

Destination IOT

-  Sensorik
-  Konnektivität
-  Sicherheit

DOKTOR SENSOR

Biosignale in der
Medizin erfassen

de.rs-online.com

Bild: Sensirion



Doktor Sensor

Biosignale in der Medizin erfassen

Informationen, die sich mittels Sensoren vom Organismus ableiten lassen, werden Biosignale genannt. Sie zeigen ein Abbild des Gesundheitszustandes des Menschen. Ihre Erfassung, Verarbeitung und Bewertung sind wichtig für Diagnostik, Überwachung, Therapie und Vorsorge. Biosignale lassen sich invasiv oder nichtinvasiv, stationär, bei einer Operation oder nahe am Patienten detektieren. Für die Entwicklung von Medizingeräten, Forschungsprojekte und Prototypen-Entwürfe gibt es bei RS Components diverse Sensor-Komponenten.

Die biologischen Signale des Körpers können über Sensoren z.B. als Temperatur-, Volumen- oder Spannungsänderungen erfasst und unter anderem in akustische, elektrische und mechanische Signale umgewandelt werden. Elektrische Signale werden über Elektroden als Strom, Widerstand oder Potential erfasst. Mechanische Signalveränderungen können als Druck, Kraft oder Bewegung detektiert werden. Thermische Signale lassen sich als Temperatur oder Wärmemenge messen. Chemische Gase, Flüssigkeiten oder andere Stoffe können z.B. durch die Konzentration quantifiziert werden. Körpergeräusche und Sprache zählen zu den akustischen Signalen. Für alle Arten von Signalen gibt es entsprechende Sensoren und Signalverarbeitungs-Komponenten.

Bioelektrische Signale	Biomechanische Signale	Biothermische Signale	Biochemische Signale	Bioakustische Signale	Biooptische Signale
<ul style="list-style-type: none"> • Strom • Widerstand • Potential 	<ul style="list-style-type: none"> • Druck • Kraft • Bewegung • Fluss 	<ul style="list-style-type: none"> • Temperatur • Wärmemenge 	<ul style="list-style-type: none"> • Konzentration • ph-Wert • Geruch 	<ul style="list-style-type: none"> • Geräusche • Sprache • Schall 	<ul style="list-style-type: none"> • Farbe • Strahlung

Tabelle 1. Unterschiedliche Biosignale

Unabhängig von der Art der Sensoren und der erfassten Signale erfolgt nach der Signalerfassung die Verarbeitung, Analyse und Bewertung. Dazu werden u.a. stochastische Prozesse, Frequenzbereichs-Darstellungen und Filter eingesetzt. Tabelle 2 zeigt die Signalverarbeitungskette. Die einzelnen Komponenten sind dabei oftmals schon zu kompletten Einheiten - z.B. in sogenannten Frontends integriert. Eine solche Baugruppe erfüllt dann mehrere dieser Funktionen.



Tabelle 2: Vom Biosignal bis zum Feedback

Unter Strom - bioelektrische Signale erfassen

Bioelektrische Signale werden beim EKG (Elektrokardiogramm) des Herzens, beim EEG (Elektroenzephalogramm) des Gehirns oder beim EMG (Elektromyographie) von Muskeln erfasst. Die Signalerfassung erfolgt über spezielle Elektroden am Menschen, der komplexere Teil des Vorgangs ist die Signalverarbeitung. Dafür kommen analoge Frontends zum Einsatz, die den Sensor und die Signalaufbereitungs-Blöcke enthalten oder gleich komplette Designs mit Anschlüssen und Software.

Ein Verfahren ist das EKG, bei dem die elektrische Aktivität des Herzens über Elektroden direkt am Körper gemessen wird. Dabei werden minimale elektrische Veränderungen erfasst (man misst im Mikrovolt-Bereich), die Rückschluss über den Zustand des Herzmuskels geben. Die Geräte sind an den jeweiligen Einsatzfall angepasst. Es gibt EKG-Geräte für Ruhe-, Langzeit oder Belastungsuntersuchungen.

