

Sensor Trendmonitor

Analyse in Bezug zum
Innovationscluster SenSa

Stand: 31.05.2022

Innovationscluster Sensorik Sachsen

Inhalt

- 1. Kurzüberblick Sensorik.....5
 - Anwendungsgebiete6
 - Marktdurchdringung7
- 2. Sensorik in Sachsen.....9
 - Die sächsischen Technologienetzwerke..... 11
 - Die sächsischen Branchennetzwerke 13
- 3. Ableitung der Trends 18
 - AMA – Sensor Technologien 2022 18
 - NAMUR - Technologie-Roadmap „Prozess-Sensoren 2027+“ 20
 - Internationale Trendstudien..... 21
 - IDTECHEX – Wearable Sensors 2018-2028 22
 - IDTECHEX – Environmental Gas Sensors 2018-2028 23
 - McKinsey – Automotive software and electronics 2030 25
 - Eigenen Recherche internationaler Trends..... 26
 - Zusammenfassung Trendstudien 30
 - Trendbeispiele innerhalb des Innovationsnetzwerks SenSa..... 33
 - Trendableitung aus wissenschaftlichen Beiträgen (DECHEMA Kongress Dresden 2021) 30
- 4. Anhang 37
 - Übersicht: BMBF-Projekte sächsischer Akteure zum Thema Sensorik 37

Abbildungen

Abbildung 1: sensorische Wahrnehmung 5
Abbildung 2: eigene Darstellung nach AMA-Report "Sensor Technologien 2022". 7
Abbildung 3: Branchenkarte "Sensorik" Sachsen (SenSa; Stand 12.2020).**Fehler! Textmarke nicht definiert.**
Abbildung 4: Wertschöpfungskette "SenSa" 10
Abbildung 5: Position der untersuchten Firmen in der Wertschöpfungskette 28
Abbildung 6: Zielmärkte der untersuchten Firmen. Mehrfachnennungen waren möglich..... 29

Tabellen

Tabelle 1: Sensormärkte und ausgewählte Beispiele. 8
Tabelle 2: Auszug der Übersicht der durch das BMBF geförderte Sensor-Projekte 12
Tabelle 3: Auszug aus der eigenen Recherche Sensorentwicklungen bzw. -anwendungen 27
Tabelle 4: Übersicht der aus den einzelnen Studien und eigenen Erhebungen extrahierten Trends. 31

Einleitung

Wirtschaftliche Bedeutung der Sensorik

Die Sensorindustrie gilt für ein Industrieland wie Deutschland als unverzichtbare Schlüsseltechnologie. Die internationale Konkurrenzfähigkeit wesentlicher Branchen, etwa der Maschinen- und Fahrzeugbau sowie der Verfahrenstechnik, aber auch der Elektro- und Medizintechnik-Industrie, beruhen auf dem breiten Einsatz moderner Sensoren.

Auch die Bundesregierung hat das hohe Zukunftspotenzial erkannt: Mit ihrem Aktionsplan zur Umsetzung der Hightech-Strategie 2020 soll Deutschland als Anbieter und Anwender neuer, zukunftsweisender Technologien zum Leitmarkt positioniert werden. Im Fokus stehen dabei kleine und mittlere Unternehmen sowie Start-ups, was diesen interessante und lukrative Förderungschancen eröffnet.

Sachsen als Hochtechnologie (Bundes-)Land ist traditionell stark in Maschinen- und Anlagenbau, Automobilbau, der Materialwissenschaft und der (Mikro-)Elektronik aufgestellt. Eine bzw. viele der dabei entstehenden Schnittmengen sind im Bereich der Sensorik abgebildet. Akteure in diesem Technologiebereich finden sich unter Technologiegebern, -entwicklern und Anwendern gleichermaßen entlang der Wertschöpfungsketten (WSK). Im Rahmen des durch Steuermittel auf der Grundlage des von den Abgeordneten des Sächsischen Landtags beschlossenen Haushaltes mitfinanzierten **Innovationsclusters SenSa** liegt folgend ein Überblick zu relevanten Trends im Bereich Sensorik für die Akteure im Freistaat vor. Maßgeblich mitgewirkt haben die Netzwerke *AMZ – Automobilzulieferer Sachsen*, *LRT – Luft- und Raumfahrtcluster Sachsen/Thüringen*, *OES – Organic Electronic Saxony* und *Silicon Saxony*, ergänzende Beiträge der assoziierten Partner *VEMAS*, *biosaxony* und *Rail.S* runden den Überblick hinsichtlich derer Branchen und Technologiebereiche ab.

Das vorliegende Dokument umfasst einen Überblick zur Sensorik im Allgemeinen und speziell für den Wirkungsbereich des Innovationsclusters SenSa und das zugrunde liegende Verständnis für Sensorik in diesem Zusammenhang. Im Speziellen wird auf aktuelle Trends auf internationaler, nationaler und regionaler Ebene Bezug genommen, an der innerhalb des Innovationsclusters abgestimmten Wertschöpfungskette sind die relevanten Trends für die Region erfasst und klassifiziert. Einbezogen wurden dafür sowohl technologische als auch anwendungsorientierte Bewertungskriterien.

1. Kurzüberblick Sensorik

Sensoren – winzig und unscheinbar – technologische Fähigkeiten und wirtschaftliches Potenzial immens

Der Zweck und die Funktion eines Sensors (lat. sentire, dt. „fühlen“ oder „empfinden“), auch Detektor, (Mess-)Aufnehmer oder (Mess-) Fühler ergibt sich im technischen Sinne als Nachbildung eines der sechs menschlichen/natürlichen Sinne (akustisch, olfaktorisch, gustatorisch, visuell, haptisch, positionell):

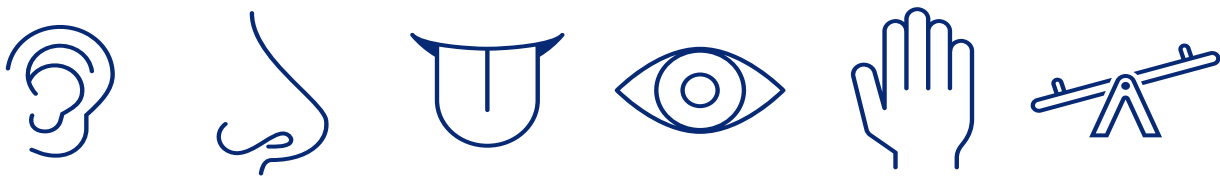


Abbildung 1: sensorische Wahrnehmung

Sensoren sind somit die Sinne¹ der technischen Welt – der Maschinen, Anlagen und Geräte – und erfassen die Umgebung und die Zustände in deren mittelbarer oder unmittelbarer Umgebung. Es sind Bauteile, die physikalische oder chemische Eigenschaften bzw. die stoffliche Beschaffenheit der Umgebung qualitativ oder quantitativ erfassen. Dazu werden geeignete physikalische oder (bio-)chemische Effekte ausgenutzt.

Rückblickend auf die oben genannten sechs Sinne kann man eine Gruppierung entsprechend den genutzten Effekten wie folgt vornehmen:

- (bio-)chemisch: olfaktorisch, gustatorisch – pH-Wert, Ionenstärke u.a.
- physikalisch
 - akustisch und positionell – Druck, Schallfeldgrößen, Beschleunigung u.a.
 - haptisch – Temperatur, Wärmemenge u.a.
 - visuell – Helligkeit, spektroskopische Größen u.a.

Die Bezeichnung von Sensoren erfolgt auf unterschiedliche Weise und lässt keinen Rückschluss auf das Funktions-/Messprinzip zu. Teils wird in der Bezeichnung die Messgröße genannt (Temperatursensor, Füllstandsensor, Drehzahlsensor), teils der Zweck (ABS-Sensor, Fingerabdrucksensor) oder ein zu messendes Phänomen (Regensensor, Windsensor). In vielen Fällen gibt es dabei für den gleichen Zweck eine Vielzahl an Realisierungsmöglichkeiten, bei denen unterschiedliche physikalische oder (bio-)chemische Effekte genutzt werden, die entsprechende Auswahl ist abhängig von den technischen

¹ Im Sinne dieses Analogons müsste man eigentlich davon sprechen, dass Sensoren – oder zumindest die Messaufnehmer – ihr Pendant in den Nerven bzw. Rezeptoren von Organismen haben.

Rahmenbedingungen und den Erfordernissen für die jeweilige An-/Verwendung. So könnte z. B. ein Drehzahlsensor auf der Grundlage induktiver, kapazitiver oder auch optischer Effekte seine Signale erhalten.

Optische Sensoren gelten zum einen als Schlüsseltechnologie zur Automatisierung von industriellen Produktionsprozessen – angefangen bei der Produktionsüberwachung über die Qualitätskontrolle bis hin zur zerstörungsfreien Prüfung von Bauteilen. Zum anderen kommen auch strukturintegrierte Sensoren zur Früherkennung möglicher Schäden z. B. an Schienenfahrzeugen zum Einsatz. Bei dieser Form der vorausschauenden Wartung (Predictive Maintenance) werden auf Grundlage von Diagnosedaten Wartungszyklen bedarfsgerecht optimiert und frühzeitig geplant. Dies reduziert betreiberseitig ungeplante Fahrzeug-, Maschinen und Anlagenausfälle, Stillstandzeiten sowie Wartungskosten und erhöht die Pünktlichkeit und Zuverlässigkeit.

Zunehmend wandeln sich Sensoren vom „simplen“ Detektor zum multiplen Messgerät. Während sie sich bisher vorwiegend auf die Erfassung und Weitergabe einzelner Messgrößen beschränkten, geht der Trend immer mehr hin zur Entwicklung smarter Sensoren bzw. Sensorsysteme, die neben der eigentlichen Messung auch Aufgaben der komplexen Signalverarbeitung übernehmen und zusätzliche Informationen über sich und die Prozessumgebung bereitstellen. Die Steuerung und Verfeinerung der Prozessabläufe erfolgen zunehmend in Echtzeit, was ein enormes Potential in punkto Optimierung und Effizienzerhöhung von Prozessen bietet. Dies zeigt sich insbesondere in medizinischen und hochtechnologischen Anwendungen: Durch die Erfassung multipler Parameter, die Miniaturisierung der Geräte und den verstärkten Einsatz von energieautarken, drahtlos kommunizierenden Sensoren erweitern sich die Anwendungsgebiete erheblich.

Im Innovationscluster SenSa ist das Verständnis für einen Sensor entsprechend weit gefasst und **Sensorik** umfasst nicht zwangsweise nur das Erfassen des Messwertes, sondern auch die darauffolgende Umwandlung, Aufbereitung oder Verarbeitung sowie Weiterleitung (Datenübertragung) des Messsignals. Mittels Sensorik werden analoge Informationen aus der Umwelt in elektronische, – meist digitale – Signale umgewandelt. Diese werden weiterverarbeitet und schließlich über geeignete Signalwandler wieder ausgegeben oder direkt zur Regelung von Prozessen genutzt.

Anwendungsgebiete

Unsere moderne, hoch technisierte Welt ist heute ohne Sensorik kaum mehr denkbar. Beispielsweise für die Digitalisierung und Industrie 4.0 sind Sensoren unabdingbar. Sie übernehmen eine unscheinbare, aber immens wichtige Aufgabe: Sie sammeln Daten, aufgrund derer Vorgänge im privaten, öffentlichen, geschäfts- sowie industriellem Umfeld „smart“ werden.

Im Auto, im Smartphone, in der Waschmaschine, als Foto-Chip, als Beschleunigungsmesser oder im Mikrofon aber auch Herzschrittmacher, Implantate und Katheter – Sensoren finden sich in nahezu jedem technischen Gerät und werden in Zukunft noch weitere Verbreitung finden.

Am Markt sind neben einigen Weltkonzernen vorzugsweise mittelständische und kleine Unternehmen vertreten. Im deutschen Branchenverband für Sensorik und Messtechnik e. V. (AMA) etwa haben sich

über 400 überwiegend mittelständische Unternehmen organisiert. Allein deren aktuell rund 100.000 Mitarbeiter erwirtschaften einen direkten Umsatz von einigen 10 Milliarden Euro und weisen ein starkes Wachstum in Umsatz und Mitarbeiterzahlen auf.

Anteil Umsatz mit Sensoren ziviler Weltmarkt, ohne Touchpads, Touchscreens und smarte Verbrauchszähler

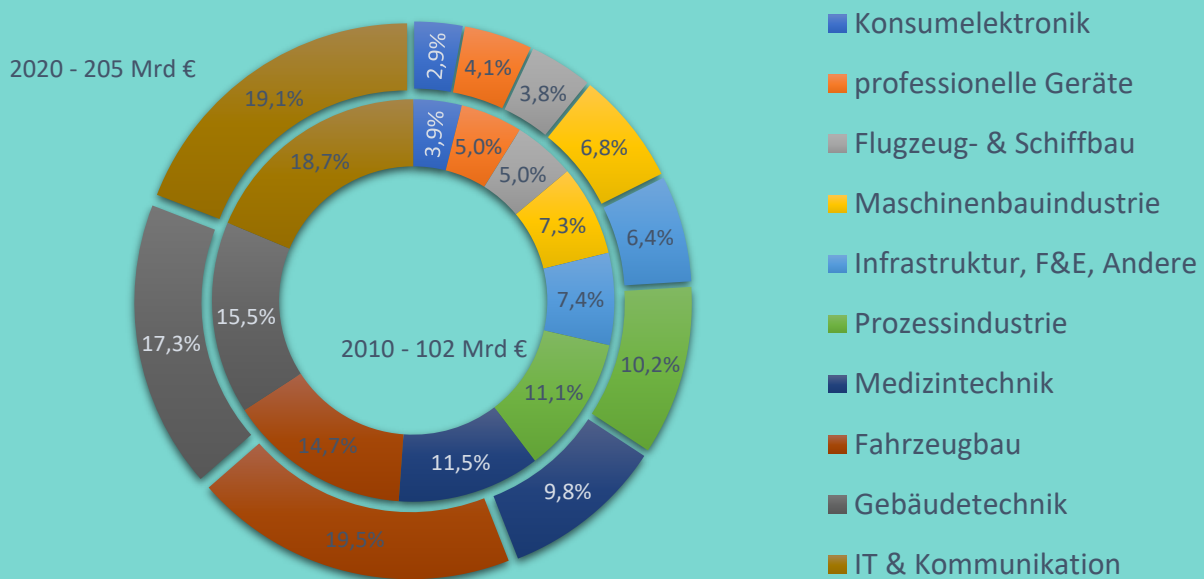


Abbildung 2: eigene Darstellung nach AMA-Report "Sensor Technologien 2022".

