

Roland Werthschützky

Sensor Technologien 2022

AMA Verband für Sensorik und Messtechnik e.V.

The logo for AMA (Verband für Sensorik + Messtechnik) features the letters 'AMA' in a bold, red, sans-serif font. The letters are outlined in white and set against a dark red rectangular background. Below the letters, the text 'Verband für Sensorik + Messtechnik' is written in a smaller, white, sans-serif font.

AMA

Verband für Sensorik + Messtechnik

Innovatoren verbinden

Herausgeber

Prof. Dr. Roland Werthschützky
Technische Universität Darmstadt,
Institut für Elektromechanische Konstruktionen

Autoren

Prof. Dr. Karlheinz Bock
Technische Universität Dresden, Institut für
Aufbau- und Verbindungstechnik der Elektronik

M. Eng. Paul-Gerald Dittrich
SpectroNet – International Collaboration Cluster,
c/o Technologie- und Innovationspark Jena GmbH

Dr. Klaus Ettrich
CiS Forschungsinstitut für Mikrosensorik GmbH

Prof. Dr. Thomas Fröhlich
Technische Universität Ilmenau,
Institut für Prozessmess- und Sensortechnik

Verena Graf
NCTE AG

Dr. Volker Großer
Fraunhofer Institut für Zuverlässigkeit
und Mikrointegration IZM

Dipl.-Ing. Frank Hänschke
Leibniz-Institut für Photonische Technologien

Dr. Hans-Dieter Hartmann
AMA Verband für Sensorik und Messtechnik e.V.

Prof. Dr. Dietrich Hoffmann
SpectroNet – International Collaboration Cluster,
c/o Technologie- und Innovationspark Jena GmbH

Prof. Dr. Klaus-Peter Hofmann
Fraunhofer-Institut für Biomedizinische Technik IBMT

Prof. Dr. Thomas Ortlepp
CiS Forschungsinstitut für Mikrosensorik GmbH

Prof. Dr. Franz Schmidt
Technische Universität Ilmenau,
Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik

Prof. Dr. Andreas Schütze
Universität des Saarlandes,
Lehrstuhl für Messtechnik

Dr. C. Thomas Simmons
AMA Verband für Sensorik und Messtechnik e.V.

Dr. Wolfgang Sinn
AMA Verband für Sensorik und Messtechnik e.V.

Dr. Rolf Slatter
Sensitec GmbH

Prof. Dr. Hannes Töpfer
IMMS Institut für Mikroelektronik- und
Mechatronik-Systeme gGmbH

Dr. Guido Tschulena
sgt Sensorberatung Dr. Guido Tschulena

Prof. Dr. Roland Werthschützky
Technische Universität Darmstadt, Institut
für Elektromechanische Konstruktionen

Prof. Dr. Jürgen Wilde
Albert-Ludwigs-Universität Freiburg,
IMTEK Institut für Mikrosystemtechnik

Dr. Gabriel Zieger
Leibniz-Institut für Photonische Technologien e.V.

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	6
Teil A Anforderungen an Sensorik, generelle Entwicklungstrends	9
A 1 Die Sensorindustrie in Deutschland	10
A 2 Globale Herausforderungen an Technologieentwicklungen	13
A 3 Trends der Informationsverarbeitung	15
A 4 Generelle Entwicklungstrends der Sensorik	16
A 5 Typische Sensoranwendungen in ausgewählten Branchen	18
A 6 Vergleich der internationalen Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten	21
Teil B Entwicklungstrends bei Sensoren	25
B 1 Sensorklassifizierung, Bestandsaufnahme, Messgrößen	26
B 1.1 Sensorfunktionsstrukturen	26
B 1.1.1 Sensor als Übertragungssystem	26
B 1.1.2 Sensorstrukturen	27
B 1.2 Ausgewählte Messgrößen	27
B 2 Physikalische Messgrößen	28
B 2.1 Elektromagnetische Messgrößen	28
B 2.1.1 Kontaktlose orts aufgelöste Messung der elektrischen Leitfähigkeit	29
B 2.1.2 Hochempfindliche Magnetometer	30
B 2.1.3 Ultrabreitbandsensoren zur kontaktlosen orts aufgelösten Messung der dielektrischen Eigenschaften	31
B 2.1.4 Magneto-resistive Sensoren	32
B 2.2 Mechanische Messgrößen	36
B 2.2.1 Wandlungsarten	36
B 2.2.2 Bewertung der Wandlungsprinzipien	38
B 2.2.3 Entwicklungsansätze	38
B 2.2.4 Berührungslose Drehmomentsensoren	40
B 2.2.5 Neue Sensor-Anwendungen: Vorausschauende Wartung von Maschinen durch Sensor-basierte Zustandsüberwachung – Condition Monitoring	43
B 2.2.6 Neue Anwendungen: Sensorsystem für Freileitungs-Monitoring	44
B 2.3 Optische Messgrößen	46
B 2.3.1 Photonische Sensoren und Messtechnik	46
B 2.3.2 Pyrometrie – Berührungslose Temperaturmessung	52
B 2.3.3 Neue Anwendungen: Bildauflösende Farbmesssysteme	54
B 3 Chemische und medizinische Messgrößen	56
B 3.1 Sensoren für Gasmessung und Stoffkonzentrationen	56
B 3.1.1 Übersicht, Einteilung	56
B 3.1.2 Bewertung, Probleme, Herausforderungen	57
B 3.1.3 Entwicklungsansätze, Forschungstrends	59
B 3.1.4 Schlussfolgerung, Nutzen	60
B 3.1.5 Neue Anwendungen: Sensorsysteme zur Sicherung einer bedarfsgerechten Lüftung	60
B 3.2 Neue Anwendungen: Medizinische Mikrosensoren und Mikroimplantate	62
B 3.2.1 Neuroprothesen – Implantierbare Assistenzsysteme	63
B 3.2.2 Direkt gekoppelte Sensor-Aktor-Systeme für haptische Bediensysteme	64
B 4 AMA Innovationspreise 2010 bis 2016.....	65
B 4.1 Elektromagnetische Messgrößen	65
B 4.2 Mechanische Messgrößen.....	65
B 4.3 Optische Messgrößen	66
B 4.4 Chemische und medizinische Messgrößen	68

