

# Mess- und Sensortechnik

**Sensorik und Messtechnik**  
auch in schwierigen Zeiten  
die Schlüsseltechnologie  
der Zukunft

Seite **24**

**Mit kognitiver Sensorik**  
IOT-Prozesse und Mess-  
systeme verbessern

Seite **52**

**Direkt zum Kunden**  
mit KI-basierten  
D2C-Plattformen

Seite **90**

**AMA**

Verband für Sensorik + Messtechnik

*Innovatoren verbinden*



**sps**

smart production solutions

Nürnberg, 23. - 25.11.2021

**electronica**

Komponenten | Systeme | Anwendungen | Lösungen  
Weltleitmesse und Konferenz der Elektronik  
15. bis 18. November 2022

**INSTITUT FÜR  
WISSENSCHAFTLICHE  
VERÖFFENTLICHUNGEN**



# ULTRASCHALLSENSOR USI®-SAFETY

Mit dem zertifizierten personensicheren Ultraschallsensorsystem USi-safety erweitert Pepperl+Fuchs sein Produktportfolio im Bereich der Fabrikautomation. Diese verlässliche Sicherheitstechnik schützt bei der Interaktion von Mensch und Maschine.

Das innovative Ultraschallsensorsystem USi-safety ist eine moderne und zertifizierte Sensortechnologie nach EN ISO 13849-1 Kategorie 3 PL d. Der USi-safety kann zur Absicherung von Gefahrenbereichen, beispielsweise an mobilen Arbeitsmaschinen wie Roboter und Flurförderzeuge sowie an Maschinen und Anlagen, eingesetzt werden und schützt dabei Menschen und Objekte vor möglichen Gefahren und Kollisionen. Der personensichere USi-safety erweitert somit die Palette an berührungslos wirkenden Schutzeinrichtungen um die Ultraschalltechnologie mit all ihren Vorteilen.

Das weltweit einzige Ultraschallsensorsystem dieser Art bietet mit seiner kompakten Bauform und einem modularen Konzept die Flexibilität für viele Einsatzbereiche. Bis zu zwei von der Auswerteeinheit entkoppelte Ultraschallwandler können in

kleinste Bauräume positioniert und über ein Kabel an die Elektronik angeschlossen und parametrierbar werden. Sie erfassen zuverlässig in einem elliptischen, dreidimensionalen Schallfeld bis zu zweieinhalb Metern bewegte und unbewegte Objekte beliebiger Form, Farbe oder Oberfläche. Bedingt durch das Messverfahren der Ultraschalltechnik, beeinflussen weder Schmutz oder Temperatur noch Luftströmung oder Feuchtigkeit die Funktion des Sensors. Somit ist er ebenfalls im Außenbereich einsetzbar. Das Sensorsystem wird mittels einer intuitiven Parametriersoftware eingerichtet. Pro angeschlossenem Ultraschallwandler stehen jeweils zwei kurz- und querschlußüberwachte Sicherheitsausgänge OSSDs zur Verfügung. Über eine Teach-In-Funktion können mögliche Störobjekte im kompletten Detektionsbereich eingelernt und damit ausgeblendet werden, was zusätzlich die Betriebssicherheit erhöht.

## KONTAKT

### PEPPERL+FUCHS SE

Lilienthalstraße 200  
68307 Mannheim  
Tel.: +49 (0) 621 776-1538  
E-Mail: msollmann@  
de.pepperl-fuchs.com  
www.pepperl-fuchs.com

## Überall sicher.



USi®-safety  
Sicheres Ultraschall-  
sensorsystem nach  
Kategorie 3 PL d

Mehr Informationen unter  
[pepperl-fuchs.com/pr-usi-safety](http://pepperl-fuchs.com/pr-usi-safety)

Mit einzigartiger Technologie durch  
widrigste Umgebungsbedingungen zu  
maximaler Sicherheit.



Your automation, our passion.

**pf** PEPPERL+FUCHS

**„Ich bin davon überzeugt, dass reines Durchhaltevermögen schon die Hälfte von dem ausmacht, was erfolgreiche und nicht erfolgreiche Entrepreneure voneinander unterscheidet.“**

STEVE JOBS



INSTITUT FÜR  
WISSENSCHAFTLICHE  
VERÖFFENTLICHUNGEN

In Zusammenarbeit mit

**AMA**

Verband für Sensorik + Messtechnik

*Innovatoren verbinden*



**sps**

smart production solutions

Nürnberg, 23. – 25.11.2021

 **electronica**

Komponenten | Systeme | Anwendungen | Lösungen  
Weltleitmesse und Konferenz der Elektronik  
15. bis 18. November 2022

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](http://www.messundsensortechnik-online.de)

# IMPRESSUM

JAHRESMAGAZIN  
MESS- UND SENSORTECHNIK  
2021/2022

**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](http://www.alphapublic.de)

**Abteilungsleiter und Ansprechpartner:**  
Sascha Bückermann / [sascha.bueckermann@alphapublic.de](mailto:sascha.bueckermann@alphapublic.de)  
Tel.: 06206 939-442

**Titelbild:**  
# 326558635: xiaoliangge – [stock.adobe.com](https://stock.adobe.com)

ISSN 1618-8357

Projekt Nr. 96-619

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.

## WETTER UND UMWELT: ZUVERLÄSSIG MESSEN BEI TIEFEN UND SCHWANKENDEN TEMPERATUREN

Ob Klimaforschung, Landwirtschaft oder Meteorologie, die berührungslose Temperaturmessung bietet in vielen Bereichen große Vorteile. So kann z. B. von einem fahrenden Streufahrzeug im Winterdienst die Straßentemperatur direkt gemessen werden oder die Eistemperaturen in der Antarktis aus dem Flugzeug heraus. Die durch die Atmosphäre beeinflussten Satellitendaten werden mit Hilfe von bodengestützten Pyrometern zuverlässig korrigiert. Aus den gemessenen Himmels- und Wolkentemperaturen lassen sich zusammen mit anderen Messwerten Rückschlüsse auf den Wassergehalt der Atmosphäre ziehen.

Temperaturmessungen für meteorologische Anwendungen oder in der Klimaforschung erfolgen oftmals über größere Distanzen von mehreren hundert Metern. Um die Beeinflussung durch die Atmosphäre zu minimieren, müssen die Absorptionsbande von Wasserdampf, CO<sub>2</sub>, Ozon und einigen Spurengasen möglichst gemieden werden. Es werden daher fast ausschließlich die Spektralbereiche 8 ... 14 µm und 9.6 ... 11.5 µm für diese meteorologische Messungen eingesetzt.

Die Messungen von tiefen Temperaturen bei bis zu -100°C erfordern ein extrem stabiles Messverfahren und das berührungslose Strahlungsthermometer muss dann besonders unempfindlich gegen Schwankungen der Umgebungstemperatur sein. Hier erweist sich das Wechsellichtverfahren mit einem pyroelektrischen Detektor als Methode der Wahl.

Die Geräte sind bei solchen Messungen den unterschiedlichsten Umgebungsbedingungen ausgesetzt. In der Wüste schwanken die Umgebungstemperaturen von -10 °C in der Nacht und bis zu



+60 °C tagsüber. Sandstürme und Regen stellen hohe Anforderungen an die verwendeten Materialien gegenüber Abrasion und Korrosion. Dies gilt für die eingesetzte Optik genauso wie für die Gehäusematerialien.

Die Firma HEITRONICS Infrarot Messtechnik besitzt umfangreiche Erfahrungen in den oben beschriebenen Messaufgaben und bietet neben den geeigneten Messgeräten auch eine Vielzahl von Schutzgehäusen und Zubehör an.

Textquelle Phase 2B: Land Surface Temperature, Gobabeb – FRM4STS, Photos are from the FRM4STS LST FICE in June 2017

### KONTAKT

#### HEITRONICS INFRAROT MESSTECHNIK GMBH

Kirstin Weiler  
Kreuzberger Ring 40  
65205 Wiesbaden  
Tel.: +49 (0) 611 97393-0  
info@heitronics.com  
www.heitronics.com

Branchenspezifische Lösungen  
für Verbrennungsanlagen,  
Industrie und Forschung

-100°

3.000°



Der richtige Partner für berührungslose  
Temperaturmessung

# HEITRONICS

Infrarot Messtechnik

#### HEITRONICS Infrarot Messtechnik GmbH

Kreuzberger Ring 40, 65205 Wiesbaden  
Tel. +49 (0) 611 / 97393-0 | Fax +49 (0) 611 / 97393-26  
E-Mail info@heitronics.com | www.heitronics.com

# VORWORT



Prof. Dr.-Ing. Stefan Zimmermann

## Sensorik und Messtechnik: Innovativ in wirtschaftlich turbulenten Zeiten

Das Thema Digitalisierung ist durch die Corona-Pandemie nochmals deutlich in den Fokus gerückt und bleibt auch eines der Hauptthemen der Branche Sensorik und Messtechnik. Ein Beispiel ist die fortschreitende Digitalisierung der Krankenhäuser. Ob zuverlässige Beatmung auf Intensivstationen oder Patientenmonitoring rund um die Uhr, Sensoren und Messtechnik garantieren eine zuverlässige (intensiv) medizinische Versorgung.

Durch die Pandemie hat auch das Thema Innenraumluftqualität deutlichen an Aufmerksamkeit gewonnen. Verbrachten wir bereits vor der Pandemie den überwiegenden Teil des Tags in geschlossenen Räumen, so erhöhte sich dieser Anteil noch einmal. Zur Kontrolle der Innenraumluftqualität werden zunehmend Sensoren eingesetzt. Die sogenannten CO<sub>2</sub>-Ampeln helfen beispielsweise bei der Überwachung einer regelmäßigen Raumlüftung. Die Sensoren messen dabei den CO<sub>2</sub>-Gehalt in der Luft und alarmieren, sobald definierte Grenzwerte überschritten werden. Dann ist es spätestens Zeit zu lüften.

Die Sensorik nimmt auch in der Lebensmittelbranche eine immer größere Rolle ein. Neben chemischen, mikrobiologischen und physikalischen Methoden sichern sensorische Prüfungen die Qualität der Prozesse und der Produkte. In Zeiten der Pandemie beeinflussen zusätzliche Hygienemaßnahmen die Produktionsabläufe und bewehrte Kommunikationskanäle. Die Digitalisierung hilft hier neue Kommunikationsprozesse zu etablieren. Das persönliche Gespräch kann dadurch natürlich nicht ersetzt werden, dennoch hält die Digitalisierung in Pandemiezeiten die Kommunikation aufrecht. Die künstliche Intelligenz entwickelt sich zu einem entscheidenden Erfolgsfaktor in der Produktion weiter.

Die Sensorik und Messtechnik bleibt also auch in turbulenten Zeiten eine Schlüsseltechnologie für technische Innovationen, obwohl die Pandemie weiterhin die Produktion, Lieferketten und Absatzmärkte der Industrie stark beeinträchtigt. Die Innovationen, die durch den Einsatz von Sensorik und Messtechnik möglich sind, erhalten die Konkurrenzfähigkeit der deutschen Industrie im Wettlauf um zukunftsfähige Technologien. Wichtig war, ist und bleibt dabei eine branchenübergreifende und interdisziplinäre Vernetzung zwischen allen beteiligten Akteuren aus Industrie, Forschung und Wissenschaft.

### 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](http://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/sensorik.html](http://www.geml.uni-hannover.de/sensorik.html)

# QTec® – OPTISCHE SCHWINGUNGSMESSTECHNIK NEU ERFINDEN

Die revolutionäre Technologie QTec® von Polytec macht Schwingungsmessungen schneller, einfacher und zuverlässiger als jemals zuvor und sorgt für stabile und eindeutige Ergebnisse. QTec® stellt eine neue Qualität in der berührungslosen Schwingungsmesstechnik auf technischen Oberflächen dar.



Die VibroFlex Familie hat Zuwachs bekommen

Es nutzt jedes verfügbare Lichtquantum und erzeugt unter allen Bedingungen hochpräzise Messdaten. Beim Streben nach dem besten Signal-Rausch-Verhältnis bei Messungen, besonders auf querbewegten oder rotierenden, weit entfernten oder biologischen Messobjekten, ist Polytec mit QTec® ein entscheidender Durchbruch gelungen. Der VibroFlex QTec® Messkopf bietet die höchste optische Empfindlichkeit und ist die erste Wahl für aussagekräftige Daten auf allen technischen Oberflächen.

QTec® Vibrometer nutzen aber mehrere Detektionskanäle und kombinieren deren beste Werte nach einem patentierten Verfahren zu einem Signal mit extrem hohem Signal-Rausch-Verhältnis. So entstehen Messdaten, die besonders einfach zu interpretieren und auszuwerten sind. Praktisch heißt das, dass bisher Verborgenes durch das gute Signal-Rausch-Verhältnis sichtbar wird – so auch kleinste Resonanzspitzen. Die Ergebnisse sind eindeutig und Mittelungen lassen sich einsparen, weil QTec® jedes Photon und damit jede verfügbare Information nutzt. Die neu entwickelte Technologie ergänzt als zusätzlicher Messkopf die im letzten Jahr vorgestellte VibroFlex Vibrometer-Familie und lässt sich einfach an bestehende digitale Front-Ends der Serie anschließen. VibroFlex QTec® macht den Unterschied – für aussagekräftige Daten auf allen technischen Oberflächen. ■

Weitere Informationen finden Sie unter: <https://www.polytec.com/de/vibrometrie/technologie/qttec> oder unter: <https://www.polytec.com/de/vibrometrie/produkte/einpunkt-vibrometer/vibroflex>

## KONTAKT

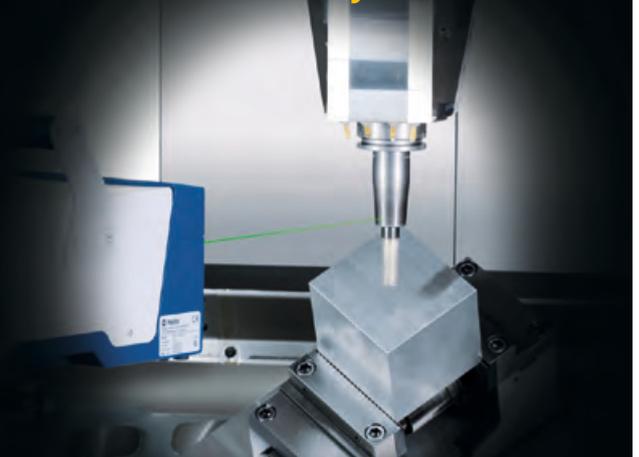
### POLYTEC GMBH

Polytec-Platz 1-7, 76337 Waldbronn, Telefon: +49 7243 604-0  
E-Mail: [c.petzhold@polytec.de](mailto:c.petzhold@polytec.de)



## Schwingungsmessung ohne Rauschen

Kein Problem mit Polytec



### VibroFlex QTec® Laservibrometer

Unsere neue patentierte Technologie QTec® ermöglicht eine signifikante Verbesserung des Signal-Rausch-Verhältnisses. Für aussagekräftige Daten auf allen technischen Oberflächen.

QTec® – Reinventing vibrometry

Mehr unter: [polytec.com/qttec](https://www.polytec.com/qttec)



# GRUSSWORT

## Liebe Leserinnen und Partner des Cluster Sensorik,

viele von Ihnen haben das Thema Lieferkette von mikroelektronischen Bauteilen zur Chefsache erklärt. Selbst einfache Bauteile wie Widerstände sind derzeit nicht ohne extrem lange Wartezeiten zu bekommen, zumindest nicht immer die, die man im Endprodukt qualifiziert hat. Der globale Logistikkotor stottert und die Auswirkungen sind bis hin zu den Verbrauchern spürbar. Besonders prekär ist die Lage für Industrieunternehmen: Laut IFO-Institut haben gerade 80 Prozent der Elektronikhersteller und der Autobauer und -Zulieferer Probleme, an Chips zu kommen.

Die derzeitige Situation führt uns vor Augen, welche Achillesferse unsere Abhängigkeit von globalen Lieferketten für unsere Wirtschaft ist. Nun fordert niemand eine europäische Autarkie für die Mikroelektronik – angesichts der engen weltweiten Vernetzung und Kooperation wäre dies weder realistisch noch wünschenswert. Doch das andere Extrem, die totale Abhängigkeit vom Ausland, wollen wir sicher auch nicht, denn in diesem Fall wäre Europa als wirtschaftspolitischer Spielball komplett erpressbar. Eine gewinnbringende und zukunftsfähige Lösung kann nur in der Mitte liegen und wird oft mit dem Begriff Technologische Souveränität beschrieben.

Technologische Souveränität impliziert die Freiheit, zu handeln und eigene Akzente zu setzen. Grundlage dafür ist ein Mikroelektronikstandort Europa mit einer starken Infrastruktur – und damit meine ich explizit eigene, europäische Chipfabriken. Wir müssen meiner Ansicht nach auf allen Ebenen den Aufbau neuer Fertigungsstandorte in Europa massiv vorantreiben. Ein weiterer Erfolgsfaktor ist eine breite Kompetenz im Bereich Mikroelektronik. Nur so wird Europa seine Innovationsführerschaft bei wichtigen Schlüsselthemen behalten oder ausbauen können.

Die Sensorik ist definitiv solch ein zentrales Kernthema Europas und sie spielt als Enabler für die Digitalisierung in praktisch alle Anwendungsfelder hinein. Europa ist gut beraten, den heutigen Vorsprung nicht aufzugeben, sondern im Gegenteil diese starke Stellung weiter auszubauen. Dies ist angesichts der Dynamik und Komplexität des Themas alles andere als ein Selbstläufer! Es braucht dazu unter anderem Pionierinnen an den Universitäten und Forschungseinrichtungen, mutige Unternehmer, die innovative Produkte aufgreifen und zur Marktreife bringen und motivierte und engagierte Nachwuchskräfte. Vor allem aber braucht es den beständigen Austausch und Kooperation dieser Akteure untereinander. Das Cluster Sensorik bietet dafür in Bayern eine hervorragende Plattform, auf der ich selbst schon unzählige spannende und inspirierende Diskussionen führen dürfte. In diesem Sinne ist das Cluster Sensorik vielleicht ein kleiner, aber ein wichtiger Baustein für ein souveränes europäisches Technologieleadership.



Herzliche Grüße

**Prof. Dr. Christoph Kutter**

Direktor Fraunhofer EMFT, München

# NEUER POSITIONSSENSOR FÜR MOBILHYDRAULIK UND MASCHINENBAU

Für die Positionserfassung direkt im Druckbereich von Hydraulik- oder Pneumatikzylindern hat Novotechnik die Wegaufnehmer der neuen Baureihe TM1 entwickelt. Sie erfassen Position und Geschwindigkeit bei mobilen Arbeitsmaschinen auch in rauen Umgebungsbedingungen zuverlässig mit einer Auflösung von 0,1 mm. Die Sensoren eignen sich für Messlängen bis 2.000 mm und sind optimiert für den Einsatz in Anwendungen mit höchsten EMV-Anforderungen.

## Druckfest, temperaturbeständig und einfach zu montieren

Die Sensoren entsprechen der EN 13309 für Baumaschinen sowie der ISO 14982 für land- und forstwirtschaftliche Maschinen, sind gemäß ISO 11452-2 gegen HF-Felder bis 200 V/m geschützt und übertreffen damit die E1-Anforderungen des Deutschen Kraftfahrtbundesamts. Das Messsignal kann als analoges Strom- oder Spannungssignal oder über Feldbuschnittstellen (CANopen, CAN SAE J1939) ausgegeben werden. Mit einer hohen Druckfestigkeit (bis 350 bar, Druckspitzen bis 450 bar) und einer hohen Temperaturbeständigkeit von -40 °C bis +105 °C sowie mit ihrer - aufgrund des berührungslosen, verschleißfreien Messprinzips - sehr hohen Lebensdauer sind die Wegaufnehmer für den Einsatz in robusten Anwendungen prädestiniert. Die Anforderungen der Schutzart IP6K9K sind serienmäßig erfüllt und dank eines innovati-

ven Steckersystems lassen sie sich schnell und ohne Löten, Crimpen oder Schrauben in geschlossenen oder einseitig offenen Zylindern einbauen: Der Kontaktträger des M12-Steckverbinders ist bereits an die Signalleitungen des Sensors angeschlossen; er wird durch eine Bohrung im Zylinder nach außen geführt.

Der Anschlussflansch lässt sich einfach auf den Kontaktträger aufstecken und außen fixieren. Bei doppelwirkenden Zylindern lässt sich die Ausführung mit Steckflansch vollständig integrieren. Auch die Montage außerhalb von Zylindern ist möglich. Varianten mit CE-Konformität eignen sich z. B. für Anwendungen im Maschinenbau. Als Positionsggeber stehen sowohl ringförmige als auch U-förmige Ausführungen für die einseitige Montage zur Auswahl. Mit einem magnetischen Schwimmer sind zudem Füllstandmessungen möglich. ■

## KONTAKT

### NOVOTECHNIK MESS- WERTAUFNEHMER OHG

Horbstraße 12

73760 Ostfildern

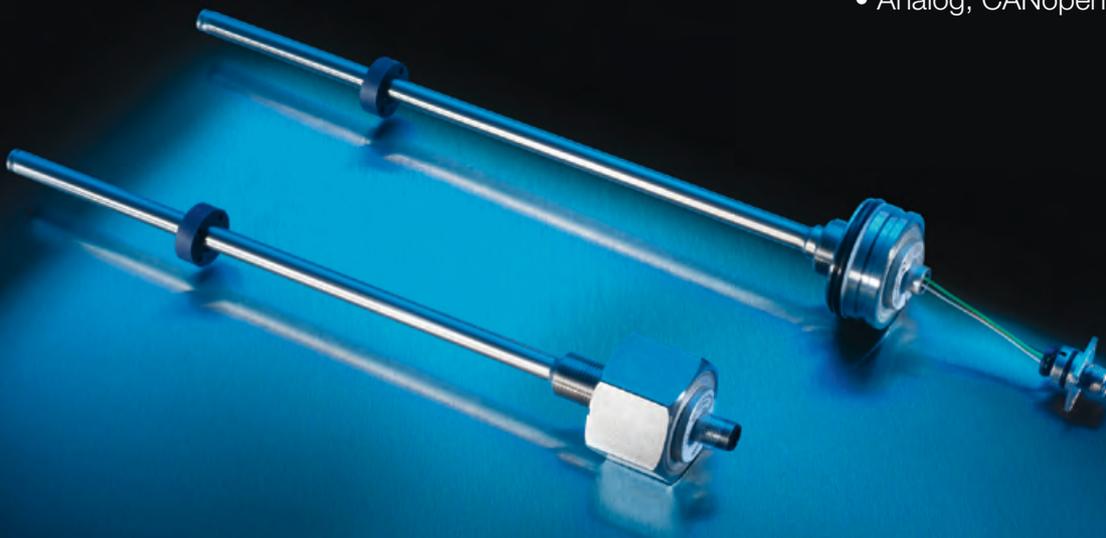
Tel.: +49 (0) 711 4489-0

info@novotechnik.de

www.novotechnik.de

## Fit für raue Umgebungsbedingungen: Wegaufnehmer für die Mobilhydraulik

- Verschleißfreie, berührungslose Messung
- Temperaturbeständig bis +105° C
- Druckfest bis 350 bar, Druckspitzen bis 450 bar
- Schraubflansch oder Steckflansch
- Analog, CANopen, CAN SAE J1939



support@novotechnik.de

Tel. +49 711 4489-250

www.novotechnik.de

**novotechnik**

Siedle Gruppe

# 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 Controller mit einer Intelligenz, ähnlich einer SPS. Echtzeitperformance und Datenlogging ermöglichen ressourcensparende IT Strukturen. Der Controller warnt

vor gefährlichen Konzentrationen und steuert Gegenmaßnahmen. Das Gerät kann je nach Bedarf durch Verbindung mit weiteren Controllern 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 Controller 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

Bahnhofstr. 67  
76532 Baden-Baden  
Tel.: +49 (0)7221 97062-0  
info@logidatatech.com  
www.logidatatech.com

Sie wollen wissen, wie viel von jedem Gas im Ballon ist? **Fragen Sie uns!**



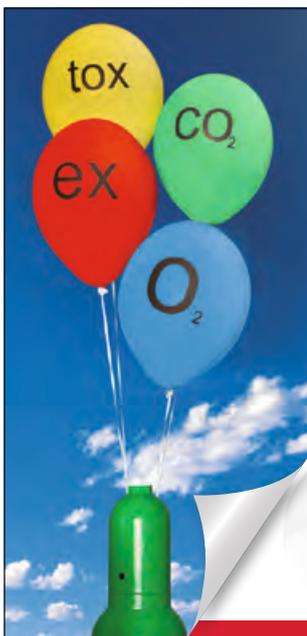
Wir bieten passende  
➤ **Gas-Messsysteme**



LogiDataTech GmbH  
Bahnhofstrasse 67  
76532 Baden-Baden, Germany

fon +49 7221 97062-0  
fax +49 7221 97062-99

email info@logidatatech.com  
web www.logidatatech.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 Elsys Produktpalette umfasst DAQ-Instrumente, Datenerfassungssoftware und Datenerfassungskarten, Signalaufbereiter wie Messbrückenverstärker oder Impulsgeneratoren, sowie Zubehör wie Präzisionsabschwächer.

Die PCIe Datenerfassungskarte TPCE bildet die Basis der verschiedenen Datenerfassungslösungen. Diese DAQ-Karten sind in verschiedenen Abtastraten von 2 bis 240 MHz, als 4 oder 8 Kanal mit singleended oder differenziellen Eingängen erhältlich. Der Eingangsbereich lässt sich jeweils pro Kanal von 100 mV bis 100 V einstellen. Zusammen mit den Elsys Präzisionsabschwächer sind so Signale bis zu 1000 V Cat. III mit einer Präzision < 1 % problemlos messbar. Optional können ebenfalls ICP/IEPE Sensoren direkt an der Messkarte betrieben werden, ohne dass eine zusätzliche Speisung notwendig ist.

Je nach Anwendungsumgebung und benötigten Anzahl an Eingangskanälen bieten sich verschiedene Datenerfassungsgeräte an. Die Produktreihe TraNET® FE ist als 8, 16 oder 32 Kanal Variante erhältlich und zeichnet sich durch ihre kompakte Bauform aus. Die TraNET® FE Geräte werden über

eine Ethernet Schnittstelle an einen Mess-PC angeschlossen. Sie können jedoch auch autonom betrieben werden um zum Beispiel Langzeitmessungen im Feld durchzuführen. Für Daten-Streaming oder andere datenintensive Anwendungen bieten sich die TraNET® EPC Geräte an. Diese können bis 64 Kanäle ausgebaut werden und basieren auf einem leistungsstarken Industrie-PC.

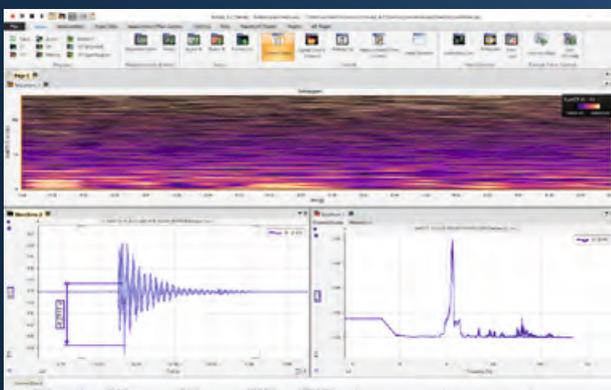
Die TranAX® Datenerfassungssoftware ermöglicht eine einfache Bedienung der Messhardware ohne Programmierkenntnisse. Behalten Sie den Überblick über ihre Messkurven mittels flexibel gestaltbaren Messkurven-Displays. Mit dem integrierten Formel-Editor können einfache bis komplexe Berechnungen direkt mit den Messdaten durchgeführt werden. Wiederkehrende Messaufgaben können durch die Messablaufsteuerung automatisiert und mit Hilfe des Report-Generators und Dokumentationsfenster präsentiert werden.

Dank den verschiedenen erhältlichen Schnittstellen zu LabVIEW, Matlab, C++/C# oder Python APIs, ist die Integration der Elsys Datenerfassung in übergreifende Lösungen problemlos möglich. ■

## KONTAKT

### ELSYS AG

Mellingenstrasse 12  
CH-5443 Niederrohrdorf  
Schweiz  
Tel. +41 56 496 01 55  
info@elsys-instruments.com  
www.elsys-instruments.com



TranAX® Datenerfassungssoftware  
Messen | Steuern | Visualisieren | Auswerten



2 - 240 MHz Abtastrate | 4 - 32 Kanäle | Ethernet Anschluss  
Interne 400 GB SSD | Analog Eingang  $\pm 50$  mV  $\pm 50$ V  
4mA IEPE für Druck- und Beschleunigungssensoren

TranNET® FE  
Data Logger | Transienten Rekorder | Oszilloskop

Messtechnik-Spezialist mit breitem Einsatzspektrum



# INHALTSVERZEICHNIS

## SENSOR + TEST 2022

Die Messtechnik-Messe

**10. – 12. Mai 2022  
in Nürnberg**

2

Impressum

4

Vorwort

**Prof. Dr.-Ing. Stefan Zimmermann**

Vorsitzender des AMA Wissenschaftsrates – AMA Verband für Sensorik und Messtechnik e. V.

6

Grußwort

**Prof. Dr. Christoph Kutter**

Direktor Fraunhofer EMFT, München

---

## sps – smart production solutions

Nürnberg

**23. – 25.11.2021**

24

Sensorik und Messtechnik auch in schwierigen Zeiten die Schlüsseltechnologie der Zukunft

AMA Verband für Sensorik und Messtechnik e. V.

34

Kontinuierliche VOC-Messung in Innenräumen mit Low-Cost MOS-Sensorik

**Johannes Amann, Andreas Schütze**

Lehrstuhl für Messtechnik, Universität des Saarlandes

---

## 15. DRESDNER SENSOR- SYMPOSIUM

**6. – 8. Dezember 2021  
Bilderberg Bellevue  
in Dresden**

44

DER NEXPEN – wenn Spassausbrüche vorprogrammiert sind

**Jens Hansen, Elisha Benner**

48

SENSOR + TEST 2022

Die Messtechnik-Messe – The Measurement Fair

# EINE VERBINDUNG DIE VERNETZT – MULTITALENTE INDUSTRIELLER KOMMUNIKATION

In modernen Automatisierungskonzepten stellt die Digitalisierung bis hinunter zum Sensor besondere Anforderungen. Design und Platz oder raue Umgebungsbedingungen erfordern oft Sensoren ohne integrierte Auswertelektronik. Intelligente Messverstärker, die die Messwerte solcher Sensoren digital auswerten und über einen Feldbus-Controller ins Automatisierungsnetzwerk übertragen, erlauben dann eine durchgehende Digitalisierung. Für diese Datenerfassung bietet burster ein skalierbares, volldigitales, kompaktes Modulsystem.

Es besteht aus einem **Feldbus-Controller (Typ 9251)** für industrielle Ethernet-Standards wie PROFINET, EtherNet/IP oder EtherCAT und flexibel einsetzbaren Messverstärkern. An einen Controller können bis zu acht **Messverstärker (Typ 9250)** kaskadiert werden für Sensoren wie DMS, Potentiometer oder analoge  $\pm 10$  V bzw. inkrementelle Signale. Optional kann der Feldbus-Controller mit integriertem Messeingang auch als Stand-Alone-Gerät betrieben werden. **Burster** Sensoren werden automatisch mit der Sensorerkennung **burster-TEDS** am jeweiligen Modul erkannt und lassen sich intuitiv parametrieren. Die Verstärkermodule arbeiten mit 24-Bit A/D-Wandlung, die Messrate der einzelnen Messverstärker beträgt bis zu 14.400 Messungen pro Sekunde bei einer Linearitätsabweichung von  $< 0,005$  % v.E.

Der Feldbus-Controller kann bis zu neun Messkanäle auslesen: die acht Kanäle der 9250-Messverstärker sowie einen optional im 9251 integrierten Messkanal für DMS, potentiometrische Wegsensoren und Normsignale. Neben einer Blitzkonfiguration vor Ort über Tasten an den Verstärkermodule ist über eine frontseitige USB-Schnittstelle auch eine komfortable Gerätekonfiguration bzw. ein Backup über die PC-Software DigiVision möglich. Das Komplettsystem aus Feldbus-Controller und den Messverstärkern lässt sich durch den kompakten Aufbau gut im Schaltschrank unterbringen und erlaubt so die digitale Messwerterfassung auch bei wenig Platz.

**Für eine Messwerterfassung, die so stark ist wie noch nie zuvor.**



## KONTAKT

**burster**  
präzisionsmesstechnik  
gmbh & co kg

76593 Gernsbach  
Tel.: +49 (0) 7224-645-0  
E-Mail: info@burster.com  
www.burster.com



THE MEASUREMENT SOLUTION. 

**WEIL FORTSCHRITT VISIONEN BRAUCHT.**

**burster, der Messtechnik- und Sensor-Spezialist** liefert punktgenau die beste Lösung für Ihre Anforderungen. burster bietet Ihnen zukunftsorientierte Produkte, Systemlösungen und umfangreichen Service rund um das Produktspektrum. Mit persönlichem Engagement und kompromissloser Qualitätsfokussierung.

burster präzisionsmesstechnik gmbh & co kg

burster.com

# INHALTSVERZEICHNIS

- 52** **Mit kognitiver Sensorik IOT-Prozesse und Messsysteme verbessern**  
Fraunhofer-Institut für integrierte Schaltungen IIS
- 60** **Strategische Partnerschaft Sensorik e. V. (SPS) / Cluster Sensorik**  
**Stefanie Fuchs, Matthias Streller**  
Strategische Partnerschaft Sensorik e. V.  
Bayerisches Clustermanagement Sensorik
- 72** **Dielektrische Elastomerwandler im sensorlosen Selsensing-Betrieb**  
**Andreas Hubracht (M.Sc.), Samuel Junglas (M.Sc.), Abd Elkarim Masoud (M.Sc.),  
Ozan Cabuk (M.Sc.), Jana Mertens (M.Sc.), Tim Krüger (M.Sc.)  
und Prof. Dr.-Ing. Jürgen Maas**  
Technische Universität Berlin
- 78** **Simulationsgestützte Entwicklung ultraschallbasierter  
Sensorsysteme zur nichtinvasiven Schichtdetektion in Schläuchen**  
**Florian Dötzer, Prof. Dr. Klaus Stefan Drese**  
ISAT – Institut für Sensor- und Aktortechnik
- 90** **Direkt zum Kunden mit KI-basierten D2C-Plattformen**  
**Prof. Dr. Markus Haid**  
Hochschule Darmstadt
- 96** **Institut für Grundlagen der Elektrotechnik und Messtechnik**  
**Prof. Dr.-Ing. Stefan Zimmermann**  
Fachgebiet Sensorik + Messtechnik, Leibniz Universität Hannover
- 108** **Forschung auf dem Gebiet der angewandten faseroptischen  
Drucksensorik**  
**S. Kienitz, M. Schmid, M. Jakobi, A. W. Koch**  
Technische Universität München

# 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 mo-

bilen 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

02162/8980

02162/898101

www.sab-kabel.de

## Kabelkonfektionen für die Messtechnik



## Hochvolt - Messtechnik für e-Mobility

- Adaptierungen
- Prüfstandsmessungen
- Sensoren



SAB BRÖCKSKES GmbH & Co. KG | Grefrather Str. 204-212 b | 41749 Viersen  
Tel.: +49/2162/898-0 | www.sab-worldwide.com | info@sab-broeckskes.de

# INHALTSVERZEICHNIS

- 114** **Komplettpaket für die akustische Prozess- und Qualitätskontrolle**  
Polytec GmbH
- 116** **Multi-Detektor-Prinzip verbessert Signalqualität**  
Polytec GmbH
- 118** **Virtuelle Fehlerinjektion in mechatronischen und elektronischen Systemen zur Zuverlässigkeits- und Sicherheitsanalyse**  
M.Sc. Roman Müller-Hainbach, M.Sc. Levent Ergün, Prof. Dr.-Ing. Stefan Butzmann  
Bergische Universität Wuppertal
- 122** **Wegmessung für einen entspannten Schlaf**  
Novotechnik

## DER HEAVY-DUTY RFID-SENSOR – DER SCHLÜSSEL ZUM INDUSTRIAL IOT

Das High-Tech Start-up sensideon denkt die drahtlose Sensortechnologie neu und ermöglicht Temperaturmessung und Objektidentifikation an Orten, die bisher nur mit viel Aufwand bzw. gar nicht zugänglich waren. Getreu dem Motto „dort wo andere an ihre Grenzen stoßen“ erlauben die robusten Funksensoren von sensideon die Erschließung neuer Anwendungsfelder in der Smart Factory oder in der E-Mobility.

Industrial IoT und die damit verbundene Digitalisierung von Prozessen bietet ein großes Potenzial für innovative Sensortechnologien. Im Bereich der kabellosen Temperaturmessung und Identifizierung präsentiert sensideon nun den Heavy-Duty RFID-Sensor (kurz HD RFID-Sensor), welcher insbesondere bei bewegten, schwer zugänglichen und heißen Bauteilen neue Möglichkeiten eröffnet.

### Smart Factory – Sensorik mit RFID



Flex-Tag XS

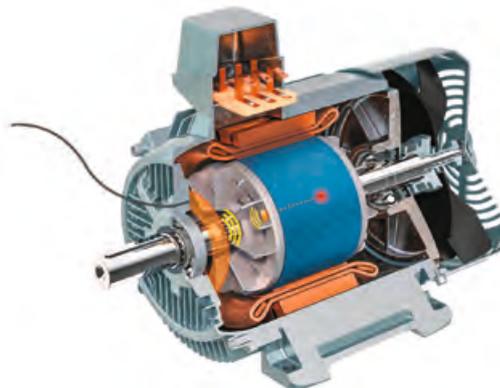
Typische Anwendungen finden sich in Durchlauföfen und Prozesskammern, überall dort wo die Temperatur und die Identifikation von bewegten Bauteilen oder Ob-

jektträgern von Interesse ist. Klassische Funksensoren und RFID-Tags erfüllen die hohen Anforderungen hinsichtlich Robustheit nicht mehr. Der HD RFID-Sensor von sensideon funktioniert ohne Schaltkreise oder Batterie und ist extrem robust. „Der Sensor kann bis 400°C messen und drahtlos abgefragt werden“, erklärt René Fachberger, Gründer und CEO von sensideon. Der modulare HD RFID-Sensor steht in verschiedenen Bauformen und Größen zur Verfügung, auch in einer kleinen,

flexiblen und einfach zu integrierenden Variante (Abb. links). Der Zusatz RFID ergibt sich aus der Option, auch eine eindeutige Identifikationsnummer per Funk zu übertragen. Dies erlaubt beispielsweise die zuverlässige Erkennung von stark beanspruchten Behältern und Werkzeugen in der verarbeitenden Industrie.

### Innovation in der E-Mobility

Eine weitere Neuheit ist die Heavy Duty Telemetrie zur Messung der Rotortemperatur in E-Motoren (Abb. unten). Die Sende- und Empfangseinheiten bauen deutlich kleiner als bei klassischen System und können zur Gänze im Motorgehäuse integriert und flexibel an die Baugröße der Aggregate angepasst werden. „Es sind keine Änderungen an Welle und Gehäuse nötig – dasselbe System kann am Prüfplatz und in Prototypen eingesetzt werden“, so René Fachberger.



Elektromotor mit integriertem Heavy Duty RFID Sensor

Mit dem Heavy-Duty RFID-Sensor liefert sensideon eine Schlüsseltechnologie für die Realisierung von innovativen Anwendungen im Industrial IoT. ■

WE PUSH THE LIMITS  
of sensor technology

### Vorteile auf einen Blick

- Funkt bis 400°C
- Temperatursensor mit RFID
- Extrem robust und kompakt
- Unempfindlich gegenüber EM-Felder
- Hohe Genauigkeit und Auflösung
- Keine Batterie, kein Aufladen
- Keine Schaltkreise
- Keine Kabel

IF YOU CANNOT  
MEASURE IT  
YOU CANNOT  
IMPROVE IT

  
READY FOR EXTREMES

### KONTAKT

#### SENSIDEON GMBH

René Fachberger  
Ligusterstr. 4 | 4600 Wels | Tel.: +43 7242 601105  
funk@sensideon.com  
www.sensideon.com

# INSERENTENVERZEICHNIS

<b>www...</b>		<b>DIE UNTERNEHMEN</b>
ahlborn.com	17	AHLBORN MESS- UND REGELUNGSTECHNIK GMBH
bfz-steinmeier.de	43	ALBERT STEINMEIER GMBH & CO. KG
druck.com	40, 41	BAKER HUGHES DE
barksdale.de	67	BARKSDALE GMBH
bay-sensors.com	71	BAY SENSORTEC GMBH
bdsensors.de	66	BD SENSORS GMBH
beckhoff.com	32, 33	BECKHOFF AUTOMATION GMBH & CO. KG
burster.com	11	BURSTER PRÄZISIONSMESSTECHNIK GMBH & CO. KG
cgs-gruppe.de	59	CGS GMBH
cismst.de	28 – 31	CIS FORSCHUNGSINSTITUT FÜR MIKROSENSORIK GMBH

# WEBBASIERTE MESSDATENERFASSUNG FÜR ALLE DIGITALEN UND ANALOGEN SENSOREN

Digitalisierung und Vernetzung verändern die Produktionsketten und damit auch Messgeräte, die sich in bestehende Netze integrieren müssen. Die webbasierte Technologie des ALMEMO® 500 ist für eine Vernetzung zukunftssicher aufgestellt. Das skalierbare System erfasst zahlreiche Messstellen. Die Bedienung erfolgt über Tablet und moderne Schnittstellen. Der Zugriff auf die Messdaten ist via Webservice von überall möglich. Vernetzungsmöglichkeiten und Messwertabfragen sind mit App am Tablet oder PC möglich.



ALMEMO® 500 wird über Tablet und App bedient. Den Zugriff erledigt ein integrierter Webservice. Dabei visualisiert die App nicht nur Messdaten, der komplette Datenlogger und alle Fühler können konfiguriert werden. Über Webservice können mehrere User gleichzeitig von verschiedenen Orten bei dezentraler Messwertüberwachung zugreifen. Ein Rechtemanagement schützt vor ungewollten Ver-

änderungen. Die Verbindung zwischen Tablet und Gerät übernimmt ein integrierter WLAN-Hotspot. Als Access Point stellt er ein gesichertes Netz bereit. Alternativ kann sich der Logger als Client anmelden. Die Konfiguration des WLAN-Hotspots, wie Netzwerk und Verschlüsselung, läuft in wenigen Schritten über eine integrierte Konfigurationswebseite. Gespeicherte Messwerte (bis 600 Mio) können offline oder während der Messung in der App dargestellt werden. Der Speicher kann für Langzeitüberwachungen konfiguriert werden. Mehrere ALMEMO® 500 Datenlogger lassen sich über den integrierten Access Point mittels LAN oder WLAN, oder über USB Schnittstelle miteinander vernetzen. Der Anwender bedient dabei alle Geräte über eine App. Darüber hinaus können Messwerte über die Messsoftware WinControl abgefragt und dargestellt werden. Das ALMEMO® 500 ist im Tischgehäuse oder 19-Zoll-Baugruppen-träger lieferbar.

## KONTAKT

### AHLBORN MESS- UND REGELUNGSTECHNIK GMBH

Eichenfeldstr. 1  
83607 Holzkirchen  
Tel.: 08024 3007 0  
amr@ahlborn.com  
www.ahlborn.com

## Messen, was geht ...

**Datenlogger**, Messgeräte und **Sensoren**  
für jeden Einsatz  
Universell, modular & vernetzbar

**Software** zur Auswertung

**Akkreditiertes Kalibrierlabor**  
für Temperatur, Feuchte, Strömung  
und elektrische Größen

**Fragen Sie uns! Tel: 08024 300 70**



AHLBORN

# INSERENTENVERZEICHNIS

www...		DIE UNTERNEHMEN
ia.danfoss.de	89	DANFOSS GMBH
dimetix.com	68, 69	DIMETIX AG
elsys-instruments.com	9	ELSYS AG
heitronics.com	3, 94, 95	HEITRONICS INFRAROT MESSTECHNIK GMBH
hensoldt.net/karriere	23	HENSOLDT SENSORS GMBH
hirschmann-automotive.com	106	HIRSCHMANN AUTOMOTIVE GMBH
hbkworld.com	86, 87	HOTTINGER BRÜEL & KJAER GMBH
infrasolid.com	77	INFRASOLID GMBH
ist-ag.com	47	INNOVATIVE SENSOR TECHNOLOGY IST AG

# TAUPUNKTE BIS $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$ OHNE ZUSÄTZLICHE KÜHLUNG HOCHPRÄZISE MESSEN

Mit dem neuen S8000 -100 von Michel Instruments bringt die Process Sensing Technologies Gruppe ein hochpräzises Taupunktspiegel-Hygrometer für besonders niedrige Taupunkte auf den Markt. Das speziell für den Einsatz als Referenzhygrometer in Normungs- und Kalibrierlabors entwickelte Gerät eignet sich auch optimal für exakte Feuchtemessungen in Forschung und Entwicklung.

Bei der Entwicklung des S8000 -100 haben die Ingenieure auf neueste Taupunktspiegel-Technologie zurückgegriffen, um zuverlässige und wiederholbare Messungen von niedrigen Taupunkten bis zu  $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$  mit einer Genauigkeit von  $\pm 0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$  zu erreichen, ohne dass eine zusätzliche Kühlung erforderlich ist.

Das Herzstück des neuen Geräts ist ein hochentwickeltes optisches System, das kleinste Veränderungen der auf der Spiegeloberfläche kondensierten Feuchtigkeit erkennt. Es gewährleistet eine hohe Empfindlichkeit und ein schnelles Ansprechen auf Änderungen des Frostpunktes selbst bei niedriger Luftfeuchtigkeit und damit besonders anspruchsvollen Bedingungen.

Das hochpräzise Taupunktspiegel-Hygrometer S8000 -100 erreicht eine Stabilität von  $\pm 0,25\text{ }^{\circ}\text{C}$  bei  $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$  Frostpunkt in weniger als sechs Stun-

den - die beste Geschwindigkeit der Geräteklasse - und erzielt eine Reproduzierbarkeit von  $\pm 0,15\text{ }^{\circ}\text{C}$  Frostpunkt bei  $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$  Frostpunkt.

Darüber hinaus ist das S8000 -100 das kleinste und leichteste Gerät, das Frostpunktmessungen bis  $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$  erlaubt. Es wiegt 22 kg und passt in ein 19"-Rack oder kann bequem als Tischgerät verwendet werden.

Dank der vollständigen Automatisierung und Fernüberwachung per Software muss das Gerät nicht permanent vom Bediener überwacht werden. An Kommunikationsprotokollen stehen Modbus RTU über USB, RS232 und RS485 sowie Modbus TCP über Ethernet zur Verfügung. Zudem besteht die Möglichkeit benutzerkonfigurierbare Analog-Ausgänge für die Datenübertragung zu nutzen und Messwerte lokal auf einer SD-Karte aufzuzeichnen. ■

## KONTAKT

### MICHELL INSTRUMENTS GMBH

Max-Planck-Str. 14  
61381 Friedrichsdorf  
Tel.: +49 (0) 6172 5917-0  
de.info@michell.com  
www.michell.com/de

[www.ProcessSensing.com](http://www.ProcessSensing.com)

**PST**  
PROCESS SENSING  
TECHNOLOGIES

**Michell** | Dew Point Instruments

**Aii** | Oxygen Sensors

**Rotronic** | Humidity Instruments

**Rotronic** | Monitoring System

**LDetek** | Trace Impurity Analyzers

**Dynamant** | Gas Safety Sensors

**Ntron** | Oxygen Analyzers

**SST** | Oxygen Sensors



**MICHELL**  
Instruments

**Analytical**  
Industries Inc

**rotronic**  
MEASUREMENT SOLUTIONS

**LDetek**

**DYNAMANT**  
INFRARED GAS SENSORS

**NTRON**  
Gas Measurement

**SST**

# INSERENTENVERZEICHNIS

<b>www...</b>		<b>DIE UNTERNEHMEN</b>
keller-druck.com	<b>84, U4</b>	KELLER AG FÜR DRUCKMESSTECHNIK
tasler.de	<b>93</b>	LABORTECHNIK TASLER GMBH
lcpgmbh.de	<b>57</b>	LCP LASER-CUT-PROCESSING GMBH
logidatatech.com	<b>8</b>	LOGIDATATECH GMBH
michell.com/de	<b>19</b>	MICHELL INSTRUMENTS GMBH
micro-epsilon.com	<b>50, 51</b>	MICRO-EPSILON MESSTECHNIK GMBH & CO. KG
<a href="https://de.microsensorcorp.com">https://de.microsensorcorp.com</a>	<b>113</b>	MICRO SENSOR GMBH
nikonmetrology.com	<b>121</b>	NIKON METROLOGY GMBH
novotechnik.de	<b>7</b>	NOVOTECHNIK MESSWERTAUFNEHMER OHG
pepperl-fuchs.com	<b>U2</b>	PEPPERL+FUCHS SE
polytec.com	<b>5</b>	POLYTEC GMBH

# SD.TESTWARE® – DIE MSR 4.0®-LÖSUNG FÜR VERNETZTES MESSEN, VISUALISIEREN, STEUERN UND REGELN

Das Software-Paket **sd.Testware®** ist eine Weiterentwicklung der seit Jahren bewährten **sd.Solution**, die Standardprogramme zur Datenerfassung, Prüfstandsteuerung und Auswertung enthält. Das Paket setzt auf die modulare und vernetzte Zusammenarbeit verschiedener Komponenten.

