



Berufs Bildung Baden

Fach: Automation

Thema: Elektrische Steuerungen

Kapitel: Sensoren

Autor: Roman Moser
Version: 1.0

Inhaltsverzeichnis

1. Einführung	2
2. Einsatz von Sensoren	2
2.1. Sensoranwendungen	2
3. Der Signalkreislauf in der Automatisierung	3
4. Was ist ein Sensor?	4
5. Klassifizierung von Sensoren	5
5.1 Einfache Sensoren.....	5
5.2 Komplexe Sensoren.....	5
6. „Sensoren der Zukunft“	6
6.1 Smart Sensoren („Sensor mit Gehirn“)	6
6.2 Mikromechanik	6
6.3 Biologische Sensoren.....	6
7. Aktive und passive Sensoren	7
7.1 Aktive Sensoren.....	7
7.2 Passive Sensoren	7
8. Signale der Sensoren	8
8.1 Binäre Sensoren	8
8.2 Analoge Sensoren	8
8.3 Digitale Sensoren.....	9
9. Näherungsschalter.....	9
9.1 Wirkprinzip.....	9
9.2 Betriebsarten optischer Sensoren.....	10
9.3 Speisespannung.....	11
9.4 Anschlussmöglichkeiten	11
9.5 Anschlussfarben.....	12
9.6 Wirkrichtung.....	12
9.7 Auswahlkriterien	13
9.8 Übersicht, Symbole	16
10. Analoge Sensoren	17

1. Einführung

Die Sensoren sind die "Fühler" (lat. senus = der Sinn). Sie wandeln eine physikalische Grösse (z.B. Kraft oder Temperatur) in ein elektrisches Signal um. Dies kann zum Beispiel ein Strom oder eine Spannung in binärer, analoger oder digitaler Form sein.

In modernen Sensoren sind hochintegrierte elektronische Schaltungen versteckt. Man versucht heute, möglichst viel "Intelligenz" in den Sensor zu packen, so dass das nachgeschaltete Automatisierungssystem möglichst wenig belastet wird und schon sauber aufbereitete Daten erhält.

Die Ausgangssignale sind genormt und können so mit einer grossen Anzahl von Systemen zusammenarbeiten. Viele Sensoren sind feldbusfähig, können also mit wenig Verdrahtungsaufwand mit dem Automatisierungssystem verbunden werden.

2. Einsatz von Sensoren

Sensoren werden auf vielen Gebieten der Wissenschaft und Technik eingesetzt. In der Forschung werden hochempfindliche und spezialisierte Sensoren für die Durchführung von Experimenten verwendet. In der Automatisierungstechnik finden sowohl standardisierte als auch speziell entwickelte Sensoren ihre Anwendung. In den Geräten des täglichen Bedarfs werden eher einfache Sensoren verwendet, die jedoch wartungsfrei und zuverlässig funktionieren müssen.

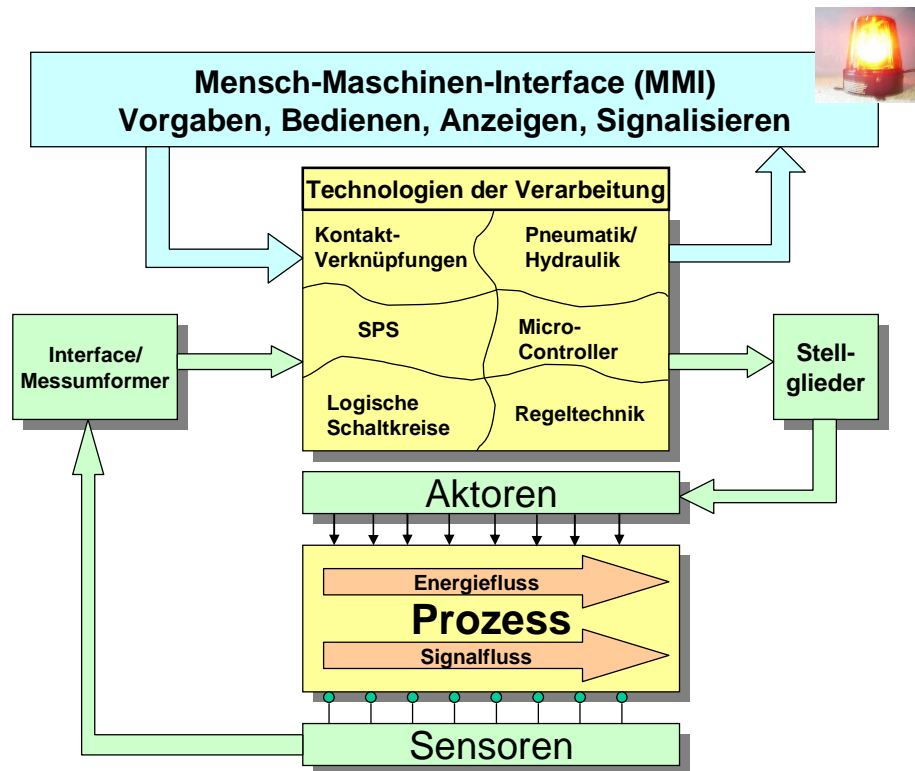
2.1. Sensoranwendungen

Sensoren sind integraler Bestandteil komplexer Maschinen. Sensoren finden ihre Anwendung in der Automatisierungstechnik, da sie ...