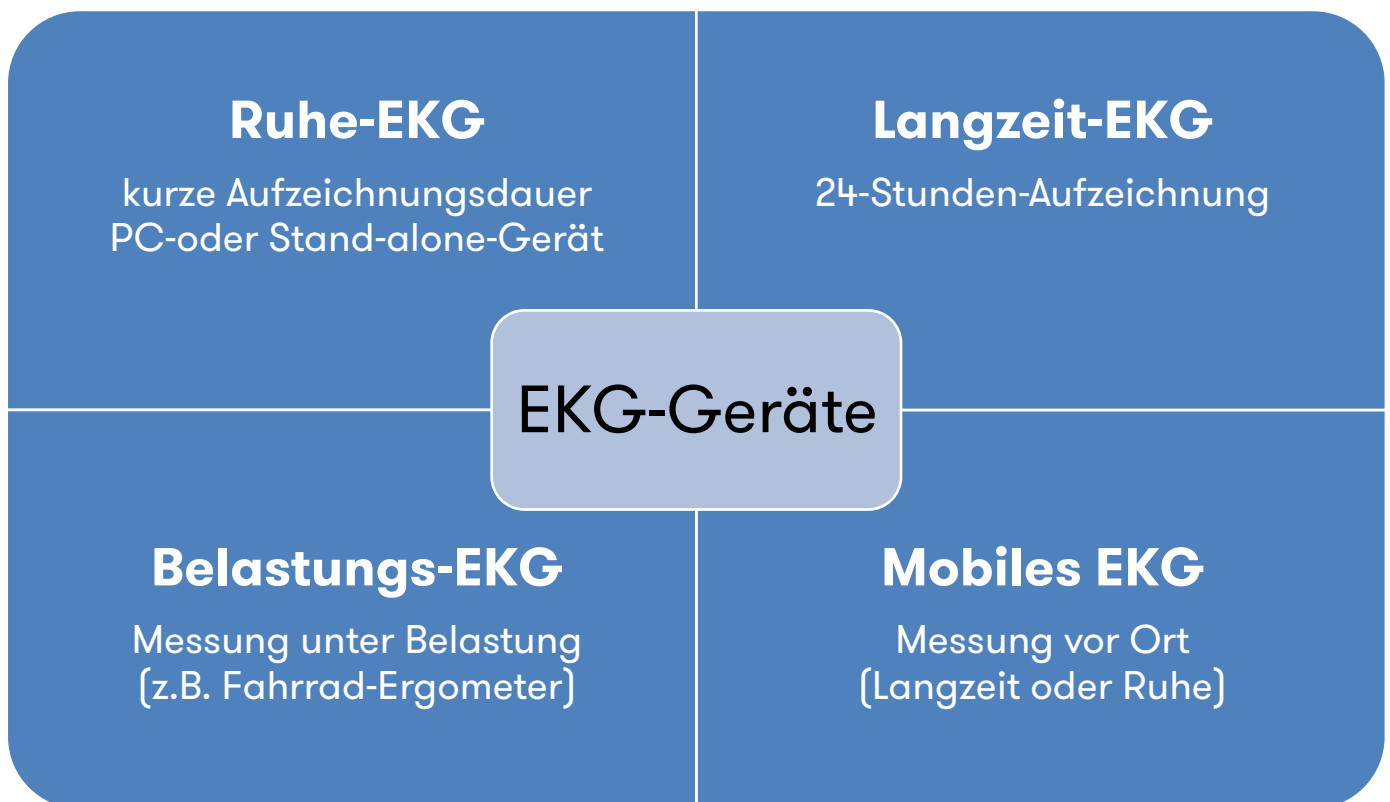


Tabelle 3. Das EKG-Verfahren erfasst bioelektrische Signale vom Herzmuskel

Kits für Entwickler

Für Entwickler werden zum Prototypen-Entwurf vorgesehene Development-Kits angeboten. Unter der Bezeichnung [ECG 3 click](#) gibt es eine Komplettlösung für eine EKG-Anwendung von MikroElektronika, die auf dem analogen Frontend (AFE) MAX30003 von Analog Devices/Maxim Integrated basiert. Darin befindet sich ein Einkanal-Biosensor mit verschiedenen Optionen für die Herzfrequenz- und EKG-Überwachung. Das Kit verfügt über einen 3,5-mm-Elektrodenanschluss und wird von einer mikroSDK-kompatiblen Software-Bibliothek unterstützt.



