



ifm electronic

**Optimierung und Lösung
von technischen Abläufen
durch Sensorik, Kommunikations-
und Steuerungssysteme**

Schulungsunterlagen

efector100[®]

Induktive Sensoren

Schulungsunterlagen Induktive Sensoren, V1.5

Hinweis zur Gewährleistung:

Sämtliche auf diesem Datenträger veröffentlichten Daten sind geistiges Eigentum der ifm bzw. wurden uns teilweise von Kunden oder Lieferanten zur exklusiven Nutzung überlassen. Wir weisen ausdrücklich darauf hin, dass jedwede Verwertung (insbesondere Vervielfältigung, Verbreitung und Ausstellung) sowie Bearbeitung oder Umgestaltung nur nach vorheriger schriftlicher Zustimmung durch ifm zulässig ist.

Diese Schulungsunterlagen wurden unter Beachtung der größtmöglichen Sorgfalt erstellt. Gleichwohl kann keine Garantie für die Richtigkeit und Vollständigkeit des Inhalts übernommen werden.

Da sich Fehler trotz intensiver Bemühungen nie vollständig vermeiden lassen, sind wir für Hinweise jederzeit dankbar.

ifm electronic gmbh, Abteilung VTD-STV, Teichstr. 4, 45127 Essen, Tel.: 0201/2422-0,

Internet: www.ifm.com

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	5
1.1	Nahrungsschalter in industriellen Prozessen	5
2	Grundlagen	7
2.1	Elektromagnetische Induktion	7
3	Eigenschaften induktiver Sensoren	10
3.1	Vergleich	10
3.1.1	Eingrenzung	10
3.1.2	Mechanische und elektronische Schalter	11
3.2	Technik und Funktionsprinzip	13
3.2.1	Elementarsensor induktiv	13
3.2.2	Signalerzeugung	15
3.2.3	Auswertung	16
3.2.4	17	
3.3	Praktischer Einsatz	18
3.3.1	Schaltabstand	18
3.3.2	Hysterese	23
3.3.3	Korrekturfaktoren	24
3.3.4	Schaltzeiten und Schaltfrequenz	28
3.3.5	Hinweise zum praktischen Einsatz	32
3.4	Montagehinweise	33
3.4.1	Bündig / Nicht bündig	33
3.4.2	Gegenseitige Beeinflussung	37
3.4.3	Mechanische Festigkeit	38
3.5	Technik und Funktionsprinzip K1, K0	39
3.5.1	Bezeichnungen	39
3.5.2	Konventioneller induktiver Sensor	40
3.5.3	Sensor mit $K = 1$	42
3.5.4	Sensor mit $K = 0$	45
4	Induktive Sensoren der ifm	45
4.1	Mechanische Eigenschaften	45
4.1.1	Aufbau allgemein	45
4.1.2	Zeitliche Entwicklung	46
4.1.3	Trennung der Komponenten	47
4.1.4	Anschluss	48
4.1.5	Modultechnik	49
4.1.6	Anwendung des efector _m	51
4.1.7	Fertigung des efector _m	52
4.2	Bauformen	53
4.3	Elektrische Eigenschaften	55
4.3.1	Wichtige Parameter	55
4.3.2	Übersicht	56
4.4	Schalter mit speziellen Eigenschaften	57
4.4.1	Einsatz in explosionsgefährdeten Bereichen	57
4.4.2	Schwenkantriebsschalter	58
4.4.3	Geräte mit Montagehilfe	59

4.4.4	Quadronormgeräte	59
4.4.5	Unipolare Geräte	60
4.4.6	Selbstüberwachende Bauformen	61
4.4.7	Schweißstromfeste Geräte	61
4.4.8	Geräte mit erhöhtem Schaltabstand	64
4.4.9	Gerät für überbündigen Einbau	65
4.4.10	Spezielle Korrekturfaktoren, K1, K0	66
4.5	Kriterien für die Praxis	68
5	Applikationsbeispiele	70
6	Anhang	73
6.1	Kleines technisches Lexikon	74
7	Typenschlüssel	79
8	Typenschild	82

1 Einleitung

1.1 Näherungsschalter in industriellen Prozessen

wozu?