- ... das Fehlverhalten von automatisierten Anlagen, z.B. Werkzeugbruch oder Stau, frühzeitig und lückenlos melden.
- ... Werkzeugverschleiss erkennen.
- ... die Messwerte zur Verfügung stellen, die zur kontinuierlichen Optimierung eines Produktionsablaufs durch Steuerung und Regelung notwendig sind.
- ... in der automatisierten Qualitätsprüfung eingesetzt werden.
- ... Gefahren am Arbeitsplatz melden, z.B. zu hohe Schadstoffkonzentrationen.
- ... Arbeitsvorgänge humanisieren helfen, z.B. bei anstrengender und monotoner Sichtprüfung, bei Überwachungs- und Messaufgaben in für die Gesundheit gefährdender Umgebung.
- usw.

3. Der Signalkreislauf in der Automatisierung

Die folgende Darstellung zeigt das EVA-Prinzip im Fachbereich eines Automatikers:



Analoge, digitale und binäre Signale kommen in allen Anlagen und Steuerungen vor. Die physikalischen Grössen eines Prozesses (Druck, Temperatur, ...) werden von Sensoren erfasst und mit einem Messumformer in elektrische Signale umgewandelt. Diese elektrischen Signale werden an die Eingänge der Steuerung (z.B. SPS) geführt. In der Steuerung werden auf Grund der Eingangssignale Ausgangssignale errechnet und an den Ausgängen der Steuerung ausgegeben. An den Ausgängen sind die Aktoren angeschlossen (Motoren, Ventile, Heizungen, usw.). Leistungsstarke Aktoren werden über Stellglieder (Schütze, Relais, usw.) angesteuert.

Die Bedienung einer Anlage erfolgt über Taster und Schalter. Immer häufiger aber kommen Touchpanel zum Einsatz, welche nebst der Eingabe von Befehlen auch die Anzeige von z.B. Alarmmeldungen in Textform zulassen.

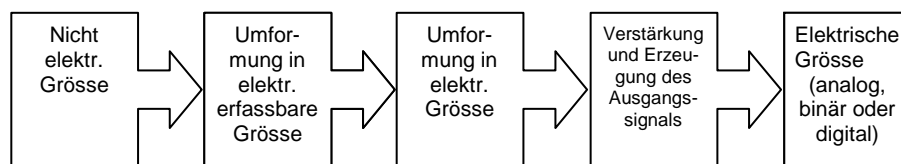


4. Was ist ein Sensor?

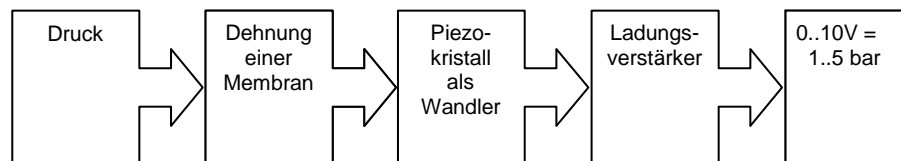
Sensoren sind Messfühler, welche in der Lage sind, **physikalische Grössen in ein elektrisches Signal umzusetzen**. Man spricht auch von:

- Messwertaufnehmer
- Messfühler
- Messumformer
- Messwertgeber
- Transducer
- Detektor

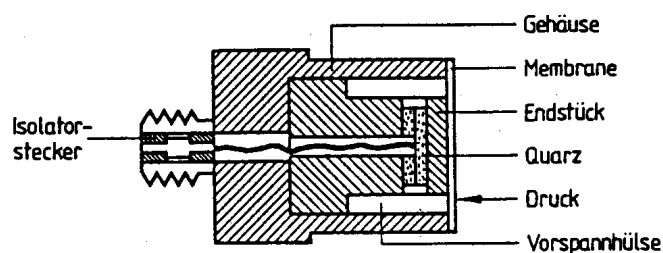
Sensoren sind grundsätzlich wie folgt aufgebaut:



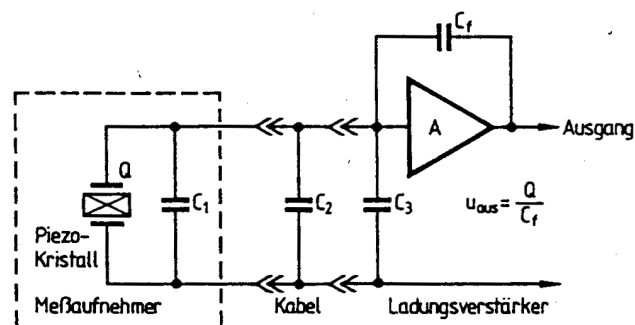
Beispiel:



Aufbau des Sensorelementes



Schaltung des Sensors mit Signalverarbeitung



5. Klassifizierung von Sensoren

Sensoren lassen sich z.B. nach dem Einsatzgebiet einteilen. Dabei unterscheidet man zwischen einfachen und komplexen Sensoren.

