



Sensoren und ihre Verwendung:

Auf dem Weg zum Vollautomaten

„Intelligent“ wird der Computer erst, wenn er sich seine Informationen aus dem Umfeld selbst holt. Sensoren sind dabei Schlüsselbausteine.

Auf sich allein gestellt, ist der Computer recht hilflos. Ein selbständiges Arbeiten ist ihm erst dann möglich, wenn er sich die benötigten Informationen über eine eigene Peripherie verschaffen kann und wenn er per Programm in der Lage ist, logische Schlußfolgerungen aus diesen Informationen in Taten umzusetzen: Er wird dann zum Automaten.

Anhand des Gefühlssinnes läßt sich dies gut verdeutlichen. Mit „Gefühl“ wird eine Summe unterschiedlicher physikalischer Größen wie Druck, Tem-

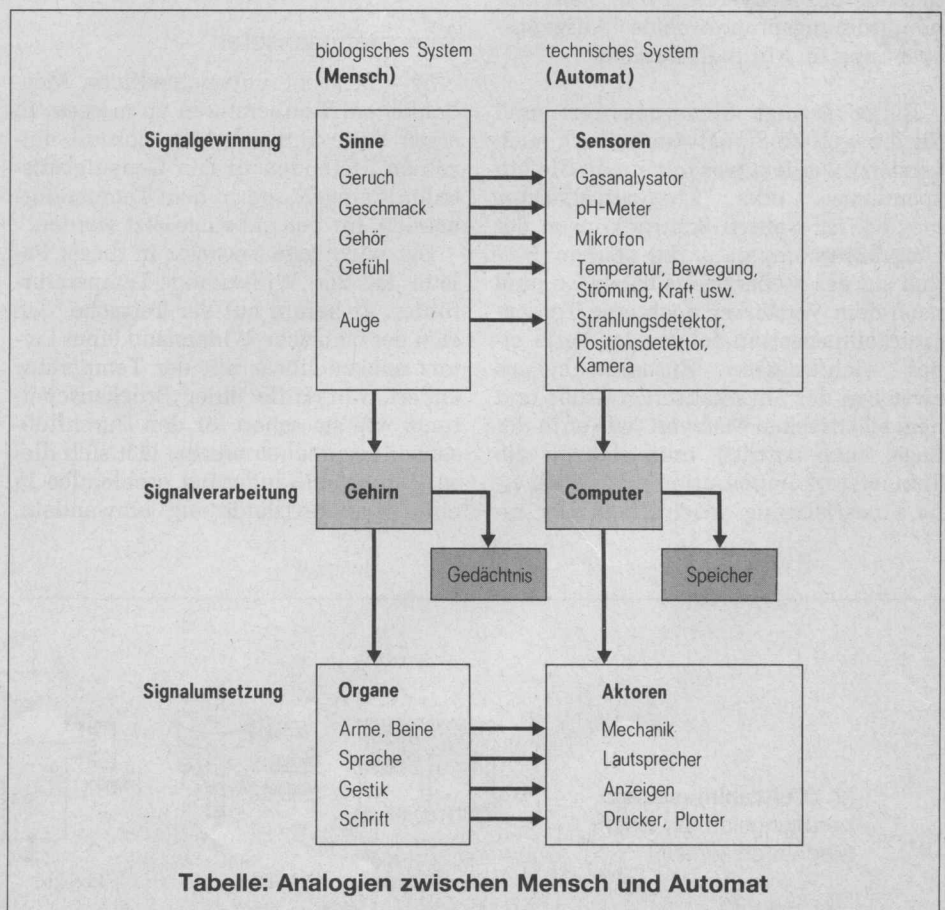
peratur, Strömung, Lichtreize, Beschleunigungen usw. beschrieben, wobei die Beschreibung recht undifferenziert ist. Berührt man z. B. eine Stahlplatte, die 20 °C warm ist, so hat man das Gefühl, daß sie wesentlich kälter ist als ein Stück Holz gleicher Temperatur. Dieser Trugschluß kommt zustande, weil die Stahlplatte infolge ihrer guten Wärmeleitfähigkeit und hohen Wärmekapazität der Handfläche Energie entzieht, was zu einer Abkühlung der Hand führt. Holz hat hingegen eine schlechte Wärmeleitfähigkeit und eine geringe Wärmekapazität, so daß sich dadurch ein anderes Temperaturgefühl einstellt. Ein elektrischer Temperatursensor würde in beiden Fällen die tatsächliche Temperatur anzeigen.

Der Ingenieur ist aufgefordert, möglichst genaue und dabei auch noch preiswerte Sensoren zu entwickeln: Sie sollten die vielfältigen physikalischen Größen in proportionale elektrische Spannungen oder Ströme umwandeln. Wie das heute für die wichtigsten Einflußgrößen gemacht wird, zeigt die nachfolgende Übersicht.