Ähnlich wie bei Industrie 4.0, bilden intelligente, digital vernetzte Systeme die Grundlage unseres MSR 4.0-Systems. Diese Mess-, Steuer- und Regelsysteme sind untereinander mit Ethernet verbunden und ermöglichen eine Bedienung und Steuerung über ein Ethernet-Netzwerk.

Durch die Trennung des Echtzeit-MSR-Kerns von der grafischen Oberfläche (GUI) kann die Steuerung, Konfiguration und Visualisierung von entfernten Rechnern ausgeführt werden. Dadurch sind auch Multiuser-Zugriffe möglich. Auch mit der neuen Architektur lassen sich die Programme in der klassischen Variante als lokale Applikationen ausführen.

Die reinen 64-Bit-Programme sind spezialisiert auf Windows 7 und Windows 10. Sie enthalten ein ganzes Bündel neuer System-Features: Ein durchgängiges Logging- und Messaging-System, Integration unterschiedlicher Reglersysteme im Echtzeitkern, im Online-Betrieb ohne Unterbrechung nachladbare Testsequenzen, skalierbares Customizing, Konnektoren zu Fremdsystemen, z.B. LabView, DiaDem.

Die Software arbeitet mit allen auf dem Markt gängigen MSR-Geräten zusammen – in der Regel durch eigene optimierte Kernel-Mode-Treiber. Unser Steckenpferd ist dabei die Unterstützung von speziellen Busprotokollen, wie zum Beispiel: CAN, LIN, Flexray, EtherCAT, MilBus, AFDX, ARINC, ProfiNet, XCP usw. – unter Verwendung von AutoSAR-, DBC-, Fibex-, LDF-, ESI- und A2L-Konfigurationen. Die Mixed-Data-Verarbeitung ermöglicht das synchrone Handling von Daten aus unterschiedlichen Quellen und z.B. Videos.

Durch einen eigenen EtherCAT-Konfigurator werden EtherCAT-Geräte über eine Messtechnikfreundliche Oberfläche eingebunden und parametrisiert.

## DIE TECHNISCHEN DATEN

Erfassungsrate:  
1 Hz bis > 100 kHz / Kanal  
Sollwertvorgabe:  
1 Hz bis > 5 kHz / Kanal  
Max. Kanalanzahl:  
> 10000  
Max. MSR-Geräte: > 100  
Multiclient-fähig,  
Multimonitor-Betrieb  
Konfiguration über Dialoge  
und/oder Echtzeit-Skripte

## KONTAKT

### STIEGELE DATENSYSTEME GMBH

Herrngasse 14  
91541 Rothenburg o.d.T.  
Tel.: +49 9861 9488-0  
Fax: +49 9861 9488-49  
kontakt@stiegele.eu  
www.stiegele.eu

**sd.Testware®**  
Die MSR 4.0®-Lösung

Prüfstandsteuerung

Datenerfassung

Auswertung

Regelung



**STIEGELE**  
Datensysteme GmbH

www.stiegele.eu

Software - Made in Germany

# INSERENTENVERZEICHNIS

<b>www...</b>		<b>DIE UNTERNEHMEN</b>
sab-kabel.de	<b>13</b>	SAB BRÖCKSKES GMBH & CO. KG
sensideon.com	<b>15</b>	SENSIDEON GMBH
stw-mm.com	<b>56</b>	SENSOR-TECHNIK WIEDEMANN GMBH (STW)
siegert-tft.de	<b>70</b>	SIEGERT THINFILM TECHNOLOGY GMBH
siko-global.com	<b>85</b>	SIKO GMBH
stiegele.eu	<b>21</b>	STIEGELE DATENSYSTEME GMBH
umweltsensortechnik.de	<b>107</b>	UST UMWELTSENSORTECHNIK GMBH
vibrationresearch.de	<b>27</b>	VIBRATION RESEARCH EUROPEAN OFFICE

# VISIONÄRE TECHNOLOGIEN

HENSOLDT ist ein deutscher Champion der Verteidigungsindustrie mit einer führenden Marktposition in Europa und globaler Reichweite. Das Unternehmen entwickelt Sensorlösungen für Verteidigungs- und Sicherheitsanwendungen. Als Technologieführer baut HENSOLDT zudem sein Portfolio im Bereich Cyber kontinuierlich aus und entwickelt neue Produkte zur Bekämpfung eines breiten Spektrums von Bedrohungen auf der Grundlage innovativer Ansätze für Datenmanagement, Robotik und Cybersicherheit. Mit mehr als 5.600 Mitarbeitern erzielte HENSOLDT 2020 einen Umsatz von 1,2 Milliarden Euro. HENSOLDT ist an der Frankfurter Wertpapierbörse notiert und dort Teil des Aktienindex SDAX.

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.

Wir sind auf der Suche nach motivierten und hochqualifizierten Mitarbeitern, die Pioniere mit Unternehmmergeist sind, sich für Technik begeistern und bereit sind, in multidisziplinären Teams Verantwortung für komplexe und faszinierende Projekte zu übernehmen. Werden auch Sie Pionier und gestalten die Zukunft von HENSOLDT mit uns gemeinsam. ■

## KONTAKT

### HENSOLDT SENSORS GMBH

Willy-Messerschmitt-Str. 3  
82024 Taufkirchen  
info@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 Entwickler**  
**Systemingenieur**  
**Technical Manager**

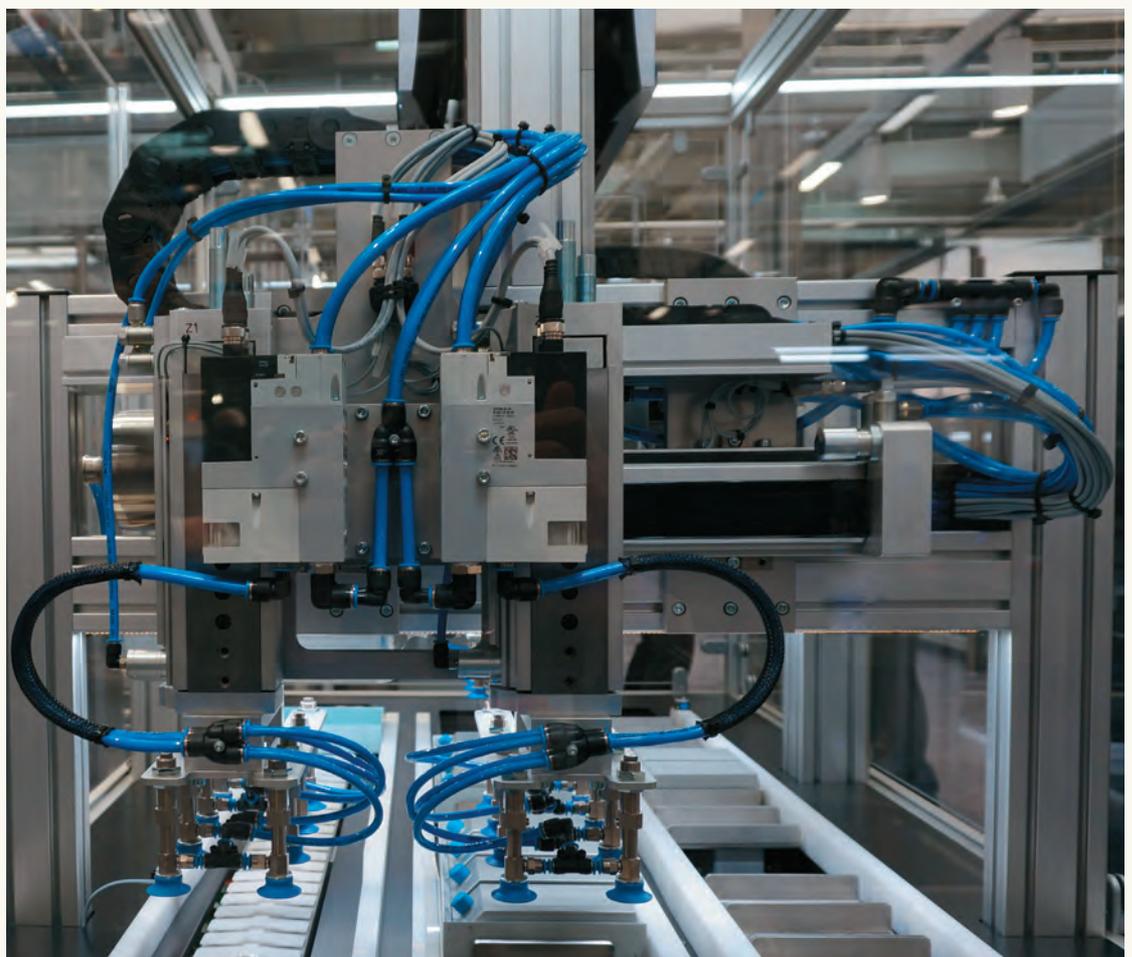
[www.hensoldt.net/karriere](http://www.hensoldt.net/karriere)



**HENSOLDT**  
Detect and Protect

# SENSORIK UND MESSTECHNIK AUCH IN SCHWIERIGEN ZEITEN DIE SCHLÜSSEL-TECHNOLOGIE DER ZUKUNFT

AMA Verband für Sensorik und Messtechnik e. V.



Die großen Themen der Branche bleiben auch im 2. Pandemiejahr die Digitalisierung und das Internet of Things. Schätzungen zufolge werden im IoT in den kommenden Jahren voraussichtlich 20 Milliarden Geräte miteinander kommunizieren. Dadurch werden Unmengen an Daten entstehen, die dank selbstlernender Algorithmen in sogenannte Smart Data umgeformt werden und damit relevante Informationen zu Energieverbrauch, Anlageentscheidungen oder von Hackerangriffen ermitteln.

Nahezu überall ist die intelligente Verknüpfung von verschiedenen Sensordaten mit anderen Informationen. Ob die Lokalisierung durch GPS oder WLAN oder modellbasiertes Wissen über den Prozess, so dass Sensorsysteme mittels intelligenter Algorithmen schon im Feld entscheiden können, welche Ereignisse gemeldet werden müssen. Gleichzeitig wird auch die intelligente Verknüpfung von verschiedenen Sensordaten untereinander immer wichtiger.

Smarte Sensoren vereinfachen trotz ihrer Komplexität häufig den Einsatz durch sogenannte ‚Plug and Play‘-Anwendungen. Je mehr ‚Intelligenz‘ in den Sensor in Form anspruchsvoller Signalverarbeitungsalgorithmen integriert wird, desto mehr Möglichkeiten der Selbstüberwachung und Rekonfiguration ergeben sich. Damit ermöglichen Dienstleistungen wie Predictive Maintenance und Maschinenüberwachung erweiterte Geschäftsfelder für die Sensorik und Messtechnik.

Hier bietet zum Beispiel der digitale Zwilling, die digitale Abbildung einer Anlage oder Maschine, ein interessantes Entwicklungspotential für die gesamte Industrie. Die Simulation verhält sich so, wie eine reale Anlage oder Maschine. Das spart der Industrie Zeit und Kosten ob in der Entwicklung, der Inbetriebnahme oder Optimierung. Ein weiterer interessanter Trend ist für unsere Branche das sogenannte Retrofitting, also das Umrüsten bestehender Industrieanlagen mit neuer Technik. Denn Sensoren können auch alte aber bewährte Techniken zukunftsfit machen.

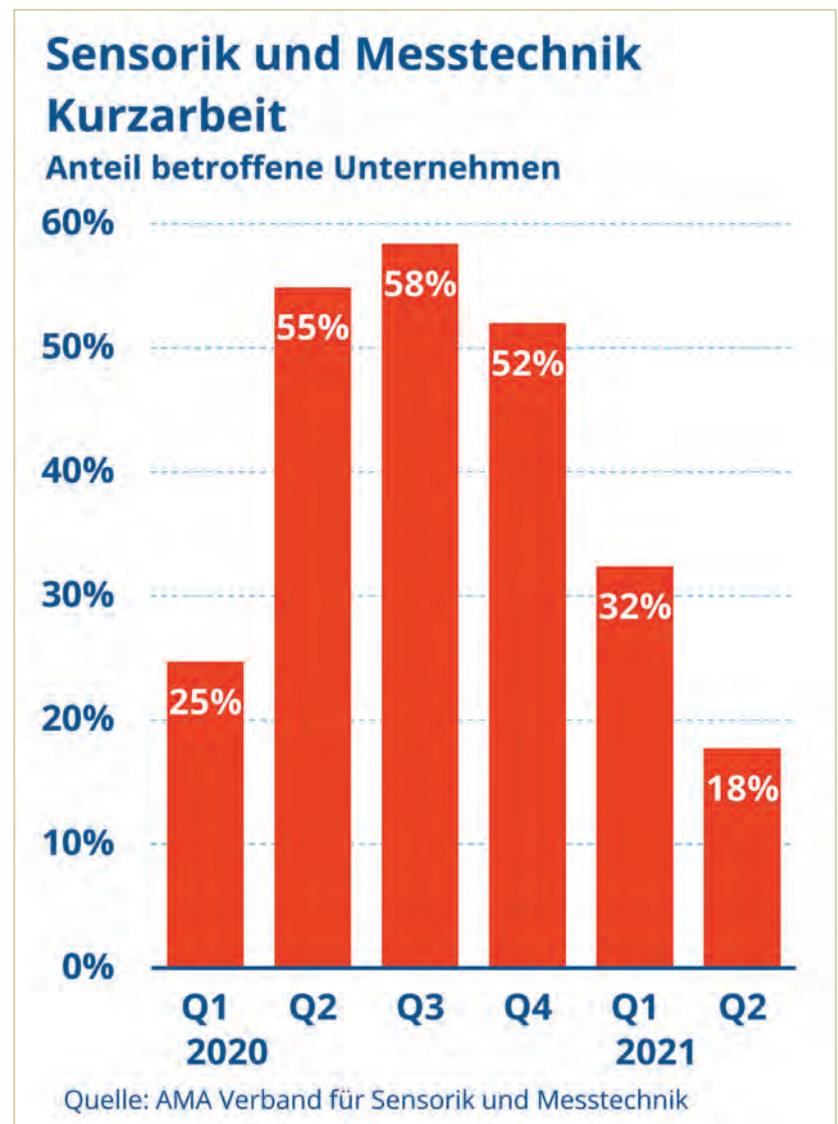
Sensorik und Messtechnik bleibt damit auch in wirtschaftlich schwierigen Zeiten die Schlüsseltechnologien der Zukunft. Verzeichnete die Branche im ersten Quartal 2021 ein deutliches Umsatzwachstum, konnte sie dies im zweiten Quartal stabilisieren, die Umsätze liegen bei plus minus null Prozent. Die Auftragseingänge der Branche entwickelten sich insgesamt positiv mit einem Plus von acht Prozent. Der Anteil der AMA Mitgliedsunternehmen die Kurzarbeit angemeldet haben sinkt deutlich, nur noch eins von fünf Unternehmen beschäftigt in Kurzarbeit.

Umsatz aufholen konnten insbesondere die kleinen bis mittelgroßen Unternehmen (KMU) im zweiten Quartal deutlich besser als die großen Unternehmen der Branche. Daher sind die Erwartungen der kleinen bis mittelgroßen AMA Mitglieder etwas optimistischer als die der größeren Mitglieder. Insgesamt rechnet die Branche für das dritte

Quartal mit einem positiven Wachstum von vier Prozent.

Kurzarbeit gibt es nur noch bei den KMU der Branche und betrifft überwiegend die Lieferanten in die Zielmärkte: Maschinenbau, Sensorik und Messtechnik sowie die Automobil- und Elektrobranche. Wenig bis gar nicht betroffen sind Lieferanten in die Medizintechnik und Energiewirtschaft. Das unterfüttern überdurchschnittliche Auftragseingänge für die Lieferanten der Medizintechnik. Ebenfalls gut entwickelt sich der Absatzmarkt Aerospace. Unterdurchschnittliche Ergebnisse melden die Zulieferer in die Sensorik und Messtechnik.

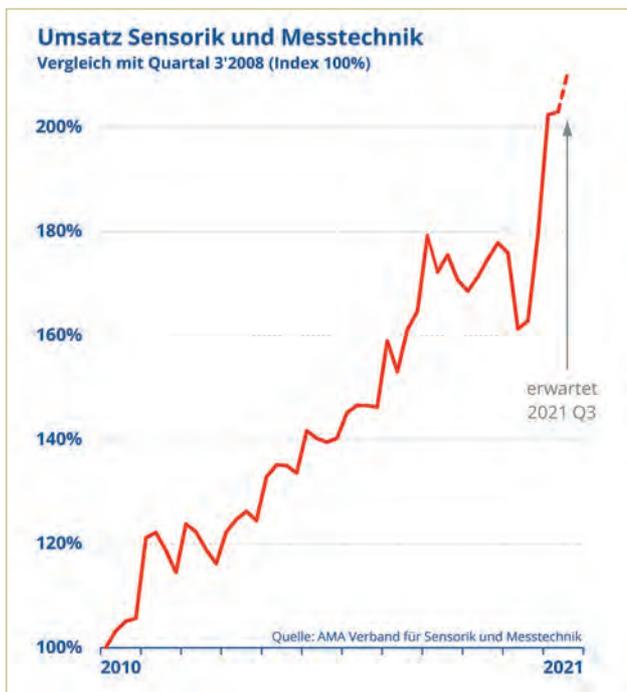
Der AMA Verband befragt seine Mitglieder auch zur Entwicklung des Onlinehandels während der COVID-Krise. Jedes sechste Unternehmen ver-





stärkt den eigenen Onlinehandel, insbesondere Lieferanten für den Energie- und den Automobil-Sektor. Die Unternehmen, die den Onlinehandel auf- und ausbauen berichten mehrheitlich von vielversprechenden Ergebnissen.

„Unsere Branche holt erfreulicherweise wieder auf, insbesondere die Umsätze und die Auftrags-eingänge entwickelt sich so, wie unsere Branche den langfristigen Trend vor der Corona-Pandemie erwartete,“ sagt Thomas Simmons, AMA Geschäftsführer. „Die Auftragsbücher sind gut gefüllt, die Kurzarbeit hat deutlich abgenommen, die Umsätze stabilisieren sich und die Branche blickt zuversichtlich auf das laufende Jahr.“



Verband für Sensorik + Messtechnik

*Innovatoren verbinden*

**KONTAKT**

**AMA VERBAND FÜR SENSORIK UND MESSTECHNIK E.V.**

Sophie-Charlotten-Str. 15, 14059 Berlin  
 Tel.: +49 (0) 30 2219 0362 -0, info@ama-sensorik.de  
<http://www.ama-sensorik.de>

# VIBRATION RESEARCH INNOVATORS IN VIBRATION CONTROL

Vibration Research ist seit mehr als 20 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 Prüfengeuren 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 Prüfengeur 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  
EUROPEAN OFFICE**

[www.vibrationresearch.de](http://www.vibrationresearch.de)

## **VIBRATION RESEARCH** *Innovators in Vibration Control*



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



### 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](mailto:info@vibrationresearch.de) | [www.vibrationresearch.de](http://www.vibrationresearch.de)

# 3D-FUNKTIONALISIERTE FOTODIODEN

**Optische Sensoren und Messsysteme basieren auf der Kombination von Lichtempfängern und optischen Elementen – im Allgemeinen also dem Zusammenspiel von Halbleiterdetektoren und mechanisch dazu ausgerichteten optischen Baugruppen. 3D-Strukturierungsmöglichkeiten im Halbleiter eröffnen dabei einen neuen Zugang, der nicht nur den Miniaturisierungsgrad sondern auch die Leistungsfähigkeit solcher Baugruppen auf eine höhere Stufe hebt.**

## AUTOREN:

M. Schädel, C. Möller,  
D. Mitrenga, S. Völlmeke,  
A. T. Winzer, T. Ortlepp

Fotodioden und -arrays sind fester Bestandteil optischer Sensoren und dienen der Umwandlung von Licht in elektrische Signale. Bedingt durch die üblichen Halbleiterprozesstechnologien (Front-End) sind Fotodioden im Allgemeinen plan – also in erster Näherung 2D-Baugruppen. Die für die jeweilige sensorische Aufgabe benötigten optischen und mechanischen Elemente wie z.B. Linsen, Gitter, Lichtleitfasern oder Abstandshalter müssen nachträglich mit verschiedenen Verfahren der Aufbau- und Verbindungstechnik (Back-End) angebracht und ausgerichtet werden. Diese etablierte Herangehensweise bringt dabei einige Nachteile. Zum einen erfolgt die Montage üblicherweise an Einzelbaugruppen, d. h. die verschiedenen Komponenten werden einzeln und sequentiell Stück für Stück montiert, was relativ aufwendig ist. Zum anderen liegen die mit solchen klassischen Montagetechnologien erreichbaren Positionsgenauigkeiten im Bereich 10 µm oder darüber, bzw. Kippwinkeltoleranzen (je nach Bauteilgröße) im Bereich mehrerer Winkelsekunden bis einige Grad.

Durch erweiterte Halbleiter-Technologien ist es heute möglich bereits auf Waferebene die Fotodiode selbst als dreidimensional geformtes Bauteil mit erweiterter Funktionalität zu realisieren. So können beispielsweise Kavitäten, Durchführungen und geneigte Flanken geometrisch hochgenau realisiert und als sensitive (Teil-)Flächen funktionalisiert werden. Die dabei erreichbaren Toleranzen für Positionen und Winkel liegen um mehr als eine Größenordnung unter denen der klassischen Aufbau- und Verbindungstechnik.

## Kavitäten für hybrid montierte Lichtquellen und ASICs

Anisotrope nasschemische Ätzverfahren ermöglichen eine richtungselektive Strukturierung von Silizium. So erlaubt beispielsweise der Einsatz von

Kalilauge (KOH) bei geeigneter Prozessführung das Ätzen entlang der (100)-Kristallorientierung und mit entsprechender lithographischer Maskierung das Freistellen von Kavitäten mit (111)-Kristallflanken. Solche Kavitäten eignen sich hervorragend dafür, nachträglich andere Baugruppen einzulassen, ohne dass diese aus der Chipenebene herausragen. Auf diese Weise können zudem sehr kurze elektrische Leitungsstrecken realisiert werden, was im Fall von Signalverarbeitungsschaltkreisen (ASIC) zu weniger Störanfälligkeit durch elektromagnetische Umgebungseinflüsse führt. Wird auf diese Weise hingegen eine LED integriert, wirken die Flanken der Kavität bei entsprechender Metallisierung zusätzlich wie ein Reflektor und erhöhen den Anteil des nutzbaren Lichts für die sensorische Aufgabe.

Die mit solchen Kavitäten verbundene technologische Herausforderung ist die homogene Lackabscheidung und dessen lithographische Strukturierung über Kanten hinweg und über große Höhenunterschiede. Das herkömmliche und weit verbreitete Aufschleudern (spin coating) der Lacke kommt dabei nicht in Frage – stattdessen wurden hierfür spezielle Sprühbelackungstechniken entwickelt, die mit angepassten Lacken auch über scharfe Kanten hinweg homogene Lackschichtdicken erreichen können. Zudem müssen Fehlbelichtungen durch unvermeidbare Reflexionen an den Flanken der Kavitäten während der Lackbelichtung durch ein optimiertes Zusammenspiel von Lackchemie und Schichtdicke kompensiert werden. Die optische Abbildung der lithographischen Maskenstrukturen über Höhenunterschiede mehrerer 100 µm erfordert zudem spezielle Belichtungsoptiken mit telezentrischen Eigenschaften.

Unter Berücksichtigung dieser Maßnahmen ist es möglich, Leiterbahnen und strukturierte aktive Detektorflächen über Kanten hinweg und inner-

## KONTAKT

### CIS FORSCHUNGS- INSTITUT FÜR MIKROSENSORIK GMBH

Konrad-Zuse-Str. 14  
99099 Erfurt

Tel.: +49 (0) 361 663 1160

E-Mail: info@cismst.de

www.cismst.de

halb der Kavitäten zu realisieren. Eine sich daraus entwickelte Lösungsform sind Mikro-Optische Remissions-Sensoren (MORES), bei denen eine integrierte Lichtquelle (LED oder Laserdioden) im Zusammenspiel mit Fotodioden(-arrays) vorliegt. Dadurch, dass diese Lichtquellen und deren elektrische Anschlüsse nicht aus der Baugruppe herausragen, lassen sich sehr flache Sensoren erreichen, die vollflächig und mit einfachen technischen Mitteln an verschiedene Testobjekte angebracht werden können. Auch lassen sich so Deckgläser und optische Filter leicht integrieren und auf diese Weise verbesserte Sensorfunktionen – beispielsweise für die Fluoreszenzlicht-Anregung und -Erfassung – realisieren. Ein Beispiel einer MORES-Baugruppe ist in Abbildung 1 gezeigt. Die dargestellte Sensor-Baugruppe dient dem elektronischen Auslesen der Gasblasenposition innerhalb einer Dosenlibelle und ermöglicht damit einen hochgenauen Nivellierungssensor mit einer Genauigkeit von unter 20 Winkelsekunden. Ein weiteres Beispiel ist in Abbildung 2 gezeigt. Dieser Sensor wird mit drei unterschiedlichen LEDs (typischerweise grün, rot, infrarot) bestückt und kann als photoplethysmographischer (PPG) Sensor für die Bestimmung verschiedener Vitalparameter eingesetzt werden. Auf dieser Grundlage wurden am CiS Forschungsinstitut in den letzten Jahren Im-Ohr-Sensoren entwickelt, mit denen beispielsweise Herzrate, Herzratenvariabilität, Blutsauerstoffsättigung und seit neuesten auch der zentrale Blutdruck optisch aus jedem einzelnen Herzschlag bestimmt werden können. Neben den bereits am Markt etablierten „wearables“ – also vorrangig am Handgelenk oder Brustbereich getragenen Sensoren – werden ähnliche Sensoren demnächst auch in „hearables“ – also im und am Ohr eingesetzten

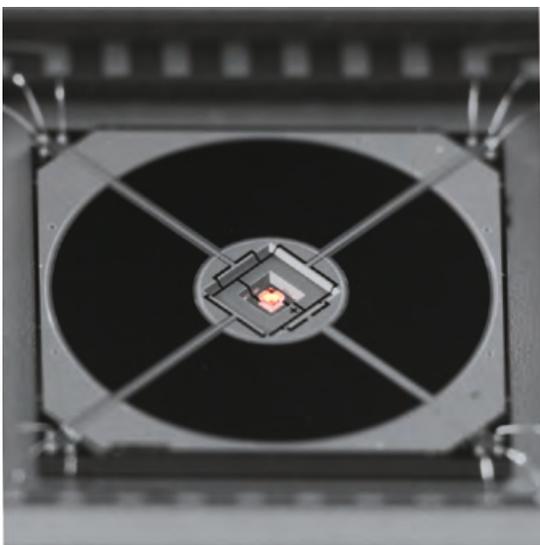


Abb. 1: MORES-Baugruppe für elektronische Nivellierungssensoren

Lösungen – für Medizintechnik und Endanwender verfügbar sein.

### Löcher zur Aufnahme optischer Fasern, Optiken und Freistrahlen

Mit Hilfe von Trockenätzverfahren auf Basis reaktiver Ionen (RIE) oder Plasmen (ICP) lassen sich mit entsprechender Maskierung auch senkrechte Kavitäten und Durchbrüche im Silizium erreichen. Form und Durchmesser solcher Vertiefungen lassen sich dabei im Bereich weniger Mikrometer bis mehrere Millimeter frei gestalten. Im Gegensatz zu nachträglichen mechanischen Bohrungen entstehen hier kaum Störungen der angrenzenden Kristallqualität. Mit zusätzlichen Passivierungsschichten lassen sich hochwertige Oberflächen erreichen, die nur geringen Einfluss auf die optische und elektrische Funktionalität benachbarter aktiver Gebiete haben. Aus diesem Grund können die Abstände solcher Gebiete zu so erzeugten Löchern auf unter 10  $\mu\text{m}$  ausgelegt werden, was Fotodioden-Arrays ohne „blinde“ Zonen erlaubt. Gleichzeitig liegen die Positionstoleranzen zwischen den Strukturen im Bereich weniger Mikrometer oder noch darunter.

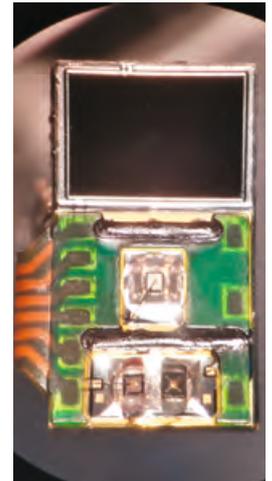
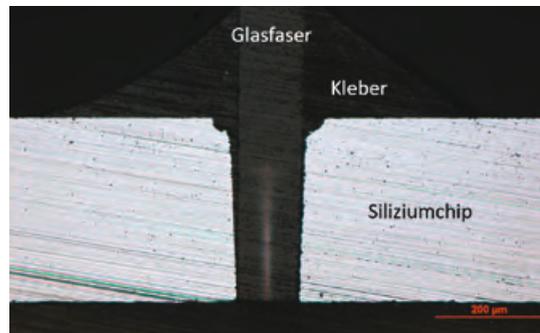


Abb. 2: MORES-Baugruppe für PPG-Sensoren zur Bestimmung von Vitalparametern. Im Vordergrund: 3 verschiedene LEDs in eingelassener Kavität.

Abb. 3: Querschnitt eines Faser-Koppelchips zur hochpräzisen, senkrechten Aufnahme und Kopplung einer Glasfaser an nachfolgende Detektoren

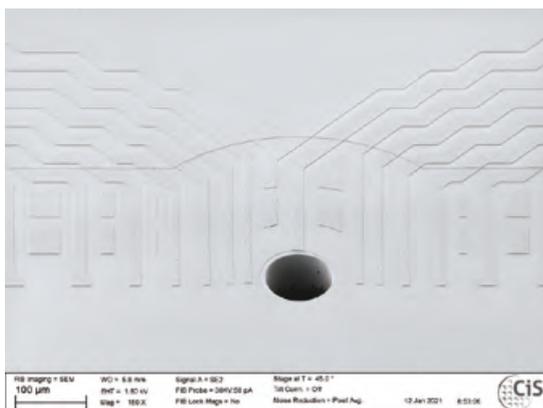
Neben der Durchführung elektrischer Kontakte von Vorder- zu Rückseite des Siliziumchips, lassen sich damit auch optische Fasern oder freie Lichtstrahlen kompakt und hochgenau zu den aktiven Detektorflächen ausrichten. Ein Beispiel hierfür ist in Abbildung 3 gezeigt. Der Querschnitt zeigt eine optische Faser, die in einer ICP-geätzten Durchführung montiert wurde. Durch geschickte Prozessführung wurde die Durchführung dabei leicht konisch ausgelegt, was das Einführen der Faser erleichtert. Ziel dieses Aufbaus ist die hochgenaue und reproduzierbare Ausrichtung der Faser zu darunter liegenden supraleitenden und nur etwa  $5 \times 5 \mu\text{m}^2$  kleinen Detektoren ohne aufwändige Maßnahmen einer optisch aktiven Montagevorrichtung. Damit konnte eine Positioniergenauigkeit von 1  $\mu\text{m}$  realisiert werden.



**Abb. 4:** 4-Quadranten-Fotodetektor mit durchgeführter GRIN-Linse für die Strahlverfolgung in einem Laser-Tracker-System.

Auch andere optische Elemente wie beispielsweise Gradienten-Index-Linsenstäbe (GRIN) lassen sich auf diese Weise direkt und hochpräzise in der Siliziumbaugruppe einsetzen. Die in Abbildung 4 gezeigte Baugruppe ist Teil eines Laser-Tracker-Systems. Der durch die GRIN-Linse geführte Laserstrahl trifft dabei auf den zu verfolgenden Retro-Reflektor und trifft auf dem Rückweg – leicht aufgeweitet – auch die umliegenden Fotodioden, wodurch die elektronisch geregelte Nachführung des Laserstrahls gesteuert werden kann.

Ein anderes Beispiel ist die Führung von freien Laserstrahlen durch solche Durchbrüche. Dies kommt beispielsweise bei der Streulichterfassung in der Partikelmesstechnik zum Einsatz. Von besonderer Bedeutung ist dabei ein möglichst geringer Abstand zwischen der Durchführung und der angrenzenden Fotodiode, um alle Raumwinkel des Streulichts erfassen zu können. Mit der in Abbildung 5 gezeigten Umsetzung konnte die blinde



**Abb. 5:** Elektronenmikroskopische Aufnahme eines Durchbruchs in einem Fotodioden-Array für Freistahl-Laserdurchführung in Streulichtsensoren.

Fläche um die Durchführung herum praktisch auf null reduziert werden.

### Fotodiodenarrays mit geneigten Segmenten

Mit den beschriebenen Methoden lassen sich nicht nur verbesserte elektrische und mechanische Funktionalitäten der Sensorbaugruppe erreichen, sondern auch optische. Durch die Realisierung von Fotodioden in den geneigten Flanken KOH-geätzter Kavitäten kann beispielsweise auch seitlich auf den Chip fallendes Licht erfasst werden. Solche Detektoren eignen sich beispielsweise für die Anbindung photonisch integrierte Schaltkreise (PIC). Der Vorteil: Beide Baugruppen können in derselben Ebene montiert und angeschlossen werden, was sowohl einfache Montagetechniken ermöglicht als auch flache und kompakte Bauformen erreicht. Gleichzeitig lassen sich die relativen Positionen mehrerer Kanäle durch eingestellte Ätztiefen hoch genau einstellen.

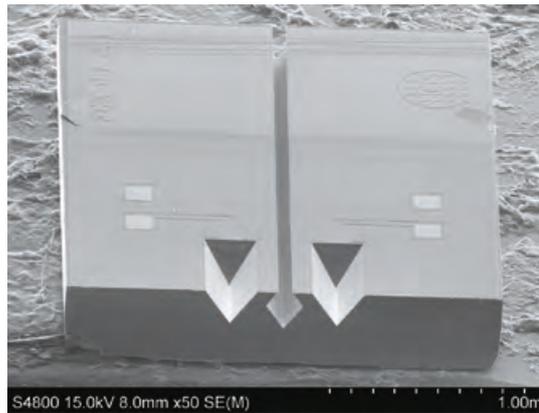
Bei dem in Abbildung 6 gezeigten Beispiel handelt es sich um einen ebensolchen Chip zur Lichteinspeisung und Detektion an einem PIC. In der Mitte der Baugruppe befindet sich eine eingelassene Kavität, die durch ein zweistufiges Ätzverfahren mit ICP und anschließend KOH-Ätzen erreicht wurde. Sie dient der Aufnahme einer optischen Faser, durch die das Anregungslicht in den optischen Schaltkreis eingekoppelt werden kann. Auf beiden Seiten davon befinden sich zudem Fotodioden, die auf den geneigten Seitenflächen einer KOH-geätzten Kavität erzeugt wurden. Diese erfassen das über die Chipkante eingestrahlte und von den optischen Ausgängen des PIC kommende Licht.

Ein anderes Anwendungsbeispiel dieser Technologie ist der in Abbildung 7 gezeigte Lichteinfallswinkelsensor. Bei den bisher verfügbaren Alternativen werden meist Gitter oder andere Schattenelemente über den Detektoren montiert, was Größe und Herstellungsaufwand erhöht. Hier befindet sich hingegen auf den vier Seitenwänden der Kavität jeweils eine großflächige Fotodiode, die dadurch mit sehr gut definierten Ausrichtungswinkeln das einfallende Licht erfasst. Je nach Einfallsrichtung ändert sich die projizierte Fläche der Fotodioden und somit die erfassten Fotostrome, sodass aus den Signalverhältnissen leicht auf den Lichteinfallswinkel geschlossen werden kann. Der gezeigte Sensor ist dabei in der Lage, den Lichteinfall in beiden Halbraumwinkeln mit einer Genauigkeit von unter 2° zu bestimmen. Derartige Sensoren werden derzeit in Fassaden- und Fensterelemente integriert und dienen der Regelung von Verschattungsanlagen moderner Gebäudekomplexe.

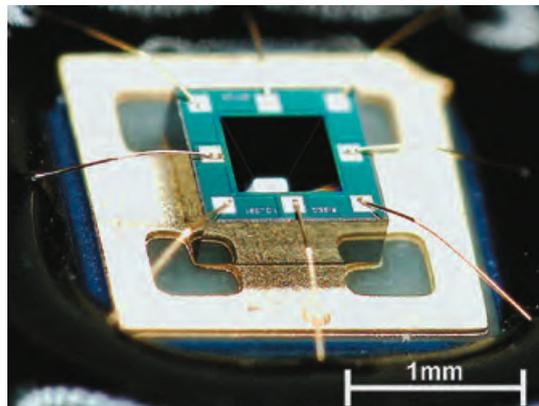
**Fazit und Ausblick**

Neue 3D-Technologien für Fotodioden und –arrays ermöglichen zusätzliche Funktionen des Silizium-Detektor-Chips. Zum einen können erweiterte mechanische und optische Funktionen erreicht werden, wie z.B. genau ausgerichtete Träger für Lichtleitfasern oder Reflektoren für hybrid integrierte Lichtquellen. Dabei können Positionstoleranzen unter 1 Mikrometer sowie minimale Abstände zu fotoaktiven Gebieten von unter 10 µm – ohne negative Auswirkungen auf deren elektrischen Eigenschaften – erreicht werden. Zum anderen können die Fotodiodensegmente auch selbst als geneigte Flächen gestaltet werden. Auf diesem Weg lassen sich äußerst kompakte Lichteinfallswinkelsensoren oder Detektoren für integrierte optische Schaltkreise realisieren.

Das Einsatzspektrum 3D-strukturierter Siliziumdetektoren ist sehr breit aufgestellt und erstreckt sich von kompakten Sensormodulen beispielsweise zur Gebäudeautomation und Prozessüberwachung bis hin zu hochwertigen Laborgeräten, z.B. für die streulichtbasierte Partikelmesstechnik. Das CiS Forschungsinstitut erweitert die technologischen Möglichkeiten zur 3D-Strukturierung von Silizium kontinuierlich und nutzt diese neben Fotodioden auch für andere Detektorkonzepte. So wird in anlaufenden Förderprojekten untersucht, wie Avalanche-Fotodioden und Fotomultiplier mit und in 3D-Strukturen kombiniert werden können, um neue hochintegrierte Detektoren für optische Quantentechnologien zu erreichen.



**Abb. 6:** Faser-Chip-Kopplung mit integrierten 2-Kanal Fotodetektoren.



**Abb. 7:** Lichteinfallswinkel-Sensor mit Fotodioden auf den geneigten Flanken einer nasschemisch erzeugten Kavität.

**Danksagung**

Teile der gezeigten Technologien und Lösungsbeispiele wurden im Rahmen verschiedener Förderprojekte und Verbundvorhaben des Bundesministeriums für Bildung und Forschung, sowie des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie erarbeitet. Unser Dank gilt den Fördergebern sowie unseren Projektpartnern. ■

The advertisement features a background image of a technician in a cleanroom environment working at a microscope. A computer monitor in the foreground displays the website [www.cismst.de](http://www.cismst.de) and a logo consisting of a grid of blue 'L' characters. The main text reads: 'Vom Prototyping bis zur Serienreife Anspruchsvolle & innovative Aufbau- und Verbindungstechnik für siliziumbasierte Sensorik'. The CiS logo and name are in the bottom left corner, and the slogan 'Zuverlässig. Langzeitstabil. Präzise.' is in the bottom right corner.

## EtherCAT-Klemme EL5072 zum direkten Anschluss induktiver Wegsensoren 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.

### KONTAKT

#### BECKHOFF AUTOMATION GMBH & CO. KG

Hülshorstweg 20  
33415 Verl  
Telefon: +49 5246 963-0  
E-Mail: info@beckhoff.com  
www.beckhoff.com

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 In-line-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. ■

# Einstieg in die Highend-Messtechnik: Präzise, schnell, robust

## Basic-Serie ELM3x0x

24 Bit  
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



Mit den EtherCAT-Messtechnik-Modulen der ELM-Basis- und Economy-Serie erweitert Beckhoff das Spektrum der systemintegrierten und hochskalierbaren Highend-Messtechnik. Die Economy-Serie ELM314x ergänzt dabei die Basisserie um die Sampleklasse 1 kSps bei niedrigen Kanalkosten.

### Basic-Serie

- Eingangsbeschaltungen: Spannung 20 mV ... 60 V, Strom 20 mA, IEPE, DMS, RTD/TC

### Economy-Serie

- Eingangsbeschaltungen: Spannung 1,25 ... 10 V, Strom 20 mA

Alle verfügen über:

- umfangreiche variable Filterfunktionen
- TrueRMS Berechnung und Differentiator/Integrator
- Standard EtherCAT Interface zum Betrieb an jedem EtherCAT Master



Scannen und alles  
über die Vorteile  
systemintegrierter  
Highend-Messtechnik  
erfahren

New Automation Technology

**BECKHOFF**

# KONTINUIERLICHE VOC-MESSUNG IN INNENRÄUMEN MIT LOW-COST MOS-SENSORIK

Johannes Amann, Andreas Schütze

Schon länger steigt das Interesse an hoher Innenraumluftqualität, wobei nicht nur gesunde Wohnräume mit niedriger Schadstoffbelastung eine Rolle spielen, sondern auch der Energieverbrauch für die Klimatisierung, der durch das Lüften vor allem bei niedrigen oder sehr hohen Außentemperaturen ansteigt. Da sich der Energieverbrauch leicht bestimmen lässt, werden Wohn- und Arbeitsräumen zunehmend besser isoliert und abgedichtet. Im Gegensatz dazu steht eine kontinuierliche Messung von Schadstoffen heute kaum zur Verfügung, bestenfalls wird CO<sub>2</sub> als Indikator für die Anwesenheit von Personen gemessen. Von hoher Relevanz sind vor allem flüchtige organische Verbindungen, die einerseits aus dem Stoffwechsel von Menschen (Atemluft, Schweiß, Flatus) resultieren, aber auch aus Baumaterialien und Möbeln stammen sowie beim Reinigen und Kochen entstehen. Diese VOCs (volatile organic compounds) können in Innenräumen durch neue kostengünstige, hochgradig miniaturisierte, digitale Halbleitersensoren mit optimierter Betriebsweise und Methoden des Maschinellen Lernens mit hoher Genauigkeit in Echtzeit erfasst werden. Damit wird die Basis für eine bedarfsgerechte Lüftung geschaffen, die einen optimalen Kompromiss zwischen Energieeffizienz und Gesundheit ermöglicht.

Laut WHO verbringen wir 90 % unseres Lebens in Innenräumen [1]. Dabei wird oft vernachlässigt, dass Innenraumluft häufig stärker belastet ist als die Außenluft [2]–[4]. Eine wichtige Frage ist nun, um welche Schadstoffe es sich dabei handelt, welche Auswirkungen diese auf die Behaglichkeit und Gesundheit haben und wie die Schadstoffe gemessen werden können.

Neben partikulären Schadstoffen richtet sich der Fokus in Innenräumen vor allem auf gasförmige Schadstoffe, welche wiederum in anorganische und organische Gase aufgeteilt werden können. Während anorganische Stoffe wie Stickoxide oder Kohlenmonoxid aus der Außenluft resultieren, sind flüchtige organische Verbindungen (engl.: volatile organic compounds, kurz: VOCs) vor allem in Innenräumen vorzufinden. Diese stammen aus dem menschlichen Stoffwechsel, aber auch aus einer Vielzahl anderer Quellen wie Baumaterialien, Möbeln, Kosmetika, Reinigungsmitteln sowie Einrichtungsgegenständen und Gebrauchsgegenständen [4]–[6]. Neben der Gesundheitsgefahr einzelner Stoffe wie Benzol oder Formaldehyd, welche krebserregend sind, resultieren auch aus der VOC-Gesamtbelastung Gesundheitsbeschwerden für den Menschen. In Innenräumen treten typisch über 300 verschiedene VOCs auf, deren Konzentration meist im niedrigen einstelligen ppb-Bereich (parts per billion) oder darunter liegen. In der Analytik werden VOCs auf Basis der erforderlichen Messmethode nach ihrem Siedepunkt in drei Gruppen eingeteilt [7]:

- VVOC (engl.: very volatile organic compounds; Siedebereich: <0 bis 50...100°C),
- VOC (engl.: volatile organic compounds; Siedebereich: 50...100 bis 240...260°C) und
- SVOC (engl.: semi volatile organic compounds; Siedebereich: 240...260 bis 380...400°C).

In der VOC-Sensorik werden demgegenüber meist die 12 verschiedenen Stoffgruppen betrachtet: Aldehyde, Alkane, Alkene, Alkohole, Aromaten, Ester, Glykole und Glykoether, HKW, Ketone, Organische Säuren, Siloxane und Terpene. In diesen Stoffgruppen gibt es neben vielen Vertretern in den angesprochenen niedrigen Konzentrationen bis zum einstelligen ppb-Bereich auch einige wenige Substanzen, die in höheren Konzentrationen auftreten und damit den größten Einfluss auf die Belastung im Innenraum haben.

Unter dem Begriff Sick-Building-Syndrom sind unspezifische Gesundheitsbeschwerden wie Kopfschmerzen, Müdigkeit oder Augenreizungen gesammelt, welche auf die Anwesenheit in einem

bestimmten Gebäude zurückzuführen sind, unter anderem verursacht durch VOCs [8]. Das Umweltbundesamt (UBA) hat Empfehlungen für bestimmte Schadstoffbelastungen im Raum ausgegeben, siehe **Tabelle 1**, welche auf analytischen Messungen von Innenräumen beruhen [9]. Aktueller Stand der Technik in diesem Bereich sind zum einen analytische Untersuchungen des Raumes nach DIN EN ISO 16000-6, welche allerdings lediglich das Grundlevel des Raumes betrachten und dafür stichprobenartige VOC-Messungen ohne Anwesenheit vom Menschen aufnehmen [10]. Zum anderen zielt die weit verbreitete CO<sub>2</sub>-Sensorik auf die Ermittlung der vom Menschen resultierenden VOC-Belastung im Innenraum ab. Da der Mensch neben VOCs auch CO<sub>2</sub> über die Atmung ausstößt, dient die CO<sub>2</sub>-Konzentration als Indikator für die Anwesenheit von Menschen und somit basierend auf den Untersuchungen von Max von Pettenkofer im 19. Jh. für die vom Menschen resultierende Schadstoffbelastung des Raumes. Die Kombination dieser beiden Ansätze – Messung der VOC-Grundbelastung einerseits und kontinuierliche Messung der von Menschen und anderen temporären Quellen emittierten VOC andererseits – wird durch neue digitale Halbleitersensoren (engl.: metal oxide semiconductor, kurz: MOS) ermöglicht. Generell werden von Sensoren bzw. Sensorsystemen die drei Eigenschaften Sensitivität, Selektivität und Stabilität gefordert. In Labormessungen konnte das Potential von MOS-Sensoren in Bezug auf die Sensitivität für die in Innenräumen auftretenden Konzentrationen bereits gezeigt werden [11]. Eine große Herausforderung besteht aber im Betrieb von MOS-Sensoren in realen Umgebungen, wo die Selektivität aufgrund der Vielzahl an vorhandenen Gasen, auf die MOS-Sensoren reagieren, sowie die häufig unzureichende Stabilität adressiert werden müssen. In einer aktuellen Studie konnten wir zeigen, dass MOS-Sensoren

Tab. 1: Hygienische Bewertung von TVOC-Werten durch das Umweltbundesamt UBA [9].

Stufe	Konzentrationsbereich	Bewertung
1	≤ 0,3 mg/m <sup>3</sup>	Hygienisch unbedenklich.
2	> 0,3-1 mg/m <sup>3</sup>	Hygienisch noch unbedenklich, soweit keine Richtwertüberschreitungen für Einzelstoffe bzw. Stoffgruppen vorliegen.
3	> 1-3 mg/m <sup>3</sup>	Hygienisch auffällig. Nutzung bei Räumen, die regelmäßig genutzt werden, nur befristet akzeptabel (< 12 Monate).
4	> 3-10 mg/m <sup>3</sup>	Hygienisch bedenklich. Nutzung bei Räumen, die regelmäßig genutzt werden, nur befristet akzeptabel (< 1 Monat).
5	> 10 mg/m <sup>3</sup>	Hygienisch inakzeptabel. Raumnutzung möglichst vermeiden. Ein Aufenthalt ist allenfalls pro Tag stundenweise/zeitlich befristet zulässig. Bei Werten oberhalb von 25 mg/m <sup>3</sup> ist eine Raumnutzung zu unterlassen.

auch außerhalb des Labors das Potential besitzen, kontinuierlich sensitive und selektive VOC-Messungen zur Erfassung der Innenraumluftqualität durchzuführen [12]. Dafür werden die Sensoren im temperaturzyklischen Betrieb genutzt, d.h. durch schnelle Temperaturwechsel als virtuelle Multisensoren, aus dem dynamische Informationen resultieren [11], [13], [14].