Bild 4. Die Click-Platine ist für den Einsatz auf einem System mit mikrobus-Anschluss geeignet und dient dem Prototyping. (Bild: RS Components)

Die Platine [EMG Click](#) vom gleichen Hersteller misst die elektrische Aktivität, die durch die Skelettmuskulatur erzeugt wird. Es handelt sich also um ein Modul für die Elektromyographie. An Bord sind ein Operationsverstärker MCP609 von Microchip und die Spannungsreferenz MAX6106 von Analog Devices/Maxim Integrated. Das Ganze läuft mit einem 5-V-Netzteil und ist für das Prototyping vorgesehen.



Bild 5. EMG-Click ist ein Prototyping-Board und keine medizinisch zugelassene Komponente (Bild: RS Components)

Auch die Platine [Click EEG](#) von MikroElektronika ist für das Prototyping ausgelegt. Es ermöglicht eine Überwachung der Gehirnaktivität und verstärkt dazu die schwachen elektrischen Signale aus dem Gehirn. Das ist notwendig, damit sie von einer Host-MCU abgetastet werden können. Dazu wird der Präzisions-Instrumentenverstärker INA114 von Texas Instruments verwendet. Das Board kann mit Silberchlorid-Elektroden genutzt werden und wird von einer Bibliothek zur Softwareentwicklung unterstützt.



Bild 6. Mit diesem Board gewinnt man einen Einblick in die Gehirnaktivität (Bild: RS Components)

Sensorik für biomechanische Signale

Zu den Sensoren für biomechanische Signale gehören Druck-, Kraft-, Bewegungs- und Durchflusssensoren. Sogenannte Flow-Sensoren werden für respiratorische Anwendungen benutzt. Damit lässt sich z.B. die Atemluftmessung in Beatmungsgeräten realisieren. Ein Sensor misst dazu Luft-, Sauerstoff- und Mischströmungen mit hoher Genauigkeit. Wichtig sind dabei Zuverlässigkeit und ein langzeitstabiler Betrieb ohne Neukalibrierung. Beim „Flow“ handelt es sich um den Gasfluss (z.B. in Liter Gasmenge), die pro Sekunde durch einen Leitungsquerschnitt fließt.

Beatmungs- und Inhalationsgeräte kommen z.B. bei Reanimation und Notfallversorgung, in der Sauerstoff- und Verneblertherapie, in Beatmungsfiltern, Anästhesie-Gesichtsmasken, Absaugsystemen und CPAP-Systemen (Continuous Positive Airway Pressure; unterstützt Spontanatmung mit einem dauerhaften Überdruck) zum Einsatz. Der Atemfluss wird dabei möglichst nahe beim Patienten (proximal) gemessen.

Der Durchflusssensor [Sensirion SFM3200](#) ist ein digitales Durchflussmessgerät, das sich für inspiratorische Durchflussmessungen eignet. Es weist einen dynamischen Messbereich von -100 bis zu 250 SLPM (Standard-Liter pro Minute) auf. Die Bauweise des Durchflusskanals führt zu einem Niederdruckabfall durch das Durchflussgehäuse des Sensors. Über ein thermisches Sensorelement wird ein bidirektionaler Messmodus mit einem intern linearisierten und temperaturkompensierten Signal umgesetzt. Das Modul arbeitet mit 5V und ist nach ISO5356-1:2004 zertifiziert. Es verfügt über ein I2C-Interface und eignet sich für Luft (nicht kondensierend), N₂, O₂ und andere nicht aggressive Gase. Der Einsatz erfolgt z.B. in der Anästhesie, bei der Medikamentendosierung, für inspiratorische Durchflussmessungen oder Atemmessungen.



Bild 7. Die Sensoren sind für einen Druck von max.1,07 bar ausgelegt. (Bild: Sensirion)

Mit Differenz-Drucksensoren lässt sich der Druckabfall in Strömungsleitungen detektieren. Dadurch können Durchflussmengen in Beatmungsgeräten bestimmt werden, was für stationäre und mobile Beatmungsgeräte nützlich ist.

Das Sortiment der Bourns Precision Sensoren (BPS) umfasst MEMS-Drucksensoren mit analogen oder digitalen Ausgängen (I2C) und konfigurierbaren Anschlüssen. Sie können für medizinische Geräte bei niedrigem bzw. mittlerem Risiko der Nutzung verwendet werden. Das sind Anwendungen in Patientenüberwachungs-Geräten, Kalibrierungs-Drucksensoren für niedrige Differential- und Überdruckwerte sowie CPAP-Geräte (Continuous Positive Airway Pressure) oder Spirometer.