In welchen Anwendungsgebieten Sensorik heute verbreitet ist, hat die AMA – der Verband für Sensorik und Messtechnik e.V. – in seinem Report "Sensor Technologien 2022" für den zivilen Weltmarkt zusammengestellt. Allein in diesen Wirtschaftsbereichen hat sich der Umsatz seit 2010 mehr als verdoppelt.

Demnach nehmen Fahrzeugbau und IT & Kommunikation Spitzenwerte von jeweils 19 % des gesamten Umsatzes im Jahr 2020 ein, gefolgt von Gebäudetechnik mit 17,3 %. Das sind knapp 39 Mrd. Euro Umsatz, bzw. 35,5 Mrd. Euro.

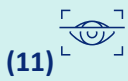
Marktdurchdringung

In Anlehnung an den oben genannten AMA-Report werden in Tabelle 1 die Sensorik Märkte mit Anwendungsbeispielen gelistet. Für die Einordnung der identifizierten Trends und entsprechender Beispiele und Nachweise in den folgenden Kapiteln wird diese Brancheneinteilung ebenfalls verwendet.

Aktuelle Sensortrends

Tabelle 1: Sensormärkte und ausgewählte Beispiele.

#	Markt	Anwendungsbeispiele
(1) 	Luftfahrt	<ol style="list-style-type: none"> 1. Leichte und nahtlos integrierbare Eingabesysteme 2. Gewichtssensoren zur gleichmäßigen Lastverteilung
(2) 	Automobil	<ol style="list-style-type: none"> 3. Automatisiertes Fahren (LIDAR, RADAR) 4. HMI (Haptik, Optik, Akustik, Biochemisch, IMSE) 5. Assistenzsysteme (Belegungserkennung, Reifendruck, Zuladung...) 6. Predictive Maintenance
(3) 	Gesundheit	<ol style="list-style-type: none"> 7. Gas/Analytiksensoren 8. HMI 9. smarte Verbände und Pflaster für Temperatur-/Wundüberwachung 10. Asset Tracking 11. biokompatible/resorbierbare elektronische Implantate 12. flexible Röntgensensoren
(4) 	Consumer	<ol style="list-style-type: none"> 13. organische CMOS-basierte optische Sensoren, z.B. für Kameras 14. Display added value/HMI
(5) 	Verpackung	<ol style="list-style-type: none"> 15. Markenschutz 16. integrierte Touch-Funktion kombiniert mit Licht/Display
(6) 	Logistik	<ol style="list-style-type: none"> 17. Asset/Temperatur Tracking
(7) 	Industrie 4.0	<ol style="list-style-type: none"> 18. Druck, Temperatur 19. Gas/Inhalt 20. Füllstand 21. HMI 22. Asset Tracking 23. Arbeitsschutz
(8) 	Landwirtschaft/ Smart Farming	<ol style="list-style-type: none"> 24. Chem. Sensoren (Reife, Frische, Qualität)
(9) 	Smart Building/ Home	<ol style="list-style-type: none"> 25. HMI, Feuchtesensoren (Bau/Sicherheit)
(10) 	Smart Textiles	<ol style="list-style-type: none"> 26. intelligente Kleidung mit Sensoren 27. technische Textilien mit Sensoren



Sicherheit

(11)

28. Zugangskontrolle
29. Fälschungssicherheit

2. Sensorik in Sachsen

Sachsen verfügt als Innovationsstandort über großes Know-how und maßgebliches technologisches Potenzial im Bereich der Sensorik. Dies zeigt sich in der Anzahl von Unternehmen und Forschungseinrichtungen, die auf diesem Gebiet agieren (siehe **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**). Aktuell beschäftigen sich mehr als 250 Unternehmen und Einrichtungen mit Sensortechnologie in den unterschiedlichsten Ausprägungen.

Themen wie Industrie 4.0 oder automatisiertes Fahren werden verstärkt weiterentwickelt. Die Ergebnisse aus der Grundlagenforschung können den Anforderungen aus dem Markt und den einzelnen Branchen gegenübergestellt und in neue Technologien überführt werden.

Aktuelle Sensortrends

Kooperationen zwischen den Akteuren stärken – gerade für kleinen und mittelständigen Unternehmen – die Wettbewerbsfähigkeit. Die Kompetenzen der einzelnen an SenSa beteiligten Netzwerke unterstützen dabei und helfen die richtigen Partner zusammenzubringen. Der Konkurrenzgedanke wird gebrochen, eine klare Aufteilung für die gemeinsame Ideenentwicklung wird forciert. Genau hier sehen wir großes Potenzial für eine branchenübergreifende und vorwettbewerblichen Zusammenarbeit. Anforderungen aus Luftfahrt, Bahn, Automobil, Maschinenbau und Medizintechnik oder auch der Digitalisierung im Allgemeinen in Form von Industrie 4.0 können zentral gebündelt werden und Entwicklungen wie

- Miniaturisierte Sensoren
- Intelligente Sensorik
- Sensorfusion
- Vernetzte Sensorik
- Neuartige Sicherheitssensorik
- Biosensorik (Monitoring, biologische Sensoren)

strukturiert begegnet werden. Die gesamte Wertschöpfungskette (abgestimmt im Innovationscluster Sensorik Sachsen – SenSa, 2019) ausgehend vom Material über Design/Prozesse, Anlagen, Herstellung, Signalverarbeitung bis hin zur Produkt-/Systemintegration muss verstärkt werden.

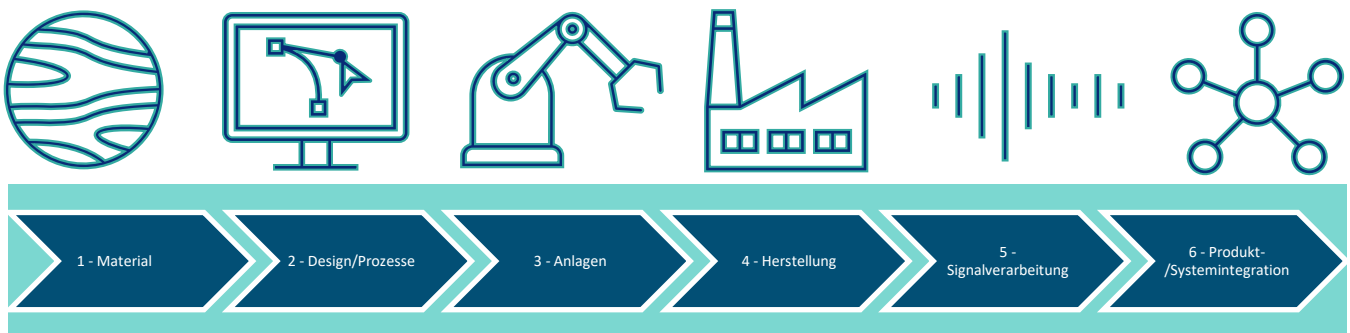


Abbildung 3: Wertschöpfungskette "SenSa".

Im Weiteren wird auf diese Wertschöpfungskette (WSK) Bezug genommen.

Die sächsischen Technolozienetzwerke

Organic Electronics Saxony und Silicon Saxony, aber auch biosaxony sind mit ihren Mitgliedern an den Schnittstellen in diesem komplexen Gesamtsystem und betrachten die Trends und Entwicklungen Bottom-Up. Viele der Mitgliedsunternehmen und Institutionen beschäftigen sich mit der Entwicklung und Integration von Sensormaterialien und -technologien, um die wichtigen Trends nicht zu versäumen und neue zu setzen.

Vor allem durch das stärker werdende Bedürfnis, seine eigene Umgebung immer besser zu erfassen, zu überwachen oder generell analoge Signale in digitale Information zu wandeln, werden neue Anforderungen an Sensoren gestellt, welchen z.B. mit flexiblen, gedruckten oder organischen Sensoren begegnet werden kann. Auch wenn diese den Markt nicht vollständig abdecken werden, entfällt ein signifikanter Marktanteil auf entsprechende neben den eher „traditionellen“ auf elektromechanischen Wandlern beruhenden Lösungen. Aber auch Letztere sind fortlaufend Gegenstand von Entwicklung und Erforschung wie zum Beispiel stetiger Verringerung der Baugröße und Erweiterung der Einsatzszenarien. Sensortechnologien wie z.B. Mikro-Elektro-Mechanische-Systeme (MEMS) basieren auf eher traditionellen Sensor-Materialien (Silizium, Metalle, Keramik etc.) konkurrieren zunehmend aufgrund steigender Nachfrage nach alternativen Lösungen für großflächigen, kostengünstigen oder multisensorischen Lösung mit organischen bzw. flexibleren Materialien. Zudem ist der eine oder andere Sensor schon „smart“, aber es sind hoch spezialisierte „Smart Connected Sensors“ – mit Internetverbindung und Zusatzfunktionen – erforderlich, die bisher auf dem Markt nicht erhältlich sind. An dieser Stelle könn(t)en wiederum Lösungen aus der Mikrosystemtechnik und innovativen Ansätzen wie 3D-Packaging in Zukunft punkten. Bei Biosensoren haben sich elektrochemische und optische Prinzipien weitgehend gegenüber piezoelektrischen und mikromechanischen durchgesetzt. Das prominenteste Beispiel für einen Biosensor ist der seit Mitte der 1990er-Jahre kommerziell vertriebene Glukosesensor (Stückpreis: etwa 2 bis 6 Cent). Seit einiger Zeit laufen jedoch auch hier Anstrengungen, verbesserte nicht-invasive Sensoren auf optischer bzw. dielektrischer Basis zur Marktreife zu bringen. Nicht zuletzt sind alle Bestrebungen hinsichtlich KI²-Einsatz bzw. deren Entwicklung und die nächsten Generationen von Datenübertragungstechnologien – bereits jetzt in Ansätzen aber vor allem zukünftig – essenzielle Treiber in der Sensorik-Entwicklung.

Die Basis dafür ist bereits geschaffen. Wie aus den momentan in Sachsen über 75 Projekten – vom Bundesministerium für Bildung und Forschung BMBF aus dem Bereich der Mikroelektronikforschung zum Thema Sensorik gefördert – abzulesen ist. Beispielhaft sind hier zwei Projekte aufgeführt, sortiert nach dem Vorhabenbeginn. Die gesamte Übersicht findet sich im Anhang.

² KI im weitesten Sinne, begonnen bei der Analyse großer Datenmengen bis hin zu maschinellem Lernen.

Aktuelle Sensortrends

Tabelle 2: Auszug der Übersicht der durch das BMBF geförderte Sensor-Projekte.

Projekt	Thema	WSK	Trend
StorAlge	Von der Chiptechnologie bis zu Anwendungen in Sensoren und Endgeräten werden alle Arbeitsschritte in dem Vorhaben bearbeitet.		5, 7
StretchSensor	Mikroelektronisches Sensorsystem auf Basis von Formgedächtnislegierung und dehnbaren Leiterplatten		1, 4

Die Aufschlüsselung (Abbildung 4) der identifizierten Projekte nach den SenSa-Trends zeigt eine starke Tendenz hinsichtlich Miniaturisierung (3.), Multisensorik (5.), neuer Materialien (4.) und Auswertelgorithmen (7.). Dies ist nicht sonderlich verwunderlich, da diese Bereiche inhärent mit den Technologien der Mikroelektronik verbunden sind. Ein gutes Beispiel hierfür sind MEMS-basierte Sensoren, die diese vier Trends oft auf einmal abdecken.

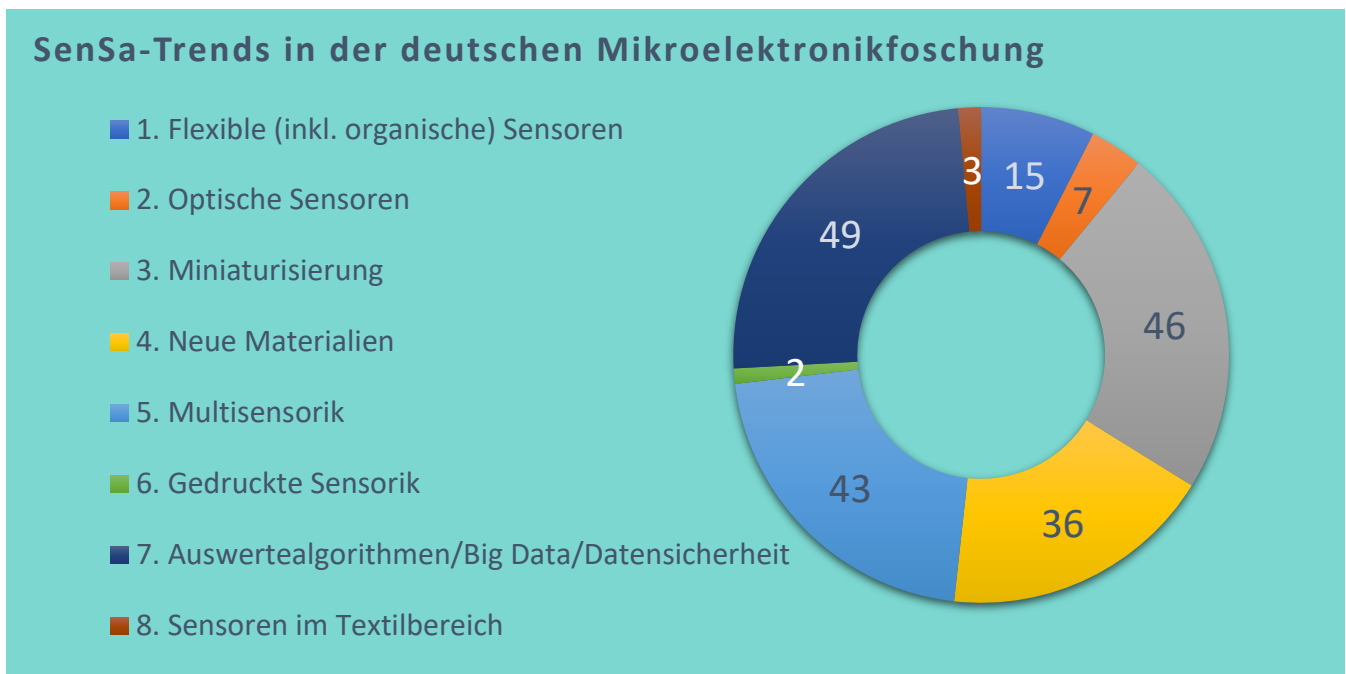


Abbildung 4: Aufgliederung der seit 2018 gestarteten BMBF-Projekte (75) aus dem Bereich der Mikroelektronikforschung mit Sensor-Bezug nach den acht SenSa-Trends.