Teil C	Entwicklungstrends der Sensorkomponenten und Fertigungstechnologien	69
C 1	Einleitung	70
C 2	Mikrosystemtechnik – MEMS	73
C 2.1	Einleitung	73
C 2.2	Entwicklung des MEMS-Marktes nach Anwendungen und Zielbranchen	73
C 2.3	Wettbewerber im MEMS-Markt	73
C 2.4	Technologische Entwicklung ausgewählter MEMS-Komponenten	74
C 2.4.1	Allgemeine Herausforderungen	74
C 2.4.2	Drucksensoren	75
C 2.4.3	Inertial Combos	75
C 2.4.4	RF-MEMS	75
C 2.4.5	Gassensoren und Thermopiles	75
C 2.4.6	Aufbau- und Verbindungstechnik	75
C 2.4.7	Weitere ausgewählte MEMS-Entwicklungstrends	76
C 3	Aufbau-, Verbindungs- und Integrationstechnik	77
C 3.1	Aufbau- und Verbindungstechnik	77
C 3.1.1	Einleitung	77
C 3.1.2	Anforderungen, Elemente eines Sensorsystems	77
C 3.1.3	Gehäusetechnologien	78
C 3.2	Integrationstechniken	85
C 3.2.1	Dreidimensionale Schaltungsträger für Mikrosystem-Packaging und MID	85
C 3.2.2	Leiterplattenbasierte Integration	86
C 3.2.3	Waferlevel Systemintegration mittels TSV-Technologie	87
C 3.2.4	Vergleich von Integrationskonzepten	88
C 3.3	Heterointegration mit flexiblem Trägermaterial	89
C 3.3.1	Fortschritte in der Aufbau und Verbindungstechnik	89
C 3.3.2	Herausforderungen	89
C 3.3.3	Entwurf heterointegrierter Foliensysteme	90
C 3.3.4	Stand der Technik in der Industrie	90
C 3.3.5	Entwicklungsbeispiel Transmitter	91
C 3.3.6	Integration in Folienkavitäten	92
C 3.3.7	Ausblick	93
C 3.4	Aufbau- und Verbindungstechnik (AVT) für die Medizintechnik	93
C 4	Sensor-Signalverarbeitung	95
C 4.1	Intelligente Sensoren – Smart Sensors	95
C 4.2	Eingebettete Systeme	96
C 4.2.1	Definition, Aufbau und Verwendung in Sensoranwendungen	96
C 4.2.2	Hardware	97
C 4.2.3	Software	98
C 4.2.4	Aufbau intelligenter Sensoren	100
C 4.2.5	Sensorkonfigurierung – Intelligente Sensoren	100
C 4.2.6	Kommunikationsaspekte	101
C 4.2.7	Sensorvernetzung	102
C 4.2.8	Beispielsystem	104
C 4.2.9	Drahtlose energieautarke Sensorsysteme und -netzwerke	107
C 5	Selbstüberwachung und Störungstoleranz von Sensoren und Aktoren	112
C 5.1	Forderungen aus der Prozesstechnik an Sensoren	112
C 5.1.1	Ziele der Sensor-Selbstüberwachung	112
C 5.1.2	Methoden und Verfahren der Selbstüberwachung bei Sensoren	113
C 5.1.3	Beispiel: Selbstüberwachung magnetischer Sensoren	114
C 5.2	Selbstüberwachende Aktoren	115
C 5.3	Ausblick	116
C 6	Sensorkommunikation und Systemintegration	117

