnung. Der innovative Mini-Sensor BST IMU-CC mit sechs Freiheitsgraden, bietet Höchstleistung im Miniformat und ist eine der Kleinsten weltweit. ■

KONTAKT

BAYSENSORTEC GMBH
Peter Bay
Erfurter Straße 31
85386 Eching
Tel.: +49 (0)89 189 41 49 11
info@bay-sensortec.com
www.bay-sensortec.com

Geregelte Luftzufuhr bei der Eisenentfernung erhöht Effizienz und Qualität

MODERNISIERUNG IM WASSERWERK

Gerd Milde

Abb. 1: Das Wasserwerk Brokstedt ist seit 1978 in Betrieb. Es gehört zum Wasserbeschaffungsverband (WBV) Mittleres Störgebiet. Da die sichere Wasserversorgung eine generationenübergreifende Aufgabe ist, stehen immer wieder Modernisierungen der Wasserinfrastruktur und -aufbereitung auf der Agenda. (Quelle: Werner Bennek, Bürkert Fluid Control Systems)

Bei der Trinkwasseraufbereitung kommt es auf viele Details an. Ganz unterschiedliche Stoffe müssen hinzugefügt oder entfernt werden. Letzteres trifft beispielsweise auf Eisen zu. In Wasser gelöst ist es für die menschliche Gesundheit oder die Umwelt zwar nicht generell gefährlich, bringt allerdings etliche Unannehmlichkeiten mit sich: Es trübt das Wasser rostbraun, kann Wäsche, sanitäre Einrichtungen und mit ihm hergestellte Lebensmittel verfärben sowie einen unangenehmen metallischen Geschmack verursachen. Zudem kann Eisen aufgrund von Ferrobakterien zu Korrosion in Leitungen führen. Trinkwasser wird deshalb im Wasserwerk belüftet, damit die Eisenionen durch Oxidationsreaktionen als Eisenhydroxid (Fe(OH)3) ausfallen, also Partikel bilden, die sich ausfiltern lassen.

Um im Wasser gelöstes Eisen zu entfernen, wird bei der Trinkwasseraufbereitung dem Rohwasser Luft oder technischer Sauerstoff zugeführt. Die benötigte Menge ist in vielen Wasserwerken auch heute oft noch ein Erfahrungswert und wird vom Wassermeister mit hohem Zeitaufwand manuell je nach Druck und Durchfluss angepasst. Ein Zuviel hat dabei keine gesundheitlichen Folgen. Das Wasser wird allerdings sprudelig weiß und es wird entweder zu viel technischer Sauerstoff verbraucht als notwendig oder Kompressoren laufen unnötig lange. Beides kostet den Betreiber unnötig Geld. Unterdosierung ist noch kritischer: Sie führt zu Ablagerungen in Rohrleitungen sowie Behältern und die Folge sind hohe Kosten für die personalintensiven Reinigungsarbeiten. Abhilfe schaffen hier automatisierte Regelsysteme, die die für eine optimale Enteisenung notwendige Sauerstoff- oder Luftmenge an den Eisengehalt, den Rohwasserdurchsatz und den Druck anpassen. Eine Umrüstung auf eine solche kostensparende Lösung ist im laufenden Betrieb möglich. Das Wasserwerk Brokstedt im Kreis Steinburg in Schleswig-Holstein liefert dafür ein Beispiel.

Oxidationsboxen für eine druckunabhängige Belüftung

Das Wasserwerk Brokstedt **(Abb. 1)** ist als reines Grundwasserwerk mit vier 60 m tiefen Förderbrunnen konzipiert und seit 1978 in Betrieb. Es gehört zum Wasserbeschaffungsverband (WBV) Mittleres Störgebiet und versorgt zusammen mit einem weiteren Wasserwerk in Nordoe ca. 17.500 Einwohner in 33 Gemeinden mit jährlich ca. 1,1 Millionen Litern Trink- und Brauchwasser. Die sichere Wasserversorgung der Kommunen ist eine generationenübergreifende Aufgabe. Immer wieder stehen deshalb Modernisierungen der Wasserinfrastruktur und -aufbereitung auf der Agenda. „In diesem Zusammenhang wurde auch die Enteisenung unseres Rohwassers zum Thema; wir suchten für die Lufteinspeisung eine praxisgerechtere Alternative“, erinnert sich Rolf Horstmann, Wassermeister beim WBV Mittleres Störgebiet. Die Wasserwerker wandten sich deshalb 2019 im Rahmen einer Fachmesse mit ihrem Anliegen an Bürkert Fluid Control Systems. „Zu den Fluidikexperten haben wir schon seit vielen Jahren einen guten Kontakt“, ergänzt der Wassermeister. „Bei der bisherigen manuellen Kompressorbelüftung haben sich beispielsweise deren Magnetventile bewährt und auch bei einer neuen, automatisierten Enteisenung mit geregelter Luftmenge wollten wir deutsche Qualitätsware einsetzen.“

Abb. 2: Die Oxidationseinheiten für die Eisenentfernung sorgen trotz des dynamischen Wasserverhaltens für eine immer exakt dosierte Belüftung. (Quelle: Werner Bennek, Bürkert Fluid Control Systems)

Der Modernisierungswunsch ließ sich rasch umsetzen: Das Bürkert-Systemhaus in Menden konzipierte für das Wasserwerk Brokstedt auf die Applikation abgestimmte Oxidationseinheiten für die Eisenentfernung, die heute an jeder der drei Rohwasserstrecken installiert sind **(Abb. 2)**. Sie sorgen jetzt trotz des dynamischen Wasserverhaltens für eine immer exakt dosierte Belüftung, unabhängig vom Filterzustand und vor allem vom Vordruck des Rohwassers, der je nach Anzahl und Art der aktuell laufenden Brunnenpumpen deutlich variieren kann. Da die Luft bedarfsgerecht zugeführt wird, senken sich die Kompressorlaufzeiten und somit die Energiekosten. Das maßgeschneiderte Regelungssystem verhindert teures Überdosieren und sorgt für eine gleichbleibende Wasserqualität, nichts muss mehr manuell eingestellt werden. Gleichzeitig verhindert der reproduzierbare, dokumentierte Prozess Ablagerungen in den Leitungen und Behältern, was die Reinigungsarbeiten deutlich reduziert.

Massendurchflussregler, Proportionalventil und Waterprotection-System

Herzstücke der Oxidationseinheiten sind die Massendurchflussregler (MFC). Sie übernehmen die „intelligente“ Regelung und Dosierung der Luftmenge. Ihre thermischen MEMS-Sensoren sorgen dabei für sehr kurze Reaktionszeiten, ein direkt wirkendes Proportionalventil als Stellglied für eine hohe Ansprechempfindlichkeit und der integrierte PI-Regler für gute Regeleigenschaften. Die anwendungsspezifisch kalibrierten Massendurchflussregler werden je nach Applikation mit weiteren Komponenten kombiniert.

Da herkömmliche Systeme bei einem Kompressorausfall häufig durch rückdrückendes Wasser beschädigt werden, hat Bürkert seine MFC sehr robust ausgelegt und zusätzlich mit einem Waterprotection-System geschützt. Ein Bypass für

Abb. 3: Alle Komponenten der Oxidationseinheiten wurden auf einer Montageplatte untergebracht. Die Abmessungen der Platten wurden so gewählt, dass sie in die bereits an den Rohwasserstrecken vorhandenen Schränke passten. (Quelle: Werner Bennek, Bürkert Fluid Control Systems)

einen manuellen Betrieb ist ebenfalls integriert. Also lässt sich selbst bei einem Ausfall von MFC oder Steuerung das System manuell weiter betreiben und Anlagenstillstand wird verhindert. „Trotz der verbauten Technik ist die neue Lösung sehr übersichtlich und von jedem Mitarbeiter einfach zu bedienen, beispielsweise im Störfall", freut sich Horstmann. „Ein zusätzlicher Schwebekörperdurchflussmesser visualisiert jedem auf einen Blick, ob alles zuverlässig funktioniert."

Alt gegen neu – schnell getauscht

Die neuen Oxidationseinheiten wurden als anschlussfertige Komplettlösung geliefert. Sie können wahlweise in einem Edelstahlschrank oder auf einer Montageplatte untergebracht sein. In Brokstedt entschied man sich für die zweite Variante **(Abb. 3)**. Die Abmessungen der Platte wurden so gewählt, dass sie in die bereits an den Rohwasserstrecken vorhandenen Schränke passten. Installation und Inbetriebnahme der Regel- und Dosiersysteme verliefen dadurch einfach und schnell. „Alt gegen neu ließ sich 1 zu 1 tauschen, alles hat so sofort funktioniert und arbeitet seitdem zu unserer vollen Zufriedenheit", so Horstmann weiter.

Schon kurze Zeit später haben sich die Wasserwerker bei einer weiteren Modernisierung auf die Fluidikexperten verlassen. Auch die Ventilinseln, die im Wasserwerk für die pneumatische Ansteuerung der Prozessventile und Klappen verantwortlich sind, galt es Ende 2019 zu erneuern. Sie waren über 20 Jahre im Einsatz; es kam immer wieder zu Störungen und die Ersatzteilbeschaffung wurde immer schwieriger. Ein Ausfall dieser wichtigen Automatisierungseinheiten hätte das Wasserwerk stillgelegt. Die Fluidikexperten lieferten auch hier einen zukunftssicheren Ersatz.

Ventilinseln – kompakt, sicher und intelligent

Die Bürkert-Ventilinseln vom Typ 8652 sind sehr kompakt. Sie wurden in robusten Schaltschränken verbaut, die sich dank ihrer geringen Abmessungen von 400 mm Breite, 210 mm Tiefe und 500 mm Höhe gut an der Anlage unterbringen ließen **(Abb. 4)**. Insgesamt sind in Brokstedt heute sechs dieser Schänke nahe an den Prozessventilen installiert. Durch die serienmäßige AirLINE-Quick-Adapterplatte war die Montage einfach und der Einsatz von Pneumatikschläuchen und Kabeln reduzierte sich, was Kosten sparte und gleichzeitig potenzielle Leckagestellen minimierte. Die automatische Überwachung von Druck, Drahtbruch und Schieberlaufzeiten erkennt Defekte bevor es zum Anlagenausfall kommt und erhöht somit die Sicherheit. Fehlermeldungen werden benutzerfreundlich in Klartext auf dem Display angezeigt.

Abb. 4: Die Ventilinseln sind sehr kompakt. Sie wurden in robusten Schaltschränken verbaut, sodass sie sich gut an der Anlage in der Nähe der Prozessventile unterbringen ließen. (Quelle: Werner Bennek, Bürkert Fluid Control Systems)

Zudem gibt es eine Hand-Not-Betätigung und die einzelnen Ventile lassen sich im laufenden Betrieb austauschen. Mit der übergeordneten Steuerung und dem Leitsystem des Wasserwerks kommunizieren die Ventilinseln über Profinet.

Auch die Inbetriebnahme der neuen Ventilinseln verlief reibungslos. Der damit beauftragte Automatisierer freute sich ebenfalls über die gute Zusammenarbeit mit den Fluidikexperten, die Software und Protokolle im Vorfeld mit ihm abstimmten. Grundsätzlich bietet Bürkert aber auch maßgeschneiderte, zuverlässige und intelligente Lösungen vom Engineering bis zur Inbetriebnahme aus einer Hand. Die neuen Ventilinseln ließen sich als plug-and-play-fähige Komplettlösungen innerhalb kurzer Zeit in die Anlage integrieren und in Betrieb nehmen, ohne die Trinkwasserproduktion zu stören. Während eine Wasserstrecke umgerüstet wurde, ging der Betrieb auf den anderen unterbrechungsfrei weiter. Die Wasserwerker in Brokstedt sind mit ihrer Wahl zufrieden; die Zusammenarbeit wird auch bei den nächsten Modernisierungsmaßnahmen weiter gehen.

Weitere Informationen zum Thema finden Sie unter:

https://www.buerkert.de/de/Landingpage/Schaltschrank-Loesungen/Schaltschraenke-Wasseraufbereitung/Oxidationslufteinheit-in-der-Wasseraufbereitung

https://www.buerkert.de/de/Produkte-Applikationen/Individuelle-Loesungen/Anwendungsbeispiele/Automatisierte-Wasseraufbereitung-spart-Ressourcen

Über Bürkert Fluid Control Systems

Bürkert Fluid Control Systems ist ein weltweit führender Hersteller von Mess-, Steuer- und Regelungssystemen für Flüssigkeiten und Gase. Lösungen von Bürkert kommen in den unterschiedlichsten Branchen und Anwendungen zum Einsatz – das Spektrum reicht von Brauereien und Laboren bis zur Medizin-, Bio- und Raumfahrttechnik. Mit einem Portfolio von über 30.000 Produkten deckt Bürkert als einziger Anbieter alle Komponenten des Fluid Control-Regelkreises aus Messen, Steuern und Regeln ab: von Magnetventilen über Prozess- und Analyseventile bis zu pneumatischen Aktoren und Sensoren.

Das Unternehmen mit Stammsitz im süddeutschen Ingelfingen verfügt über ein weit gespanntes Vertriebsnetz in 36 Ländern und beschäftigt weltweit mehr als 3.000 Mitarbeiter. In fünf Systemhäusern in Deutschland, China und den USA sowie vier Forschungs- und Entwicklungszentren entwickelt Bürkert kontinuierlich kundenspezifische Systemlösungen und innovative Produkte. Ergänzt wird die Produktpalette mit dem umfassenden Serviceangebot BürkertPlus, das Kunden während des kompletten Produktlebenszyklus begleitet.

Weitere Informationen unter:

www.buerkert.de
www.facebook.com/Buerkert.Fluidtechnik
www.twitter.com/buerkertfluid

Gerd Milde, Industrie-Applikationsexperte Water & Environment bei Bürkert Fluid Control Systems

KONTAKT

BÜRKERT FLUID CONTROL SYSTEMS
Christian-Bürkert-Str. 13-17, 74653 Ingelfingen
Tel.: +49 (0) 7940 10-0, info@buerkert.de
www.buerkert.de

INNOVATIVE H_2-SENSOREN FÜR BRENNSTOFF-ZELLENFAHRZEUGE

Zur Abgas- und Umgebungsüberwachung von Brennstoffzellen in Elektrofahrzeugen werden spezifische H_2-Sensoren eingesetzt. Im Rahmen des vom Bundesministerium für Digitales und Verkehr geförderten Projekts „Wasserstoffdetektoren in Elektrofahrzeugen / Hydrogen detectors in electric vehicles (H2D4EV)" werden miniaturisierte, aktive, feuchtekompensierte H_2-Sensorsysteme für diese Applikationen entwickelt.

Eigenschaft	H_2-Sensor Umgebung	H_2-Sensor Abgas
Messbereich H_2-Konzentration c	1 ppm ≤ c ≤ 10 Vol.-%	
Zeit nach Einschalten bis zum Erreichen von 100% Messgenauigkeit	≤ 3 s	
Messgenauigkeit	± 30% vom Messwert (≤ 1% H_2) ± 10% vom Messwert (> 1% H_2)	
Betriebsstunden	≥ 8.000 h	≥ 6.000 h
Lebensdauer	≥ 15 Jahre	≥ 10 Jahre
Ein-/Ausschaltzyklen	≥ 45.000	≥ 30.000
Kilometerleistung	≥ 300.000 km	≥ 300.000 km
Beständigkeit	CO, C_6H_6, C_7H_8, NH_3, NO, NO_2, O_3, SO_2, HMDS, Ammoniumsulfate/-nitrate etc.	
Betriebsbereitschaft nach Vereisung	≤ 5 s	
Einsatztemperaturbereich T	-40°C ≤ T ≤ +85°C / +125°C	
Taupunkt ϑ	≤ 40°C	80°C ≤ ϑ ≤ 95°C
Betriebsspannung U_b	12 V DC ≤ U_b ≤ 16 V DC	

Bild 1: Ausgewählte technische Zielparameter für H_2-Sensorsysteme zur Umgebungs- bzw. Abgasmessung in automotiven Anwendungen

Für die angestrebten automotiven Anwendungen müssen die Sensoren eine Vielzahl von Eigenschaften und technischen Parametern aufweisen. Diese sind insbesondere die diversitäre Redundanz, d.h. die Sensorsysteme integrieren einen H_2-selektiven Metalloxid(MOX)-Halbleiter-Gassensor und einen Wärmeleitfähigkeitsdetektor (WLD), wodurch Sensorsysteme mit hoher Sensitivität, Selektivität, Stabilität und Sicherheit möglich werden. In den Systemen sind sicherheitsrelevante Funktionen, wie die Signalisierung von Fehlerfällen auch während des Messvorgangs zu integrieren, Kontaminationen der Sensorelemente müssen von der Sensorelektronik erkenn- und kompensierbar sein. Die Sensorsysteme müssen für den Einsatz in sicherheitskritischen Systemen geeignet und zertifizierbar sein. Des Weiteren müssen für diese Sensorsysteme und deren Komponenten u.a. die Validierbarkeit für automotive Anwendungen sowie die Eignung für die perspektivische wirtschaftliche Serien- bzw. Großserienproduktion gegeben sein. **Bild 1** zeigt ausgewählte technische Zielparameter.