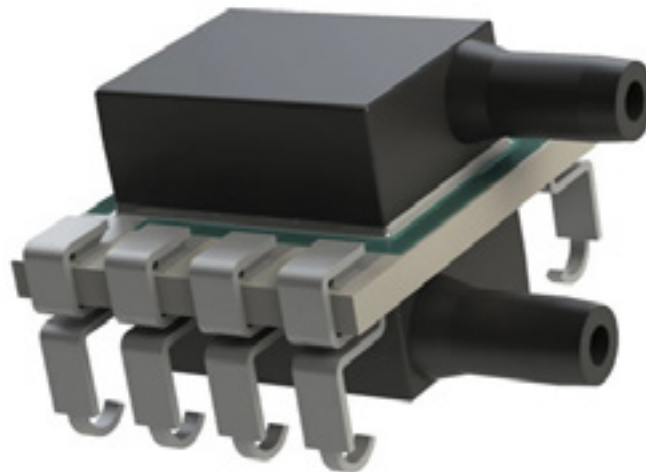


Bild 8. Der Druckdifferenzsensor der [Serie BPS110](#) von Bourns hat Abmessungen von 12,7mm x 13,8mm x 8,4mm. (Bild: RS Components)

Bei der [Serie ABP](#) von Honeywell handelt es sich um piezoresistive Silizium-Drucksensoren mit Digital- oder ratiometrischem Analogausgang zum Einlesen des Drucks über den gesamten angegebenen Druck- und Temperaturbereich. Es gibt Varianten mit Digital- oder Analogausgang sowie in SMD-, DIP- oder Leadless-SMT-Gehäusen. Die Sensoren sind für medizinische Anwendungen wie CPAP, Blutdruck- und Patientenüberwachung und Beatmungsgeräte geeignet. Druckmessungen können zwischen 60 mbar und 10 bar realisiert werden.



Bild 9. Der piezoresistive Drucksensor von Honeywell arbeitet mit 3,3 VDC oder 5 VDC (Bild: RS Components)

Eine Frage der Temperatur - biothermische Signale

Im medizinischen Bereich werden Temperaturen in direktem Kontakt mit der Körperoberfläche oder berührungslos mit sogenannten Infrarot-Thermometern gemessen. Dafür nutzt man NTC-Thermistoren (NTC: Negative Temperature Coefficient), digitale Temperatursensoren, Temperatursonden oder im Falle des berührungslosen Messverfahrens Infrarot-Sensoren.

Mit NTC-Thermistoren können Oberflächentemperaturen gemessen werden. Dabei wird die Veränderung des elektrischen Widerstandes in einem Leiter abhängig von der Temperatur ermittelt. Bei NTC-Temperatursensoren nimmt der elektrische Widerstand bei steigender Temperatur ab. Die Bauteile sind für die Medizintechnik autoklavierbar (Dampfsterilisation) ausgeführt.

Die NTC-Thermistorsonden der Serie [MEAS MBD von TE Connectivity](#) sind auf einen versilberten 30-AWG-Kupfervolldraht mit PVDF-Isolierung gelötet. Sie können für kleine medizinische Sonden und die lokalisierte Temperaturerfassung benutzt werden.



Bild 10. Der NTC-Thermistor ist 56mm lang und arbeitet mit einer Toleranz von $\pm 0,2\%$ (Bild: RS Components)

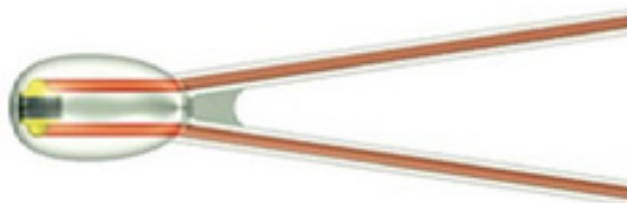


Bild 11. Die NTC-Heißeleiter der [Serie B57550G1](#) von Epocs haben eine stabile und wärmebeständige vergossene Glaskonstruktion. (Bild: RS Components)

Für die kontaktlose Temperaturmessung werden Infrarot-Temperatursensoren eingesetzt. Bekannt ist die Körpertemperatur-Erfassung am Ohr, der Stirn oder an anderen Stellen der Haut.

