



Quantensensoren – Schlüsseltechnologie der Zukunft

Sensoren spielen eine wichtige Rolle in der Wirtschaft. Doch erst Quantensensoren könnten bisher undenkbbare Innovationen Realität werden lassen.

Künstliche Intelligenz (KI) ist auf dem Vormarsch. Immer stärker bestimmt sie den digitalen Fortschritt, und damit auch die Zukunft einzelner Unternehmen sowie unserer regionalen Wirtschaft. Dass sich auch die Sensorik in einem gewaltigen Umbruch befindet, darüber wird selten gesprochen. Quantensensoren werden künftig die technologische Entwicklung prägen, gemeinsam mit KI, prognostiziert Professor Dr. Klaus Drese von der Hochschule Coburg: „Quantensensoren sind oft nahezu unsichtbar. Aber durch sie werden viele Innovationen erst möglich – ob in der Mobilität, der Medizintechnik oder der Umweltüberwachung.“

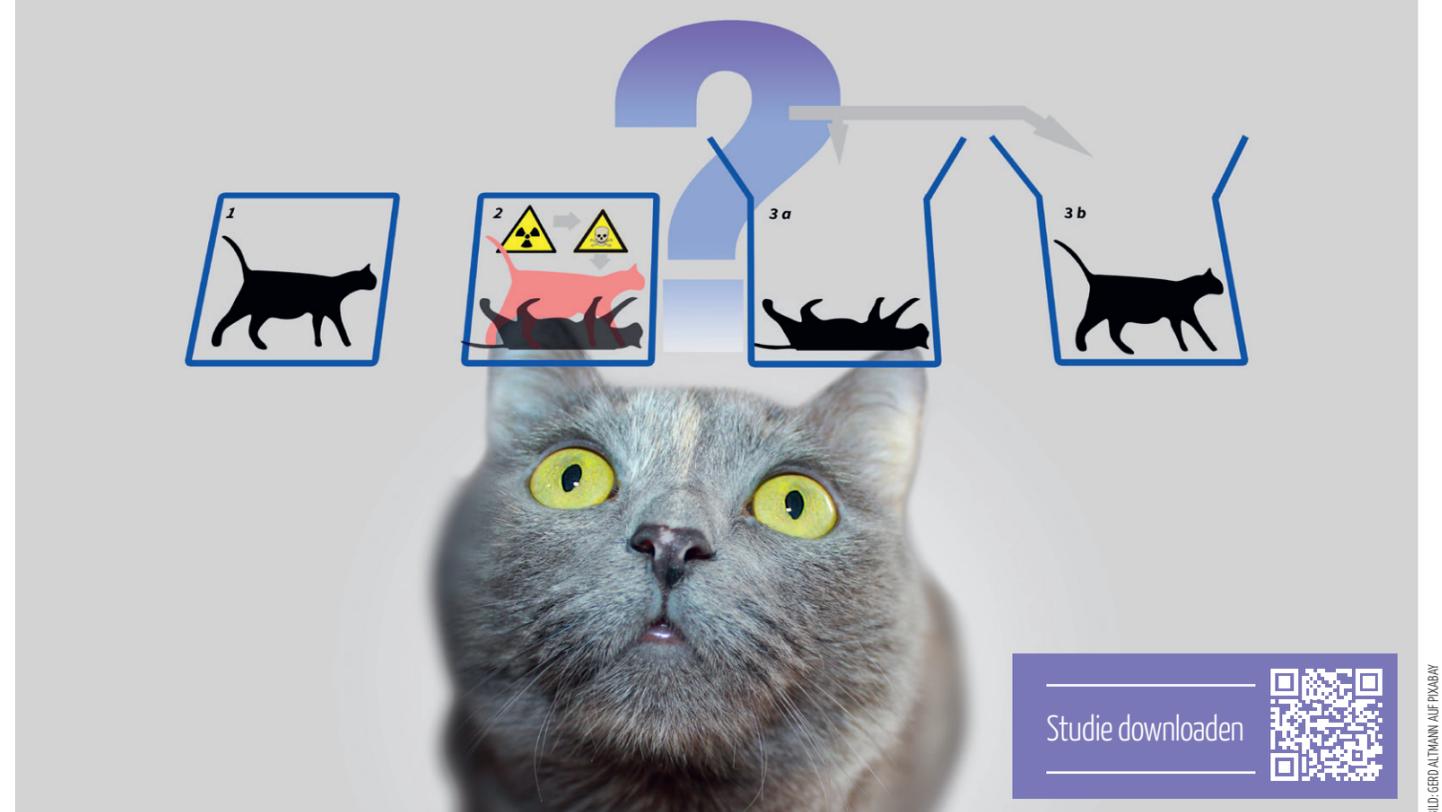
Winzige Schwankungen präzise erfassen

Konventionelle Sensoren beruhen auf den Prinzipien der klassischen Physik. Sie nutzen unter anderem mechanische Bewegungen, elektrische Widerstandsänderungen oder optische Effekte für ihre Messungen. Quantensensoren hingegen nutzen Phänomene aus der Welt der Quantenphysik, der Ebene von Atomen und subatomaren Teilchen. In dieser Welt treten paradoxe Phänomene zutage, die auf Anhieb nicht in unsere makroskopische, greifbare Welt passen und unseren Alltagserfahrungen widersprechen. Zum Beispiel, dass sich Quantenobjekte in mehreren Zuständen gleichzeitig befinden

können, bis sie gemessen werden. Prominentes Beispiel dafür ist das Gedankenexperiment ‚Schrödingers Katze‘, in dem die Katze zugleich lebendig und tot sein kann. Quantensensoren nutzen als Messgrundlage die hohe Präzision quantenmechanischer Zustände, um auch noch kleinste Veränderungen in Feldern oder Energiesystemen messbar zu machen.

Chancen der Quantensensorik nutzen

Im Bereich Forschung und Industrie erwarten Fachleute viele revolutionäre Entwicklungen durch den Einsatz von Quantensensoren, etwa in der Medizintechnik, der