5.1 Einfache Sensoren

5.1.1 Erfassen mechanischer Grössen

In Festkörpern:

- Weg, Position
- Winkel
- Geschwindigkeit, Drehzahl
- Beschleunigung
- Kraft
- Drehmoment

In Flüssigkeiten:

- Druck
- Durchfluss
- Füllstand
- Dichte
- Viskosität (Zähflüssigkeit)

5.1.2 Erfassen thermischer Grössen

- Temperatur

5.1.3 Erfassen elektrischer und magnetischer Grössen

- | | |
|------------------|---------------------|
| - Ladung | - Phase |
| - Strom | - Elektrisches Feld |
| - Spannung | - Magnetisches Feld |
| - Widerstand | - Kapazität |
| - Leistung | - Induktivität |
| - Frequenz, Zeit | |

5.1.4 Erfassen optischer Grössen

- Wellenlänge
- Brechungsindex
- Leuchtdichte

5.1.5 Erfassen chemischer Grössen

- Ph-Wert
- El. Leitfähigkeit
- Konzentration
- Partikelgrösse

5.2 Komplexe Sensoren

5.2.1 Taktile Sensoren

Können Lage, Orientierung und Oberflächenform erfassen.

5.2.2 Visuelle Sensoren

Können einen Gegenstand bildlich erfassen (Kamera, Wärmekamera).

5.2.3 Auditive Sensoren

Können ein Geräusch klar zuordnen.

6. „Sensoren der Zukunft“

Die Forschung und Entwicklung befasst sich intensiv mit Smart Sensoren, der Mikromechanik und den biologischen Sensoren.

6.1 Smart Sensoren („Sensor mit Gehirn“)

Über die Einbeziehung von Verstärkern hinaus versucht man auch Rechenleistung in den Sensor zu integrieren. Dies stellt einen interessanten Trend dar, denn er kommt der verteilten Verarbeitung der Daten und damit einem besseren Datendurchsatz entgegen. Ein solches Sensorsystem, im Englischen wie auch im Deutschen als smart sensor bezeichnet, gestattet schon eher die Gleichsetzung mit einem Sinnesorgan.

6.2 Mikromechanik

Bei den Entwicklungen der Mikromechanik werden auch mechanische Komponenten des Sensors im Silizium-Chip integriert. In erster Linie handelt es sich dabei um Membranen, Feder- oder Schwingungskörper, die aus dem Silizium herausgeätzt werden. In Forschungslabors wurden auch schon Dreh- und Schiebeverbindungen realisiert, so dass der Aufbau miniaturisierter mechanischer Apparate schon vorbereitet ist. Die guten mechanischen Eigenschaften von Silizium, insbesondere seine hohe Elastizität, treffen in der Mikromechanik vorteilhaft mit den besonderen elektrischen Eigenschaften des Siliziums zusammen.

6.3 Biologische Sensoren

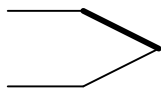
Ein weiterer interessanter Trend ist die Entwicklung von sogenannten biologischen Sensoren. Sie bestehen aus einem biologisch aktiven Teil, z.B. Enzymen oder Bakterien, und einem mikroelektronischen Teil, der die biologischen Reaktionen registriert und weiterverarbeitet. Die ersten verfügbaren biologischen Sensoren dienen insbesondere zur Analyse organischer Substanzen, z. B. der Bestimmung des Blutzuckerwerts. Die weitere Entwicklung der biologischen Sensoren ist jedoch noch nicht abzusehen.

7. Aktive und passive Sensoren

Praktisch alle Sensoren erzeugen am Schluss ein elektrisches Signal. Es gibt dazu **aktive und passive Sensoren**.

7.1 Aktive Sensoren

Aktive Sensoren sind kleine elektrische "Generatörchen", sie erzeugen also durch einen Wandlungsprozess direkt eine elektrische Spannung. Diese wird dann bis zum Nutzsignal weiter verstärkt.



Thermo-
effekt

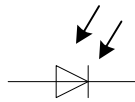


Foto-
effekt



Piezo-
effekt



Elektrodynamischer
effekt

7.2 Passive Sensoren

Passive Sensoren bewirken eine Änderung der elektrischen Eigenschaften. Es erfolgt kein Wandlungsprozess. Sie benötigen zur Signalerzeugung immer eine Hilfsspeisung.



Widerstand
Potenziometer,
PTC,NTC,
PT100, DMS



Induktivität
Spulen, Über-
trager



Kapazität
Kondensatoren

8. Signale der Sensoren

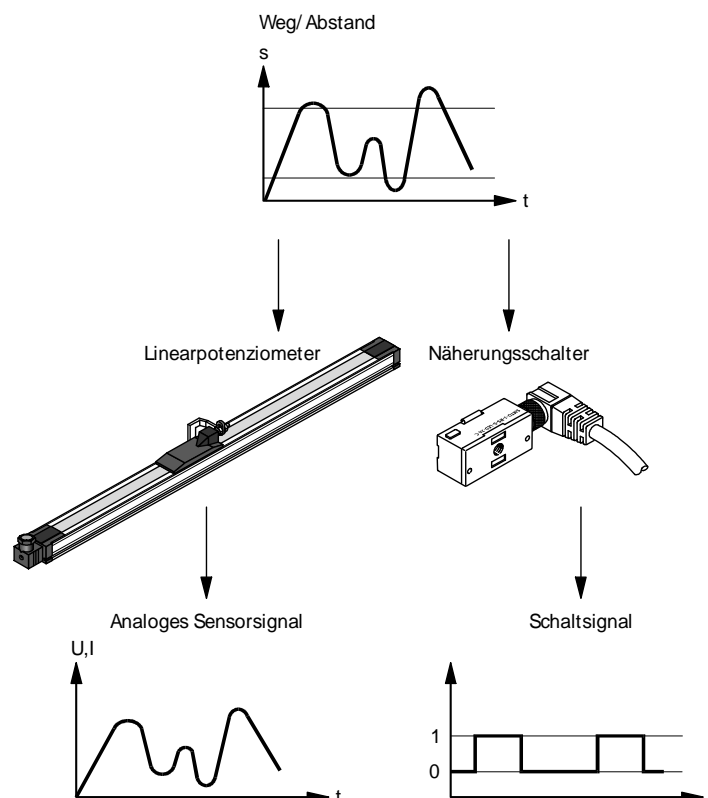
Sensoren wandeln ein Signal beliebiger Art (z.B. Druck, Temperatur, Licht) in ein elektrisches Signal um. Die Umwandlung kann in ein analoges, digitales oder binäres Signal erfolgen.