Die sächsischen Branchennetzwerke

Ergänzend zu den Technologienetzwerken werden Trends der Sensorik Top-Down durch die Branchennetzwerke beeinflusst. Allen voran bestimmen in Sachsen die Akteure aus den Mobilitätsnetzwerken AMZ Sachsen, LRT und Rail.S für die Automobilbranche, Luftfahrt und dem Bahnsektor, dicht gefolgt durch die VEMAS Mitglieder aus den Bereichen des Maschinen- und Anlagenbaus und nicht zuletzt der stetig wachsenden Anzahl und an Bedeutung gewinnender Bio- und Medizintechnik-Akteuren, repräsentiert durch biosaxony die Entwicklung neuer Sensorik durch deren branchenspezifischen Trends und Markt- bzw. Kundenanforderungen. Eine klare Trennung, wer in diesen Fällen Trend-Setter und/oder Trend-Follower ist, kann oft nicht unterschieden werden.

Automobilbranche

Allgemein ist ein enormer Zuwachs der Fahrzeugelektrifizierung zu verzeichnen. Elektronik und Software sind in der Automobilbranche die Grundlage und Treiber für Innovationen. Gerade durch die Vernetzung der Fahrzeuge und das automatisierte Fahren wird der Elektronikanteil im Auto – und damit die Anzahl der Sensoren – stark wachsen, die Prognosen allein für die Fahrerassistenzsysteme bestätigt dies. Mit aktuellen Assistenzsystemen wie Parkhilfen, Notbremsung, Lenkassistenten, Ausstiegswarnung, Fahreraktivitätserkennung sind bereits heute Fahrzeuge mit einer Vielzahl an Sensorik ausgestattet. Die Anzahl der Sensoren wird durch neue Bedienkonzepte (Interieur), der Weiterentwicklung der Sensorik für das automatisierte Fahren (Radar-, Lidarsensoren, hochauflösende Mini-Kameras) oder der Vernetzung der Fahrzeuge stetig steigen. Über die Vernetzung der Fahrzeuge (Connected Car) werden nicht nur Komfortfunktionen angeboten, sondern auch sicherheitsrelevanten Sensordaten übermittelt. Es erfolgt eine Kommunikation zwischen den Fahrzeugen (Car2Car) oder zur Infrastruktur (Car2Infrastruktur). Mögliche Informationen sind Straßenzustände, Unfallwarnungen, die eigene Position oder auch die Position eines sich nähernden Einsatzfahrzeuges.

Luftfahrt

Die allgemeinen Trends in der Entwicklung von Sensorik sind den Trends ähnlich, die für den gesamten Fahrzeugbau zutreffen. Auch hier verzeichnen wir einen zunehmenden Automatisierungsgrad mit immer neuen Einsatzgebieten für verwendete Sensorik.

Moderne Fluggeräte werden heute gekennzeichnet durch die hochintegrierten eingebetteten Systeme von Avionik Systemen über Kabinensysteme bis hin zu hochkomplexen Steuersystemen für Antriebe oder – im militärischen Bereich – Sensorik, Bewaffnung und militärisches Missionsmanagement. Die hohe Entwicklungsdynamik bietet viele Chancen für eine gesteigerte Gesamtsystemeffizienz, aber auch neue Herausforderungen, was die Integration in das Fluggerät und die entsprechende Zulassung angeht. Weiterhin ist zu beobachten, dass ein anhaltender Wandel von rein mechanischen, pneumatischen und hydraulischen Systemen zu rein elektrischen oder elektrisch unterstützten Systemen stattfindet. In der Boeing B787, dem Airbus A380 oder dem NH90 sind nahezu alle Flugzeugsysteme mechatronischer Bauart. Die elektrische Energie, ihr Verteilsystem und die zugehörige Leistungselektronik sowie die Steuerung des Thermalhaushalts stellen die Felder der Sensorik dar, die zukünftig die bordseitigen Architekturen bestimmen. Die neuen Architekturen erlauben bessere Steuerungsmöglichkeiten und damit höhere Systemeffizienz sowie ein minimiertes Systemgewicht. Besonderes Augenmerk wird in Zukunft auf der Entwicklung von kooperierenden Systemen in einem hocheffizienten Verbund liegen. Dabei wird die Kooperation von Avionik Entwicklern und Systemherstellern eine wichtige Rolle spielen. Das Aufgabenspektrum von unbemannten, fliegenden Plattformen ist aufgrund ihrer spezifischen Fähigkeiten nahezu unbegrenzt und heute noch bei Weitem nicht erschöpft. Die notwendige Technologieentwicklung, die heute meist auf kleinen Plattformen stattfindet, wird in verschiedene Anwendungsgebiete der Luftfahrt Einzug halten, beispielsweise in das „Single Pilot Cockpit“ oder unbemannte Transportluftfahrzeuge.

Bahnsektor

Ein effektiver Einsatz von Sensorik im Bahnsektor bietet den Betreibern, der Industrie sowie den Kunden selbst erhebliche Vorteile: ein schnellerer, sicherer und kostengünstiger Transport von Personen und Gütern.

Moderne Assistenzsysteme wie die aktive Querzentrierung im Fahrzeug erhöhen nicht nur die Fahrsicherheit und -geschwindigkeit, sondern auch den Fahrkomfort für Triebfahrzeugführer und Reisende. Bei der Länge des deutschen Schienennetzes von ca. 38.500 km (Quelle: Allianz pro Schiene) ist jedoch nicht nur die Betrachtung des Fahrzeuges wichtig, sondern auch der Zustand der gesamten Schieneninfrastruktur. Beispielsweise lassen sich mittels Sensoren kleinste Variationen im Gleisbett und damit potenzielle Gefahrenquellen für Zugentgleisungen in einer Frühphase detektieren. Im Zuge der zunehmenden Automatisierung des Fahrbetriebes bis hin zum voll automatisierten U-Bahn-Betrieb nimmt der Einsatz von Sensorik insbesondere in Kombination mit künstlicher Intelligenz eine Schlüsselrolle ein – sei es im Bereich der Umfelderkennung, der Fahrwegüberwachung oder des Fahrgastmanagements. Es zeigt sich, dass die Anwendung von Sensorik in der Bahntechnik über den Einsatz in den Fahrzeugen hinausgeht und aus heutiger Sicht nicht mehr wegzudenken ist. Deshalb wird auch in Zukunft an neuen Technologien und Anwendungsmöglichkeiten geforscht.

Darüber hinaus können Biosensoren u.a. zur Sprengstoffdetektion dienen und damit zur erhöhten Sicherheit im öffentlichen Raum wie in Bahnhöfen und an Haltestellenbeitragen.

Medizintechnik

Speziell in Biotechnologie und Medizintechnik sind die kleinen, intelligenten Messfühler mit ihrem universellen Anwendungsspektrum längst unverzichtbar. In Arztpraxen, Laboren und Kliniken dokumentieren sie nicht nur Krankheitsverläufe, sondern lösen medizinische Probleme, erleichtern die ärztliche Arbeit und steigern die Effizienz der jeweiligen Heilbehandlung. In der Lebensmittel- und Pharmaindustrie wiederum erfassen Sensoren Zustände von und für Hygiene, Effizienz, Prozesssicherheit und reproduzierbare Produktionsbedingungen.

Angesichts der wachsenden und alternden Bevölkerung wächst auch der Bedarf an der Verwendung von Mikrosensoren und -implantaten. Dank ihrer Vielseitigkeit können diese nicht nur in der Klinik, sondern auch in der heimischen Wohnung eingesetzt werden; hier wie dort liefern sie stetige, reproduzierbare und zudem kostengünstige Resultate.

Die inzwischen erreichte Zuverlässigkeit und Variabilität der medizinischen Sensortechnik ist beeindruckend. Implantierbare Sensoren etwa sind winzig und dennoch höchst widerstandsfähig gegen Korrosion, mechanische Beschädigungen und körpereigene Abbauprozesse. Angestrebt wird zudem ein möglichst geringer Energiebedarf, wobei die Entwicklung hin zu Sensoren weist, die künftig sogar komplett ohne Stromversorgung funktionieren (ihre Energie gewinnen sie dann z.B. durch biochemische Prozesse oder Körperbewegungen).

Als Beispiel für das hohe technologische Niveau aktueller Sensorik seien piezoelektrische Polymersensoren genannt. Diese eignen sich hervorragend etwa zur Vibrationserkennung: Sie sind klein, zuverlässig, haltbar und benötigen keine eigene Energiequelle. Eingesetzt werden sie etwa in Herzschrittmachern, wo sie die körperlichen Aktivitäten des Patienten überwachen.

Ein weiteres Zukunftsfeld sind Kraftsensoren in Führungsdrähten zum Einsatz im menschlichen Körper. Diese werden in minimalinvasiven Instrumenten verwendet, etwa bei der Herzkatheterisierung, dem am häufigsten durchgeführten medizinischen Eingriff am Menschen (mehr als 10.000 Katheterisierungen in Deutschland pro 1 Million Einwohner). Bei diesem und vielen anderen minimalinvasiven Eingriffen bestand bislang das Problem der fehlenden Krafrückmeldung des chirurgischen Instruments: Der Arzt vermag im Gegensatz zur offenen Operationstechnik nicht zu beurteilen, welche Kraft die von ihm bediente Führungsdrahtspitze auf die Gefäße und Ablagerungen im Gefäßsystem des Patienten ausübt. Die derzeit mit Hochdruck betriebene Entwicklung einer derartigen „haptischen Echtzeit-Rückkopplung“ mittels neuartiger Kraftsensoren darf als Meilenstein der Medizintechnik des noch jungen 21. Jahrhunderts angesehen werden.

Maschinen- und Anlagenbau

Der Einsatz passender Sensorik in der Produktion ist die Grundvoraussetzung für die Umsetzung von Digitalisierung und Industrie 4.0 im Maschinenbau.

Durch die digitale Transformation in der Produktion verändern sich Anforderungen an Produkte und Technologien. Erhöhte Qualitätsanforderungen und individualisierte Produkte in Kleinserien zwingen zu einer Flexibilisierung der Produktion und erfordern damit neue Ansätze in der Fertigungstechnik.

Der Maschinen- und Anlagenbau mit seinen verschiedenen Teilbereichen wie z. B. dem Werkzeug-, dem Textil-, dem Sondermaschinenbau und der Montagetechnik müssen diesem gerecht werden. Gleichzeitig trägt die zunehmende Vernetzung der Maschinen und Anlagen untereinander als auch der vor- und nachgelagerten Prozesse (Logistik, Leitsysteme, Energiemanagement u. a.) zur Erhöhung der Produktivität bei.

Die Automatisierung als einer der wichtigsten Treiber im Maschinen- und Anlagenbau ist dabei der wirkungsvollste Hebel, die Verfügbarkeit und Flexibilität der Produktionsanlagen deutlich zu erhöhen. Aktuell werden zunehmend echtzeitfähige statistische, physikalische oder mathematische Modelle mit Realdaten gespeist, um das Verhalten von Prozessen, Maschinen und Anlagen abzubilden und vorherzusagen. Der dafür notwendige Einsatz von Sensoren und die dadurch steigende Informationsdichte ermöglichen die Nutzung immer komplexerer und genauerer Modelle. In der Produktion werden diese Modelle in Form sogenannter cyber-physischer Produktionssysteme (CPPS) implementiert. Diese erfassen Daten über produktionsintegrierte Sensoren und Messsysteme in Echtzeit, speichern diese und werten sie zum Zwecke der Modellbildung aus. In einem weiteren Schritt interagieren die CPPS durch Aktoren aktiv mit der physikalischen und digitalen Welt und kommunizieren untereinander.

3. Ableitung der Trends

Innerhalb des Innovationscluster Sensorik Sachsen wurden internationale Studien betrachtet und eine Internetrecherche zum Thema Sensorik auf dem Weltmarkt durchgeführt. Im Folgenden werden die einzelnen Studien externer Experten kurz betrachtet und relevante Sensorik-Trends herausgestellt. Diese Trends werden im Anschluss auf ihre Relevanz für das SenSa-Netzwerk geprüft und schließlich mit beispielhaften Akteuren aus Sachsen unterlegt.