Analogien zwischen Mensch und Automat

Analogien zwischen Mensch und Automat sind in der Tabelle dargestellt. Die Informationsgewinnung beim Menschen erfolgt dabei über Sinnesorgane, bei einem technischen System durch Sensoren. Die Verarbeitung der gewonnenen Informationen geschieht in den funktionsähnlichen Einheiten „Gehirn“ und Computer (CPU). Die Befehle, die als logische Schlußfolgerung aus den primären Informationen entstehen, werden dann durch die entsprechenden menschlichen Organe bzw. durch Aktoren in Taten umgesetzt.

Ein direkter Leistungsvergleich zwischen diesen beiden Systemen ist kaum möglich, da biologische Systeme sehr universell sind, während technische Systeme mehr für spezielle Aufgaben entworfen werden.





Wie man physikalische Größen in elektrische umwandelt

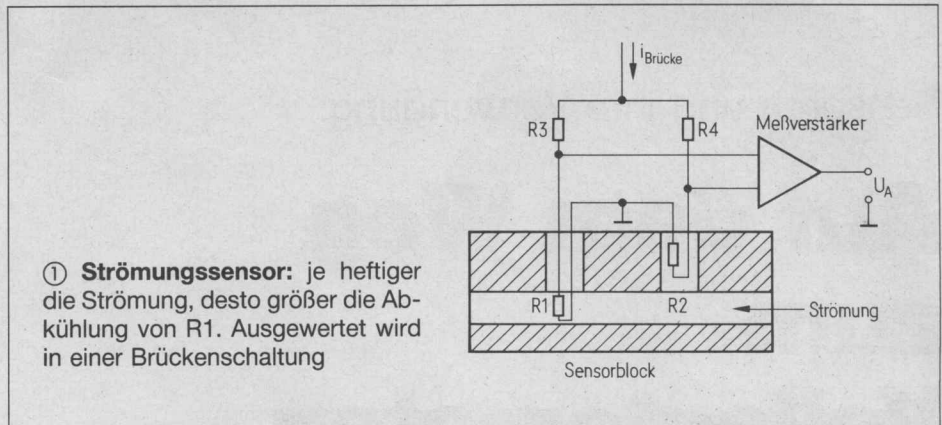
Für eine Übersicht können hier nur die wichtigsten Sensortypen vorgestellt werden:

Strömungssensoren

Anhand eines Durchflusssensors (Bild 1) wird ein besonders typischer Sensoraufbau beschrieben.

Die beiden Widerstände R1 und R2, die Teil einer Brückenschaltung sind, werden durch den Brückenstrom so aufgeheizt, daß sie ca. 50 K über der Umgebungstemperatur liegen. Wird nun ein Gas- oder ein Flüssigkeitsstrom durch den Sensorblock geleitet, so kühlt sich der Widerstand R1 strömungsbedingt ab und ändert somit auch seinen ohmschen Widerstand. Da der Widerstand R2 nicht in der Strömung liegt, behält er seinen Widerstandswert bei. Die daraus resultierende Brückenverstimmung liefert eine strömungsproportionale Ausgangsspannung im Millivolt-Bereich.

Dieser geringe Spannungswert muß für die weitere Signalverarbeitung noch verstärkt werden, was mit einem Gleichspannungs- oder Chopperverstärker möglich ist. Sollten Schwankungen der Umgebungstemperatur zu starken Einfluß auf das Meßergebnis haben, so muß nach dem Verstärker noch eine Temperaturkompensation folgen. Im Falle eines nichtlinearen Zusammenhanges zwischen der physikalischen Größe und dem elektrischen Meßwert (wie er in der Regel auch auftritt), muß sich an die Temperaturkompensation auch noch eine Linearisierung anschließen. Der re-



sultierende analoge Meßwert muß dann für den Computer mittels eines A/D-Wandlers in ein digitales Signal umgewandelt werden.

Für eine Fernübertragung des Signals vom Sensor zum Computer ist die digitale Übertragung schon deshalb empfehlenswert, weil sie über eine Glasfaserstrecke laufen kann. Diese ist wesentlich unempfindlicher gegenüber Störungen, als die konventionelle Übertragung durch Kupferkabel.

Temperatursensoren

Es gibt recht unterschiedliche Möglichkeiten, Temperaturen zu messen. In erster Linie unterscheiden sich die einzelnen Methoden in den Genauigkeitsanforderungen und in dem Temperaturbereich, für den sie eingesetzt werden.