In automatisierten Produktionsabläufen ist der Einsatz von Sensoren als Informationsgeber Voraussetzung. Sie senden die notwendigen Signale über Positionen, Endlagen, Füllstände, oder dienen als Impulsgeber. Ohne zuverlässig arbeitende Sensoren ist die beste Steuerung nicht in der Lage, Prozesse zu kontrollieren.

Generell bestehen all diese Sensoren aus zwei Komponenten: Die erste registriert die Änderung physikalischer Zustände (Elementarsensor), die zweite setzt die Signale des Elementarsensors in elektrische Ausgangssignale um (Signalverarbeitung).

Man unterscheidet allgemein zwischen so genannten binären Sensoren, die ein eindeutiges High-Low Signal schalten, und so genannten analogen Sensoren, die vorzugsweise in der Messtechnik zur Temperatur-, Weg-, Druck-, Kraftmessung usw. eingesetzt werden. Hierbei gibt der Sensor ein analoges Signal ab, welches zur Messung und Regelung weiter ausgewertet wird.

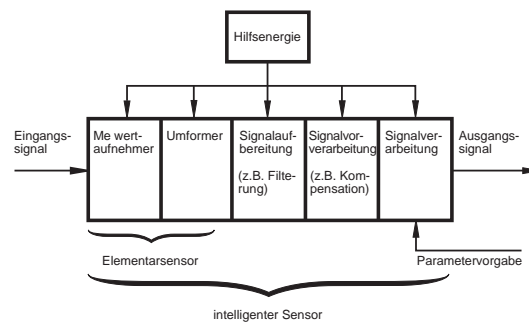


Abbildung 1: Struktur eines Sensors

Sensor

Die Abbildung zeigt das allgemeine Schema, das im Prinzip auf jeden Sensor zutrifft. Unterschiede gibt es nur im Detail, z. B. wenn einzelne Komponenten nicht vorkommen oder nicht zu trennen sind. Manchmal wird auch der Elementarsensor kurz als Sensor bezeichnet. Dann muss auf den Zusammenhang geachtet werden, ob das ganze Gerät oder der Elementarsensor gemeint ist. Manche Geräte bestehen auch aus getrennten Komponenten, z. B. NAMUR-Sensoren oder häufig auch Temperatursensoren. Hier wird der Messwertaufnehmer an eine separate Auswerte- oder Verstärkereinheit angeschlossen

intelligent

In Abbildung 1 ist der intelligente Sensor durch seine Kommunikationsfähigkeit charakterisiert. Diese Bezeichnung wird aber auch in einem anderen Sinne verwendet.

Ein Sensor, der nur eine binäre Information liefert,

Objekt erkannt, bzw.
Objekt nicht erkannt,

wird im Allgemeinen noch nicht als intelligent bezeichnet. Man spricht auch von einem intelligenten Sensor, wenn dieser in der Lage ist, zusätzliche Informationen zu liefern, z. B.:

Objekt sicher erkannt oder
Objekt unsicher erkannt.

binär und digital

Um Missverständnisse zu vermeiden soll der Unterschied noch kurz erläutert werden. Binär bedeutet, auch im ursprünglichen Sinne des Wortes "zweiwertig". Ein analoges Signal, das innerhalb gewisser Grenzen jeden beliebigen Wert annehmen kann, wird heute oft digitalisiert, damit es in elektronischen Steuerungen weiterverarbeitet werden kann.

Dazu dient ein AD-Wandler (Analog in Digital). Er teilt das analoge Signal in Schritte auf. Die Anzahl der Schritte ergibt sich aus der Anzahl der verwendeten Bits. Während ein Bit eben nur zwei Werte annehmen kann, ergeben sich bei 8 Bit schon 256, bei 10 Bit 1024 Schritte. Das wird auch als Auflösung bezeichnet.