Da für die chemischen Reaktionen auf Gassensoren allgemein keine Modellbeschreibung existiert, müssen für eine Klassifizierung oder Quantifizierung der Rohmessdaten, d.h. der Widerstandswerte, statistische Modelle gebildet werden. Bei einem insgesamt 120 s langen Temperaturzyklus entstehen in Verbindung mit einer schnellen Abtastung viele hochkorrelierte Datenpunkte. Für eine sinnvolle Auswertung der Daten werden daher verschiedene Methoden des maschinellen Lernens genutzt. Im ersten Schritt werden über Mittelwertbildung und Steigungsberechnung über jeweils eine Sekunde weniger korrelierte Merkmale extrahiert, welche im zweiten Schritt über eine Merkmalsselektion zuerst nach ihrer Wichtigkeit sortiert und dann nach ihrer Relevanz für die Quantifizierung der Zielgröße ausgewählt werden. Im letzten Schritt erfolgt die Quantifizierung in Form einer PLSR (engl.: partial least squares regression). Nach diesem Schema können mit einem einzigen MOS-Sensor mehrere Modelle für die Quantifizie-

rung verschiedener Zielgrößen unter Auswahl verschiedener Merkmale und angepasster Regressionsmodelle gebildet werden [12].

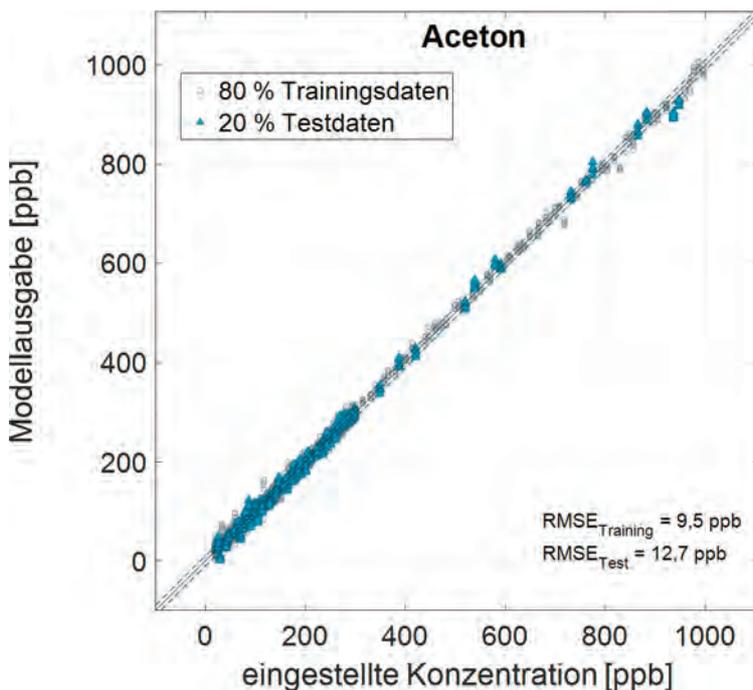
Da es aufgrund der komplexen Reaktionen auf MOS-Sensoren keine analytischen Modelle gibt, müssen die Sensoren kalibriert werden. Diese Kalibrierung wird im Labor in einer Gasmischanlage (kurz: GMA) durchgeführt, in welcher Zielgase aus Prüfgasflaschen bereitgestellt und dann über Massenflussregler in dem gewünschten Bereich verdünnt und gemischt werden [15], [16]. Üblicherweise werden hiermit sequentielle Kalibrierungen mit einzelnen Gasen oder simplen Gemischen durchgeführt. Für die Innenraumluft bietet sich aber eine Kalibrierung mit randomisierten Gasgemischen an [17], da die Sensoren in Innenräumen komplexen VOC-Gemischen ausgesetzt sind. Die Auswahl der verwendeten Zielgase hängt dabei von der verwendeten GMA und den zur Verfügung stehenden unabhängigen Linien ab. Im Rahmen dieser Studie wurde eine GMA mit sechs unabhängigen Linien sowie Luftfeuchte genutzt, für zukünftige Messungen befindet sich aktuell eine neue GMA mit bis zu 18 Gaslinien im Aufbau. Neben den Zielgrößen, verschiedenen VOCs, werden auch Störgrößen in die Kalibrierung mit aufgenommen, da diese ebenfalls im Innenraum vorzufinden sind und Variationen aufweisen. Somit wurden für die vorgestellte Studie die folgenden Ziel- und Störgrößen ausgewählt:

- VOCs: Aceton (Keton), Ethanol (Alkohol), Formaldehyd (Aldehyd), Toluol (Aromat);
- Störgrößen: Wasserstoff, Kohlenmonoxid und Feuchte.

Für die Kalibrierung wurden randomisierte Gemische dieser Gase genutzt, wobei die Konzentrationsbereiche der jeweiligen Gase typischen Innenraumkonzentrationen entsprechen [18], [19].

Mit der skizzierten Datenauswertung können anhand des Kalibrierdatensatzes unabhängige Modelle für jede Zielgröße gebildet werden. Zusätzlich wird ein weiteres Modell für die Zielgröße  $VOC_{sum}$ , d.h. die Gesamtkonzentration der vier VOCs, gebildet, als vereinfachte Vorhersage der Gesamt-VOC-Konzentration. Alle in diesem Beitrag präsentierten Ergebnisse beruhen auf einem einzigen digitalen Gassensor (Sensirion SGP30, ein Multisensor mit vier unterschiedlichen sensitiven Schichten) [20]. Ein typisches Regressionsmodell für Aceton ist in **Abbildung 1** dargestellt, wobei ein RMSE (root mean square error) von 12,7 ppb für den Testdatensatz erreicht wird.

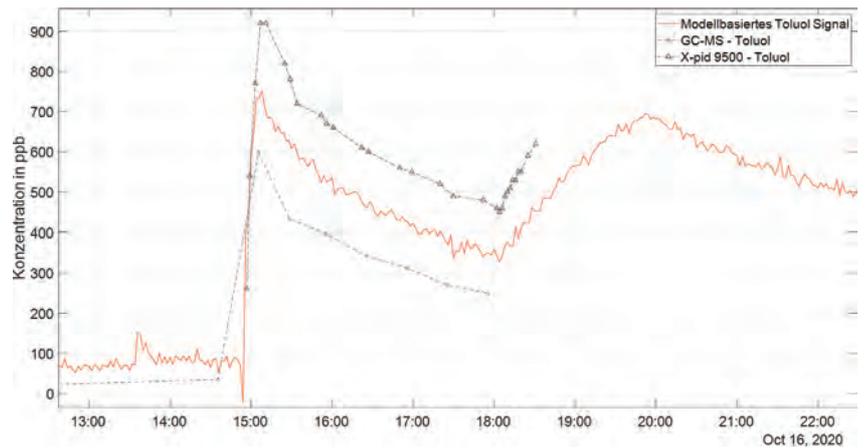
Abb. 1: PLSR-Modell für den SGP30 für die Quantifizierung von Aceton mit in der GMA eingestellter Konzentration auf der x-Achse und modellbasierter Ausgabe der Konzentration auf der y-Achse. In grauen Kreisen sind die Daten aus dem Training dargestellt, die blauen Dreiecke stellen die Testdaten dar.



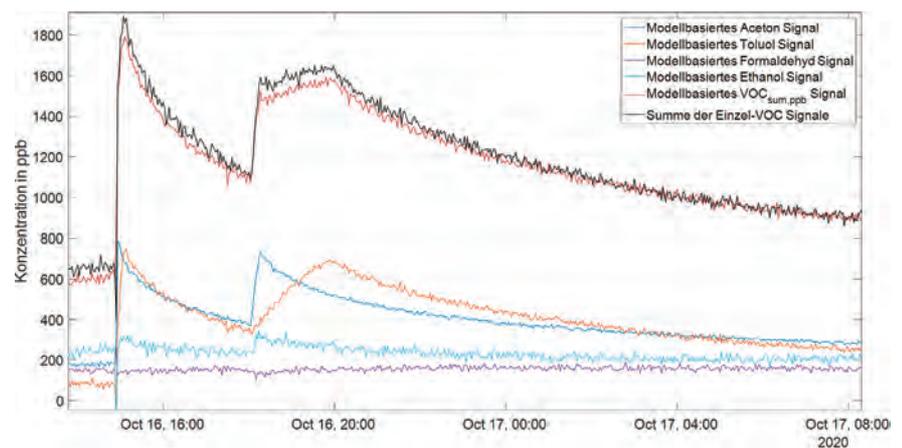
Die Aussagekraft solcher Modelle für eine Anwendung im Innenraum kann nicht mehr im Labor bewertet werden, sondern muss im realen Betrieb im Feld untersucht werden. Daher wurde der Sensor in einem typischen Büro am Lehrstuhl für Messtechnik betrieben. Um die vom Modell vorhergesagten Konzentrationen und dynamische Verläufe bewerten zu können, wurden Freisetzungstests durchgeführt und dabei so oft wie möglich Messungen mit analytischen Messsystemen zum Vergleich genutzt. Freisetzungen wurden durch einfaches Verdunsten von Flüssigkeiten so durchgeführt, dass im Raum ein Konzentrationsanstieg des freigesetzten VOCs von ca. 600 ppb resultiert, was ungefähr der Stufe 3 der vom UBA definierten Grenzwerte entspricht.

In **Abbildung 2** ist beispielhaft eine zweimal kurz nacheinander durchgeführte Freisetzung von Toluol dargestellt; die sensorbasierten Modellwerte wurden verglichen mit Ergebnissen analytischer Messsysteme (GC-MS bzw. X-pid 9500, Dräger Safety AG & Co KGaA, Lübeck, Deutschland). Der qualitative Verlauf ist für alle drei Systeme sehr ähnlich, die Ergebnisse unterscheiden sich nur in den Absolutwerten, wobei zu erwähnen ist, dass der Hersteller für das X-pid 9500 für die Quantifizierung (LoQ: limit of quantification) einen Grenzwert von 1000 ppb angibt. Das große Potential des MOS-Sensors zeigt sich insbesondere in der hohen zeitlichen Auflösung der Messwerte, die mit zwei Minuten deutlich höher ist als mit einem Gaschromatographen (GC), für dessen Probennahme ca. 30 Minuten erforderlich sind. Zudem können die Messwerte in Echtzeit aufgenommen und ausgewertet werden, während mit einem GC-MS nur eine zeitversetzte Auswertung möglich ist. Das X-pid erreicht eine ähnliche zeitliche Auflösung, ist aber wesentlich teurer und erfordert einen geschulten Benutzer. **Abbildung 3** zeigt zwei Freisetzungen, bei denen gleichzeitig Toluol und Aceton verdunstet wurden. Die Modelle für Formaldehyd und Ethanol reagieren nicht auf die Freisetzung der beiden Stoffe, während das VOC<sub>sum</sub>-Modell wie gewünscht die Summe der vier Einzel-VOC-Signale darstellt und somit ebenso in einem validen Modell resultiert. Auch der Hub des VOC<sub>sum</sub>-Signals entspricht mit knapp 1200 ppb der Summe der beiden freigesetzten Substanzen.

In weiteren Versuchen wurde untersucht, ob die Modelle jeweils ein Stoffgruppensignal darstellen, d.h. auch auf andere Verbindungen derselben Stoffgruppe reagieren. Die Idee resultiert aus der Annahme, dass die Reaktionen, welche auf der



**Abb. 2:** Darstellung der Konzentrationsverläufe der modellbasierten Signale des SGP30 im Vergleich zu analytischen Messungen (GC-MS, X-pid 9500) während zwei nacheinander durchgeführten Freisetzungen von Toluol. Der theoretische Konzentrationsanstieg beträgt bei gleichmäßiger Verteilung im Raum ca. 600 ppb.



**Abb. 3:** Darstellung der Konzentrationsverläufe der modellbasierten Signale des SGP30 während der zweifach nacheinander durchgeführten, gleichzeitigen Freisetzung von Toluol und Aceton. Der theoretische Konzentrationsanstieg pro Gas und Freisetzung beträgt bei gleichmäßiger Verteilung im Raum jeweils 600 ppb.

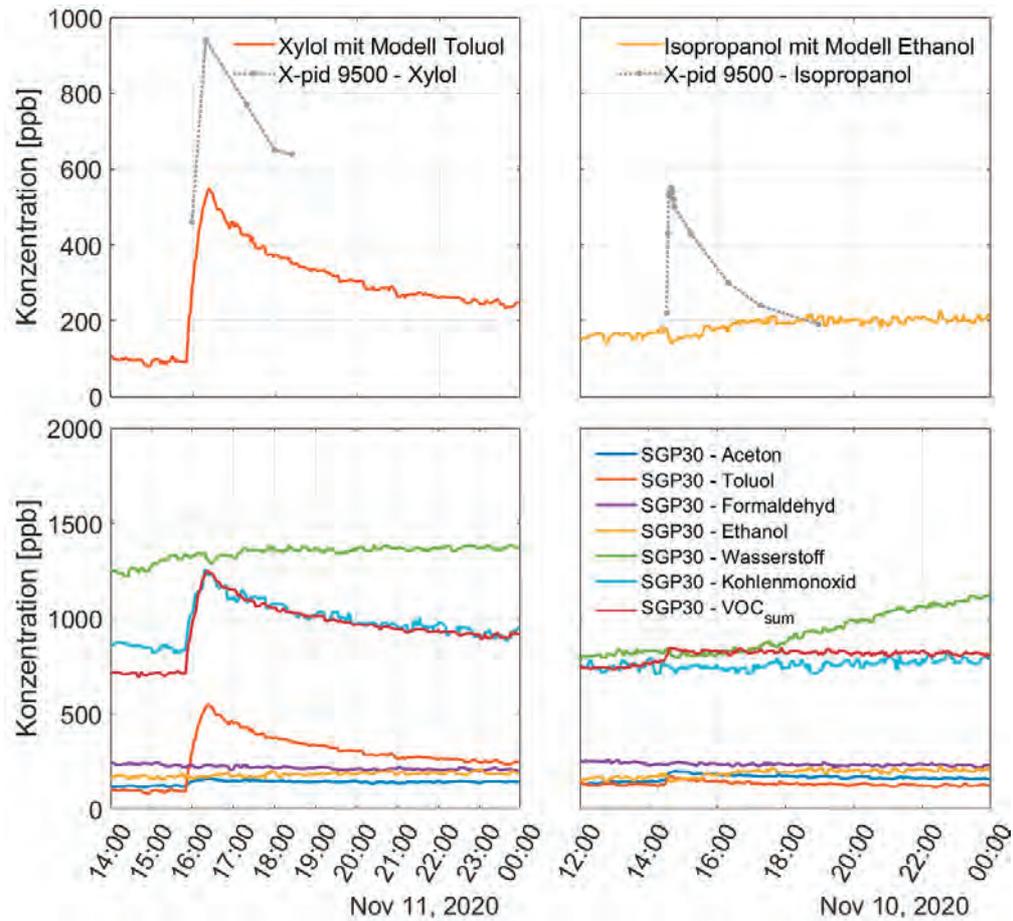


Abb. 4: Darstellung der Konzentrationsverläufe der modellbasierten Signale des SGP30 im Vergleich zum X-pid 9500 während der Freisetzung von Xylol (links) und Isopropanol (rechts). Unten sind jeweils die weiteren Modellausgaben des Sensorsystems gezeigt. Der Konzentrationsanstieg beträgt bei gleichmäßiger Verteilung im Raum jeweils 600 ppb.

Oberfläche der Sensoren stattfinden, maßgeblich auf den funktionellen Molekülstrukturen basieren und damit für verschiedene Vertreter einer Stoffgruppe ähnlich sind. **Abb. 4 links** zeigt am Beispiel einer Xylol-Freisetzung, dass das Toluol-Signal ansteigt, d.h. dieses Modell auf Aromate allgemein reagiert. Mit einem Hub von knapp über 400 ppb liegt der Konzentrationsanstieg unter dem theoretisch erwarteten Wert, was auf eine geringere Sensitivität gegenüber Xylol hindeutet. Die Freisetzung von Isopropanol, welche über das X-pid 9500 verifiziert wurde, bei der das Ethanol-Modell jedoch nicht reagiert, zeigt, dass nicht für alle Stoffgruppen, hier Alkohol, ein verallgemeinertes Modell resultiert, siehe **Abb. 4 rechts**. Im Rohsignal des Sensors ist die Freisetzung zu erkennen, allerdings unterscheiden sich die Signalmuster dabei deutlich von Ethanol, weswegen das Ethanol-Modell nicht auf die Isopropanol-Freisetzung reagiert.

Mit diesen Untersuchungen konnte zum einen gezeigt werden, dass mit MOS-Sensoren auch einzelne VOCs selektiv mit hoher Auflösung gemessen werden können, und zum anderen mit entsprechend aufwendiger Kalibrierung auch eine Erfassung der Gesamt-VOC-Belastung möglich ist. Daraus resultieren neue Einsatzmöglichkeiten im Innenraum, insbesondere kontinuierliche Echtzeitmessungen als Basis für eine bedarfsgerechte Lüftung, aber auch lokalisierte Emissionsmessungen mit mobilen Sensoren. ■

## QUELLEN

- [1] D. A. Sarigiannis, "Combined or multiple exposure to health stressors in indoor built environments," World Health Organization report for Europe, no. October, p. 82, 2013, [Online]. Available: [http://www.euro.who.int/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0020/248600/Combined-or-multiple-exposure-to-health-stressors-in-indoor-built-environments.pdf?ua=1](http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0020/248600/Combined-or-multiple-exposure-to-health-stressors-in-indoor-built-environments.pdf?ua=1)
- [2] C. Roda et al., "Assessment of indoor environment in Paris child day care centers," *Environmental Research*, vol. 111, no. 8, pp. 1010–1017, 2011, doi: 10.1016/j.envres.2011.06.009.
- [3] P. N. Pegas et al., "Indoor and outdoor characterisation of organic and inorganic compounds in city centre and suburban elementary schools of Aveiro, Portugal," *Atmospheric Environment*, vol. 55, pp. 80–89, 2012, doi: 10.1016/j.atmosenv.2012.03.059.
- [4] 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," *Journal of Toxicology and Environmental Health - Part B: Critical Reviews*, vol. 19, no. 2, pp. 47–64, 2016. doi: 10.1080/10937404.2015.1134371.
- [5] B. de Lacy Costello et al., "A review of the volatiles from the healthy human body," *Journal of Breath Research*. 2014. doi: 10.1088/1752-7155/8/1/014001.
- [6] R. Benedix, "Bauchemie, Einführung in die Chemie für Bauingenieure und Architekten: Chemie nichtmetallisch-anorganischer Baustoffe," in *Bauchemie*, 2015, pp. 533–540.
- [7] World Health Organization, "Indoor air quality: Organic pollutants. Report on a WHO meeting," Copenhagen, 1989.
- [8] P. S. Burge, "Sick building syndrome," *Occupational and Environmental Medicine*, vol. 61, no. 2, pp. 185–190, 2004, doi: 10.1136/oem.2003.008813.
- [9] UBA, "Beurteilung von Innenraumluftkontaminationen Mittels Referenz- und Richtwerten : Handreichung der Ad-hoc-Arbeitsgruppe der Innenraumluftthygiene- Kommission des Umweltbundesamtes und der Obersten Landesgesundheitsbehörden," *Bundesgesundheitsblatt - Gesundheitsforschung - Gesundheitsschutz*, vol. 50, no. 7, pp. 990–1005, 2007, doi: 10.1007/s00103-007-0290-y.
- [10] DIN, "DIN ISO 16000-6 Innenraumluftverunreinigungen - Teil 6: Bestimmung von VOC in der Innenraumluft und in Prüfkammern, Probenahme auf Tenax TA®, thermische Desorption und Gaschromatographie mit MS oder MS-FID (ISO 16000-6:2011)." 2011.
- [11] M. Leidinger, T. Sauerwald, W. Reimringer, G. Ventura, and A. Schütze, "Selective detection of hazardous VOCs for indoor air quality applications using a virtual gas sensor array," *Journal of Sensors and Sensor Systems*, vol. 3, no. 2, pp. 253–263, 2014, doi: 10.5194/jsss-3-253-2014.
- [12] 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*, vol. 12, no. 5, May 2021, doi: 10.3390/atmos12050647.
- [13] P. Reimann and A. Schütze, "Sensor Arrays, Virtual Multisensors, Data Fusion, and Gas Sensor Data Evaluation," in *Gas Sensing Fundamentals*, Springer, Berlin, Heidelberg, 2013, pp. 67–107. doi: 10.1007/5346\_2013\_52.
- [14] T. Baur, A. Schütze, and T. Sauerwald, "Optimierung des temperaturzyklischen Betriebs von Halbleitersensoren," *Technisches Messen*, vol. 82, no. 4, pp. 187–195, 2015, doi: 10.1515/teme-2014-0007.
- [15] N. Helwig, M. Schüler, C. Bur, A. Schütze, and T. Sauerwald, "Gas mixing apparatus for automated gas sensor characterization," *Measurement Science and Technology*, vol. 25, no. 5, 2014, doi: 10.1088/0957-0233/25/5/055903.
- [16] 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," *Measurement Science and Technology*, 2018, doi: 10.1088/1361-6501/aa91da.
- [17] 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, 2020, doi: 10.5194/jsss-9-411-2020.
- [18] H. Hofmann and P. Pliening, "Bereitstellung einer Datenbank zum Vorkommen von flüchtigen organischen Verbindungen in der Raumluft," 2008. [Online]. Available: <https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/3637.pdf>
- [19] H. Hofmann, G. Erdmann, and A. Müller, "Zielkonflikt energieeffiziente Bauweise und gute Raumluftqualität – Datenerhebung für flüchtige organische Verbindungen in der Innenraumluft von Wohn- und Bürogebäuden (Lösungswege)," 2014. [Online]. Available: [https://www.agoef.de/fileadmin/user\\_upload/dokumente/forschung/AGOEF-Abschlussbericht\\_VOC\\_DB\\_II-barrierefrei.pdf](https://www.agoef.de/fileadmin/user_upload/dokumente/forschung/AGOEF-Abschlussbericht_VOC_DB_II-barrierefrei.pdf)
- [20] D. Ruffer, F. Hoehne, J. Bühler, "New digital metal-oxide (MOx) sensor platform", *Sensors* 2018, 18, 1052, doi: 10.3390/s18041052.

## KONTAKT

**JOHANNES AMANN**  
**PROF. DR. RER. NAT. ANDREAS SCHÜTZE**

Lehrstuhl für Messtechnik  
 Universität des Saarlandes  
 Campus A5.1, 66123 Saarbrücken  
[j.amann@lmt.uni-saarland.de](mailto:j.amann@lmt.uni-saarland.de)  
[www.lmt.uni-saarland.de](http://www.lmt.uni-saarland.de)

# DER NEUE DRUCKSENSOR VON DRUCK – ADROIT6000

**DRUCK, ein Baker Hughes Unternehmen. Das in Großbritannien ansässige Unternehmen stellt seit seiner Gründung in 1972 Drucksensoren sowie Test- und Kalibriergeräte her. Der neueste Sensor im Portfolio des Unternehmens ist der ADROIT6000.**

Seit vielen Jahren arbeitet DRUCK mit Kunden aus den Bereichen Automotive, Luft- und Raumfahrt sowie Industrie zusammen, die im Rahmen ihrer Testprozesse eine Druckmessung benötigen. Für Kunden, die geringere Kosten und/oder Verbesserungen der Produktionseffizienz anstreben, sind hochwertige Prüfgeräte mit hochgenauen Mess- und Sensortechnologien erforderlich.

Die Testanforderungen werden immer strenger, da die Produktsicherheitsstandards verschärft werden und die Erwartungen der Endbenutzer an die Produktleistung steigen. Sensoren, die bei Tests verwendet werden, müssen mit diesen Herausforderungen Schritt halten. Dies bedeutet, dass Sensoren bei hohen Betriebstemperaturen effektiv arbeiten, in kleine Räume passen und eine verbesserte Genauigkeitsleistung aufweisen müssen. Genau das ist der ADROIT6000!

Bei der Entwicklung neuer Produkte legt DRUCK Merkmale fest, die für die Leistung des neuen Produkts entscheidend sind, um die Kundenanforderungen bei Verwendung in den vorgesehenen Anwendungen zu erfüllen. Aus umfangreichen Kundenfeedbacks wurden folgende Kriterien für den neuen Drucksensor festgelegt:

- Der Sensor sollte so klein wie möglich sein
- Der Sensor sollte bei Betriebstemperaturen von mindestens 125 ° C effektiv funktionieren
- Der Sensor sollte über den gesamten Temperaturbereich eine hohe Genauigkeit aufweisen

Insbesondere sollte die Leistung des Sensors folgenden Eigenschaften widerspiegeln:

- 0,1% FS Gesamtgenauigkeit zwischen -20 und 80 ° C Betriebstemperatur
- 1 ms Reaktionszeit

Die Leiterplattenlayouts, die Elektronik und die Metallarbeiten wurden vom Design Engineering-

Team mit innovativer Elektronik entworfen, um die Leistung des Drucksensors zu verbessern. Nach der Beschaffung wurden die Komponenten in das Fertigungssystem von DRUCK integriert und einer First-Pass-Qualität unterzogen.

Bei den ersten Sensoren, die in der DRUCK-Produktionslinie hergestellt wurden, wurde ein gründliches Testprogramm durchgeführt, um sicherzustellen, dass die Sensorleistung den Entwurfskriterien entspricht. Im Rahmen dieses anspruchsvollen Testprogramms werden Sensoren in einem Industrieofen mit voller Leistung gebacken sowie eingefroren, geschüttelt und fallen gelassen, mit Wasser besprüht, neben einem Sendemast betrieben und unter Druck gesetzt, bis sie zerbersten. Andere Sensoren aus derselben Charge werden ebenfalls Langzeitstabilitätstests unterzogen.

Die Vorbereitung der Produktionslinie war von Beginn an geplant, da bei der Herstellung des ADROIT6000-Drucksensors DRUCK in allen Phasen des Herstellungsprozesses zusätzliche Geräte konfigurieren muss. Die Vereinfachung des Sensorelements auf Siliziumbasis innerhalb des Drucksensors wird durch einen Wechsel von analoger zu digitaler Kompensation ermöglicht. In Kombination mit Druck- und Temperaturreglern sind maßgeschneiderte Kommunikationsboxen und spezielle Schnittstellen erforderlich, um Leistungsdaten zu erfassen und den ASIC zu programmieren. Sensorkomponenten müssen ebenfalls beschafft und Verträge abgeschlossen werden, um die Kontinuität einer qualitativ hochwertigen Versorgung zu gewährleisten.

Nachdem die messtechnischen und physikalischen Eigenschaften des nur 19mm Sensors gründlich getestet und die Produktionsbereitschaft bestätigt wurden, kann der ADROIT6000 an die Kunden von DRUCK angeboten werden. ■



## KONTAKT

### BAKER HUGHES DE

Jürgen Stumpf  
Darmstädter Landstraße 116  
60598 Frankfurt am Main  
Tel.: +49 (0) 173 3492853  
Juergen.Stumpf@  
bakerhughes.com  
www.druck.com

# Der Drucksensor der nächsten Generation

Der neue ADROIT6000 Drucksensor basiert auf 45 Jahren Erfahrung und liefert erstklassige Daten mit hoher Präzision in einem kleinen, robusten und anwenderfreundlichen Sensor.



-40 bis +125°C



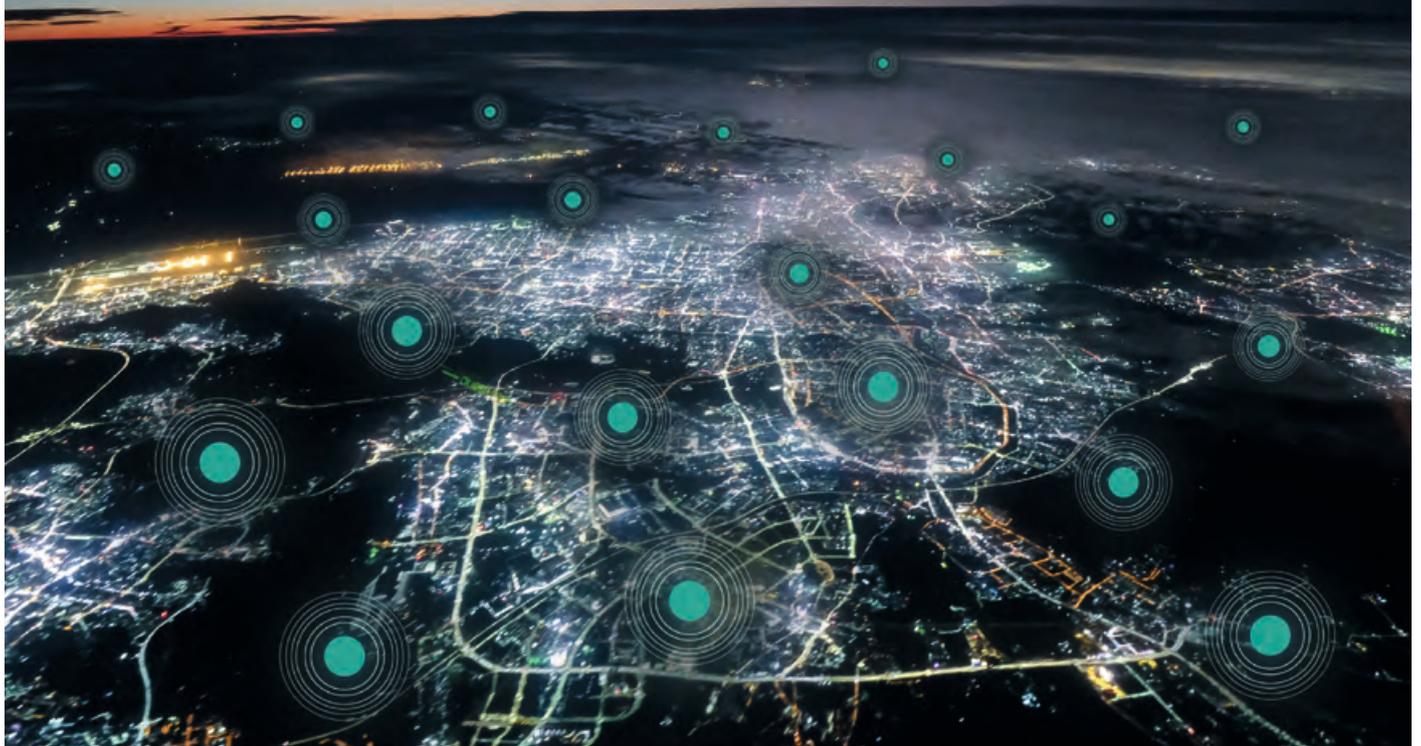
Anwenderfreundlich



Geringe Größe



Hohe Genauigkeit



Weitere Informationen finden Sie hier:  
<https://bit.ly/adroitpressuresensor>

[druck.com](https://druck.com)

# sps

smart production solutions

31. Internationale Fachmesse  
der industriellen Automation

Nürnberg, 23. – 25.11.2021  
sps-messe.de

Erweitertes  
Vortragsprogramm auf der  
digitalen Eventplattform  
**SPS on air**

## Bringing Automation to Life

### Praxisnah. Zukunftsweisend. Persönlich.

Finden Sie maßgeschneiderte Lösungen für Ihren spezifischen Anwendungsbereich und entdecken Sie die Innovationen von morgen. Unser umfassendes Hygienekonzept ermöglicht Ihnen einen persönlichen fachlichen Austausch sowie ein hautnahes Erleben der Produkte bei höchsten Sicherheitsstandards.

Registrieren Sie sich jetzt! [sps-messe.de/eintrittskarten](https://sps-messe.de/eintrittskarten)  
Nutzen Sie den Code **SPS21AZCH7** für 50 % Rabatt auf alle Ticketarten!

# UMSCHALTEN AUF QUALITÄT

1962 wurde das Unternehmen von Albert Steinmeier in Langenargen am Bodensee gegründet. Im Zuge der Umfirmierung zu bfz Steinmeier und dem Standortwechsel nach Wangen im Allgäu 1972 wurde die Grundlage für ein erfolgreiches Unternehmen im Bereich der Sensorik geschaffen. Von der Konstruktion bis zum fertigen Produkt alles aus einer Hand.

Neben einer überzeugenden Qualität steht die Kundenorientierung im Vordergrund.

Durch unseren hauseigenen Maschinenpark mit Spritzgussanlagen, sowie mechanische Bearbeitungsmaschinen ermöglichen wir Kundenwünsche und setzen diese effektiv um.

Somit können wir individuelle Produkte von der Idee bis zur Fertigstellung mit bfz Steinmeier rea-

lisieren, selbst Sonderlösungen für kleine Losgrößen.

Seit der Firmengründung legt bfz Steinmeier viel Wert auf Innovation und kreative Lösungsansätze in den Bereichen Sensorik und Magnetschalterbau. Dies spiegelt sich in einer Vielzahl an Produkten wider, die in zwischenzeitlich mehr als 59 Jahren erfolgreich entwickelt und umgesetzt wurden.

## KONTAKT

### A. STEINMEIER GMBH & CO. KG

Simoniusstraße 22  
88239 Wangen im Allgäu  
Tel.: +49 (0) 7522 6898  
info@bfz-steinmeier.de  
www.bfz-steinmeier.de

## Umschalten auf Qualität Magnetschalter & Sensorik



Kleinmagnetschalter  
Rohrmagnetschalter  
Schwimmerschalter  
Einbruchmelder  
Sicherheitsschalter  
Betätigungsmagnete  
Sonderlösungen

A. Steinmeier GmbH & Co. KG | Simoniusstrasse 22 | 88239 Wangen im Allgäu  
Tel.: +49 (0)7522 6898 | info@bfz-steinmeier.de | www.bfz-steinmeier.de

# DER NEXPEN – wenn Spassausbrüche vorprogrammiert sind

Jens Hansen, Elisha Benner



Abb. 1: Dreipunktgriff

**Genervte Eltern im Home-Office und Kinder die Wutausbrüche beim Lernen von Zuhause haben, sind ein prägendes Bild für viele Familie in dem letzten Jahr.**

**Laut dem Institut für Schreibmotorik haben 51 Prozent der Jungen und 31 Prozent der Mädchen Probleme beim Erlernen von Schreiben. Insbesondere im letzten Jahr wurde die Situation durch geschlossene Kitas und Schulen noch größer. Schon die richtige Stifthaltung, der sogenannte Dreipunktgriff, fällt vielen Kindern schwer. Auch die Schreibrichtung ist nicht immer einfach zu Erlernen. So wird aus einem P schnell einmal ein °|.**

Der neXpen basiert auf einer innovativen Technik, durch welche das Erlernen der Schrift erheblich erleichtert wird. Dies gilt nicht nur im Bildungsbereich für Kinder, sondern auch im Medizinbereich für Erwachsene Schreibanfänger, z. B. nach einem Schlaganfall.

Die Form des Pens passt sich perfekt der Hand an. Sie zeichnet sich dadurch aus, dass im Griffbereich und im seitlichen und hinteren Bereich der Schreibhand angepasste Auflageflächen und Ausweitungen vorgesehen sind. Der Pen wird hierdurch der Grundstellung der Hand derart angepasst, dass sich die Schreibkraft über den gesamten Pen verteilt, und dadurch ein sehr komfortables Schreiben ermöglicht. Der neXpen wird einfach gern in die Hand genommen, auch wenn mit ihm gar nicht geschrieben wird. Die Brücke zum Digitalen wird über eine integrierte Elektronik erreicht, welche sämtliche mit der Schreibtätigkeit in Verbindung stehende Größen erfasst. Diese Erkennung ist neu. Kennzeichnendes Merkmal dieser Technik ist, dass die Gösse über die Quellbewegung, welche sich im Kontaktprofil zwischen Hand und Pen widerspiegelt, erkannt werden. Über ein im Pen erzeugtes, auf die Hand übertragenes und an zahlreichen Stellen von der Hand in den Pen rückübertragenes Hochfrequenzsignal werden selbst minimale Änderungen des Kontaktes Pen/Hand erkannt. Hierdurch lassen sich die Bewegungsmuster der Buchstaben erkennen, sowie sämtliche eine Schreibtätigkeit kennzeichnende Merkmale. Etwa wie der Pen gehalten wird, mit welcher Kraft und welchen charakteristischen Merkmalen er geführt wird.

Aus diesen Größen ergeben sich interessante Aussagen über die Schreibperson z. B. hinsichtlich dessen Schreibgeübtheit, dessen Schreibmängel und Schreibfortschritte, dessen personenspezifische Schreibmerkmale bis zu dessen Verfälschung während der Schreibtätigkeit. Die Erfassung und Bewertung dieser Quellgrößen sind Voraussetzung für eine sachgerechte Beibringen der Schreibmotorik.

Eine Bewertung nur anhand des Schriftbildes gibt keinerlei Aufschluss über das, was relevant ist. Nämlich die Art und Weise, wie geschrieben wird. Doch selbst die Erfassung des Schriftbildes ist mit konventionellen Sensoren nicht möglich, da diese nur indirekt mit der Schrift in Verbindung stehende Größen erkennen können und zudem stark von anderen Einflussgrößen abhängig sind. So kann über Beschleunigungssensoren lediglich die zweite Ableitung der Bewegung erfasst werden und auch



Lagesensoren, Kraft – oder Drehratensensoren sind nicht in der Lage äußere Einflüsse von schriftbildrelevanten Größen zu trennen.

Geradezu spannend wird für Kinder – auch bereits im Vorschulalter – der Umgang mit dem Pen durch die Darstellung des Kontaktprofils über eine entsprechende App auf dem Handy. Sie können die Wirkung von Druck – Positionen – und Bewegungen erkennen und gleichsam spielerisch ausprobieren, welchen Einfluss sie auf diese Größen haben.

Auf diese Weise kann das Kind allmählich – über eine entsprechende App – mit der Schreibmotorik vertraut gemacht werden, indem ihm die Bewegungsmuster der Buchstaben vorgegeben werden, und deren Ausführung dann in kindgerechter Art bewertet wird. Jedes Kind hätte Spaß an diesem Spiel und es würde nicht aufhören, bevor es entsprechende Teilziele und schließlich das vollständige Alphabet erlernt hat, und seine Leistung beklatscht wird.

Einmal über den neXpen das Schreiben erlernt, würde das Kind auch später nicht auf ihn verzichten wollen, die Features sind einfach zu bedeutend. So ist über die Quelltechnologie erstmals eine Schrifterkennung über den singulären Pen möglich; es bedarf also keiner zusätzlichen Komponente wie einer gerasterten Schreibunterlage oder einer Reflexionsvorrichtung. Zudem kann aufgrund der hohen Auflösung über die Quelltechnologie auch unleserlich auf beliebige Unterlagen spontan geschriebene Schrift erkannt werden, wodurch z.B. die Mobilität bei SmartDevices erhöht wird. Auch ist die Erfassung schreibcharakteristischer Merkmale nur über die Quelltechnologie möglich.

Bei neXpen sind Spaßausbrüche, im wahrsten Sinne des Wortes, vorprogrammiert.

Verfasst und entwickelt von Jens Hansen (technische Erfindung) und Elisha Benner (Bildungskonzept) Mehr Informationen unter: **nexpen.de** ■

## KONTAKT

---

### JENS HANSEN

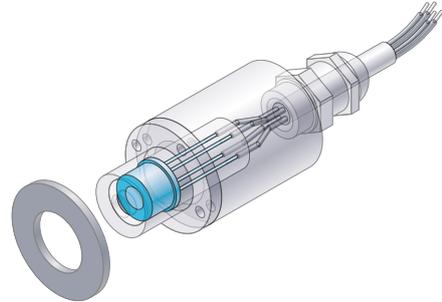
jens.hansen.item@gmail.com

Tel.: 0176 72234513

**www.nexpen.de**

# DEW POINT MONITORING FOR SAFER OPERATION OF CAPITAL EQUIPMENT

Low humidity and dew point measurements in monitoring- and maintenance applications can help prevent damage or corrosion on the respective system caused by water and a variety of gaseous products.



Low humidity measurement is often applied to avoid electrochemical corrosion from water condensation and to decrease the risk of biological contamination, or for keeping hygiene in food processing. From compressed air in industrial dryers, over dental drills to pneumatic tools or brake systems in trains to probes for electronic component testing, many industries need to monitor their humidity levels to safeguard their production process or products. In power transmission, gas-insulated transformers have the switchgear space filled with either fluorinated gases or with dry synthetic air (N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> mixtures) to eliminate fire hazards. Low water content in insulation gas is crucial for preventing corrosion damage from chemical by-products. Technical gases for lasers, additive manufacturing with plastic and metals, as well as insulation gases run the risk of accumulating too much water and thereby hold the risk of causing damage to the system.

**Innovative Sensor Technology IST AG's** K5 sensor for dew point and low humidity measuring was designed for outstanding accuracy under low humidity conditions. It is highly linear in a 0-30% RH range and offers long term stability, enabling high accuracy humidity measurements. The uniquely modular design allows for customization of the sensor element, the module type or the probe it is assembled into. The element is also available as part of precisely calibrated humidity modules with open layout or in a TO39 housing, with glass-sealed wires, temperature-compensated I2C output signal or an optional stainless steel mesh filter. Humidity/dew point measurement can be complemented with additional sensors to form a multifunctional monitoring system, e.g. a calorimetric flow sensor for mass flow measurement or leakage detection, or a density sensor for monitoring gas mixtures. We are open to discuss custom modules to fit your specific requirements! ■

## KONTAKT

### INNOVATIVE SENSOR TECHNOLOGY IST AG

Steggrütistrasse 14  
CH-9642 Ebnat-Kappel  
Tel.: +41 (0) 71 992 0100  
info@ist-ag.com  
www.ist-ag.com

**IST** Innovative  
Sensor Technology  
physical. chemical. biological.

## SENSING WHAT MATTERS

Ask us about our individually calibrated humidity sensors and modules for dew point and low humidity measuring. Your development partner and manufacturer of humidity sensors and modules. [www.ist-ag.com](http://www.ist-ag.com)





**SENSOR+TEST 2022**  
DIE MESSTECHNIK-MESSE  
The Measurement Fair

Die Messtechnik-Messe – The Measurement Fair

# SENSOR+TEST 2022

Nachdem die SENSOR+TEST in den Jahren 2020 und 2021 nur digital stattfinden konnte, heißt es im Jahr 2022 wieder: Willkommen zum Innovationsdialog! Die international führende Fachmesse für Sensorik, Mess- und Prüftechnik öffnet vom 10.-12. 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.

Systemen und Lösungen für Aufgaben in der Industrie und in zahlreichen Branchen:

- Sensorelemente, Sensoren, Sensorsysteme und sensorische Messgeräte, Dienstleistungen, Forschung und Entwicklung für Sensortechnologien
- Messtechnische Systeme, Geräte, Komponenten und Software
- Mess- und Prüftechnik für Fahr-/Flugzeugtechnik, Material- und Qualitätsprüfung, kundenspezifische Mess- und Prüfsysteme
- Labormesstechnik, Kalibrier-, Analyse- und Prüfgeräte
- Kalibriersysteme und -dienstleistungen für die Mess- und Prüftechnik

### Besucherstruktur

Internationale Experten, Entwickler und Entscheider aus allen Branchen, 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.

### Sonderthema „Sensorik und Messtechnik für die digitale Welt“

Die digitale Welt gibt uns vielfältige Möglichkeiten, die Vorgänge der realen Welt besser analysieren und verstehen zu können. Damit die digitalen Systeme jedoch präzise Ergebnisse hervorbringen können, benötigen sie möglichst umfassende und exakte Informationen über die realen Bedingungen. Sensoren und Messsysteme stellen diese Verbindung zwischen der digitalen und der realen, analogen Welt sicher und sind damit die Schlüsseltechnologien für das Funktionieren digitaler Prozesse jeder Art.

Von menschlichen Vitaldaten über Messgrößen unserer Umwelt bis hin zu der immensen Vielfalt an Daten aus industriellen und technischen Prozessen: Das Sonderthema der SENSOR+TEST 2022 bietet Anbietern und Anwendern die optimale Plattform zum Innovationsdialog über neue Lösungen und Konzepte der Sensorik und Messtechnik für die digitale Welt.

### Themenstand Sensoren und Systeme für die Bildverarbeitung“

Die Bildverarbeitung benötigt Sensoren und Systeme, die auf der SENSOR+TEST präsentiert werden. Um ihre Bedeutung hervorzuheben, wird es auch auf der SENSOR+TEST 2022 wieder einen Themenstand „Sensoren und Systeme für die Bildverarbeitung“ geben, auf dem Unternehmen und Institute sich mit interessanten Produkten und Lösungen präsentieren.

### Fachforum

Auf dem traditionellen Forum in der Messehalle präsentieren die Aussteller der SENSOR+TEST 2022 an allen drei Veranstaltungstagen neue Entwicklungen, Produkte und Anwendungsmöglichkeiten. Auch im Fachforum werden sich zahlreiche Vorträge mit dem Thema „Sensorik und Messtechnik für die digitale Welt“ befassen.

### Paralleler Kongress

Die Erfolgsgeschichte der wissenschaftlichen Konferenzen zur SENSOR+TEST geht weiter: Am 10. und 11. Mai 2022 findet parallel zur Messe die bereits 21. ITG/GMA-Fachtagung Sensoren und Messsysteme statt. Besondere Schwerpunkte der Tagung im Jahr 2022 sollen Sensoren und Sensorsysteme für den industriellen Einsatz sein, die in der jüngsten Zeit spezielle Aufmerksamkeit erfahren haben, z. B. Sensoren für das „Internet der Dinge“, Sensorarrays, Sensoren für die Medizin und Biotechnologie, spektroskopische und energieautarke Sensoren, aber auch Nanosensoren oder Sensoren auf der Basis neuer Materialien. Gleichmaßen soll die Tagung auch über neue Entwicklungen auf dem Gebiet der Messsysteme, deren Analyse und Beschreibung sowie der systembezogenen (Multi-) Sensorik berichten, so dass ein ausgewogener Einblick in die aktuelle Entwicklung des Fachgebietes präsentiert wird.

### AMA Innovationspreis

Anlässlich der SENSOR+TEST 2022 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 zwei 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.

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

[www.sensor-test.de](http://www.sensor-test.de)

### Daten und Fakten:

**Datum:**  
10. – 12. Mai 2022

**Ort:**  
Messegelände

**Stadt:**  
Nürnberg

**Veranstalter:**  
AMA Service GmbH  
31515 Wunstorf  
+49 5033 9639-0  
[www.sensor-test.de](http://www.sensor-test.de)

# LEISTUNGSSTARKE 3D-SENSORGENERATION ZUR INLINE-INSPEKTION

Mit den Sensorsystemen surfaceCONTROL, reflectCONTROL und scanCONTROL präsentiert Micro-Epsilon eine neue Generation an 3D-Sensoren, die auf einer gemeinsamen Softwareplattform basieren. Die 3D-Sensoren werden zur hochauflösenden Geometrie- und Oberflächenvermessung eingesetzt und erfassen das Messobjekt per Scan oder per Single-Snapshot. Dies erlaubt eine schnelle Prüfung. Entgegen herkömmlicher 3D-Systeme mit 2.5D-Auswertung, ermöglicht die Valid3D-Technologie von Micro-Epsilon eine vollständige Darstellung und präzise Auswertung der 3D-Punktwolke.

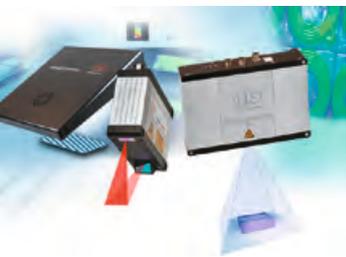


Abb. 1: Die 3D-Sensoren sind zur Inline-Prüfung in Produktionslinien konzipiert.

Einen Meilenstein in der 3D-Messtechnik setzt Micro-Epsilon mit dem surfaceCONTROL 3D 3500. Der 3D-Snapshot-Sensor ist für die Inline-Prüfung von Geometrie, Form und Oberfläche in der Produktionslinie konzipiert. Mit einer z-Wiederholpräzision von bis zu 0,4 µm setzt der Sensor neue Maßstäbe in der hochgenauen 3D-Messtechnik. Damit werden kleinste Ebenheitsabweichungen und Höhenunterschiede zuverlässig erkannt. Die Messung kann auf diffus reflektierenden Oberflächen wie Metall, Kunststoff oder Keramik mit höchster Präzision und gleichzeitig hoher Geschwindigkeit in der Datenverarbeitung durchgeführt werden. Neben der schnellen Datenausgabe über Gigabit-Ethernet bietet der Sensor eine zusätzliche digitale I/O-Schnittstelle. Durch die Nutzung des 2D/3D-Gateway II stehen Ethernet/IP, PROFINET sowie EtherCAT zur Verfügung. Über die leistungsstarken Softwaretools können eine präzise 3D-Messung sowie eine Oberflächeninspektion durchgeführt werden. Die GigE Vision Kompatibilität erlaubt zudem die problemlose Einbindung in Bildverarbeitungssoftware von Drittanbietern. Ein umfangreiches SDK zur kundenseitigen Softwareintegration rundet das Softwarepaket ab.