Der wichtigste Vertreter in dieser Palette ist der Widerstands-Temperaturfühler. Er beruht auf der Tatsache, daß sich der Ohmsche Widerstand eines Leiters nahezu linear mit der Temperatur ändert. Mit Hilfe einer Brückenschaltung, wie sie schon für den Durchflusssensor besprochen wurde, läßt sich diese Widerstandsänderung problemlos in eine Spannungsänderung umwandeln.

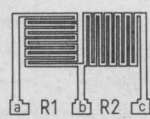
Mit vorkalibrierten Silizium-Temperatur Sensoren, sie z. B. bei 298 K ein 2,98 V großes Spannungssignal liefern, läßt sich eine Linearität von $\pm 0,5$ K in einem Temperaturbereich von 263 K bis 373 K erreichen. (Die FUNKSCHAU berichtete darüber in Heft 23/82.)

Faseroptische Sensoren eignen sich ebenfalls für Temperaturmessungen. Sie nutzen die temperaturabhängige Lumineszenz eines Leuchtstoffes: Damit wird auch unter schwierigsten Umgebungsbedingungen (Hf-Felder, aggressive Atmosphäre, radioaktive Strahlung) eine eindeutige Temperaturbestimmung möglich.

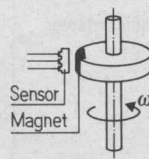
Drucksensoren

Drucksensoren bestehen meist aus einer dünnen Metallmembrane, auf deren Innenseite ein Dehnungsmeßstreifen aufgebracht ist. Bei einer Druckbelastung biegt sich die Membrane durch und verursacht in der Dehnungsmeßschaltung eine Widerstandsänderung, die dann wieder mit einer Meßbrücke und einem Verstärker in ein auswertbares Gleichspannungssignal umgewandelt wird.

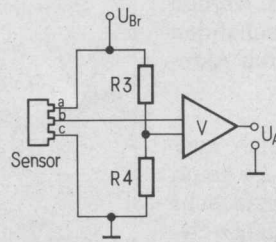
② Drehzahlmessung: berührungslos mit einem Magnetfeldsensor



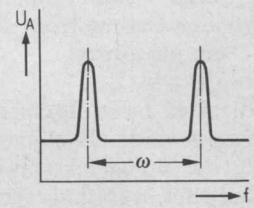
a) Sensorstruktur



b) Aufbau



c) Schaltung



d) Ausgangsspannung



Darüber hinaus gibt es Drucksensoren, die über den piezoelektrischen Effekt eine Druckmessung ermöglichen. Diese piezoresistiven Druckaufnehmer, die mit integriertem Verstärker aufgebaut sind, können wegen des Halbleiterschaltkreises allerdings nur im Bereich von $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$ bis $+125\text{ }^{\circ}\text{C}$ eingesetzt werden.

Magnetfeldsensoren

Anhand eines Drehsensors aus magnetfeldabhängigen Materialien soll der Typ der Magnetfeldsensoren beschrieben werden. Ein solcher Drehsensor, der z. B. die Umdrehungsgeschwindigkeit einer Achse überwacht, ist in *Bild 2* dargestellt.

Der Magnetfeldsensor besteht aus einer Nickel-Kobalt-Legierung, die in Dünnschichttechnik mäanderförmig zu zwei Widerständen zusammengeschaltet ist. Bei einer Magnetfeldänderung, die durch einen rotierenden Magneten erzeugt wird, ändert sich das Verhältnis der beiden Widerstände $R1/R2$. Mit einer Brückenschaltung und einem Vorverstärker kann daraus ein Spannungssignal gewonnen werden.

Die Frequenz der aufeinanderfolgenden Impulse entspricht der Umdrehungszahl. Durch eine Frequenz/Spannungswandlung läßt sich eine umdrehungsproportionale Ausgangsspannung erreichen.