Weniger als 8 Bit werden kaum verwendet, weil dann die Auflösung zu grob ist. Mehr als 12 Bit kommen auch selten vor, weil es keinen Sinn hat, wenn die Auflösung viel höher ist als die Messgenauigkeit.

Winkelcodierer sind ein Sonderfall. Sie liefern von vorneherein digitale Signale, siehe Schulungsunterlagen Drehgeber und Winkelcodierer.

In diesem Text werden vorzugsweise binäre Sensoren als Ersatz für mechanische Schalter behandelt. Er soll einen umfassenden Überblick geben über die Wirkungsweise, die Eigenschaften und die Kriterien für den Einsatz des induktiven Sensorsystems.

Weiterhin soll er über typische Anwendungen informieren und jeweils geeignete Bauformen aufzeigen, um damit dem Anwender die Auswahl des für ihn und für seinen Einsatzfall geeigneten Gerätes zu erleichtern. Für induktive Sensoren gibt es viele Namen: Näherungsschalter, Initiator, Induktivtaster, berührungsloser Positionsgeber; aber auch herstellertypische Namen wie z. B. efactor (eingetragenes Warenzeichen der Firma ifm electronic gmbh) werden verwendet.

Es soll sogar schon der Name "Schaltschraube" gefallen sein. Genormt ist jedoch der Begriff Näherungsschalter, der im Folgenden verwendet werden soll.

Im industriellen Einsatz hat sich vor allem ein System bewährt: Induktive Näherungsschalter. Diese Sensoren sind für die berührungslose Erfassung der verschiedensten leitfähigen Materialien geeignet.

Die ifm produziert seit über 30 Jahren berührungslos arbeitende Näherungsschalter. Im Jahre 2001 wurden über Millionen Stück hergestellt. Weltweit kann die gesamte Stückzahl auf gut das Dreifache geschätzt werden. Da die Geräte überall in Industriebetrieben eingesetzt werden, muss das wohl einen Grund haben. Was macht diese Geräte und speziell die efactoren so erfolgreich?

Der induktive Sensor widersteht am besten Störeinflüssen (siehe Schulungsunterlagen optoelektronische Sensoren). Viele Erfahrungen der vergangenen Jahrzehnte haben zu immer weiteren Verbesserungen geführt. Seit mehr als 20 Jahren gibt die ifm 5 Jahre Garantie auf Standardgeräte.

Ein vorher nicht gekanntes Maß an Zuverlässigkeit hat dazu geführt, dass der induktive Näherungsschalter in der aktuellen Technik den mechanischen Schalter weitgehend verdrängt hat. Außerdem erschließt er sich selber immer neue Felder von Applikationen, in denen früher ein hoher Automatisierungsgrad undenkbar war.

next generation

Am Anfang, als der elektronische Näherungsschalter eingeführt wurde, hat man ihn einfach als Ersatz für den mechanischen Schalter gesehen. Er hat diesen ja auch inzwischen abgelöst. Das heißt, Typen wurden entwickelt, produziert, kamen zum Anwender und dieser hat zurückgemeldet, wenn der Sensor bei seiner Applikation zusätzliche Eigenschaften benötigte. Nachdem nun viele Erfahrungen mit dem Einsatz der Geräte gesammelt wurden, kann ein anderer Standpunkt eingenommen werden. Man fragt zuerst: welche Eigenschaften benötigt ein Sensor in einer bestimmten Applikation?

gibt es dafür Beispiele?

Z. B. in der Lebensmittelindustrie muss mit folgendem gerechnet werden: Temperaturschocks (gekühlter Fruchtsaft - heiße Reinigungsflüssigkeit)

neue Reinigungsmittel (sollen selbständig in alle Ecken kriechen, um Ablagerungen, Rückstände zu entfernen, das heißt: hohe Ansprüche an die Dichtigkeit)

aggressive Medien (auch Fruchtsaft enthält Säuren!) Z. B. in der Metallbearbeitung

Kühlschmiermittel (immer weiter verbesserte Oberflächenbenetzung, das heißt: ebenfalls hohe Ansprüche an die Dichtigkeit, außerdem kann das Medium mit den Sensorwerkstoffen reagieren)

Um solchen Ansprüchen besser gerecht zu werden wurde als neue Generation der $efector_m$ entwickelt. Auf welche Weise speziell die oben genannten Bedingungen (Temperatur, Dichtigkeit, Werkstoffe) erfüllt werden, wird in 4.1 beschrieben.