Teil D	Zusammenfassung – Empfehlungen	121
D 1	Sensorik und Messtechnik in Deutschland	122
D 1.1	Sensorfirmen und Sensortechnologien	122
D 1.2	Spezifische Sensor-Technologieentwicklungen	124
D 2	Kooperationen helfen	126
D 3	Firmengründungen aus Forschungsinstituten	126
Teil E	Anhang	129
E 1	AMA Verband für Sensorik und Messtechnik e.V.	130
E 1.1	Der Verband	130
E 1.2	Marketing für die Sensorindustrie	131
E 1.3	Technologie-Unterstützung	132
E 1.4	Wirtschaftliche Bedeutung der Sensorindustrie	132
Die Autoren		134
Literatur- und Quellenangaben		144

Vorwort

Die Studie „Sensor Technologien 2022“ wird vom AMA Verband für Sensorik und Messtechnik e.V. herausgegeben. Sie ist weitgehend von Mitgliedern des AMA Wissenschaftsrats und von innovativen kleinen Firmen als Vertreter der neuen Technologien erarbeitet worden. Die Studie aktualisiert die 2010 erstmalig erschienene AMA-Trendanalyse und ergänzt sie in wesentlichen Punkten.

Die Sensorik zeichnet sich durch ihre enorme Vielfalt aus. Diese findet man in den Messgrößen, in den Sensortechnologien, in den Schnittstellen, in der Verpackung, in den Anwendungen oder in den Sensor-Preisen und eingesetzten Stückzahlen. Dennoch – oder gerade deshalb – ist die Sensortechnik sehr lebendig, es werden immer wieder neue Firmen gegründet, neue Materialien erforscht oder neue Technologien eingesetzt, Sensoren modifiziert und neue Anwendungen gefunden.

Gerade die heute stattfindende Internationalisierung von Märkten und von neuen Technologien erfordert sorgfältige Beobachtungen. Denn diese neuen Trends können zu Chancen oder zu Bedrohungen führen, wie man etwa durch die neuen internetbasierten Entwicklungen gut erkennen kann.

Die Branche der Sensor- und Messtechnik in Deutschland wird überwiegend durch mittelständische Unternehmen geprägt. Über 400 dieser Firmen sind im AMA Verband für Sensorik und Messtechnik e.V. (AMA) organisiert. Sie repräsentieren rund 100.000 Arbeitsplätze, erwirtschaften einen direkten Umsatz von einigen 10 Milliarden Euro und weisen ein starkes Wachstum in Umsatz und Mitarbeiterzahlen auf. Die Sensorik erweist sich als Schlüsseltechnologie für die Konkurrenzfähigkeit von vielen Maschinen, Anlagen und Fahrzeugen, deren Werte letztlich um mehrere Größenordnungen über dem der Sensoren liegen.

Besonders hervorzuheben ist es, dass anspruchsvolle Arbeitsplätze für Facharbeiter und Ingenieure geschaffen werden, nicht nur in der direkten Sensorbranche, sondern auch in den vielen Anwenderbranchen, etwa von Maschinenbau und Robotik, Automobil oder Prozesstechnik.

Für diese Branche Forschungs- und Entwicklungsarbeiten zu leisten und die Aus- und Weiterbildung der Fachleute zu ermöglichen liegt im Interesse des AMA - und hier insbesondere dem AMA Wissenschaftsrat, in dem aktuell ca. 70 Institute aktiv sind.

Die Zielgruppe der Studie sind industrielle Entscheidungsträger, Entwickler und Marketingexperten, sie soll aber auch Anregungen zur Gründung von Start-Ups geben. Die vorgestellten Ergebnisse werden sicher auch zu Impulsen für neue Forschungsprojekte führen. Nicht zu vergessen ist aber auch deren Nutzung für die Lehre und Weiterbildung an Universitäten und Hochschulen.

Die vorliegende Studie will einen vorausschauenden Blick in die nahe Sensor-Zukunft geben, der auf kompetentem Expertenwissen beruht. Diese Erfahrungen gilt es zu bündeln und strukturiert darzustellen. Dabei wird nicht Vollständigkeit angestrebt, sondern es werden vor allem die Chancen neuartiger Technologie- und Anwendungsfelder aufgezeigt.