AMA – Sensor Technologien 2022

Der deutsche AMA Verband für Sensorik und Messtechnik e.V. gibt mit seiner Studie „Sensor Technologien 2022“ einen vorausschauenden Blick in die nahe Sensor-Zukunft. Dabei werden sowohl die globalen gesellschaftlichen Anforderungen an Technologieentwicklungen als auch die aktuellen Entwicklungen in der Informations- und Kommunikationstechnik berücksichtigt. Entwicklungen in der Sensorindustrie werden von globalen Faktoren (z. B. Bevölkerungswachstum, Überalterung und Urbanisierung) und politischen Faktoren (z. B. Gesetzgebung zu den erneuerbaren Energien und Hightech-Strategie des BMBF) geprägt. Nichtsdestotrotz, die Studie bescheinigt Deutschland weiterhin die Führungsrolle in der Industrie-Sensorik und Aktorik. Seit vielen Jahren zeichnet sich ein Zusammenspiel der Trends: Miniaturisierung, Integration und Kommunikation ab, welches auch weiterhin prägend für zukünftige Entwicklungen sein wird. Diese Entwicklung wird dabei unter den Schlagworten „Smart Sensors“ und „Sensor 4.0“ zusammengefasst, inklusive Sensor-Integration sowie Kommunikation. Dies umfasst ein breites Spektrum an Unterpunkten. So zum Beispiel die zunehmende Funktionsintegration unterschiedlicher Sensorkomponenten neben der analogen Signalerfassung zusätzliche digitale Datenverarbeitung und Informationsgewinnung, Trendanalyse, Selbstüberwachung, Selbstadaption und Selbst-Rekonfiguration. Inbegriffen ist weiterhin die Sensor-Kooperation mittels drahtloser Datenübertragung und das Verhalten in globalen Netzen, was zu vorausschauendem, autonomem Handeln des Smart-Sensors, z. B. durch Folgeabschätzungen und frühzeitiges Konfigurieren führt. Mit der verstärkten Vernetzung der Sensorik findet auch ein starker Zuwachs an Messstellen durch „Sensoren überall“ statt. Dies führt zur Entwicklung von intelligenten technischen Systemen als „Cyber-Physical Systems“ (CPS), welche für die Verbindung von physikalischer (realer) und informationstechnischer (virtueller) Welt stehen. Die Umsetzung von Funktionen des maschinellen Lernens führt dabei einerseits zur Optimierung der Messgenauigkeit und Lebensdauer der Sensoren, soll andererseits jedoch auch die Mensch-Maschine-Interaktionen optimieren und eine Steuerung der Sensorik vereinfachen, hin zur Plug & Play-Fähigkeit. Außerdem können mittels dieser KI unterstützten Methoden schwer zugänglicher Messgrößen durch leichter zugängliche oder bereits erfasster Messgrößen auf Basis von reproduzierbaren Systemmodellen als „virtuelle Sensoren“ berechnet werden.

In der Prozessüberwachung werden berührungslosen Messprinzipien z. B. optische Sensoren, mehr und mehr direkt integriert und ermöglichen eine direkte Prozesskopplung und Steuerung auf Basis von Echtzeit-Daten.

Ein weiterer großer Trend ist die „Sensor-Fusion“, der Übergang zu Multisensoren zur gleichzeitigen Messung von physikalischen, chemischen oder biologischen Größen in einer Sensorbaugruppe. Auch hier werden die Vernetzung und Nutzung nachgelagerter Verarbeitungstechnologien wie das maschinelle Lernen, ausschlaggebend für die weitere Nutzung und Integration sein.

Die Entwicklung neuer Materialien führt außerdem zur Nutzbarkeit neuartiger Messprinzipien z. B. hochempfindliche magnetische Prinzipien in Dünnschichten oder magnetoresistive und optische Messprinzipien auf Basis von Photonenwechselwirkungen. Die Nutzung neuartiger physikalischer Messeffekte ist dabei mit der Miniaturisierung und der Mikro- oder Nano-Integration verbunden. Neue Materialien ermöglichen außerdem den Ersatz von Silizium durch neue Alternativen wie Polymerfolien für die Strukturintegration von Sensorik in flexible Anwendungen und Wearables.

Entwicklungen im Bereich der Energiegewinnung führen weiterhin zum verstärkten Einsatz von energieautarken Sensoren, z. B. durch Energy Harvesting mittels Fotovoltaik oder Piezoelementen.

Marktbetrachtung

Mit Wachstumsraten zwischen 5 und über 10 Prozent pro Jahr hat sich der Umsatz im Gesamt-Sensorik-Markt von 2010-2020 verdoppelt. Die umsatzmäßig größten Märkte sind der Fahrzeugbau, Informationstechnik und Gebäudetechnik, hier zählen große Stückzahlen, niedrige Preise und große internationale Konkurrenz zu den Kernmerkmalen und der Bedarf wird vorwiegend durch Großunternehmen abgedeckt. Dagegen decken hoch spezialisierte KMUs andere Marktbereiche, mit mittleren bis kleinen Stückzahlen ab, dies aber weitgehend mit hoher Präzision (spezialisiertere Sensoren) und zu höheren Stück-Preisen. Allgemein gesprochen ist der Markt für Sensorik sehr inhomogen und stark segmentiert und wird neben einigen Weltkonzernen vorzugsweise durch mittelständische und kleine Unternehmen geprägt. In den typischen Massenmärkten (z.B. Smartphones) werden die Sensorfunktionen zunehmend bereits im Signalverarbeitungsschaltkreis integriert, der globale Wettbewerb ist extrem und vor allem durch schnelle Produktwechsel und kurze Entwicklungszeiten gekennzeichnet. Die andererseits oft anspruchsvolleren Sensorsysteme für industrielle Anwendungsgebiete wie Automatisierungstechnik, autonome Fahrzeuge, Landmaschinen, Krane, Flugtechnik und Medizintechnik, chemische und pharmazeutische Prozesstechnik holen aber zunehmend auf. Die Verschmelzung von klassischen Consumer-Funktionalitäten und industriellen Anforderungen ist hierbei die entscheidende Triebkraft.

NAMUR - Technologie-Roadmap „Prozess-Sensoren 2027+“

Die Interessengemeinschaft Automatisierungstechnik der Prozessindustrie – NAMUR – hat Ende 2021 eine Technologie-Roadmap³ zu Prozess-Sensoren veröffentlicht. In dieser sind folgende 19 Thesen zusammengetragen wurden:

1. Die Sensorik wird deutlich robuster und langzeitstabiler sein.
2. Neue Prozess-Sensorik wird zunehmend zur Optimierung bestehender Anlagen eingesetzt.
3. Für spezifische Applikationen wird Sensorik mit geringerer Messunsicherheit eingesetzt. Komponenten in Gasen und Flüssigkeiten werden mit immer niedrigeren Bestimmungsgrenzen bis in den Spurenbereich gemessen.
4. Bioprozesse finden neben der Pharmaproduktion auch in Fein- und Großchemie zunehmend neue Anwendungsfelder. Eine effiziente Prozessregelung wird durch spezialisierte Sensorik für biologische Zielgrößen erreicht werden.
5. Die zunehmende Ausrichtung und die Berücksichtigung der Nachhaltigkeit erhöhen den Einsatz an entsprechender Prozess-Sensorik.
6. Kontinuierliche Informationen zu stofflichen Zusammensetzungen werden zu Regelzwecken genutzt.
7. Messungen erfolgen direkt im oder am Prozessmedium durch Inline- oder noch besser durch nichtinvasive Messverfahren.
8. Ambulante Sensoren werden vermehrt eingesetzt.
9. „Schwarmsensorik“ wird zur Anlagenüberwachung eingesetzt.
10. Der Bedarf nach Prozessanalytik für Einweg (Single-Use) -Prozesse wächst.
11. Modularisierung im Sinne von „Numbering-up“ und Kleinchargenproduktion verlangen die Ausarbeitung von spezifischen PAT-Strategien.
12. Industrie 4.0 führt zu erheblichen Veränderungen im Denken und Handeln der Menschen in Gesellschaft, Industrie und Wirtschaftsräumen. Smarte Prozess-Sensoren beeinflussen diese Entwicklung mit neuen Funktionalitäten stark.
13. Die stark vereinfachte Integration der Prozess-Sensoren in Netzwerke und ihre Interaktion mit weiteren Informationen führen zu (selbst)organisierten Systemen und verbessern die Produktion.
14. Die Inbetriebnahme von PAT (Prozessanalysetechnik)-Installationen wird mittels „digitaler Zwillinge“ vereinfacht.
15. Smarte Prozess-Sensoren sind wichtige Bestandteile von Cyber Physical Production Systems (CPPS) und ermöglichen neue Geschäftsmodelle.
16. Durch sensor-interne und -externe Daten werden zusätzliche Informationen über Prozesse und Anlagenkomponenten generiert.
17. Die Kommunikation aller Prozess-Sensoren erfolgt über standardisierte und sichere Schnittstellen- und Datenformate.

³ <https://atpinfo.de/wp-content/uploads/2021/11/Roadmap-Prozess-Sensoren-2027.pdf>

18. Prozess-Sensoren sind nahtlos in Multi Cloud-Architekturen integriert.
19. Die Digitalisierung ermöglicht eine deutliche Reduktion des Wartungs- und Installationsaufwandes.

Es werden darin die wesentlichen Trends aus der Prozess-Industrie beschrieben mit einem klaren Fokus auf physikalische und chemische Messgrößen die zur Steuerung von Prozessen der verfahrenstechnischen Industrie (u.a. Chemie, Pharma) notwendig sind und dabei sowohl technische als auch ethische und soziale Standards, sowie Nachhaltigkeits-, demographische und Digitalisierungseffekte berücksichtigt. Hauptanforderungen werden dabei vor allem aus dem Bereich der Digitalisierung (Datenübertragung – drahtlos und „Smart“-Sensorik sowie Einbindung KI-Thematik), neuen Messstrategien und Anwendungsfelder sowie der Standardisierung (Stichwort OPC-UA) gesehen. Eine Übereinstimmung der meisten Thesen ist somit weitestgehend mit den identifizierten Trends gegeben. Besonders hervorzuheben sind dabei „Multisensorik“ und „Auswertelgorithmen/Big Data/Datensicherheit“ aber auch Beispiel aus den Trends „flexible Sensorik“, „optische Sensoren“ und „Miniaturisierung“ lassen sich in den o.g. Thesen einordnen.

Internationale Trendstudien

IDTECHEX⁴, das international führende unabhängige Marktforschungsinstitut im Bereich der Business Intelligence, hat in Hinblick auf insbesondere gedruckte Elektronik fünf Trends klassifiziert: neue Designfreiheit, Gesundheitsversorgung & Medizintechnik, Energieautonomie (Sensoren überall/off-grid), hybride Elektronik und smarte Verpackung.

Flexible und dehnbare Elektronik ermöglicht die Entwicklung neuer Formfaktoren, sodass Produkte von Unterhaltungselektronik bis hin zu Fahrzeugen individuell designt werden können. Im Gesundheitswesen und der Medizintechnik eröffnet flexible Elektronik völlig neue Anwendungsfelder zur personalisierten Überwachung von Gesundheitsdaten. Dies bietet insbesondere im Zusammenhang mit der steigenden Überalterung der Bevölkerung und einer Fokussierung auf präventive Gesundheitsmaßnahme auf Basis von individuellen Gesundheitsdaten ein enormes Wachstumspotential. Das Ziel der Energieautonomie von Sensorik und Elektronik basiert auf dem politischen und gesellschaftlichen Streben zur Erreichung der Klima-Ziele und dem Umbau zu erneuerbaren Energiesystemen. Neben stromsparenden Systemen für kleine, drahtlose Geräte werden zunehmend auch energieautarke Haltestellen, Ampelsysteme bis hin zu Fahrzeugen und Gebäuden angestrebt. Energieautarke Elektronik eröffnet außerdem ein breites Feld an Anwendungen für das Internet-of-Things. Gedruckte und flexible Elektronik-Komponenten werden zunehmend mit konventionellen starren Komponenten kombiniert, um als hybride Elektronik das Beste aus beiden

⁴ <https://www.idtechex.com/de/research-article/five-hot-trends-with-printed-and-flexible-electronics/13938>

Welten zu nutzen. Mit gedruckter und flexibler Elektronik hat sich außerdem der Bereich der smarten Verpackungen als Markt mehr und mehr geöffnet. Die Bandbreite reicht dabei von der Integration von RFID über OLED und Sensorik, sodass Verpackungen inzwischen auch mit dem Käufer interagieren können und aktiv im IoT eingebunden sind.

IDTECHEX – Wearable Sensors 2018-2028

Der Begriff der ‚Wearables‘ wurde Ende 2013 geprägt und dient als Sammelbegriff für bestehende Produktgruppen (z. B. Kopfhörer, Hörgeräte, elektronische Uhren, verschiedene medizinische Geräte usw.), sowie neuerer Produkttypen (z. B. Fitness-tracker, VR-Headsets, AR-Projekte wie Google Glass), die schnell an Bekanntheit und Beliebtheit gewannen. Diese Entwicklung beruht dabei auf mehreren großen Technologie-Trends, wie der zunehmenden Personalisierung von Technologie, der Digitalisierung des Gesundheitswesens und Fitnessgeräten sowie der Entwicklung hin zu mehr Flexibilität, Komfort und Individualisierung.

Dies spiegelt sich auch in den Trends für die Sensorik im Bereich ‚Wearables‘ wider. Für tragbare Anwendungen sind hier insbesondere die Einführung von Flexibilität und Dehnbarkeit in Geräten, somit auch inhärente Flexibilität der Sensoren, Verringerung des Energieverbrauchs, die Miniaturisierung von Komponenten, Sensor-Fusion zur Detektion von mehreren Parametern in einem System sowie die Vernetzung im IoT-Bereich zu nennen. Neben der Adaption von bereits existierenden Sensorik-Systemen für Wearables resultiert dies natürlich auch in der Entwicklung von neuen Materialien, Sensoren und Komponenten für diese spezifischen Anforderungen. Das steigende Gesundheits-, Umwelt- und Sicherheitsbewusstsein der allgemeinen Bevölkerung führt auch zu einer steigenden Nutzung im Fitness- & Gesundheitsbereich. Laut IDTechEx führt dies gemeinsam mit der IoT-Weiterentwicklung mittelfristig zur Entwicklung sogenannter „Persönlicher Hubs“. Dies sind eigenständige persönliche Kommunikationsgeräte, welche am Körper als persönlicher Knotenpunkt/Hub im größeren IoT-Geräte-Ökosystem fungieren. Die Analysten sehen hier das Potential, sogar die Funktionalitäten, die aktuell durch Smartphones abgedeckt werden, durch diese neuen Wearables-Technologien zu übernehmen und somit ein enormes Marktpotential zu erschließen.