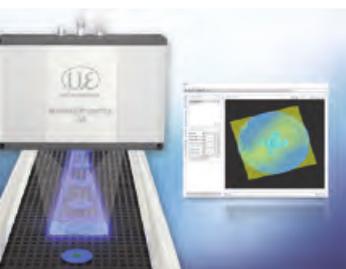


Abb. 2: surfaceCONTROL 3D: Mikrometeregenaue Prüfung der Ausrichtung von Bauteilen auf Leiterplatten

## KONTAKT

### MICRO-EPSILON MESSTECHNIK GMBH & CO. KG

Königbacher Str. 15  
94496 Ortenburg  
Tel.: 08542 168-0  
Fax: 08542 168-90  
www.micro-epsilon.de

Für 3D-Messungen auf spiegelnden und glänzenden Oberflächen wurde der reflectCONTROL Sensor konzipiert. Das System erfüllt höchste Qualitätsansprüche und erfasst Ebenheitsabweichungen im Bereich weniger Mikrometer. Der Sensor kann stationär zur Überwachung der Fertigungslinie oder für die Inline-Inspektion am Roboter eingesetzt werden. Der kompakte Sensor generiert ein Streifenmuster auf seinem Display, 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, werden die Scanner über das Messobjekt bewegt oder umgekehrt. Die Laserscanner von Micro-Epsilon zeichnen sich durch hohe Dynamik, Präzision und ihre kompakte Baugröße aus. Aufgrund des geringen Sensorgewichtes eignen sie sich auch für den Robotereinsatz.

Mit der neuen scanCONTROL 3000 Serie bietet Micro-Epsilon ein umfassendes Portfolio mit zahlreichen Messbereichen, Red- und Blue-Lasertechnologien und umfangreichem Zubehör. Die Scanner überzeugen gleichermaßen bei Integratoren und Serieneinsatz in der Fertigungslinie. Über die Ethernet-/GigE-Vision-Schnittstelle können die scanCONTROL Scanner optimal in Bildverarbeitungs-Softwarepakete eingebunden werden.

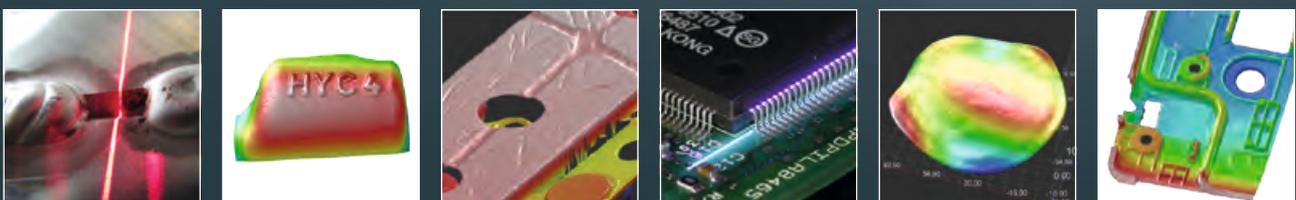
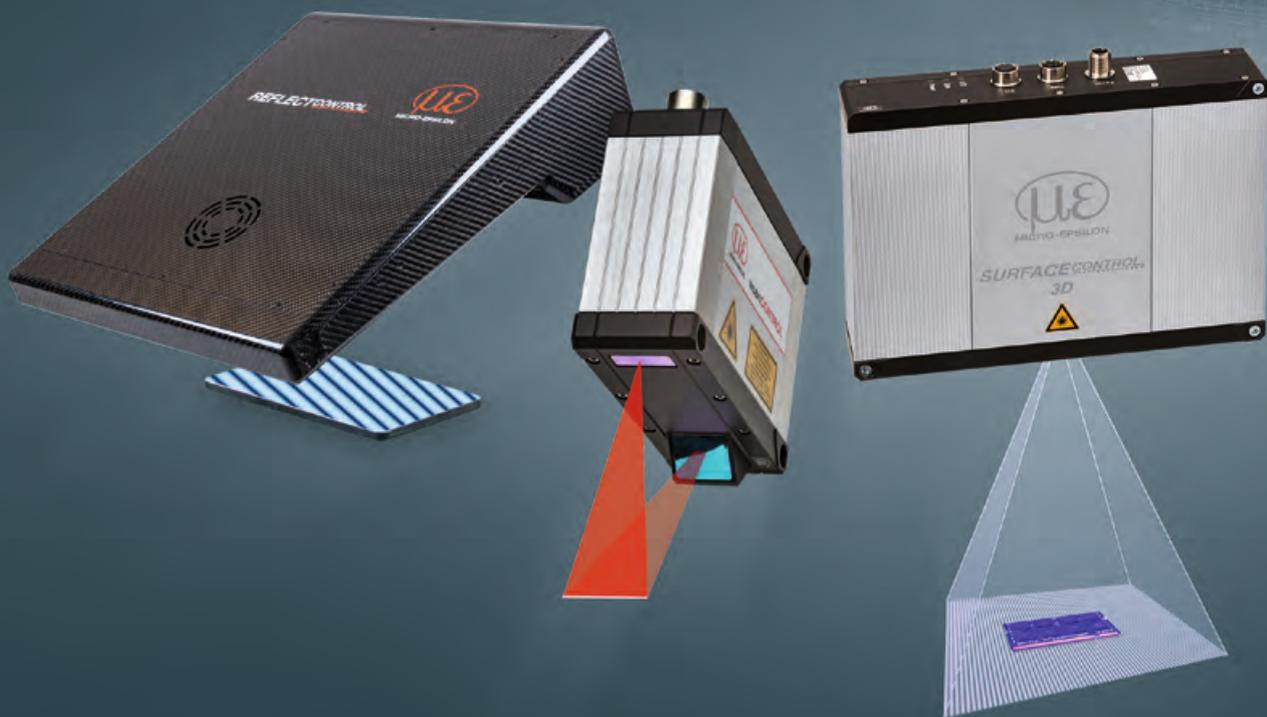
Mit dem bedienerfreundlichen Softwaretool 3D-Inspect hat Micro-Epsilon eine einheitliche Lösung zur 3D-Messung entwickelt. Kompatibel sind die Micro-Epsilon 3D-Sensoren surfaceCONTROL, reflectCONTROL und scanCONTROL, unabhängig vom verwendeten Messprinzip. Für Integratoren ist dieses 3D-Paket ebenfalls äußerst attraktiv, da über den GenICam-Standard eine hohe Kompatibilität ermöglicht wird. Die Parametrierung der Sensoren und die Aufnahme der Messdaten erfolgt direkt aus dem 3D-Inspect-Softwaretool heraus. Die so generierte 3D-Punktwolke kann anschließend beliebig weiterverarbeitet werden. Der Datenexport im ASCII- und STL- bzw. PLY-Format ist möglich. Die neue Valid3D-Technologie sorgt für eine verlustfreie Darstellung und Bearbeitung der Punktwolken. So können gescannte 3D-Objekte beliebig im Koordinatensystem bewegt werden. ■

# Mehr Präzision.



## Präzise 3D-Sensoren für Geometrie & Oberflächeninspektion

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



# MIT KOGNITIVER SENSORIK IOT-PROZESSE UND MESSSYSTEME VERBESSERN



**Abb. 1:** Die intelligente Schraubverbindung vereint Kognitive Sensorik mit Funkkommunikation, Datensicherheit und autarker Energieversorgung. Sie misst und überträgt selbständig die Vorspannkraft und kann für Condition Monitoring und Structural Health eingesetzt werden.  
Foto: Fraunhofer IIS

Das Internet der Dinge, kurz IoT, bestimmt in der digitalen Transformation zahlreiche Prozesse. Die An- und Einbindung vieler Anwendungen in IoT-basierte Abläufe funktioniert mit dem Einsatz von Sensoren und Sensornetzen, die ihre Daten an eine Analyseeinheit, Leitzentrale oder über cloud-basierte Dienste senden und verarbeiten lassen. Unter dem Leitthema kognitive Sensorik bündelt das Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen IIS Kompetenzen, Technologien und Know-how, um aus der klassischen ›intelligenten‹ Signalverarbeitung direkt Erkenntnisse abzuleiten.

Kognitive Sensorik macht Adaptierbarkeit im IoT deutlich effizienter, weil hier lernende Verfahren so nah wie möglich an den Sensor bzw. in die Sensorkommunikation eingebracht werden – dies bedeutet kürzere Reaktionszeiten, verbesserte Genauigkeit der Information und somit optimierte und ressourceneffiziente Anwendungen und Prozesse.

Damit dies funktionieren kann, sind intelligente Sensortechnologien gefragt, die beispielsweise Prozesse in der Industrie wie Condition oder Structural Health Monitoring verbessern, automatisierte bzw. Mensch-Maschine-Interaktion im Industriebereich regeln und steuern oder in Smart City- und Mobilitätslösungen maßgebend sind.

Grundprinzip für die Anwendung von kognitiver Sensorik und sensornaher IoT-Technologien ist die Ressourceneffizienz. Um dieses Ziel zu erreichen, werden Lokalisierungs- und Vernetzungstechnologien eingesetzt, die durch Unterstützung von Machine Learning und KI-Methodik agieren und dies möglichst nicht nur über eine Cloudanbindung, sondern genau dort, wo die jeweilige Anpassungsentscheidung in Echtzeit notwendig wird – an der so genannten Edge der Anwendung bzw. auf oder in der Nähe des Sensors.

### **Prozess- und Produktüberwachung mit smarter Sensorik**

Die Optimierung von Produktionsprozessen und Betriebsabläufen der Industrie 4.0 erfordert kostengünstige Elektroniksysteme zur Datenerfassung und Signalverarbeitung. Insbesondere die Anbindung von Sensoren mit hohen Datenraten für die Zustandsüberwachung mit KI-Algorithmen galt bislang als kostspielig und zudem sehr platz- und energieintensiv. Im Rahmen des Projekts »KI-Predict« wird ein ganzheitlicher Ansatz entwickelt, der durch die Kombination neuer KI-Methoden mit dazu optimierter, integrierter Hardware eine intelligente Prozessüberwachung mit direkter Signalverarbeitung und Feature-Extraktion ermöglicht.

Das Fraunhofer IIS entwickelt in diesem Zusammenhang ein energiesparsames Sensorinterface als anwendungsspezifische integrierte Schaltung (engl. ASIC) mit integriertem Mikrokontroller (engl. MCU) und KI-Recheneinheiten. Hierbei werden die Sensoren, für welche das intelligente Sensorinterface entwickelt wird, in enger Abstimmung mit Anwendungspartnern, IC-Entwicklern des Fraunhofer IIS und KI-Experten aus Forschung und Industrie ausgewählt. Schon durch die Realisation

des Sensorinterfaces als ASIC können einige kundenspezifische Vorteile erreicht werden. Dazu zählen geringe Stückkosten in der Serienproduktion, sowie kompakte, platzsparende Aufbauten/ Sensormodule mit sehr geringer Leistungsaufnahme. Zudem gelingt durch die Umsetzung als ASIC die optimale Anpassung der Elektronik an den Sensor für eine nutzerspezifische maximale Performance.

Die Erweiterung des Sensor-ASICs mit einem MCU und weiteren Recheneinheiten bietet darüber hinaus die Möglichkeit, nicht nur die Datenerfassung, sondern auch die Merkmalsextraktion direkt vor Ort durchzuführen. Durch diesen Ansatz werden nur Merkmale und weitere Nutzinformationen vom Sensor auf die Steuerungsebene übertragen, wodurch die notwendige Datenrate und damit verbundene Infrastrukturkosten deutlich reduziert werden. Zusätzlich erlaubt dieser Ansatz eine schnelle Auswertung und Reaktion am Ort des Geschehens und bietet eine hohe Datensicherheit, insbesondere von sensiblen Prozessdaten, da keine Rohdaten in die weiterführenden Systeme übertragen werden müssen. Entsprechend den Anforderungen der Anwendung kann die finale Modellberechnung entweder auf dem ASIC oder auf der Steuerungsebene erfolgen.

Im Rahmen der Entwicklung der zweiten ASIC-Generation soll der Fokus auf der Integration von verschiedenen KI-Recheneinheiten liegen, welche speziell für die Merkmalsextraktion und statistische Machine-Learning Modelle geeignet sind. Durch die Kombination der angepassten Recheneinheiten mit einem MCU kann eine hohe Energieeffizienz mit der Flexibilität von programmierbaren Systemen kombiniert werden. Auf diese Weise wird die Energieaufnahme des Sensorinterfaces erheblich reduziert, wodurch auch drahtlose Sensorsysteme und Sensorknoten für always-on Betrieb realisiert werden können. Diese Systeme erlauben eine deutliche Reduktion der Wartungskosten durch längere Betriebszeiten.

Zusammengefasst kann durch den oben beschriebenen Entwicklungsansatz des Sensor-ASICs mit integriertem MCU und KI-Recheneinheiten die zu übertragende Datenmenge stark reduziert und die Effizienz der Merkmalsextraktion deutlich gesteigert werden. Damit können extrem energiesparende Sensorlösungen umgesetzt werden und Unternehmen ihre etablierte Anlageninfrastruktur weiterhin nutzen. Darüber hinaus bietet sich den Unternehmen die Möglichkeit bereits eingesetzte Standardsensoren durch Sensoren mit integrierter

KI zu ersetzen, wodurch eine höhere Effizienz in der Datenverarbeitungskette sowie eine Kosteneinsparung erzielt wird.

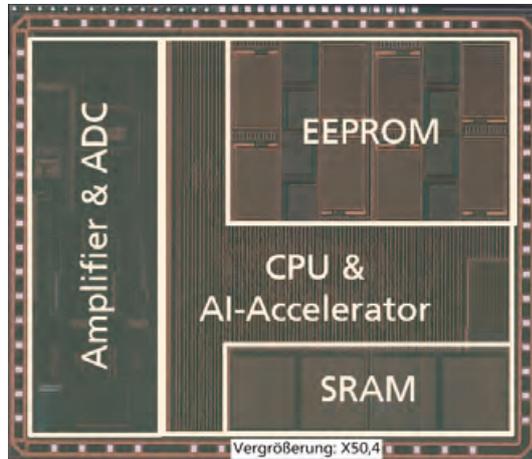


Abb. 2: Chiplayout der ersten Generation  
Foto:  
Fraunhofer IIS/ Matthias Völker

### Realtests unter Industriebedingungen

Trotz der erschwerten Bedingungen aufgrund der weltweiten Covid-19 Pandemie gelang es dem Fraunhofer IIS die Entwicklung der ersten Generation des ASICs mit integriertem MCU auf RISC-V Basis mit Floating-Point-Unit (FPU) innerhalb des geplanten Zeitraums durchzuführen.

Nach erfolgreicher Inbetriebnahme des Chips und der Durchführung von Labortests sind aktuell Realtests unter Industriebedingungen geplant. Diese werden mit verschiedenen Sensorelementen und auf Maschinen-Anlagen der Projektpartner durchgeführt um weitere Referenzdaten für das maschinelle Lernen zu gewinnen. Basierend auf den Erkenntnissen der Tests unter Industriebedingungen wird die Entwicklung der zweiten ASIC-Generation vorangetrieben. Parallel zur Hardware wird darüber hinaus ein Software-Development-Kit entwickelt, welches die Programmierung und Inbetriebnahme mit komfortablen Softwaretools erlaubt.

Zusätzlich zu den eben genannten Aktivitäten werden in einem weiteren Projekt neben der Merkmalsextraktion auch die Integration von Deep-Neural-Network (DNN)-Beschleunigern in Sensor-ASICs untersucht. Ergänzt werden diese Hardwareentwicklungen durch weitere Forschungsschwerpunkte des Fraunhofer IIS zum Thema Ultra-Low-Power Embedded Machine-Learning sowie zu hierarchischen Modellen.

### Kognitive Technologien im Einsatz testen

Im Fraunhofer IIS in Nürnberg wird im L.I.N.K. Test- und Anwendungszentrum und im 5G Bavaria Testzentrum und Testbed Industrie 4.0 ein ideales Umfeld für Unternehmen betrieben, um IoT-Technologien in Realsituationen zu erproben und mit einem Team aus erfahrenen Experten neue Anwendungen zu entwickeln, zu evaluieren und zu testen.

### Intelligente sensornahe IoT-Technologien

Mit verschiedenen Lokalisierungstechnologien von satellitengestützter Ortung über UWB (Ultrawideband) bis hin zu 5G ist eine entscheidende Sensorinformation – d.h. die präzise Positionserkennung und -bestimmung für viele Anwendungen in der Industrie wie Lieferkettenverfolgung oder Unversehrtheit von zu transportierenden Spezialgütern möglich. Dies ist auch wichtig in der Mensch-Maschine-Interaktion einer Industriehalle, wo sich fahrerlose Transportsysteme FTS und Fertigungsmitarbeitende einen Bereich oder ein Werksgelände teilen – und hier gilt je präziser die Ortsinformation, umso besser.

Zweiter wichtiger Faktor ist die geringe Verzögerungszeit oder die Echtzeitfähigkeit der Datenübermittlung. Hierzu gibt es verschiedene Technologien, die die jeweiligen Sensoren miteinander vernetzen. Ein am Fraunhofer IIS entwickeltes Kommunikations-/Vernetzungsverfahren ist die mioty®-Technologie, bei der mehrere hunderttausend Sensoren z. B. für Condition Monitoring-Aufgaben miteinander vernetzt werden. Im Vergleich zu weiteren Technologien, zeichnet sich mioty® aufgrund eines speziellen Telegram-Splitting-Verfahrens durch hohe Robustheit bei der Übertragung der Sensordaten über mehrere Kilometer hinweg aus. Das Telegram Splitting verpackt die Sensorinformation in kleine Datenpakete, die zeitlich getrennt voneinander auf verschiedenen Frequenzen gesendet werden. Der intelligente Algorithmus sorgt dafür, dass selbst bei Verlust einzelner Teilpakete, die Gesamtinformation korrekt übermittelt wird. Damit kann verhindert werden, dass Sensoren permanent abgefragt werden müssen, sollte die Übertragung unterbrochen werden. Weiterer Vorteil: die mioty®-Vernetzungstechnologie funktioniert auch in Gebieten ohne Mobilfunkabdeckung und sie arbeitet auch störungsresistent zu weiteren Funkprotollen.

## Lernende Verfahren machen den Sensor kognitiv

Lernende Verfahren verbessern zudem die Adaptierbarkeit und Effizienz. Auch hier wird durch Edge Analytics versucht dies möglichst nah an den Sensor zu bringen. Über ein Sensormodul werden z.B. verschiedenste Parameter eines Arbeitsprozesses gemessen und erfasst. Das Modul sammelt und überträgt die Daten über WLAN oder Bluetooth drahtlos und kontinuierlich. Diese Daten bilden dann die Grundlage für verschiedene hintereinandergeschaltete Lernverfahren in einer KI (Künstliche Intelligenz)-Pipeline, welche sämtliche Arbeitsschritte detektiert, identifiziert und über mehrere Klassifikationsschritte analysiert. So können beispielsweise handgetragene Werkzeuge, die Fertigungsmitarbeitende unterstützt und die Qualitätssicherung des Produktes sowie die Sicherheit der Monteure erhöht werden. Dies soll in Zukunft auch einfach per Knopfdruck über eine App, mit semi-automatisch annotierten Messdaten, möglich sein. Damit können die eingesetzten KI-Modelle kontinuierlich noch robuster und performanter werden: Eine echte Win-Win-Situation für alle im Fertigungsprozess.

## Pluspunkt Nachrüstbarkeit

Wichtiger Faktor dieser sensornahen IoT-Technologien und der kognitiven Sensorik ist auch der angesprochene Retrofit-Gedanke. Kognitive Sensorik für Sensormesssysteme lässt sich so auch in bestehende Infrastrukturen und bestehende Anlagen einbinden und drahtlos anbinden. So arbeiten derzeit Fraunhofer-Forscher im Cluster für Cognitive Systems an der „Neuerfindung“ der Schraube für große Infrastrukturen, wie beispielsweise Windenergieanlagen oder Brücken. Hier kann die Schraube über eine besondere sensitive Schicht die Vorspannkraft erkennen – lässt diese nach, meldet die intelligente Schraubverbindung über die integrierte mioty-Technologie sofort den Fehler an die Leitstelle und macht so eine nötige Wartung zeitnah und effizient ausführbar.

## Energieeffizienz mitdenken

Dritter wichtiger Faktor – Energieeffizienz. Viele der Sensoren sind entweder direkt an das Stromnetz angeschlossen oder werden über Batterien versorgt. Dies ist aufwändig und teuer und führt zu einer geringen Lebensdauer der Sensoren. Auch hier gibt es neue Energy Harvesting-Lösungen, die Energie aus der Umwelt nutzen. So können z.B. Sensoren für die Zustandsüberwachung, die beispielsweise nur kleine Datenmengen ein- bis zweimal pro Tag oder ereignisorientiert übertragen müssen, dank neuer Energy-Harvesting-Technologien über minimale Temperaturunterschiede oder über kinetische Energie gespeist werden. Dies macht sie unabhängig von jeder Stromversorgung und bietet nicht nur eine kosten- sondern auch ressourceneffiziente Lösung. ■

## KONTAKT

---

### FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR INTEGRIERTE SCHALTUNGEN IIS

Am Wolfsmantel 33  
91058 Erlangen  
Tel.: +49 (0) 9131 776-1630  
[www.iis.fraunhofer.de](http://www.iis.fraunhofer.de)

# SMART UND ROBUST FÜR MOBILE ARBEITSMASCHINEN

Sensoren sind inzwischen weit mehr als reine „Messstationen“. Smarte Komponenten lassen sich individuell konfigurieren, erfassen unterschiedliche Dimensionen und fusionieren diese Werte. Für mobile Arbeitsmaschinen hat STW eine Neigungssensorfamilie entwickelt, die diese Intelligenz mit hoher Robustheit und Nutzerfreundlichkeit kombiniert.

## Über STW

Als international tätiges Unternehmen mit Headquarter in Kaufbeuren stehen wir seit 35 Jahren für die Digitalisierung, Automatisierung und Elektrifizierung mobiler Maschinen. Mit generischen oder kundenspezifischen Produkten, Systemen und Lösungen, die in unserer Zentrale in Deutschland entwickelt und gefertigt werden, unterstützen wir unsere Kunden auf ihrem Weg, mit innovativer Technik ihre Maschinen zu den besten der Welt zu machen.

Ergänzt durch Partnerprodukte und begleitet durch unsere Schulungs-, Support- und Systemteams helfen wir mittelständischen Unternehmen und großen OEMs, die Leistung und Effizienz ihrer Maschinen zu steigern und die Sicherheit zu erhöhen. Durch die Kommunikation zwischen den Maschinen und die Vernetzung mit Cloud-Plattformen und Diensten von Partnern ermöglichen wir die Integration der mobilen Maschine in Geschäftsprozesse.

Die Nachfrage nach innovativen Sensorik-Lösungen steigt, insbesondere auch bei Herstellern mobiler Arbeitsmaschinen. Die Prozesse in Land-, Bau-, Forst- oder Kommunalmaschinen laufen hochautomatisiert, teils sogar autonom ab, dem Fahrer stehen eine Vielzahl an Assistenzsystemen zur Verfügung. Um dieser Komplexität und den Ansprüchen der Maschinenkonstrukteure gerecht zu werden, braucht es innovative Sensoren, die weit mehr als lediglich die Messung einer Dimension leisten.

STW aus Kaufbeuren trägt diesem Trend Rechnung, und bietet Herstellern mobiler Arbeitsmaschinen mit der Neigungs- und Gyrosensorfamilie SMX.igs die Möglichkeit, den Neigungswinkel eines Objekts in Bezug auf das Schwerfeld der Erde zu messen. Die mehrachsigen Sensoren ergänzen den umfassenden STW-Sensorik-Baukasten für die Mobilhydraulik und ermöglichen ein- bzw. zweidimensionale Neigungserfassung im Bereich 360° oder +/- 90°.

Wichtigstes Merkmal der Sensoren ist der Einsatz von intelligenten Filtern, um den bei Anwendungen in vielen mobilen Maschinen auftretenden dynamischen Einflüsse durch parasitäre Beschleunigungen, wie zum Beispiel Stöße und Vibrationen, entgegenzuwirken. Der Nutzer kann aus verschiedenen Filterarten die für die jeweilige Anwendung optimale Charakteristik auswählen. Neben den

klassischen Filtern, wie Butterworth und „kritisch gedämpft“, kann für dynamische Anforderungen auch ein Kalman-Filter ausgewählt werden. Dieser führt die Daten der Beschleunigungen und Drehraten zusammen. Auf Basis dieser Informationen werden die Messwerte berechnet, deren weiterer Verlauf abgeschätzt und korrigiert. Der verwendete Kalman-Filter zeichnet sich durch seine hohe Dynamik und sehr gute Dämpfung der parasitären Beschleunigungen aus. Die Daten werden über eine CAN-Schnittstelle mit Protokollen wie SAE J1939 und CANopen ausgegeben.

Typische Anwendungsfälle der SMX.igs-Serie sind etwa die Positionsbestimmung eines Baggerlöffels oder die Nivellierung von Arbeitsmaschinen und Anbaugeräten. Die SMX.igs-Sensoren haben eine ECE-Typgenehmigung zur Straßenzulassung. Mit Schutzarten bis IPX9K und möglichen Betriebstemperaturen von -40 °C bis +85 °C sind sie für harscheste Umweltbedingungen gerüstet. Die robusten und kompakten Sensoren im Aluminiumgehäuse sind lediglich 85 mm lang, 45 mm breit und 19 mm hoch.

Die Neigungssensoren sind zudem in die Lifecycle Toolchain openSYDE von STW integriert. Vorkonfigurierte Dashboards ermöglichen es, die Sensoren mit Hilfe der Software besonders nutzerfreundlich in Betrieb zu nehmen. ■

## KONTAKT

### SENSOR-TECHNIK WIEDEMANN GMBH

Am Bärenwald 6  
87600 Kaufbeuren  
Tel.: 08341 9505-6540  
www.stw-mm.com



# 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 Produktes. Hier sind 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 (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 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 -strukturi-

rieren (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 Forschungseinrichtungen stets up to date.

Seit über 25 Jahren vertrauen Kunden auf unsere Kompetenz. 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@lcpghmbh.de  
www.lcpghmbh.de



Jetzt schon vormerken!  
[www.sensor-test.com](http://www.sensor-test.com)



Willkommen zum

# Innovationsdialog!



## SENSOR+TEST DIE MESSTECHNIK - MESSE

Nürnberg

10. - 12. Mai 2022

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](mailto:info@sensor-test.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



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

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



„Intelligent Sensor Systems made in Bavaria“ – das ist das gemeinsame Ziel der rund 90 Mitglieder des bayerischen Sensorik-Netzwerks, darunter international führende, hoch innovative Unternehmen und Institutionen. Die Strategische Partnerschaft Sensorik e.V. (SPS) gibt unter dieser Leitstrategie der weitreichenden bayerischen Sensorik-Kompetenz ein Dach und Gesicht nach außen: Seit über 15 Jahren bündelt das regionale Netzwerk Unternehmen, Hochschulen und Forschungseinrichtungen der Branche im Auftrag des Freistaats Bayern als Cluster Sensorik. Zahlreiche Partner aus Wirtschaft, Wissenschaft und Politik ergänzen das Netzwerk und sind wichtige Schnittstellen hin zu anderen Technologien, Branchen und Sektoren. Vorangetrieben werden interdisziplinäre und crosssektorale Ansätze, die helfen, technologiebasierte Lösungen für Herausforderungen mit gesamtgesellschaftlicher Relevanz zu bewältigen – vom ressourceneffizienten Industrial IoT (IIoT), Big Data, Blockchain bis hin zur Bionik.

Ein erfahrenes, interdisziplinäres Netzwerk-Team sitzt in Regensburg Tür an Tür mit Technologie-Experten der 100%igen Tochter Sensorik-Bayern GmbH: Technisches Fachwissen trifft auf Netzwerk-Know-how in der Geschäftsstelle des bayerischen Clusters Sensorik. Dieses Kompetenzportfolio erlaubt es, als „One-Stop-Shop“, als Kümmerer für alle Lebenslagen eines Unternehmens zu agieren. Statt singulärer, trendgetriebener Einzelangebote bietet das Netzwerkmanagement seinen Mitgliedern ein Gesamtpaket an Angeboten, gegliedert in die Bereiche Netzwerken, Marketing, Technologieentwicklung sowie Organisations- und Personalentwicklung.



#### NETZWERKEN

- Wir verkürzen Ihren Weg zu Experten
- Austausch von Wirtschaft, Wissenschaft und Politik
- Foren, Praxis-Treffs und Fachkreise



#### TECHNOLOGIEENTWICKLUNG

- Wir initiieren Kooperationen
- Beratung und Vernetzung für Förderprojekte
- Gemeinsame Entwicklung von Sensorsystemen



#### MARKETING

- Wir erhöhen Ihre Sichtbarkeit
- Nachhaltige Presse- und Öffentlichkeitsarbeit
- Gemeinsame Messeauftritte, Veranstaltungen und Aktivitäten



#### ORGANISATIONS- UND PERSONALENTWICKLUNG

- Wir identifizieren Trends und entwickeln Strategien mit Ihnen
- Praxisnahe Qualifizierung, Trainings, Seminarreihen und berufsbegleitende Lehrgänge
- Personalmarketing

Im Fokus der Zusammenarbeit steht unter der Leitstrategie „Intelligent Sensor Systems made in Bavaria“ die gemeinsame Entwicklung neuer Lösungsansätze in Zukunftstechnologien. Das Netzwerkmanagement begleitet Mitglieder bei der Entwicklung innovativer, international wettbewerbsfähiger Geschäftsmodelle, Produkte und Services. Für die Realisierung neuer Ideen unterstützt es bei der Akquise geeigneter Fördermittel. Leitlinien für ein technologisches Roadmapping liefern u.a. breit angelegte wissenschaftlich fundierte Studien im Netzwerk, die politischen Akteuren auch Handlungsempfehlungen für die Technologieförderung geben.

Insbesondere in seinen Cross-Cluster-Kollaborationen forciert das Sensorik-Netzwerk den branchenübergreifenden Wissensaustausch. Es erschließt proaktiv Lern-, Entwicklungs- und Synergiepotenziale und fördert die Technologieoffenheit der Akteure. Lösungsanbieter, Technologiespezialisten und Anwender treffen unter dem Dach des Clusters aufeinander und helfen, Wertschöpfungsketten zu reflektieren sowie gemeinsam neu und transparent zu gestalten – ein Beitrag, lokale



Wertschöpfung am Wirtschaftsstandort Bayern sowie die Zukunftsfähigkeit der Organisationen zu steigern bzw. resilienter zu machen.

Seine Aktivitäten finanziert das Sensorik-Netzwerk durch Fördermittel der Cluster-Offensive Bayern des Bayerischen Wirtschaftsministeriums, Vereinsbeiträge der Netzwerk-Mitglieder und weiteren Fördergeldern aus Projekten auf Landes-, Bundes- und EU-Ebene.

### Netzwerken – Plattform für Wirtschaft, Wissenschaft und Politik

Mit rund 200 Veranstaltungen pro Jahr hat sich das Sensorik-Netzwerk als lebendige Plattform für den Austausch von Wirtschaft, Wissenschaft und Politik etabliert. Branchenspezifische Insights tauschen die Sensorik-Experten u.a. in den Technologieforen oder Praxisvorträgen aus. Eine thematische Vertiefung erfolgt in Arbeitskreisen. Neben analogen sowie digitalen Seminar- und Workshopeinheiten zur Vermittlung technologie-spezifischen und fachübergreifenden Wissens ergänzen je nach Bedarf Expertenforen, Praxis-treffs, teilnahmeoffene Sprechstunden und eine virtuelle Lernplattform diese Angebote. Besonderes Gewicht wird auf den Austausch von „Praktiker zu Praktiker“ gelegt. Das Clustermanagement motiviert Unternehmen zum aktiven Engagement in einer Learning Community im Netzwerk. Was die Sensorik leisten kann und welche Beschäftigungsmöglichkeiten sie bietet, vermittelt die jährliche Sensorik Summer School. Unternehmen aus dem Netzwerk können sich in diesem Rahmen dem Fachkräftenachwuchs oder auch interessierten Quereinsteigern mit Unternehmensführungen präsentieren und für „ihre Technologie“ in Hand-on-Einheiten begeistern.

Als Sprachrohr der Branche betreibt das Netzwerkmanagement nachhaltige Öffentlichkeitsarbeit für die bayerischen Sensorik-Akteure und stärkt deren Außenwahrnehmung auf Landes-, Bundes und internationaler Ebene. Das Sensorik-Netzwerk vertritt die Interessen der Mitglieder und Partner regional und überregional, u.a. bei Kongressen, Messen oder Delegationsreisen. Mit einem großen Gemeinschaftsstand zeigt sich das Netzwerk regelmäßig auch geschlossen auf der



Messe SENSOR+TEST der internationalen Sensorik-Fachwelt. Virtuelle Angebote ergänzen die Präsenzmessen. 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 Partnerschaft und Impulsgeber sind seit jeher ein strategischer Lösungsansatz, die strukturelle Lern- und Innovationsfähigkeit von KMU zu fördern. Die bewährten Strukturen im Cluster Sensorik um Servicestellen für spezifische Themen, wie die „Demografieberatung“, das „digitale Lernen“ und künftig auch „Data-driven Business“ zu erweitern, hat sich bewährt und wurde auf Bundesebene u.a. mit dem deutschen Personalwirtschaftspreis honoriert. Getreu dem Motto „Hilfe zur Selbsthilfe“ berät und begleitet das Cluster Sensorik mit diesem neuen Service seine Mitglieder bei der nachhaltigen Entwicklung seiner Organisation, u.a. mit

einem umfangreichen Portfolio an Trainings und Seminaren. Der Sensorik-Fachkräftepool bietet ergänzend hierzu Unternehmen die Möglichkeit, sich als attraktiver Arbeitgeber zu präsentieren. 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.

**Technologieentwicklung: Innovationsmanagement, Kooperationsprojekte, Entwicklung Sensoren und Sensorsysteme**

Mit Unterstützung durch das Netzwerkmanagement wurden mittlerweile fast 200 Innovationsprojekte im Bereich Sensorik zwischen den Netzwerk-Akteuren initiiert und Projektvolumina von über 50 Millionen Euro generiert, gut die Hälfte davon wurden als staatliche Fördergelder akquiriert. Hightech-Innovationen entstehen auch in der engen Zusammenarbeit der Netzwerkmitglieder mit der Sensorik-Bayern GmbH, die als Forschungspartner und Entwicklungsdienstleister u.a. ein hoch performantes IIoT-Messsystem für die intelligente Zustandsüberwachung von Anlagen und Maschinen, Sensorsysteme für den medizintechnischen Bereich oder für den Bereich der Robotik realisiert hat.

Zunehmend hat der Aspekt „Nachhaltigkeit“ auch auf der Roadmap des Netzwerks an Bedeutung gewonnen. Um ressourcenschonendes und -effizientes Wirtschaften verstärkt auf die Agenda der Mitgliedsunternehmen zu setzen sowie Unternehmenskultur, Produktionsprozesse und Produkte nachhaltiger zu gestalten, hat das Sensorik-Netzwerk mit Workshops und Impulsvorträgen als neue Angebote bereits reagiert. Die Awareness für die Notwendigkeit eines bewussten Wirtschaft-



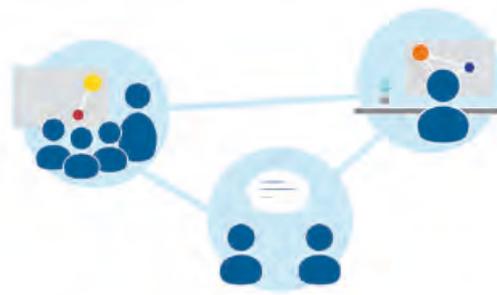
tens förderte insbesondere die Teilnahme an der Initiative **„Towards Green Transition“** der European Cluster Collaboration Platform (ECCP). Eine Auswahl von 25 europäischen Clustern konnte in einem gut fünfmonatigen Prozess – unterstützt von europäischen Experten – „ihre“ Sustainability-Roadmap entwickeln. Vier Intensiv-Workshops mit einer repräsentativen Mitgliederauswahl bieten 2022 die Basis für ein neues Kompetenzentwicklungsangebot sowie die Themensetzung im neuen Sustainability Circle. Ferner werden technologische Leuchtturmprojekte entstehen.

### **Eine neue Generation Leiterplatte: biobasiert, biologisch abbaubar, individuell anpassbar**

Die Notwendigkeit für einen bewussten Umgang mit Ressourcen zeigen nicht nur aktuelle globale Entwicklungen, sondern auch die Ergebnisse der breit angelegten Trendstudie **„DiviSs – Digitalisierung via intelligenter Sensorensysteme“** (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 **Next-GenPCB** bündeln die beiden bayerischen Cluster Sensorik und Neue Werkstoffe Kompetenzen, um bioökonomische Gesichtspunkte in den Fokus zu rücken. Das bayerische Cross-Cluster-Projekt setzt die Gedanken der bayerischen Bioökonomiestrategie operativ um. Ziel ist es, 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 haben zum Teil begonnen, neue Tools



- **Servicestelle für Digitales Lernen**
- **Servicestelle „Data-driven Business“**
- **Servicestelle „Sustainable Innovation Management“**

und Methoden für eine digitale Transformation in ihre Strukturen zu integrieren, sind dabei aber mit dem Problem konfrontiert – oft wahllos gesammelte – Daten aufzubereiten. Nur wenn Daten zu Informationen werden, kann neue Wertschöpfung entstehen. Dieses sogenannte „Data-driven Business“ ist schnelllebig als die traditionelle Wertschöpfung der Ingenieurskunst, jedoch ein Weg dazu, sich im stark preisgetriebenen Bereich der Sensorik mit Alleinstellungsmerkmalen weiterhin eine erfolgreiche Positionierung auf dem Weltmarkt zu sichern. Der Einsatz künstlicher Intelligenz ist hier unumgänglich, aber auch sie erfordert als Querschnittstechnologie gemeinschaftliche Konzepte. Weil sich am Hightech- und Wissensstandort Regensburg künstliche Intelligenz in all ihren Facetten zeigt, arbeitet die Strategische Partnerschaft Sensorik e.V. seit 2020 mit dem Cluster Mobility & Logistics Regensburg, dem IT Sicherheitscluster e.V. und der BioPark Regensburg GmbH in der gemeinsamen KI-Initiative AIR (Artificial Intelligence Regensburg) zusammen. Für den Ansatz eines cluster- und domänenübergreifenden Serviceportfolios „goAIR – Artificial Intelligence Regensburg“ erhalten die Netzwerke seit Oktober 2021 Fördermittel aus dem Programm „goCluster“. Die SPS entwickelt in diesem Kontext einen neuen Clusterservice: die neue Servicestelle „Data-driven Business“. Den Bereich „Data-driven Business“ flankierende aktuelle Seminarreihen, u.a. „Data Business Development“, „Big Data Architect“ und „Agilität<sup>3</sup>“, stellen schon jetzt eine gute Ausgangsbasis für die neue Beratung und Begleitung dar. Diese 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 zu kombinieren, ist Ziel des Cross-Cluster-Projekts „Smart Composites“ (Start: Januar 2022) mit dem bayerischen Cluster MAI Carbon. Faserverbundwerkstoffe besitzen gute mechanische Eigenschaften. Mit Hilfe der Sensorik, die einfach in die Materialien integriert werden kann, können zudem verschiedene Daten erfasst werden. Eine Kombination der Technologien ermöglicht daher die Entwicklung neuer smarterer Materialien, die in einer digitalen und intelligenten Welt benötigt werden. Die Integration neuer und leistungsfähigerer Sensorik in die Produktionsprozesse für Faserver-

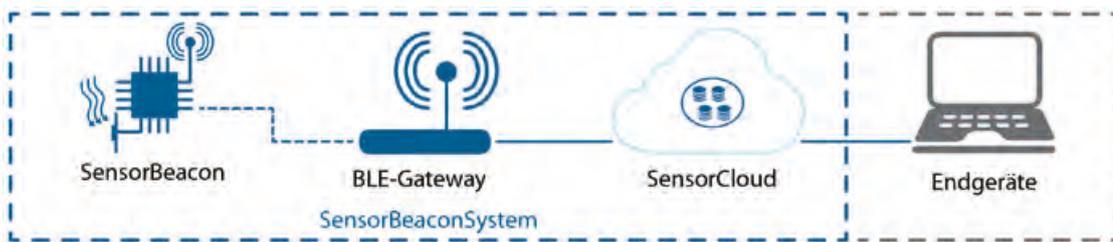
bundwerkstoffe reduziert Kosten und steigert die Wettbewerbsfähigkeit dieser Materialien.

**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.

**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. Neueste Elektroniktechnologien werden aktuell mit Methoden der künstlichen Intelligenz (KI) für industrielle Anwendungen nutzbar. Dem BMBF-geförderten Projekt „**SiEvEI 4.0 – Sichere und intelligente Elektroniksysteme für vertrauenswürdige Elektronikprodukte in Industrie 4.0**“ gelingt dieser 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.

Das inhäusig entwickelte SensorBeacon-System (SBS) umfasst die 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. Es hilft, Ressourcen zu schonen: Durch die Verwendung des Ultra-Low-Power-Funkstandards Bluetooth Low Energy (BLE) sowie eines optimierten Messdatenerfassungs- und Datenübertragungskonzeptes können Batteriebenszeiten von fünf Jahren und mehr erreicht werden. Einsatzfelder waren u.a. 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.



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

Inspiration für eine weitere neue technologische Lösung liefert 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. Entwicklungsziel des Konsortiums, das aus sechs Partnern aus dem gesamten Bundesgebiet besteht, ist eine neuartige dreidimensional-flexible Sensorhaut, die „Bionic RoboSkin“. Sie soll Kernelement einer Roboterplattform sein. Vorbild hierfür war der Manta-Rochen. Auf dem textilen Träger werden neben feuchtigkeitsbeständigen elektrischen Verbindungen für Energieversorgung und Kommunikation auch eingewebte Sensorstrukturen realisiert. Verschiedene weitere Sensoren sowie die zentrale Steuereinheit des autonomen Serviceroboters werden in Form hochkompakter Module auf den textilen Träger montiert und elektrisch mit diesem verbunden. Die Bionic RoboSkin wird in zwei Anwendungsbereichen demonstriert und validiert: Bei der Unterwasser-Bodenerkundung mit dem autonomen Robotersystem „Manta“ werden mittels Magnetfeldmessungen metallische Strukturen wie Seekabel, Versorgungsleitungen und Munition aufgespürt und kartographiert. Das teilautonome rollende Robotersystem „Dachs“ soll die Vermessung von Bodenstrukturen an Land übernehmen.

### 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, son-

dern 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).

Bei Fragen rund um Sensortechnologien ist die SPS (mit Sitz der Geschäftsstelle in Regensburg) mittlerweile daher nicht nur den Akteuren der bayerischen Branche bekannt, das umfassende Leistungsspektrum des wirtschaftlich unabhängig agierenden Vereins zieht auch zusehends die Aufmerksamkeit (inter-)nationaler Unternehmen, potenzieller Kunden und Kooperationspartner auf sich und somit auch das Interesse für Produkte und Leistungen aus Bayern. Der Kreis zum ursprünglichen Auftrag des Netzwerks, nämlich als Plattform der Cluster-Offensive Bayern gemeinnützige Wirtschaftsförderung im Bereich Sensorik zu betreiben und die Standortattraktivität und Wirtschaftskraft zu stärken, schließt sich somit. Obige Beispiele zeigen, wie ein Netzwerk als kompetente Anlaufstelle Innovationsfähigkeit, Wirtschaftskraft und Standortattraktivität fördern kann und soziotechnische Kooperationsansätze umzusetzen hilft. Die Branche Sensorik hat diesen Treiber und Impulsgeber in der SPS gefunden. ■

### KONTAKT

#### STRATEGISCHE PARTNERSCHAFT SENSORIK E.V. BAYERISCHES CLUSTERMANAGEMENT SENSORIK

Stefanie Fuchs, Matthias Streller  
Franz-Mayer-Straße 1, 93053 Regensburg  
Telefon: +49 (0) 941 630916-0, info@sensorik-bayern.de  
<http://www.sensorik-bayern.de>

# TRENNBARE FÜLLSTANDSSONDEN: GEGEN ÜBERSPANNUNG GEWAPPNET

Hydrostatische Füllstandssonden sind unerlässlich für die Kontrolle und Steuerung von umwelt-technischen Einrichtungen. Im Falle eines Blitzschlags wirken Potentialverschiebungen oder -erhöhungen direkt auf die Messeinrichtungen ein, so dass dem Schutz dieser Komponenten eine besondere Bedeutung zukommt. Entstehen bei bestimmten Überspannungsereignissen dennoch Anlagenausfälle, gilt es, den Wartungsaufwand so gering wie möglich zu halten.

Für beide Szenarien hält BD|SENSORS eine durchdachte Lösung bereit, die auf einem etablierten Gerätekonzept aus Überspannungsschutz kombiniert mit einer einfachen und zeitsparenden Austauschmöglichkeit aufsetzt.

Beispielhaft dafür steht die trennbare Füllstands-sonde LMK 808 mit robustem, kapazitivem Ke-ramiksensor, die eine Druckdichtigkeit bis 20bar besitzt. Sie verfügt über einen über einen zwei-stufigen Überspannungsschutz, der das Sensor-signal, die Signalverarbeitung und -übertragung schützt. Während der Grobschutz dafür sorgt, dass die Überspannung auf 90 V begrenzt und ein Impulsstrom bis 8.000 A (8 kA) abgeleitet wird, reduziert der darauffolgende Feinschutz die auftre-tende Spannung auf 36V, wirkt bipolar und kann eine Impulsleistung von 1.500W aufnehmen. (Um

die Leistungsfähigkeit der Maßnahmen zu doku-mentieren, wurden Überspannungstests in einem akkreditierten Prüflabor nach EN 61000-4-5 durch-geführt. Die Ergebnisse zeigen, dass Normprüf-pulse mit einem Schärfegrad von 4.000V (4 kV) keinen Schaden erzeugen.)

Zum anderen ist der Sondenkopf der Füllstands-sonde vom Kabelteil trennbar. Das bedeutet, dass das aufwändig verlegte Kabel im Schadens- oder Servicefall nicht aus Kabelkanälen oder Schutzroh-ren entfernt werden muss, sondern lediglich der Sondenkopf abzuschrauben, zu reinigen und wie-der anzuschrauben bzw. das Ersatzteil anzubrin-gen ist. Der Aufwand hierfür beträgt nur wenige Minuten, so dass die Füllstandssonde zügig wie-der in Betrieb gehen kann und Ausfallzeiten gering gehalten werden.

## KONTAKT

### BD|SENSORS GMBH

BD-Sensors-Str. 1  
95199 Thierstein  
Tel.: +49 (0)9235 98 11 0  
www.bdsensors.de

## TRENNBARE FÜLLSTANDS SONDEN

ZUVERLÄSSIG BEIM MESSEN –  
ÜBERZEUGEND BEIM SERVICE.












>>> [www.bdsensors.de/fuellstand](http://www.bdsensors.de/fuellstand)

# PROZESSE UMFASSEND BEHERRSCHEN

## Ihr Spezialist zur Überwachung von Druck, Temperatur, Niveau und Durchfluss

Marktorientierung, Technologiebegeisterung und Kundennähe – die Herzstücke der Unternehmensphilosophie machen Barksdale zum Synonym für fortschrittliche Lösungen im Bereich der Mess- und Regeltechnik. Durchdachte kundenspezifische Produkte und ein herausragender Service sind für unsere Kunden ebenso selbstverständlich wie ein weltweites Vertriebsnetz und ständige Innovationen innerhalb unseres Portfolios.

### Erfahrung und Kompetenz

Seit über 60 Jahren bietet Barksdale kundensorientierte Lösungen für die Bereiche Hydraulik, Nutzfahrzeuge und industrielle Ausrüstung mit den Schwerpunkten Maschinenbau, Erneuerbare Energien, Erdöl- und Erdgasgewinnung sowie Schiffsbautechnik. Neben Standardkomponenten werden durch individuelle Modifikationen und Neuentwicklungen maßgeschneiderte Lösungen schnell und zuverlässig umgesetzt.

### Mit Sicherheit neue Wege beschreiten

Um höchste Qualität zu gewährleisten sind alle Produkte und Prozesse nach DIN EN ISO 9001:2015 zertifiziert. Neben zahlreichen Schiffsbauzulassungen und einem breiten Angebot an ATEX/IECEX zertifizierten Produkten, bieten wir eine Vielzahl marktspezifischer Zertifikate für aus-

gewählte Produkte an. Als Beispiel sind hier russische und US-amerikanische Zulassungen zu nennen. Sie erweitern den Handlungsspielraum der Barksdale Kunden genauso wie stetige innovative Weiterentwicklungen.