Ein Blick in die Quanten-Welt: Beim Gedankenexperiment ‚Schrödingers Katze‘ kann die Katze zugleich tot oder lebendig sein, in Abhängigkeit vom Zerfall eines radioaktiven Atoms. Eine Vorstellung, die unserer Alltagserfahrung widerspricht.

BILD: GERD ALTMANN AUF PIXABAY

Navigation oder der Umweltüberwachung. Bei internationalen Patentanmeldungen dominiert allerdings Asien seit Jahren mit den höchsten Wachstumsraten. Für Europa gehe es nun darum, die eigene Innovationskraft zu stärken und die Chancen der Quantensensorik zu nutzen. Zentrale Erkenntnisse über Herausforderungen und Chancen für

die deutsche Sensorik liefert die im April 2025 veröffentlichte, englischsprachige Studie „Sensor Trends 2030“. Knapp 70 Autorinnen und Autoren haben dafür auf 180 Seiten zentrale Entwicklungen herausgearbeitet. Geleitet wird die Studie von Professor Drese von der Hochschule Coburg. „Deutschland verfügt über eine starke Sen-

sorik-Branche und über exzellente Forschungseinrichtungen“, unterstreicht er. „Es gilt nun, durch gezielte Förderprogramme und eine enge Zusammenarbeit zwischen Wissenschaft und Industrie unsere Position zu sichern und weiter auszubauen.“

Sigrid Leger



Photonik – mit Licht rechnen

Experten halten 50-fach schnellere Datenverarbeitung und 30-fach weniger Energie für realisierbar

Photonik ist die Lehre vom Licht. Eine Kommunikation über Glasfaser oder die medizinische Laser-Diagnostik würden ohne Photonik nicht existieren. Inzwischen wird daran gearbeitet, die ersten photonischen KI-Prozessoren vom Labor in die Industrialisierung zu bringen. Eine Studie von Fortune Business Insights prognostiziert, dass der globale Photonik-Markt von 984 Milliarden US-Dollar im Jahr 2024 auf rund 1.643 Milliarden US-Dollar im Jahr 2032 anwachsen wird. Für Deutschland zeigen Daten, dass im Jahr 2023 in der Photonikbranche über 1.000 Unternehmen mit rund 190.000 Beschäftigten einen Umsatz von ungefähr 54 Milliarden Euro generierten.