Die Sensoren der Serie [Omron D6T](#) basieren auf einem Infrarotsensor, der die Oberflächentemperatur des Zielobjekts berührungslos mittels einer Thermosäule misst. Diese absorbiert die abgestrahlte Energie des Objekts. Der Sensor D6T 4x4 kann die Temperatur eines Gesichts aus bis zu einem Meter Entfernung messen und eine Temperatur-Ungenauigkeit von $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$ für einen Nachweis von Fieber erreichen.



Bild 12. Die thermischen MEMS-Sensoren (Micro-Electro-Mechanical-Systems) Omron D6T verwenden eine spezielle ASIC-Technologie, um die nötige Störfestigkeit zu erreichen. (Bild: RS Components)

Auch mit Thermosäulen kann eine Temperatur aus einem gewissen Abstand gemessen werden. Die [TS3xX Thermosäulen](#) von TE Connectivity sind Temperatursensoren, die Oberflächentemperaturen kontaktlos messen. Der Sensor besteht aus einem Chip mit einer Reihe von Mikro-Thermoelement-Elementen, einem Referenz-Umgebungstemperatursensor und einem Infrarot-Filterfenster. Alle Elemente sind in einem hermetisch abgedichteten Metallgehäuse untergebracht. Der Sensor hat einen Spannungsausgang, der proportional zur thermischen Infrarotenergie ist, die über das Filterfenster in den Sensor eindringt. Der Messbereich umfasst -40 bis 300°C .



Bild 13. Die Thermosäulen befinden sich in hermetisch abgedichteten Gehäusen der Größe TO-5 oder TO-18. (Bild: RS Components)

Die Blutzucker-Kontrolleure

Einer der Anwendungsfälle für die chemische Biosignalerfassung sind Sensoren für die Bestimmung der Blutglukosewerte. Die Sensoren dafür arbeiten invasiv (z.B. Lanzettengeräte), minimal invasiv (z.B. Patch-Messgeräte) oder nicht invasiv. Die letztere Variante beruht z.B. auf optischen Verfahren (Infrarotlicht) und ist eher für Heimgeräte wie z. B. Fitness-Uhren vorgesehen.

Auch Verfahren der Spektroskopie (zum Beispiel: <https://www.diamontech.de>) gibt es für die nicht invasive Anwendung. Dabei wird ein Lichtstrahl von einem Sensor auf die Haut gelenkt, um dort Glukosemoleküle zu erwärmen. Aus der gemessenen Wärmeentwicklung wird der Blutzuckerwert errechnet.

Das Unternehmen Alphabet (Google-Mutterunternehmen) hatte bis 2018 sogar an einem Sensor geforscht, der den Blutzucker über die Tränenflüssigkeit des Auges per [Kontaktlinse](#) messen sollte. Hier konnten jedoch schlussendlich keine zuverlässigen Werte generiert werden.

Da die nicht invasive Methode der Blutzuckermessung viele Vorteile hat und die Bevölkerung zunehmend unter Diabetes leidet, sind hier viele Entwicklungen im Gange. Für die einfache Kontrolle zu Hause mit Smartphone, Uhr oder Fitness-Modul, kann man auch mit niedrigeren Genauigkeiten als im Klinikbetrieb auskommen.

Traditionell können Blutzuckerwerte optisch bestimmt werden. Dabei reagieren chemische Stoffe in einem Teststreifen mit dem aufgetragenen Blut. Es erfolgt eine Farbänderung, die vom Messgerät erfasst, analysiert und als Ergebnis ausgegeben wird. Eine weitere Variante ist die amperometrische Messung, bei der Glukose im Blut durch ein Enzym in sogenannte Metabolite umgewandelt wird. Der dadurch entstehende Stromfluss wird gemessen und daraus das Ergebnis ermittelt.

Schlaue Nasen

Sensoren, die z.B. als „intelligente Nasen“ fungieren, können das künstliche Riechen erlernen. In der Medizin könnte das z.B. genutzt werden, um eine Covid-19-Erkrankungen aus der Atemluft eines Menschen zu erkennen.

Den menschlichen Geruchssinn elektronisch nachzuempfinden, kann also nützlich sein. Ein von der VolkswagenStiftung gefördertes Forschungsprojekt mit dem Namen „Olfactorial Perceptronics“ beschäftigt sich mit der Thematik. Dazu wird zur Zeit eine Studie ([Crown](#)) durchgeführt, bei der zur menschlichen Geruchswahrnehmung geforscht wird.