8.1 Binäre Sensoren

Binäre Sensoren erzeugen nur zwei Ausgangssignale, die Schaltzustände „Ein“ und „Aus“. Das Umschalten von einem zum anderen Schaltzustand erfolgt bei einem ganz bestimmten Wert der physikalischen Grösse; dieser **Schaltpunkt** ist oft auch einstellbar. Häufig unterscheidet sich der Schaltpunkt bei steigendem Werteverlauf von jenem bei fallendem Werteverlauf. Der Unterschied zwischen den beiden Schaltpunkten oder auch Schwellwerten wird **Hysterese** genannt. Die Hysterese kann in manchen Anwendungen durchaus erwünscht sein. So reduziert sie bei Regelungen die Schalthäufigkeit und führt zu verbesserter Stabilität des Systems.

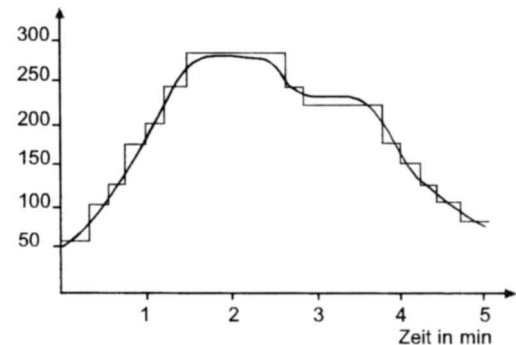
8.2 Analoge Sensoren

Analoge Sensoren erzeugen bei kontinuierlicher Änderung der physikalischen Grösse ein ebenfalls sich **kontinuierlich änderndes elektrisches Signal**. Dieser Zusammenhang muss nicht notwendigerweise linear sein, lässt aber im Gegensatz zu den binären Sensoren immer den Schluss auf den aktuellen Wert der physikalischen Grösse zu. Analoge Sensoren bieten also „mehr“ Information als binäre Sensoren; dafür ist die Verarbeitung des Signals meist aufwendiger.



8.3 Digitale Sensoren

Bei digitalen Sensoren wird ein stetiger Messwert in eine abgestufte Zahlenfolge übertragen. Ein analoges (stufenloses) Signal wird dabei in einzelne Zahlenfolgen übersetzt (digitalisiert). Wegmesssysteme und Drehwinkelgeber sind in der Industrie am häufigsten eingesetzten digitalen Sensoren. Ein grosses Einsatzgebiet sind CNC gesteuerte Werkzeugmaschinen.

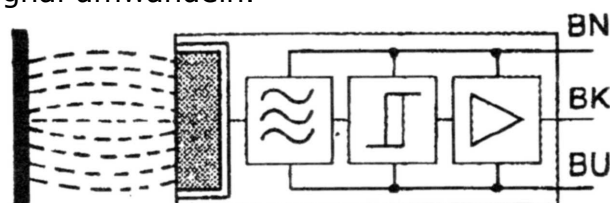


9. Näherungsschalter

9.1 Wirkprinzip

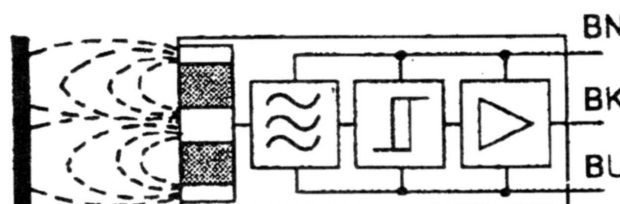
9.1.1 Kapazitive Sensoren

Wird an zwei Platten, die durch ein Dielektrikum getrennt sind, eine Spannung angelegt, so sammeln sich auf den Platten elektrische Ladungen. Eine Anordnung, die Ladung speichert heisst Kondensator. Die gespeicherte Ladungsmenge bezeichnet man als Kapazität. Das aktive Element eines kapazitiven Sensors besteht aus einer scheibenförmigen Sensorelektrode und einer becherförmigen Abschirmung. Diese bilden einen Kondensator. Nähert sich ein Gegenstand der Sensorfläche, vergrössert sich die Kapazität. Die Ausgangsspannung ist abhängig von der wirksamen Kapazität zwischen Sensorelektrode und Abschirmbecher. Der Oszillator beginnt bei Kapazitätszunahme zu schwingen. Diese Anschwingungen kann die Auswerteeinheit erkennen und in ein Schaltsignal umwandeln.