Winzige Schwankungen präzise erfassen

In den letzten Jahrzehnten hatte die Lasertechnik die Datenübertragung revolutioniert und Übertragungsraten im Bereich von Gigabit und Terabit pro Sekunde ermöglicht. Jetzt sollen die Eigenschaften des Lichts der Datenverarbeitung auf Prozessebene zu einem Quantensprung verhel-



fen. Prozessor-Prototypen etwa des Massachusetts Institute of Technology (MIT) oder des Fraunhofer-Instituts berechnen komplexe Systeme nahezu vollständig photonisch, mit extrem schnellen Verarbeitungsgeschwindigkeiten im Nanosekundenbereich und deutlich energieärmer als elektronische Systeme. Anwendungen mit extrem hohen Echtzeitanforderungen können davon besonders profitieren, etwa autonome Fahrsysteme, die Medizintechnik oder astronomische Messungen.

Industrie bevorzugt hybride Systeme

Die radikale Umstellung industrieller Fertigungsprozesse auf Photonik-Systeme würde

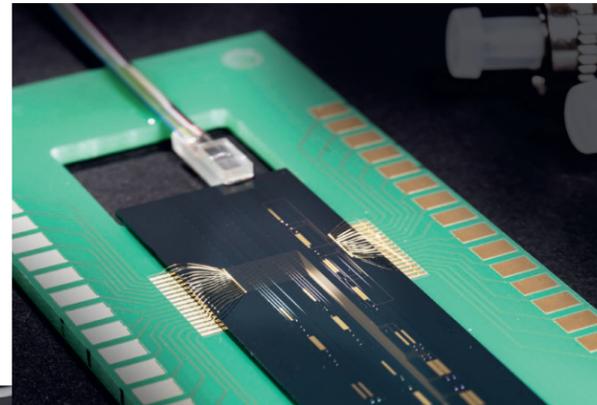


BILD: FRAUNHOFER IOF

~ Forschende des Fraunhofer-Instituts für Angewandte Optik und Feinmechanik (IOF) haben Dünnschicht-Lithiumniobat (LNOI) weiterentwickelt und bauen LNOI-Schaltkreise mit optischer sowie elektrischer Verbindungstechnik auf.

< Integrierte optische Schaltung mit Glasfaseranschlüssen oben und unten. Über Goldelektroden an den Seiten werden Modulatorsignale eingespeist.

hohe Risiken und hohen Finanzbedarf bedeuten. Unternehmen zeigen daher Interesse vor allem am hybriden Ansatz, der photonische KI-Prozessoren in bestehende elektronische Automatisierungssysteme integriert. So können Vorteile der Photonik wie schnellere Verarbeitung, höhere Energieeffizienz und geringere thermische Belastung genutzt werden, ohne eine komplett neue Infrastruktur aufzubauen. Die Umstellung auf rein photonische Systeme ist langfristig denkbar, dieser Ansatz wird in Zukunft an Bedeutung gewinnen.

Sigrid Leger





Datenverarbeitung per Edge-KI

Sensoren mit KI generieren umfangreiche Daten. Diese mit Edge-KI direkt am Sensor zu verarbeiten, bringt Vorteile für Effizienz und Datenschutz.