Forschende des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) haben schon eine elektronische Nase mit einem künstlichen Geruchssinn entwickelt. Sie kann unterschiedliche Minzarten erkennen und zunächst für die pharmazeutische Qualitätskontrolle benutzt werden



Bild 14. Wie eine Nase sieht es so gar nicht aus: eine Kombination von Sensoren und Materialien ermöglicht hier den künstlichen Geruchssinn. (Bild: Pressefoto Amadeus Bramsiepe, KIT)

Eine digitale Nase, die zusätzlich KI-Methoden (KI: künstliche Intelligenz) verwendet, hat Bosch Sensortec als 4-in-1-Gassensor implementiert. Der MEMS-Sensor kann zur gleichzeitigen Messung von Gas, Luftfeuchtigkeit, Temperatur und Luftdruck eingesetzt werden. Die KI-Funktionen des Sensors, das Software-Tool BME AI-Studio und ein Adafruit-kompatibles Design-Kit unterstützen die Entwicklung. Ein Gerät könnte z.B. schlechten Atem oder Körpergeruch erkennen. Der Sensor [BME688](#) wurde speziell für mobile und tragbare Anwendungen entwickelt.



Bild 15. Der B680 befindet sich in einem LGA-Gehäuse mit Abmessungen von 3mm x 3mm x 0,93mm mit 8-poligem Metalldeckel. (Bild: RS Components)

Eine elektronische Nase wollen Wissenschaftlerinnen und Forscher der TU Dresden im Rahmen des EU-geförderten Projekts „Smart Electronic Olfaction for Body Odor Diagnostics“ (SMELLODI) mit sieben Partnern aus Deutschland, Israel und Finnland entwickeln. Die intelligente elektronischen Sensorsysteme könnten z.B. für Implantate und Hilfsmittel für Menschen mit Riechstörungen eingesetzt werden.



Bild 16. Geplant ist, intelligente elektronische Sensorsysteme zu entwickeln, die gesunde und durch Krankheit veränderte Körpergerüche unterscheiden und digital übertragen können. (Bild: Pressebild TU Dresden, Antonie Bierling)

Antibiotikapegel über den Atem messen

Ein Team von Wissenschaftlerinnen und Forschern der Universität Freiburg haben in Atemproben von Säugetieren die Konzentration von Antibiotika im Körper nachgewiesen. Dazu wurde ein Biosensor entwickelt, der zukünftig die personalisierte Dosierung von Medikamenten erlauben könnte. Es handelt sich um tragbare Papiersensoren, die in gängige Atemmasken passen. Sie können Biomarker im Atem kontinuierlich überwachen.