Bild 2 zeigt Labormuster eines aktiven H_2-Gassensormoduls zur Umgebungsüberwachung (links) sowie eines H_2-Sensorkopfes für die Abgasüberwachung (rechts) einer Brennstoffzelle im Fahrzeug. Diese Sensoren basieren auf der patentierten Semicon®-Technologie der UST Umweltsensortechnik GmbH und integrieren u.a. innovative keramische H_2-Sensorelemente (MOX-Gassensor und WLD), die in Hybridtechnologie (keramisches Trägersubstrat mit mikrostrukturierter Platin-Dünnschicht, abgedeckt mit einer Passivierungsschicht sowie für den MOX-Sensor eine gassensitive Metalloxid-Halbleiterschicht) realisiert sind. Im H_2-Gassensormodul zur Umgebungsüberwachung ist die Elektronik zur Sensorsteuerung und -signalvorverarbeitung sowie Kommunikation integriert.

Diese Sensoren wurden erfolgreich im Labor getestet und charakterisiert. In der Folge sind weitere Zuverlässigkeits- und Applikationstests bei Anwendern, die Entwicklung von spezifischen Prototypen sowie deren Evaluierung vorgesehen.

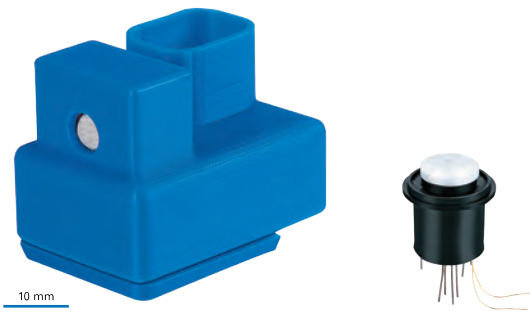


Bild 2: Labormuster eines aktiven H_2-Gassensormoduls zur Umgebungsüberwachung (links) sowie eines H_2-Sensorkopfes für die Abgasüberwachung (rechts) einer Brennstoffzelle im Fahrzeug

KONTAKT

UST UMWELTSENSORTECHNIK GMBH
Dr. Olaf Kiesewetter
Dieselstr. 2 und 4
99331 Geratal
Tel.: +49 (0)36205 713-0
o.kiesewetter
@umweltsensortechnik.de
www.umweltsensortechnik.de

Änderungen dieser Informationen und der technischen Ausführung vorbehalten!
Semicon® ist ein eingetragenes Warenzeichen der UST Umweltsensortechnik GmbH, Dieselstr. 2 und 4, 99331 Geratal OT Geschwenda, Germany.

www.sensor-test.com

Willkommen zum

Innovationsdialog!

SENSOR+TEST

DIE MESSTECHNIK - MESSE

Nürnberg

09.-11. Mai 2023

Effizient und persönlich:
Hohe Informationsdichte und umfassendes Beratungsangebot internationaler Experten

Wissenschaftlich fundiert:
Internationale Kongresse und Tagungen bieten Einblick in die Technologie der Zukunft

Vom Sensor bis zur Auswertung
Mess-, Prüf- und Überwachungslösungen für die Innovationen in allen Industriebranchen

AMA Service GmbH - 31515 Wunstorf, Deutschland
Tel. +49 5033 96390 - info@sensor-test.com

MESS- UND DATENPLANUNG ALS GRUNDLAGE FÜR EINE VALIDE UND ROBUSTE MODELL-BILDUNG MITTELS MASCHINELLEM LERNEN

Christian Bur, Christopher Schnur, Andreas Schütze

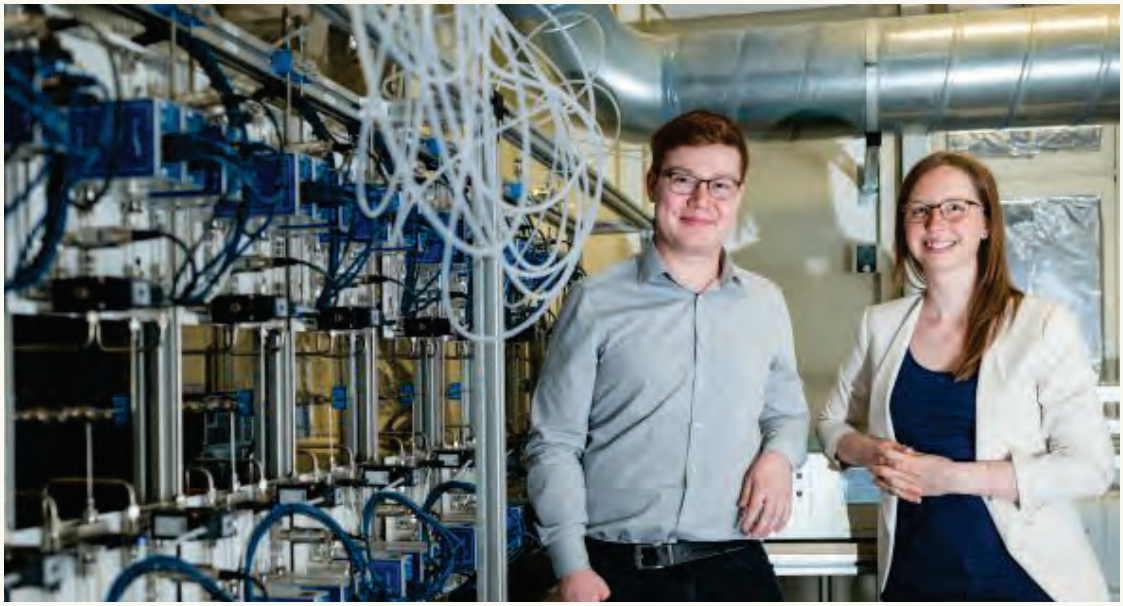


Abb. 1: Dennis Arendes (l.) und Dr.-Ing. Caroline Schultealbert (r.) vor der neuen Gasmischanlage am Lehrstuhl für Messtechnik.
© Universität des Saarlandes, Foto: Oliver Dietze

Seit mehr als 20 Jahren forscht der Lehrstuhl für Messtechnik im Bereich intelligenter Gassensorsysteme an der Universität des Saarlandes. Mit Hilfe von maschinellem Lernen und einer hochmodernen Gasmischanlage (Abbildung 1) wird hier unter anderem die kostengünstige Kalibrierung von Gassensoren zur Bewertung der Innenraumluftqualität, für Sicherheitsanwendungen sowie für die Medizintechnik erforscht. Diese ML-Methoden wurden inzwischen auch auf industrielle Anwendungen speziell im Condition Monitoring übertragen. Grundlage für eine zuverlässige Anwendung von maschinellem Lernen außerhalb des Labors stellen hochqualitative und aussagekräftige Daten dar. Während der Fokus der Forschung weitgehend auf der Entwicklung neuer Algorithmen liegt, widmet sich dieser Beitrag dem häufig vernachlässigten Thema Mess- und Datenplanung. Denn selbst der beste Algorithmus kann keine Rückschlüsse über Informationen ziehen, die nicht in den Daten enthalten sind.

Die Nutzung von Daten und deren gezielte Auswertung hat in den letzten Jahren deutlich an Bedeutung gewonnen. Dabei werden einerseits Mehrwerte durch zusätzlichen Informationsgewinn erzielt, andererseits entwickeln sich aber auch neue Geschäftsmodelle, wie im Bereich von Social Media eindrucksvoll zu sehen ist. Auch in der Industrie ist, zeitverzögert, ein ähnlicher Trend zu erkennen [1]. Vorausschauende Wartung (engl. predictive maintenance) und intelligente Zustandsüberwachung (engl. condition monitoring) sind Schlagwörter, die hier immer häufiger fallen und von Unternehmen und Kunden auch aktiv eingefordert werden [2]. Neben der einfachen Entwicklung von Maschinen und Produkten ist ein Trend hin zu einem dienst- und servicebasierten Geschäftsmodell zu beobachten. Beispielsweise überwachen Hersteller den Zustand ihrer Komponenten mit Hilfe künstlicher Intelligenz (KI), meist Maschinellem Lernen (ML), und bieten deren vorausschauende Wartung als zusätzlichen Service an. Im Gegensatz zum klassischen Wartungsvertrag, welcher in der Regel präventiv in einem festgelegten Rhythmus Verschleißkomponenten wechselt, obwohl diese ggf. noch intakt sind, wird bei der prädiktiven Wartung der Zustand der kritischen Komponente überwacht und dessen voraussichtliche Lebensdauer vorhergesagt. Dadurch kann die gesamte Lebensdauer des Produktes genutzt werden, ohne ungeplante Stillstände zu riskieren.

Die Grundlage für solche Services und Funktionen stellt dabei eine breite und aussagekräftige Datenbasis dar, mit der anschließend durch eine datengetriebene Auswertung ein ML-Modell erstellt wird. Neben der Wahl des Auswertealgorithmus – ob statistisches Modell, Entscheidungsbaum, neuronales Netz etc. – ist vor allem die Datenqualität von entscheidender Bedeutung. Die Datenqualität umfasst neben der klassischen Messunsicherheitsbetrachtung auch die formale Qualität im Sinne von Datenstandards und eindeutigen Definitionen sowie der Verständlichkeit und Vollständigkeit von Metadaten (FAIR data: Findable, Accessible, Interpretable, Reusable) [3].

Ein schlichtes Aufzeichnen von Prozessdaten ohne Zusammenhang und Hintergrundinformationen ist dabei wenig zielführend [4]. Für eine zuverlässige Zustandsüberwachung müssen die erfassten Datensätze möglichst alle zu erfassenden Zustände und Störgrößen mit den entsprechenden Metadaten (Informationen über Daten) abbilden. Zudem muss auch die Robustheit der ML-Methoden gerade für industrielle Anwendungen betrachtet werden [5].

Eine auf den ersten Blick völlig andere Anwendung der datengetriebenen Modellbildung ist die Kalibrierung von Halbleitergassensoren zur Überwachung der Innenraumluftqualität (engl. Indoor Air Quality, IAQ) [6], [7]. Im Hinblick auf die Datenqualität kann dies aber zur Illustration dienen. Für die IAQ spielen neben Kohlendioxid (ein Indikator für die Anwesenheit von Personen) flüchtige organische Verbindungen (engl. volatile organic compounds, VOC) eine übergeordnete Rolle [8]–[10]. Analytische Referenzmessungen und diverse Studien konnten rund 200-300 VOCs in Innenräumen nachweisen [11]. Hinzu kommen anorganische Verbindungen wie Kohlenmonoxid, Stickoxide und Wasserstoff sowie Wasserdampf. Einige dieser VOCs sind besonders gesundheitsgefährdend und krebserregend, wie bspw. Benzol oder Formaldehyd. Neben der Gefahr einzelner VOCs ist die Gesamt-VOC-Belastung zur Bewertung der Raumluftqualität heranzuziehen [12]. Typische Emissionsquellen sind zum einen Ausgasungen aus Baumaterialien und Möbeln und zum anderen der Mensch selbst [10]. Ein Sensorsystem sollte daher die VOC-Grundbelastung einerseits und die durch den Menschen und andere temporäre Quellen emittierten VOCs andererseits zuverlässig erfassen.

Die werkseitige Kalibrierung kommerzieller Sensoren und Messsysteme auf einen herstellerspezifischen Luftqualitätsindex erfolgt dabei in aller Regel nur auf einzelne, wenige VOCs. Dabei kann der ermittelte Luftqualitätsindex durch harmlose Events (Kochen, Reinigung) und nicht gesundheitsgefährdende Gase (z. B. Wasserstoff als Bestandteil der Ausatemluft) gestört werden. Wir konnten zeigen, dass durch einen temperaturzyklischen Betrieb der Sensoren die mangelnde Selektivität der Sensoren deutlich gesteigert werden kann [6], [13]. Durch die dynamische Betriebsweise und eine komplexe Laborkalibrierung ist eine kontinuierliche und selektive Quantifizierung einzelner VOCs auch außerhalb des Labors möglich [14]–[16]. Die Relevanz der Mess- und Datenplanung soll anhand dieses Beispiels im Folgenden veranschaulicht werden.

Klassischer Weise werden zur Kalibrierung dieser Gassensoren sequenzielle Prüfabläufe definiert, die alle Mischungsverhältnisse nacheinander einstellen. Sollen für jedes Gas bspw. fünf Konzentrationen als Stützstellen angefahren werden, so ergeben sich bei 15 Gasen rund 30 Milliarden Gasangebote, von denen jedes mindestens 10 min dauern sollte. Bei den 200-300 verschiedenen VOCs, die im Innenraum vorkommen, ist

es praktisch unmöglich, jede Kombination der Gase im Labor zu simulieren. Daher wird oftmals der Umfang reduziert und bspw. der Hintergrund (meist Raumluft) konstant gehalten oder nur wenige Gase variiert. Dies führt dazu, dass im Labor gute und valide Modelle erstellt werden können, die im realen Umfeld aber schnell an Gültigkeit verlieren.

Die Kalibrierung der Sensoren am Lehrstuhl für Messtechnik erfolgt in Gasmischanlagen [17], [18], in denen sowohl Zielgase als auch Störgase mit synthetischer Normalluft verdünnt und gemischt werden, um das gewünschte Gasgemisch einzustellen. Die in **Abbildung 1** dargestellte Gasmischanlage besitzt bis zu 18 individuelle Gaslinien, in denen Prüfgase über einen weiten Konzentrationsbereich (Verdünnungsfaktor von > 1:1.000.000) unabhängig voneinander eingestellt werden können [19]. Diese Anlage ist weltweit einzigartig und ermöglicht selbst komplexeste Kalibrierungen.

Ziel der Mess- und Datenplanung zur Kalibrierung von Gassensoren für die Bewertung der Innenraumluftqualität ist es, aus der Vielzahl möglicher Szenarien jene Testszenarien auszuwählen, welche bestmöglich die Realität simulieren, ohne diese zu stark zu vereinfachen bei gleichzeitig handhabbarer Komplexität. Daher erfolgt in einem ersten Schritt eine Reduzierung von mehreren hundert VOCs auf 12 Stoffgruppen (Aldehyde, Alkane, Alkene, Alkohole, Aromaten, Ester, Glykole und Glykolether, HKW, Ketone, Organische Säuren, Siloxane und Terpene). Für jede dieser Gruppen werden basierend auf analytischen Studien ein bis max. drei repräsentative Gase ausgewählt und mit typischen Störgasen wie bspw. Wasserstoff, Kohlenmonoxid, Stickoxid und Luftfeuchte kombiniert [16]. Durch zufällig ausgewählte (randomisierte) Gasprofile, basierend auf Latin Hyper Cube (LHC) Sampling, können leistungsfähige Regressionsmodelle erstellt werden [20], die durch Freisetzungstests in der realen Anwendung validiert wurden [16], [21]. Hier wird für jedes Gas ein spezieller Konzentrationsbereich definiert, aus dem Konzentrationen frei ausgewählt werden können (**Abbildung 2**).

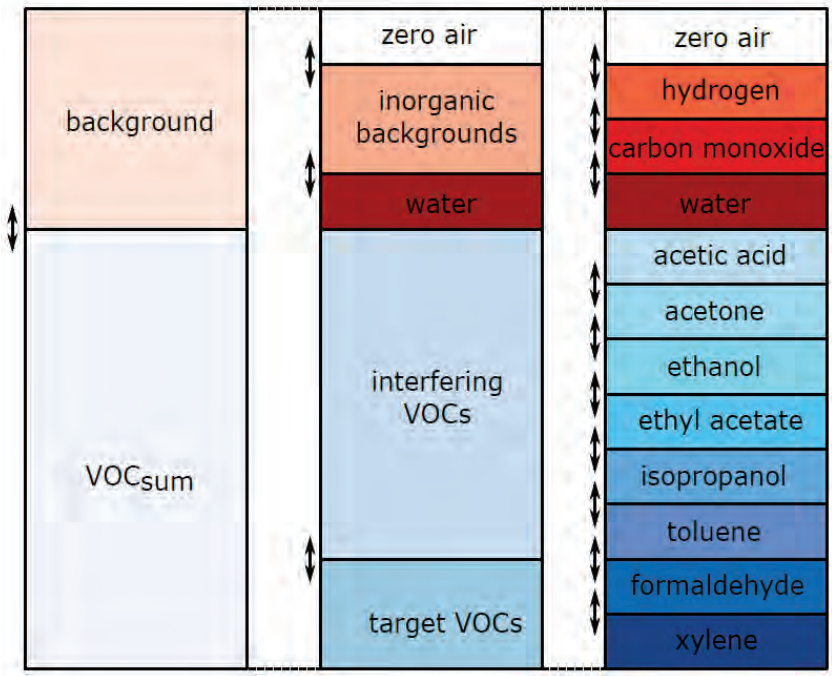


Abb. 2: Übersicht eines randomisierten Test-Gasprofils. Alle VOCs zusammen bilden den VOC-Summenwert VOC_{sum}. Für eine selektive Messung sind einzelne VOCs die Zielgröße und alle weiteren Gase Störgrößen. Für jede Substanz wird die Konzentration dabei über einen weiten Bereich variiert [22].