### Druckmessung mechanisch oder elektronisch

Der mechanische Druckschalter Serie 8000 kommt in einer Vielzahl von hydraulischen Anwendungen zum Einsatz. Neben der UL/CSA Zulassung ist das Gerät zudem für den eigensicheren Einsatz geeignet und verfügt über die notwendigen ATEX/IECEX Zulassungen. In Kombination mit der SIL2/SIL3 Zertifizierung ist er der perfekte Schalter für anspruchsvolle Aufgaben. Wenn eine genauere Messung erforderlich ist, dann kann Barksdale den passenden Drucktransmitter der Serie 450 mit einer Genauigkeitsklasse von 0,1 % liefern. Ob mit druckfester Kapselung oder eigensicher, die Serie 450 verfügt neben der UL/CSA auch über die jeweilige ATEX/IECEX Zulassung. Standardmäßig ist der Drucktransmitter mit 4-20mA Ausgangssignal ausgestattet, optional auch mit HART Protokoll lieferbar. Mit seinem kompakten Design ist er eine gelungene Alternative zu den gängigen Feldtransmittern, insbesondere wenn der vorhandene Bauraum begrenzt ist. ■

### KONTAKT

#### BARKSDALE GMBH

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



## SAFETY FIRST! Für Mensch, Anlage, Umwelt

Umfassendes Portfolio an **ATEX / IECEX** und **SIL 2/3** zertifizierten Schaltern zur Überwachung von

- ▶ Druck
- ▶ Temperatur
- ▶ Durchfluss
- ▶ Niveau

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

# Lasersensoren messen Entfernungen bis zu 500 m schnell und genau DIE GRENZEN KONVENTIONELLER MESSVERFAHREN ÜBERWINDEN

Laserdistanzsensoren messen klassischerweise entweder die Lichtlaufzeit oder die Phasenverschiebung. Beide Verfahren haben jedoch Vor- und Nachteile: Die Lichtlaufzeitmessung ist schnell, durch die anspruchsvolle Zeitmessung aber oft nicht ausreichend genau. Die Messung der Phasenverschiebung ist deutlich genauer, aber durch die aufwendigere Auswertung nicht so schnell wie die reine Laufzeitmessung. Wenn Anwendungen es erfordern, dass große Distanzen mit hoher Genauigkeit und möglichst schnell gemessen werden sollen, sind deshalb beide Verfahren nicht ideal. Stattdessen bietet es sich an ihre Vorteile zu kombinieren. Das Resultat sind Long-Distance-Sensoren, die Entfernungen von 0,05 bis zu 500 m schnell und auf den Millimeter genau messen.



Bild 1



Bild 2



Bild 3

Anwendungen, bei denen für Positionier-, Vermessungs- oder Überwachungsaufgaben große Distanzen mit hoher Genauigkeit und möglichst schnell gemessen werden sollen, gibt es viele. Typische Applikationen reichen von Regalbedienegeräten und ASRS-Shuttles (Automatic Storage and Retrieval System) in Distributionszentren über Füllstandkontrollen in großen Tanks bzw. Silos bis hin zum Maschinenbau, z.B. in Anlagen zur Bearbeitung von Metallrohren oder beim maschinellen Ablängen von Balken oder Brettern. Auch Portal- oder Hafenkranen sind auf weite Distanzmessungen mit hoher Genauigkeit angewiesen und selbst Tunnelbohrmaschinen verlangen nach solch schnellen Präzisionslösungen zur Entfernungsmessung. Herkömmliche Verfahren zur Laserdistanzmessung, die Lichtlaufzeit oder Phasenverschiebung auswerten, stoßen hier an ihre Grenzen.

## Die Grenzen konventioneller Messverfahren

Bei der Laufzeitmessung wird ein kurzer Lichtpuls ausgesandt. Aus der Pulslaufzeit, also der Zeit, die der Lichtpuls braucht, um von der Quelle zu einem Reflektor und wieder zurück zur Quelle zu laufen, lässt sich dann die Entfernung ermitteln. Diese Methode ist schnell, durch die anspruchsvolle Zeitmessung aber oft nicht ausreichend genau. Schließlich beträgt die Laufzeit von einem solchen Lichtpuls für einen Millimeter nur gerade mal 3,3 psec ( $3,3 \cdot 10^{-12}$ sec). Bei Distanzen von mehreren Hundert Metern liegt die Auflösung deshalb üblicherweise nur im Zentimeterbereich.

Alternativ wird deshalb auch die Phasenverschiebung des reflektierten Laserstrahls gegenüber

dem ausgesandten Strahl ausgewertet. Sie ist entfernungsabhängig, also lässt sich die zurückgelegte Distanz ermitteln. Diese Messung ist deutlich genauer, aber durch die aufwendigere Auswertung nicht so schnell wie die reine Laufzeitmessung.

## Schnell und genau

Die Schweizer Sensorikspezialisten der Dimetix AG gehen deshalb einen anderen Weg. Bei ihren Long-Distance-Lasersensoren (**Bild 1**) kombinieren sie im Prinzip 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. Dabei wird der Laserstrahl in kurzen Abständen amplitudenmoduliert (**Bild 2**). Dadurch kann man sehr schnell die entfernungsabhängige Laufzeitverschiebung der einzelnen Pulspakete messen, aber auch die Phasenverschiebung der einzelnen Wellen zueinander innerhalb der modulierten Pakete. Die Sensoren messen deshalb schneller als normalerweise üblich und liefern auch bei großen Entfernungen genaue Werte. Die Messgeschwindigkeit reicht bis 250 Hz bei einer Ausgaberate von 1 kHz.

**Bild 3** zeigt das schematische Innenleben eines Sensors, das aus einer Vielzahl aufeinander abgestimmter Komponenten besteht: optischem Sender mit Laserdiode und ultraschnellem Treiber, Empfänger mit Linse, Filter und Analog/Digital-

## KONTAKT

### DIMETIX AG

Degersheimerstrasse 14  
CH-9100 Herisau  
Tel.: +41 (0) 71 353 00 00  
info@dimetix.com  
<https://dimetix.com>

Wandler, leistungsstarker digitaler Signalverarbeitung, Speicher, Eingabe- und Anzeigeelementen und einer großen Anzahl an digitalen sowie analogen Industrie-Schnittstellen. Das alles ist in einem kompakten, für den industriellen Einsatz ausgelegten Gehäuse untergebracht. Eine Sensorvariante ist zusätzlich mit einer integrierten Heizfunktion verfügbar, sodass die Lasersensoren auch im kalten Outdoor-Bereich ohne externe Heizung arbeiten können.

**Hohe Wiederholgenauigkeit**

Die Laserdistanzsensoren der D-Serie eignen sich für Distanzen von 0,05 bis 500 m und messen mit einer Genauigkeit von +/- 1 mm bei einer Wiederholgenauigkeit von +/- 0,3 mm. Sie arbeiten üblicherweise gegen eine orange Reflexfolie. Bei Distanzen bis 100 m gelten die Genauigkeitswerte aber auch für natürliche Oberflächen und selbst bei schwarzen Zielflächen oder direkter Sonneneinstrahlung im Außeneinsatz können die Geräte zuverlässige Messergebnisse liefern.

Ihre Messgenauigkeit wird mit einer statistischen Sicherheit von 95,4 % spezifiziert (entsprechend ISO 1938-2015). Das ist gleichbedeutend mit +/- 2, also 4-mal die Standardabweichung. Distanzfehler durch Temperatureinflüsse und Linearitätsfehler sind hierbei bereits berücksichtigt. Diese Messgenauigkeit wird laufend in umfangreichen Tests verifiziert. **Bild 4** zeigt die statistische Verteilung einer solchen 24 Stunden Testmessung mit über 21 Millionen aufgezeichneten Distanzmessungen. Zusätzlich zeigt die entsprechende Gauss-/(Normal)verteilung den Zusammenhang zu der erwähnten statistischen Sicherheit von 95,4 %, was 4-mal der Standardabweichung entspricht.

**Gut in die Anwendung integrierbar**

Dank ihrer geringen Abmessungen von 140 mm Länge, 78 mm Breite und 48 mm Höhe lassen sich die nur 350 g leichten Distanzsensoren gut in die unterschiedlichen Anwendungen integrieren, z.B. am Mast eines Regalbediengeräts befestigen (**Bild 5**). Hier messen sie millimetergenau die Positionen, an welchen die Regalfächer bedient werden. Ein ähnlicher Anwendungsfall findet sich auch bei ASRS-Shuttle-Systemen, die in vielen Distributionszentren zur Auftragsabwicklung und Lagerung eingesetzt sind. Mit Hilfe der Sensoren kann der Shuttle millimetergenau an der Stelle platziert werden, an der Produkte ein- oder ausgeladen werden müssen. Das robuste Gehäuse erfüllt die Anforderungen nach IP65, bietet damit auch in rauer Industrieumgebung und beim Außeneinsatz Schutz, beispielsweise beim Einsatz an Tunnelbohr- oder Baumaschinen und selbst bei hohen Temperaturen wie in der Stahlindustrie, wo auf heiße Oberflächen gemessen wird (**Bild 6**).

Die Laserdistanzsensoren werden zudem in acht unterschiedlichen Varianten angeboten, die bei sonst gleichen Eigenschaften unterschiedliche Anforderungen an Reichweite und Auflösung abdecken, sodass niemand für technischen Overhead bezahlen muss, wenn beispielsweise +/- 3 mm Genauigkeit ausreichen. Bei Innenanwendungen genügt zudem meist ein Temperaturbereich von -10 bis +50 °C. Standardmäßig integriert sind ein Analogausgang 0/4...20 mA, serielle Schnittstellen sowie digitale Ein- und Ausgänge. Als Option stehen PROFINET, EtherNet/IP und EtherCAT zur Verfügung. Dazu wird das Schnittstellenmodul des Sensors einfach ausgetauscht. ■

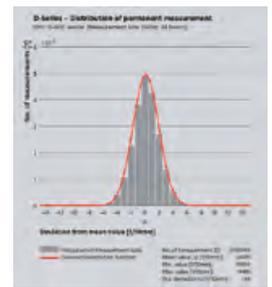


Bild 4



Bild 5



Bild 6



**DIMETIX**  
LASER DISTANCE SENSORS

**Laser-Distanz-Sensoren für präzise Messungen auf grosse Distanzen**

Höchste Präzision: 1 mm  
Grosser Messbereich: 0.05 m bis 500 m  
Hohe Messgeschwindigkeit: 250 Hz

# AUFSCHEISSBARE DÜNNFILM-DMS ALS BASELEMENT FÜR KRAFT- UND DREHMOMENTSENSOREN

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

Der Schwerpunkt des Unternehmens liegt seit vielen Jahren auf der Entwicklung und Herstellung von hochwertigen Drucksensorelementen auf Dünnschichtbasis. In den letzten Jahren wurde jedoch auch das Engagement im Bereich Kraftsensorik verstärkt. Mit der Serienfertigung von universell einsetzbaren aufschweißbaren Dünnschicht-DMS-Vollbrücken wurde die Basis gelegt, um schnell, kostengünstig und flexibel auf Kundenanfragen reagieren zu können. Zahlreiche Anwendungsfälle belegen die Umsetzbarkeit dieses Prinzips, mit dem die bekannten Probleme der üblichen DMS-Klebertechnik umgangen werden können.

Neben den DMS-Brücken für uniaxiale Belastung (Druck-/Zugbelastung) wurden auch Layouts entwickelt, die zur Messung von Drehmomenten geeignet sind. Im Rahmen des vom BMWi geförderten Verbundprojektes „BiSWind“ (FKZ 0325891H) konnte eine solche Applikation mit aufschweißbaren Dünnschichtsensoren realisiert werden. Dazu wurden auf der zu messenden Welle zwei Halbschalen angebracht, die mit einem schmalen Flat

(Abflachung) versehen sind. Vor der Montage der Halbschalen erfolgte das Aufschießen der Dünnschicht-Sensoren auf diesem Flat.

Die im Projekt „BiSWind“ definierte Demonstratorwelle wurde in der beschriebenen Weise mit Sensorelementen versehen und im Prüfstand eines der Projektpartner mit Drehmomenten bis zu +/- 1.000 Nm belastet. Im Vergleich mit dem eingebauten Referenzsensor zeigte sich eine ausgezeichnete Sensorperformance.

Neben den beschriebenen aufschweißbaren DMS-Brücken für den universellen Einsatz bietet Siegert TFT GmbH weitere dünnfilmbasierte Lösungen für die Kraft- und Dehnungsmessung mit Fokus auf der Entwicklung und Herstellung von kundenspezifischen Sensoren an. Von der FEM-Belastungsanalyse über die Entwicklung optimierter DMS-Layouts bis hin zur Einzel- oder Serienfertigung können alle maßgeblichen Fertigungsphasen kompetent und aus einer Hand angeboten werden. ■



## KONTAKT

### SIEGERT THINFILM TECHNOLOGY GMBH

Robert-Friese-Straße 3  
07629 Hermsdorf  
Tel.: +49 (0)36601 858-0  
E-Mail: info@siegert-tft.de  
www.siegert-tft.de



Abb. 1: „BiSWind“-Demonstratorwelle mit mittig angeordneten Mess-Halbschalen



Abb. 2: Halbschale mit aufgeschweißter DMS-Brücke vor der Endmontage

# BAY-SENSOREN: INTERNATIONAL GEFRAGT FÜR SICHERHEITSMESSUNGEN RAIL, AIR & SEA

Staatliche und private Transport-Unternehmen tragen eine hohe Verantwortung für die Sicherheit von Menschen und Gütern. Wo Massen bewegt werden, wirken auch massige Kräfte. Das stellt hohe Anforderungen an das Equipment. In der Luft, auf See und im Bereich Schiene. Als Spezialist für robuste, aber auch für filigranste Messungen von Beschleunigung und Schwingungen jeder Art hat sich der erfahrene Inhaber der Bay SensorTec GmbH in Eching bei München, Peter Bay, international einen guten Ruf aufgebaut. Seine Sensoren sind überall auf der Welt im Einsatz. Für Sicherheit ohne Grenzen.

Ob vom TÜV, anderen Prüf-Dienstleistern oder von den Unternehmen selbst: Material-Überwachung und Sicherheits-Checks müssen regelmäßig gewährleistet werden und nachweisbar die Grenzwerte der umfangreichen Lastenhefte einhalten. Bay-Sensoren spielen dabei eine große Rolle. International. Nicht nur bei der Überprüfung bereits genutzter Technik, sondern gerade auch beim Erst-Check „in realita“ von z. B. neuen Schienen, Gleisbetten oder Zügen. Auch Schallschutzmauern werden mit Bay-Sensoren auf ihre Standfestigkeit unter der Vibrations- und Lärmbelastung des rollenden Verkehrs getestet.

## Vertrauen im In- und Ausland

Nicht nur die DB in Deutschland vertraut der bewährten Bay-Kompetenz in der Mess- und Sensortechnik. Auch Marktführer Alstom in Frankreich, Transportunternehmen in Italien, Spanien oder Österreich setzen auf die für jeden Spezialbedarf anpassbare kapazitive Technik der Bay SensorTec GmbH.

## Vorfahrt für Sicherheit

Bay-Beschleunigungs- und Drehratensensoren sind dabei, wenn neue Strecken angelegt und eingemessen werden, wenn neue Züge auf Teststrecken einem Dauer- und „Ernstfall-Check“ unterzogen werden, wenn bei den Komfortmessungen am Lokführerstuhl und an den Passagiersitzen Geräusch-, Vibrations- und Schwingungsdaten erhoben werden. Schienen, Zug, Achsen, Drehgestell, Aufleger, Fahrgastraum – alles wird mit Sensoren bestückt. Und hier gilt natürlich nicht „einer für alle“, sondern hier geht es um präzise Anpassungen an jedes einzelne Erhebungsziel.

## Hohe Entwicklungskompetenz

Die Bay SensorTec GmbH ist bekannt dafür, dass sie für jede Fragestellung die passende Lösung liefern – oder entwickeln – kann. Besonderen Ehrgeiz lösen bei Peter Bay Anforderungen im Bereich der super-feinen Minimalmessbereiche aus. Ob ein- und dreiaxial – jede auch noch so kleine Bewegung will er erfassen können. Sein aktuellstes Projekt: Querbeschleunigung über horizontale Richtungen zu messen – auch im Bereich von unter 1 g.

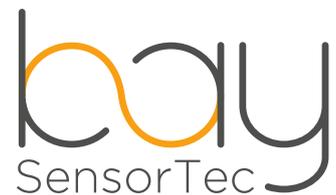
Hochwertige Crashtest-Sensoren



## KONTAKT

**Bay SensorTec GmbH**  
 Peter Bay  
 Erfurter Straße 31  
 85386 Eching  
 Tel.: +49 (0) 89 189 4149-11  
 p.bay@bay-sensortec.com  
 www.bay-sensortec.com

## Hochwertige Sensoren im Schieneneinsatz Made in Germany



### Drehrate

- uni - und triaxiale Bauform
- Messbereich 30°/s bis 10.000°/s
- Speisung 5 - 28 VDC
- sehr kleine Bauform
- TEDS Modul



### Beschleunigung

- uniaxial, Messbereich 2g bis 200g
- optional Edelstahlgehäuse
- Speisung 5 - 28 VDC
- hohe Stoßfestigkeit
- TEDS Modul



### Beschleunigung

- triaxial, Messbereich 2g bis 200g
- Alu- oder Edelstahlgehäuse
- Speisung 5 - 28 VDC
- hohe Stoßfestigkeit
- TEDS Modul



bay-sensors.com

# DIELEKTRISCHE ELASTOMERWANDLER IM SENSORLOSEN SELFSENSING-BETRIEB

Andreas Hubracht (M.Sc.), Samuel Junglas (M.Sc.), Abd Elkarim Masoud (M.Sc.), Ozan Cabuk (M.Sc.), Jana Mertens (M.Sc.), Tim Krüger (M.Sc.) und Prof. Dr.-Ing. Jürgen Maas

Das seit 2016 bestehende Fachgebiet Elektromechanische Konstruktionen der TU Berlin unter Leitung von Prof. Dr. Jürgen Maas befasst sich in der Forschung mit dem ganzheitlichen Entwurf mechatronischer Systeme. Den wesentlichen Schwerpunkt bilden Wandlermechanismen auf Basis von smarten Materialien, zu denen:

- Dielektrische Elastomere (DE) aus dem Bereich der Elektroaktiven Polymere (EAP),
- Magnetorheologische Flüssigkeiten (MRF), basierend auf feinen magnetisch polarisierbaren Partikeln und
- Magnetische Formgedächtnislegierungen (MFGL), mit magnetisch induzierter Formänderung, zählen.



Ein Forschungsschwerpunkt des Fachgebiets Elektromechanische Konstruktionen (EMK) der TU Berlin liegt im Bereich der dielektrischen Elastomere (DE). Diese gehören zu den sogenannten Smart Materials und zeichnen sich aufgrund flexibler Gestaltung durch vielfältige Einsatzmöglichkeiten im Bereich der Aktorik, Sensorik und Generatorik aus. In vielen Applikationen wird hiermit eine höhere Energieeffizienz bei gleichzeitig optimierter, funktionaler und räumlicher Integration gegenüber konventionellen Lösungen erzielt. Wegen der bidirektionalen Kopplung der elektrischen mit der mechanischen Domäne kann durch Messung der elektrischen Klemmengrößen der mechanische Zustand des DE-Wandlers geschätzt werden, was zur Funktionsdiagnose aber auch zur Positionsschätzung ohne mechanischen Sensor genutzt werden kann. Durch diese spezielle Charakteristik können Wandler aus dielektrischen Elastomeren im sogenannten Selfsensing-Modus betrieben werden, wodurch nicht nur Kosten, Gewicht und Bauraum reduziert, sondern völlig neue Ansätze in zukunftssträchtigen Bereichen wie Soft Materials-Applikationen oder haptische Mensch-Maschine-Schnittstellen ermöglicht werden.

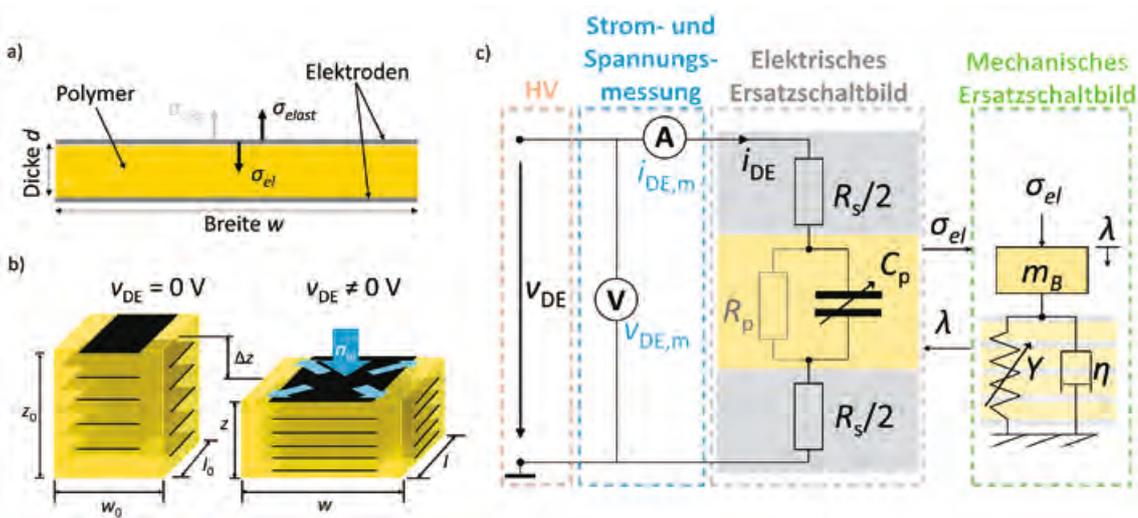


Abb. 1: Schematisches Funktionsprinzip dielektrischer Elastomere mit:  
 a) einschichtigem Aufbau,  
 b) mehrschichtigem Aufbau und  
 c) elektromechanischer Kopplung der beiden Domänen.

### Grundlagen dielektrischer Elastomere

Dielektrische Elastomere (DEs) gehören zu den smarten Materialien und gewinnen über die Forschung hinaus bei Entwicklungen in der Industrie stetig an Bedeutung. Für die Funktion eines DE-Wandlers werden nur zwei Materialien mit jedoch unterschiedlichen Eigenschaften benötigt: 1. eine leitfähige sowie dehnfähige Elektrode und 2. ein ebenfalls dehnbares Dielektrikum, bspw. ein Polymer, als Isolator (siehe **Abb. 1a**). Der Aufbau ähnelt dem eines Plattenkondensators, wobei die Elektrode meist eine Dicke im unteren einstelligen und das Polymer im unteren zweistelligen Mikrometerbereich aufweist. Wird eine elektrische Spannung  $v_{DE}$  an die Elektroden angelegt, entsteht ein elektrisches Feld. Aus der Anziehungskraft zwischen den Elektroden resultiert ein elektrostatischer Druck  $\sigma_{el}$ . Dabei wird das Dielektrikum zwischen den Elektroden komprimiert, während es sich mit den dehnfähigen Elektroden in der Ebene ausdehnt, wie dies **Abb. 1b** eines mehrschichtigen Aufbaus zeigt.

Eine Besonderheit dielektrischer Elastomere ist der vielseitige Einsatz, der die Nutzung als Sensoren, Aktoren oder Generatoren ermöglicht. Die Grundlage für diese Applikationsvielfalt ergibt sich u.a. aufgrund der elektromechanisch gekoppelten Funktionsweise (siehe **Abb. 1c**): Das ideal betrachtete Dielektrikum mit der Kapazität  $C_p$  kann im Verbund mit den Elektroden, modelliert durch einen Serienwiderstand  $R_s$ , beschrieben werden. Die elektrische Spannung  $v_{DE}$  ruft die Komprimierung hervor, bis stationär der elektrostatische Druck gleich den mechanischen Rückstellkräften des Polymers ist. Aus der mechanischen Geometrieänderung folgt: 1. ein verringerter Plattenabstand und 2. eine größere aktive Fläche des

Kondensators. Beides führt zu einer Erhöhung der als Plattenkondensator angenäherten elektrischen Kapazität  $C_p$  und erlaubt es, aus den elektrischen Messgrößen auf den aktuellen mechanischen Zustand des DE-Wandlers zu schließen.

Die bidirektionale Wirkungsweise ermöglicht eine Vielzahl von Anwendungen und inspiriert Forschung und Entwicklung in vielen Bereichen. Aufgrund optimierter Materialeigenschaften und Fertigungen mit sehr dünnen Elastomerfolien von 20  $\mu m$  werden aktuell Anwendungen wie u.a. Proportionalventile, Membran-Lautsprecher oder Dehnungssensoren verfolgt. Dabei bietet die DE-Technologie nicht nur das Potenzial, konventionelle Konzepte zu substituieren, sondern völlig neue Produkte zu etablieren, wie Soft-Materials-Applikationen.

### Hochspannungs-Elektronik

Um die für den Betrieb von DE-Wandlern notwendigen hohen elektrischen Felder im Bereich von

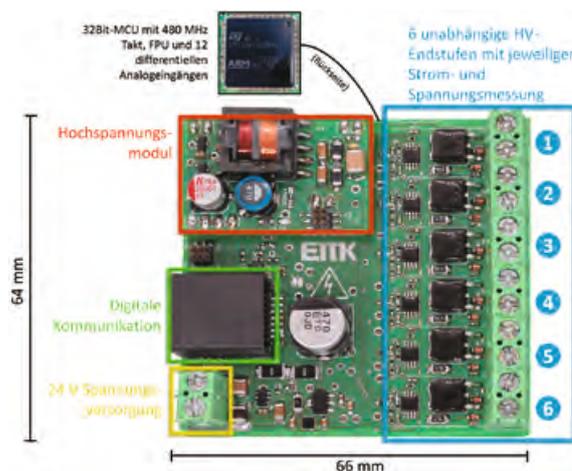


Abb. 2: HV-Elektronik mit 6 digital regelbaren Ausgängen.

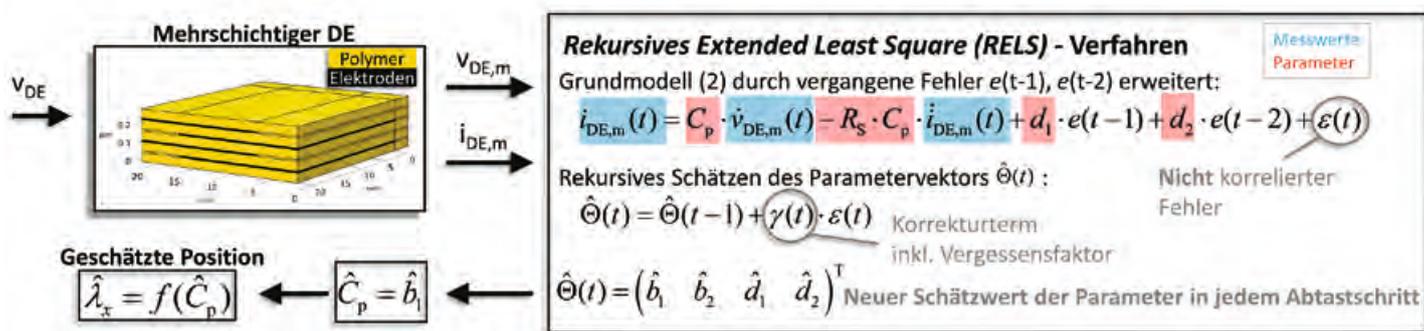


Abb. 3: Schematischer Signalfluss für die Positionsschätzung mittels Rekursiven Extended Least Square (RELS)-Verfahrens.

etwa  $E = 50 \text{ V}/\mu\text{m}$  zu erreichen, ist bei einer Polymerschichtdicke von  $d = 20 \mu\text{m}$  eine elektrische Spannung  $v_{DE}$  von bis zu 1.000 V notwendig. Die Anforderungen an die benötigte Leistungselektronik unterscheiden sich dabei von herkömmlich verfügbaren Konzepten aufgrund der hohen elektrischen Spannung bei vergleichsweise kleinen Strömen, die entsprechend der Anwendung mit hoher Dynamik verstellt werden müssen. Für den geregelten Betrieb mit inhärenter Sensorfunktion wird eine hinreichend genaue Strom- und Spannungsmessung benötigt. Weiterhin stehen Bauraum- sowie Kostenoptimierung für die Applikation von DE-Wandlern im Vordergrund. Um diesen besonderen Anforderungen zu genügen, wurde am FG EMK eigens eine Leistungselektronik für DE-Wandler entwickelt (siehe Abb. 2), die sechs unabhängig regelbare Ausgänge zur Verfügung stellt (z. B. für eine Ventilinsel). Die Größe der Platine ist vergleichbar mit der einer handelsüblichen Kreditkarte und wird eingangsseitig mit 24 V versorgt. Mittels eines Flusswandlers mit nachgelagerter Ladungspumpe werden diese auf etwa 1.000 V transformiert und stehen für die linearen HV-Verstärker zur Verfügung. Das Herzstück der Platine bildet ein 32-Bit Mikrocontroller, der neben der digitalen Kommunikation via Modbus die sechs Ausgangsspannungen  $v_{DE}$  digital regelt.

**Sensorischer Betrieb eines DE-Streifenwandlers**

Für den sensorischen Betrieb von DE-Wandlern wird auf die elektromechanische Kopplung zurückgegriffen (siehe Abb. 1c). Die wesentliche Erkenntnis ist ein direkter Zusammenhang zwischen der mechanischen Streckung  $\lambda$  und der elektr. Kapazität  $C_p$ :

$$\lambda = f(C_p). \tag{1}$$

Um die von der Streckung abhängige Kapazität zu bestimmen, wird das elektrische Verhalten mittels folgendem (vereinfachten) Modell angenähert:

$$i_{DE,m} = C_p \cdot \dot{v}_{DE,m} - R_s \cdot C_p \cdot i_{DE,m}, \tag{2}$$

wobei nach Abb. 1c  $i_{DE,m}$  und  $v_{DE,m}$  den gemessenen Strom und die Spannung,  $C_p$  die Kapazität und  $R_s$  den Serienwiderstand des DE-Sensors darstellen. In Gleichung (2) wird jeweils eine zeitliche Änderung von Strom und Spannung gefordert. Um nicht nur bei der Sollwertänderung eine Schätzung zu ermöglichen, wird der Hochspannung ein Sinus mit vergleichsweise kleiner Amplitude überlagert. Für die Identifikation des Parameters  $C_p$  wird das „Rekursive Extended Least Square“-Verfahren [1] mit variablem Vergessensfaktor angewendet (siehe Abb. 3). Der Algorithmus muss dabei so gestaltet sein, dass pro Abtastschritt (180  $\mu\text{s}$ ) mit dem Mikrocontroller der Elektronik eine neue Schätzung in Echtzeit für die zeitlich veränderlichen Parameter vorliegt.

Als DE-Streifenwandler für den sensorischen Betrieb wird exemplarisch ein dreischichtiger Aufbau mit zwei zusätzlichen Isolationsschichten der Abmessungen  $40 \times 20 \times 0,29 \text{ mm}^3$  ( $L \times B \times H$ ) verwendet (siehe Abb. 4). Dabei beträgt die einzelne Polymerschichtdicke hier  $50 \mu\text{m}$ , die der Elektroden dicke etwa  $10 \mu\text{m}$  und deren Breite 10 mm. Der Sensorstreifen wird in x-Richtung bis  $\lambda_x = 1,5$  gestreckt und die Kapazität simultan über den oben genannten Algorithmus online geschätzt. Den Messaufbau mit DE-Streifensensor zeigt Abb. 5.

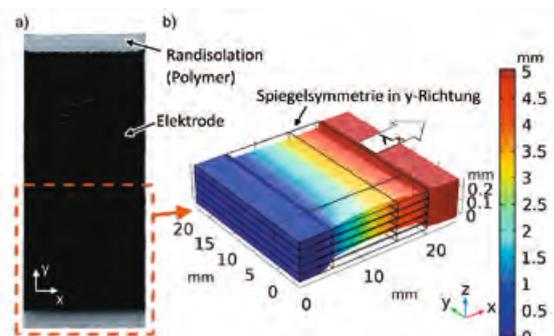


Abb. 4: DE-Streifenfaktor als a) Foto und b) FEM-Simulation.

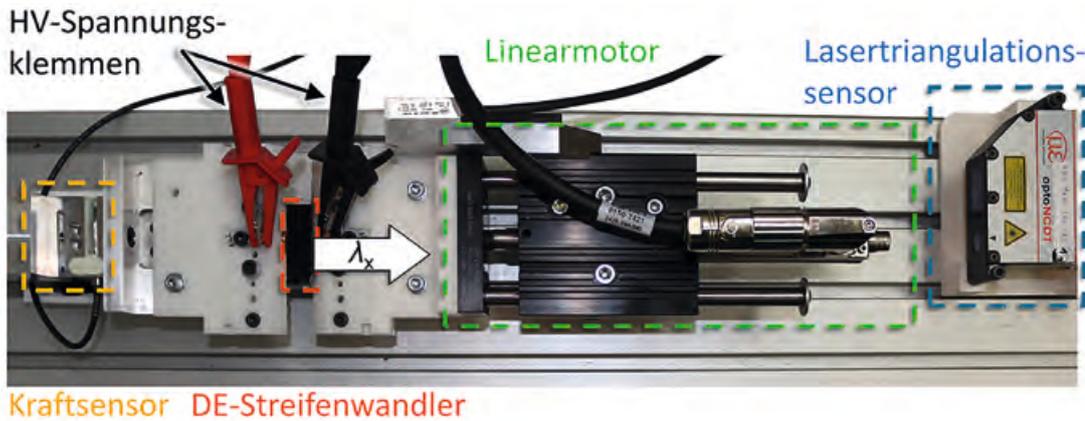


Abb. 5: Aufbau zur Charakterisierung mehrlagiger DE-Streifen-sensoren.

Die Messergebnisse sind in **Abb. 6** dargestellt und enthalten die Schätzung für  $C_p$  (blau), eine Approximation des funktionalen Zusammenhangs zwischen Streckung und Kapazität (orange) und eine analytische Berechnung (grün) für diesen uniaxialen Belastungsfall in x-Richtung.

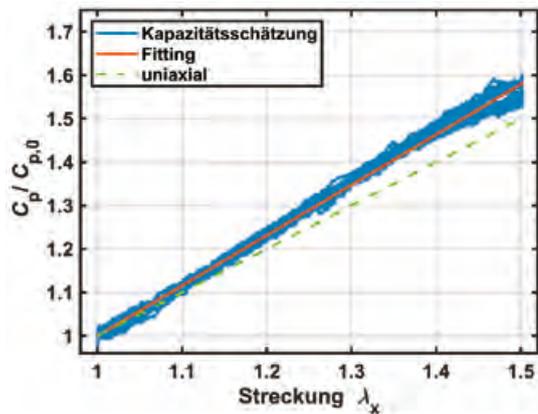


Abb. 6: Analytische Ergebnisse sowie Kapazitätsschätzung eines DE-Sensorstreifens.

### Selfsensing im Betrieb mit DE-Aktoren

Neben dem Betrieb des DE-Wandlers als reinen Sensor kann dieser auch als Aktor mit sensorloser Positionsschätzung eingesetzt werden. Dafür wird ein DE-Stapelwandler (siehe **Abb. 1b**) verwendet. Diese können aus mehreren hundert Lagen von aktiven Schichten bestehen. Die Polymerschichtdicken betragen hierbei je  $20 \mu\text{m}$  und weisen Abmessungen von  $20 \times 20 \times 8 \text{ mm}^3$  (BxLxH) auf, sind aber grundsätzlich anwendungsspezifisch wählbar.

Für die messtechnische Charakterisierung des Selfsensing-Konzeptes wurden Spannungspulse von 350 V auf 850 V mit einer überlagerten Sinusspannung von 10 V Amplitude und  $f = 100 \text{ Hz}$  er-

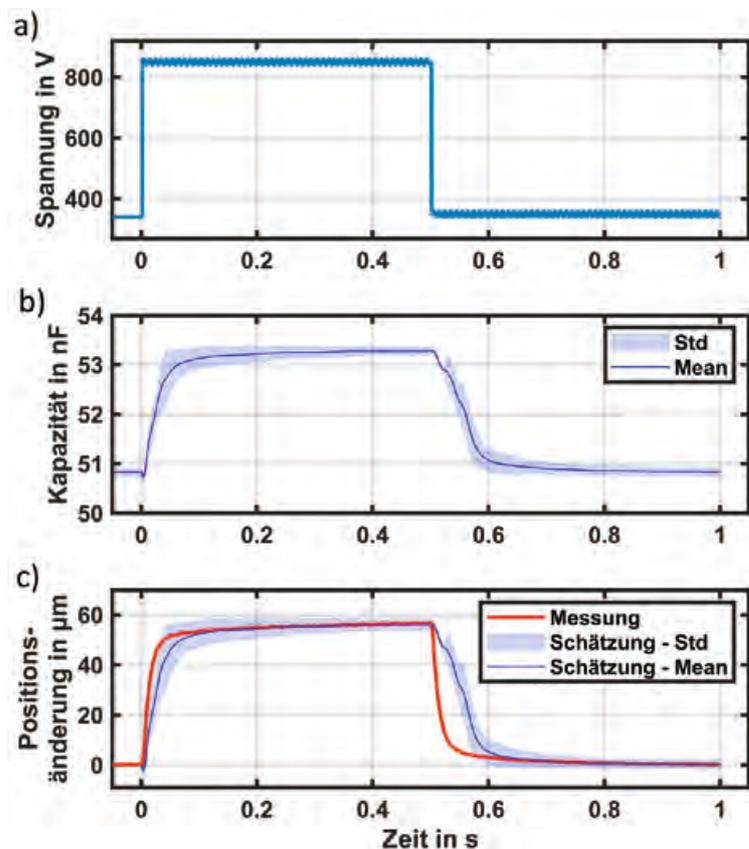


Abb. 7: Schätzergebnisse des Selfsensing-Betriebs mit DE-Stapelaktoren:  
a) vorgegebene Spannung,  
b) geschätzte Kapazität  $C_p$  und  
c) Gegenüberstellung der geschätzten und mit einem Lasergemessenen Positionsänderung.

zeugt (siehe **Abb. 7a**). Die Messung wurde über 60 s vorgenommen, sodass in den **Abb. 7b** und **Abb. 7c** jeweils der Mittelwert sowie die Standardabweichung von 60 einsekündigen Zeitintervallen abgebildet sind. Nach Gleichung (1) hängen die Kapazität und die Streckung funktional zusammen, sodass auch hier eine Bestimmung der Positionsänderung auf Basis der geschätzten Kapazität ohne mechanischen Sensor möglich ist. **Abb. 7c** zeigt das Resultat der Positionsschätzung im Vergleich zu einer Messung mit einem Laserdistanzsensor. Sowohl Schätzdynamik als auch stationärer Fehler sind für viele Anwendungen im Selfsensing-Betrieb von DE-Wandern ausreichend.

## Zusammenfassung

Dielektrische Elastomere können als Sensor, Aktor und auch als Generator verwendet werden. Durch die elektromechanische Kopplung kann mit Kenntnis der elektrischen Größen auf den mechanischen Verformungszustand geschlossen werden. Somit können DE-Wandler, wie gezeigt, als reiner Sensor oder aber als Aktoren im Selfsensing-Betrieb verwendet werden. Eine weitere Herausforderung ist, im geschlossenen Regelkreises die geschätzte Position als „virtuelles Messglied“ zu verwenden [2], um somit Kosten, Bauraum sowie Gewicht zu reduzieren.

*Der kombinierte Selfsensing-Betrieb von DE-Wandlern ist ein zentraler Forschungsgegenstand des FG Elektromechanische Konstruktionen an der TU Berlin. Dabei wird ein ganzheitlicher, modellbasierter Entwicklungsansatz über den gesamten Bereich der DE-Wandler verfolgt, ausgehend von der materialbasierten Herstellung maßgeschneiderter DE-Wandler unter Reinraumbedingungen über die elektromechanische Charakterisierung bis hin zu regelungstechnischen Entwürfen unter Verwendung selbstentwickelter Elektroniken für verschiedenste Anwendungen aus dem Industrie- und Konsumerbereich.* ■

Bei Interesse können Sie sich gerne an uns wenden.



## KONTAKT

### TECHNISCHE UNIVERSITÄT BERLIN

Institut für Maschinenkonstruktion und Systemtechnik  
 FG Elektromechanische Konstruktionen  
 Prof. Dr. Jürgen Maas  
 Hardenbergstraße 36  
 10623 Berlin  
[www.emk.tu-berlin.de](http://www.emk.tu-berlin.de)

## LITERATUR

- [1] Isermann, R. und Münchhof M.: Identification of Dynamic Systems, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2011.
- [2] Hoffstadt, Thorben: Modellierung und Regelung von dielektrischen Mehrschicht-Elastomerwandlern. Advances in Mechatronic Systems Band 1, Universitätsverlag der TU Berlin, Berlin, 2019.

### ANSPRECHPARTNER

Andreas Hubracht, M.Sc.  
[hubracht@tu-berlin.de](mailto:hubracht@tu-berlin.de)



# MAXIMALE OPTISCHE LEISTUNG AM IR-SENSOR DURCH INFRASOLID® IR-STRAHLER

Mit der patentierten Technologie von INFRASOLID® erreichen die Infrarotstrahler eine maximale Effizienz und optische Ausgangsleistung, insbesondere zwischen 2  $\mu\text{m}$  und 16  $\mu\text{m}$  Wellenlänge. Dies gelingt bereits bei relativ niedrigen Temperaturen der IR-Emitter von ca. 600 °C und hat den Vorteil einer hohen Langzeitstabilität und Lebensdauer. Pyroelektrische Detektoren profitieren dabei durch das höhere und stabilere optische Signal. Das führt zu exakteren Messsystemen und geringeren Wartungskosten.

Die Infrarotemitter von INFRASOLID® eignen sich optimal für pyroelektrische Detektoren auf Basis von Lithiumtantalat (LiTaO<sub>3</sub>) und Triglycinsulfat (TGS, DTGS, DLaTGS), die aufgrund ihrer hohen Leistung häufig als Sensormaterial in der IR-Spektroskopie und NDIR-Gasanalyse eingesetzt werden.

Die patentierte Technologie von INFRASOLID® liefert ein hohes optisches Ausgangssignal und einen maximalen Wirkungsgrad der IR-Emitter. Dies führt zu einem höheren und spektral homogenen Emissionsgrad als beispielsweise bei Globaren, die bisher häufig als Strahlungsquelle in IR-Spektrometern eingesetzt werden.

Der maximale Wirkungsgrad wird erreicht durch die doppelseitige nanostrukturierte Beschichtung und die freitragende Aufhängung des IR-Emitter-Filaments, was die Integration eines goldbeschichteten Reflektors ermöglicht, um die rückseitig emittierte Strahlung in den Strahlengang einzukoppeln. Diese doppelseitige Beschichtung des strah-

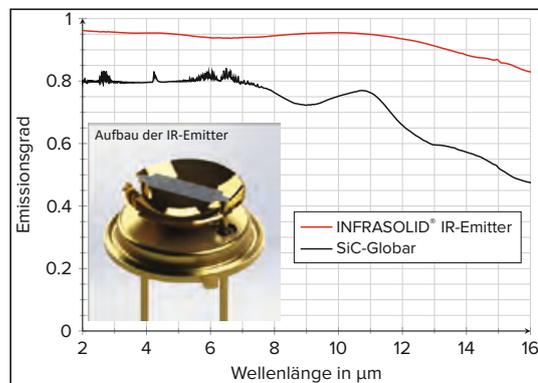


Abb.: Spektraler Emissionsgrad (Vergleich) und Aufbau der IR-Strahler von INFRASOLID®

lenden Filaments, der integrierte Reflektor und ein optionaler Winston Cone für zusätzliche Kollimierung der Infrarotstrahlung, maximieren das optische Signal am pyroelektrischen Detektor. In der Folge wird eine höhere Stabilität des Messsignals erreicht, was zu niedrigeren Wartungs- und Kalibrierkosten führt. Das hohe optische Ausgangssignal ermöglicht miniaturisierte IR-Spektrometer mit hoher Leistungsfähigkeit. ■

## KONTAKT

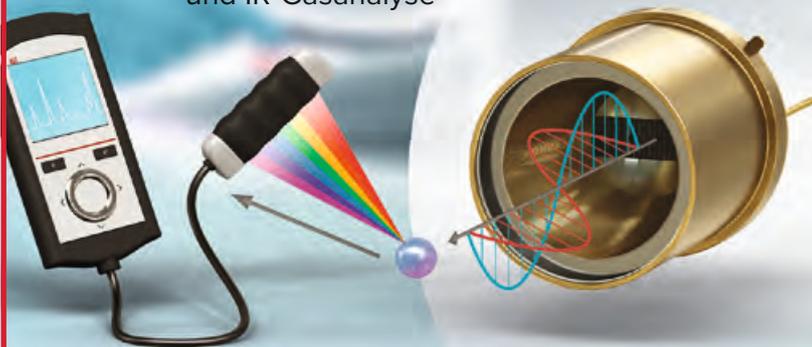
### INFRASOLID GMBH

Rainer Ihra  
Gostritzer Straße 61-67  
01217 Dresden  
Tel.: +49 (0) 351 8547-8031  
r.ihra@infrasolid.com  
www.infrasolid.com

MADE  
IN GERMANY

## Effizientester TO-8 Emitter

Upgrade für z.B. FTIR-Spektroskopie  
und IR-Gasanalyse



## INFRASOLID®

Infrasolid GmbH · Gostritzer Str. 61 · 01217 Dresden

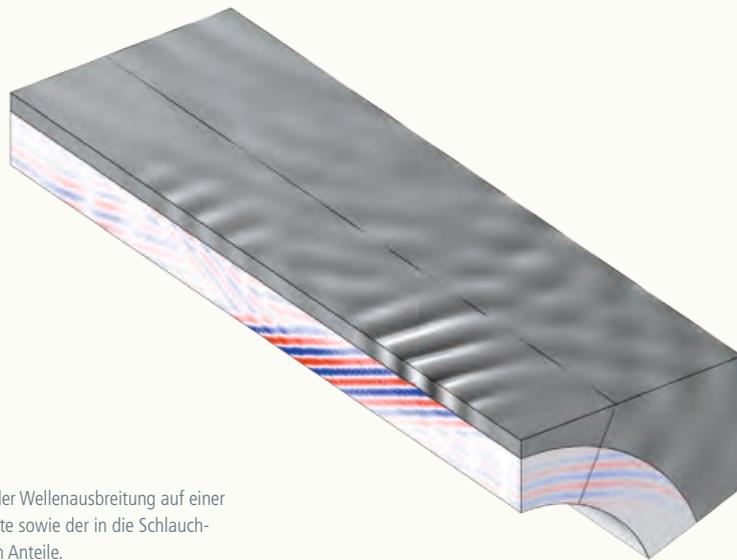
- ☉ Breitbandige Emission im Wellenlängenbereich 2-16  $\mu\text{m}$  (Emissionsgrad > 0,9)
- ☉ Hohe optische Ausgangsleistung (bis zu 1 W)
- ☉ Höchste Effizienz (bis zu 50 % Wirkungsgrad)

**Thermische Infrarot-Emitter**  
für beste Detektions- und Spektroskopie-Systeme

[www.infrasolid.com](http://www.infrasolid.com)

# SIMULATIONSGESTÜTZTE ENTWICKLUNG ULTRASCHALLBASIERTER SENSORSYSTEME ZUR NICHT-INVASIVEN SCHICHTDETEKTION IN SCHLÄUCHEN

Florian Dötzer, Prof. Dr. Klaus Stefan Drese



**Abb. 1:** Simulation der Wellenausbreitung auf einer Clamp-On-Manschette sowie der in die Schlauchwand auskoppelnden Anteile.

In weiten Teilen der Industrie treten spezifische sensorische Problemstellungen auf, die nicht durch kommerziell erhältliche Komponenten abgedeckt werden können und daher individueller Lösungen bedürfen. Besonders in Fällen, in denen Standardverfahren nicht anwendbar sind, kommt der simulationsgestützten Entwicklung besondere Bedeutung zu. Diese ermöglicht auch die Untersuchung komplexer Zusammenhänge, welche nicht vollständig durch mathematische Modelle oder Erfahrungswerte beschrieben werden können.

Das Institut für Sensor- und Aktortechnik (ISAT) der Hochschule Coburg befasst sich bereits seit seiner Gründung mit der Entwicklung solcher innovativer Sensorlösungen, insbesondere im Bereich Ultraschall und geführter akustischer Wellen. In Kooperation mit Unternehmen werden so Lösungen für Anwendungen in unterschiedlichsten Branchen entwickelt.

Im Folgenden soll exemplarisch die Weiterentwicklung eines nachrüstbaren, nicht-invasiven Ultraschallsensors für die Detektion von Schichtablagerungen in Schläuchen vorgestellt werden. Ablagerungen sollen somit rechtzeitig erkannt werden, um Reinigungszyklen zu optimieren und dadurch Ressourcen einzusparen.

### Ultraschallbasierte Schichtdetektion

Während für die Erkennung von Ablagerungen in Leitungen prinzipiell verschiedene Messmethoden existieren, stellt die Ultraschallsensorik eine der wenigen Methoden dar, bei der die eingesetzte Hardware nicht in unmittelbarem Kontakt mit der Flüssigkeit im Inneren der Leitung stehen muss. So können beispielweise auch optisch undurchsichtige Rohr- oder Schlauchwände von den akustischen Signalen durchdrungen werden.

Bei nachträglich anbringbaren Clamp-On Sensoren für Durchfluss- und Schichtmessungen in Rohrleitungen werden typischerweise geführte akustische Wellen direkt in der Rohrwand angeregt, welche somit unmittelbar mit vorhandenen Schichtbelegungen wechselwirken und für die Durchflussmessung in das Fluid auskoppeln können. Bei Schläuchen ist dies hingegen häufig nicht möglich, da sich Ultraschall in dem weichen Schlauchmaterial ähnlich wie in einem Fluid ausbreitet. Eine mögliche Lösung besteht dagegen in dem Anbringen einer Manschette an den Schlauch, auf welcher stattdessen die geführten akustischen Wellen angeregt werden. Diese können teilweise auch in die Schlauchwand auskoppeln, sie durchdringen und somit mit der Schicht an der Innenseite des Schlauches wechselwirken. Aufgrund der ähnlichen akustischen Impedanz der Schlauchwand und Wasser wird die in den Schlauch auskoppelnde Welle an der Grenzfläche zum Fluid nur sehr schwach reflektiert und somit fast vollständig in das Fluid abgestrahlt. Bildet sich jedoch eine Kalkschicht an der Schlauchwand, kommt es zu einer zunehmenden Reflexion der einfallenden Welle. Die reflektierten bzw. transmittierten Anteile können anschließend auf der gleichen bzw. gegenüberliegenden Seite des Sensors wieder in die Manschette einkoppeln und mit weiteren Schallwandlern empfangen werden.