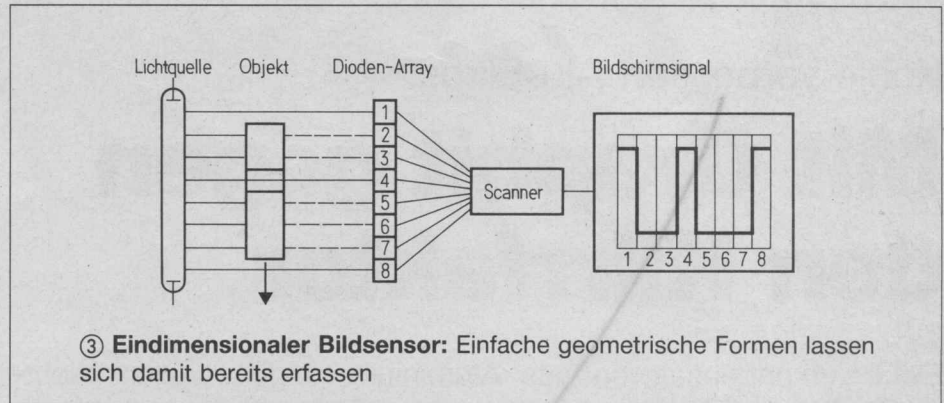
Gas-Sensoren

Gassensoren übernehmen wichtige Aufgaben im Bereich der Umwelttechnik und der Prozeßsteuerung. Neben den optischen Prozeßphotometern (für selektive Messungen in Mehrkomponenten-Gemischen) und unspezifischen Wärmeleitfähigkeitsdetektoren (die sich nur für Zweikomponenten-Gemische eignen) finden immer mehr Halbleitersensoren Eingang in die Gasanalytik.

Diese Sensoren ändern in Gegenwart bestimmter Gase ihren elektrischen Widerstand. Durch Wahl des Ausgangsmaterials und der Dotierung erhält man dann mehr oder weniger spezifisch ansprechbare Sensoren.

Bildsensoren

Die einfachste Form eines Bildsensors ist die altbekannte Lichtschranke. Durch die Integration von mehreren Photodi-



oden (bis zu 2048) zu einem linearen Array erhält man einen eindimensionalen Bildsensor (*Bild 3*), mit dessen Hilfe man schon einfache Fertigungskontrollen durchführen kann.

Der Übergang zu einem zweidimensionalen Bildsensor, bei dem die einzelnen Photodioden zu einer Matrix zusammengeschaltet sind, erlaubt dann auch eine Analyse von komplexeren Überwachungsvorgängen (*Bild 4*). Das gesamte zu analysierende Objekt liegt dabei in Form von 256×256 Bildpunkten vor.

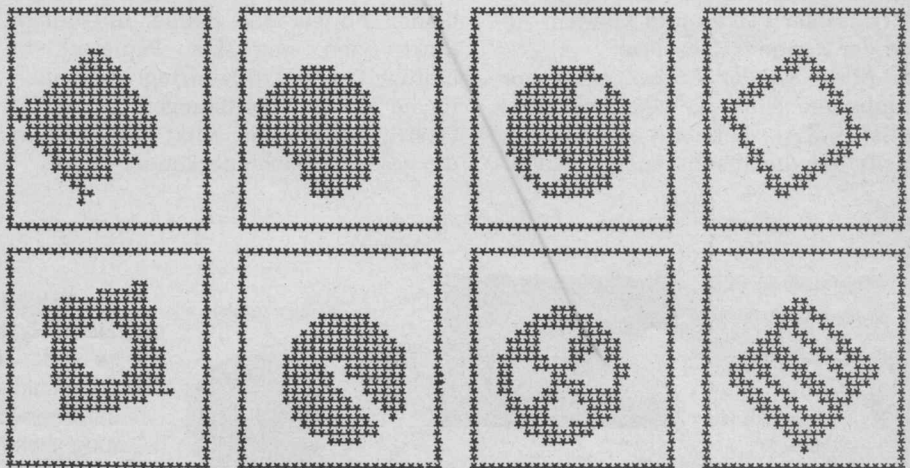
Um z. B. Fertigungstoleranzen von Werkstücken während der Produktion überwachen zu können, wird jedes Werkstück von dem Bildsensor erfaßt und mit einem Standardobjekt verglichen, dessen Bild sich in einem Bildspeicher befindet. Für einfache Meßobjekte genügt allerdings auch ein Bildsensor, der nur aus einer 32×32 -Matrix besteht, und der demzufolge auch wesentlich preisgünstiger ist.

Wie es weitergeht

Sofern es die jeweiligen Einsatzbedingungen zulassen, sucht man in jüngster Vergangenheit zunehmend „intelligente“ Sensoren zu entwickeln: Sie übernehmen einen Teil der Signal-Vorverarbeitung bereits im Sensor selbst und entlasten damit die Computer-CPU. Auch das hat man vom Menschen „abgeschaut“. Die Sinnesorgane des Menschen „selektieren“ auch Information, so daß auch hier eine „Vorverarbeitung“ stattfindet.

Wo Umweltbedingungen einen „intelligenten“ Sensor nicht zulassen (z. B. zu hohe Temperatur, Vibrationen), muß man natürlich geeignete andere Möglichkeiten finden. In der Praxis heißt das, alle aktiven Elemente vom Sensor zu separieren und damit die empfindlichen Halbleiter „in Sicherheit“ zu bringen.

Gerhard Wiegler



④ **Zweidimensionaler Bildsensor:** So sehen digitalisierte Bilder einfacher Werkstücke aus