Der LHC-Algorithmus optimiert dabei die angebotenen Gasgemische so, dass diese möglichst gleichverteilt und voneinander unabhängig sind. Die lineare Unabhängigkeit ist insbesondere wichtig für das nachgeschaltete maschinelle Lernen, da so sichergestellt wird, dass die Modelle die Zielgröße (Erkennung von kritischen VOCs) lernen und nicht etwa die zeitliche Abfolge.

Ein wichtiger Punkt bei der Nutzung von maschinellem Lernen ist die Validierung der gebildeten Modelle, um eine Überanpassung (engl. overfitting) der Modelle an die bereits aufgezeichneten Daten zu vermeiden. Hierfür wird meist eine Kreuzvalidierung (engl. cross validation) eingesetzt. Zudem muss eine Überanpassung an die Daten bei der Optimierung der Hyperparameter des ML-Modells vermieden werden. Im Kontext der Mess- und Datenplanung bedeutet dies, einen repräsentativen Teil (üblicherweise 20 %) der Daten bewusst zurückzuhalten, um die Übertragbarkeit (Robustheit) des Modells auf neue Randbedingungen zu prüfen. Dieser Testdatensatz kann dabei auch ein zweiter, völlig unabhängiger Datensatz sein. Ein guter Ansatz zur Erstellung robuster Modelle ist es, zum Validieren und Testen komplette Zustände/Gasangebote aus dem Trainingsdatensatz herauszunehmen und diese als „unbekannte Daten" dem Modell zu präsentieren. Dadurch wird die tatsächliche Fähigkeit des Modells geprüft, diese unbekannte Größe korrekt vorherzusagen.

Für die Innenraumluftüberwachung konnte gezeigt werden, dass auch unter Verwendung von tiefen neuronalen Netzen (deep learning, ein aktuelles Teilgebiet des maschinellen Lernens) auf Basis des aufgezeichneten Datensatzes mit nur 900 verschiedenen Gasangeboten trainiert werden kann [21], [22]. Ein Vergleich mit einem klassischen ML-Ansatz zeigt, dass die Fehler für alle Zielgrößen geringer sind und bei der Vorhersage von unbekannten Daten das Rauschen deutlich geringer ist (**Abbildung 3**).

Da die randomisierten Datensätze der Gasmischanlage sehr gut beschrieben sind und mehrere Gassensoren zur Charakterisierung umfassen, eignen sie sich auch dazu, die Übertragbarkeit von Modellen von einem auf andere Sensoren zu prü-

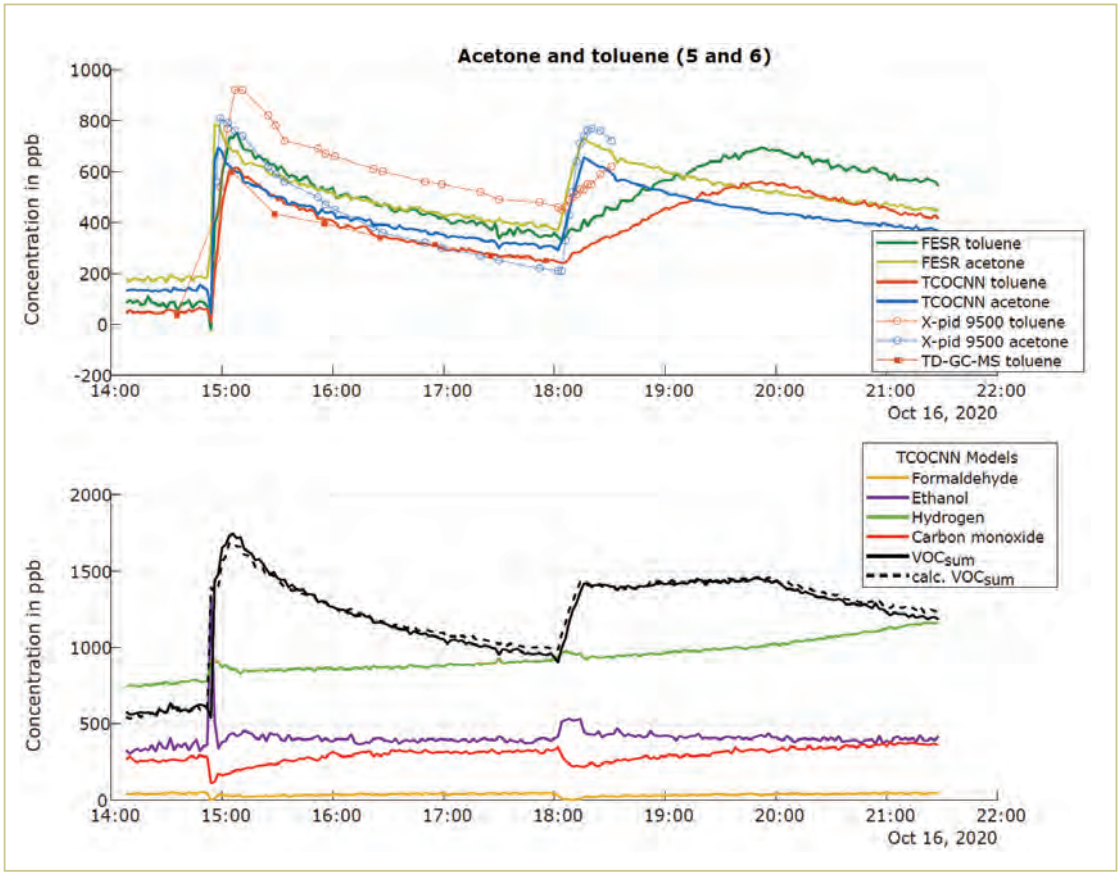


Abb. 3: Oben: Vergleich eines klassischen ML-Modells (FESR: Feature Extraction, Selection, Regression) mit einem tiefen neuronalen Netze (TCOCNN) bei der Freisetzung von Aceton und Toluol. Die parallel durchgeführten Messungen mit Referenzanalytik (X-pid 9500 und TC-GC-MS) zeigen die hohe Messqualität der auf preiswerten MEMS-Sensoren basierenden ML-Modelle. Unten: Antwort der Modelle für weitere Gase sowie des VOC-Summensignals [21].

fen. Bei chemischen Sensoren mit typischerweise recht hoher Sensor-zu-Sensor-Streuung ist in der Regel eine individuelle Kalibrierung nötig, die ein wesentliches Hindernis für die weite Verbreitung smarter Gassensorsysteme darstellt. Wir konnten zeigen, dass es durch eine solide Mess- und Datenplanung, kombiniert mit Methoden des Transfer Learning, möglich ist, die Kalibrierzeit der Sensoren deutlich zu verkürzen [22]. Als Ausgangspunkt wird ein trainiertes neuronales Netz von einem Sensor genommen und auf einen zweiten Sensor übertragen. Zur Anpassung des Netzes an den zweiten Sensor sind deutlich weniger Gasangebote als bei einer vollständigen Kalibrierung nötig, was zu einer Verkürzung des Zeitaufwandes führt.

Bei der Anwendung einer Mess- und Datenplanung in der Forschung, wie im obigen Beispiel in der Gasmischanlage, sind oftmals die erhobenen Daten das eigentliche Ziel und die im Prozess entstandenen Gasgemische stellen ein Abfallprodukt dar, da der wahre Wert des Experiments in den Messdaten liegt. Daher gibt es aktuell große Anstrengungen, die Datenqualität im Sinne der FAIR-Prinzipien für praktisch alle Forschungsbereiche zu verbessern [23].

In industriellen Anwendungen liegt der Fokus bspw. bei einer Produktionsanlage dagegen auf einer Produkt- und Prozessoptimierung. Es gilt, möglichst viele verkaufsfähige Produkte unter dem Einsatz möglichst geringer Ressourcen (Kosten, Zeit, Personal etc.) zu produzieren. Anfallende Daten wurden lange Zeit nur zur Überwachung und für Steuerungs- und Regelungszwecke eingesetzt. Mit der vierten industriellen Revolution (Industrie 4.0) und dem Aufschwung der künstlichen Intelligenz und speziell dem maschinellen Lernen steigt auch das Interesse der Industrie an anfallenden Daten, um damit Anlagen und Maschinen smart zu machen, Kosten zu sparen und die Produktivität zu erhöhen. Im Gegensatz zur Forschung sind die Startbedingungen in der Industrie für die Anwendung künstlicher Intelligenz vergleichsweise ungünstig, auch hier können die FAIR-Prinzipien die Datennutzung deutlich verbessern. In einer im Herbst 2021 erstellten Umfrage über die Hemmnisse bei der Datennutzung für Industrie 4.0 Anwendungsfälle gaben 66 % der befragten Unternehmen fehlende personelle Ressourcen, 19 % fehlendes technisches Wissen, 11 % fehlende Unterstützung vom Management und 4 % fehlende Ideen für konkrete Anwendungsfälle an [24]. Darüber hinaus treten weitere Herausforderungen auf, welche sich am Beispiel der Produktion in vier Gruppen einteilen lassen [25]:

- Produktionsspezifische Herausforderungen (bspw. heterogene Produktionslandschaften, nicht-lineare Produktionsprozesse und -schleifen)
- Datenspezifische Herausforderungen (bspw. unzureichende Datenaufnahme, fehlende Metadaten)

- Analytische Herausforderungen (bspw. Rückverfolgbarkeit der Analyseergebnisse, Vertrauen in die KI-Modelle)
- Softwarespezifische Herausforderungen (bspw. fehlende Schnittstellen)

Speziell die Robustheit der KI-Modelle gegenüber Störgrößen (z. B. Temperaturschwankungen, Lieferantenwechsel, konstruktive Änderungen an Anlagen), sowie deren Übertragbarkeit auf baugleiche bzw. ähnliche Produkte und Anlagen stellen ein aktives Forschungsfeld dar. Um Unternehmen bei der Bearbeitung maschineller Lernprojekte zu unterstützen, wurde eine Checkliste zur Mess- und Datenplanung für das maschinelle Lernen in der Montage entwickelt [26], sie ist in ihren Grundzügen aber auch für andere Domänen gültig. Die Checkliste begleitet Unternehmen über die folgenden Phasen eines maschinellen Lernprojektes:

- Vorbereitung und Projektplanung
- Mess- und Datenplanung
- Datenaufnahme
- Datenprüfung und Datenbereinigung
- Datenauswertung und Modellbildung
- Projektabschluss

Nach einem kurzen Abschnitt, in dem die jeweilige Projektphase erläutert wird, folgen Checkboxen, die zur erfolgreichen Erfüllung notwendig sind (Pflicht-Checkboxen) und Checkboxen deren Erfüllung sich als nützlich erwiesen haben (Best-Practice-Checkboxen). Weiterhin werden Unternehmen durch zusätzliche Hinweise (Hinweis-Box) und Tipps (Tipp-Box) bei der Bearbeitung unterstützt. **Abbildung 4** zeigt einen Auszug der Checkliste [26].

Abb. 4: Checkliste zur Mess- und Datenplanung für das maschinelle Lernen [26].

LITERATUR

1 A. Schütze, N. Helwig, and T. Schneider, "Sensors 4.0 - Smart sensors and measurement technology enable Industry 4.0," Journal of Sensors and Sensor Systems, vol. 7, no. 1, pp. 359–371, May 2018, doi: 10.5194/JSSS-7-359-2018.

2 T. Schneider, N. Helwig, and A. Schütze, "Industrial condition monitoring with smart sensors using automated feature extraction and selection," Meas Sci Technol, vol. 29, no. 9, p. 094002, Aug. 2018, doi: 10.1088/1361-6501/AAD1D4.

3 M. D. Wilkinson et al., "The FAIR Guiding Principles for scientific data management and stewardship," Scientific Data 2016 3:1, vol. 3, no. 1, pp. 1–9, Mar. 2016, doi: 10.1038/sdata.2016.18.

4 A. Blum et al., "Ganzheitlicher Ablaufplan für wissensgetriebene Projekte des maschinellen Lernens in der Produktion," tm - Technisches Messen, vol. 89, no. 5, pp. 363–383, May 2022, doi: 10.1515/TEME-2022-0027.

5 P. Goodarzi, A. Schütze, and T. Schneider, "Comparison of different ML methods concerning prediction quality, domain adaptation and robustness," tm - Technisches Messen, vol. 89, no. 4, pp. 224–239, Apr. 2022, doi: 10.1515/TEME-2021-0129.

6 A. Schütze et al., "Highly Sensitive and Selective VOC Sensor Systems Based on Semiconductor Gas Sensors: How to?," Environments 2017, Vol. 4, Page 20, vol. 4, no. 1, p. 20, Mar. 2017, doi: 10.3390/ENVIRONMENTS4010020.

7 A. Schütze and T. Sauerwald, "Dynamic operation of semiconductor sensors," in Semiconductor Gas Sensors, 2nd ed., R. Jaaniso and O. Kiang Tan, Eds. Woodhead Publishing, 2020, pp. 385–412. doi: 10.1016/B978-0-08-102559-8.00012-4.

8 I. Paciência, J. Madureira, J. Rufo, A. Moreira, and E. de O. Fernandes, "A systematic review of evidence and implications of spatial and seasonal variations of volatile organic compounds (VOC) in indoor human environments," vol. 19, no. 2, pp. 47–64, Feb. 2016, doi: 10.1080/10937404.2015.1134371.

9 R. Benedix, "Bauchemie," Bauchemie, 2015, doi: 10.1007/978-3-658-04144-1.

10 B. de Lacy Costello et al., "A review of the volatiles from the healthy human body," J Breath Res, vol. 8, no. 1, p. 014001, Jan. 2014, doi: 10.1088/1752-7155/8/1/014001.

11 World Health Organization, "Indoor air quality: Organic pollutants," vol. 10, no. 9, pp. 855–858, 2008, doi: 10.1080/09593338909384805.

12 B. Seifert, "Richtwerte für die Innenraumluft Die Beurteilung der Innenraumluftqualität mit Hilfe der Summe der flüchtigen organischen Verbindungen (TVOC-Wert)," Bundesgesundheitsblatt - Gesundheitsforschung - Gesundheitsschutz 1999 42:3, vol. 42, no. 3, pp. 270–278, Mar. 1999, doi: 10.1007/S001030050091.

13 T. Baur, A. Schütze, and T. Sauerwald, "Optimierung des temperaturzyklischen Betriebs von Halbleitergassensoren," tm - Technisches Messen, vol. 82, no. 4, pp. 187–195, Apr. 2015, doi: 10.1515/TEME-2014-0007.

14 J. Amann, T. Baur, C. Schultealbert, and A. Schütze, "Evaluation of indoor air quality via VOC measurements with MOS gas sensors - Calibration, field test, validation," tm - Technisches Messen, vol. 88, no. S1, pp. S89–S94, Sep. 2021, doi: 10.1515/TEME-2021-0058.

15 C. Schultealbert, J. Amann, T. Baur, and A. Schütze, "Measuring Hydrogen in Indoor Air with a Selective Metal Oxide Semiconductor Sensor," Atmosphere 2021, Vol. 12, Page 366, vol. 12, no. 3, p. 366, Mar. 2021, doi: 10.3390/ATMOS12030366.

16 T. Baur, J. Amann, C. Schultealbert, and A. Schütze, "Field Study of Metal Oxide Semiconductor Gas Sensors in Temperature Cycled Operation for Selective VOC Monitoring in Indoor Air," Atmosphere 2021, Vol. 12, Page 647, vol. 12, no. 5, p. 647, May 2021, doi: 10.3390/ATMOS12050647.

17 N. Helwig, M. Schüler, C. Bur, A. Schütze, and T. Sauerwald, "Gas mixing apparatus for automated gas sensor characterization," Meas Sci Technol, vol. 25, no. 5, 2014, doi: 10.1088/0957-0233/25/5/055903.