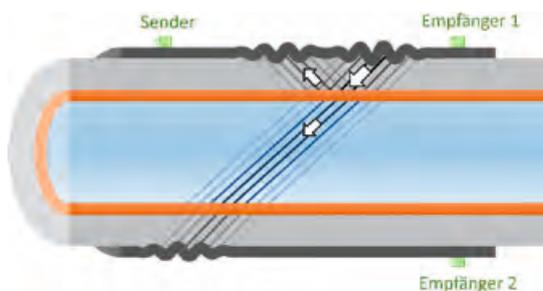


Abb. 2: Schematische Darstellung der Schallausbreitung beim vorliegenden Clamp-On Schlauchsensor.

Der Einsatz geführter akustischer Wellen birgt dabei zwei wesentliche Vorteile. Die Ankopplung

der Clamp-On-Manschette über eine vergleichsweise lange Strecke ermöglicht zum einen eine gute Koppelleffizienz trotz des unvermeidbaren, durch das Schlauchmaterial bedingten großen Impedanzunterschiedes. Zum anderen trägt die hierdurch vergrößerte vom Sensor überwachte Fläche positiv zu der Robustheit des Messsystems bei.

Ein solcher Sensor wurde bereits am Institut konzipiert und soll nun simulationsgestützt für den industriellen Einsatz weiterentwickelt werden. Die wesentlichen Entwicklungsschritte sowie ein Vergleich des ursprünglichen Sensors mit der optimierten Variante sind nachstehend beschrieben.

### Erkennung von Kalkschichten im Experiment

Um für die Validierung der akustischen Sensorik im Labor Schichten abzuscheiden, wird ein Schlauch mit einer gesättigten Kalklösung durchspült. Binnen weniger Tage bilden sich so Kalkschichten von einigen Mikrometern Dicke aus.

Die ausgesendeten akustischen Signale bestehen aus einzelnen kurzen Impulsen mit einer Dauer von wenigen Schwingungsperioden. Betrachtet man den zeitlichen Verlauf der empfangenen akustischen Signale, ist mit etwas Zeitversatz gegenüber dem Schwerpunkt der Wellengruppe eine mit der Versuchsdauer zunehmende Änderung gegenüber dem ursprünglichen Signal zu erkennen. Nach einer Entkalkung des Systems kehrt das akustische Signal auf den Ausgangszustand zurück, die beobachtete Änderung entspricht also der an der Kalkschicht reflektierten Welle. Auch mit dem ursprünglichen, noch nicht optimierten Sensor können also bereits Rückschlüsse auf Schichtbelegungen gezogen werden.

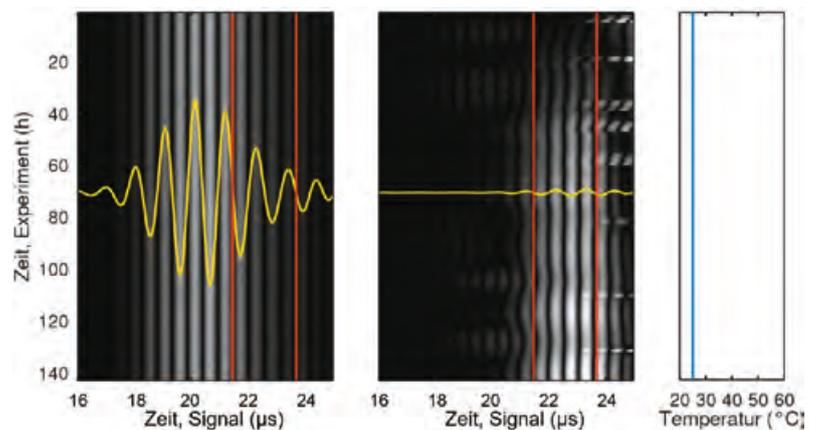


Abb. 3: Empfangene Signale mit dem ursprünglichen Sensor (links), Differenz zum Referenzsignal ohne Schicht (mitte) und Temperaturverlauf (rechts). Zeitfenster der Reflexion (rot) und Signal bzw. Differenzsignal (gelb).

Da die Reflexion an der Kalkschicht im Signal zeitlich mit der direkt entlang der Manschette laufenden Wellengruppe überlappt, muss für die Auswertung ein Referenzsignal ohne Schichtbelegung abgezogen werden. Die Temperaturabhängigkeit des Referenzsignals erlaubt eine solche Auswertung jedoch nur in einem vergleichsweise schmalen Temperaturbereich (z.B. Raumtemperatur).

Im Rahmen eines Forschungsprojektes soll nun durch die simulationsgestützte Weiterentwicklung des Sensors der nutzbare Temperaturbereich erweitert und die Sensitivität weiter verbessert werden.

**Robuste Sensorik durch modenreine Signale**

Die in den Signalen beobachteten Überlagerungen sind ein häufiges und bei der Entwicklung von Ultraschallsensoren zu berücksichtigendes Phänomen. Die zugrundeliegenden Ursachen sind dabei vielfältig.

Eine häufige Quelle störender Signalanteile sind Reflexionen, die an Grenzflächen bzw. Rändern, Störstellen oder auch an den Schallwandlern selbst auftreten können. Bei geführten akustischen Wellen kann es außerdem zur Ausbildung einer Vielzahl von Schwingungsmoden kommen, deren unterschiedliche Schallgeschwindigkeiten entsprechend mehrere Wellengruppen im Empfangssignal zur Folge haben. Schließlich können auch Resonanzeffekte in den Schallwandlern zu einem verlängerten Nachschwingen und damit zu einem Überlappen von Wellengruppen führen.

Um ein robustes Messsignal zu erhalten, soll bei der weiterentwickelten Sensorlösung ein Überlappen der Signalanteile aus den relevanten Schallpfaden vermieden werden. Die maßgeblichen Designparameter stellen hierbei die Arbeitsfrequenz sowie die Plattendicke der Clamp-On-Manschette dar.

Den unmittelbarsten Einfluss hat dabei die Frequenz - erhöht man diese, verbessert sich die Trennung der Wellengruppen, da sich die Periodendauer und damit die Ausdehnung jeder einzelnen Wellengruppe entsprechend verkürzt. Die Plattendicke, bzw. das Frequenz-Plattendicke-Produkt beeinflusst bei geführten akustischen Wellen dagegen die Schallgeschwindigkeit und damit auch den Auskoppelwinkel in den Schlauch. Auch bei niedrigen Frequenzen können durch entsprechend kleine Plattendicken ausreichend große Laufzeitunterschiede erzielt werden.

Ein solches Design stellt jedoch hohe Anforderungen an die Fertigungsgenauigkeit, da die Plattendicke und damit Schallgeschwindigkeit der geführten akustischen Welle sehr genau auf die Schallgeschwindigkeit in der Schlauchwand abgestimmt sein muss. Die dabei auftretenden flachen Auskoppelwinkel und somit langen Wege durch die Schlauchwand führen außerdem zu einer erhöhten Signaldämpfung.

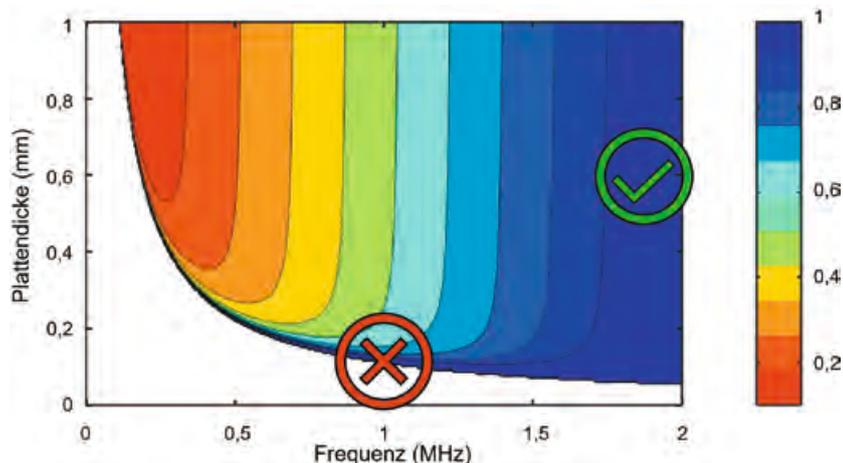
Während auch der Einsatz höherer Frequenzen mit erhöhter Dämpfung einhergeht, erhält man dadurch einen robusten Arbeitspunkt, der auch eine Verwendung an verschiedenen Schläuchen mit unterschiedlichen Schallgeschwindigkeiten erlaubt. Gleichzeitig stellt dies jedoch größere Anforderungen an die zugehörige Elektronik. Im Megahertz-Bereich kann dies den Unterschied zwischen günstigen Standardkomponenten und entsprechend hochpreisigen Alternativen machen.

**Simulationsgestütztes Design**

Neben eines ausreichenden zeitlichen Abstandes der Wellengruppen gilt es also eine ganze Reihe weiterer Kriterien wie die Signaldämpfung, die Robustheit gegenüber Fertigungstoleranzen und Kompatibilität mit möglichst vielen Schlauchmaterialien zu optimieren. Nicht zuletzt soll der Sensor auch eine möglichst hohe Sensitivität für Schichtbelegungen aufweisen. Obwohl also im vorliegenden Fall nur zwei Designparameter - die Dicke der Manschette sowie die Arbeitsfrequenz - festgelegt werden müssen, handelt es sich um ein kompliziertes System mit vielen zu betrachtenden, oft nichtlinearen Abhängigkeiten. Dies ist eine Problemstellung, die sehr gut für eine simulative Parameterstudie geeignet ist.

Für die Entwicklung des neuen Sensors wurde also das Gesamtsystem bestehend aus Manschette, Schlauchwand, Schicht und Flüssigkeit in einer FEM-Simulation nachgebildet. Die Bereitstellung

Abb. 4: Zeitlicher Abstand zwischen der direkt auf der Manschette laufenden und der an der Kalkschicht reflektierten Welle, normiert auf eine Dauer von fünf Schwingungsperioden. Instabiler Arbeitspunkt bei niedriger Frequenz (rot), robuster Arbeitspunkt bei hoher Frequenz (grün).



der relevanten Materialparameter stellt dabei oft eine Herausforderung dar. Da es sich bei Schläuchen nicht um akustische Werkstoffe handelt, spezifizieren die jeweiligen Hersteller üblicherweise keine entsprechenden Materialeigenschaften. Auch Kalkschichten können je nach zugrundeliegendem Entstehungsprozess unterschiedliche Eigenschaften aufweisen, wodurch entsprechend variierende Literaturangaben existieren. Um aussagekräftige Simulationsergebnisse zu erhalten, mussten die relevanten Parameter daher zuerst in geeigneten Versuchsreihen bestimmt werden.

Mithilfe der Simulationen können dann jedoch theoretische Erwartungen überprüft und manchmal auch zuvor nicht berücksichtigte Effekte festgestellt werden. Da die Simulation zudem nicht nur abstrakte Werte und Kennzahlen, sondern neben den vollständigen akustischen Signalen auch die experimentell schwer zugängliche, ortsaufgelöste Wellenausbreitung in allen Gebieten aufzeigt, wird die Suche nach einem guten Kompromiss bedeutend vereinfacht. So konnte schließlich ein Sensordesign identifiziert werden, das eine akzeptable Signaldämpfung mit zeitlich separierten Wellengruppen und einer guten Schichtempfindlichkeit vereint.

**Wellenleiter**

Neben der Wellenausbreitung in der bisher betrachteten Schnittebene spielen in der Praxis auch die sich transversal auf der Clamp-On-Manschette ausbreitenden Wellen eine Rolle. So kann es bei ungünstiger Auslegung zu störenden Reflexionen an den Kanten der Manschette kommen.

Dies kann durch ein entsprechend gestaltetes, als Wellenleiter wirkendes Querschnittsprofil verhindert werden. Möglich ist dies durch die von der Plattendicke abhängende Schallgeschwindigkeit der geführten Wellen. Wenn diese im Zentrum geringer ausfällt als in den Randbereichen, entspricht die Wirkung der einer Glasfaser - die Welle wird in einem räumlich begrenzten Bereich geführt.

Je nach Auslegung des Wellenleiters bzw. der Schallwandler können außerdem eine oder mehrere Transversalmoden geführt bzw. angeregt werden. Im Falle mehrerer Moden kommt es, vergleichbar zu der Anregung mehrerer Plattenmoden, wieder zu einer Überlagerung mehrerer Wellengruppen und folglich unsaubereren Gesamtsignalen.

Simulationen sowie Messungen an der Außenseite der Clamp-On-Manschette mithilfe eines

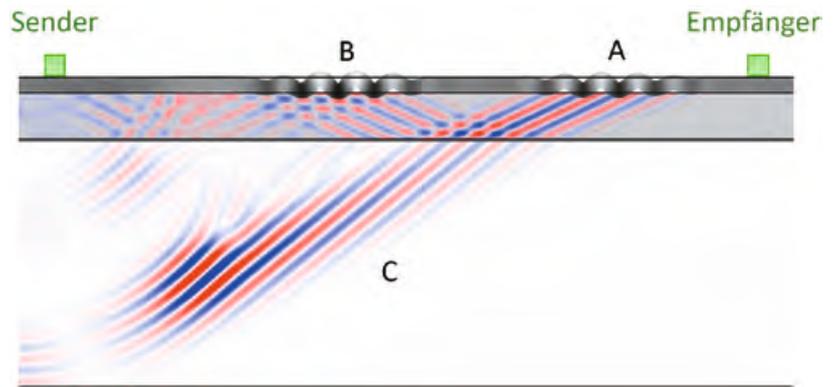


Abb. 5: Momentaufnahme des Wellenfeldes in der Simulation mit direkt auf der Manschette laufenden (A), an der Kalkschicht reflektierten (B) und in das Fluid auskoppelnden (C) Anteilen.

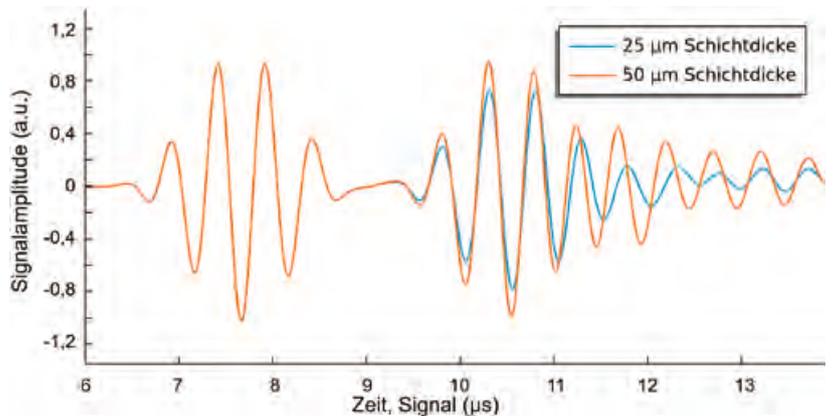


Abb. 6: Simulierte akustische Empfangssignale für Kalkschichten mit einer Dicke von 25 µm (blau) und 50 µm (orange).

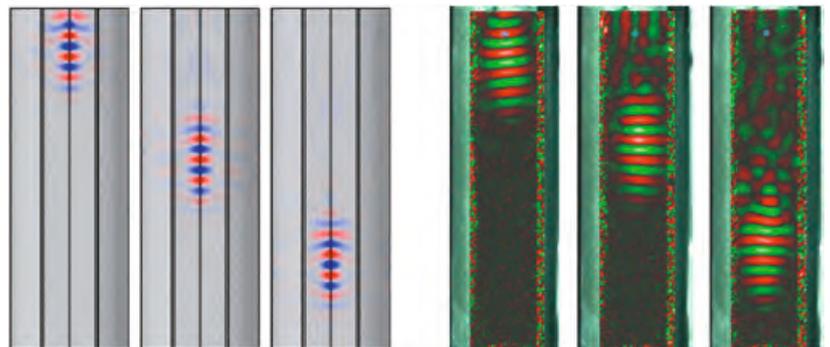


Abb. 7: Schallausbreitung im Wellenleiter in der Simulation (links) und im Experiment (rechts).

Scanning-Laser-Doppler-Vibrometers zeigen übereinstimmend, dass bei geeigneter Auslegung nur eine Mode des Wellenleiters angeregt wird und Randreflexionen dadurch effektiv unterdrückt werden können.

**Wandlerdesign**

Nach der Festlegung aller Parameter der Clamp-On-Manschette gilt es schließlich, geeignete pi-

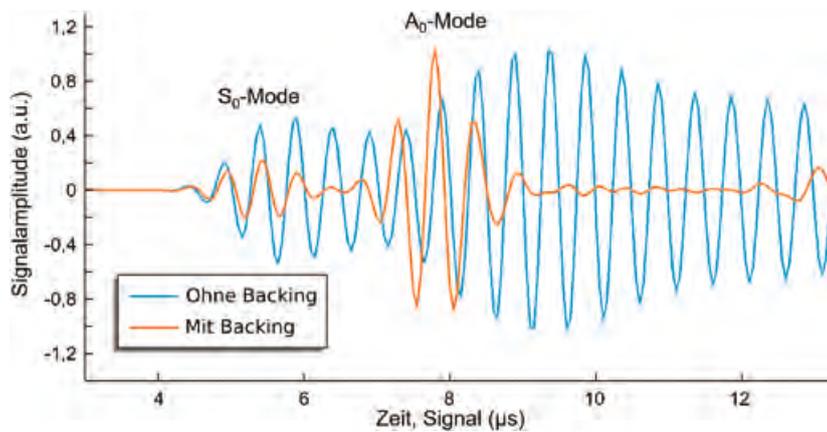


Abb. 8: Simulierte Empfangssignale ohne (blau) und mit (orange) geeignetem Backing.

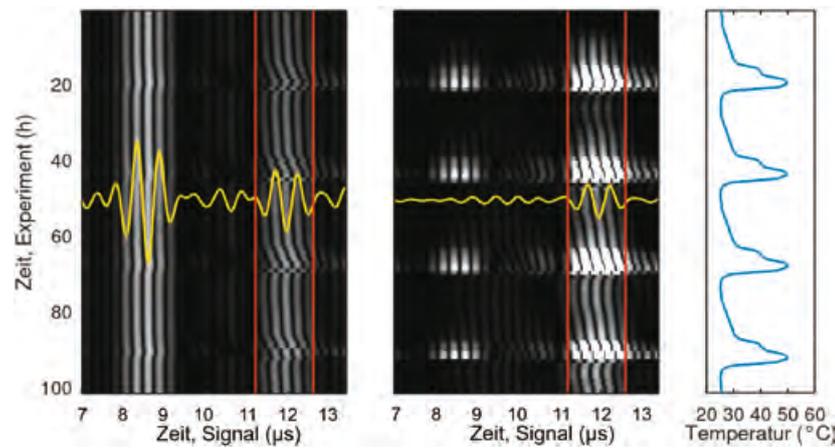


Abb. 9: Empfangene Signale mit dem neuentwickelten Sensor (links), Differenz zum Referenzsignal ohne Schicht (mitte) und Temperaturverlauf (rechts). Zeitfenster der Reflexion (rot) und Signal bzw. Differenzsignal (gelb).

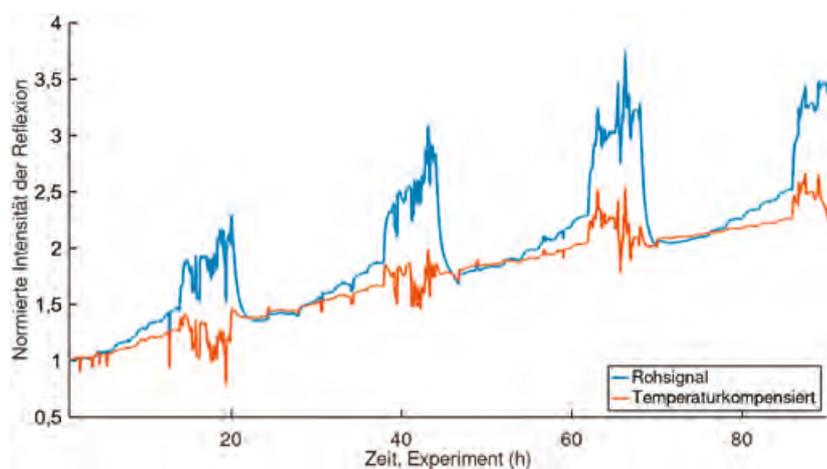


Abb. 10: Zeitverlauf der Intensität der Reflexion an der Kalkschicht vor (blau) und nach Temperaturkompensation (orange).

gewünschte Richtcharakteristik bestimmt. Im vorliegenden Fall sollte die Wandlerbreite eine gute Übereinstimmung mit dem Modenprofil der im Wellenleiter anzuregenden Transversalmode aufweisen, um diese modenrein anzuregen.

Die Resonanzeigenschaften werden dagegen maßgeblich durch die Höhe der Piezokeramik bestimmt, da die zu betrachtende Resonanz durch Reflexionen zwischen der Ober- und Unterseite des Wandlers entsteht. Dies kann ebenfalls in der Simulation abgebildet werden, um die Auslegung eines geeigneten Backings zu erleichtern. Durch geeignete Materialwahl und Geometrie des Backings konnte dabei das Ausschwingen drastisch reduziert sowie zusätzlich die Amplitude der parasitär angeregten S0 Mode verringert werden. Beide Effekte bestätigten sich auch in einem entsprechenden Experiment.

### Resultate

Der optimierte Sensor wurde, wie zuvor auch der ursprüngliche Sensor, in einer Versuchsreihe zur Bildung einer Kalkschicht getestet. Insbesondere die verringerte Temperaturempfindlichkeit galt es dabei zu evaluieren und für die verbleibenden Temperatureffekte entsprechende Korrekturkennlinien zu identifizieren. In einem Temperaturprüfschrank wurde hierzu fortwährend ein Temperaturzyklus gefahren, während in regelmäßigen Abständen die akustischen Signale aufgenommen wurden. Durch das Redesign des Sensors sind die direkt laufende und die an der Kalkschicht reflektierte Wellengruppe nun klar voneinander abgegrenzt. Obwohl bei beiden Wellengruppen Temperaturabhängigkeiten erkennbar sind, ist eine Auswertung noch immer problemlos möglich, da es zu keinen unkontrollierten Interferenzen kommt.

Auch die eigentliche Messgröße - die Intensität der Reflexion - zeigt einen eindeutigen Langzeit-trend: die Reflektivität der wachsenden Kalkschicht nimmt fortlaufend zu.

Bezieht man die Temperaturen in die Auswertung mit ein, lässt sich die zugehörige Korrekturkennlinie ableiten und ein temperaturkompensiertes Ergebnis berechnen. Die im Experiment entstandenen Schichtdicken wurden mit Referenzmethoden bestimmt und betragen rund 5 µm. In einer späteren Anwendung soll die Temperatur direkt aus der Laufzeitverschiebung der entlang der Manschette laufenden ersten Wellengruppe bestimmt werden, wodurch ein zusätzlicher Temperaturfühler entfallen kann.

ezokeramische Schallwandler zu dimensionieren. Die Länge und Breite des Wandlers werden bei Verwendung der Dickenschwingung üblicherweise durch die anzuregende Wellenlänge und

## Zusammenspiel aus Theorie, Simulation und Experiment

Aufgrund der besonderen Eigenschaften geführter akustischer Wellen ergeben sich häufig komplexe Zusammenhänge mit vielen zu berücksichtigenden Effekten. Besonders in solchen Fällen können die Entwicklungsarbeiten durch Simulationen oft erheblich erleichtert werden.

Dabei sollten Simulationen jedoch nicht isoliert betrachtet werden, sondern als Ergänzung zu experimentellen Untersuchungen und theoretischen Modellen angesehen werden. Nur wenn diese in Einklang gebracht werden, können Fehler in den einzelnen Herangehensweisen erkannt und korrigiert werden. In Simulationen können Fehler beispielsweise durch unzutreffende Materialmodelle oder unzureichende Rechengenauigkeit auftreten, während theoretische Modelle oft bei der Beschreibung komplexer geometrischer Strukturen an ihre Grenze stoßen. In Experimenten stellen dagegen die Identifizierung und Vermeidung von systematischen und statistischen Störgrößen eine Herausforderung dar. So können sich die unterschiedlichen Betrachtungswinkel auf ein und das selbe Problem oft gegenseitig ergänzen.

Im hier dargestellten Entwicklungsprozess konnte dadurch die angestrebte Verbesserung der Robustheit des Clamp-On Schlauchensors erfolgreich umgesetzt werden. Im Vergleich zum ursprünglichen Design kann der weiterentwickelte Sensor nun auch in einem breiten Temperaturbereich zur Erkennung von nur wenigen Mikrometern dicken Schichten eingesetzt werden.

Das vorgestellte Forschungsprojekt wurde vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) aufgrund eines Beschlusses des deutschen Bundestags im Rahmen des Programmes „WIPANO – Wissens- und Technologietransfer durch Patente und Normen“ gefördert (FKZ: 03THWBY001). ■

## KONTAKT

---

### ISAT – INSTITUT FÜR SENSOR- UND AKTORTECHNIK

Prof. Dr. Klaus Stefan Drese

Am Hofbräuhaus 1b, 96450 Coburg

Tel.: +49 (0) 9561 317-437, [isat-info@hs-coburg.de](mailto:isat-info@hs-coburg.de)

[www.isat-coburg.de](http://www.isat-coburg.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 ent-

scheidend 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 AG FÜR DRUCKMESSTECHNIK

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

# SIKO GMBH – SENSOREN UND POSITIONIER-SYSTEME FÜR INDUSTRIE UND MASCHINENBAU

SIKO steht heute für fünf Jahrzehnte Erfahrung unterschiedlichster Messaufgaben: Längenmesstechnik, Winkelmesstechnik, Drehzahlmesstechnik sowie das Messen von Neigung oder Geschwindigkeit. Aufbauend auf diese Kernkompetenz entwickelt und produziert SIKO Sensoren und Positioniersysteme für Automatisierungsprozesse. Höchste Ansprüche unserer Kunden aus der Industrie und dem Maschinenbau führen zu Qualität, Präzision und Funktionalität der Produkte und Serviceleistungen.

Die Fertigung am Standort Deutschland – ein Vorteil, den wir gerne weitergeben. SIKO setzt auf eine ressourcenschonende Produktion, die aufgrund ihrer hoch entwickelten Mechanismen in der Lage ist, Kundenwünsche durch eine eingespielte On-Demand-Produktion termingerecht umzusetzen. Ein hoher Automatisierungsgrad trifft in vielen Bereichen auf spezialisierte Handarbeit. Die SIKO GmbH fertigt traditionell am Standort Deutschland und in der Schweiz. Heute und in Zukunft gilt: Made in Germany / Swiss made.

Bei SIKO finden Sie motivierte Mitarbeiter, die sich mit den von ihnen gefertigten Produkten persönlich identifizieren. Das nötige technische Know-how und eine Portion Stolz auf die eigenen Produkte sind ein nicht zu unterschätzender Faktor. Ergänzend hierzu bietet SIKO ihren Mitarbeitern moderne Arbeitsplätze und ein umfangreiches Paket an Sozialleistungen. Auch steht die Förderung



der abteilungsübergreifenden Kommunikation im Vordergrund. Teamarbeit und die Wertschätzung jedes einzelnen Mitarbeiters sind Grundwerte die bei SIKO gelebt werden. Nur mit diesem Spirit fertigt man hervorragende Produkte, bei denen auch „die letzten 2 %“ stimmen.

Das SIKO Produktportfolio umfasst ein breites Spektrum an Lösungen. Digitale Positionsanzeigen und Handräder, Drehgeber, Getriebepotentiometer und Messanzeigen. Seilzuggeber, Positionierantriebe sowie magnetische Messsysteme. ■

## KONTAKT

### SIKO GMBH

Am Krozinger Weg 2  
79189 Bad Krozingen  
Tel.: +49 (0)7661 394-0  
info@siko-global.com  
www.siko-global.com

## SENSOREN & POSITIONIERSYSTEME

MAGNETISCHE MESSTECHNIK

POSITIONSANZEIGEN

STELLANTRIEBE

SEILZUGGEBER



SIKO, ein starker Partner für Industrie und Maschinenbau

- Kompetenz in Sensoren und Positioniersystemen seit 1963
- Jahrzehntelange Erfahrung im Bereich Längen-, Winkel- und Drehzahlmesstechnik
- Individuelle Anpassungen und Entwicklungen für unsere Kunden
- Weltweiter Support durch Tochtergesellschaften und lokale Vertretungen



SIKO GmbH, [www.siko-global.com](http://www.siko-global.com)

# GEBALLTE EXPERTISE: HBM UND BRÜEL & KJÆR HEISSEN JETZT HBK

Seit vielen Jahrzehnten vertrauen zahlreiche Branchen auf die hochpräzisen Technologien und das Know-how von HBM und Brüel & Kjær in der Prüf- und Messtechnik. Als Synonym für Innovation und Qualität schlossen sich diese beiden renommierten Marken im vergangenen Jahr zu HBK (Hottinger Brüel & Kjær) zusammen.



Dieser strategisch wichtige Schritt bietet Anwendern und Kunden ein noch breiteres, komplettes Portfolio an Angeboten und Lösungen – jetzt aus einer Hand. Das umfangreiche HBK-Angebot vereint die physische Welt der Sensoren, Tests und Messungen mit der digitalen Welt der Simulation, Modellierungssoftware und Analyse. Dies ermöglicht Ingenieuren, die Innovation in jeder Phase des Produktentstehungsprozesses mit gestrafften Entwicklungszyklen voranzutreiben - und hilft Produkte schneller auf den Markt zu bringen. Das spart Zeit und Geld.

HBK arbeitet mit Ingenieuren aus einer Vielzahl von Branchen zusammen, u.a. die Automobil-, Luft- und Raumfahrtindustrie, die Telekommunikationsindustrie, sowie die Lebensmittel- und Pharmaindustrie, um die Wettbewerbsfähigkeit von Unternehmen und die Qualität ihrer Produkte zu steigern. Das Angebot von HBK umfasst alles rund um das Thema Sensoren und Datenerfassung über Datenaufbereitung und -auswertung bis hin zu Engineering-Dienstleistungen sowie softwaregesteuerte Lösungen, die die digitale Transformation und branchenführende Spitzenleistun-

gen bei Hardwaresystemen erleichtern. In einer zunehmend digitalen Welt benötigen Ingenieure hochpräzise, integrierte Lösungen, um das Beste aus ihren Produkten zu holen und diese schneller auf den Markt zu bringen.

HBK bietet ein komplettes Portfolio an Technologien, die in der Lage sind, den gesamten Produktlebenszyklus vom Design über den Test von Prototypen bis hin zum Betrieb zu begleiten. Dazu zählen physikalische und virtuelle Tests für eine innovative Forschung und Entwicklung, Inline-Messungen und End-of-Line-Tests für Fertigungskontrolle und Effizienz aber auch In-Product-Sensorik und In-Service-Überwachung zur Maximierung der Produktqualität für OEMs. Auf der einen Seite bedeutet es, dass den Ingenieuren die Werkzeuge zur Verfügung stehen, die sie benötigen, um Entwicklungszyklen zu beschleunigen und gleichzeitig die Produktionseffizienz und -qualität zu erhalten. Andererseits können OEMs die Leistung durch hochentwickelte produktinterne Messungen und Überwachung kontinuierlich und zuverlässig optimieren.

Das gesamte Lösungsangebot umfasst:

- Engineering-Software für Zuverlässigkeit, Betriebsfestigkeit und Leistung
- Analyse von Leistung und Wirkungsgrad
- Kraft- und Lastmessung
- Drehmomentmessung
- Schwingungsmessung
- Dehnungsmessung
- Schallmessung
- Druckmessung

Ein umfangreiches On- und Offline-Seminarprogramm sowie ein breites Service- und Kalibrier-Angebot runden das Portfolio von Hottinger Brüel & Kjær ab.

[www.hbkworld.com](http://www.hbkworld.com) // [www.hbm.com](http://www.hbm.com) // [www.bksv.com](http://www.bksv.com)

## KONTAKT

### HOTTINGER BRÜEL & KJÆR GMBH

Im Tiefen See 45  
64293 Darmstadt  
Tel.: +49 (0) 6151 803 0  
[info.de@hbkworl.com](mailto:info.de@hbkworl.com)  
[www.hbkworld.com](http://www.hbkworld.com)



QUANTUMX MXFS

# Exzellenz in der optischen Messtechnik

QuantumX MXFS macht optische Messungen einfach, flexibel und wettbewerbsfähig – ganz nach Ihren Anforderungen. Es bietet Ihnen alle Vorteile der auf optischer Messtechnik basierenden BraggMETER-Technologie: Messung verschiedener Sensortypen, hohe Zuverlässigkeit und qualitativ hochwertige Messungen über große Entfernungen.



Jetzt schon vormerken!  
[www.sensor-test.com](http://www.sensor-test.com)



Willkommen zum

# Innovationsdialog!



## SENSOR+TEST DIE MESSTECHNIK - MESSE

Nürnberg

10. - 12. Mai 2022

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](mailto:info@sensor-test.com)

# ZUKUNFTSSICHERE TECHNOLOGIE: VORTEILE INTELLIGENTER SENSORKONNEKTIVITÄT

Die Zukunft der Sensorik ist da – die Digitalisierung hat die Branchen weltweit revolutioniert und Möglichkeiten für Unternehmen geschaffen, den Betrieb zu optimieren, immer strengere Standards für Energieeffizienz zu erfüllen und sich auf die nächste Welle industrieller Innovation vorzubereiten. Mit der Einführung der Smart Sensors™-Plattform und des Edix™- Kommunikationstools hat Danfoss Sensing Solutions eine solide Grundlage für Sensortechnologien geschaffen, die es Kunden ermöglichen, auf Lese- und Schreib-, Diagnosefunktionen und technischen Remote-Support zuzugreifen.

Da die Urbanisierung und Globalisierung Druck auf die Primärindustrien ausüben, um eine höhere Energieeffizienz zu erreichen, die Anwendungssicherheit zu erhöhen und den Betrieb zu optimieren, besteht kein Zweifel daran, dass immer mehr Sensoren in der Fabrik, in der Produktion oder am Anwendungsstandort intelligent, vernetzt und IoT-fähig sein müssen.

„Wir glauben, dass die Übernahme der Führungsposition in der intelligenten Sensortechnologie damit beginnt, schon heute zukunftsfähig zu sein. Die Danfoss Smart Sensors™-Plattform eröffnet völlig neue Möglichkeiten auf dem digitalen Weg, sodass Unternehmen mit weniger Ressourcen mehr erreichen können“, erklärt Bert Labots. Intelligente Sensoren spielen eine wichtige Rolle bei der Implementierung von Konnektivität. Sie

ermöglichen es Unternehmen, ehrgeizige Optimierungsziele zu erreichen und gleichzeitig die Anforderungen an mehr Effizienz und Sicherheit zu erfüllen. Bert Labots fährt fort: „Wir sehen ein wachsendes Interesse daran, wie maschinelles Lernen und KI-Algorithmen die Maschinenintelligenz durch vorausschauende Wartung, Algorithmen zur Überwachung des Maschinenzustands und neue Wege zur Steigerung der Systemleistung verbessern können.“

Und wir wissen, dass intelligente Sensoren entscheidend für die Nutzung von Konnektivität sind, um mit der Entwicklung der Technologie Schritt halten zu können.“

## KONTAKT

### DANFOSS GMBH

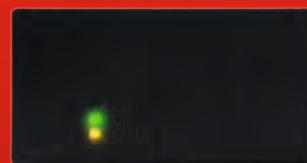
Carl-Legien-Straße 8  
63073 Offenbach/Main  
Tel.: +49 (0) 69 80885400  
cs@danfoss.de  
ia.danfoss.de

Mit der neuen Danfoss **Smart Sensors™-Plattform** erhalten Sie jetzt relevante Lese- und Schreibfunktionen – all dies über die drahtlose intuitive **Edix™ Smart Sensor Web-App**.

- Kürzere geschäftskritische Entwicklungszeit
- Diagnostik für verbesserte Prozesse
- Remote-Support rund um die Uhr

ENGINEERING  
TOMORROW

*Danfoss*



# DIREKT ZUM KUNDEN MIT KI-BASIERTEN D2C-PLATTFORMEN

Prof. Dr. Markus Haid



**Entwickler des CCASS in Darmstadt optimieren D2C-Plattformen. D2C also Direct to Consumer oder Direct to Customer als weitere Ausprägung der Plattformökonomie und die Möglichkeit zum direkten Kundenkontakt und direktem Zugang zu den wichtigen First-Party-Daten für Unternehmen.**

## **Prof. Dr. Markus Haid**

Professor für Sensorik und Messdatenverarbeitung an der Hochschule Darmstadt und Gründer und Leiter des Competence Center For Applied Sensor Systems (CCASS) und des LabVIEW Competence Center For High-Assurance System Development (LabVIEW CAS). Als Digitalisierungsexperte begleitet er zahlreiche Firmen im Bereich Digitalisierung und Plattformökonomie und Blockchain. Außerdem ist er offiziell gelisteter Berater für die Förderprogramme BAFA, RKW und go-digital. Sein Markenzeichen sind die gelben Schuhe. Als #theyellowshoes berichtet er über diverse Veranstaltungen weltweit. Er schreitet mit den gelben Schuhen dynamisch voran und zeigt step-by-step den Weg ins Internet der Dinge bis hin zur eigenen Plattformökonomie.

In einer Welt von Uber, Flixbus, Booking.com, Airbnb, Ebay und Lieferando sind Plattformen und Services allen geläufig und in unsrem Alltag allgegenwärtig. Man bezeichnet diese internetbasierten Geschäftsmodelle als Plattformökonomie, die auf einem digitalen Marktplatz Anbieter und Interessenten / Kunden zusammenbringt. Es handelt sich dabei u.a. um Hotelportale, Unterkunftsvermittlungen, Transportplattformen, Lieferservices, Suchmaschinen und Handelsplattformen.

Dabei gilt desto mehr Anbieter auf einer Plattform sind, desto interessanter wird die Plattform für den Kunden und umgekehrt natürlich auch. Je mehr Kunden desto interessanter für Anbieter. Man spricht in diesem Zusammenhang auch gerne von Netzwerkeffekten.

Die Kosten für die Parteien sind gering, Preise und Qualität sind transparent. Der Plattformbetreiber sorgt für das Vertrauen, da sich die Vertragspartner meist nicht kennen. Eine Plattform bietet auch die Möglichkeit neuer Geschäftsmodelle, wie zum Beispiel SaaS (Software-as-a-Service) oder Payperuse.

Es handelt sich daher meist um B2C- oder um B2B-, also Business-to-Customer- oder Business-to-Business-Geschäftsmodelle mit einer Partei dazwischen nämlich dem Plattformbetreiber.

Ein neuer Trend der Plattformökonomie ist nun D2C – Direct to Customer. Als Direct-to-Customer-Systeme bezeichnet man den markenzentrierten Ansatz, bei dem sämtliche Aktivitäten einer Organisation darauf abzielen, Interessenten, Kunden, Partnern und die Öffentlichkeit über eigene Plattformsysteme zu bedienen, diese zu unterhalten und letztendlich zu Käufen zu animieren.

Anbieter erlangen über eine eigene D2C-Plattform immerwährenden, direkten Zugang zu den Märkten und Zielgruppen.

Bei D2C geht es darum, Produkte direkt vom Hersteller an die Verbraucher zu verkaufen und zu vermarkten. Dies kennt man auch unter der Bezeichnung Direktvertrieb. Ziel ist es hierbei Zwischenhändler und Mittelsmänner außen vor zu lassen. Dies bringt einige Vorteile mit sich, vor allem ökonomische.

Ohne Zwischenhändler und Mittelsmänner kann der Anbieter den Preis für sein Produkt selbst festlegen und es gibt keine nachträglichen Preisaufschläge für den Kunden. Somit ist die Gewinn-

marge für den Anbieter größer und der Preis für den Endverbraucher niedriger. Hinzukommt, dass Marken unabhängig vom Einzelhandel werden. Somit liegt die komplette Kontrolle von Produktpräsentationen und Service beim Hersteller. Auch die Gefahr durch Eigenmarken des Händlers vom Markt gedrängt zu werden wird minimiert.

Obwohl es mittlerweile für jeden Hersteller möglich ist, einen eigenen Onlineshop aufzusetzen und Produkte direkt an den Endverbraucher zu verkaufen, ist die für viele etablierte Marken noch immer nicht realisierbar. Grund dafür ist u.a. das bestehende Verträge mit Retailern diese Veränderungen erschweren. Dennoch sollten etablierte Marken ihre Strategie überdenken.

Eine weitere Motivation einen D2C-Ansatz zu realisieren kommt aus dem Marketing. Man möchte mit dem Kunden bzw. Verbraucher direkt kommunizieren. Dazu benötigt man eigene Marketingkanäle, die dann ein möglichst effizientes und fundiertes, auf Informationen basierendes Marketing ermöglicht.

Bevor ein Hersteller eine D2C-Plattform realisiert, muss die Frage geklärt werden, was die D2C-Plattform bewirken soll oder kann. Neben dem reinen Verkauf des Produktes an den Endkunden besteht die Möglichkeit einer funktionierenden Kundenbindung. Hersteller wollen dazulernen, wie sie ihre Produkte kundenfokussierter weiterentwickeln können, um im Markt existent zu bleiben.

Nicht zuletzt sollte die Frage geklärt werden, wie das „C“ im Begriff D2C interpretiert wird. Neben der Interpretation des „C“ als Consumer, ist die Interpretation des „C“ als Customer ebenso berechtigt, denn viele B2B-Hersteller streben ebenfalls einen Direktansatz an, um ihre Dienstleister und Anwender noch besser bedienen zu können.

Die Basis der kundenzentrierten Kommunikation im Rahmen einer D2C-Plattform ist es, Daten zu sammeln, zusammenzuführen und nutzbar zu machen. Grundlage für den Erfolg einer D2C-Plattform sind eben diese Daten: sogenannte First-Party-Daten.

Viele Hersteller haben heute keinen direkten Kontakt zu ihren Kunden und daher auch keinen Zugang zu diesen wichtigen First-Party-Daten. Diese liegen heutzutage oftmals bei „Mittelsmännern“ wie Amazon, facebook oder Medienagenturen. Dieses Überlassen dieser Daten ist heute schon grob fahrlässig.

First Party Data sind unternehmenseigene Daten und sind bei Vorlage im Unternehmen eine kostengünstigste Variante für Werbetreibende. Sie sind auch die zuverlässigsten Daten für das Targeting. Beispiele für First Party Data sind CRM-Daten oder das Nutzerverhalten auf der eigenen Landingpage. Die Herausforderung besteht aber nun in der Weiterverarbeitung der Daten und die richtigen Erkenntnisse und Schlüsse zu ziehen. Das Sammeln der Daten alleine ist nicht ausreichend. Es bedarf KI-basierter Algorithmen, die die D2C-Plattform zum Erfolg führt. Der Vorteil, dass die Daten nicht mehr bei einer Plattform wie Amazon oder Facebook liegen, hat den Nachteil, dass dem Plattform-Betreiber nun auch die Aufgabe der Auswertung obliegt.

Neben dem Aufbau von D2C-Plattformen und auch Blockchain-Plattformen, beschäftigen sich das CCASS der Hochschule Darmstadt unter Leitung von Prof. Dr. Markus Haid mit der Verarbeitung eben solcher Daten und Informationen, um eine kundenzentrierte Kommunikation mit dem Kunden aufbauen zu können. Dazu werden KI-basierte Algorithmen benötigt.

Prof. Dr. Markus Haid: „Das Hauptaugenmerk liegt dabei auf der Implementierung der automatisierten Sinnerkennung, welche entwickelt wird. Hierbei handelt es sich nicht um „fertig geschriebene Software“, die als Modul einfach „eingebaut“ werden kann. Die Aufgabe ist dann, neben der Entwicklung der KI-basierten Funktionen, die Übertragung des im Unternehmen vorhandenen Erfahrungswissens.“

Neben der Realisierung der „Intelligenz“ einer D2C-Plattform, bestehen weitere Herausforderungen beim Aufbau einer solchen Plattform. Technische Lösungen und damit zusammenhängende Prozesse müssen aufgebaut werden. Websites müssen von Shops abgelöst und deshalb müssen Inhalte neu strukturiert werden. Es müssen neue Insights und Daten über den Endkunden aufgebaut bzw. erfasst werden. Es werden neue Monitoring-Tools benötigt. Bestehende Marketingansätze müssen ergänzt, neues Social Media Know-how muss aufgebaut und ein CRM aus Endkundensicht entwickelt werden. Konflikte mit dem Handel müssen gelöst werden und außerdem muss der gesamte D2C-Kaufprozess neu entwickelt werden.

Dabei besteht die Möglichkeit, als Unternehmen die gesamte Entwicklung selbstständig durchzuführen oder auf bestehende D2C-Baukastensys-

teme zurückzugreifen. So bietet beispielsweise die Alchimedus Management GmbH eine konfigurierbare Baukastenlösung in Form der Collab-Plattform. Entwickler und Urheber der Plattform Sascha Kugler erklärt: „Als Direct to Customer – Systeme bezeichnen wir den markenzentrierten Ansatz bei dem sämtliche Aktivitäten einer Organisation darauf abzielen, Interessenten, Kunden, Partnern und die Öffentlichkeit über eigene Plattformsysteme zu bedienen, diese zu unterhalten und letztendlich zu Käufen zu animieren.“ Mit dieser Lösung, die zunächst speziell für KMU entwickelt wurde, ist es möglich, auf Basis digitaler Kollaboration eine Wissensgemeinschaft, sprich einen Think Tank zu entwickeln, der sich durch die gegenseitige Unterstützung in systemimmanenten Kommunikationstools wie Videotelefonie, Chat oder in Foren permanent erweitert und sehr effizient fortentwickelt. Neben dem Prinzip der kollaborativen Zusammenarbeit versteht sich das Angebot auch als E-Learning Plattform, auf der die Nutzer in Form von Tutorials oder Webinaren Angebote zu aktuellen Trendthemen der Beratung erhalten bzw. auch ihr eigenes Projektmanagement abwickeln können, da der Service auch eine Cloud Lösung und eine Projektbox umfasst, die aufgrund ihrer DSGVO-Konformität maximale Sicherheit bietet. Nutzer kommen in die komfortable Lage ihr Tagesgeschäft aus einer einzigen Plattform heraus zu bewältigen. ■

**MARKUS  
HAID** 

#### KONTAKT

#### HOCHSCHULE DARMSTADT

Prof. Dr. Markus Haid, Leiter des CCASS

Holzhofallee 38, Gebäude D21, Raum 218, 64295 Darmstadt

Tel.: +49 (0)170 16 70 205, markus.haid@ieeee.org

[www.ccass.h-da.de](http://www.ccass.h-da.de)

# PRÄZISIONS-POWER ANALYZER UND DAQ

Das neue Datenerfassungssystem **LTTsmart** des High-End-Messtechnikspezialisten **Labortechnik Tasler GmbH** setzt neue Maßstäbe bei der präzisen Leistungsanalyse von elektrischen Antrieben sowie der Erfassung von physikalischen Signalen.

Der **LTTsmart** ist die Antwort auf eine rasant steigende Nachfrage für breitbandige und hochauflösende Messtechnik zur präzisen Leistungsanalyse moderner elektrischer Antriebe. Die durch elektrische Wechselrichter gepulste Energieübertragung solcher Antriebe ist mit herkömmlicher Prüfstandtechnik bei Weitem nicht mehr messbar. Viel zu schnell pulsieren die Antriebsspannungen mit großen oder sogar sehr großen Spannungsstufen zwischen Low- und High-Niveaus. Während sich die Physik dieser elektrischen Welt in den steilen Flanken der Pulse und in den kleinen Rippeln der Low- und High-Niveaus abspielt, bewegt sich die mechanische Welt der Antriebsmotoren in gewohnten, traditionell recht langsamen Frequenzbereichen.

Für die Qualitätsanalyse und -Überwachung solcher Systeme benötigt man keine Millionen von Messwerten pro Sekunde. Im Gegenteil: wenige Leistungsparameter pro Umdrehung bestätigen die perfekte Qualität des Prüfings. Wenn aber Unregelmäßigkeiten detektiert werden, muss gezielt und effizient direkt auf alle hochpräzisen Einzelmesswerte der elektrischen Signale zugegriffen werden können, ohne dass die kontinuierliche Leistungsmessung unterbrochen wird. Genau diese Funktionalität macht die sehr kompakten **LTTsmart**-Module zum perfekten Power-Analyzer für moderne elektrische Antriebe.