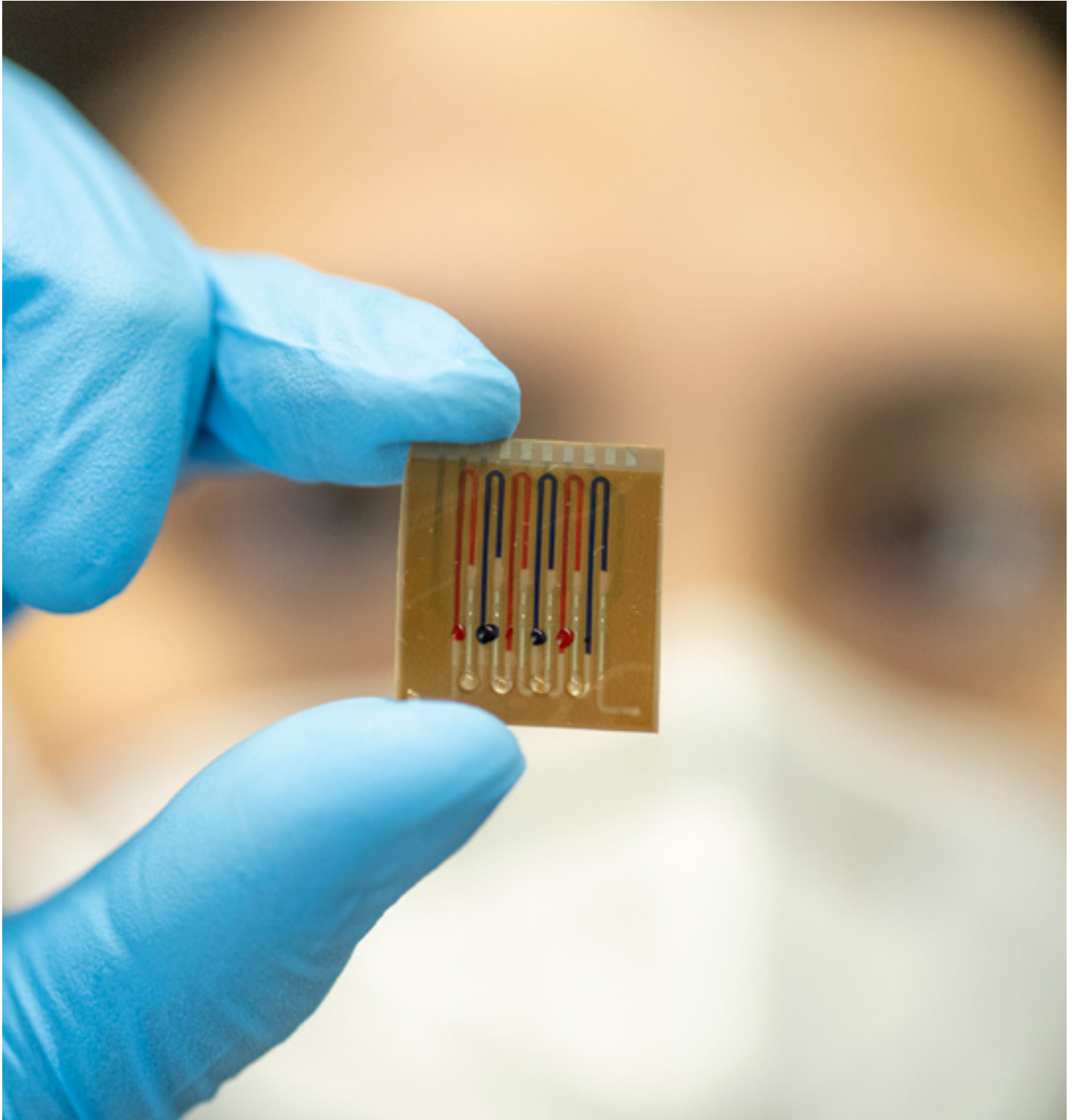


Bild 17. Der Mikrofluidik-Multiplex-Biosensor trägt auf einem Polymerfilm befestigte Proteine, welche Antibiotika erkennen können. (Bild: Patrick Seeger/ Pressebild Albert-Ludwigs- Universität Freiburg)

Die Blutdruck-Wächter

Bei der Blutdruckmessung wird die Kraft ermittelt, die vom Blut auf die Gefäßwand der Arterien und Venen ausgeübt wird; sie wird in Millimeter Quecksilbersäule mmHg angegeben. Die Blutdruckmessung kann indirekt und unblutig oder invasiv (über einen arteriellen Katheter) überwacht werden. Bei der invasiven Blutdruckmessung kommen piezoresistive Silizium-Drucksensoren zum Einsatz.

Digitale Messgeräte (am Handgelenk oder am Oberarm) ermitteln den Blutdruck anhand der Schwankungen des Blutvolumens in den Arterien. Im digitalen Blutdruckmessgerät arbeitet ein elektronischer Drucksensor und ein Mikrofon mit integrierter Miniaturpumpe. Die Anzeige erfolgt auf einem Display.

Das Ohr am Puls

Die Blutdruckmessung kann auch mit optischen Sensoren realisiert werden. Das [CiS Forschungsinstitut](#) entwickelt dafür Messverfahren und Prototypen zur Erprobung. Im Januar 2022 startete das ZIM-Projekt (ZIM: Zentrales Innovationsprogramm Mittelstand) mit dem Namen BDMon (In-Ohr-Sensor für das nicht-invasive Schlag-zu-Schlag-Blutdruckmonitoring). Zusammen mit den Partnern PAR Medizintechnik, bluepoint MEDICAL und dem Steinbeis Innovationszentrum sollen in diesem Rahmen Geräte entwickelt und verifiziert werden. Das Ganze funktioniert auf der Grundlage von Photoplethysmographie (PPG). Dabei wird die Kontur der Pulsdruckwellen optisch durch die Hautoberfläche erfasst. Durch die Analyse lässt sich der Verlauf des Blutdrucks rekonstruieren. Gleichzeitig kann die Schlag-zu-Schlag-Variation des Blutdrucks analysiert werden und daraus nützliche Informationen über das Herz-Kreislauf-System gewonnen werden.