18 M. Leidinger, C. Schultealbert, J. Neu, A. Schütze, and T. Sauerwald, "Characterization and calibration of gas sensor systems at ppb level—a versatile test gas generation system," Meas Sci Technol, vol. 29, no. 1, p. 015901, Dec. 2017, doi: 10.1088/1361-6501/AA91DA.

19 D. Arendes, H. Lensch, J. Amann, A. Schütze, and T. Baur, "P13.1 - Modular design of a gas mixing apparatus for complex trace gas mixtures," pp. 326–331, Jan. 2022, doi: 10.5162/15DSS2021/P13.1.

20 T. Baur, M. Bastuck, C. Schultealbert, T. Sauerwald, and A. Schütze, "Random gas mixtures for efficient gas sensor calibration," Journal of Sensors and Sensor Systems, vol. 9, no. 2, pp. 411–424, Nov. 2020, doi: 10.5194/JSSS-9-411-2020.

21 Y. Robin et al., "High-Performance VOC Quantification for IAQ Monitoring Using Advanced Sensor Systems and Deep Learning," Atmosphere 2021, Vol. 12, Page 1487, vol. 12, no. 11, p. 1487, Nov. 2021, doi: 10.3390/ATMOS12111487.

22 Y. Robin, J. Amann, P. Goodarzi, T. Schneider, A. Schütze, and C. Bur, "Deep Learning Based Calibration Time Reduction for MOS Gas Sensors with Transfer Learning," Atmosphere 2022, Vol. 13, Page 1614, vol. 13, no. 10, p. 1614, Oct. 2022, doi: 10.3390/ATMOS13101614.

23 "nfdi | Nationale Forschungsdateninfrastruktur e. V." https://www.nfdi.de/ (accessed Oct. 24, 2022).

24 P. Gönnheimer, M. Netzer, C. Lange, R. Dörflinger, J. Armbruster, and J. Fleischer, "Data Acquisition and Processing in Brownfield Production Study on the Status of Digitalization and Existing Challenges in the Production Environment," ZWF Zeitschrift fuer Wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, vol. 117, no. 5, pp. 317–320, May 2022, doi: 10.1515/ZWF-2022-1062.

25 Y. Wilhelm, U. Schreier, P. Reimann, B. Mitschang, and H. Ziekow, "Data Science Approaches to Quality Control in Manufacturing: A Review of Problems, Challenges and Architecture," Communications in Computer and Information Science, vol. 1310, pp. 45–65, 2020, doi: 10.1007/978-3-030-64846-6_4.

26 C. Schnur, S. Klein, and A. Blum, "Checkliste – Mess- und Datenplanung für das maschinelle Lernen in der Montage," Aug. 2022, doi: 10.5281/ZENODO.6943476.

KONTAKT

UNIVERSITÄT DES SAARLANDES
Lehrstuhl für Messtechnik
Christian Bur, Christopher Schnur, Andreas Schütze
Campus A5.1, 66123 Saarbrücken
Korrespondenz: c.bur@lmt.uni-saarland.de

FORSCHUNG AUF DEM GEBIET DER LIDAR-SENSORIK AM LEHRSTUHL FÜR MESSSYSTEM- UND SENSORTECHNIK (MST) DER TECHNISCHEN UNIVERSITÄT MÜNCHEN (TUM)

M. Fink, M. Jakobi, A.W. Koch

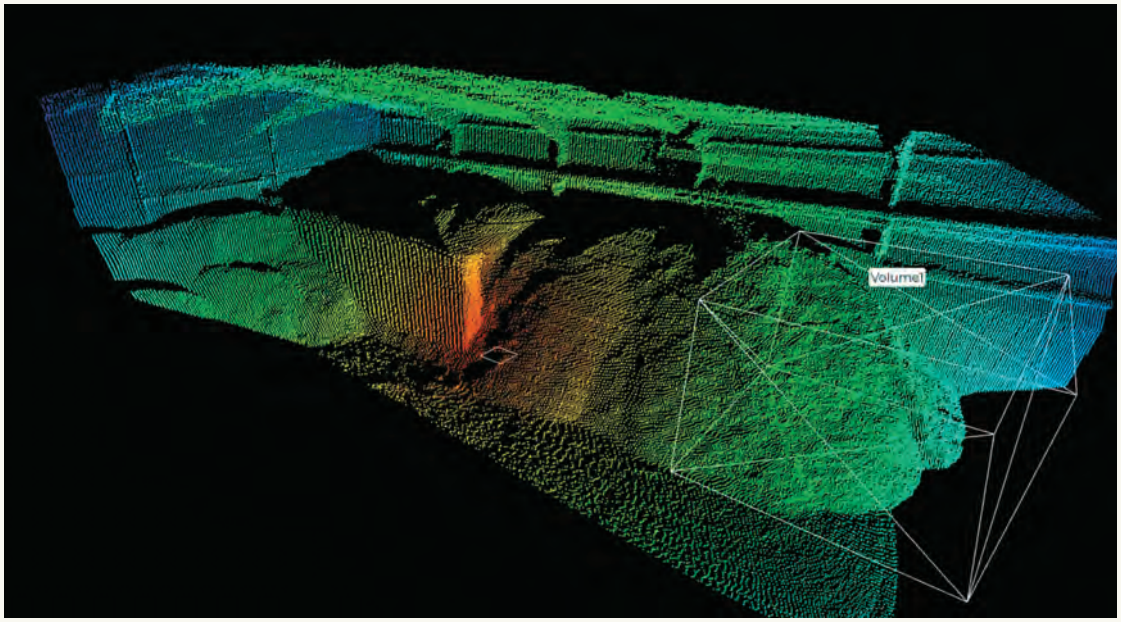


Abb. 1: Volumenmessung eines Schüttgutes innerhalb einer definierten Zone, Quelle: Blickfeld GmbH

Die Forschungsschwerpunkte von Professor Dr.-Ing. habil. Dr. h. c. Alexander W. Koch umfassen faseroptische und optomechatronische Messsysteme, Lasermesstechnik, holographische Speckle-Interferometrie, Fluoreszenzanalyse, Dünnschichtmesstechnik, Bild- und Sensordatenverarbeitung, Fourier-Transformations-Infrarotspektroskopie (FTIR-Spektroskopie), Umweltmesstechnik, Multisensorsysteme und medizinische Messverfahren.

Professor Koch studierte Elektrotechnik und Informationstechnik an der Technischen Universität München (TUM) und wurde 1988 an der Universität der Bundeswehr München promoviert. 1988 bis 1992 war er Research Fellow der Max-Planck-Gesellschaft am Max-Planck-Institut für Plasmaphysik und habilitierte sich 1992 für das Fachgebiet Elektrophysik. Im gleichen Jahr folgte er einem Ruf auf die Professur für Messtechnik an die Universität des Saarlandes. Er leitet seit 1998 den Lehrstuhl für Messsystem- und Sensortechnik (MST), der Teil der Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik mit insgesamt 37 Lehrstühlen und Professuren, über 400 wissenschaftlichen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern und über 3.700 Studierenden ist; die TUM besteht insgesamt aus 15 TUM Schools und Fakultäten mit über 600 Professorinnen und Professoren und 48.692 Studierenden (Stand Wintersemester 2021/22). Seit 01.10.2022 ist die Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik Teil der TUM School of Computation, Information and Technology (CIT).

Die Lehre am MST konzentriert sich auf die Gebiete der Sensortechnik, der photonischen Messsysteme sowie der lasergestützten Messverfahren, regelmäßig auch am German Institute for Science and Technology, GIST-TUM ASIA, in Singapur.

Aufgrund der MST-Patentstrategie verfügt Professor Koch auf den Gebieten der Messsystem- und Sensortechnik über zahlreiche Patente und setzt sich besonders für den Transfer von Forschungsergebnissen in die Praxis ein. Aus den Forschungsschwerpunkten von Professor Koch wird im Folgenden das Gebiet der LiDAR-Sensorik vorgestellt.

LiDAR-Sensoren (Light Detection and Ranging) messen zuverlässig und hochauflösend Distanzen für verschiedenste Anwendungen. Dazu werden mehrere Distanzmessungen, meist durch eine Laufzeitmessung, zu einer Punktwolke, also einem dreidimensionalen Bild der Umgebung, kombiniert. Die Daten können für verschiedene Applikationen von Interesse sein und finden im industriellen Umfeld beispielsweise Anwendung in der Volumenmessung von Schüttgütern [1]. **Abbildung 1** zeigt eine solche Bestandserfassung, wobei in Echtzeit das Volumen innerhalb einer definierten Zone überwacht werden kann. Das prominenteste Anwendungsbeispiel von LiDAR-Sensoren ist das autonome Fahren, das neben der Elektromobilität den nächsten Meilenstein der Automobilindustrie darstellt. Hier bieten LiDAR-Systeme durch ihre höhere Reichweite und Auflösung nicht nur einen Vorteil gegenüber Kameras und Radar-Sensoren, sondern schaffen auch die nötige Redundanz. Die bisher angebotenen Spurhalte-Assistenten oder Regeltempomaten sind der Stufe 2, von insgesamt 6 Stufen beginnend bei 0, des autonomen Fahrens zuzuordnen [2]. Ab Stufe 3 sind die o.g. Sensoren Voraussetzung, um das Umfeld des Fahrzeugs zu kontrollieren.

In der 2017 gegründeten Blickfeld GmbH (www.blickfeld.com), welche eine innovative Methode zur Strahlablenkung mit Hilfe von MEMS-Spiegeln (mikroelektromechanisches System) entwickelt hat, bringt der MST weiterhin seine Expertise im Bereich der optischen Messtechnik ein. Dabei wurde beispielsweise ein Messaufbau zur Charakterisierung der Strahlablenkeinheiten [3] und ein LiDAR-Modell zur Simulation des Sensorsignals entwickelt [4].

In einem ZIM-Kooperationsprojekt (Zentrales Innovationprogramm Mittelstand), gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (mittlerweile Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz), wird am MST derzeit eine Mehrkanal-Laser-Detektor Einheit entwickelt. In Kombination mit der speziellen MEMS-Technologie der Blickfeld GmbH zum Ablenken der Lichtstrahlen soll somit ein hochleistungsfähiger Sensorprototyp mit hoher Auflösung und Bildwiederholrate (Framerate) unter anderem auch für die Anwendung autonomes Fahren innerorts entstehen. Hierbei sind eine sehr hohe räumliche Auflösung und eine hohe Bildwiderholfrequenz nötig, um auch kleine Objekte, wie Hindernisse oder Tiere auf der Fahrbahn, schnell und sicher erkennen zu können. Die Besonderheit des Vorhabens ist der Einsatz von kostengünstigen oberflächenemittierenden Laserdioden (VCSEL). Diese eignen sich aufgrund

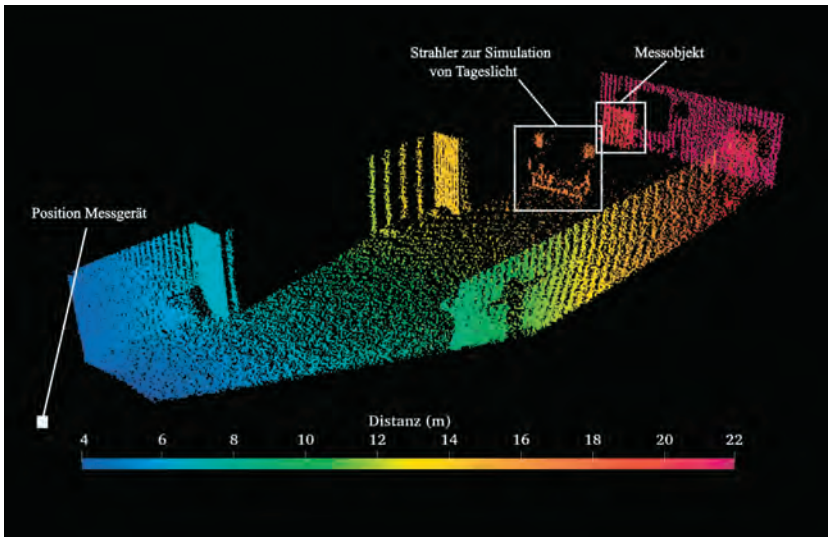


Abb. 2: Punktwolke der Testumgebung aufgenommen mit dem Mehrkanal-Laborprototypen, Quelle: MST

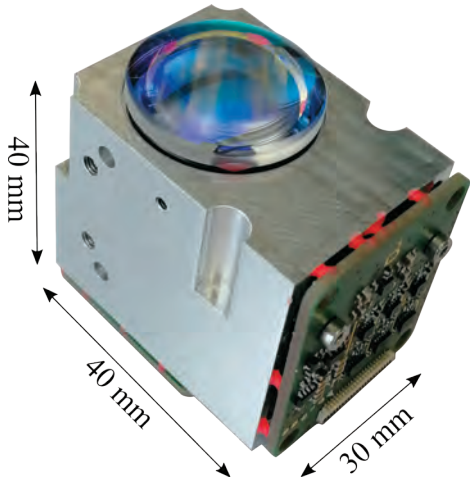


Abb. 3: Prototyp der entwickelten Mehrkanal-Laser-Detektor Einheit, Quelle: MST

ihrer guten Strahlqualität und speziellen Geometrie besonders für den Mehrkanal-Ansatz. Zudem weisen sie eine sehr geringe Drift der Emissionswellenlänge gegenüber der Temperatur im Vergleich zu herkömmlichen Kantenemittern auf, was das Filtern von störendem Umgebungslicht erleichtert. Einziger Nachteil der VCSEL ist ihre geringe Pulsenergie. Durch die ständige Weiterentwicklung zu höheren Wirkungsgraden der Umwandlung von elektrischer Energie in Laserstrahlung steigt dennoch die Attraktivität von VCSEL für Sensoranwendungen [5]. Die Machbarkeit eines VCSEL-basierten scannenden LiDAR-Systems wurde daher zunächst mittels eines Laborprototypen mit drei Laser-Detektorpaaren verifiziert. Eine Punktwolke, die damit aufgenommen wurde, ist beispielhaft in **Abbildung 2** dargestellt.

Ein Prototyp der vom MST entwickelten Laser-Detektor-Einheit ist in **Abbildung 3** gezeigt. Das Modul enthält 12 Laser-Detektor-Paare, mit denen der Winkelraum durch den Scan ähnlich zu einem Rechen abgetastet werden soll, um eine Framerate von 25 Hz zu erreichen. Eine Besonderheit der Einheit ist neben der Kompaktheit, dass sie mit optischen Standardkomponenten auskommt und eine einzelne Linse zum Senden und Empfangen der Laserpulse verwendet. Der koaxiale Verlauf von Sende- und Empfangspfad wird mittels innovativer Strahlkopplung erreicht. Da die einzelnen optischen Kanäle bereits auf Chip-Level separiert sind, sind auch keine weiteren diffraktiven optischen Elemente (DOE) nötig, wie sie beispielsweise in anderen Mehrkanal-Systemen zum Einsatz kommen [6]. Dies ermöglicht eine kompakte und dennoch kostengünstige Bauform des Moduls.

Erste Messergebnisse zur Reichweite, welche mit dem entwickelten Modul erreicht werden kann, sind in **Abbildung 4** gezeigt. Die Detektionsrate für eine einzelne Punktmessung wird hierbei industrietypisch für einen Lambert`schen Reflektor mit einem Reflexionskoeffizienten von 10% (dunkelgrau-schwarz) ermittelt. Der Fall 100 klux entspricht hierbei direkter Sonneneinstrahlung auf dem Objekt. Für diesen Fall ist die vom System zu registrierende Lichtmenge sehr gering, während der Rauschpegel durch die simulierte Sonnenstrahlung mittels Strahler beachtlich ist. Die Reichweite ist definiert als Punkt, bei dem die Detektionsrate auf 0,9 abgefallen ist. Sie beträgt für den Prototypen ca. 30 m.

Im nächsten Entwicklungsschritt muss eine Steuerung und Datenauswertung auf einem programmierbaren Logikchip (FPGA) entwickelt werden, die die Distanz-Daten mit den Winkeln der MEMS-Strahlablenkeinheiten verrechnet. Dies stellt insofern eine Herausforderung dar, da durch die Vervielfachung der Detektoren viele Daten gleichzeitig verarbeitet werden müssen. Das Ziel von weiterer Forschung ist der Aufbau eines funktionstüchtigen, voll integrierten LiDARs und die Untersuchung der Leistungsfähigkeit des Systems. Zudem soll das entwickelte Sensormodell für vielfältige Sensorarchitekturen generalisiert und für Simulationen auf Punktwolken-Ebene erweitert werden.