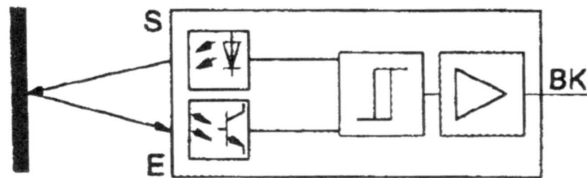
9.1.2 Induktive Sensoren

Aktives Element eines induktiven Sensors ist eine Spule mit Ferritkern. Die vom Strom durchflossene Spule erzeugt ein Magnetfeld, welches an der Stirnfläche des Sensors austritt. Nähert sich dieser aktiven Fläche ein metallischer Gegenstand wird das Magnetfeld deformiert. Dem Schwingkreis wird dabei Energie entzogen und die Schwingung gedämpft. Die Dämpfung wird von der Auswerteeinheit erkannt und in ein Schaltsignal umgesetzt.



9.1.3 Optische Sensoren

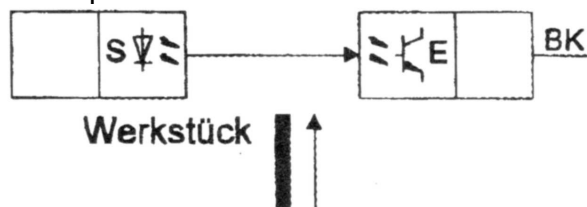
Optische Sensoren bestehen aus einem Lichtsender (LED) und einem Lichtempfänger (Fotodiode oder Fototransistor). Der Sender S strahlt Licht aus und die Auswertereinheit E wertet die Intensität des empfangenen Lichtes aus.



9.2 Betriebsarten optischer Sensoren

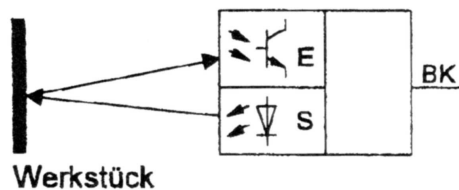
9.2.1 Einweg-Lichtschanke

Licht wird vom Sender S ausgestrahlt und gelangt in den Empfänger E. Bei Unterbrechung der Lichtstrecke durch ein Objekt erfolgt eine Änderung des Schaltausgangs. Spiegelnde Elemente werden von Einweg-Lichtschanken erfasst, jedoch keine transparenten Elemente.



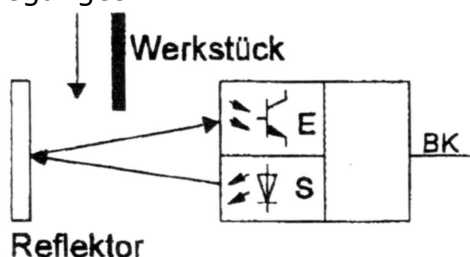
9.2.2 Reflexions-Lichttaster

Lichtsender und Lichtempfänger befinden sich in einem Gehäuse. Das ankommende Objekt wirft einen Teil des ausgesandten Lichts in Abhängigkeit von Farbe, Oberflächenstruktur und Auftreffwinkel zurück. Beim Überschreiten einer festgelegten Empfangsamplitude wird das Ausgangssignal geschaltet.



9.2.3 Reflexions-Lichtschanke

Bei Reflexions-Lichtschanken wird Licht vom Sender S ausgestrahlt und vom Reflektor in den Empfänger E zurückgeworfen. Sender und Empfänger befinden sich in einem Gehäuse. Bei Unterbrechung der Lichtstrecke erfolgt eine Änderung des Schaltausgangs.



9.3 Speisespannung

Sensoren werden für unterschiedliche Spannungsarten angeboten. Es sind Gleichstrom- (DC) und Wechselstromausführungen (AC) zu unterscheiden. In der Steuerungstechnik wird in der Hauptsache die Gleichstromausführung mit einem Spannungsbereich von 0 – 24 V eingesetzt.

9.4 Anschlussmöglichkeiten

9.4.1 Zweidraht-Technik

Die Gleichspannungs-Zweidrahtschalter werden in Reihe mit der Last betrieben und benötigen daher nur zwei Anschlussleitungen. Sie sind in beliebiger Polarität anzuschliessen.

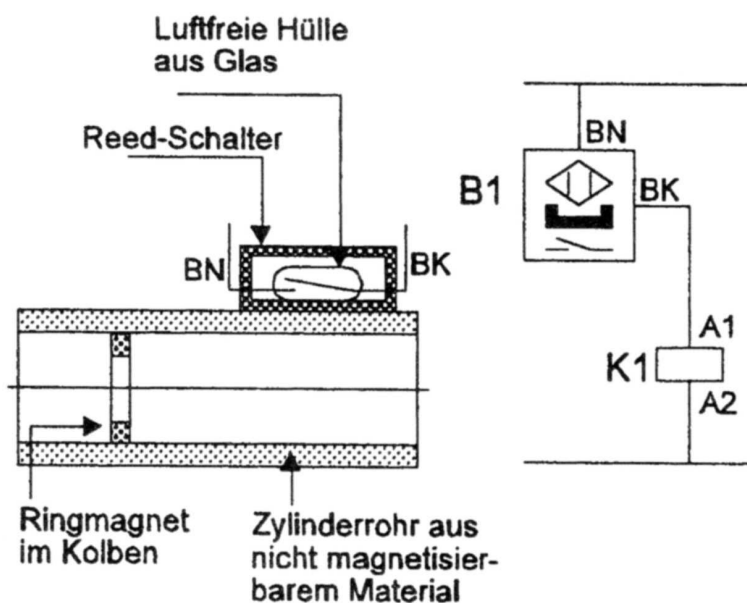


Bild: Reed-Schalter als Zweidraht-Schalter

9.4.2 Dreidraht-Technik

Dreidraht-Näherungsschalter haben zwei Leitungen für die Spannungsversorgung und eine dritte Leitung für den Signalausgang.