Aktuell wird der Markt der Wearables durch Sport & Fitness-Tracking dominiert, gefolgt von AR/VR/MR-Anwendungen, Industrie- & Militär-Anwendungen sowie Medizintechnik. Insbesondere dem Bereich AR/VR/MR wird ein starkes Wachstum bis 2021 prognostiziert.

Die folgenden Sensortechnologien werden in der Studie explizit hervorgehoben und sind kennzeichnend für aktuelle Trends:

- Sensor-Fusion
- Miniaturisierung/Kostenreduzierung/Nachhaltigkeit
- Lage- und Bewegungssensoren (IMU bzw. inertial Sensoren)
- Optische Sensoren
- Elektrische Sensoren (Potentialmessung; elektrische Ströme; Widerstände)

- Kraft-, Druck- und Dehnungssensoren
- Temperatursensoren
- Akustische Sensoren (Mikrophone)
- Chemische und Gassensoren

IDTECHEX – Environmental Gas Sensors 2018-2028

Die Sensor-Industrie, speziell im Bereich der Umwelt- & Gas-Sensorik, befindet sich aktuell an einem Wendepunkt, weg von den althergebrachten großen, teuren Instrumenten hin zu miniaturisierten und günstigen Sensoren mit geringem Energieverbrauch. Gas-Sensoren stehen kurz vor der Integration in Consumer-Elektronik wie Smartphones oder Wearables. Insbesondere beim Internet-of-Things spielt die Sensorik eine zentrale Rolle und wird bei Smart Home und Smart City Entwicklungen großflächigen Einsatz finden. Die Gas-Sensorik wird dabei bei der Erzeugung sauberer Luft helfen, durch die Optimierung der Steuerung von Luftreinigern und Heizungs-, Lüftungs- und Klimatechnik-Systemen. Parallel werden innovative Lösungen im Bereich der alternativen Energiegewinnung, die Entwicklung energieautarker und mobiler Sensor-Konzepte weiter voranbringen. Städte könnten somit die Luftqualität detailliert auswerten, indem Netzwerke aus günstigen mobilen Sensoren genutzt werden. Miniaturisierte Sensoren bieten dabei die Möglichkeit, eine gute räumliche Abdeckung von Umweltinformationen zu erreichen, die mit traditionellen Überwachungsmethoden nicht zu erreichen ist.

Die Entwicklung in allen diesen Bereichen geht dabei zu Multi-Sensor-Netzwerken, die ihre Messdaten in Echtzeit an eine zentrale Verarbeitungsstelle senden können. Es findet somit eine Entwicklung hin zur Sensor-Fusion und Smarten Sensoren mit hoher Konnektivität statt. Neue Materialien, wie z.B. CNTs, Graphen oder Zeolithe sind dabei maßgeblich für die Entwicklung neuer Multi-Gas-Sensoren.

Weiterhin ermöglichen neue Produktionstechnologien insbesondere im Bereich der gedruckten Sensoren eine Miniaturisierung und Reduktion der Kosten und des Energieverbrauches sowie die Herstellung von Sensorik, die noch individueller auf ihre Anforderungen zugeschnitten ist.

Die vier Schlüsselmärkte für die Umwelt- und Gas-Sensorik sind: Smartphones, Automobilanwendungen, industrielle Prozesskontrolle und Sicherheit sowie Medizintechnik. Der Markt für Umweltsensoren wird derzeit von der Automobilindustrie dominiert, wo Sensoren zur Automatisierung des Luftstroms in die Fahrerkabine eingesetzt werden. In den nächsten Jahren wird ein stetiges Wachstum vorausgesagt, insbesondere für die Bereiche Smart Devices, Automobil-Anwendungen, Smart City & Smart Home Sensorik, Luftreiniger sowie Wearables. Die Integration in Consumer-Elektronik wird dabei für einen großen Teil der Marktentwicklung verantwortlich sein.

Elektrochemische Sensoren werden durch aktuelle Weiterentwicklungen im Siebdruck ihre Marktanteile als wichtige Umweltsensortechnologie weiter ausbauen. Für den Bereich der Infrarot-Sensorik wird jedoch das stärkste Wachstum prognostiziert.

Zusammenfassend werden die folgenden Trends für die Umwelt und Gas-Sensorik in der Studie benannt:

1. Multi-Gas-Detektion / Sensor-Fusion
2. Miniaturisierung
3. Kostenreduzierung
4. Verringerung des Energieverbrauchs
5. Verwendung von Vorhersagen und Modellen
6. Integration in Consumer-Elektronik

McKinsey – Automotive software and electronics 2030

Autonome oder zumindest verstärkt unterstützte Mobilität ist der Haupttreiber für die Anforderung an Sensorik im Automobilbereich, dies ist die klare Aussage der McKinsey Studie. Klar unterschieden wird für diese Anwendungsbranche zwischen den eher klassischen Sensoren, die „nur“ Rohdaten liefern und diese zu einer wie auch immer gearteten Auswerteeinheit liefern und den stark in Trend liegenden „Smart Sensors“, die bereits einen mehr oder weniger hoch ausgeprägten Grad an Daten-Vorverarbeitung integriert haben. In diesem Sinne werden Sensoren einer zunehmenden Standardisierung unterworfen sein und es wird erwartet, dass auch für die Sensorik ein merklicher Übergang zu Software-defined Funktionen zu verzeichnen sein wird. Das Stichwort Sensor-Fusion ergänzt und erweitert diese Tendenz und ermöglicht das Realisieren gewünschter Funktionen, indem zukünftig verschiedenste Sensordaten softwareseitig kombiniert werden und damit verfeinerte oder anderweitig nur schwer oder gar nicht zugängliche Informationen vor allem für höhere Grade des automatisierten Fahrens zugänglich werden. Im Einzelnen werden in der Studie vier Kernbereiche für automobiler Sensoranwendungen betrachtet und bewertet. Dabei zählen Komplexität der Sensoranwendung, Anzahl der einzusetzenden (laut Forecast) Sensoren und technologisches Entwicklungspotential als Hauptkriterien.

1. „Powertrain sensors“ – Sensoren im Antriebsstrang → abnehmender Trend; da die Entwicklung zur Elektrifizierung den Bedarf an Steuer- und Kontrollfunktionen für den hochkomplexen modernen Verbrennungsprozess und daran angepasste Getriebefunktionalitäten schmälert
2. „Chassis sensors“ – Sensoren an der Karosserie, vor allem nach außen in den Verkehrsraum gerichtet → im Zuge des autonomen bzw. assistierten Fahrens wird ein moderater Bedarfsanstieg und damit verbundene Entwicklungstendenzen prognostiziert; tatsächlich lässt sich hier zukünftig kaum noch eine Unterscheidung zur Gruppe der „ADAS/AD sensors“ ausmachen
3. „Body sensors“ → getrieben durch Herausforderungen aber auch neue Möglichkeiten des assistierten Fahrens, aber klar fokussiert auf Fahrerkomfort- und Sicherheit in der Fahrgastzelle (z.B. Fahreranwesenheit; Bewusstseins-/Gesundheitsüberwachung etc.) als klar ansteigender Trend identifiziert
4. „ADAS/AD sensors“ – Sensoren zur Realisierung der Fahrerassistenzsysteme → starker Trendanstieg im Zuge autonomen Fahrens und Fahrerassistenzsysteme; abhängig vom Grad des automatisierten Fahrens (1-5) zunehmende Sensordichte

Vor allem der letztgenannte Kernbereich ist auf absehbare Zeit der nach Auffassung vieler Experten entscheidende und am mit am meisten Dynamik versehene Bereich, nicht zuletzt aufgrund der übergreifenden Anwendbarkeit der Sensortechnologien für weitere Anwenderbranchen aus dem Mobilitätssektor und der industriellen Fertigung. Im Einzelnen benannte werden folgende Sensorgruppen

5. Long-range Radar
6. Short- and medium-range Radar
7. Kamera
8. Long-range LiDAR
9. Short-range LiDAR
10. Ultraschall

Generell wird laut den McKinsey-Analysten ein Massenmarkt "neuer" Sensoren (Bsp. Solid-State LiDAR) entstehen, der Preissenkungen erwarten lässt.

Eigenen Recherche internationaler Trends

Im Vergleich der internationalen Trends erkennt man, dass je nach Fokus der einzelnen Studien einige Aussagen fehlen. Für die sächsischen Akteure wurden daher folgende 8 Trends extrahiert:

1. Flexible (inkl. organische) Sensoren
2. Optische Sensoren
3. Miniaturisierung
4. Neue Materialien (Nanomaterialien, z.B. CNT, Graphen)
5. Multisensorik
6. Gedruckte Sensoren
7. Auswertelgorithmen/Big Data/Datensicherheit
8. Sensoren im Textilbereich

Neben der Analyse der Studien externer Experten wurde im SenSa Cluster von OES eine eigene Recherche zu aktuellen Sensor-Trends durchgeführt. Der Fokus lag dabei auf flexibler Sensorik, mittels Web-Recherche zu Schlagworten sowie der Sichtung von wissenschaftlichen Veröffentlichungen in diesen Bereichen über Google-Scholar.

Die Schlagworte orientierten sich dabei an den Trendstudien von IDTechEx und bilden die gesamte Wertschöpfungskette von Materialien, Sensortechnologien bis hin zu Anwendungen und Anwendungsektoren ab.

Im Bereich der Material-Entwicklung lag der Fokus dabei auf leitfähigen Fasern, Tinten und Folien sowie funktionellen Substraten. Als Sensor-Technologien wurden Druck-, Piezo-, Gas-, Beschleunigungs-, Optische-, Bild- sowie Feuchtigkeits-Sensoren recherchiert. Anwendungen umfassten das Monitoring physischer Aktivitäten, tragbare Heiztechnologien und Herz-Kreislauf-Monitoring. Die möglichen





Aktuelle Sensortrends

Anwendungsfelder waren breit gefächert und reichten von der Landwirtschaft über das Baugewerbe, Textilien, Industrie, Medizintechnik, Logistik, Verpackung, Schutzausrüstung bis hin zu Sport und Lifestyle Produkten.

Insgesamt wurden 79 internationale Sensorentwicklungen bzw. -anwendungen recherchiert und hinsichtlich ihrer Position in der Wertschöpfungskette (WSK), der zugeordneten Trends und der angesprochenen Zielmärkte betrachtet. Beispielhaft sind in

Tabelle 3 zwei der untersuchten Firmen aufgelistet.

Tabelle 3: Auszug aus der eigenen Recherche Sensorentwicklungen bzw. -anwendungen.

Firma	Beschreibung	WSK	Trends	Märkte
CurveSYS (D)	Flexibler Drucksensor zur Integration ins Lenkrad zur Müdigkeitserkennung; auch Gestensteuerung möglich		1,3,6,7	
XSensor Technology Corporation (CA)	Drucksensor (hohe Genauigkeit, hohe Drücke, hohe Geschwindigkeit, „impact“, großflächig) für Karosserie, Reifen, Sitze etc. Technologie: „leitfähige Textilien“, kapazitiv		3,4,8	

Für den gesamten Datensatz der 79 Firmen wurde eine Zuordnung ihrer Position in der Wertschöpfungskette durchgeführt. Dabei waren Mehrfachnennungen möglich, wenn eine Firma etwa neue Materialien entwickelt und diese gleichzeitig in Sensoren integriert. Anhand der Übersicht in Abbildung 5 lassen sich einige wichtige Punkte ableiten. Die Entwicklung neuer Materialien stellt einen wichtigen Trend innerhalb der Sensorik dar, jedoch ist dies aktuell nicht die treibende Kraft im Bereich der Sensorik. Die Entwicklung neuer Fertigungstechnologien führt zu großen Aktivitäten im Bereich des Designs und der Prozessentwicklung, sichtbar am großen Anteil der Firmen, die hier aktiv sind. Die Anlagenentwicklung hingegen stellt naturgemäß nur einen geringen Teil der Akteure in der Sensorik, da hier mit der neuen Prozesstechnologie zwar Anpassungen notwendig werden, jedoch keine große Neuorientierung innerhalb der Branche stattfindet.

Der Großteil der recherchierten Firmen ist in den letzten drei Bereichen der Wertschöpfungskette aktiv. Die Sensorherstellung stellt dabei selbsterklärend einen großen Anteil der Firmen. Die Produktion der Sensoren besonders im Bereich der flexiblen Sensorik macht individuelle Anpassungen nötig und eröffnet so gute Marktnischen für KMUs. Insbesondere auch da sich bisher in diesem Sektor noch keine großen Player als marktbeherrschend positioniert haben.

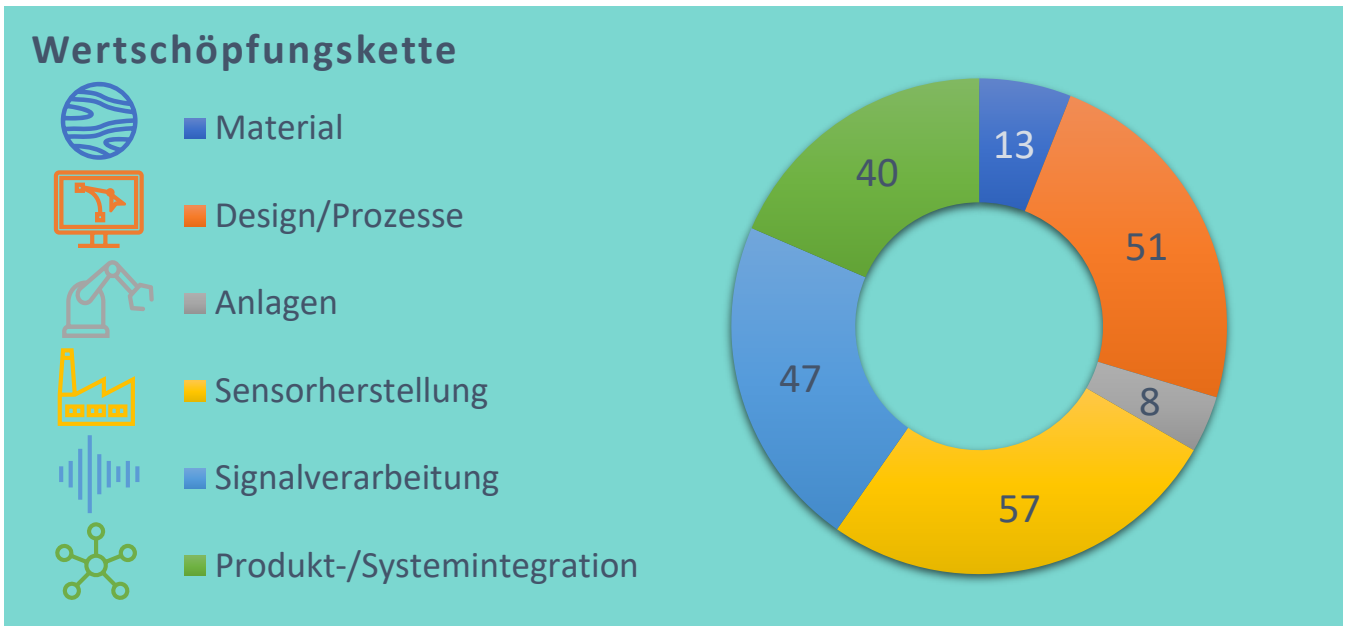


Abbildung 5: Position und Anzahl der 79 betrachteten Firmen in der Wertschöpfungskette. Mehrfachnennungen waren möglich.