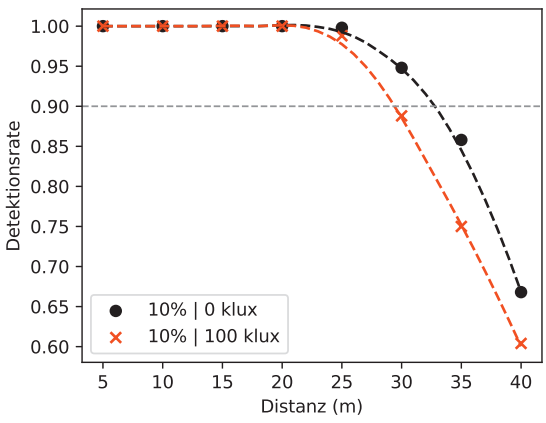


Abb. 4: Detektionsrate des Prototyps für eine Platte mit einer Reflektivität von 10%, Quelle: MST

Gefördert durch:

Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

ZIM
Zentrales
Innovationsprogramm
Mittelstand

REFERENZEN:

[1] Blickfeld GmbH (2022): „Blickfeld LiDAR-Sensoren führen effiziente Schüttgut Volumenmessung durch", online, www.blickfeld.com/de/blog/schuttgut-volumenmessung-mit-lidar/, abgerufen am 5.9.2022

[2] ITF (2015): „Automated and Autonomous Driving: Regulation under Uncertainty", International Transport Forum Policy Papers, No. 7, OECD Publishing, Paris, https://doi.org/10.1787/5jlwvzdfk640-en

[3] V. Baier et al. (2022): „MEMS-Scanner Testbench for High Field of View LiDAR Applications." Sensors22, 39, https://doi.org/10.3390/s22010039

[4] M. Fink et al. (2022): „Full-Waveform Modeling for Time-of-Flight Measurements based on Arrival Time of Photons.", https://arxiv.org/abs/2208.03426.

[5] M. Dummer et al. (2021): „The role of VCSELs in 3D sensing and LiDAR," Proc. SPIE 11692, Optical Interconnects XXI, 116920C, https://doi.org/10.1117/12.2577885

[6] L. Zhaohui et al. (2017): „Multi-beam single-photon-counting three-dimensional imaging Lidar." Optics Express 25 (9), S. 10189–10195, https://doi.org/10.1364/OE.25.010189.

KONTAKT

TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN
Technische Universität München
TUM School of Computation, Information and Technology
Department of Electrical Engineering
Lehrstuhl für Messsystem- und Sensortechnik
Arcisstraße 21, D-80333 München
Tel.: +49 (0)89 289-23344, Fax: +49 (0)89 289-23348
a.w.koch@tum.de
www.ee.cit.tum.de/mst

NICHT-INVASIVES ULTRASCHALL-DURCHFLUSS-MESSVERFAHREN ZUR DETEKTION VON DURCH-FLUSSRATEN IM MIKROLITERBEREICH

Philipp Arneth, Dr. Philipp Linke, Prof. Dr. Klaus Stefan Drese

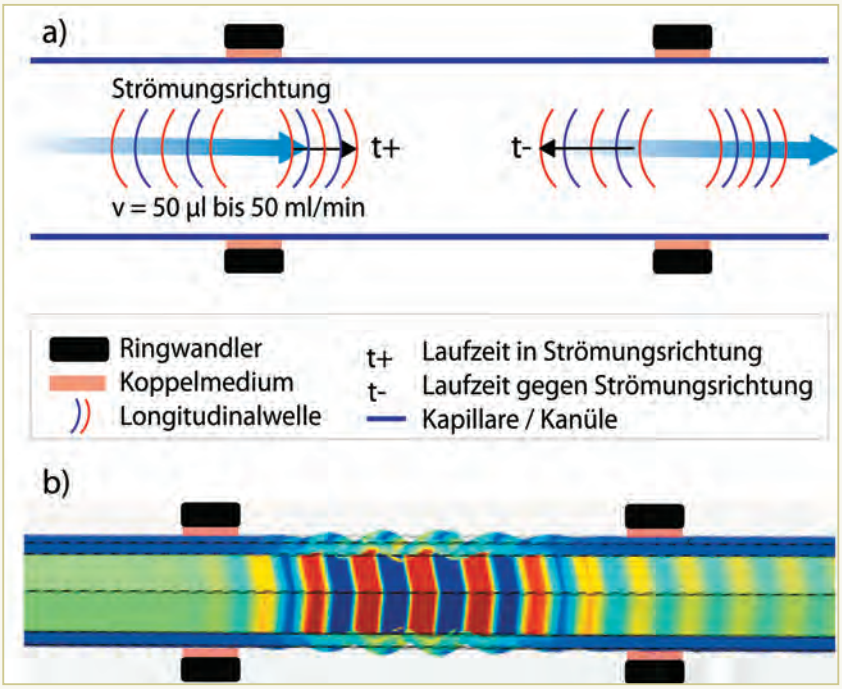


Abb. 1: a) Schema Messprinzip zur Laufzeitdifferenzmessung an dünnen Kanülen, b) FEM-Simulation der Wellenausbreitung in einer Kanüle

Insbesondere in der Medizintechnik, Biotechnologie oder im Pharmasektor müssen oft sehr kleine Flüssigkeitsmengen transportiert oder dosiert werden. Kommerziell verfügbare nicht-invasive Sensoren zur Durchfluss- oder Volumenstrommessung, die ohne Kontakt zum Fluid arbeiten und damit die hohen Hygienestandards dieser Branchen erfüllen, sind aktuell allerdings nicht zur präzisen Messung kleinster Durchflussraten im Mikroliterbereich geeignet.

Das Institut für Sensor- und Aktortechnik (ISAT) der Hochschule Coburg befasst sich bereits seit seiner Gründung mit der Entwicklung innovativer Sensorlösungen, insbesondere im Bereich Ultraschall. In einem Forschungsprojekt mit der Firma IBIDI GmbH entwickelt das ISAT aktuell ein nicht-invasives Durchflussmessverfahren auf Ultraschallbasis für den Einsatz in Zellkulturassays, welches die Messung sehr geringer Durchflussraten bzw. Volumendosierung im Mikroliterbereich ermöglicht und auch für die Durchflussmessung in Schläuchen eingesetzt werden kann.

Bedarfsanalyse: Messung kleinster Durchflussraten in Medizintechnik und Co.

Die hochgenaue Mischung von zwei oder mehreren Flüssigkeiten bzw. die Zuführung definierter Reagenzien über die Zeit oder die Zuführung definierter Volumina erfordert im Bereich der Biotechnologie, Medizintechnik oder Mikrofluidik präzise Verfahren zur Durchflussmessung bei kleinen Volumina. Sensorverfahren für diese Anwendungsfelder sollten zudem ohne direkten Kontakt zu den Fluiden arbeiten, um einen Verlust der Sterilität durch Querkontamination kategorisch ausschließen zu können. Ein konkretes Anwendungsfeld eines nicht-invasiven Sensors zur Messung von Kleinstdurchflussmengen stellen Zellkultur-Assays dar. Diese sind ein wesentliches Element der Grundlagenforschung und auch der präklinischen Forschung, um z. B. den Einfluss verschiedener Wirkstoffe auf das Zellwachstum zu untersuchen. Viele Zellkulturexperimente werden in kleinen, ggf. sogar mikrofluidischen Systemen durchgeführt. Dies geschieht unter anderem um Zellkultivierung unter Flussbedingungen zu ermöglichen oder eine Scherspannung wie im menschlichen Blutkreislauf nachzubilden. Um diese Flussbedingungen nicht-invasiv und kontaminationsfrei zu kontrollieren, bedarf es neuartiger Sensorsysteme zur Durchflussmessung in dem für die Anwendung relevanten Durchflussraten im Bereich von 50 µL/min bis hin zu 50 mL/min. Der maximale Fehler darf dabei 10 % nicht überschreiten. Darüber hinaus soll ein solches Durchflussmesssystem einfach nachrüstbar und somit in bereits bestehende Schlauch- und oder Rohrsysteme mit unterschiedlichen Materialien und Durchmessern (0,5 – 1,6 mm) integrierbar sein. In aktuellen Anwendungen wird der Durchfluss entweder indirekt an vorgelagerten Stellen über Druck oder mit fluidgekoppelten Sensoren, z. B. thermischen Sensoren, innerhalb des Mediums gemessen. Für den Fall einer hochgenauen Dosierung ohne Fluidkopplung sind vorgelagerte Druckregelungen, wie sie bisher bei nicht-invasiven Systemen realisiert sind, nicht mehr geeignet, da sie auf konstante Durchflüsse ausgelegt sind, aber nicht gleichzeitig feine Dosieraufgaben übernehmen können. Die Option zur zweifachen Nutzung von hochsensibler Flussregelung über Druckvorgabe in Kombination mit einer Dosierungsmöglichkeit über extern angebrachte, hochgenaue Sensorik erweitert den Anwendungsbereich entscheidend.

Die hier durchgeführte Entwicklung eines nicht-invasiven Durchflussmessverfahren auf Ultraschallbasis ermöglicht die Messung sehr geringer Durchflussraten bzw. eine Volumendosierung im Mikroliterbereich. Das Verfahren ist sowohl bei sehr dünnen Rohren bzw. Kanülen oder Kapillaren sowie auch in dünnen Schläuchen einsetzbar.

Akustisches Messkonzept für die Detektion von Strömungen im Mikroliterbereich

Wie bei der ultraschallbasierten Strömungsmessung in größeren Rohren und Schläuchen nutzt auch das vom ISAT entwickelte System eine Laufzeitdifferenzmessung. Hierbei wird die Ausbreitung der Schallwelle in der durchströmenden Flüssigkeit betrachtet. In Rohren oder Schläuchen mit großen Abmessungen erfolgt die Schallwellenausbreitung meist schräg durch das Rohr oder den Schlauch, was in der Regel durch Nutzung von Keilen erreicht wird. Bei dieser Form der schrägen Durchschallung ist der Weg durch die Flüssigkeit allerdings zu kurz, um auch bei sehr niedrigen Durchflüssen (50 µL/min) und insbesondere geringen Schlauch- oder Rohrdurchmessern die Strömungsgeschwindigkeit genau zu messen, weshalb die schräge Durchschallung des Mediums nicht für die Messung geringer Durchflussraten in kleinen Systemen eingesetzt werden kann.

Im entwickelnden Sensorkonzept ist daher die Schallausbreitung nicht quer zur Rohrwandung, sondern entlang der Rohr- bzw. Schlauchrichtung. Dafür werden spezielle geführte Ultraschallmoden angeregt, die sich gekoppelt, sprich sowohl in der Wandung als auch im Fluid, ausbreiten [1-3]. Das Sensorsystem agiert dabei als zylindrischer Wellenleiter. Mittels des Mitführ-Effektes von Schallwellen im strömenden Medium breiten sich die Moden dabei in Strömungsrichtung schneller aus als entgegen der Strömungsrichtung (Abbildung 1). Der Schallpuls besitzt somit in Strömungsrichtung gemessen eine kürzere Laufzeit als entgegen der Strömung. Wird gleichzeitig die Laufzeit in und gegen die Strömung gemessen und aus beiden Zeitwerten die Differenz gebildet, so zeigt diese Differenzlaufzeit eine direkte Proportionalität zur Strömungsgeschwindigkeit des Mediums unabhängig von möglichen Temperatureinflüssen. Dadurch lässt sich mittels Laufzeitdifferenzenverfahren die zugrunde liegende Strömungsgeschwindigkeit ermitteln.

FEM-gestützte Auslegung des Sensorsystem

Da es eine Vielzahl an unterschiedlichen akustisch geführten Moden (Longitudinalmoden, Schermoden, Biegemoden) mit frequenzabhängiger Ausbreitungsgeschwindigkeit gibt, wird dafür vorab

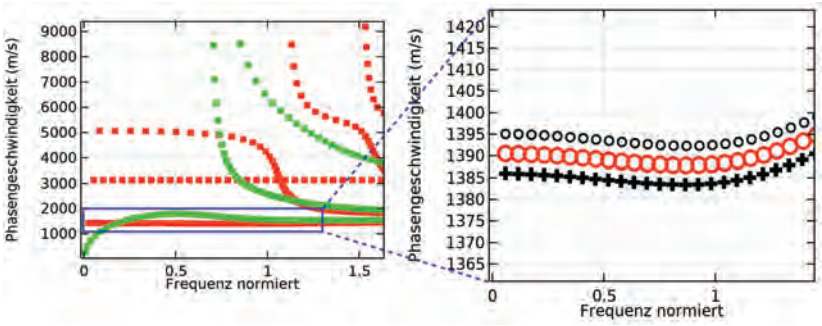


Abb. 2: **links:** Dispersionsrelation eines zylindrischen Wellenleiters mit Moden mit unterschiedlichen Ausbreitungsgeschwindigkeiten zur Ableitung eines geeigneten Arbeitspunktes für die Durchflussmessung, grün: Biegemoden, rot: Longitudinalmoden; **rechts:** Dispersionsrelation der Fluidmode. Rot Kreis: Fluid in Stillstand. Schwarz Kreis: Ausbreitung entlang der Hintergrundströmung. Schwarz Plus: Ausbreitung entgegen der Hintergrundströmung

die Dispersionsrelation des Wellenleiters numerisch mittels der Finite-Elemente-Methode berechnet. Die Dispersionsrelation beschreibt dabei die frequenzabhängige Ausbreitung der einzelnen Moden (**Abbildung 2**).

Durch Berücksichtigung einer Hintergrundströmung lassen sich mittels der Simulation auch die Ausbreitungsgeschwindigkeiten mit anliegender Hintergrundströmung berechnen und ermöglichen somit eine erste Berechnung des Messeffekts. Die Auswirkung der Hintergrundströmung auf die Phasengeschwindigkeit in der Dispersionsberechnung ist in **Abbildung 2** (rechts) zu sehen. Die mittleren Messpunkte zeigen hierbei die ursprüngliche Geschwindigkeit. Mit der Hintergrundströmung wird die Phasengeschwindigkeit erhöht (o) und gegen die Strömung wird die Phasengeschwindigkeit erniedrigt (+).

Durch Verwendung der numerischen Simulation konnte somit eine maximal sensitive Mode bezüglich einer anliegenden Hintergrundströmung identifiziert werden und deren frequenzabhängige Ausbreitungsgeschwindigkeit berechnet werden (siehe **Abbildung 2**). Die Ausbreitungsgeschwindigkeiten der einzelnen Moden spielen dabei eine essenzielle Rolle. Die Frequenz muss so gewählt sein, dass die Wellenpakete bei gepulster Anregung zeitlich getrennt beim Empfänger ankommen und somit eine exakte Laufzeitverschiebung bestimmt werden kann.

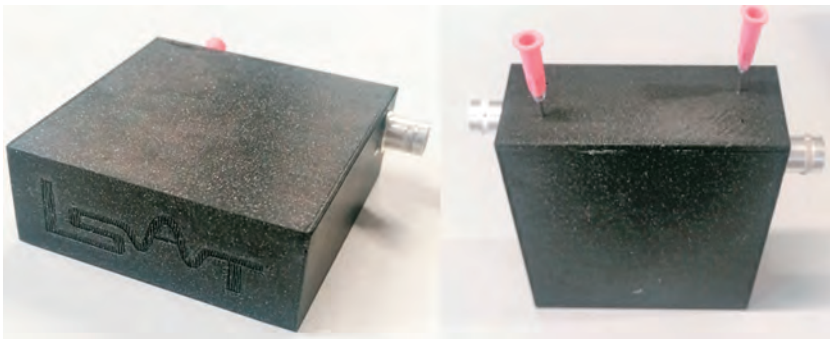


Abb. 3: 3D-gedrucktes Gehäuse mit innenliegenden Sensorelementen und Anschluss über Luer-Lock-Adapter

Aufbau Durchflussmesssystem

Als Wellenleiter dient im entwickelten System eine Edelstahlkapillare, auf der in definierten Abständen mehrere piezoelektrische Ringwandler angebracht werden.

Die Ringwandler sind dabei so ausgelegt, dass bei der gewählten Arbeitsfrequenz die gewünschte akustisch geführte Mode angeregt und detektiert werden kann. Die Anregung und Detektion der Mode erfolgt von außerhalb, sprich auf der Wandung der Kapillare, so dass die Sensorelemente in keinen direkten Kontakt mit dem Medium stehen. Bei der für die Durchflussmessung verwendeten Fluidmode befindet sich die Energie im Arbeitspunkt primär in der Flüssigkeit. Deshalb wurde der aus Wandlern plus Kapillare bestehende Sensorprototyp in ein 3D-gedrucktes Gehäuse mit hochdämpfenden Silikon integriert. Dies führt dazu, dass die störenden Moden annähernd komplett weggedämpft werden, während die auszuwerdente Mode annähernd ungedämpft am Empfangspiezo ankommt. Das ermöglicht eine modenreine Auswertung und somit eine exakte Messung der Laufzeitverschiebung mit minimalen Störsignalen. Die elektrische Kontaktierung erfolgt über BNC-Anschlüsse (**Abbildung 3**).