2 Grundlagen

muss ich das wissen?

Viele Anwender setzen induktive Sensoren erfolgreich ein, ohne diese Grundlagen zu kennen. In den folgenden Kapiteln ist eine Reihe von Hinweisen für den praktischen Einsatz zu finden. Das Grundlagenwissen hilft dabei, solche Informationen zu strukturieren.

Das ist effektiver, als ein Dutzend Regeln auswendig zu lernen. Das Verständnis des Funktionsprinzips erleichtert auch die Übersicht über die Gerätetypen und deren Einsatz. Um als kompetenter Gesprächspartner mitreden zu können, ist ein Grundwissen erforderlich.

In diesem Kapitel soll also kurz auf die physikalischen Grundlagen eingegangen werden. Die Darstellung soll nicht zu umfangreich und theoretisch sein. Es wird versucht, sich auf die wesentlichen Informationen zu beschränken. Dazu muss auch gekürzt und vereinfacht werden.

Im Folgenden wird nun an einige Grundbegriffe erinnert, die ohne weitere Erklärung in 3.2 verwendet werden. Wem die Grundbegriffe geläufig sind, der kann diesen Abschnitt auch überspringen oder er springt bei Bedarf zurück hierher.

2.1 Elektromagnetische Induktion

Fluss

Wenn magnetische Feldlinien eine Fläche durchdringen, dann beschreibt man das als magnetischen Fluss Φ . Das soll hier nur im Sinne einer Dimensionsbetrachtung dargestellt werden. Dabei wird angenommen, das Magnetfeld sei homogen (überall in der Fläche gleich) und die Richtung überall senkrecht zur Fläche.

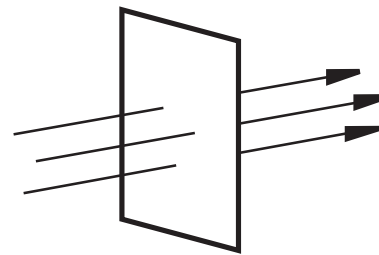


Abbildung 2: Magnetischer Fluss

$$\Phi = B A$$

$[\Phi] = 1 \text{ Wb} = 1 \text{ Weber} = 1 \text{ Vs}$, magnetischer Fluss

$[B] = 1 \text{ T} = 1 \text{ Tesla} = 1 \text{ Vsm}^{-2}$, magnetische Flussdichte, magnetische Induktion

$[A] = 1 \text{ m}^2$, Fläche

Es kann etwas verwirren, dass die Größe B selbst auch manchmal als magnetische Induktion bezeichnet wird. Das sollte nicht verwechselt werden mit dem Phänomen der Induktion.

Faraday

Der folgende Zusammenhang wurde zuerst von dem englischen Physiker Faraday entdeckt und beschrieben. Es wird daher als Faradaysches Induktionsgesetz bezeichnet. Es ist eine der Grundlagen der gesamten Elektrotechnik. Wichtige Anwendungen sind z. B. Generator, Transformator, und die Wirbelstrombremse. Der Sensor bremst aber Objekte nicht ab, seine Wirkung beruht aber auch auf Wirbelströmen.