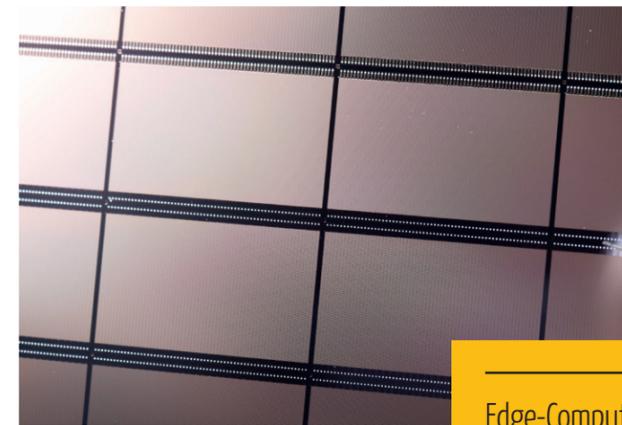
Industrielle IT-Netzwerke mit Künstlicher Intelligenz (KI) müssen große Datenmengen verarbeiten, und das möglichst schnell. Bislang geschieht das meist über zentrale Cloud-Computing-Lösungen. Der Nachteil: Datenübertragungen über große Distanzen hinweg zur Cloud stehen einer Echtzeitfähigkeit der Systeme im Wege. Zudem kann es zu Datenlecks kommen und damit zu Angriffsmöglichkeiten für unbefugte Dritte.

Dezentral statt zentral

Dezentrale Datenverarbeitung direkt am Sensor würde nicht nur den Schutz der Daten verbessern, sondern auch KI-Echtzeitlösungen in der Industrie vereinfachen. Das 2025 gestartete Projekt „InSeKT“ (Intelligente Sensor-Kanten-Technologien) richtet sich dafür an den wesentlichen Faktoren einer Marktakzeptanz aus: Systemintegration, Kosten senken, Zuverlässigkeit erhöhen und den Grad der Miniaturisierung steigern.



Messungen für die Forschung an günstigen, neuartigen Silizium-Fotodetektoren mit erweitertem Spektralbereich.



Aufnahme eines Ultraschallsensorchips (CMUT) für präzise Bildanalysen in Echtzeit – von der Gestenerkennung bis zur berührungslosen Blutzuckermessung.

„InSeKT“ wird von einem interdisziplinären Team verschiedener deutscher Institutionen und Fachdisziplinen geleitet. „Ziel ist es, KI dort zu verankern, wo die Daten entstehen: direkt an den Sensoren“, betont Dr. Sebastian Meyer, Leiter des Institutsteils Integrated Silicon Systems am Fraunhofer IPMS Dresden. Am Projekt beteiligt sind auch die Technische Hochschule Wildau sowie das Leibniz-Institut für innovative Mikroelektronik (IHP). Gemeinsam entwickeln die Forschenden neue Hard- und Softwarelösungen sowie fortschrittliche Sensortechnologien, um Edge-KI-Systeme in ihrer Leistungsfähigkeit entscheidend voranzubringen.

Relevante Einsatzfelder

Verschiedene Ziele stehen im Fokus des Projekts: Im Grundsatz geht es um die Funktionserweiterung bereits bestehender mikromechanischer Sensoren (MEMS-Sensoren) für Edge-KI-Anwendungen durch eine Signalverarbeitung direkt in den Sensoren. Ziel ist es, diese Sensoren besser an unterschiedliche Einsatzszenarien anzupassen, ohne die darunter liegende Hardware austauschen zu müssen. Datenauswertung mittels KI führt nicht nur zu schnelleren Ergebnissen, sondern unterstützt auch bei der Charakterisierung und der Entwicklung der Dioden-Chips selbst.

Ein praxisbezogenes Beispiel ist die Verbesserung von Photodetektoren für den nahinfraroten Wellenlängenbereich. Diese kommen etwa in der Materialanalyse sowie dem Wertstoffrecycling zum Einsatz. Sie ermöglichen sogar eine Analyse durch Verpackungen hindurch. Des Weiteren wird ein häufig zum Einsatz kommendes Schottky-Detektorbauelement zu höherer

Edge-Computing

Unter Edge-Computing versteht man die Verarbeitung umfangreicher Daten direkt am Ort der Entstehung. Die von Sensoren generierten Daten verarbeitet Edge-Computing in Echtzeit und überträgt sie erst im Anschluss an die Cloud. Das ermöglicht eine schnellere Verarbeitung und erfordert eine geringere Bandbreite der Datenübertragung. Edge-Computing gewinnt vor allem für vernetzte Geräte im Industrial Internet of Things (IIoT) an Bedeutung.