Der fertige Prototyp besitzt kompakte Abmessungen von 8x8x4 cm³ und kann problemlos mittels Luer-Lock-Verschluss an unterschiedlichen Rohr- bzw. Schlausystemen angebracht werden. Eine Fertigung des gesamten Sensors ist für die spätere Nutzung als Produkt auch aus Edelstahl möglich.

Versuchsergebnisse zur Mikroliter-Durchflussmessung

Für die Messung der Kleinstdurchflussraten wurde eine druckgeregelte Pumpe (P2CS 4 Plus, Biophysical Tools GmbH) zur Erzeugung konstanter Durchflussraten verwendet. Die Signalerzeugung zur Anregung der akustischen Wellen erfolgte über einen Funktionsgenerator (AFG 3022B, Tektronix). Über ein digitales Speicheroszilloskop (WaveRunner 604Zi, Teledyn LeCroy) mit einer Abtastrate 1 GHz mit 20 Mittelungen erfolgte die Signaldetektion.

Zur Kalibration wurde das entwickelte Setup in ein bestehendes Schlauchsystem mittels Luer-Lock integriert. Mittels Pumpe wurden anschließend verschiedene Druckstufen und somit unterschiedliche Durchflussraten eingestellt. Als Fluidmedium

wurde dabei Wasser bei Raumtemperatur gewählt.

Für die Messung selbst wurde über einen exakt gemessenen Zeitraum mit konstanten Druckniveau abwechselnd in und gegen die Strömung gemessen und die Laufzeitdifferenz ermittelt. Das durchgesetzte Volumen wurde anschließend für jede Druckstufe mit einer Präzisionswaage (TED224S-OCE, Sartorius) gewogen. Anhand von Gewicht, Messdauer und bekannten Querschnitt der Kanüle konnte somit auf eine mittlere Strömungsgeschwindigkeit gerechnet werden. Die errechnete Strömungsgeschwindigkeit wurde anschließend in Relation zur mittleren Laufzeitverschiebung gesetzt.

Insgesamt wurden dabei Durchflussraten von ca. 40 µL/min – 50 mL/min eingestellt und die Laufzeitverschiebung ermittelt. Anschließend wurden diese gegeneinander grafisch aufgetragen und eine Ausgleichsgerade als Kalibrierfunktion erstellt (**Abbildung 4**).

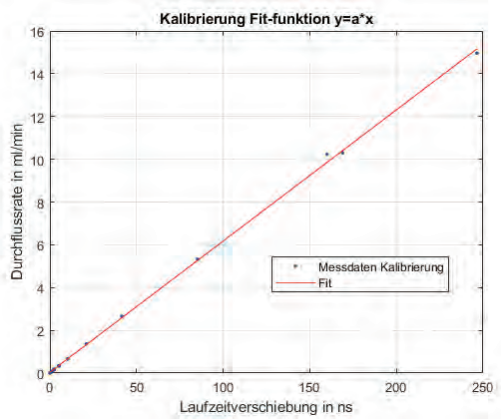


Abb. 4: Ausschnitt der Kalibriergerade (rot) zur Abhängigkeit zwischen Durchflussrate und Laufzeitverschiebung im Bereich von 0 bis 16 mL/min.

Danach wurden die gemessenen Laufzeitverschiebungen in die jeweiligen Durchflussraten umgerechnet. Mittels Integration über die jeweiligen Messzyklen kann der durchgesetzte Massenstrom berechnet werden.

Die Ereignisse zeigen auch bei geringen Durchflussraten im Mikroliterbereich einen linearen Zusammenhang mit der gemessenen Laufzeitverschiebung. Die Messfehler liegen bei 50 µl/min Durchfluss bei rund 7 %, bei Durchflussraten in der Größenordnung von 50 mL/min bei unter 0,1 %.

Einsatz des Durchflusssensor unter Realbedingungen

Nach erfolgreicher Kalibrierung und ersten Testmessungen wurde das Messsystem bei unserem Entwicklungspartner IBIDI unter realen Bedingungen betrieben. Neben Wasser wurde ebenfalls ein standardisiertes Nährmedium für Zellkultur (DMEM) als Fluid verwendet.

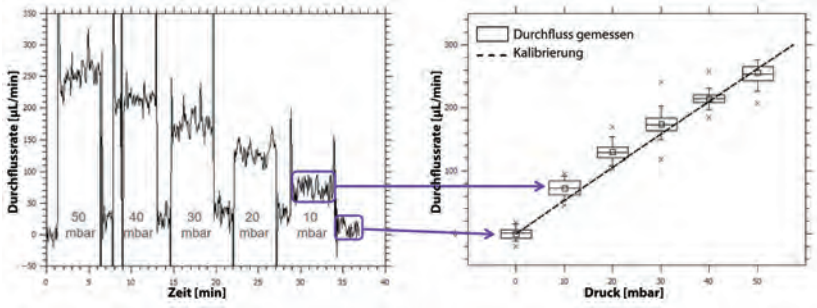
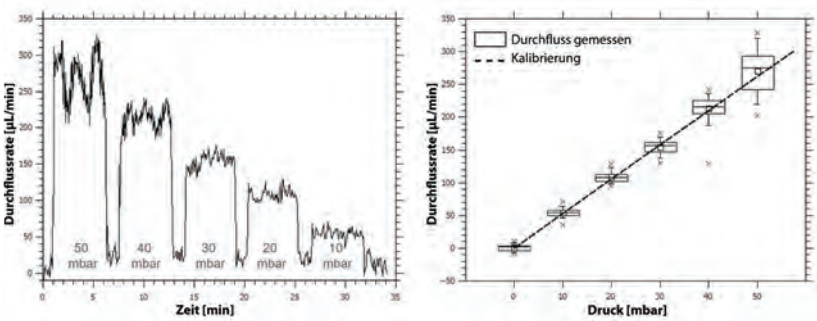


Abb. 5: **links:** Messsignale bei unterschiedlichen Druckstufen; **rechts:** zugehöriger Boxplot zu den jeweiligen Druckstufen, Medium: Wasser

Es wurden unterschiedliche Druckstufen (10 mbar bis 50 mbar) bzw. Durchflussraten eingestellt. Jede Druckstufe wurde für 5 Minuten gehalten, um anschließend zuerst die Nullposition und darauffolgend die nächste Druckstufe anzufahren.
Zunächst wurde das System mit Wasser getestet. In **Abbildung 5** sind links die Rohsignale zu erkennen. Es fand bereits eine Umrechnung in die Durchflussrate statt. Es zeigte sich, dass mit abnehmendem Druck der Pumpe auch die Durchflussrate sinkt. Die detaillierte Darstellung der Ergebnisse inklusive statistischer Größen erfolgt dann rechts daneben in einem Boxplot. Die gestrichelte Linie gibt hierbei die Kalibriergerade wieder. Es zeigt sich, dass für das Medium Wasser die Werte gut mit der Kalibrierung übereinstimmen, auch bei niedrigen Flussraten von 50 µL/min.

In **Abbildung 6** sind die Ergebnisse mit dem Medium DMEM dargestellt. Auch hier korreliert die Flussrate mit dem eingestellten Druck. Der Boxplot zeigt, dass die Werte gut mit den Kalibrierwerten übereinstimmen. Hier weisen die Ergebnisse zudem eine geringere Streuung auf als mit dem Medium Wasser.

Abb. 6: **links:** Messsignale bei unterschiedlichen Druckstufen; **rechts:** zugehöriger Boxplot zu den jeweiligen Druckstufen, Medium: DMEM



Zusammenfassung und Ausblick

Das ISAT konnte in enger Zusammenarbeit mit dem Forschungspartner IBIDI ein nachrüstbares und für verschiedene Schlauch- und Rohrsysteme/Durchmesser universell einsetzbares und nicht-invasives akustisches Messsystem zur Durchflussmessung entwickeln, welches mit Labormessgeräten umfassend erprobt wurde. Das Messystem ermöglicht eine präzise Durchflussmessung durch Bestimmung der Laufzeitdifferenz der akustischen Fluidmode im Durchflussbereich von 50 µl/min bis 50 mL/min. Das entwickelte Verfahren ist aufgrund der Auswertung der Schallsignale in und gegen die Strömung unempfindlich gegenüber Temperaturschwankungen und bietet neben einer Analyse der Durchflussrate auch das Potential, weitere Größen wie z.B. die physikalischen Eigenschaften des Mediums zu bestimmen. Das ISAT konzipiert aktuell eine an die industriellen Anforderungen angepasste Sensorvariante mit Standalone-Elektronikboard für die serielle Messdatenaufnahme. Dieser Entwicklungsschritt ermöglicht ein besseres Signal-Rauschverhältnis und damit zukünftig eine noch bessere zeitliche Auflösung, womit auch Durchflussraten im einstelligen Mikroliterbereich erfasst werden können. Des Weiteren wird dadurch eine Schnittstelle zur Pumpe selbst hergestellt. Zukünftig soll mit den Informationen über die Durchflussgeschwindigkeit die Pumpe regelbar werden.

Die Entwicklungsarbeiten von ISAT und IBIDI werden vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klima (BMWK) im Rahmen des Zentralen Innovationsprogrammes Mittelstand (ZIM) gefördert (Förderkennzeichen 16KN070933, Projekt Microflowsense)

LITERATUR

1 Rose, J. L., Ultrasonic Guided Waves in Solid Media. New York: Cambridge University Press, 2014

2 Sato, H., Ogiso, H., Guided waves propagating in a water-filled stainless steel pipe, Jpn. J. Appl. Phys., 53 07KC13, 2014

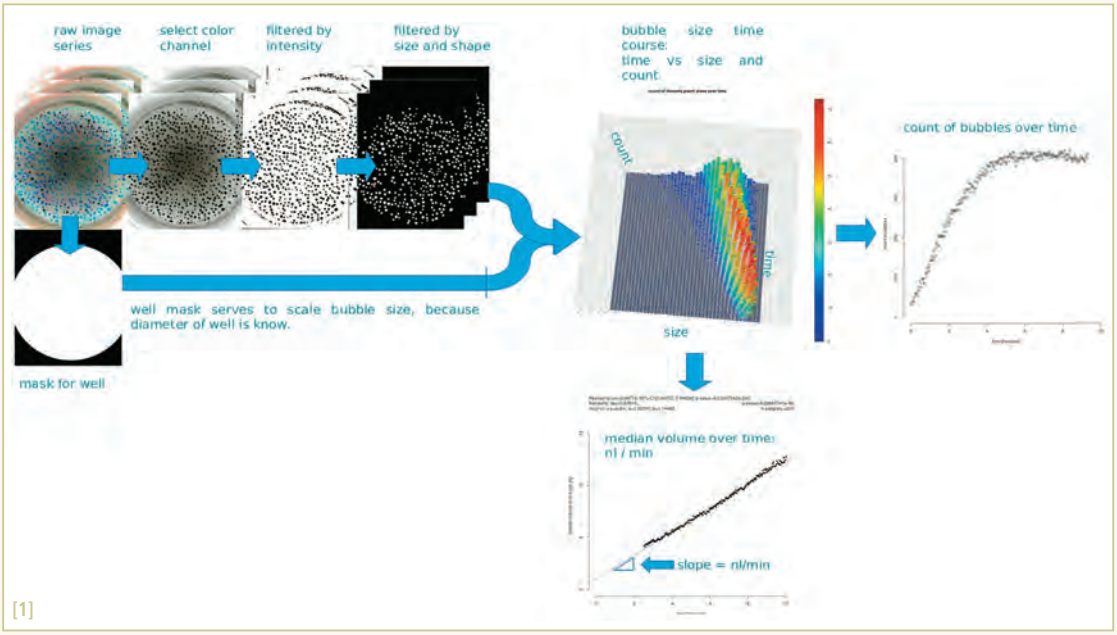
3 Kwun, H., Bartels, K. A., Dynes, C., Dispersion of longitudinal waves propagating in liquid-filled cylindrical shells, J. Acoustic. Soc. Am., Vol. 105, Nr. 5, S. 2601 – 2611, 1999

KONTAKT

HOCHSCHULE FÜR ANGEWANDTE WISSENSCHAFTEN COBURG
Am Hofbrauhaus 1b, 96450 Coburg
Tel.: +49 (0)9561 317-771
www.isat-coburg.de

mesago
sps
Save the date
14. – 16.11.2023
32. Internationale Fachmesse
der industriellen Automation
Nürnberg, Deutschland
Messe Frankfurt Group

OPTIMIERUNG EINES OPTOFLUIDISCHEN DIAGNOSEVERFAHRENS DER KRANKHEIT MUKOVISZIDOSE



[1]

Die Diagnose der Krankheit Mukoviszidose wird bisher über einen Nachweis des Salzgehaltes im Schweiß ausgeführt. Eine Folge der Erkrankung ist eine Veränderung der Hautschweißbildung betroffener Personen durch eine reduzierte Aktivität des CFTR-Chlorid-Ionenkanals (*englisch: cystic fibrosis transmembrane conductance regulator channel, CFTR*). Dies wird derzeit an der Universitätsmedizin Göttingen (UMG) bei der Entwicklung eines Sensorsystems genutzt. Die Änderung des Volumens der Schweißtropfen auf der Haut gibt Aufschluss über die Stärke einer möglichen Erkrankung. Ein großer Vorteil dieses Diagnoseverfahren ist die Möglichkeit zur genaueren Bestimmung der Restaktivität des CFTR-Chlorid-Ionenkanals. Diese abgeleitete Messgröße kann genutzt werden, um den potentiellen Effekt von Medikamenten zu quantifizieren. Das Messsystem beruht auf der künstlichen Anregung des Schweißflusses, der anschließenden Einfärbung der Schweißtröpfchen auf der Haut, sowie eines Detektionssystems mit dem die Schweißtröpfchen über die Zeit aufgenommen und anschließend mit einer Analysesoftware ausgewertet werden können. Gemeinsam mit der *Arbeitsgruppe Mikrosystemtechnik der Westfälischen Hochschule (WHS)* ist eine Weiterentwicklung des Messsystems zu einem integrierten Sensorsystem geplant, u.a zur Reduktion bisher auftretender Artefakte sowie der Erhöhung der Benutzerfreundlichkeit durch eine weitere Miniaturisierung.

Aktueller Stand der Forschung

Mukoviszidose ist die häufigste rezessive genetische Störung. Diese betrifft ca. eine von 2.500 Lebendgeburten und ist mit einer hohen Morbidität und Mortalität verbunden. Durch eine Mutation im CFTR-Protein wird ein Funktionsverlust des Proteins verursacht. CFTR fungiert hauptsächlich als Chloridkanal, dies führt daher zu einer Störung des Ionen- und Wassertransports und verursacht eine Verdickung des Schleims, welcher die Ausgänge der exokrinen Drüsen und die Atemwege verstopft. Vor kurzem wurden Modulatoren entwickelt, welche einige Auswirkungen der Mutation abschwächen, eine Heilung gibt es jedoch bisher nicht. Daher ist es umso wichtiger, eine frühe Diagnose stellen zu können, um die Symptome frühestmöglich zu therapieren.

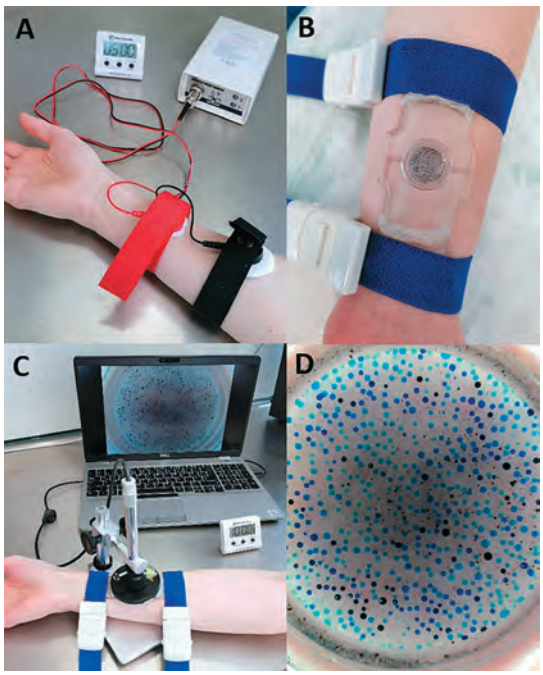


Abb. 1: Schritte des Versuchsaufbau zu Schweißratenbestimmung
A: Stimulation durch Iontophorese,
B: Messeinheit zur Schweißblasendetektion,
C: Mikroskop zur fotografischen Dokumentation,
D: eingefärbte Schweißtropfen auf der Haut [1]

Im Rahmen des „AutoBuSTeD"-Projekts der UMG und der externen ProjektpartnerInnen [1,2] wurde ein Sensorsystem entwickelt, mit welchem sich über die zeitliche Entwicklung von Schweißtropfen auf der Haut eine Aussage über eine mögliche Erkrankung treffen lässt. Die wesentlichen Schritte sind die Induktion der Schweißproduktion (**Abb.1 A**), Formierung der runden Schweißtröpfchen in einem Ölbad in einem definiertem Bereich (**Abb.1 B**), Dokumentation der Schweißtröpfchen über die Zeit (**Abb.1 C**) und eine quantitative Bildanalyse.