Bild 18. Der In-Ohr-Sensor für das nicht-invasive Schlag-zu-Schlag-Blutdruckmonitoring (Bild: Nadin Jurisch, Pressebild CiS Forschungsinstitut)

Pulsoximetrie-Anwendungen

Bei der Pulsoximetrie werden nicht-invasiv die Sauerstoffsättigung des arteriellen Blutes (Oximetrie) und die Herzfrequenz (Puls) detektiert. Fotooptische Sensoren messen dabei den Blutsauerstoffspiegel (SpO_2).

Die Sauerstoffsättigung des Blutes sagt aus, in welcher Konzentration Hämoglobin mit Sauerstoff beladen ist. Je nach Höhe der Konzentrationen wird dadurch das Licht bestimmter Wellenlängen ganz unterschiedlich absorbiert. Es wird dazu ein sogenannter Clip benutzt, in dem sich die Sensorik befindet, die selbst vor Licht abgeschirmt wird.

Durch die Lichtquelle werden Infrarotlicht und Rotlicht ausgesendet. Hämoglobin ohne Sauerstoff nimmt Infrarotlicht (940nm) auf, Hämoglobin mit mehr Sauerstoff absorbiert vor allem rotes Licht (660nm). Ein gegenüber dem Sender angebrachter Fotodetektor misst, wie viel Licht beider Wellenlängen durchgelassen wurde. Aus der Abschwächung der Lichtaufnahme kann ein Prozentwert berechnet und angezeigt werden. Die Pulsfrequenz wird als Herzschlag pro Minute ausgegeben. Es gibt diese Geräte für den Finger oder für das Ohr.



Bild 19. Ein gängiges Pulsoximeter ist das [CMS50D1](#) von Contec Medical Systems (Bild: RS Components)

Die optische SMD-Emitterbaugruppe der [Serie ELM-5002](#) von TE Connectivity wird in der Sauerstoffpegel-Erkennung eingesetzt. Sie wurde für medizinische Anwendungen entwickelt, erlaubt die Auswahl der Peak-Wellenlänge und ist reflowlötbar. Die rote LED liefert 660nm \pm 3nm Peak und die Infrarot-LED kann 890nm oder 950nm emittieren.

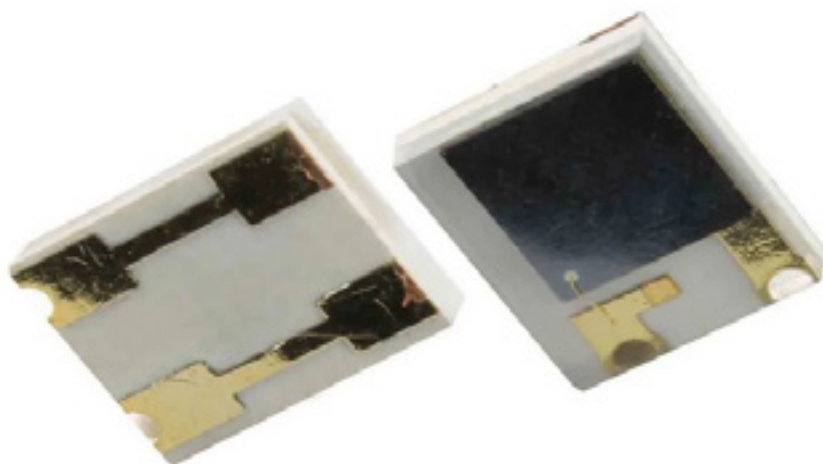


Bild 20. Der biometrische 2-Pin-Sensor arbeitet bei 1,26V bis 5V. (Bild: RS Components)

Quellen:

- <https://dewiki.de/Lexikon/Pulsoxymetrie>
- <http://www.te.com>
- Malberg, Hagen, Urban, Gerald A. and Kaltenborn, Georg. "9 Biosignale und Monitoring". Band 1 Faszination, Einführung, Überblick: Band 1, edited by Ute Morgenstern and Marc Kraft, Berlin, Boston: De Gruyter, 2014, pp. 207-238.
- <http://www.herzstiftung.de/>
- <https://www.diabetes-deutschland.de>