Der große Anteil der Firmen im Bereich der Signalverarbeitung spiegelt den Trend hin zu Smart Sensors mittels Auswertelgorithmen/Big Data/Datensicherheit wider. Insbesondere auch durch die neu auftretenden Anforderungen an Nutzerfreundlichkeit und Konnektivität im Rahmen der Integration in Consumer-Produkte besteht hier großer Bedarf an spezifischen Entwicklungen der Signalverarbeitung. Außerdem können dabei die mittels neuer Materialien und Technologien nutzbaren Sensorkonzepte nicht immer auf die etablierten Systeme anderer Sensorsysteme zurückgreifen. Die starke Aktivität im Bereich der Produkt- und Systemintegration wiederum deckt sich mit den Trends der Multisensorik, Sensoren in Textilien und des Internet-of-Things. Für alle diese Trends sind erhöhte Anstrengungen im Bereich der Integration notwendig, die den bisherigen State of the Art überschreiten. Weiterhin wurden die Zielmärkte der Firmen untersucht, das Ergebnis ist in Abbildung 6 zu sehen. Die drei häufigsten Märkte waren hier Gesundheit, Consumer und Smart Textiles. Mit dem Fokus auf flexible Sensorik ist dies zu erwarten, da diese drei Märkte durch flexible Anwendungen den größten Mehrwert haben. Sensor-Pflaster, Wearables wie Smart-Watches und Textilien mit integrierter Sensorik sind hier nur einige der Anwendungen, die aktuell den Markt erreichen. In den Automobil- und Luftfahrt-Märkten finden flexible Sensoren zunehmend Einzug, da die Technologien hier inzwischen die notwendige Marktreife erreicht haben. Die Vorteile der flexiblen Sensorik wie neue Design-Möglichkeiten, aber auch der Ermöglichung neuer Komfort-Funktionen und Gewichtseinsparung sind dabei treibende Kräfte, um den Markteintritt voranzutreiben.

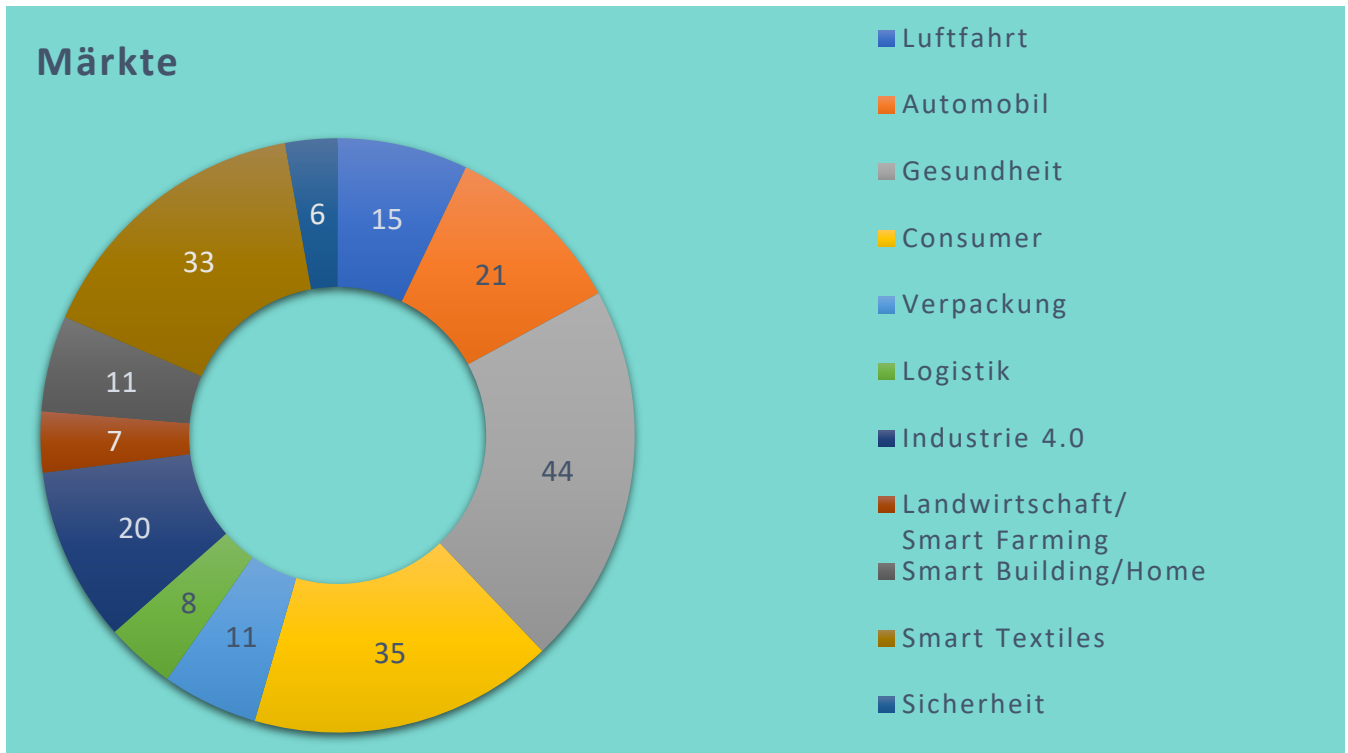


Abbildung 6: Zielmärkte und Anzahl der 79 betrachteten Firmen. Mehrfachnennungen waren möglich.

Die große Vielfalt an Zielmärkten zeigt außerdem, dass die neuen Entwicklungen im Bereich der Sensorik nicht nur Nischen-Produkte für einzelne Märkte sind. Vielmehr werden nach und nach neue Märkte durch die neuen Funktionalitäten erschlossen und es ist ein Trend für alle Anwendungsbereiche der Sensorik erkennbar.

Trendableitung aus wissenschaftlichen Beiträgen (DECHEMA Kongress Dresden 2021)

Aus den über 100 Beiträgen des DECHEMA Kongresses 2021 zu den in folgender Tabelle 4 aufgeführten Sensorik Themen sind vor allem Grundlagen-orientierte Trends abzuleiten, die vor allem die umwelttechnische, medizinische und prozessrelevante Sensorik adressieren. Bereits aus anderen Studien (siehe vorangehende Abschnitte) ersichtlichen Schwerpunkte der Trends „Miniaturisierung“, „Neue Materialien“ und „Auswertelgorithmen/Big Data“ tauchen ebenso wieder auf, wie Beiträge mit einer klaren Fokussierung auf Nachhaltigkeit und Umweltschutz.

Tabelle 4: Sensorik Themen zum DECHEMA Sensor-Kongress 2021.

Sensorik Thema	Anzahl Beiträge
Umwelt Sensorik	20
(Bio-)Medizinische Sensorik	19
Neuartige Sensormaterialien und -technologien	15
Industrielle Sensorik	11
Smarte (Gas-)Sensorik	10
Miniaturisierte Sensorik und Messsysteme	6
Sensoren für Bioprozess- und Verfahrenstechnik	5

Die Betrachtung sächsischer Beiträge auf dem Kongress weist eine sächsische Fokussierung auf „neue Materialien“ und die schon klassische Stärke bezüglich technischen Erfindertums hier beim Entwickeln „neuer Messstrategien“ auf.

Tabelle 5: SenSa-Trends beim DECHEMA Kongress 2021.

Sensorik Trend	Anzahl sächsischer Beiträge
neue Materialien	14
neue Messstrategien	12
Multisensorik	2
flexible Sensoren	2
Auswertelgorithmen	1
Miniaturisierung	1

Zusammenfassung Sensor-Trends

In folgender Übersicht (Tabelle 6) sind die zusammengetragenen Trends der betrachteten Studien und selbst durchgeführten Erhebungen den für das Innovationscluster SenSa identifizierten Trends gegenübergestellt. Die Auflistung erhebt keinen Anspruch auf Exklusivität oder Vollständigkeit. Es sind nach Ansicht der an SenSa beteiligten Personen, die für den Freistaat Sachsen und die Akteure im Betätigungsfeld der Sensorik bedeutendsten Elemente abgebildet. Diese mit Bedacht weit gefassten acht Sensor-Trends sollten die Hauptrichtungen der aktuellen und mittelfristig zu erwartenden Entwicklungen recht umfassend abbilden. Für detailliertere Einblicke verweist die Autorenschaft auf die referenzierten Studien und hebt besonderes die Trendstudie der AMA hervor.

Tabelle 6: Übersicht der aus den einzelnen Studien und eigenen Erhebungen extrahierten Trends.

TRENDS	AMA	IDTECH-WEAR	IDTECH-GAS	MC-AUTO	EIGENE	NAMUR	SENSA
Flexible (inkl. organische) Sensoren	X	X	(X)		X	(X)	X
Optische Sensoren	X	X	X	X	X	(X)	X
Miniaturisierung	X	X	X	X	X	(X)	X
Neue Materialien (Nanomaterialien, CNT, Graphen)	X	X	X		X		X
Multisensorik	X	X	X	X	X	X	X
Gedruckte Sensoren	(X)	(X)	X		X		X
Auswertelgorithmen /Big Data/Datensicherheit	X	X	(X)	X	(X)	X	X
Sensoren im Textilbereich	(X)	X	(X)		X		X
<i>neue Messstrategien</i>	X	(X)	(X)	(X)	X	X	X

Zwei weitere Aspekte, die zunehmend Bedeutung gewinnen sind „Safety & Security“ sowie „Liability“. Das Thema Angriff von Hacker wird mit steigender Abhängigkeit von Software auch für die Sensoren zunehmend relevant (Radar, Lidar und Kameras, die fälscherweise Hindernisse nicht erkennen, weil das Bild absichtlich und kriminell verfälscht wurde, können als ADAS-Systemen sehr gefährlich werden). Auch stellen sich rechtliche Fragen im Zusammenhang mit automatisch erfasst und verarbeiteten Sensordaten; Wer haftet für defekte Sensoren, welche Unfälle verursachen? In der Studie von McKinsey wird dies bereits an einigen Stellen erwähnt. Es kann davon ausgegangen werden, dass beide Themen sich, wenn nicht zu einem Trend an sich, dann aber auf jeden Fall zu starken Einflussfaktoren für Trends entwickeln werden.

Aus diesen beiden Aspekten sowie unter Einbezug der Einschätzung der „Interessengemeinschaft Automatisierungstechnik der Prozessindustrie“ (NAMUR) kann eine Art übergeordneter Trend „neue Messstrategien“ abgeleitet werden. Diesem kann von den genannten 8 SenSa-Trends (Tabelle 6) jeder in mehr oder weniger umfassend untergeordnet werden. Die Weiterentwicklung vorhandener Technologien und Erforschung neuartiger Prinzipien und Effekte sowohl von Seiten der Hardware (Material, Elektronik) als auch der Software (Auswertelgorithmen, KI, Edge-Computing) ermöglichen zunehmend, Messaufgaben in Angriff zu nehmen, die bisher nicht möglich, nur sehr aufwendig (Übertragung von Laboranalyseverfahren in Prozesstechnologien) oder technologisch nicht sinnvoll waren. Kern ist dabei stets die Herausforderung, genauer (Wann, was und Wo?) im Prozess zu messen und entscheidende Erkenntnisse daraus schneller ableiten, um noch im Fertigungsprozess regelnd/steuernd eingreifen zu können. Nur so lassen sich industrielle und ökonomische (wie Ausbeute/Ertrag und Qualität) sowie ökologisch (Ressourcenschonung und Nachhaltigkeit) entscheidende Dinge steigern.

Trendbeispiele innerhalb des Innovationsnetzwerks SenSa

Im Folgenden und abschließenden Abschnitt sind zu den acht extrahierten Trends ausgewählte Beispiele aus denn an SenSa beteiligten Netzwerken aufgeführt. Oftmals können die Anwender dabei auch mehreren Trends zugeordnet werden, wurden hier jedoch beispielhaft den Trends zugeordnet.

1. Flexible (inkl. organische) Sensoren

Dieser Trend orientiert beruht auf an den Stärken der Technologie von flexibler bzw. organischer Elektronik, wodurch neue Produkte eine Technologielücke schließen und existierende Produkte durch Vorteile in Funktionalität oder Preis ersetzen. Die Weiterentwicklung der flexiblen und organischen Elektronik hat dabei insbesondere in den letzten Jahren zu neuen Anwendungen und einem verstärkten Marktinteresse geführt.

Senorics entwickelt organische Infrarot-Sensoren für miniaturisierte Spektrometer Anwendungen, die völlig ohne optische Elemente auskommen. Anwendungsmöglichkeiten sind vielfältig und reichen von der Erkennung des Reifegrads von Früchten über predictive Maintenance, Alterung von Flüssigkeiten bis hin zu Stoff/Textilerkennung. Interessante Zielmärkte sind unter anderem Automobil, Consumer, Verpackung, Industrie 4.0, Smart Farming.