Die Schweißproduktion beruht auf der künstlichen Anregung zweier unterschiedlicher Schweißarten. Man unterscheidet zwischen Hitzeschweiß und Angstschweiß, wobei letzterer CFTR spezifisch ist. Angstschweiß lässt sich durch beta-adrenerge und Hitzeschweiß durch cholinerge Stimulatoren anregen. Die Anregung kann durch eine Mikroinjektion des entsprechenden Stimulators in die Haut erfolgen. Eine weitere nicht-invasive Methode ist die Eingabe des Stimulators über Iontophorese.

Nach der Anregung der Haut entstehen über die Zeit Schweißtröpfchen an der Hautoberfläche, welche fotografisch aufgenommen werden. Um die einzelnen Schweißtröpfchen messen zu können, existiert bisher eine Messeinheit, bestehend aus einer Kunststoffplatte (PMMA) mit einer runden Bohrung, welche als Messkammer dient. In dieser Messkammer befindet sich eine Öl Farbstoff Suspension.

Derzeit wird zum Einfärben der Schweißtröpfchen ein blauer wasserlöslicher Triphenylmethanfarbstoff genutzt (Brillantblau FCF E133), der typischerweise als Lebensmittelfarbstoff verwendet wird. Die Messeinheit wird mit Fixierbändern am Unterarm befestigt. An der Haut entstehende Schweißtropfen werden durch den Übertritt des Farbstoffs aus der Suspension eingefärbt (**Abb.1 D**). Um die Messkammer ist eine Drainage eingearbeitet, welche dafür sorgt, dass überschüssiger Schweiß unter der Platte abgeführt werden kann und nicht in den Messbereich eintritt.

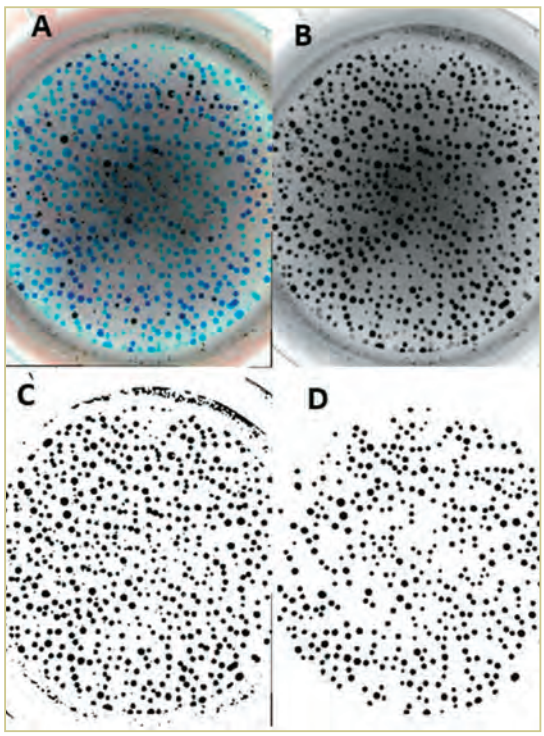


Abb. 2: Schritte zur Bildauswertung
A: Farbbild der Schweißtropfen
B: blauer Farbkanal als Graustufenbild
C: Ergebnis des binären Intensitätsfilters
D: Ergebnis des Rundheits- und Größenfilters [1]

Die zeitliche und volumetrische Schweißproduktion (Schweißbildungsrate [nl/min]) wird durch ein USB Mikroskop fotografisch detektiert und anschließend ausgewertet. Die Software bestimmt aufgrund der Fläche der eingefärbten Tröpfchen im jeweiligen Bild deren Anzahl und Größe. Diese Bestimmung erfolgt über alle Bilder, die in einem definierten Zeitraum von ca. 10 Minuten aufgenommen wurden.

Hierfür wird in der Farbbildreihe (**Abb.2 A**) der passende signaltragende Farbkanal ausgewählt (**Abb.2 B**). Mit einer Maske wird die *Region of Interest (ROI)* definiert. Anschließend folgt die Binärisierung des Bildes nach Signalstärke unter Verwendung eines Schwellwertfilters zur Erzeugung einer Schwarz Weiß Bildmatrix (**Abb.3 C**). Im Folgenden werden die Eigenschaften der eingefärbten Bereiche/Flächen genutzt, um nur relativ runde Objekte mit ausreichender Größe im Bild in die Analyse einfließen zu lassen (mittels Rundheitsfilter und Größenfilter). Zusätzlich kann das Wachstumsverhalten der einzelnen Blasen als weiteres Kriterium angewendet werden (Zuwachsfilter). Bereiche unter 100 Pixeln werden wegen der Verwechslungsgefahr mit Farbklümpchen herausgefiltert. So kann erkannt werden, ob es sich um ein Schweißtröpfchen handelt. Aus der Pixelanzahl der runden Fläche kann das Volumen des jeweiligen Tropfens in Nanoliter [nl] bestimmt und ein Graph vom jeweiligen Medianen Volumen generiert werden.

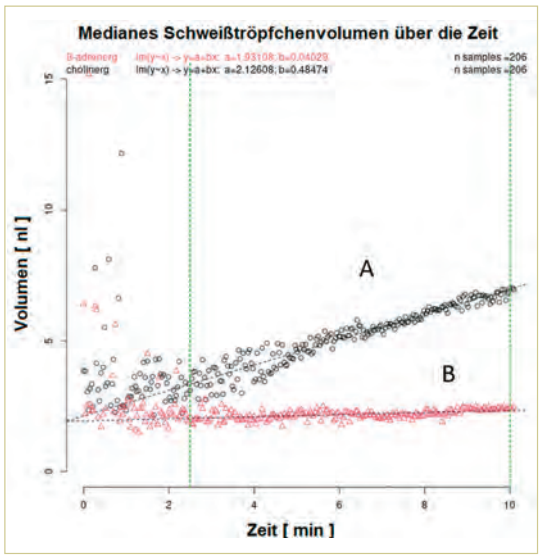


Abb. 3: Graphen der Schweißreaktionen in [nl]
A: Hitzeschweiß B: Angstschweiß

Über die Differenzialmessung der zwei spezifischen Schweißreaktionen (beta-adrenerge vs. cholinerge) werden deutliche Unterschiede der beta-adrenergen Reaktion von Patienten mit CF-TR-Mutationen im Vergleich zu gesunden Probanden sichtbar. Graph A in **Abbildung 3** zeigt die Hitzeschweißproduktion und Graph B die Angstschweißproduktion. Vergleicht man die beiden Patienten, erkennt man deutlich, dass die Schweißmenge des Hitzeschweißes mit einer konstanten Rate ansteigt, die des Angstschweißes bei dem erkrankten Patienten jedoch konstant niedrig bleibt. Aus den Kurven können Erkenntnisse über den Schweregrad der Beeinträchtigung durch die Mutation gewonnen werden. Durch die leicht wiederholbare, personalisierte Bewertung ist so potentiell die individuelle Medikation besser einstellbar und Behandlungseffekte sind einfacher zu erkennen. Auf diese Weise können auch mögliche Nebenwirkungen minimiert werden.

Optimierung

Wenngleich dieses System vielversprechende Ergebnisse liefert, kann es manchmal zu Artefakten kommen, welche sich durch einen weiter entwickelten Versuchsaufbau reduzieren lassen.

Hier bietet insbesondere die Optimierung der optischen Sensorik sowie eine innovative Fertigungstechnologie für integrierte fluidische Sensorsysteme in Silikonpolymeren (Polydimethylsiloxan, PDMS) entscheidende Vorteile.

Als Farbstoff, zur Einfärbung der Schweißtröpfchen, wird aktuell Brillantblau FCF verwendet. Ein Nachteil dieses Farbstoffs ist jedoch, dass die Farbstoffpartikel dieselbe Farbe haben, wie die eingefärbten Schweißtröpfchen. Somit kann es bei der Auswertung zu Verwechslungen von echten Schweißtröpfchen und Partikeln kommen. Als Folge ist das Signal im frühen Zeitbereich der Aufnahme (**Abb. 3**) durch Artefakte dominiert. Die Messgröße des Medians des Schweißtröpfchenvolumens variiert durch Verwechselung von Tröpfchen und Farbklümpchen stark. Erst nach ca. 2,5 min verschwindet das Rauschen, wenn genug Blasen das Detektionslevel überschritten haben. Kann man die Verwechselung verhindern, lässt sich auch das Rauschen in den ersten Minuten vermeiden und die Messzeit insgesamt verkürzen. Beide Graphen zeigen darüber hinaus einen Offset von ca. 2 nl, welcher durch das Herausfiltern zu kleiner Bereiche entsteht. So können kleine Änderungen nicht wahrgenommen werden. Auch kann eine Überlagerung eines Schweißtropfens und eines Farbpartikel dazu führen, dass die Filterung nach Rundheit dieses Tröpfchen herausfiltert.

Um diese Artefakte zu beheben, wird in der *Arbeitsgruppe Mikrotechnik der WHS* an neuen Farbstoffsystemen gearbeitet. Ein Farbumschlag bei Kontakt mit dem Schweiß wäre vorteilhaft. Dies kann beispielsweise durch einen hydrochromen Farbstoff erreicht werden. Zudem kann ein fluoreszierender Farbstoff eine Entkopplung von anregendem Licht bewirken. Ein potenziell besserer Farbstoff ist beispielsweise Fluorescein, wel-

cher in der Fluoresceinangiographie und als Badefarbstoff verwendet wird. Fluorescein behält, wie man in **Abb. 4** sehen kann, bei der Vermischung mit Öl seine rote Pulverform. Bei Verbindung mit den wässrigen Schweißtropfen löst es sich und wird grün. Eine Anregung mit blauem Licht (Wellenlänge ca. 496 nm) lässt das gelöste Fluorsecein grün fluoreszieren. [3]

Eine zur Anregung der Fluoreszenz geeignete Lichtquelle kann direkt in den Aufbau integriert werden. Mit dem Einbau eines geeigneten Filters ist es möglich nur die fluoreszierenden Lichtwellen zu detektieren, wodurch ein höherer Bildkontrast erreicht und Verwechselung verhindert werden können. Die Umwandlung des Farbbildes mit dem passenden Farbkanal ist somit ebenfalls überflüssig. Durch den passenden Filter entsteht direkt ein Graustufenbild (Intensitätsverteilung). Kleine Farbpixel müssen nicht weiter herausgefiltert werden, sondern können in die Analyse mit einfließen.

Die Aufnahme der Bilder geschieht aktuell über ein externes USB Mikroskop mit Stativ, in welches der Arm eingespannt wird. Für Säuglinge bis Kleinkinder ist dieser Aufbau tendenziell zu groß. In selten Fällen kann es in den aufgenommenen Bildern zudem zu einem sprunghaften Zoomeffekt kommen, welcher durch ein fehlerhaftes relatives Verrutschen der Bauteile der Messapparatur verursacht wird. Durch den Zoomvorgang steigt die Tröpfchengröße im Bild sprunghaft an.

Die Integration von sensorischen und fluidischen Komponenten ist eine weitere Optimierung der *Arbeitsgruppe Mikrosystemtechnik der WHS*. Durch direktes Ankoppeln eines CCD-Fotosensors an die Messkammer (ohne weitere Optik), kann die Anwendung an kleineren Armen, sowie die Haptik verbessert und der Zoomfehler vermieden werden. Zudem muss die Größe der ROI nur einmal kalibriert werden und bleibt damit für alle Patienten identisch. Durch den Verzicht auf abbildende Optik entspricht die Tröpfchengröße direkt der Pixelgröße.

Die aktuell verwendete Messeinheit besteht aus einer steifen Kunststoff-Platte, welche mit Fixierbändern auf den Arm gepresst wird. Das Bohrloch, welches als Messkammer dient, ist auf der Oberseite offen, sodass bei Bewegungen Flüssigkeit auslaufen kann. Der Arm muss durchgehend relativ gerade und ruhig gehalten werden, was beispielsweise für kleinere Kinder problematisch sein kann. Auch liegt der steife Kunststoff nicht optimal auf der Krümmung des Arms. Wünschenswert wäre ein flexibles System mit geschlossener Messkammer, welche nach Aufbringung auf der Haut mit der Öl-Farbsuspension geflutet werden kann. Die Gefahr des Auslaufens wäre so auch trotz stärkerer Bewegungen sehr reduziert. Ein passendes Material ist das biokompatible Silikonpolymer Polydimethylsiloxan (PDMS).

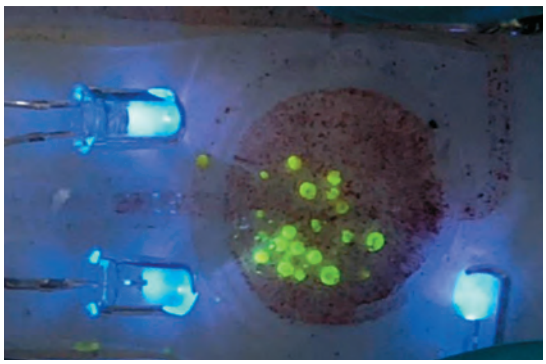


Abb. 4: Vorversuch zur Einfärbung von Wassertröpfchen in einer Öl-Fluorescein Suspension

Eine geschlossene Messkammer kann beispielsweise mit dem sogenannten ESCARGOT-Verfahren [4] hergestellt werden. Dabei wird mittels 3D Druck, aus einem lösemittel-löslichen Material, eine Negativform gedruckt und in das PDMS eingegossen. Die Form wird anschließend mit Lösemittel herausgelöst und es entsteht eine Hohlraumstruktur im PDMS (Gussverfahren mit verlorener Form). Dieses Gussverfahren ermöglicht die Herstellung geschlossener fluidischer Strukturen, sowie gleichzeitig die Integration weitere Komponenten wie beispielsweise CCD-Sensoren und Microkontrollern. Auch Flüssigkeitsreservoirs und Pumpen lassen sich in den Fertigungsprozess vielseitig integrieren. Die Vorteile und Anwendung dieses Verfahrens sind bereits in vielfältigen Projekten der *Arbeitsgruppe Mikrotechnik der WHS* erfolgreich eingesetzt worden.

Die Messeinheit kann durch dieses Fertigungsverfahren in ein Wearable-Design gebracht werden, sodass keine externe Befestigung eines Kamerasystems mehr notwendig ist und alle benötigten Komponenten in ein Sensorsystem integriert sind. Die interdisziplinäre Forschungskooperation zwischen der *UMG* und der *WHS* ermöglicht hier, durch die verschiedenen Expertisen in den Teams, das Sensorsystem sowie das Diagnostikverfahren ein Stück näher zum Routineeinsatz zu bringen. ■

LITERATUR

[1] Pallenberg S., T.; Junge S.; Ringshausen C.; F., Sauer-Heilborn A.; Hansen G.; Dittrich A., M.; Tümmler B.; Nietert M.: CFTR modulation with elexacaftor-tezacaftor-ivacaftor in people with cystic fibrosis assessed by the β-adrenergic sweat rate assay Journal of Cystic Fibrosis,2021. https://doi.org/10.1016/j.jcf.2021.10.005

[2] Automated Bubble Sweat Test Diagnostics Projektseite https://bioinformatics.umg.eu/research/projects/autobusted/

[3] https://www.biologieseite.de/Biologie/Fluorescein, 19.10.2022

[4] https://www.vde-verlag.de/proceedings-de/455090196.html , 19.10.2022

KONTAKT

WESTFÄLISCHE HOCHSCHULE GELSENKIRCHEN
Anika Nietert, Michael Schlüter
Neidenburgerstr 43, 45897 Gelsenkirchen
anika.nietert@w-hs.de, michael.schlueter@w-hs.de
UNIVERSITÄTSMEDIZIN GÖTTINGEN
Institut für Medizinische Bioinformatik & Campus Institut Data Science Göttingen
Manuel Nietert, manuel.nietert@med.uni-goettingen.de
https://bioinformatics.umg.eu/research/workgroups/chemoinformatics-and-imaging/

16. Dresdner Sensor-Symposium

5. – 7. Dezember 2022
Hotel Bilderberg Bellevue

SENSOR + TEST 2023

Die Messtechnik-Messe
09. – 11. Mai 2023, Nürnberg

SPS – SMART PRODUCTION SOLUTIONS

14. – 16. November 2023, Nürnberg

AHLBORN
www.ahlborn.com

Ahlborn Mess- und Regelungstechnik GmbH

Eichenfeldstr. 1
83607 Holzkirchen
Deutschland

Datenlogger, Sensoren, Messsoftware, Kalibrierungen
Tel.: 08024 3007 0 • amr@ahlborn.com

Ihr kompetenter Partner
für Mess- und Sensortechnik

ALTHEN
SENSORS & CONTROLS

- Druck • Kraft • Drehmoment • Dehnung
- Weg • Drehwinkel • Joysticks
- Neigung • Beschleunigung • Vibration • Drehrate
- Temperatur • Messverstärker • Datenlogger • Automatisierung

ALTHEN GmbH
Mess- & Sensortechnik
Dieselstrasse 2
65779 Kelkheim

T +49 (0)6195 7 00 60
F +49 (0)6195 70 06 66
sales@althen.de
www.althen.de

Druck
a Baker Hughes business

www.Druck.com

Barksdale®
CONTROL PRODUCTS
CRANE Barksdale, Inc./Barksdale GmbH
A Subsidiary of Crane Co.