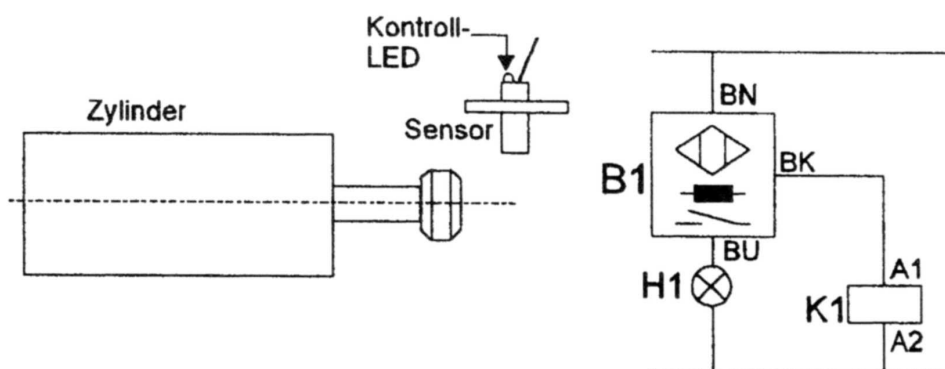


Bild: Induktiver Sensor als Dreidraht-Schalter

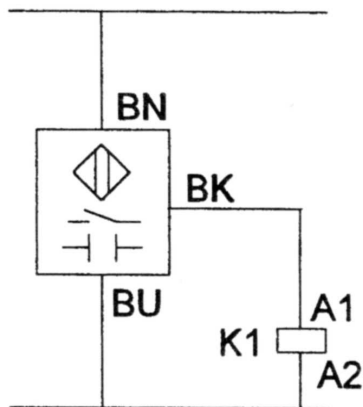
9.5 Anschlussfarben

Bezeichnung	Farbe	Kennzeichen
positive Versorgungsspannung	braun	BN
negative Versorgungsspannung	blau	BU
Schaltausgang	schwarz	BK

9.6 Wirkrichtung

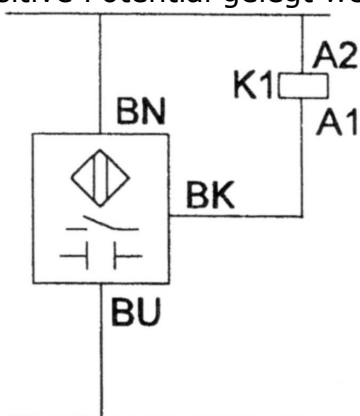
9.6.1 Plusschaltende Sensoren (PNP)

Bei Gleichspannungs-Näherungsschaltern mit PNP-Ausgang wird die Ausgangsleitung auf das positive Potential gelegt. Das bedeutet, bei einem anzuschliessenden Relais, das der Anschluss A1 an den Sensorausgang BK und der Anschluss A2 auf Masse gelegt werden muss.



9.6.2 Negativschaltende Sensoren (NPN)

Der NPN-Ausgang eines Näherungsschalters wird auf das negative Potential gelegt. Das bedeutet in diesem Fall, dass bei einem anzuschliessenden Relais der Ausgang A1 auf den Sensorausgang BK und der Anschluss A2 an das positive Potential gelegt werden muss.



Auch im nicht betätigten Zustand fliesst ein Reststrom, da die Spannungsversorgung der Näherungsschalter aufrechterhalten werden muss.

9.7 Auswahlkriterien

Näherungsschalter kann man zunächst danach auswählen, welches Material man mit ihnen detektieren möchte. Metalle jeder Art lassen sich sehr einfach und preiswert mit induktiven Näherungsschaltern nachweisen, wenn man nur geringe Schaltabstände benötigt (z.B. 0,4 ... 10 mm). Für grössere Distanzen bieten sich optische Näherungsschalter an. Die grössten Distanzen lassen sich mit Einweg-Lichtschranken überbrücken. Kapazitive Näherungsschalter eignen sich zum Nachweis sehr vieler Materialien, jedoch auch nur bei relativ kleinen Abständen, ähnlich wie bei induktiven Näherungsschaltern. Die von kapazitiven Näherungsschaltern zu detektierenden Objekte müssen ein gewisses Mindestvolumen besitzen. Eine ähnliche Materialunabhängigkeit des Nachweises ist auch bei Ultraschall- und optischen Näherungsschaltern gegeben. Weitere Kriterien zur Näherungsschalterauswahl sind die Bedingungen, wie das Objekt abzufragen ist, welche Installationsbedingungen für den Näherungsschalter existieren und welche Umwelteinflüsse zu berücksichtigen sind. Nach der Klärung all dieser Bedingungen ist unter verschiedenen Alternativen des Produktangebotes der geeignete Näherungsschalter zu bestimmen. Die erwähnten Kriterien sind im Folgenden systematischer im Detail zusammengestellt.