Ronny Timmreck, CEO: *“Unsere Technologie ist ein Multifunktionswerkzeug und die Anwendungsmöglichkeiten so vielfältig, dass wir aktuell gar nicht alle Ideen weiterverfolgen können. Die organische Elektronik bietet uns hier Möglichkeiten für einen Sensor mit einzigartigen Spezifikationen, die mit anderen Technologien nicht in diesem Maße oder zu diesem Preis angeboten werden können.”*

2. Optische Sensoren

Diese bestehen in aller Regel aus Detektoren, die Licht oder eine Lichtänderung in ein elektronisches Signal umwandeln. Je nach Aufbau und Material können sie dabei Licht vom infraroten bis zum ultravioletten Wellenlängenbereich detektieren. Zu den optischen Sensoren werden in diesem Zusammenhang auch Kameratechnik, also CCD oder (O)LED Devices, gezählt. Optische Sensoren haben dabei außerdem den Vorteil der berührungslosen Messungen. Daraus ergeben sich auch die breit gefächerten Anwendungsfelder, von der Stoffdiagnose (Spektroskopie) über Positionssensoren bis hin zu Näherungs- und Entfernungssensoren.

First Sensor entwickelt Sensorik für den Automobil-Sektor. Fahrzeuganwendungen stellen hohe Anforderungen an die Zuverlässigkeit und Robustheit der eingesetzten Sensorik. Vibrationen, Schmutz, Feuchtigkeit, extreme Hitze oder Kälte dürfen die Spezifikation der eingesetzten Systeme nicht verändern. Zusätzlich müssen sich die Kamera- und Sensorsysteme einfach und flexibel in Fahrerassistenzsysteme und Fahrzeugbordnetze integrieren lassen. Oft werden auch verschiedene Sensortechnologien kombiniert und z. B. Kamera- und LIDAR-Daten fusioniert, um die Reichweite, Genauigkeit und Zuverlässigkeit der Fahrerassistenzsysteme zu erhöhen.

3. Miniaturisierung

Es gibt wenige Technologien, die es derzeit ermöglichen, komplexe Bauteile in Stückzahlen jenseits von Millionen pro Woche zu fertigen und dabei noch kosten- und ressourceneffizient zu sein. Ganz klar zählen dazu die Fertigungstechnologien der Mikroelektronikbranche. Pro prozessiertem Silizium-Wafer werden Zehntausende Einzelelemente (u. a. Sensoren) und mehrere Wafer im Accord oder Batch gefertigt. Bis zu einhundert Prozessschritte sind dazu notwendig. Typische Sensoren sind sowohl optische Detektoren (u. a. CCD und LED) oder MEMS basierte Aufnehmer für Lage, Position und Bewegungsdetektion. Dies sind aber nicht die einzigen Anwendungsbereiche, das Feld spannt sich weiter auf, wenn man smarte Sensoren, Datenübertragung und so weiter mit einbezieht. Das mit Miniaturisierung und der Mikroelektronik verbundene Prinzip der Funktionsintegration ist ein untrennbar damit verbundener Vorteil.

[Sensry GmbH](#) bietet die universelle Sensorplattform als individuellen Sensor-Baukasten für IoT-Anwendungen an. Basierend auf der FD-SOI Technologie wurde dies in Kooperation von GLOBALFOUNDRIES und Fraunhofer-Instituten entwickelt. Basierend auf der stromsparenden Technologie lassen sich kostengünstige Sensorsysteme und Kommunikationslösungen für Massenmärkte entwickeln und dies mit höchster Sicherheit.

4. Neue Materialien

Kohlenstoffbasierte Materialien mit lateralen Abmessungen im Nanometerbereich in wenigstens einer Dimension versprechen unikale Eigenschaften, die vielfältigen Nutzen versprechen. Beispiele sind Carbon Nanotubes (CNT - Nanoröhren), Graphen und Fulleren. Basierend auf einer Änderung des spezifischen Widerstands als Reaktion auf mechanische oder chemische Einflüsse sind diese als vielseitige Sensormaterialien vor allem in der Mikrosystemtechnik einsetzbar, die Herstellungsmethoden eignen sich zudem weitgehend für eine Integration in der Mikroelektronikfertigung, auch wenn dies noch nicht vollends Stand der Technik ist. Gänzlich andere Materialklassen ermöglichen zum Beispiel auf Basis magnetoresistiver Effekte oder piezoelektrischer Eigenschaften weitere Funktionalitäten. Auch hier spielen in Sachsen die Zentren der Materialwissenschaft vor allem um Dresden und Freiberg eine zentrale Rolle.

Das [SmartNanotubes Technologies](#) Start-up hat ein Verfahren zur Herstellung von hochreinen SWCNTs (single-walled carbon nanotubes) entwickelt. Das Material kann für vielfältige Analysezwecke und Sensoranwendungen modifiziert werden. Der erste Use Case ist die Entwicklung des Smell Inspector, dem ersten Mehrkanal-Gasdetektor-Chip für den Massenmarkt. Die Sensorelemente enthalten Nanomaterialien, die den Chip klein, hochempfindlich für verschiedene Gase und VOCs sowie energieeffizient & kostengünstig machen. Denkbar sind aber auch Anwendungen in den Bereichen Gesundheit, Raumluftüberwachung für Luftfahrt, Automobil, Smart Home, Industrie 4.0 etc.

5. Multisensorik

Die Verwendung von Multisensorsystemen in Verbindung mit einer intelligenten Signalverarbeitung/Informatik auf Basis von modellbasierten und multivariaten Methoden ist von wesentlicher Bedeutung zukünftiger Sensorkonzepte. Dabei liegt ein Fokus auf der Verwendung faseroptischer und spektroskopischer Messmethoden, mittels derer sich komplexe analytischen Daten erfassen lassen. Prozessbeobachtung und -entscheidung in der Fertigung bedürfen je nach Anwendung und Situation ein weites Spektrum an Informationen, die nicht mit nur einem Sensorsystem – oder nicht in ausreichender Güte – erfasst werden können. Die Fusion mehrerer verschiedener Signalquellen schafft hier Abhilfe und eröffnet zusätzliche Möglichkeiten.

[IAV](#) entwickelt Anwendungen für die Mobilität der Zukunft. In den Zukunftsthemen der Elektromobilität und des autonomen Fahrens spielen dabei insbesondere Sensorik und die Kombination von einer Vielzahl von Messdaten und Umrechnung in verwertbare Handlungsanweisungen eine zentrale Rolle.

„Automatisiertes Fahren ist ein vielversprechender Baustein, um den steigenden Mobilitätsbedarf in unseren Städten in den Griff zu bekommen. Die Automatisierung wird den Verkehr effizienter und damit flüssiger und sicherer machen. Und sie wird zu gänzlich neuartigen Verkehrskonzepten beitragen.“ Mirko Taubenreuther — Fachbereichsleiter Automated Driving Functions.

6. Gedruckte Sensorik

Einige Materialien lassen sich wie Druckertinte auf einem Trägermaterial aufbringen. Beim Bedrucken von Bauteilen mit leitfähigen Materialien wird Tinte aus bestimmten löslichen Polymeren verwendet, die dann mit gängigen Druckverfahren wie Sieb-, Inkjet- oder Aerosoldruck in großen Mengen verarbeitet werden kann. Etwas weiter gegriffen kann hier auch der 3D-Druck mit hinzugezählt werden, auch wenn dabei aktuell (noch) hauptsächlich Strukturbauteile und weniger Funktionselemente im Fokus stehen.

[Inuru](#) entwickelt gedruckte OLEDs für Oberflächenbeleuchtung. Die kostengünstige Produktionstechnologie sowie die Verwendung von gängigen flexiblen Substraten, wie z.B. Papier eröffnen eine breite Anwendungspalette. Bei einigen ihrer vielfältigen Verpackungsanwendungen nutzt Inuru dabei Näherungssensoren, die eine Interaktion mit den Kunden ermöglichen. Weitere mögliche sektorübergreifende Anwendungen sind dabei das automatische Ein- bzw. Abschalten von Beleuchtung oder Interaktionsfeldern bei An- bzw. Abwesenheit von Personen.

7. Auswertelgorithmen/Big Data/Datensicherheit

Die Verschmelzung von Software mit Hardware ist einer der größten Trends der letzten Jahrzehnte und ein Ende ist nicht abzusehen, im Gegenteil. Software ermöglicht, mehr Informationen aus Daten zu extrahieren, diese für neue Informationen zu kombinieren oder Vorhersagen zu treffen. Immer wenn es um Daten und Informationen geht, geht es auch um deren Sicherheit, aber auch die Überwachung der Sensoren und die Integrität der erfassten Daten müssen abgesichert sein. Nicht zuletzt führt der enorme Anstieg an Sensoren und deren Leistungsfähigkeit zu Unmengen an Daten, die einerseits verarbeitet und sinnvoll reduziert werden müssen oder in sich selbst wiederum neue/weitere Informationsgehalte bergen. Das Umgehen mit diesen Big-Data wird die Entwicklung der Sensortechnologien auch im Bereich der Algorithmen (hier vor allem KI) vorantreiben. Bei technologischen Prozessen sind eine Überwachung und Steuerung des Prozessverlaufs durch eine schnelle und zuverlässige Vor-Ort-Analytik von wesentlicher Bedeutung, insbesondere gilt dies für den Bereich der Medizin- und Biotechnologie. Es werden hohe Ansprüche an die Produktqualität und -sicherheit gestellt, gleichzeitig sind die Prozesse und Strukturen hochkomplex und beinhalten die Auswertung einer Vielzahl an Messdaten, deren Ergebnisse in den Prozess zurückgespeist werden müssen.

Diese erweiterte „Sensorintelligenz“ umfasst die Selbstdiagnose, die Ausführung dezentraler Logikfunktionen, die eigenständige Validitätsprüfung der Messwerte sowie die Selektion und Bewertung von Prozessprofilen. Prozessabläufe können vorhergesagt werden und direkt mit zugeordneten Akteuren über dezentrale Steuereinheiten interagieren.

BASELABS beschäftigt sich mit Sensordatenfusion als einen der wichtigsten Bausteine für automatisierte Fahrzeuge. Unter Sensordatenfusion versteht man den Prozess der Kombination der Ausgabedaten verschiedener Sensoren, um zuverlässigere und aussagekräftigere Daten zu erhalten. Im Kontext des automatisierten Fahrens bezieht sich der Begriff auf die Wahrnehmung der Umgebung eines Fahrzeugs mithilfe von Fahrzeugsensoren wie Radar, Kamera und Lidar. Die Chemnitzer Firma entwickelt Software-Werkzeuge für Datenfusionssystemen für das autonome Fahren. Die Datenfusionsalgorithmen kombinieren die Daten von Radar-, Kamera- und Lidar-Sensoren. Die resultierende Objektfusion liefert eine einheitliche Objektliste für die Umgebung des Fahrzeugs.

8. Sensoren im Textilbereich

Traditionell ist in Sachsen die Textilindustrie stark verwurzelt. Sowohl aufseiten der Maschinen- und Anlagentechnik als auch bei der Entwicklung technischer Garne und funktionaler Textilien (Gewebe, gestickte Textilien, Fliese u.a.). Erweitert wird dies mit Anwendungen aus dem Gebiet der faserverstärkten Konstruktionsmaterialien. Im Prinzip gibt es zwei große Betrachtungsmöglichkeiten in Bezug auf Sensorik. Zum einen können „klassische“ Sensoren auf Grund von Miniaturisierung der Sensoren und Funktionalisierung der Textilien oder Garne (z.B. elektr. Leitfähigkeit) integriert werden, zum anderen kann die Funktionalisierung also die sensorische Funktion durch spezielle Garne und deren gezielter Positionierung im Textil erreicht werden. Auch hier sind neue und flexible bzw. organische Materialien und Drucktechnologien gefragt und eine große Schnittmenge mit den entsprechenden Trends vorhanden. Funktionen, die realisiert werden können, sind beispielsweise die Erfassung von Temperatur, Druck oder elektrischer Signale mit Anwendungen vor allem im Medizintechnik-, Sport- und Fitnessbereich.

Das ITM, Institut für Textilmaschinen und textile Hochleistungswerkstofftechnik

kombiniert passive textile Struktur mit (elektrisch) aktiven Funktionselementen wie Sensoren, Aktoren und Elektronik. Im Hinblick auf Faserverbundstrukturen (FVW) besteht die wesentliche Neuerung darin, diese funktionalen Elemente als textilbasierten integralen Bestandteil der textilen Verstärkungsstruktur ausulegen. Durch eine derartige Strukturintegration der funktionalisierten Komponenten ergeben sich im Vergleich zu konventionellen Lösungsansätzen folgende Vorteile:

- Gewichtseinsparung durch konsequente Ausnutzung des Leichtbaupotenzials
- Reduzierung des erforderlichen Bauraums sowie Funktionalisierung in schwer zugänglichen Bereichen
- Schutz der funktionalisierten Komponenten vor Umgebungseinflüssen im Inneren der Verbundstruktur durch umschließendes korrosionsfestes Matrixmaterial
- Skalierbarkeit.