Stammhaus
European Head Office

Barksdale GmbH
Dorn-Assenheimer Str. 27
61203 Reichelsheim
Germany

T: +49 (0) 603 5949-0
F: +49 (0) 603 5949-111

www.barksdale.de

Hochwertige Sensoren – Made in Germany

www.bay-sensortec.com

bay SensorTec

Bay SensorTec GmbH
Peter Bay
Erfurter Straße 31
D-85386 Eching

BD|SENSORS
pressure measurement

BD|SENSORS GmbH
BD-Sensors-Straße 1
D-95199 Thierstein

Tel. +49 9235 98 11 0
Fax +49 9235 98 11 11

www.bdsensors.de
info@bdsensors.de

DRUCK auf höchstem NIVEAU.

Beckhoff Automation GmbH & Co. KG
Hülshorstweg 20
33415 Verl
Telefon: +49 5246 963-0
info@beckhoff.com
www.beckhoff.com

New Automation Technology **BECKHOFF**

THE MEASUREMENT SOLUTION. burster

Sensoren, Messgeräte und Systeme für die Automatisierung

burster präzisionsmesstechnik gmbh & co kg
Tel. +49-7224-645-0
info@burster.com

burster.com

CGS Gruppe

Ihr Spezialist für Sensor-Programmiergeräte

CGS GmbH
Henleinstraße 7
85570 Markt Schwaben

+ 49 8121 2239-30
info@cgs-gruppe.de
www.cgs-gruppe.de

Test solutions that measure up

CHIPS 4 LIGHT

www.chips4light.com

JAHRESMAGAZIN INGENIEURWISSENSCHAFT 2022/23

www.messundsensortechnik-online.de

JAHRESMAGAZIN INGENIEURWISSENSCHAFT 2022/23

www.messundsensortechnik-online.de

JAHRESMAGAZIN INGENIEURWISSENSCHAFT 2022/23

www.messundsensortechnik-online.de

JAHRESMAGAZIN INGENIEURWISSENSCHAFT 2022/23

www.messundsensortechnik-online.de

JAHRESMAGAZIN INGENIEURWISSENSCHAFT 2022/23

www.messundsensortechnik-online.de

JAHRESMAGAZIN INGENIEURWISSENSCHAFT 2022/23

www.messundsensortechnik-online.de

JAHRESMAGAZIN INGENIEURWISSENSCHAFT 2022/23

www.messundsensortechnik-online.de

JAHRESMAGAZIN INGENIEURWISSENSCHAFT 2022/23

www.messundsensortechnik-online.de

JAHRESMAGAZIN INGENIEURWISSENSCHAFT 2022/23

www.messundsensortechnik-online.de

CiS Forschungsinstitut für Mikrosensorik GmbH

Konrad-Zuse-Straße 14
99099 Erfurt
Germany

TEL: +49 361 663 141 0
e-MAIL: info@cismst.de
WEB: www.cismst.de

Danfoss

Danfoss GmbH
Carl-Legien-Straße 8
63073 Offenbach/Main
E-Mail: cs@danfoss.de
ia.danfoss.de
Tel. +49 69 80885400

DIMETIX
LASER DISTANCE SENSORS

Dimetix AG
Degerscheimerstrasse 14
9100 Herisau
Schweiz
Tel: +41 71 353 00 00
Info@dimetix.com
www.dimetix.com

SWISS PRECISION

E-JOYN
BY HIRSCHMANN AUTOMOTIVE

E-JOYN
by Hirschmann Automotive GmbH
Oberer Paspelsweg 6-8, A-6830 Rankweil
www.hirschmann-automotive.com

Sven Capelli
Account Manager

T +43 (0)5522 307-1325
M +43 (0)664 1916657
sven.capelli@e-joyn.com

Elsys

Datenerfassung
Transienten-Rekorder
DAQ-Software

Elsys AG
CH-5443 Niederrohrdorf
Schweiz

Tel. +41 56 496 01 55
info@elsys-instruments.com
www.elsys-instruments.com

Galltec +mela

Feuchte- und
Temperaturmesstechnik *high quality*

Tel. + 49 7457 9453-0
sensoren@galltec.de
www.galltec-mela.de

heinz®
MESSWIDERSTÄNDE

H.Heinz Meßwiderstände GmbH
Goethestraße 16, 98716 Elgersburg
Tel: +49 (3677) 46280
Fax: +49 (3677) 462829
info@messwiderstaende.de
www.messwiderstaende.de

HENSOLDT
Detect and Protect.

HENSOLDT Sensors GmbH
Wörthstrasse 85
89077 Ulm
Germany

Tel.: +49 (0) 731 392-0
jobs@hensoldt.net
hensoldt.net/karriere

Heraeus Nexensos

Tobias Holz
Technical Key Account Manager · Sales

Heraeus Nexensos GmbH
Reinhard-Heraeus-Ring 23
63801 Kleinostheim, Germany

P +49 61 81 35-4322
M +49 159 042 310 37 · tobias.holz@heraeus.com
www.heraeus-nexensos.com

iST Innovative Sensor Technology

physical. chemical. biological.

IST AG
Stegrütistrasse 14
CH-9642 Ebnat-Kappel
Switzerland

+41 71 9920100
www.ist-ag.com
info@ist-ag.com

JAHRESMAGAZIN INGENIEURWISSENSCHAFT 2022/23

www.messundsensortechnik-online.de

JAHRESMAGAZIN INGENIEURWISSENSCHAFT 2022/23

www.messundsensortechnik-online.de

JAHRESMAGAZIN INGENIEURWISSENSCHAFT 2022/23

www.messundsensortechnik-online.de

JAHRESMAGAZIN INGENIEURWISSENSCHAFT 2022/23

www.messundsensortechnik-online.de

JAHRESMAGAZIN INGENIEURWISSENSCHAFT 2022/23

www.messundsensortechnik-online.de

JAHRESMAGAZIN INGENIEURWISSENSCHAFT 2022/23

www.messundsensortechnik-online.de

JAHRESMAGAZIN INGENIEURWISSENSCHAFT 2022/23

www.messundsensortechnik-online.de

JAHRESMAGAZIN INGENIEURWISSENSCHAFT 2022/23

www.messundsensortechnik-online.de

JAHRESMAGAZIN INGENIEURWISSENSCHAFT 2022/23

www.messundsensortechnik-online.de

Daniel Hofer
Dipl. El.-Ing. FH
Head of Product Management

KELLER Druckmesstechnik AG
St. Gallerstr. 119, 8404 Winterthur
Switzerland

+41 52 235 25 25
+41 52 235 25 36
d.hofer@keller-druck.com
www.keller-druck.com

KELLER

LCP LASER CUT PROCESSING

Laser-made solutions.

LCP Laser-Cut-Processing GmbH
Laseranwendungszentrum „Hermsdorfer Kreuz"
Heinrich-Hertz-Str. 16 | 07629 Hermsdorf

+49 36601 9327-0
vertrieb@lcpgmbh.de

www.lcpgmbh.de

LOGIDATATECH
the power of engineering

Gas-Messtechnik

LogiDataTech GmbH
Aschmattstrasse 7
76532 Baden-Baden, Germany

fon +49 7221 97062 - 0
fax +49 7221 97062-99
email info@logidatatech.com
web www.logidatatech.com

PCE

PCE Deutschland GmbH
Mess-, Regel-, Wäge- und Labortechnik

Im Langel 26
59872 Meschede - Freienohl
+49 (0) 2903 976 99 8901
info@pce-instruments.com

www.pce-instruments.com

PCE PROFESSIONAL. CALIBRATED. EQUIPMENT.

Polytec

Geschäftsbereich Optische Messsysteme

Polytec GmbH · Polytec-Platz 1-7 · 76337 Waldbronn
Tel. +49 7243 604-0 · om-info@polytec.de
www.polytec.com

PST PROCESS SENSING TECHNOLOGIES

MICHELL Instruments
A PST BRAND

Michell Instruments GmbH
Process Sensing Technologies PST
Max-Planck-Str. 14, 61381 Friedrichsdorf
Telefon: (+49) 6172 5917-0
Email: rolf.kolass@processsensing.com
www.processsensing.com

MICRO-EPSILON

Präzise Sensoren und Messtechnik
für Automation, Industrie und Maschinenbau

Micro-Epsilon Messtechnik GmbH & Co. KG
Königbacher Str. 15
94496 Ortenburg / Germany
www.micro-epsilon.com

Tel. +49 (0) 8542 168-0
Fax +49 (0) 8542 168-90
info@micro-epsilon.de

MICROSENSOR

Dipl.- Ing.
Kai Lu
Head of Marketing & Sales

MICRO SENSOR GmbH
Girardetstr. 6, 45131 Essen, Germany
M: +49 176 7387 7396
kai.lu@microsensorcorp.de
https://de.microsensorcorp.com

A 100% holding subsidiary of Micro Sensor Co.,Ltd.

novotechnik
Siedle Gruppe

Novotechnik
Messwertaufnehmer OHG
Horbstraße 12
73760 Ostfildern (Ruit)
Telefon +49 711 4489-0
Telefax +49 711 4489-118
www.novotechnik.de
info@novotechnik.de

SPEZIALKABEL
KABEL KONFEKTION
MESSTECHNIK

SPECIAL CABLES
SAB BRÖCKSKES

SAB BRÖCKSKES GmbH & Co. KG
Grefrather Str. 204-212 b | 41749 Viersen | DEUTSCHLAND
Tel +49 (0) 21 62 / 898-0
www.sab-worldwide.com | info@sab-broeckskes.de

JAHRESMAGAZIN INGENIEURWISSENSCHAFT 2022/23

www.messundsensortechnik-online.de

JAHRESMAGAZIN INGENIEURWISSENSCHAFT 2022/23

www.messundsensortechnik-online.de

JAHRESMAGAZIN INGENIEURWISSENSCHAFT 2022/23

www.messundsensortechnik-online.de

JAHRESMAGAZIN INGENIEURWISSENSCHAFT 2022/23

www.messundsensortechnik-online.de

JAHRESMAGAZIN INGENIEURWISSENSCHAFT 2022/23

www.messundsensortechnik-online.de

JAHRESMAGAZIN INGENIEURWISSENSCHAFT 2022/23

www.messundsensortechnik-online.de

JAHRESMAGAZIN INGENIEURWISSENSCHAFT 2022/23

www.messundsensortechnik-online.de

JAHRESMAGAZIN INGENIEURWISSENSCHAFT 2022/23

www.messundsensortechnik-online.de

JAHRESMAGAZIN INGENIEURWISSENSCHAFT 2022/23

www.messundsensortechnik-online.de

STW Making mobile machines perform.

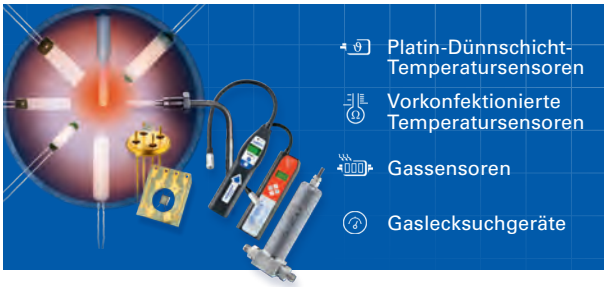
Sensor-Technik Wiedemann GmbH (STW)

Am Bärenwald 6
87600 Kaufbeuren
Tel.: +49 8341 9505-0

sensors@wiedemann-group.com
www.stw-mm.com

SIEGERT THINFILM TECHNOLOGY

SIEGERT THINFILM TECHNOLOGY GmbH
Robert-Friese-Straße 3 • D-07629 Hermsdorf
Telefon: +49 (0)36601 858-0 • Fax: +49 (0)36601 858-11
E-Mail: info@siegert-tft.de • www.siegert-tft.de



UST UMWELT SENSOR TECHNIK
Kompetenz in keramischer Sensorik

UST Umweltsensortechnik GmbH
Dieselstr. 2 und 4
99331 Geratal OT Geschwenda
www.umweltsensortechnik.de

THE INNOVATOR IN SOUND & VIBRATION TECHNOLOGY

HOLGER BOLLER
Managing Director
+49 36764 81 6363 office
+49 151 2202 4566 mobile
holger@vibrationresearch.de
VibrationResearch.de

VIBRATION RESEARCH
MARKER HOEH 16 | D96524 FÖRITZTAL | GERMANY

SPEZIALKABEL
KABEL KONFEKTION
MESSTECHNIK

SPECIAL CABLES
SAB BRÖCKSKES

SAB BRÖCKSKES GmbH & Co. KG
Grefrather Str. 204-212 b | 41749 Viersen | DEUTSCHLAND
Tel +49 (0) 21 62 / 898-0
www.sab-worldwide.com | info@sab-broeckskes.de

Barksdale®
CONTROL PRODUCTS
CRANE Barksdale, Inc./Barksdale GmbH A Subsidiary of Crane Co.

Stammhaus
European Head Office

Barksdale GmbH
Dorn-Assenheimer Str. 27
61203 Reichelsheim
Germany
T: +49 (0) 603 5949-0
F: +49 (0) 603 5949-111
www.barksdale.de

LOGIDATATECH
the power of engineering

Gas-Messtechnik

LogiDataTech GmbH
Aschmattstrasse 7
76532 Baden-Baden, Germany

fon +49 7221 97062 - 0
fax +49 7221 97062 - 99
email info@logidatatech.com
web www.logidatatech.com

Daniel Hofer
Dipl. El.-Ing. FH
Head of Product Management

KELLER Druckmesstechnik AG
St. Gallerstr. 119, 8404 Winterthur
Switzerland

+41 52 235 25 25
+41 52 235 25 36
d.hofer@keller-druck.com
www.keller-druck.com

KELLER

PCE Deutschland GmbH
Mess-, Regel-, Wäge- und Labortechnik

Im Langel 26
59872 Meschede - Freienohl
+49 (0) 2903 976 99 8901
info@pce-instruments.com

www.pce-instruments.com

PCE PROFESSIONAL. CALIBRATED. EQUIPMENT.

SENSOR+TEST
DIE MESSTECHNIK - MESSE
The Measurement Fair
Nürnberg,
09. – 11. Mai 2023

www.sensor-test.com

AMA Service GmbH - 31515 Wunstorf
Tel. +49 5033 96390 - info@sensor-test.com

JAHRESMAGAZIN INGENIEURWISSENSCHAFT 2022/23

www.messundsensortechnik-online.de

JAHRESMAGAZIN INGENIEURWISSENSCHAFT 2022/23

www.messundsensortechnik-online.de

JAHRESMAGAZIN INGENIEURWISSENSCHAFT 2022/23

www.messundsensortechnik-online.de

JAHRESMAGAZIN INGENIEURWISSENSCHAFT 2022/23

www.messundsensortechnik-online.de

JAHRESMAGAZIN INGENIEURWISSENSCHAFT 2022/23

www.messundsensortechnik-online.de

JAHRESMAGAZIN INGENIEURWISSENSCHAFT 2022/23

www.messundsensortechnik-online.de

JAHRESMAGAZIN INGENIEURWISSENSCHAFT 2022/23

www.messundsensortechnik-online.de

JAHRESMAGAZIN INGENIEURWISSENSCHAFT 2022/23

www.messundsensortechnik-online.de

JAHRESMAGAZIN INGENIEURWISSENSCHAFT 2022/23

www.messundsensortechnik-online.de

mesago
sps
Save the date
14. – 16.11.2023
32. Internationale Fachmesse
der industriellen Automation
Nürnberg, Deutschland
Messe Frankfurt Group

KELLER

SINCE 1974

MADE TO MEASURE **PRESSURE**

keller-druck.com/**custom-solutions**