Multi-Access-Edge-Computing (MEC)

Multi-Access-Edge-Computing bezeichnet den Einsatz von Edge-Computing-Funktionen an Basisstationen oder Access-Points in drahtlosen Kommunikationsnetzen wie 4G oder 5G. Damit wird die Netzleistung deutlich verbessert. Denkbar sind MEC-Anwendungen zum Beispiel bei der medizinischen Echtzeitüberwachung per Videoanalyse oder in der intelligenten autonomen Logistik.

Empfindlichkeit und besserer Skalierbarkeit durch die Verwendung günstigerer Materialien optimiert. Ein drittes Beispiel hat die verbesserte Bildgebung durch sogenannte kapazitive mikromechanische Ultraschallwandler (CMUTs) im Blick. Deren sensornaher Signalauswertung könnte für deutlich schnellere Bilder sorgen, künftig etwa bei der Blutzuckermessung per Ultraschall.

Sigrid Leger

BILDER: FRAUNHOFER IPMS



Fingerähnliches Werkzeug ertastet Gewebe bei minimalinvasiven Eingriffen

Faseroptische taktile Sensorik: EU-gefördertes Projekt ‚Palpable‘ verleiht robotergestützten chirurgischen Instrumenten Tastsinn



Minimalinvasive laparoskopische Eingriffe im Bauchraum sind heute vielerorts Standard. Ihr Vorteil: Sie verringern Blutverluste und Gewebeschäden, reduzieren den Bedarf an Schmerzmitteln nach der Operation, verkürzen die Aufenthaltsdauer im Krankenhaus und gehen mit kleineren Wunden und Narben einher. Ihr Nachteil: Während des Eingriffs geben die bisherigen Instrumente dem Operateur kein oder nur begrenztes haptisches und taktiles Feedback. Das „Auffinden“ definierter Gewebereiche ohne Tastmöglichkeit führt zu längeren Eingriffszeiten und einem höheren Risiko für unbeabsichtigte Gewebeschäden. Genau das könnte das Projekt ‚Palpable‘ in Zukunft verbessern.

Bei ‚Palpable‘ arbeitet ein Konsortium aus neun europäischen Partnern an der Transformation der Gesundheitsbranche durch Innovationen in den Bereichen Photonik,

Multisensortechnologie und Softrobotik. Als innovatives Instrument entwickelten sie ein fingerähnliches Werkzeug, das während der Operation große Mengen an sensorischen Daten erfasst und diese interpretiert. Diese neue Generation einer taktilen Tastsonde stellt bereits geringe Gewebeschäden fest und bildet diese visuell ab. Damit ersetzt sie im Körperinneren gezielt den Tastsinn des Operateurs und erweitert ihn bis in feinste Details. Das Risiko von versehentlichen Gewebeschädigungen während des minimalinvasiven Eingriffs wird so weiter reduziert und die Operationszeit verkürzt.

Die miniaturisierte Palpationssonde ist mit verschiedenen Sensoren ausgestattet, die Informationen auf unterschiedliche Weise sammeln und verarbeiten. Am Ende der Sonde befindet sich ein flexibles, pneumatisch betätigtes Softrobotik-Element mit

verteilten taktilen Sensoren. Diese messen Antastkraft und Härte eines Objekts und liefern Informationen zur Gewebeanspannung. Die photonischen Sensoren basieren auf sogenannten Faser-Bragg-Gittern (FBG), die auf einer Silikonmembran integriert sind und Teile des einfallenden Lichts zurückwerfen. Variationen der optischen Intensität im Sensorelement bilden dann die verschiedenen Steifigkeiten der Gewebe ab. So lässt sich etwa gesundes von krebsartigem Gewebe unterscheiden.

Sigrid Leger