Über die Auswahl verschiedener Module können Spannungen bis 1500 V, Ströme und Sensoren wie ICP®, DMS und Ladung an die galvanisch getrennten Messkanäle angeschlossen werden. Diese werden mit bis zu 4 MHz Abtastrate pro Kanal und 24 Bit Auflösung hochsynchron abgetastet. Die Analogbandbreite liegt bei 1.7 MHz. Die Amplitudenaufösung ist in allen Messbereichen besser als  $\pm 0.015\%$ -Signal  $\pm 0.015\%$ -Range. Darüber hinaus stehen Puls/Counter-Kanäle zur Verfügung um mit 1.2 ns Zeitaufösung Drehzahlpulse aufzuzeichnen. Alle relevanten physikalischen Signale, wie Drehmoment und Drehzahl werden simultan mit den elektrischen Größen erfasst und führen zu einer hochgenauen Wirkungsgradberechnung.

Der **LTTsmart** bringt die jahrzehntelange Erfahrung des führenden High-End-Messtechnikspezialisten **Labortechnik Tasler GmbH** in die moderne Prüfstandwelt: entweder als Stand-Alone Software oder Dank effizienter Softwareschnittstellen, integrierbar in alle vorhandenen Lösungen (Gantner, Stiegele, DASyLab, Labview). Der **LTTsmart** wird auch in vielen anderen Applikationen eingesetzt: Unterwasserschall, Körperschall, Turbolader, Forschung & Entwicklung, Power Quality u.v.m.

Der **LTTsmart** ist ebenso als mobile Variante und im 19 Zoll-Gehäuse erhältlich. ■



## KONTAKT

### LABORTECHNIK TASLER GMBH

David Bachert  
97076 Würzburg  
Tel.: +49 (0) 931 3596-140  
kontakt@tasler.de  
www.tasler.de

## PowerAnalyzer und DAQ



2 Messkanäle pro Modul. 5 verschiedene Modulvarianten.  
Beliebige Modulanzahl pro Gerät.

- Bis zu 4 MHz Abtastrate pro Kanal (1.7 MHz Bandbreite)
- Extrem hohe Präzision:  $\pm(0,015\%$ Signal + 0.015%-Range)
- Hochsynchroner 24 Bit ADCs  
Extrem rauscharm und verzerrungsfrei
- 2500 VDC galvanische Trennung aller Kanäle
- Spannungseingänge:  $\mu\text{Vrms}$  bis zu  $\pm 1000 \text{ Vrms}$
- Optional: Stromeingänge, ICP®, Ladung, DMS und/oder Puls
- Weitere Einsatzbereiche:  
PowerAnalyzer, SensorRecorder, TransientenRecorder
- erfüllt DIN IEC 60034-2-3-3



# KALIBRIERUNG VON INFRAROT STRAHLUNGSTHERMOMETER UND WÄRMEBILDKAMERAS

AUTOREN: Dipl.Ing. Matthias Glauß, Dr.Hans-Peter Vietze, HEITRONICS Infrarot Messtechnik GmbH, Wiesbaden

Bei der Kalibrierung von Infrarot Strahlungsthermometern oder Wärmebildkameras erfolgt die Kalibrierung sinnvollerweise vor einem schwarzen Strahler mit bekannten Emissionseigenschaften. Als Normale können Kontaktthermometer oder bereits kalibrierte Infrarot Thermometer dienen. Speziell dafür entwickelte IR Thermometer heißen Transfer Strahlungsthermometer.

Ein Transfer Strahlungsthermometer wird üblicherweise bei einem der nationalen metrologischen Institute – in Deutschland ist das die PTB – kalibriert. Im dazugehörenden Kalibrierzertifikat werden die Temperaturen angegeben, bei denen die Abweichung und deren Unsicherheit bestimmt wurden. Als Referenznormale stehen prinzipiell 2 Arten von Thermometern zur Verfügung: kalibrierte Kontaktthermometer oder kalibrierte Infrarot Strahlungsthermometer. Prinzipiell ist die Verwendung eines Strahlungsthermometers zu bevorzugen, da systematische Fehler durch die Verwendung des gleichen Messprinzips deutlich reduziert werden. Bei den zur Verfügung stehenden Strahlungsquellen unterscheidet man zwischen Flächen- und Hohlraumstrahlern.

### Flächenstrahler

Ein Flächenstrahler besteht meist aus einer beheizten Metallplatte, die mit einem Lack mit hoher Emissivität beschichtet ist. Damit lassen sich Emissionsgrade in der Höhe von 95 % ... 98 % erreichen. Der Emissionsgrad unterliegt gewissen Schwankungen und ist nur näherungsweise bekannt. Mit einem Flächenstrahler lassen sich Strahlungsthermometer mit einem großen Messfeld oder Infrarotkameras kalibrieren. Allerdings steigt die Unsicherheit auf Grund des im Vergleich niedrigen Emissionsgrades und einer inhomogenen Temperaturverteilung über die Fläche.

### Hohlraumstrahler

Herzstück des Hohlraumstrahlers ist eine Bohrung

mit einem Tiefen zu Durchmesser Verhältnis > 5. Zur Erhöhung des Emissionsgrades wird der Boden der Bohrung entweder schräg oder konisch ausgeführt. Die Beheizung kann auf verschiedene Arten erfolgen. Entweder elektrisch oder mit einer Flüssigkeit als Wärmeübertragungsmedium. Bei elektrischer Beheizung können Temperaturen bis 3000 °C erreicht werden. Bei Flüssigkeitsstrahlern liegt der Temperaturbereich zwischen -50 ... +350 °C, je nach verwendeter Flüssigkeit.

Die Kalibrierstandards für Strahlungsthermometer werden in der VDI/VDE 3511 Blatt 4.4 beschrieben. Im Folgenden wird eine Auflistung einiger der Einfluss nehmenden Parameter auf die Kalibrierung gegeben:

### Labor

Die Labortemperatur sollte möglichst stabil auf 23 °C gehalten werden. Wechselnde Umgebungstemperaturen und Luftfeuchte können je nach Spektralbereich der zu qualifizierenden Geräte einen hohen Einfluss auf die Kalibrierunsicherheit haben.

Weiterhin sollte das Labor frei von störenden Einflüssen, wie z. B. elektromagnetische Felder, oder organische Dämpfe von Lösungsmitteln gehalten werden. Durch die Atemluft der Mitarbeiter steigen der CO<sub>2</sub>-Gehalt und die relative Feuchte der Laborluft an, was ebenfalls Auswirkungen auf die Genauigkeit haben kann.

### SSE

Bedingt durch interne Reflexionen, Mehrfachreflexionen an den Linsenoberflächen usw. ist der Messfleck nicht scharf, sondern mehr oder weniger verwaschen. Dieser Effekt heißt „Size of Source Effect“ (SSE) und beschreibt das Ansteigen des Messsignals auch über den Durchmesser des nominellen Messflecks hinaus. Üblicherweise

Tab. 1: Herzstück des Hohlraumstrahlers ist eine Bohrung

	Hohlraumstrahler			Flächenstrahler
	Wärmerohr	Elektrisch beheizt	Flüssigkeitsstrahler	
Temperaturbereich	-60 ... 1000 °C	-10 ... 3000 °C	-50 ... 350 °C	-20 ... +600 °C
Apertur	< 60 mm	< 60 mm	< 60 mm	< 1000 mm x 1000 mm
Emissionsgrad	> 99.9 %	> 99.9 %	> 99.9 %	95...98 %
Unsicherheit des Emissionsgrades	< 0.1%	< 0.1%	<0.1%	1 ... 2 %
Homogenität	Sehr hoch	Hoch	Sehr hoch	Weniger

wird bei der Angabe des Messflecks daher der Prozentsatz des Signals innerhalb des Fleckes angegeben.

Abb. 2 zeigt einen typischen SSE Verlauf eines Transfer Strahlungsthermometers mit einer bezüglich SSE optimierten Optik. Mit Hilfe des SSE Verlaufs lässt sich der Einfluss einer zu kleinen Strahlerapertur korrigieren. Meist begnügt man sich allerdings damit, die Strahlerapertur anzugeben. Die durch den SSE entstehende Unsicherheit ist ein wesentlicher Bestandteil des Unsicherheitsbudgets.

### Bezugsnormal

Die beste Kalibriermethode für ein Infrarot Thermometer ist der Vergleich mit einem Transfer Strahlungsthermometer, das im gleichen Spektralbereich arbeitet wie der Proband. Da beide Geräte dieselbe Messmethode verwenden, sind systematische Fehler, z.B. durch schlechten thermischen Kontakt oder zu geringe Zeit für den Temperaturengleich ausgeschlossen. Durch den gleichen oder ähnlichen Spektralbereich haben auch eventuelle Schwankungen des Emissionsgrades mit dem Spektralbereich nur einen untergeordneten Einfluss auf die Messung. Weichen die Spektralbereiche hingegen stark voneinander ab, können durch kleine Unsicherheiten im Emissionsgrad große Unsicherheiten in der Temperaturerfassung entstehen. Beispielsweise ist bei 1000 °C Strahlertemperatur und einer Emissionsgradunsicherheit von 1 % bei einem Vergleich von 3,9 µm zu 8...14 µm die Unsicherheit ca. 3,6 °C.

Das als Bezugsquelle verwendete Transfer Strahlungsthermometer sollte regelmäßig überprüft werden. Bei bekanntem und geringem Driftverhalten sollte dies spätestens alle zwei Jahren erfolgen.

### Unsicherheitsbudget

Um die Gesamtunsicherheit einer Kalibrierung zu errechnen, werden die in den obigen Abschnitten beschriebenen Einflussgrößen ermittelt und ihr Einfluss auf die Kalibrierung bewertet bzw. abgeschätzt. Die Gesamtunsicherheit wird dann durch quadratische Mittelung errechnet. Mit etwas Aufwand können Unsicherheiten von < 0,2 °C bei 37 °C für ein Gerät mit einem Spektralbereich von 8...14 µm erreicht werden.

### Kalibrierzertifikat

Eine Kalibrierung soll vor allen Dingen den Zustand des Messgerätes und dessen Eignung zur Messung einer bestimmten Größe bescheinigen.



Abb. 1: Kalibrierlabor der Fa. HEITRONICS. Ganz links sind 2 elektrisch beheizte Hohlraumstrahler zu sehen. Rechts daneben befinden sich 2 Flüssigkeitsstrahler mit einer Apertur von 60 mm. Im rechten Bildbereich sind 2 Transfer Strahlungsthermometer zu erkennen, die sich auf einem Schienensystem befinden. Damit ist es möglich die beiden IR Thermometer vollautomatisch und punktgenau vor dem jeweiligen Strahler zu positionieren.

Meist wird eine Kalibrierung im Rahmen des Qualitätsmanagements durchgeführt. Die Dokumentation der Ergebnisse stellt daher einen wichtigen Teil der Kalibrierung dar und wird mit einem Zertifikat bescheinigt. Neben den selbstverständlichen Angaben wie durchführendes Institut, Ort und Zeitpunkt der Kalibrierung muss das Zertifikat natürlich enthalten, welches Gerät (am besten mit Herstellerangabe und Seriennummer) kalibriert wurde, welche Methode verwendet wurde, wie die Referenzierung erfolgte und welche Geometrie (Durchmesser der Strahleröffnung, Abstand zum Strahler etc.) verwendet wurde.

### Zusammenfassung

Die Kalibrierung von Infrarotthermometern und Wärmebildkameras erfolgt vor einem schwarzen Strahler. Die verwendete Strahlerart richtet sich nach dem Sichtfeld des Probanden und dem Temperaturbereich. Die Anforderungen an die Laborausstattung sind vielfältig und reichen von einer guten Klimatisierung bis zu hochstabilen schwarzen Strahlern. Zahlreiche Parameter müssen berücksichtigt werden und die Durchführung erfordert einige Erfahrung des Bedienpersonals. Ist alles berücksichtigt, kann eine herstellerunabhängige Kalibrierung erfolgen. ■

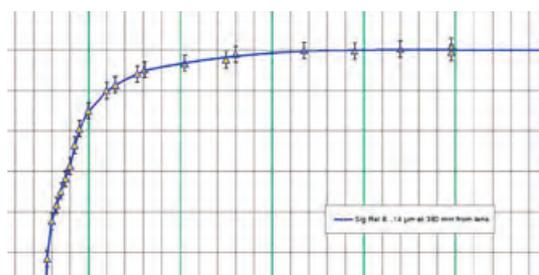


Abb. 2: Typischer SSE Verlauf eines TRT IV.82 der Fa. HEITRONICS

### KONTAKT

#### HEITRONICS INFRAROT MESSTECHNIK GMBH

Kreuzberger Ring 40  
65205 Wiesbaden  
Tel.: +49 (0) 61197393-0  
E-Mail: info@heitronics.com  
www.heitronics.com

# 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 ppt<sub>v</sub>-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 **nicht-radioaktiver Ionisationsquellen**. Hierzu zählen Elektrosprayionisationsquellen, dielektrisch behinderte und Koronaentladungsquellen, UV-Ionisationsquellen sowie schwache Röntgen- und nicht-radioaktive 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**).

Neben der Ionenmobilitätsspektrometrie werden am Fachgebiet Sensorik und Messtechnik auch **Gassensoren** auf Basis neuartiger Sensorprinzipien sowie **elektromagnetische Sensoren und Messverfahren**, beispielsweise zur nicht-invasiven 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 umfas-

sendes Know-how bei der **Entwicklung applikationsspezifischer Elektronik**.

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

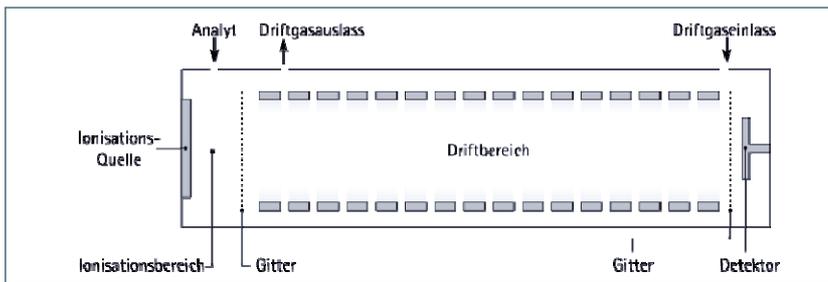
#### **Ausstattung und Know-how auf einen Blick:**

Detektion kleinster Stoffkonzentrationen in Gasen und Flüssigkeiten, kompakte hochauflösende Ionenmobilitätsspektrometer (IMS) mit Nachweisgrenzen im ppt<sub>v</sub>-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, Systemmodellierung und FEM-Simulationen, elektronische und mechanische (CNC) Werkstätten, Gasdosiersysteme (ppb<sub>v</sub>-Bereich).

#### **Ionenmobilitätsspektrometrie**

Ionenmobilitätsspektrometer (IMS) sind kompakte Messgeräte zur schnellen Detektion kleinster Stoffkonzentrationen mit Nachweisgrenzen im ppt<sub>v</sub>-Bereich und Messzeiten unterhalb einer Sekunde. Anwendungen reichen von der Sicherheitsüber 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. 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



**Abb. 1:** Schematische Darstellung eines Ionenmobilitätsspektrometers.

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 gewonnenen Ionenmobilitätsspektrums lässt sich aufgrund der stoffspezifischen Ionenmobilitäten die Zusammensetzung einer Probe ermitteln.

**Abbildung 1** zeigt den schematischen Aufbau eines IMS.

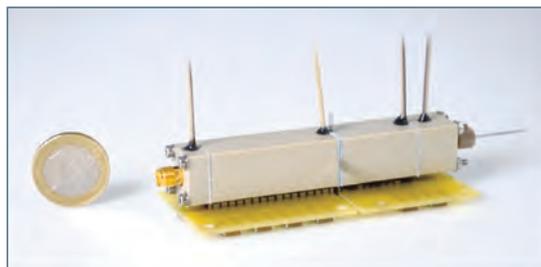
Die zwei wesentlichen Leistungsmerkmale eines IMS sind das Auflösungsvermögen als Maß für die Trennleistung und die Nachweisgrenze. Das Auflösungsvermögen, ermittelt als Verhältnis von Driftzeit zu Peakbreite bei halber Peakhöhe, der meisten kommerziell erhältlichen IMS liegt im Bereich von 20 bis 60. Abhängig von der Substanz lassen sich Nachweisgrenzen im ppt<sub>v</sub>-Bereich bei Mess-

zeiten 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**.

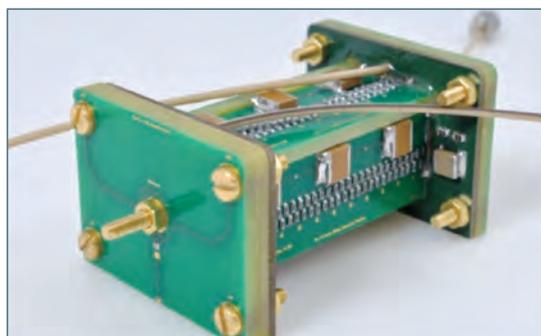


**Abb. 4:** Kompaktes IMS (75 mm Driftlänge) mit ultra-hohem Auflösungsvermögen.

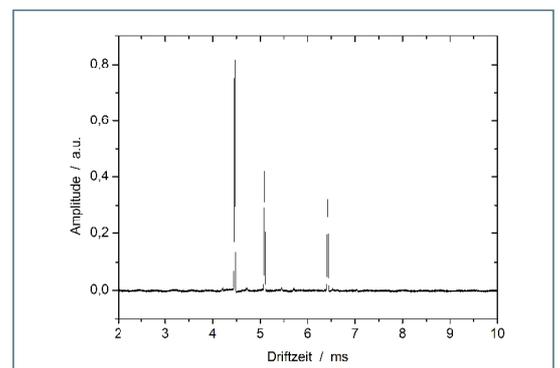
Mit einem Auflösungsvermögen von bis zu 250, siehe **Abbildung 5**, verfügt das Fachgebiet Sensorik und Messtechnik über das weltweit beste Auflösungsvermögen im Verhältnis zur Driftlänge für einfach geladene Ionen. Diese extrem hohe Trennleistung ermöglicht erstmals die Trennung von Isotopologen mit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



**Abb. 2:** Miniaturisiertes IMS mit Korona-Ionisationsquelle.



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

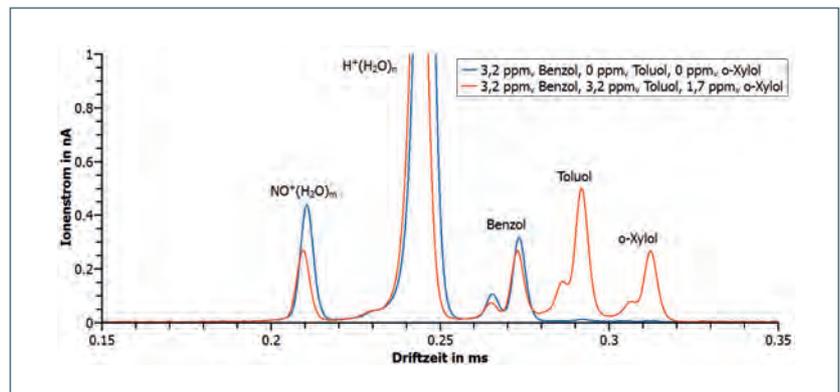


**Abb. 5:** Spektrum einer Luftprobe mit Dimethylmethylphosphonat.

## 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 gravierende 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.



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  $\text{NO}^+$  und  $\text{H}^+$  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  $\text{ppm}_v$ -Bereich liegt bei 10  $\text{ppb}_v$  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

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

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-Ionisationsquel-

len 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.

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.



Abb. 7: Baukleiner nicht-radioaktiver Elektronenstrahler.

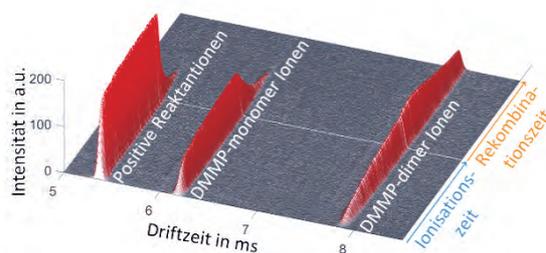


Abb. 8: Ionenmobilitätsspektren mit Variation der Ionisations- und Rekombinationszeit.

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 geregelter 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 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**.



Abb. 9: Foto eines Elektrosprays

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 Wasseranteil von 50 % des Lösungsmittels eine

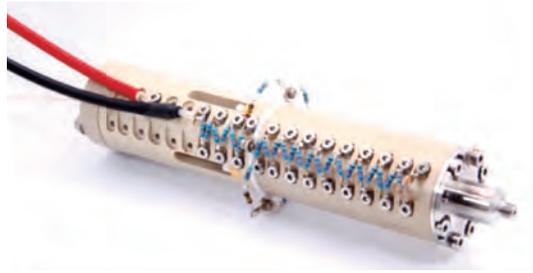


Abb. 10: Foto des kompakten ESI-IMS

Nachweisgrenze von  $4 \mu\text{g/l}$  für das Herbizid Bentazon erzielen. In **Abbildung 11** ist beispielhaft ein hochauflösendes Spektrum des Oligomers Triton X-100 zu sehen.

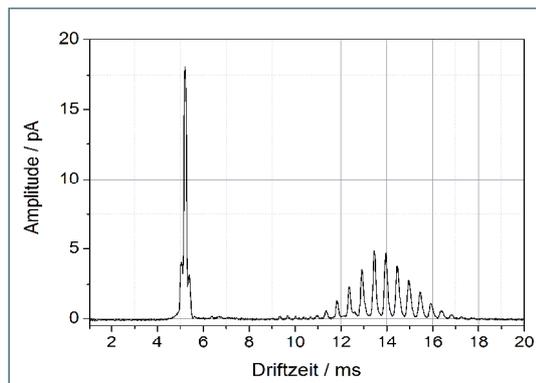


Abb. 11: ESI-IMS-Spektrum von  $50 \mu\text{l/l}$  Triton X-100 in Ethanol

## Atemluftanalyse in der Medizintechnik

Der menschliche Körper atmet eine Vielzahl an flüchtigen Substanzen aus. Das wohl bekannteste Beispiel ist die Abgabe von Kohlendioxid. 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, auch eine hohe Selektivität. Die Vielzahl an exogenen und endogenen Substanzen müssen eindeutig voneinander unterschieden und quantitativ gemessen werden.

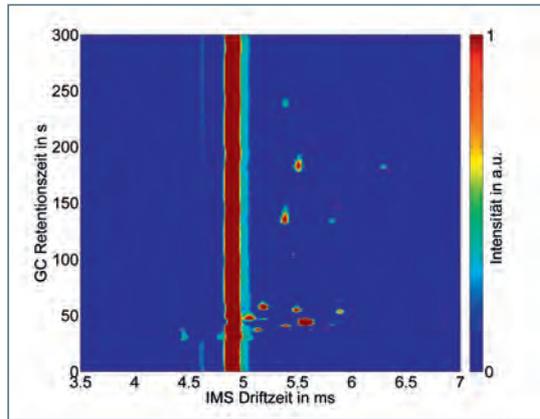


Abb. 12: Atemluftanalyse mittels GC-IMS

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



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

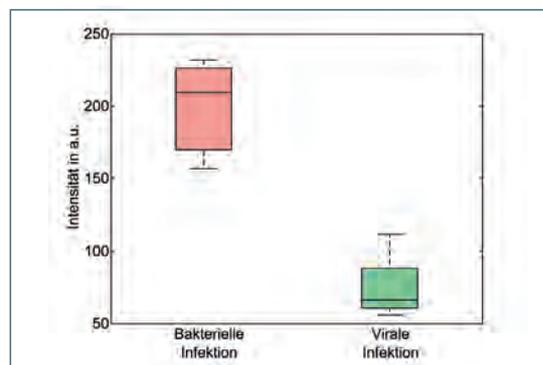


Abb. 14: Boxplot einer Substanz, hinsichtlich derer sich der Atem von Probanden mit einer bakteriellen Infektion der oberen Atemwege vom Atem der Probanden mit viraler Infektion unterscheidet.

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.

**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 elek-

trisches 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 G $\Omega$  aufweist und über die gesamte Bandbreite integriert einen Gesamttauschstrom 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.

### Bestimmung des Wassergehaltes in Gewebe

Während einer Autopsie kann die Quantifizierung der Ödeme im Hirngewebe Hinweise auf die Todesursache liefern, da Agoniezeit (Dauer der Sterbephase) und Wassergehalt im Gewebe in direkter Verbindung zueinander stehen. Eine lange Agoni-



Abb. 15: Modulare Messelektronik für die Sensorentwicklung

zeit 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  $\pm 2\%$  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 Hochschule 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.

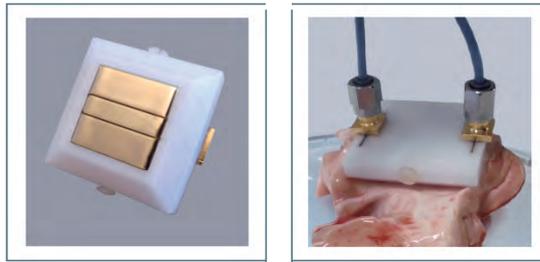


Abb. 16: Messung der Hirnfeuchte mit einem koplanaren Tastkopf

### 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

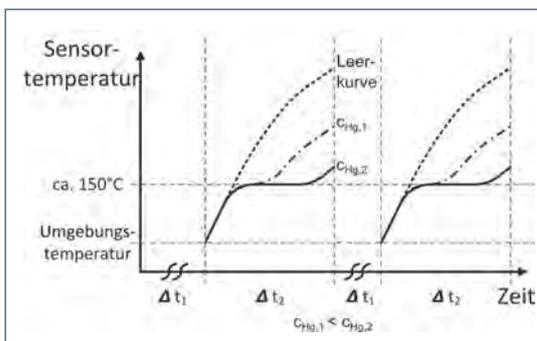


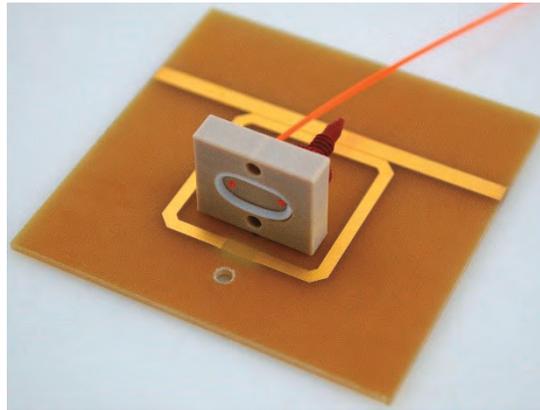
Abb. 17: Messprinzip eines kalorimetrischen Quecksilbersensors

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 Heizleistung oberhalb der Aufheizkurve des reinen Goldes liegen. Welcher Effekt sich schließlich zur Bestimmung der Quecksilberkonzentration in Luft besser eignet, ist Gegenstand der aktuellen Forschung.

### Split-Ring-Resonator als Biosensorplattform

Split-Ring-Resonatoren sind hochempfindliche 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 erreichen, weswegen diese Leiterstruk-

turen 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)

## 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/](http://www.geml.uni-hannover.de/de/smt/)

# 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 gewährleisteten Sicherheit, Komfort und Fahrassistenz.

## 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

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

### 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 Datenprotokollübermittlung, 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<sub>2</sub>-Emissionen reduziert werden. ■

# SENSORIK FÜR WASSERSTOFF-TECHNOLOGIEN

Die UST Umweltsensortechnik GmbH entwickelt und produziert keramische Gas- und Temperatursensoren sowie Gaslecksuchgeräte u.a. für Anwendungen im Automobil, in der Gebäudeautomation, in der industriellen Mess- und Regelungstechnik, in der Verfahrens-, Energie-, Umwelt- und Sicherheitstechnik sowie in der Logistik. Ein strategisch wichtiges Anwendungsfeld sind Wasserstofftechnologien, für das die UST Umweltsensortechnik GmbH seit mehr als 20 Jahren H<sub>2</sub>-Gassensoren und H<sub>2</sub>-Gaslecksuchgeräte entwickelt und in Serie produziert.

H<sub>2</sub>-Gassensoren der UST Umweltsensortechnik GmbH werden u.a. in Systemen zur Schwelbrandfrüherkennung z.B. in Braunkohlekraftwerken, zur Brand- und Gefahrendetektion in U-Bahnen sowie in der H<sub>2</sub>-Verfahrenstechnik und in Brennstoffzellen eingesetzt. Die H<sub>2</sub>-Gaslecksuchgeräte werden ebenfalls in der H<sub>2</sub>-Verfahrenstechnik aber z.B. auch zur Lecksuche an Klimaanlage mit Formiergas (95% N<sub>2</sub>/5% H<sub>2</sub>) eingesetzt.

Aktuelle Entwicklungsergebnisse der UST Umweltsensortechnik GmbH im H<sub>2</sub>-Bereich sind u.a. ein skalierbares aktives H<sub>2</sub>-Gassensorsystem für H<sub>2</sub>-Konzentrationen bis 100% bei einem Umgebungsdruck bis 100bar. Das diversitär redundante Gassensorsystem (Kombination von Metalloxid-Halbleiter-Gassensor und Wärmeleitfähigkeitsdetektor) mit integriertem Drucksensor basiert auf der patentierten Semicon®-Technologie der UST

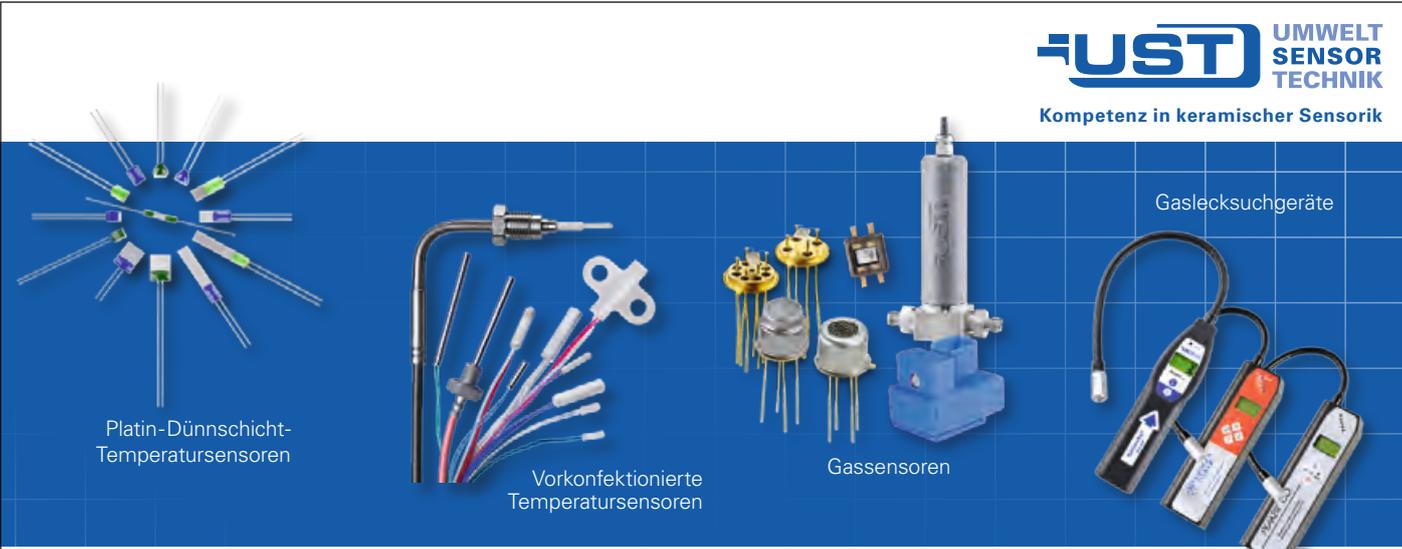
Umweltsensortechnik GmbH. Der Sensor u.a. für Elektrolyseure und zur Leckagedetektion an H<sub>2</sub>-Hochdruckleitungen ermöglicht insbesondere auch die Detektion von oxidierend wirkenden Restgasen (O<sub>2</sub>: 200ppm bis 1Vol%) im Hoch-Vol%-Bereich von H<sub>2</sub>.

Im Rahmen des laufenden vom Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur geförderten Projekts „Wasserstoffdetektoren in Elektrofahrzeugen / Hydrogen detectors in electric vehicles (H2D4EV)“ werden, basierend auf der oben beschriebenen Gassensortechnologie, miniaturisierte, feuchtekompenzierte H<sub>2</sub>-Sensorsysteme mit integrierter Signalvorverarbeitung und digitalem Signalausgang zum Einsatz in der Umgebungs- bzw. Abgasüberwachung von Brennstoffzellen in Elektrofahrzeugen entwickelt. ■

## 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





**UST UMWELTSENSORTECHNIK**  
Kompetenz in keramischer Sensorik

Platin-Dünnschicht-Temperatursensoren

Vorkonfektionierte Temperatursensoren

Gassensoren

Gaslecksuchgeräte



**UST Umweltsensortechnik GmbH**  
Dieselstr. 2 und 4 | 99331 Geratal OT Geschwenda | GERMANY | Telefon +49 (0)36205 713-0 | info@umweltsensortechnik.de  
[www.umweltsensortechnik.de](http://www.umweltsensortechnik.de)

# FORSCHUNG AUF DEM GEBIET DER ANGEWANDTEN FASEROPTISCHEN DRUCKSENSORIK

am Lehrstuhl für Messsystem- und Sensortechnik (MST) der Technischen Universität München (TUM)

Autoren: S. Kienitz, M. Schmid, M. Jakobi, A.W. Koch



Abb. 1: Faseroptischer Stabdrucksensor

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 Plasma-physik 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 48 Lehrstühlen und Professuren, über 400 wissenschaftlichen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern und über 3.600 Studierenden ist. Die TUM besteht insgesamt aus 15 TUM Schools und Fakultäten mit 612 Professorinnen und Professoren, 11.269 Beschäftigten und 45.356 Studierenden (Stand Wintersemester 2020/21). 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 faseroptischen Drucksensoren vorgestellt.

Die Hauptentwicklungsziele der heutigen Zivilluftfahrtindustrie sind die Verringerung der CO<sub>2</sub>-Emissionen, die Minimierung des Kraftstoffverbrauchs und die Reduzierung der Lärmemissionen von Transportflugzeugen der nächsten Generation.

Zukünftige Entwürfe von Großraumflugzeugen unterstützen Triebwerke mit ultrahohem Nebenstromverhältnis und Winglets, die zu einer ökologischeren und ökonomischeren Flugzeugflotte beitragen sollen. Aus diesem Grund erfordern die Triebwerke eine größere Gondelgröße. Die Integration der neuartigen Turbinen gestaltet sich immer schwieriger, da ein ausreichender Abstand zwischen Gondel und Landebahn gewährleistet sein muss. Um größere und schwerere Fahrwerke zu vermeiden, werden diese Triebwerke nicht mehr direkt unter den Flügeln montiert, sondern rücken näher an die Vorderseite des Tragflügels. In kritischen Flugsituationen, besonders bei hohen Anstellwinkeln, sowie während Start und Landung

verschlechtert diese vorgeschobene Gondelpositionierung die ungestörte Anströmung der Tragfläche [1].

Um ein besseres Verständnis der vorherrschenden aerodynamischen und aeroakustischen Effekte zu entwickeln, werden in komplexen Flugversuchen aerodynamische Messungen von lokalen dynamischen Strömungsablösungen, komplexen Wirbelströmungen und den tatsächlichen Auftriebsbeiträgen neuartiger Flugzeugmuster erforderlich. Allerdings ist die Instrumentierung von Versuchsträgern anspruchsvoll, da Flugsicherheitszulassungen, triboelektrische Aufladung der elektrischen Sensorik und auftragende Verkabelungen berücksichtigt werden müssen. Insbesondere die mangelnde Überlastfähigkeit der Sensorik reduziert die Verfügbarkeit der Sensorik von Testflug zu Testflug, sodass Messkampagnen im Zweifel nur unzureichend abgeschlossen werden können.

Die Windindustrie steht vor einer ähnlichen Herausforderung. Der wachsende Energiebedarf und die Notwendigkeit von regenerativen und umweltfreundlichen Energiequellen führten zu einem stetigen Bedarf der Windenergie. Während die Rotorblätter von Windenergieanlagen immer größer wurden, haben sich die aerodynamischen Modelle zur Auslegung der Blätter in den letzten 20 Jahren nur wenig geändert. Mit dem Ziel Auslegungsmodelle zu optimieren, liegt die Validierung der Aerodynamik bei hohen Reynoldszahlen für große Windenergieanlagen wieder im allgemeinen Forschungsfokus, wodurch Anlagen in Zukunft leistungsstärker und kostengünstiger gestaltet werden [2].

Aufgrund des Mangels an attraktiven Standorten mit hohen durchschnittlichen Windgeschwindigkeiten rücken größere und modernere Windenergieanlagen zudem näher an Wohngebiete heran, sodass deren Geräuschemission ein entscheidendes Akzeptanzkriterium sein kann. Die Verringerung der Lärmemission, bereits während der Qualifizierungsphase oder durch permanente Messung am Rotorblatt ist daher ebenfalls von Interesse, um optimierte Regelkreise zu entwerfen, die besonders leise Turbinen ermöglichen könnten. Zeitlich hochaufgelöste aerostatische, aerodynamische und aeroakustische Messungen sind daher erforderlich, um sowohl die schräge Anströmung als auch den Auftrieb und die Schallemissionen der Rotorblätter zu vermessen und daraus die Gesamtreaktion der Windkraftanlage abzuleiten [2].

Aktuell behindern jedoch strenge Blitzschutzanforderungen die Instrumentierung an Rotorblättern von Windkraftanlagen mit herkömmlicher elektrisch leitender und kabelgebundener Sensorik. Folglich besteht eine grundlegende Herausforderung bei der Erprobung innovativer und lärmreduzierter Rotorblätter an modernen Windkraftanlagen sowie der Aerodynamik von Verkehrsflugzeugen der nächsten Generation darin, über einen langen Zeitraum hinweg Validierungsdaten an originalgetreuen Strukturen unter realistischen Umgebungsbedingungen zu generieren [3].

In der Forschungszusammenarbeit mit der Polytech Wind Power Technology Germany GmbH (vormals fos4X GmbH), eine ehemalige Ausgründung des Lehrstuhls für Messsystem- und Sensortechnik, wurden unter anderem passive faseroptische Fabry-Pérot-Drucksensoren verwirklicht. Diese wurden intensiv in Windkanal- sowie in Feldversuchen auf Windkraftanlagen und in Flugversuchen qualifiziert, um den Reifegrad der faseroptischen Drucksensorik für aerodynamische Messaufgaben zu erhöhen. Schon im Jahr 2010 entschloss sich ein Teil der faseroptischen Arbeitsgruppe des Lehrstuhls für Messsystem- und Sensortechnik, die Ergebnisse der erfolgreichen Forschungsprojekte im Rahmen des Spin-Offs fos4X GmbH zu industrialisieren. Basierend auf der entwickelten robusten faseroptischen Rotorblattsensortechnologie als Informationseingang wurden datengeteuerte Ansätze ergänzt, um bestehende und neue Windkraftanlagen zu digitalisieren und zu optimieren. Nachdem die Firma fos4X GmbH in die Polytech Firmengruppe im Jahr 2020 erfolgreich integriert worden ist, gehören zum erweiterten Produktportfolio auch Blitzschutzsysteme, Blattvorderkantenschutz, aerodynamische Add-Ons

und Transportlösungen für die Windenergie und im Speziellen für die Rotorblätter.

Im Vergleich zu Laboranwendungen verlieren konventionelle elektrische Drucksensoren in rauen Umweltbedingungen die gewohnten Sensoreigenschaften bis hin zu Ausfällen. Die faseroptische Messtechnik verspricht hierbei aufgrund ihrer inhärenten Vorteile eine robustere Sensorlösung für den Feldeinsatz zu sein. Ein grundlegender Vorteil von faseroptischen Drucksensoren ist die inhärente Unempfindlichkeit gegenüber parasitären elektromagnetischen Interferenzphänomenen. Der Verzicht auf korrosive metallische Materialien ermöglicht größere Lastzyklen, eine exzellente Medienbeständigkeit und daher eine längere Lebensdauer, sowie vor allem eine hervorragende Überlaststabilität. Im Rahmen dieser Forschung wurden dazu Drucksensoren in Stabkonfiguration mit einem Außendurchmesser von 2 mm und Flachdrucksensoren mit einer Dicke von nur 1,1 mm entwickelt. Während die Stabdrucksensoren einen identischen konventionellen Formfaktor und gewohnte Handhabung aufweisen, erlauben die Flachdrucksensoren eine nicht-invasive, nahezu oberflächenneutrale Instrumentierungen an Tragflächen.

Infolge der hohen Eigenfrequenz von über 250 kHz, einer linearen Übertragungscharakteristik vom statischen bis in den akustischen Frequenzbereich und der hohen Überlastdruckfestigkeit von mehr als dem 30-fachen des Messbereiches werden die Sensoren in den Versuchen zeitgleich für aerostatische, aerodynamische und aeroakustische Messungen eingesetzt. Der Sensorkopf aus Quarzglas besteht lediglich aus einer Membran, einer Kavität, zwei Spiegeln und einem Lichtwellenleiter. Die dünne Glassmembran ist gegenüber einem halbdurchlässigen Spiegel angeordnet und bildet in der Kavität einen optischen Resonator aus. Das zugrundeliegende mechanische Prinzip dieses Sensoraufnehmers ist mit den meisten elektrischen Sensoren vergleichbar. Die mechanische Auslenkung einer Membran hängt von der angelegten Druckdifferenz zwischen dem Referenzdruck innerhalb der Kavität und dem zu messenden Umgebungsdruck ab. Bei diesen optischen Sensoren beeinflusst eine Membranauslenkung jedoch die spektralen optischen Eigenschaften des Sensors anstelle elektrischer Parameter. **Abbildung 1** veranschaulicht den Stabdrucksensor in einem Kunststoffgehäuse. Besonders hervorzuheben ist die oberflächenneutrale Membran an der Spitze des Sensors, welche parasitäre akustische Störungen

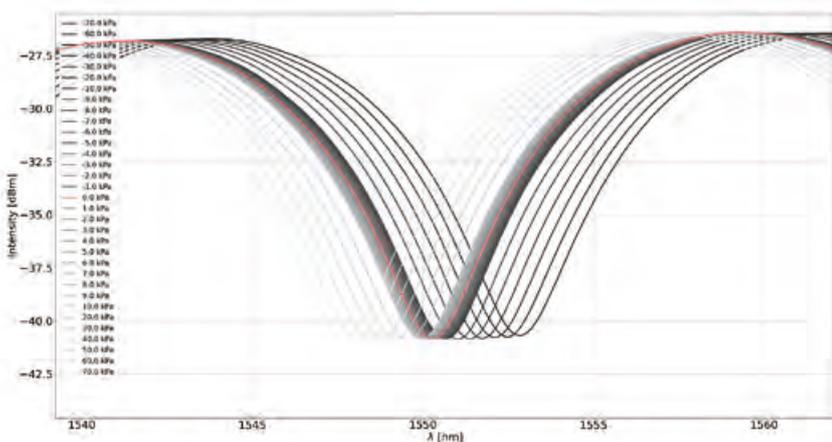


Abb. 2: Spektrales Antwortspektrum des Drucksensors in Abhängigkeit des Druckes

und Resonanzen unterdrückt und so Messungen von verrauschten Grenzschichten ermöglicht.

Das optische Messprinzip des Sensors wird als extrinsisches Fabry-Pérot-Interferometer klassifiziert, welches auf der konstruktiven und destruktiven Überlagerung von optischen Wellen in Abhängigkeit zur optischen Resonatorweglänge beruht. Beleuchtet eine schmalbandige Lichtquelle den Sensor durch dessen Lichtwellenleiter, wird das reflektierte Lichtspektrum des Sensors, abhängig von der optischen Resonatorlänge, moduliert. Jede Wellenlänge des einfallenden Lichts, die ein ganzzahliges Vielfaches der optischen Resonatorlänge ist, wird in der Reflexion destruktiv interferieren. Wenn sich der Druckunterschied zwischen Kavität und Umgebung erhöht, verformt sich die Membran in Richtung des halbdurchlässigen Spiegels, sodass sich der optische Resonator verkürzt. Verringert sich der anliegende Druck, dann entspannt sich die Membran, sodass sich der optische Resonator verlängert, dementsprechend verschiebt sich das reflektierte Spektrum des Sensors. **Abbildung 2** zeigt hier exemplarisch die Modulation eines Sensors in Abhängigkeit des anliegenden Drucks. Mit steigendem Druck verringert sich die Resonatorlänge im Sensor, das Spektrum verschiebt sich zur kleineren Wellenlänge. Mit fallendem Außendruck verlängert sich die Resonatorlänge, sodass sich ein Phasenversatz des Spektrums zur größeren Wellenlänge ergibt.

Zusätzlich zum Sensorelement ist ein passives optisches Kantenfilter-Messgerät notwendig, welches die variierende Phasenmodulation des Fabry-Pérot-Sensors in ein analoges elektrisches Signal umsetzt, digitalisiert und die Messdaten über eine breitbandige Kommunikationsschnittstelle wie Ethernet, CAN-Bus oder PROFINET einer industriellen Steuerung zur Verfügung stellt. Lineare Signaldemodulationstechniken haben hier Vorteile, wie eine hohe Empfindlichkeit, eine einfache schnellere Signalverarbeitung und einen kostengünstigen robusten Aufbau [4].

Nachdem das Messsystem seine Langzeitstabilität in einer einjährigen Feldtestvalidierung mit rund 150 Drucksensoren an einer modernen Windkraftanlage bewiesen hat [2], wurde im Rahmen des erfolgreich abgeschlossenen Clean Sky 2 Projektes SKOPA (Skin friction and fiber-optics-based surface pressure measurements for aircraft applications, H2020 - 820835) das faseroptische Messsystem unter relevanten Einsatzbedingungen in Flugtests erprobt [3]. Dazu wurden faseroptische Drucksensoren auf einer Tragfläche eines Klein-



Abb. 3: Kleinflugzeug

flugzeuges installiert, um aerodynamische Luftstromablösungen im Langsamflug nahe des Strömungsabrisses der Tragfläche zu erfassen (**siehe Abbildungen 3 und 4**).

Im Allgemeinen werden die zu messenden Auftriebskräfte durch den bei Höhenänderung entstehenden statischen Druckabfall überlagert. Hierzu zeigt **Abbildung 5** die statische Druckmessung eines faseroptischen Sensors im Vergleich zu einem konventionellen elektrischen Referenzsensor für den gesamten Flug. Es ist zu erkennen, dass mit zunehmender Höhe der statische Druckwert abnimmt. Um die eigentlichen aerodynamischen und akustisch induzierten Druckkräfte zu quantifi-



Abb. 4: Faseroptische Drucksensoren auf einer Tragfläche eines Kleinflugzeuges

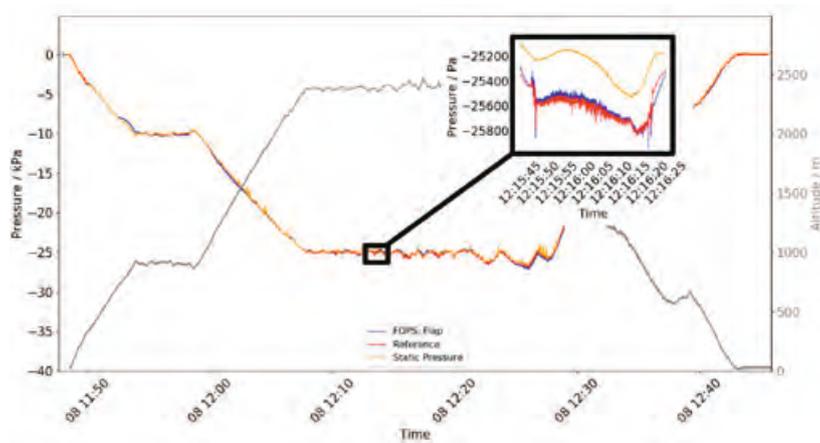


Abb. 5: Druckverlauf im Flugversuch

zieren, ist eine deutlich höhere Auflösung notwendig, sodass ein besonders großer Dynamikbereich des Drucksensors benötigt wird. **Abbildung 5** beinhaltet ein detaillierteres Zeitsignal, welches ein Abreißen der Strömung während des kritischen Flugmanövers veranschaulicht. Während dieses Flugmanövers nehmen zum einen die Sogkräfte auf Grund eines höheren Anstellwinkels zu und zum anderen zeichnet das System zeitgleich turbulente Luftströmungen auf. Dies deutet bereits auf abgelöste Strömungsverhältnisse hin.

Die bei der Messung erhobenen Daten ermöglichen einen hervorragenden Einblick in die aerodynamischen Gegebenheiten und demonstrieren aerodynamische Überwachungsmöglichkeiten, insbesondere von Auftriebskräften, komplexen Strömungszuständen und Turbulenzintensitäten von seriennahen Prototypen unter widrigsten Einsatzbedingungen [3].

Die Erprobung der faseroptischen Drucksensorik und der dazugehörigen Messsysteme im Rahmen der Forschungsprojekte erhöhte einerseits das Technologielevel, andererseits vereinfachten sich im Laufe der Projekte auch besonders die Produktionsaufwände durch Standardisierung und Skalierung innovativer anpassbarer Fertigungsverfahren [3]. Im nächsten Schritt gilt es nun weitere gängige aerodynamische Applikationen mit faseroptischer Messtechnik zu bedienen und zu untersuchen, wie beispielsweise die faseroptische Instrumentierung von Pitot- und Mehrlochsonden zur Ermittlung der Anströmung [5].