9.7.1 Schutzvorschriften

- Einsatz in explosionsgefährdeter Umgebung
- Einsatz zum Zwecke des Unfallschutzes
- Einsatz unter erhöhten Sicherheitsanforderungen gegen Betriebsunterbrechung

9.7.2 Objektmaterial

Elektrisch leitfähiges Material:

- Stahl
- Edelstahl
- Messing
- Kupfer
- Aluminium
- Nickel
- Chrom
- metallisch beschichtete, nicht elektrisch leitfähige Materialien
- Graphit
- u. a.

Elektrisch nicht leitfähiges Material:

- Kunststoffe
- Pappe, Papier
- Holz
- Textilien
- Glas
- u. a.

Beschaffenheit nicht leitfähiger Materialien:

- Optisch transparent oder nicht transparent
- Optisches Reflexionsvermögen der Oberfläche (absorbierend bis spiegelnd)
- Homogen, nicht homogen (z.B. Verbundwerkstoffe)
- Porös, faserartig
- fest, flüssig
- Dielektrizitätskonstante (ϵ_r)

Grösse und Form:

Grössenordnung der zu sensierenden Struktur, evtl. Klassifizierung nach Standardformen, z.B. Quader, Zylinder, Kugel, Kegel u. a.

9.7.3 Bedingungen zur Abfrage eines Objektes

- Berührend oder nicht berührend
- Erforderlicher Abstand zwischen Näherungsschalter und Objekt, evtl. unter Berücksichtigung auftretender Toleranzen des Abstandes (z.B. bewegte Objekte).
- Geschwindigkeit eines bewegten Objektes bzw. Darbietungszeit oder Standzeit.
- Stets gleiche oder wechselnde Abfragebedingungen, z.B. unterschiedliche Lage des Objektes.
- Art des Hintergrundes oder Untergrundes.

9.7.4 Installationsbedingungen

- Verfügbarer Platz (Abstand/Volumen) an der zu sensierenden Stelle. Notwendigkeit zur Verwendung miniaturisierter Ausführungsformen oder zur abgesetzten Unterbringung des Näherungsschalters unter Verwendung von Lichtleitervorsätzen bei optischen Näherungsschaltern „um die Ecke“, in Spalten oder durch Bohrungen hindurch.
- Notwendigkeit eines bündigen Einbaus.
- Erforderlicher geringster Abstand zwischen benachbarten Näherungsschaltern.

9.7.5 Umwelteinflüsse

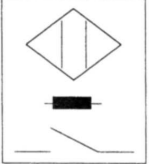
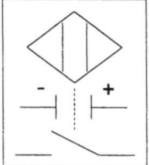
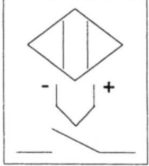
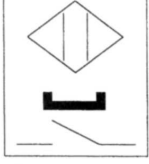
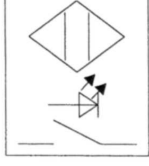
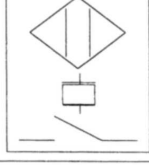
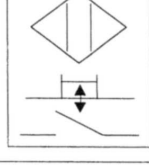
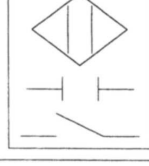
- Umgebungstemperatur
- Beeinflussung durch Staub, Schmutz, Feuchtigkeit, usw. (vgl. IP-Schutzklassen).
- Beeinflussung durch magnetische oder elektrische Felder, z.B. in Schweissumgebung.
- Beeinflussung durch optische Strahlung (Besonderheiten der Umgebungsbeleuchtung).
- Explosionsgefährdete Umgebung
- Einsatz unter Hochdruck- oder Vakuumbedingungen.

9.7.6 Näherungsschalterangebot

- Bauart/Bauform mit Abmessungen
- Spannungsversorgung
- Art des Schaltausgangs und Art der Schutzschaltungen.
- Anschluss: Kabel oder Stecker
- Schutzklasse
- Zulässige Umgebungstemperatur im Betrieb
- Verfügbare Spezial-Ausführungen z.B. eigensichere Ausführung
- Bereich des Schaltabstandes oder der Reichweite, fester oder einstellbarer Wert
- Nennschaltabstand bzw. Nennreichweite
- Schalthysterese
- Reproduzierbarkeit (Wiederholgenauigkeit, z.B. <0,2 mm)
- Maximale Betätigungsfrequenz (Schaltfrequenz)
- Maximaler Laststrom
- Bündige oder nichtbündige Einbaumöglichkeit
- Minimaler erforderlicher Abstand zu benachbarten gleichartigen Initiatoren
- Betriebsreservefaktor^{*1)} bei optischen Näherungsschaltern
- Verfügbare Lichtleiterausführungen für optische Näherungsschalter.
Verfügbares Zubehör für Reflex-Lichtschränken (Reflektoren, Abmessungen)
- Preise oder Preisklassen der Näherungsschalter

*1) Der Betriebsreservefaktor einer Lichtschranke ist eine Mass für das Verhältnis zwischen dem tatsächlich am Empfänger ankommenden Lichtes und dem minimal notwendigen Licht für ein sicheres Schalten der Geräte. In staubigen Umgebungen oder bei andersartig zu erwartender Verschmutzung der Sensoroptik sind hohe Betriebsreserven durchaus notwendig, ebenfalls bei Applikationen mit aufsteigenden Dämpfen oder leichten mechanischen Dejustagen der Sensoren.