4. Anhang

Übersicht: BMBF-Projekte sächsischer Akteure zum Thema Sensorik

Projekt	Thema	Start	Ende
MoNaUhr	Multifunktionales, nanoelektronisches Warnsystem für Umweltdaten in einer mechanischen Uhr. Ziel im Projekt ist daher die Ausstattung einer klassischen mechanischen Armbanduhr mit einem neuartigen energieautarken Mikro-Warnsystem, das den Luftdruck der Umgebung sowie die ultraviolette Strahlung messen und gefährliche Umweltwerte	01.03.2019	28.02.2022

	durch Aufleuchten sowie akustische Signale anzeigen soll.		
APPLAUSE	Fertigung fortschrittlicher Gehäusetechnologien für europäische Optoelektronik. Durch die Entwicklung neuartiger Verfahren der Handhabung sehr dünner Wafer, der 3D-Integration, hermetischer Wafer-Level-Packages für optische Anwendungen, der Handhabung flexibler Substrate oder der direkten Einbindung optischer Komponenten könnten künftig komplexe optoelektronische Systeme konkurrenzfähig in Europa gefertigt werden.	30.07.2019	30.04.2022
MADEin4	Metrologie für die Halbleiterherstellung mit Industrie 4.0. Im Projekt sollen eine messtechnische Pilotlinie aufgebaut, verschiedene Messplattformen erarbeitet und miteinander verknüpft werden. Zudem sollen die Messmethoden in die digitale Systemarchitektur von Fertigungslinien integriert und neue Normen und Standards entwickelt werden.	01.05.2019	30.04.2022
AI4DI	Technologieplattform entwickeln, die durch Digitalisierungs- und Automatisierungsprozesse die Produktivität in Fabriken erhöht und einzelne Prozesse und IoT-Komponenten miteinander verbunden. Mithilfe von Maschinellen Lernen und Künstlicher Intelligenz (KI) können Veränderungen und Anomalien erkannt werden. Im Projekt konzentriert man sich zunächst auf unterschiedliche dezentrale Anwendungen in fünf Wertschöpfungsketten: die Fertigung von Automobilen, Halbleitern, Maschinen sowie der Herstellung von Lebensmitteln und Getränken und die Transportindustrie. Es werden neue KI-fähige Hardwarekomponenten und KI-Methoden erarbeitet und entwickelt.	01.06.2019	31.05.2022
3DNahRadar	Radarbasierte 3D-Nahbereichs-Umgebungserfassung für das autonome elektrische Fahren. Dies soll durch die Nutzung einer hohen Trägerfrequenz von 300 GHz (heute üblich 76 – 81 GHz) erreicht werden, die zudem die Integration zahlreicher Sende- und Empfangskanäle auf einem Chip ermöglicht.	01.10.2018	30.09.2022
KI-LIDAR	Miniaturisierte LIDAR-Sensoren mit KI-Zustandsüberwachung für das autonome Fahren.	01.10.2019	30.09.2022
PERGAMON	Echtzeitfähige Nahinfrarotdetektoren auf Basis organischer Elektronik für Industrie 4.0	01.01.2020	31.12.2022
diVIBES	Digitale 3D-Breitband-Vibrationssensoren zur verbesserten Maschinenüberwachung durch maschinelles Lernen	01.03.2020	28.02.2023
WaferMetrologyCenter	Offene Metrologie-Plattform für die vertrauenswürdige Elektronikkomponente. Ziel des	01.03.2020	28.02.2023

Aktuelle Sensortrends

	Vorhabens ist die Entwicklung einer modularen Plattform für Mess- und Inspektionstechnik in der Chipherstellung. Sie beinhaltet das erforderliche Wafer-Handling und die vollautomatische Fabrik-Anbindung für eine Vielzahl von Halbleiteranwendungen, insbesondere für das Wafer-Packaging. Dafür werden neuartige Sensoren entwickelt, die sich einfach in eine offene Plattform integrieren lassen.		
Sonorion	Elektronikplattform für hochperformantes Breitband-Monitoring für Anwendungen in der Industrie 4.0	01.03.2020	28.02.2023
NextPerception	Nächste Generation intelligenter Sensorsysteme zur Überwachung von Vitalfunktionen	01.05.2020	30.04.2023
KI-mobil	Für Zukunftsaufgaben wie das autonome Fahren oder Industrie 4.0 müssen immer größere Mengen an Daten von einer steigenden Anzahl von Sensoren mit Hilfe komplexer Algorithmen und künstlicher Intelligenz (KI) in kürzester Zeit analysiert werden.	01.05.2020	30.04.2023
CarbonSafe 2	Ziel des Vorhabens ist ein neuartiges Ultraschall-basiertes Sensorsystem, das zerstörungsfrei den Zustand von Kunststoffteilen, die durch Kohlenstofffasern verstärkt sind (CFK), überwacht.	01.05.2020	30.04.2023
ZuSE-Scale4Edge	Solche Prozessoren führen meist mobil und nahe an Sensoren, an der Schnittstelle von der realen zur virtuellen Welt, entscheidende erste Berechnungen aus	01.05.2020	30.04.2023
StretchSensor	Mikroelektronisches Sensorsystem auf Basis von Formgedächtnislegierung und dehnbaren Leiterplatten	01.05.2021	30.04.2023
AZubiG	Im Vorhaben soll ein zuverlässiges Elektroniksystem bestehend aus Sensorik, robusten Kommunikationssystemen, Steuerinstanz und einer Antriebseinheit entwickelt werden.	01.06.2020	31.05.2023
CHARM	Für die Überwachung von Produktionsprozessen unter rauen Bedingungen werden robuste Sensoren, Elektronikkomponenten, zuverlässige neue Antennenstrukturen und Signalverarbeitungsalgorithmen für die Datenkommunikation erforscht und entwickelt	01.06.2020	31.05.2023
ANDANTE	Zudem sollen Schnittstellen für die Integration von bestehenden Sensoren entwickelt werden.	01.07.2020	31.05.2023
ForMikro - NobleNEMS	Erforschung innovativer Drucksensoren auf Basis zweidimensionaler Materialsysteme	30.10.2019	30.09.2023
ForMikro – REGGAE	Erforschung disruptiver Radarsysteme mit kompakten Abmessungen und hoher Energieeffizienz für eine genaue Gestenerkennung	31.10.2019	30.09.2023
ForMikro - SPES3	Erforschung hochempfindlicher, druckbarer, auf schwarzem Phosphor basierender Gassensor für	31.10.2019	30.09.2023

Aktuelle Sensortrends

	Stickoxide (NOx), Gassensoren für den Einsatz in der Lebensmittelüberwachung		
ForMikro - UpFUSE	Erforschung passiver Funk-Sensorsysteme zur energieautarken Erschütterungs- und Vibrationsüberwachung	31.10.2019	30.09.2023
PLANtAR	Leistungsfähige Sensorplattform für die Digitalisierung in der Landwirtschaft	01.11.2020	31.10.2023
ProPlug	Ziel im Vorhaben ProPlug ist ein Stecker- und Leitungssystem für die Elektrifizierung von Faserverbundbauteilen mit zusätzlichen integrierten Funktionen wie Lichtquellen, Sensoren oder Heizelementen.	01.12.2020	30.11.2023
TRUST-E	Vertrauenswürdige Sensorsysteme für mobile und industrielle Anwendungen	01.04.2021	31.03.2024
VE-REWAL	Sensorsysteme im Automobilbereich werden immer komplexer und vereinen unterschiedlichste Technologien, z. B. Sensoren, Signalverarbeitung und drahtlose Übertragung.	01.05.2021	30.04.2024
Energy ECS	In den Bereichen Sensorik, Steuerungselektronik, Elektronik für Datenverarbeitung und Leistungselektronik werden neue Techniken erforscht, welche die intelligente Vernetzung von Containern, das effiziente bidirektionale Laden von Elektrofahrzeugen sowie deren Einbindung in Energienetze und die Optimierung von autonomen Ladevorgängen von Fahrzeugen und Drohnen vorantreiben.	01.06.2021	30.04.2024
ZuSE-KI-IoT	Für Zukunftsaufgaben wie das autonome Fahren oder Industrie 4.0 müssen immer größere Mengen an Daten von einer steigenden Anzahl Sensoren mit Hilfe komplexer Algorithmen und künstlicher Intelligenz (KI) in kürzester Zeit analysiert werden	01.07.2021	30.06.2024
StorAlge	Von der Chiptechnologie bis zu Anwendungen in Sensoren und Endgeräten werden alle Arbeitsschritte in dem Vorhaben bearbeitet.	01.07.2021	30.06.2024
BEYOND5	Die SOI-Technologie und darauf basierende Elektroniksysteme können in lokalen 5G-Infrastrukturen und Endgeräten sowie in der Radarsensorik für das autonome und vernetzte Fahren eingesetzt werden	01.06.2020	31.05.2024
Pilot-Inno PRISTINE	Die geplante lokale, datensichere Sensor-Auswertung von Zellgewebe unterstützt die zuverlässige Telemedizin wie auch die Pharmakologie bei der schnelleren Entwicklung neuer Wirkstoffe.	01.08.2021	31.07.2024

Beendete Projekte

Projekt	Thema	Start	Ende
SmartHeap	Neues Elektroniksystem für intelligente Hörgeräte. Ziel im Projekt SmartHeap ist es, einen neuartigen, leistungsstarken und dennoch sehr sparsamen Chip für digitale Hörgeräte zu entwickeln. Der Einsatz der neuen FD-SOI-Technologie (Fully Depleted Silicon On Insulator) ermöglicht eine sehr geringe Verlustleistung der Chips bei gleichzeitiger anwendungsorientierter Erhöhung der Funktionalität.	01.04.2018	31.03.2021
POSITION-II	Verteilte Pilotlinie für intelligente Katheter und Implantate. Ziel des Projektes ist der Aufbau einer Pilotlinie für intelligente Katheter und Implantate. Dabei arbeiten elf deutsche und 33 europäische Partner entlang der gesamten Wertschöpfungskette zusammen.	01.07.2018	31.05.2021
ESAIRQ	Sensortechnologien zur Messung der Luftqualität. Ziel im Vorhaben ist es, zuverlässige und hochempfindliche Sensoren zu entwickeln, die selektiv Gaskonzentrationen in der Luft messen können. Dies können toxische Gase, Schadstoffe, Feinstaub, Allergene, aber auch größere Partikel wie z. B. Tonerstaub oder Rauchpartikel sein.	01.07.2018	30.06.2021
SmartSTAR	Selbsttestende Elektroniksysteme für raue Betriebsbedingungen. Im Projekt SmartSTAR wird erstmalig eine integrierte Zustands-sensorik auf der Basis von Kohlenstoff-Nanoröhrchen (CNT) entwickelt.	01.09.2018	31.08.2021
ZuLeSELF	Sensorik für die Zustandsüberwachung von Leistungselektronik für Elektrofahrzeuge. Im Projekt werden kritische Systemzustände der Leistungskomponenten identifiziert und neue Konzepte erforscht, die eine lückenlose Überwachung ermöglichen. Hierbei muss die gesamte Kette von der physikalischen Beschreibung der Fehlerzustände auf Komponentenebene über den Signalfuss bis zum Auslösen z. B. einer Warnmeldung oder die Aktivierung des Notbetriebes betrachtet werden.	01.09.2018	31.08.2021
TAPES3	Technologien für die nächste Generation höchstintegrierter Mikroelektronik. Ziel des Projekts TAPES3 ist es, hochinnovative	01.10.2018	30.09.2021

	Technologien zur Herstellung integrierter Schaltkreise der nächsten Generation zu entwickeln. Diese werden etwa in Höchstleistungsprozessoren beim autonomen Fahren, maschinellen Lernen oder in großen Datenzentren eingesetzt.		
ThermOBS	Thermische On-Board Spektroskopie für autonome Elektrofahrzeuge. Im Projekt „Thermische On-Board Spektroskopie für autonome Elektrofahrzeuge“ werden Sensor- und Detektionskonzepte entwickelt, welche die Funktionstüchtigkeit elektronischer Systeme und Komponenten im Fahrzeug überwachen.	01.10.2018	30.09.2021
Bionic RoboSkin	Textile sensorische Oberflächen für die Servicerobotik. Ziel des Projektes Bionic RoboSkin ist die Entwicklung einer Roboterplattform, die durch eine flexible bionische Sensorhaut fähig ist, sich autonom in ihrem jeweiligen Umfeld zurechtzufinden. Die Sensorhaut besteht aus einem Textilverbund als Träger für Sensorelemente und stellt feuchtigkeitsbeständige elektrische Verbindungen für Energieversorgung und Kommunikation bereit.	01.01.2019	31.12.2021
LocSens	Multi-Sensorsystem zur Umgebungserfassung unter rauen Bedingungen. Im Vorhaben LocSens wird ein Multi-Sensor-System zur Umgebungserfassung und Lokalisierung in rauen industriellen Umfeldern entwickelt. Dieses soll auf Funk- und Radartechnologie basieren. Eine integrierte Elektronik soll durch Anwendung von Datenfusionsalgorithmen und moderner SLAM-Verfahren (Simultaneous Localisation and Mapping) Umfeld- und Lokalisierungsdaten bereitstellen.	01.01.2019	31.12.2021
ELMEDA	Elektromagnetisches Messsystem zur Unterwasser-Schweißnahtüberwachung von Windkraftanlagen	01.02.2019	31.12.2021
ForLab Mat4μ	Forschungslabor Mikroelektronik Freiberg für Materialien der Leistungselektronik. Im ForLab Mat4μ werden mittels neuer Anlagen bestehende Ansätze zur Charakterisierung von neuartigen Grundmaterialien für die	01.01.2019	31.12.2021

	Mikroelektronik weiter ausgebaut und bis zur Herstellung von Testbauelementen erweitert. Damit soll eine umfassende Charakterisierung neuer Halbleitermaterialien und deren Einfluss auf die Funktionalität von Bauelementen in einem frühen Stadium der Materialentwicklung möglich werden.		
OCEAN12	Energiesparende Sensorik für das autonome Fahren und Fliegen. Aufbauend auf der FD-SOI-Technologie (Fully Depleted Silicon On Insulator) sollen besonders energiesparende Sensorsysteme – z. B. hochauflösende Radarsensoren zur Umgebungserfassung – entwickelt werden. Das Projekt verfolgt dabei zwei Ziele: Zum einen soll die FD-SOI-Technologie für Hochfrequenz- Radarsensorik entscheidend weiterentwickelt werden, zum anderen sollen entsprechende Sensorsysteme einschließlich leistungsstarker integrierter Auswerteschaltungen auf einem sogenannten SoC (System on Chip) integriert werden.	01.07.2018	31.12.2021
icampus	Innovationscampus Elektronik und Mikrosensorik Cottbus. Miniaturisierte Elektronik und Sensorik. Im Fokus des icampus stehen neue Sensoren für Anwendungen, u. a. in der Telemedizin, Industrie 4.0 und der Waldbranddetektion.	01.11.2019	31.12.2021