**LITERATUR:**

- [1] S. U. Kienitz, S. Krefit, M. J. Schmid, M. Staats und A.W. Koch: Miniature Airworthy Fiber-optic Pressure Sensor for Measuring Static Pressure and Acoustics. Aerospace Europe Conference 2020, available: [https://aerospace-europe2020.eu/proceedings\\_20](https://aerospace-europe2020.eu/proceedings_20) (2020)
- [2] M.J. Schmid, B.A. Kuhnle, S.U. Kienitz, C.F. Napierala, C. Scheit, A. Altmikus, M.S. Müller und A.W. Koch: A fiber-optic sensor for measuring quasi-static and unsteady pressure on wind energy converters. Smarte Strukturen und Systeme, Tagungsband des 4SMARTS-Symposiums, 21.–22.06.2017, Braunschweig, Shaker Verlag (2017)
- [3] S. U. Kienitz, L. Lohr, M. J. Schmid and A. W. Koch, „Static and Dynamic Pressure Measurement in Flight Test Application With Optical Fabry–Pérot Sensors,“ in IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, vol. 70, pp. 1-11, Art no. 7004611, doi: 10.1109/TIM.2021.3084308 (2021)
- [4] M. J. Schmid, M. S. Müller, A. Bernd, B. A. Kuhnle, M. W. Bauer, R. Pongratz und A. Altmikus: Fiber optic acoustic pressure sensor with high dynamic range and low noise. 36th European Telemetry and Test Conference, available: Nuremberg Germany DOI 10.5162/etc2016/2.7, paper 2.7, p90-92 (2016)
- [5] F. M. Heckmeier, D. Iglesias, S. Krefit, S. Kienitz und C. Breitsamter: Development of unsteady multi-hole pressure probes based on fiber-optic pressure sensors. Engineering Research Express, 1(2), 025023. doi:10.1088/2631-8695/ab4f0d (2019)



**KONTAKT**



**TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN**  
 Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik  
 Lehrstuhl für Messsystem- und Sensortechnik  
 Arcisstraße 21  
 D-80333 München  
 Tel.: +49 (0)89 289-23344  
 a.w.koch@tum.de  
[www.mst.ei.tum.de](http://www.mst.ei.tum.de)

# 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.

Als Produkthersteller hat Micro Sensor diesmal die neue M20-Serie für allgemeine Industrieanwendungen auf den Markt gebracht. Mit der hohen Stabilität und Messgenauigkeit bietet der kompakte Druckmessumformer ein exzellentes Preis-Leistungs-Verhältnis. Die unterschiedlichen Messbereiche und Gewinden nach internationalen Normen sind direkt auswählbar. M20 verwendet eine digitale Temperaturkompensation und

-kalibrierung von  $-10^{\circ}\text{C} \sim 80^{\circ}\text{C}$ , um die Genauigkeit ( $\pm 0,25\% \text{FS}$  und  $\pm 0,50\% \text{FS}$ ) in diesem Temperaturbereich zu gewährleisten. Mit dem M20 Druckmessumformer hat Micro Sensor eine neue vollautomatisierte Produktionslinie eingeführt, die mit Qualität kurze und flexible Fertigung ermöglicht. Dieser Fertigungsprozess ist skalierbar und sowohl für kleine Aufträge als auch für Massenproduktion geeignet. ■

## KONTAKT

**MICRO SENSOR GMBH**  
Dipl.-Ing. Kai Lu  
Girardetstr. 6, 45131 Essen  
Tel.: +49 (0) 201 9599 1858  
kai.lu@microsensorcorp.de  
<https://de.microsensorcorp.com>



# Industrievibrometer mit passender Prüfsoftware KOMPLETTPAKET FÜR DIE AKUSTISCHE PROZESS- UND QUALITÄTSKONTROLLE



**Abb.:** Akustische Prozess- und Qualitätskontrolle leicht gemacht: Industrievibrometer und leistungsfähige Prüfsoftware als Komplettlösung. (Urheber: Polytec)

Akustische und vibrometrische Messungen zur Schwingungsanalyse sind bei industriellen Güteprüfungen eine gute Wahl, besonders wenn Produktionsprozesse hohe Anforderungen an Produktqualität, Fertigungssicherheit und Wirtschaftlichkeit stellen. Polytec (vgl. Kastentext 1) bietet hierfür ausgereifte Lösungen an, mit denen sich unterschiedlichste Aufgabenstellungen bei Akustik-, Strukturdynamik- und Ultraschallmessungen realisieren lassen. Um das Verhalten eines Prüfobjektes zu untersuchen, müssen allerdings zahlreiche Messdaten ausgewertet werden. Das ist jetzt viel einfacher möglich: RTE, selbst seit vielen Jahren Polytec-Kunde, hat die eigene Prüfsoftware SonicTC an das Vibrometer IVS-500 angepasst. Damit kann Polytec-Anwendern jetzt ein modernes, leistungsfähiges und flexibles Komplettpaket für die akustische Qualitäts- und Prozessüberwachung anbieten (Bild). Es lässt sich als voll- oder teilautomatisiertes System einsetzen und leicht in bereits bestehende Anlagen integrieren.

## Vibrometer plus Software für eine effiziente Güteprüfung

Das Industriebrometer IVS-500 liefert zuverlässige Messergebnisse auf praktisch allen Oberflächen berührungslos, unabhängig von Umgebungsbedingungen und bei variablen Arbeitsabständen von wenigen Zentimetern bis zu ca. 3 Metern. Eine integrierte Auto- und Remote-Fokus-Funktion sorgt immer für hohe Signalqualität, z. B. wenn in einem End-of-Line-Prüfstand auf unterschiedlich großen Bauteilen gemessen wird. Als Komplettlösung in Verbindung mit der Prüfsoftware SonicTC QuickCheck oder SonicTC QuickCheck PLUS lässt sich das Laservibrometer jetzt besonders einfach an die unterschiedlichsten Messaufgaben anpassen.

Die Software ist für die vibroakustische Güteprüfung mit Laservibrometern perfekt abgestimmt, kann gleichzeitig aber auch Messdaten anderer Sensoren verarbeiten. Sie erfasst die Messsignale, wertet sie aus, steuert den Prüfablauf, kommuniziert mit dem Fertigungsleitsystem und bietet über ihre intuitive Bedienoberfläche komfortable Konfigurations- sowie Auswertemöglichkeiten. Die PLUS-Version enthält zusätzliche Funktionen für die tieferegehende industrielle Güteprüfung, wie beispielsweise Ordnungsanalyse, homomorphe Transformation (Cepstrum), Frequenzpositionsüberwachung sowie einen SQL-Datenbank-Export und einen Signalgenerator. Zudem werden Hardwareschnittstellen wie ProfiNET und Profibus unterstützt. ■

## Über Polytec

Als Lasertechnologie-Pionier bietet Polytec bereits seit 1967 optische Messtechnik-Lösungen für Forschung und Industrie. Nach den Anfangsjahren als Distributor machte sich das Hochtechnologie-Unternehmen mit Sitz in Waldbronn bei Karlsruhe schon in den 70er Jahren einen Namen als Entwickler eigener laserbasierter Messgeräte – und ist heute Weltmarktführer im Bereich der berührungslosen Schwingungsmesstechnik mit Laservibrometern. Systeme für die Längen- und Geschwindigkeitsmessung, Oberflächencharakterisierung, Analytik sowie die Prozessautomation gehören ebenfalls zur breiten Palette an Eigenentwicklungen. Eine weitere Kernkompetenz von Polytec ist die Distribution von Bildverarbeitungs-komponenten und optischen Systemen.

## Über RTE

RTE ist in der akustischen Prüftechnik für die Serienfertigung weltweit führend. Seit seiner Gründung 1986 entwickelt, fertigt und liefert das Unternehmen Produkte und Prüfvorrichtungen auf der Basis akustischer Auswerteverfahren. Der Schwerpunkt der Produktpalette liegt auf Prüfsystemen und Anlagen zur Geräusch- und Funktionsprüfung und insbesondere der akustischen Materialprüfung sowie Prozessüberwachung. Zu den Dienstleistungen gehören u. a. Machbarkeitsstudien (Produktbemusterungen) zur akustischen Produktprüfung sowie auch Schulungen und Trainings für die Anwender. Neben dem eigenen Vertrieb am Firmenstandort in Pfinztal bei Karlsruhe arbeitet RTE erfolgreich mit Vertriebspartnern in anderen europäischen Ländern und Übersee zusammen.

## KONTAKT

### POLYTEC GMBH

76333 Waldbronn

Tel.: +49 7243 604-0

E-Mail: [info@polytec.de](mailto:info@polytec.de)

[www.polytec.com](http://www.polytec.com)

Laservibrometer: schneller und präziser messen auch bei optisch rauen Oberflächen

## MULTI-DETEKTOR-PRINZIP VERBESSERT SIGNALQUALITÄT



Die patentierte Qtec®-Technologie, die den Signal-Rauschpegel bei Schwingungsmessungen signifikant verbessert gibt es wahlweise als Messkopf für das bestehende VibroFlex-System (a) und als Scanning Vibrometer (b). (Urheber: Polytec)

Die Signalqualität einer Laservibrometer-Messung hängt von der Intensität des zurückgestreuten Lichts ab. Während auf optisch glatten Oberflächen das Laserlicht verlustfrei zum Photodetektor reflektiert wird, sind Messoberflächen in der Praxis aber meist optisch rau, was zu breitbandigem Rauschen und unerwünschten Signalaussetzern führen kann. Genau hier setzt die patentierte Qtec®-Technologie von Polytec an und verbessert den Signal-Rauschpegel bei Schwingungsmessungen signifikant (Bild). Den Schlüssel dazu liefert ein Multi-Detektor-Konzept, das heißt, die zurückgestreuten Signale erreichen mehrere Photodetektoren. Unregelmäßigkeiten der Oberfläche spielen dadurch kaum noch eine Rolle, weil – vereinfacht ausgedrückt – bei der Reflexion weniger Licht verloren geht. Eine schnelle Elektronik im Messkopf gewichtet die Detektorsignale in Echtzeit; der Anwender bekommt ein gemeinsames Messsignal zur Verfügung gestellt, sodass die neuen Messköpfe kompatibel mit den bisherigen Einkanal-Vibrometer-Decodern sind.

## Verlässliche Daten und kürzere Messzeit

Die höhere optische Empfindlichkeit ist die Basis für bessere Datenqualität und höhere Produktivität: Selbst bei anspruchsvollen Messaufgaben verhilft die neue Mehrkanal-Interferometrie zu verlässlichen Messdaten, z. B. auf bewegten, entfernten oder rotierenden Prüflingen, und sie funktioniert sogar bei schlecht reflektierenden Oberflächen wie der menschlichen Haut. Zudem werden Messungen schneller. Bislang wurde ein schlechtes Signal-Rauschverhältnis durch die Mittelung mehrerer Messungen zum Teil kompensiert. Mit dem neuen Ansatz sind je nach Anwendungen vier- bis zehnmal weniger Mittelungen notwendig. Das verkürzt die Messzeit deutlich. Darüber hinaus werden sogar rauscharme Schwingungsmessungen in Anwendungen möglich, bei denen man gar nicht mitteln kann, weil der Zeitfaktor einfließt, zum Beispiel wenn der Weg bestimmt werden soll, den ein Objekt zurücklegt, oder die Pulsmessung beim Menschen.

Die neue QTec®-Technologie gibt es wahlweise als Messkopf für das bestehende VibroFlex-System (optional mit der Software VibSoft-VL für die digitale Erfassung und Auswertung der Daten) und als Scanning Vibrometer in einer Kompaktausführung oder als 3D-Variante zur Erfassung aller Schwingrichtungen. Die Scanning Vibrometer werden immer als schlüsselfertiges System mit integrierter Datenerfassung und 3D-Visualisierung der Schwingformen geliefert.

## Über Polytec

Als Lasertechnologie-Pionier bietet Polytec bereits seit 1967 optische Messtechnik-Lösungen für Forschung und Industrie. Nach den Anfangsjahren als Distributor machte sich das Hochtechnologie-Unternehmen mit Sitz in Waldbronn bei Karlsruhe schon in den 70er Jahren einen Namen als Entwickler eigener laserbasierter Messgeräte – und ist heute Weltmarktführer im Bereich der berührungslosen Schwingungsmesstechnik mit Laser-vibrometern. Systeme für die Längen- und Geschwindigkeitsmessung, Oberflächencharakterisierung, Analytik sowie die Prozessautomation gehören ebenfalls zur breiten Palette an Eigenentwicklungen. Eine weitere Kernkompetenz von Polytec ist die Distribution von Bildverarbeitungs-komponenten und optischen Systemen.

Weitere Informationen zum Thema finden Sie unter: [www.polytec.de/qttec](http://www.polytec.de/qttec)



## KONTAKT

### POLYTEC GMBH

Postfach 1140, 76333 Waldbronn

Tel.: +49 (0)7243 604-0, E-Mail: [info@polytec.de](mailto:info@polytec.de)

[www.polytec.com](http://www.polytec.com)

# VIRTUELLE FEHLERINJEKTION IN MECHATRONISCHEN UND ELEKTRONISCHEN SYSTEMEN ZUR ZUVERLÄSSIGKEITS- UND SICHERHEITSANALYSE

M.Sc. Roman Müller-Hainbach, M.Sc. Levent Ergün, Prof. Dr.-Ing. Stefan Butzmann (Bergische Universität Wuppertal)

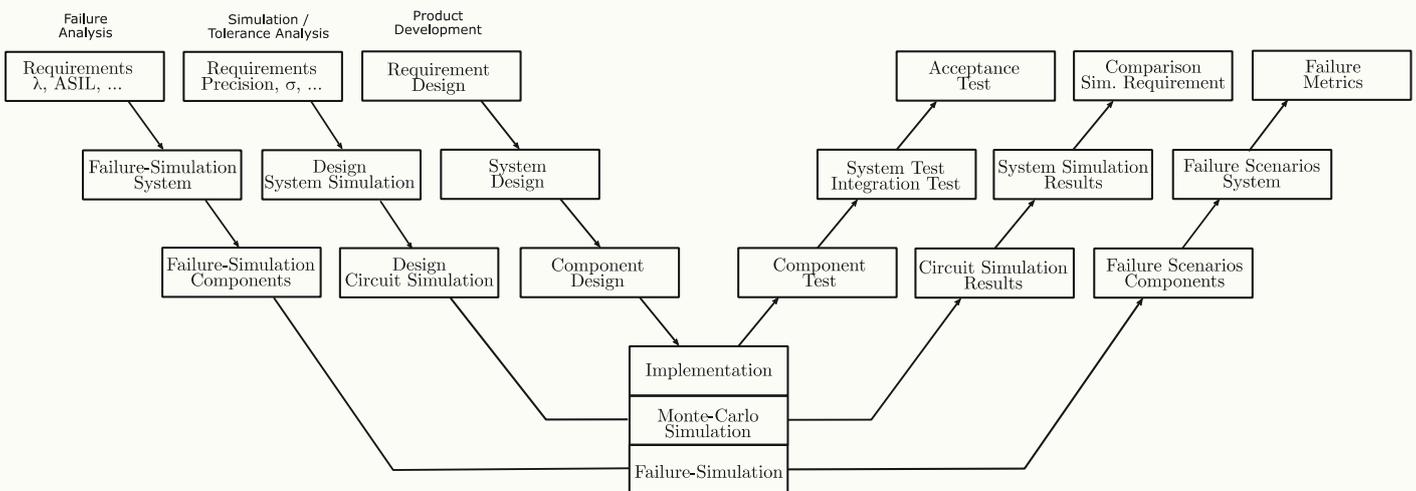


Abb. 1: Erweitertes V-Modell für eine vollständige Analyse von mechatronischen und elektronischen Systemen

Die Entwicklung von elektronischen Systemen nach dem V-Modell ist heute in vielen Industriezweigen ein etablierter Standard. Häufig wird die Sicherheitsanalyse jedoch erst zu einem späten Zeitpunkt in den Entwicklungsprozess integriert. Späte Änderungen an der Systemarchitektur machen eine erneute Sicherheitsbetrachtung mit erheblichem Aufwand notwendig. Daher ist es sinnvoll, die Sicherheitsanalyse früh in den Entwicklungsprozess zu integrieren und die Auswertung nach dem erweiterten V-Modell automatisiert durchzuführen (Abb. 1).

Das Ausfallverhalten elektronischer Komponenten hat erheblichen Einfluss auf die Zuverlässigkeit elektronischer und mechatronischer Systeme. Während die Monte-Carlo-Simulation ein etabliertes Werkzeug ist, um die Auswirkungen von Komponententoleranzen vorherzusagen, wird der Ausfall von Bauelementen heute meist nicht automatisiert berücksichtigt.

Am Lehrstuhl für Sensorik und messtechnische Systeme wird an software-unterstützten Methoden gearbeitet, mit deren Hilfe die Auswirkungen der Ausfälle einzelner Module und Komponenten auf das Gesamtsystem effizient und automatisiert prognostiziert werden können. Die eingesetzten und industrieerprobten Verfahren wurden bereits mehrfach erfolgreich bei der Identifikation kritischer Fehlerpfade und für Sicherheitsnachweise eingesetzt.

## Herausforderungen in der Sicherheits- und Zuverlässigkeitsanalyse

In fast allen modernen, sicherheitskritischen Systemen ist durch geeignete Analysen wie z. B. FMEAs sicherzustellen, dass es bei Ausfall einzelner Bauelemente oder Komponenten nicht zu kritischen Zuständen kommt. Vielmehr sollen solche Szenarien durch geeignete Maßnahmen, wie z. B. Diagnose oder redundante Ausführung wesentlicher Komponenten, vermieden werden. Naturgemäß nimmt die Komplexität solcher Analysen mit zunehmender Anzahl der verwendeten Komponenten und Bauelemente zu, bei der Betrachtung von Mehrfachfehlern sogar exponentiell.

So können bspw. bei einem Kfz-Batterie-Management-Steuergerät mit ca. 2000 Bauelementen theoretisch mehr als 30 Millionen (!) verschiedene Fehlerszenarien (unter Berücksichtigung von Einzel- und Doppelfehlern) auftreten. Es versteht sich von selbst, dass die Absicherung und Bewertung solcher Systeme mit traditionell moderierten FMEAs nicht oder nur unvollständig möglich ist, sondern dass es vielmehr computergestützter Simulationsmethoden bedarf, um die Komplexität solcher Systeme auch sicherheitstechnisch zu beherrschen.

Ein weiterer Nachteil heutiger FMEAs ist die manuelle Projektion der Ausfälle einzelner Module und Komponenten auf das Gesamtsystem („expert guess“).

Abb. 2 stellt die beiden Ebenen (Systemebene, Komponentenebene) und die erwähnte Schwachstelle der klassischen Methoden dar. Während auf der Systemebene zunächst mit Verhaltensmodellen gearbeitet wird, um das Systemverhalten unter der Annahme eines ideal arbeitenden Subsystems (hier: „Gain-Block“) zu bestimmen, kann die reale Implementierung der Schaltung auf der Komponentenebene (hier: Spannungsteiler) in ihrem Verhalten hiervon erheblich abweichen. Bereits ohne Ausfall einzelner Bauelemente sind viele Szenarien denkbar, warum die Implementierung in ihrem Verhalten von der idealisierten Systembeschreibung abweichen könnte, z. B. ein schlechtes Design oder der Einfluss der Eingangs- und Ausgangswiderstände der betrachteten Teilschaltung. Die Überprüfung, ob die gewählte Implementierung das gewünschte Systemverhalten hinsichtlich aller relevanter Aspekte vollständig abbildet, liegt allein in der Verantwortung des Entwicklers. Insbesondere bei komplexen Subsystemen stellt dies ein erhebliches Entwicklungsrisiko dar.

Werden jetzt zusätzlich Ausfallszenarien einzelner Bauelemente betrachtet, so kann der Entwickler vielleicht noch das Verhalten der jeweiligen Subsysteme abschätzen, eine zuverlässige Aussage über das Verhalten komplexer Gesamtsysteme ist jedoch meist nicht mehr möglich.

Hinzu kommt, dass aufgrund der Vielzahl elektronischer Bauelemente in vielen Subsystemen die Anzahl der Fehlermöglichkeiten so ansteigt, dass eine vollständige manuelle Betrachtung ohnehin nicht mehr infrage kommt.

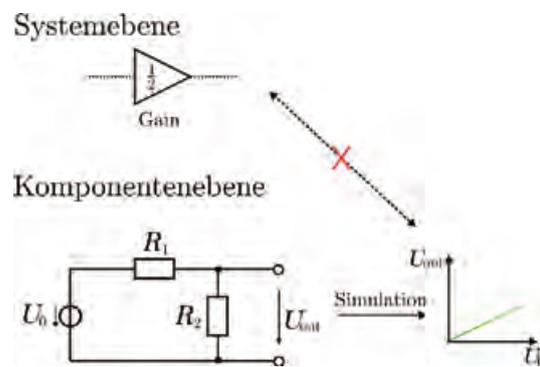


Abb. 2: Unvollständige Projektion zwischen der System- und Komponentenebene

## Innovativer Ansatz für die Sicherheits- und Zuverlässigkeitsanalyse

Der an der Bergischen Universität Wuppertal verfolgte Ansatz setzt auf die frühe Einbindung der Gefahren- und Risikoanalyse bereits bei der Festlegung der Systemarchitektur, um aufwendige und kostenintensive Anpassungen im späteren Entwicklungsprozess vermeiden zu können.

Daher wird das Gesamtsystem zu Entwicklungsbeginn in Simulink modelliert und analysiert. In dieser ersten Phase ist es ausreichend, die Subsysteme (z. B. Spannungsteiler, Differenzverstärker) lediglich als einfache Verhaltensmodelle abzubilden. Gleichzeitig wird untersucht, ob die gewählte Systemarchitektur auch im Fehlerfall das System in einen sicheren Zustand überführen kann. Zu diesem Zweck wird das idealisierte Verhalten jedes Subsystems in dieser Phase der Analyse durch angenommene Ausfallszenarien ersetzt (Abb. 3) und das Verhalten des Gesamtsystems bewertet. Durch diese frühe Einbindung der Fehler- und Toleranzanalyse in die Architekturentscheidung werden wichtige Erkenntnisse bereits zu Beginn der Entwicklung gewonnen, sodass etwaige Anpassungen ohne weitreichende Konsequenzen erfolgen können.

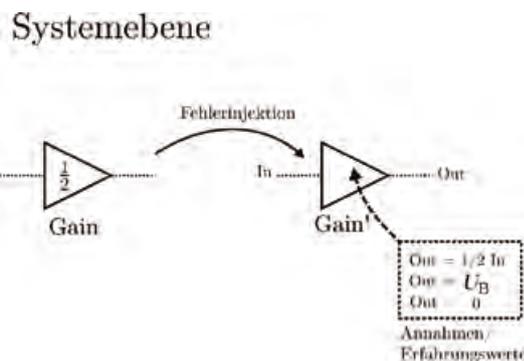


Abb. 3: Umwandlung der Subsysteme in Fehler-Injektions-Blöcke und Eingabe von angenommenen Ausfallszenarien

Nach Festlegung der Systemarchitektur werden die einzelnen Subsysteme auf der Komponentenebene entwickelt und implementiert. Die Modellierung der realen Schaltung erfolgt dabei meist unter SPICE. Auf Schaltungsebene wird nun ebenfalls eine vollständige Fehler- und Toleranzanalyse vollzogen. Je nach Komplexität der Subsysteme und des Gesamtsystems fallen hierbei große Datenmengen an, so dass die Weiterverarbeitung der Simulationsergebnisse erhebliche Rechenleistung benötigt.

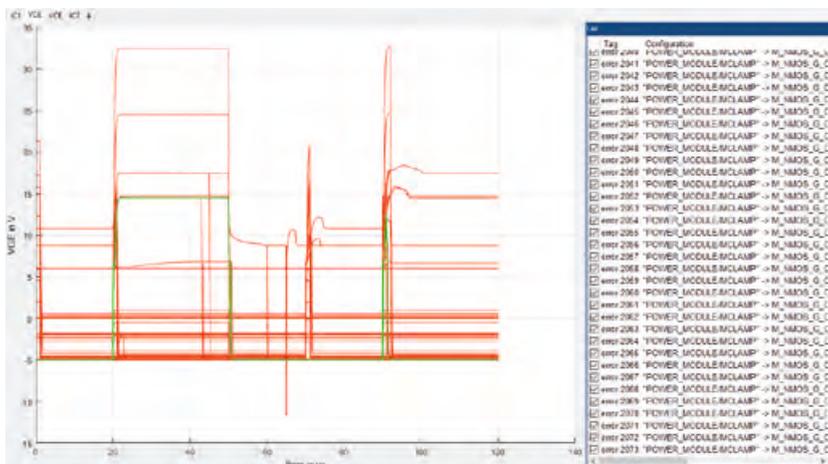


Abb. 4: Teilanalyse Pulswechselrichter-Ausfallszenarien (hier dargestellt: Gate-Spannung eines IGBTs)

Der eigens hierfür entwickelte und optimierte Algorithmus nutzt dabei die Ähnlichkeit vieler Fehlerbilder zueinander aus, was bei der Betrachtung und Simulation des Gesamtsystems eine erhebliche Reduktion des Rechenaufwands und der für die Analyse benötigten Zeit zur Folge hat.

Mit Hilfe der beschriebenen Methodik und dem hohen Grad an parallelisierter Ausführung können somit auch komplexe Systeme in einer moderaten Zeit vollständig analysiert werden. Dabei wird in allen Phasen der Fehleranalyse die Durchgängigkeit der Werkzeugkette wie auch die Konsistenz der Daten sichergestellt.

### Anwendung der Methodik

Zu Testzwecken der beschriebenen Methodik wurde für einen Pulswechselrichter aus dem Bereich der Elektromobilität mit ca. 2000 Bauelementen für einen großen Automobilzulieferer der Sicherheitsnachweis erbracht.

Hierzu wurden für alle Bauelemente Einzel- und Doppelfehleranalysen durchgeführt und vollautomatisiert bewertet (Abb. 4). Der Vergleich mit der zuvor manuell durchgeführten FMEA ergab große Übereinstimmungen.

Mit Hilfe der an der Bergischen Universität Wuppertal entwickelten Methodik konnte die Ausfallanalyse jedoch mit einem Bruchteil des Aufwands der klassischen FMEA erstellt werden.

Die betrachteten Fehlerfälle waren von deutlich größerer Vollständigkeit, vor allem was die Betrachtung von Doppelfehlern und möglicher latenter Fehler betraf.

### KONTAKT

#### BERGISCHE UNIVERSITÄT WUPPERTAL

Prof. Dr.-Ing. Stefan Butzmann  
 Fakultät für Elektrotechnik, Informationstechnik und Medientechnik  
 Lehrstuhl für Sensorik und messtechnische Systeme  
 Gebäude FC, Raum 2.20  
 Rainer-Gruenter-Str. 21, 42119 Wuppertal  
 Tel.: +49 (0) 202 439-1814 / 1987 (Sekretariat)  
 E-Mail: butzmann@uni-wuppertal.de  
[www.uni-wuppertal.de](http://www.uni-wuppertal.de)



# Mikroskopie und Video-Messung

Die richtige Lösung finden mit Nikon Metrology.



MIKROSKOPIE UND  
VIDEO-MESSUNG

Nikon Metrology ist weltweiter Technologieführer für bildgebende Geräte und Hersteller von optischen und digitalen Mikroskopen, die Vielseitigkeit, unübertroffene Leistung und Produktivität für alle Anwendungen bieten.

Die NEXIV-VideoMessgeräte basieren auf der hervorragenden optischen Leistung von Nikon und setzen neue Maßstäbe bei der Messung kleinster Teile.

[nikonmetrology.com](http://nikonmetrology.com)  
+49 211 4544 6951  
[Sales.Germany.NM@nikon.com](mailto:Sales.Germany.NM@nikon.com)

# Reaktionsschnelle Sensorik beim Matratzentest WEGMESSUNG FÜR EINEN ENTSPANNTEN SCHLAF



**Abb. 1:** Norbert Vogt, Laborleiter bei der Forschungsgruppe Industrieanthropologie der Christian-Albrechts-Universität in Kiel: „Die Sensoren haben ein sehr geringes Losbrechmoment beim Start der Messung. Sie reagieren damit sehr feinfühlig auf kleinste Veränderungen“. (Urheber: Forschungsgruppe Industrieanthropologie der Christian-Albrechts-Universität in Kiel)

**Weg- und Winkelsensoren unterschiedlicher Funktionsprinzipien werden in der Automatisierungstechnik gebraucht, wenn es gilt, lineare oder rotative Bewegungen zu erfassen. Auf industrielle Einsatzbereiche trifft das ebenso zu wie auf mobile Anwendungen oder die Medizintechnik. Selbst in eher ungewöhnlichen Applikationen bewähren sich die vielseitigen Sensoren als unersetzliche Helfer. So erfassen beispielsweise lineare potentiometrische Sensoren bei der vergleichenden Warenprüfung von Matratzen die Einsinktiefe und sorgen für entspannten Schlaf. Messbereich, Linearität, Auflösung und das geringe Losbrechmoment waren Gründe, die für die Auswahl sprachen.**

Gut 30 Prozent seines Lebens verschläft der Mensch. Es ist also wichtig, worauf man liegt. Die Forschungsgruppe Industrieanthropologie der Christian-Albrechts-Universität in Kiel untersucht deshalb, wie die individuell passende Matratze aussehen könnte. Insgesamt sechs Stationen umfasst der Prüfumfang, bei dem von den Stabilisierungseigenschaften über die Dauerbelastung bis zur Befragung von Probandinnen und Probanden nach Matratzeigenschaften gesucht wird, die einen entspannten Schlaf beeinträchtigen können. Liegeeigenschaften im Test

Eine wesentliche Rolle spielt dabei die Prüfung der Liegeeigenschaften, also wie die Matratze den Körper abstützt. Die Matratze muss diese Funktion übernehmen, da die Muskulatur beim Schlafen erschlafft und somit Wirbelsäule, Becken oder auch Schulter nicht stützen kann. „Deshalb gilt es die reale sphärische Veränderung der Matratzenoberfläche während des Liegens zu registrieren“, erläutert Laborleiter Norbert Vogt (**Bild 1**). Je nach Statur ergeben sich dabei deutliche Unterschiede. Ein schwerer Proband, der gerne auf der Seite schläft, braucht eine andere Unterstützung als ein leichter, der die Rückenlage bevorzugt.

Bevor getestet wird, ob eine Person zu einer bestimmten Matratze passt, wird deren Wirbelsäu-

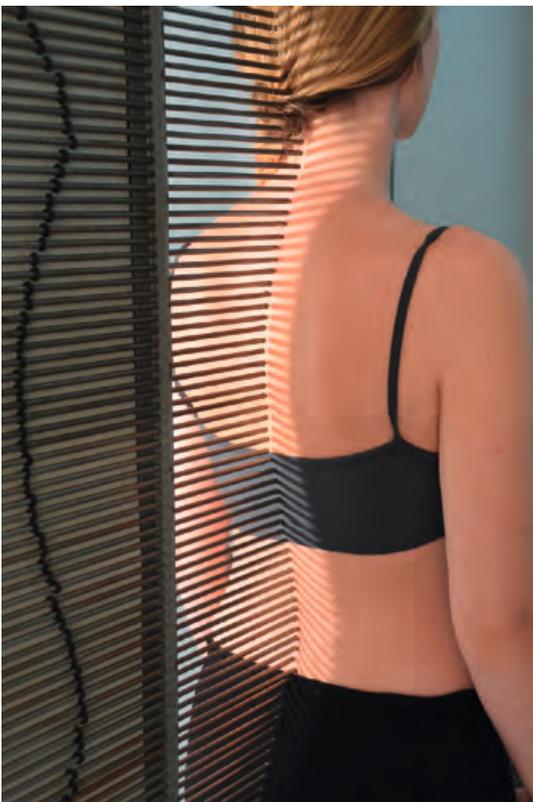


Abb. 2: Mit dem Kypholordosometer wird die Wirbelsäule vermessen. (Urheber: DW/F.Hajasch)



Abb. 3: Legt sich ein Proband auf die Matratze, verformt sich die Oberfläche und die Sensoren erfassen die Tiefe des Einsinkens. (Urheber: Forschungsgruppe Industrieanthropologie der Christian-Albrechts-Universität in Kiel)

len-Ausformung und Krümmung bestimmt, die sogenannte Krümmung. „Wir benutzen dafür meist ein Kypholordosometer“, fährt Norbert Vogt fort. „Mit diesem Gerät können wir die gesamte Wirbelsäule erfassen, vom Kopf über den Halsbereich, zur sogenannten Brustkyphose und der Lendenlordose bis hin zum Steißbein.“ An einem stabilen Gestell sind dazu viele kleine Metallstifte angeordnet (**Bild 2**). Die werden an die Wirbelsäule der Testperson herangeschoben, so dass sich deren Silhouette abzeichnet. Das Bild der Krümmung wird dann fotografiert und metrisch ausgewertet. „Inzwischen arbeiten wir an dieser Stelle auch laser- gestützt, beim anschließenden Liegetest bringt uns diese Technik aber nicht weiter, weil der Laser nicht durch die Matratze dringt“, ergänzt der Laborleiter.

### Passende Sensorik für das Testbett

Was im Stehen vermessen wurde, wird anschließend mit der liegenden Wirbelsäule verglichen. Dafür wird ein Mess-Bett eingerichtet: Auf ein Hochgestell legen die Industrieanthropologen dazu eine der neuen Matratzen, die getestet werden sollen. Darunter werden Sensoren in einer Linie angebracht, deren Signale in einem Rechner verarbeitet werden (**Bild 3**). Legt sich nun der Proband auf die Matratze, verformt sich deren Oberfläche und die Sensoren erfassen die Tiefe des Einsinkens (**Bild 4**).

An den insgesamt drei Messbetten der Universität Kiel sind dazu jeweils bis zu 36 lineare potentiometrische Wegaufnehmer der Baureihe LWH oder

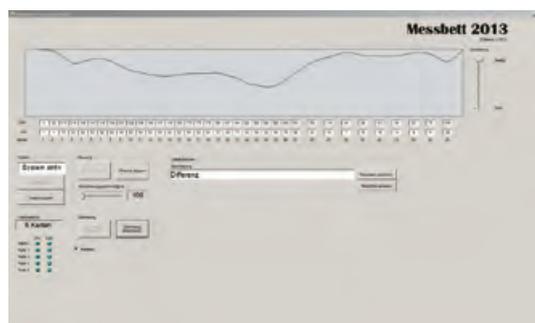


Abb. 4: Die Einsinktiefen als Messkurve. Es lässt sich bestimmen, ob die Matratze zum Probanden passt. (Urheber: Forschungsgruppe Industrieanthropologie der Christian-Albrechts-Universität in Kiel)vermessen. (Urheber: DW/F. Hajasch)



Lineare potentiometrische Wegsensoren messen die Einsinktiefen. (Urheber: Novotechnik)

TLH vom Sensorikspezialisten Novotechnik (vgl. Firmenkasten) im Einsatz. Die Sensoren sind für einen Verfahrbereich bis 150 mm bzw. 225 mm ausgelegt. Der Laborleiter erklärt: „Bei europäischen Matratzen genügt in der Regel der kleinere Messbereich, um bei einem Menschen in Rückenlage die Einsinktiefen zu messen. Bei Matratzen aus den USA ist das anders. Sie sind oft dicker und weicher. Bei den beiden neueren Testbetten haben wir die Sensorik deshalb für Einsinktiefen bis 225 mm ausgelegt.“



Lineare Messaufnehmer mit induktivem oder magnetostruktiven Funktionsprinzip. (Urheber: Novotechnik)

### Potentiometrische Wegsensoren mit geringem Losbrechmoment

Für die Auswahl der Wegsensoren sprachen viele Gründe: Die Wegsensoren auf Potentiometerbasis sind ausgelegt für die direkte, genaue Messung von Wegen in der Mess-, Steuerungs- und Regelungstechnik, wovon die Matratzentester ebenfalls profitieren. „Überzeugt hat uns zudem das geringe Losbrechmoment beim Start der Messung“, betont Norbert Vogt. „Die Sensoren reagieren damit sehr feinfühlig auf kleinste Veränderungen der Liegeposition des Probanden“. Hinzu kommen die einfache Montage und ein durchdachter mechanischer Aufbau.



Dipl.-Ing. Stefan Sester, Leiter technischer Vertrieb bei Novotechnik

Die schubstangenlose Ausführung bei den TLH Typen erlaubt eine längsseitige Ankopplung und reduziert so das Einbaumaß. Zusätzlich vermeidet diese Bauform den Pumpeffekt von Schubstangen-Wegsensoren und ermöglicht auch weitaus größere Messlängen bis zu 3.000 mm. Ein magnetisch gehaltenes Stahlband sorgt für spaltfreie Abdeckung des Sensorinneren. Die Anlenkung der Betätigungskraft über eine Kugelumfassung vermeidet Querkräfte auf die Gleitschlittenlagerung, die sonst bei Parallel- oder Winkelversatz auftreten würden. Die Befestigung durch Spannklammern erlaubt es, die Einbaulage fein zu justieren.

### Langlebig und robust

Durch die Einfachheit des Messsystems – passiv und absolut – ist der Sensor weitgehend immun gegen elektrische Störungen und Einstreuungen, verliert nicht seinen Messwert bei Netzunterbrechung und erzeugt keine Störspannungen. Außerdem kann er mit einer hohen Lebensdauer punkten; je nach Anwendung bis zu 100 Millionen Bewegungen. „Verschleiß spielt deshalb bei unseren Messbetten keine Rolle“, ergänzt der Laborleiter. Auch Linearität und Auflösung sind mit bis zu

$\pm 0,02$  % bzw. besser als 0,01 mm ausgesprochen gut. Dabei sind hohe Verstellgeschwindigkeiten möglich.

Potentiometrische Wegsensoren, wie sie beim Matratzentest eingesetzt sind, werden sich wegen ihres guten Preis-/Leistungsverhältnisses auch künftig in vielen Anwendungen gegenüber ihren kontaktlosen Verwandten behaupten. Dennoch gibt es bei den „Kontaktlosen“ durchaus praxisgerechte Alternativen. Die Wegaufnehmer der Serie LS1 beispielsweise arbeiten induktiv und sind jedoch hinsichtlich ihrer Abmessungen vollständig kompatibel mit der potentiometrischen T-Serie. Für schnelle Positionieraufgaben geradezu prädestiniert ist der induktive Wegaufnehmer TF1, der in Standardlängen von 100 bis 1.000 mm angeboten wird. Die Update-Rate des Messsystems erreicht 10 kHz, dies bedeutet einen Zeitverzug von nur 0,2 ms zwischen realer Position und dem zugehörigen Messwert. Kontaktlos arbeiten auch die absoluten magnetostruktiven Wegaufnehmer der Baureihe TP1, die sich für Messbereiche bis 4250 mm eignen und durch eine unbegrenzte mechanische Lebensdauer punkten.

### Über Novotechnik

Seit 1947 ist Novotechnik mit Stammsitz im schwäbischen Ostfildern wegweisend in der Weiterentwicklung der Messtechnik. Inzwischen arbeiten allein in Deutschland über 200 Mitarbeiter an Spitzenleistungen. Das Ergebnis sind leistungsstarke Weg- und Winkelsensoren, die weltweit aus Fertigung, Steuer- und Messtechnik oder aus dem Automobil nicht mehr wegzudenken sind. Die breitgefächerte Produktpalette umfasst Weg- und Winkelsensoren unterschiedlicher Funktionsprinzipien, spezielle Lösungen für den Automotive-Bereich sowie Messwertumformer und Messgeräte. Das deckt praktisch alle denkbaren Aufgabenstellungen ab; für spezielle Anwendungsbedürfnisse werden spezifische, auf die jeweilige Anwendung optimal passende Lösungen erarbeitet.

Weitere Informationen finden Sie unter: <https://www.novotechnik.de/produkte/weg-winkelsensoren/?filterconfiguration=79295>



Ellen-Christine Reiff, M.A., Redaktionsbüro Stutensee

**Ahlborn Mess- und  
Regelungstechnik GmbH**

Eichenfeldstr. 1  
83607 Holzkirchen  
Deutschland

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

**Druck**  
a Baker Hughes business

**druck.com**

**bay**  
SensorTec

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

**bay-sensors.com**

**BECKHOFF AUTOMATION GMBH & CO. KG**  
Hülshorstweg 20  
33415 Verl  
Tel.: 05246 963-0  
info@beckhoff.com  
[www.beckhoff.com/el5072](http://www.beckhoff.com/el5072)

**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*

Ingo Kamp

Vertrieb

Albert Steinmeier GmbH & Co. KG  
Simoniusstraße 22  
88239 Wangen im Allgäu  
Deutschland

+49 7522 9308-294  
+49 7522 9308-252  
i.kamp@bfz-steinmeier.de  
www.bfz-steinmeier.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

**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](http://www.bdsensors.de)

[info@bdsensors.de](mailto:info@bdsensors.de)

DRUCK auf höchstem NIVEAU.

THE MEASUREMENT SOLUTION.

**burster**

- Standard- oder kundenspezifische Sensoren für Kraft, Drehmoment, Weg, Druck und Drehwinkel
- Messverstärker, Digitalanzeiger, Sensorelektronik und Widerstandsmesstechnik
- Geräte, Systeme und Software zur Auswertung und Darstellung von Sensorsignalen
- Einpress-, Füge-, Drehmoment- und Verlaufsüberwachung
- Mobile Kalibriergeräte für mechanische Größen
- Nach ISO 17025 akkreditiertes Kalibrierlabor (DAkkS)

**burster präzisionsmesstechnik gmbh & co kg**

Tel. +49-7224-645-0

[info@burster.com](mailto:info@burster.com)

[burster.com](http://burster.com)

**CiS** Forschungsinstitut für  
Mikrosensorik GmbH



Konrad-Zuse-Straße 14  
99099 Erfurt  
Germany

TEL: +49 361 663 141 0  
e-MAIL: [info@cismst.de](mailto:info@cismst.de)  
WEB: [www.cismst.de](http://www.cismst.de)

JAHRESMAGAZIN INGENIEURWISSENSCHAFT 2021/22

[www.messundsensortechnik-online.de](http://www.messundsensortechnik-online.de)



**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  
 Degersheimerstrasse 14  
 CH-9100 Herisau  
 Tel: +41 (0) 71 353 00 00  
 Info@dimetix.com  
 www.dimetix.com



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

**HEITRONICS**  
 Infrarot Messtechnik

**Der richtige Partner  
 für berührungslose  
 Temperaturmessungen**

**von -100 ° bis 3.000 °C**

**www.heitronics.com**

HEITRONICS  
 Infrarot Messtechnik GmbH  
 Kreuzberger Ring 40  
 D-65205 Wiesbaden  
 Telefon +49 (0611) 973 93-0  
 Telefax +49 (0611) 973 93-26  
 info@heitronics.com



**HENSOLDT Sensors GmbH**  
 Wörthstrasse 85  
 89077 Ulm  
 Germany

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



**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

a spectris company



**Hottinger Brüel & Kjaer GmbH**  
 Im Tiefen See 45 | 64293 Darmstadt - Germany

Phone: +49 6151 803 0  
 Fax: +49 6151 803 9 100  
 E-Mail: info.de@hbkworl.com  
 Web: www.hbkworld.com



**INFRA SOLID**®



**Infrasolid GmbH**  
 Gostritzer Str. 61-67  
 01217 Dresden

**+49 351 8547 8030**  
**www.infrasolid.com**



**SENSOR+TEST**

DIE MESSTECHNIK - MESSE  
 The Measurement Fair

Nürnberg,  
**10. – 12. Mai 2022**

**www.sensor-test.com**

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

**IST** Innovative  
 Sensor Technology

physical. chemical. biological.

IST AG  
 Stegrütistrasse 14  
 CH-9642 Ebnet-Kappel  
 Switzerland

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

JAHRESMAGAZIN INGENIEURWISSENSCHAFT 2021/22

[www.messundsensortechnik-online.de](http://www.messundsensortechnik-online.de)

Daniel Hofer

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

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

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

**KELLER**

www.keller-druck.com

**LCP** LASER CUT  
PROCESSING

*Laser-made solutions.*

**LCP Laser-Cut-Processing GmbH**  
Lasieranwendungszentrum „Hermisdorfer Kreuz“  
Heinrich-Hertz-Str. 16 | 07629 Hermisdorf

+49 36601 9327-0  
vertrieb@lcpmbh.de

www.lcpmbh.de



**MICHELL**  
Instruments

**Michell Instruments GmbH**  
Max-Planck-Str. 14, 61381 Friedrichsdorf  
Telefon: (+49) 6172 5917-0  
Email: de.info@michell.com  
www.michell.com/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



**LTT**  
tasler.de

**Labortechnik Tasler GmbH**  
Friedrich-Bergius-Ring 15  
97076 Würzburg, Germany

— **Michael Tasler**

MA in Physics  
Managing Director

Fon +49 931 359 6115  
Mobile +49 172 613 2168  
Fax +49 931 359 6150

LTT@tasler.de  
www.tasler.de

**LOGIDATECH**  
the power of engineering

➤ **Gas-Messtechnik**

**LogiDataTech GmbH**  
Bahnhofstrasse 67  
76532 Baden-Baden, Germany

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

**ME**  
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

**Nikon**

NIKON  
METROLOGY

**Nikon Metrology GmbH**

Tiefenbroicher Weg 25  
D-40472 Düsseldorf  
Deutschland

Sales.Germany.NM@nikon.com  
www.nikonmetrology.com  
Tel : +49 211 4544 6951

**Pepperl+Fuchs SE**  
Lilienthalstraße 200  
68307 Mannheim  
Tel.: 0621 776-0  
Fax: 0621 776-1000  
info@de.pepperl-fuchs.com  
www.pepperl-fuchs.com

**Your automation,  
our passion.**

**PF PEPPERL+FUCHS**

JAHRESMAGAZIN INGENIEURWISSENSCHAFT 2021/22

[www.messundsensortechnik-online.de](http://www.messundsensortechnik-online.de)



**Martin Beck**

Dipl.-Ing.  
 Produktmanager Vibrometrie – Strategisches Produktmarketing  
 Geschäftsbereich Optische Messsysteme

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



**René Fachberger**  
 CEO

+43 676 5512496  
 +43 7242 601105 - 31  
 rene.fachberger@sensideon.com  
 www.sensideon.com

sensideon GmbH  
 Ligusterstraße 4, Stiege 2  
 4600 Wels  
 Austria



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

**STIEGELE**

Datensysteme GmbH

Software und Hardware für die  
 Mess- und Prüfstandtechnik

**STIEGELE Datensysteme GmbH**

Herrngasse 14  
 91541 Rothenburg o.d.T.  
 www.stiegele.eu

Tel.: +49 9861 9488-0  
 Fax: +49 9861 9488-49  
 kontakt@stiegele.eu

THE INNOVATION  
**SOUND & VIBRATION  
 TECHNOLOGY**

**HOLGER BOLLER**  
 Managing Director

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



MARKER HOEH16 | D96524 FÖRITZTAL | GERMANY

SPEZIALKABEL  
 KABEL KONFEKTION  
 MESSTECHNIK



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



**Sensor-Technik Wiedemann GmbH (STW)**

Am Bärenwald 6  
 87600 Kaufbeuren  
 Tel.: +49 8341 9505-0  
 sensors@wiedemann-group.com  
 www.stw-mm.com

SIKO GmbH



Phone +49 7661 394-0  
 E-Mail info@siko-global.com

SIKO GmbH  
 Am Krozinger Weg 2  
 79189 Bad Krozingen  
 Germany  
 www.siko-global.com



- Platin-Dünnschicht-Temperatursensoren
- Vorkonfektionierte Temperatursensoren
- Gassensoren
- Gaslecksuchgeräte

**UST UMWELT SENSOR TECHNIK**  
 Kompetenz in keramischer Sensorik

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



**SENSOR+TEST**

DIE MESSTECHNIK - MESSE  
 The Measurement Fair

Nürnberg,  
 10. – 12. Mai 2022

[www.sensor-test.com](http://www.sensor-test.com)

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

JAHRESMAGAZIN INGENIEURWISSENSCHAFT 2021/22

[www.messundsensortechnik-online.de](http://www.messundsensortechnik-online.de)

# sps

smart production solutions

31. Internationale Fachmesse  
der industriellen Automation

Nürnberg, 23. – 25.11.2021  
sps-messe.de

Erweitertes  
Vortragsprogramm auf der  
digitalen Eventplattform  
**SPS on air**

## Bringing Automation to Life

### Praxisnah. Zukunftsweisend. Persönlich.

Finden Sie maßgeschneiderte Lösungen für Ihren spezifischen Anwendungsbereich und entdecken Sie die Innovationen von morgen. Unser umfassendes Hygienekonzept ermöglicht Ihnen einen persönlichen fachlichen Austausch sowie ein hautnahes Erleben der Produkte bei höchsten Sicherheitsstandards.

Registrieren Sie sich jetzt! [sps-messe.de/eintrittskarten](https://sps-messe.de/eintrittskarten)  
Nutzen Sie den Code **SPS21AZCH7** für 50 % Rabatt auf alle Ticketarten!



**KELLER**

SINCE 1974

MADE TO MEASURE **PRESSURE**



[keller-druck.com/custom-solutions](https://keller-druck.com/custom-solutions)