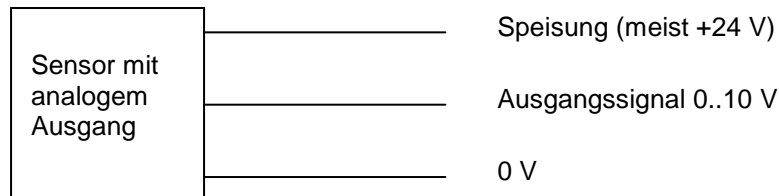
9.8 Übersicht, Symbole

Wirk- prinzip	Wirkungs- weise	reagiert auf	Schalt- abstand	Verwen- dung	Symbol
induktiv	Spulen mit Fe-Kern erzeugen ein elektromagnetisches Wechselfeld, das durch metallische Objekte beeinflusst wird.	elektrisch leitfähige Materialien	0,8 mm bis 250 mm	Abfrage und Erfassung von Kolbenstangen Werkstückträgern, Objekten	
galvanisch	Der elektrische Widerstand zwischen Elektroden hängt von der Konzentration der Ionen in der Flüssigkeit bzw. dem Gas ab.	Flüssigkeiten Gase	direkt	Rauchmelder	
thermo- elektrisch	Zunehmende elektrische Leitfähigkeit von Silizium-Kristallen bei steigender Temperatur.	Wärme	0 °C bis 1 300 °C	Glühofensteuerung	
magnetisch- induktiv	Annäherung eines Magneten ändert den Strom in der Sensorspule	Magnetfelder	direkt auf den Zylindermantel	Kolbensteuerung	
optisch	Durch Objekte hervorgerufene Helligkeitsänderung zwischen Sender und Empfänger führt zu einer Spannungsänderung im Sensor	verschiedene lichtundurchlässige Materialien	1 m bis 100 m	Lichtschraken aller Art. Problem bei hochtransparenten Objekten	
piezo- elektrisch	Quarkristalle geben unter Druck elektrische Ladung frei.	Druck, Kraft	direkt	Drucksensor Kraftsensor	
Ultraschall	Ausgestrahlter Schallimpuls wird vom Objekt reflektiert und erreicht nach entfernungsabhängiger Zeit den Sensor.	alle schallreflektierenden Materialien	0,1 m bis 6 m	Überwachung von Flächen und Objekten	
kapazitiv	Objekt im Feld des Kondensators ändert dessen Kapazität und damit seine Stromaufnahme	elektrisch leitende und nicht leitende feste und flüssige Stoffe	0,5 mm bis 60 mm	Füllstände von Flüssigkeiten, Schüttgütern, Erfassung von nicht metallischen Werkstoffen	

10. Analoge Sensoren

Häufig haben Sensoren als Ausgangssignal eine Spannung von 0 V bis 10 V für den vollen Messbereich.

Anschlüsse:



Weil Spannungssignale über längere Strecken aber störanfällig sind, werden als Ausgangssignale meistens eingeprägte Ströme verwendet.

Als Norm gelten **0..20 mA** oder auch **4..20 mA** (4 mA als "lebendes Null" oder "live zero"). Ströme als Ausgangssignale funktionieren meistens bis zu einem max. Widerstand von 500 Ω (sogenannte Bürde).

Anschlüsse:

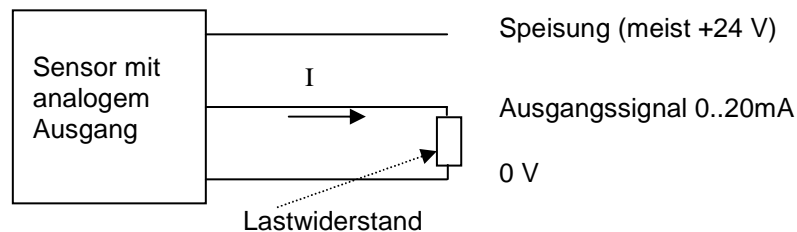
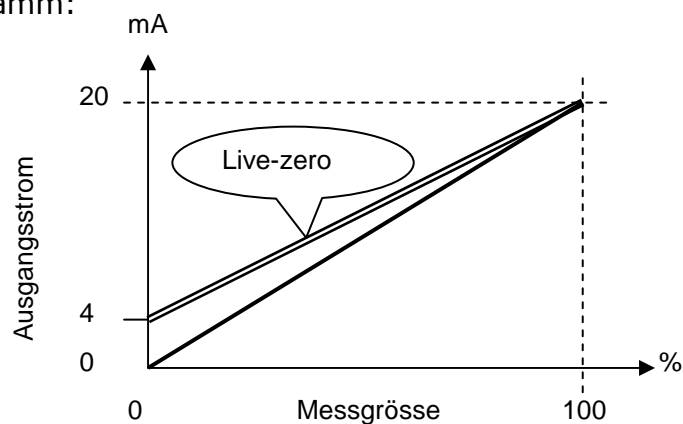


Diagramm:



Berechnungsbeispiel:

Ein Messumformer hat folgende Eichung: 0..100 °C = 4..20 mA. Der aktuelle Strom beträgt 7,68 mA. Welcher Temperatur entspricht das?

$$\vartheta = \frac{\vartheta_{max}}{\Delta I} \cdot (I - I_{offset}) = \frac{100\text{ }^{\circ}\text{C}}{16\text{ mA}} \cdot (7,68\text{ mA} - 4\text{ mA}) = \underline{\underline{23\text{ }^{\circ}\text{C}}}$$