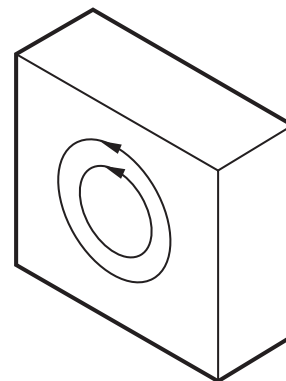


Abbildung 3: Wirbelströme

(1)

$$U = - \Delta\Phi/\Delta t$$

$[U] = 1 \text{ V}$, elektrische Spannung

$[\Phi] = 1 \text{ Wb} = 1 \text{ Weber} = 1 \text{ Vs}$, magnetischer Fluss

$[t] = 1 \text{ s}$, Zeit

Es kommt auf die zeitliche Änderung des magnetischen Flusses an. Das erklärt auch die Bedeutung des Wechselstroms. Ein Transformator z. B. kann nur bei Wechselstrom verwendet werden. Die induzierte Spannung ist umso größer, je größer die Änderung des Flusses in einem Zeitintervall ist, d. h. je schneller er sich ändert.

Sie tritt immer auf, selbst im Vakuum, aber kann natürlich nur einen Strom erzeugen, wenn bewegliche Ladungen vorhanden sind. In der Fläche von kann also ein Wirbelstrom entstehen, wenn man sie sich als ein Plättchen aus leitendem Material vorstellt. Daraus kann man wichtige Konsequenzen für die Praxis ziehen:

entscheidend ist die Leitfähigkeit
Magnetisierbarkeit kann als weiterer Effekt dazu kommen

Energie

Wenn elektrischer Strom durch einen Leiter fließt, dann entsteht Wärme (abgesehen vom Supraleiter). Woher kommt sie? Das kann man sich z. B. beim Generator klar machen. Man muss ständig Arbeit leisten, wenn ständig Energie geliefert werden soll. Wenn man einem Transformator auf der Sekundärseite viel Energie entzieht, im Extremfall beim Kurzschluss, dann muss diese von der Primärseite geliefert werden.

Wird auf der Primärseite der Strom begrenzt, dann sinkt die Spannung auf die Kurzschlussspannung ab. Dieser Effekt wird auch beim induktiven Sensor ausgenutzt (siehe 3.2), auch wenn nur so geringe Energiemengen im Spiel sind, dass die durch die Wirbelströme erzeugte Wärme praktisch nicht messbar ist.

Lenz

Damit ist keine Jahreszeit gemeint. Mit diesem Namen verknüpft ist eine anschauliche Deutung des negativen Vorzeichens, bekannt als Lenz'sche Regel. Sie besagt, dass die Wirkung der Induktion stets ihrer Ursache entgegengerichtet ist. Damit kann man leicht den nächsten Absatz verstehen.

Skin-Effekt

Z. B. beim Wirbelstrom, der in einem leitenden Plättchen erzeugt wird, tritt der Skin Effekt auf. Wenn die Fläche und die Richtungen fest bleiben, dann kann es nur noch die Änderung der magnetischen Flussdichte B sein, welche die Spannung induziert. Im Leiter entstehen dann die Wirbelströme. Nun haben aber stromdurchflossene Leiter auch ein Magnetfeld. Das heißt, zum Wirbelstrom gehört ebenfalls eine magnetische Flussdichte. Wie hängt dieses "induzierte" B mit dem erzeugenden zusammen? Die Antwort liefert die Lenz'sche Regel: es ist entgegengerichtet. Das Magnetfeld wird also geschwächt, am Eindringen in den Leiter gehindert. Es bleibt an der Oberfläche, in der "Haut" (engl. skin). Das erklärt auch, dass hochfrequente Ströme bekanntlich nicht im Inneren sondern an der Oberfläche von Leitern fließen. Dieser Effekt hat auch Auswirkungen auf die Erfassung dünner Folien durch induktive Näherungsschalter (siehe 3.2).

wo sind die Fluide?

Es fällt auf, dass für viele Größen Bezeichnungen verwendet werden, die sonst bei Fluiden vorkommen, z, B "Fluss". Obwohl beim magnetischen Fluss nichts fließt, wird hier das gleiche gedankliche Modell verwendet. Das heißt, es genügt, einmal die Grundlagen verstanden zu haben, um viele verschiedene Phänomene zu verstehen. Besonders deutlich wird das beim Wirbelstrom. Hier "fließen" ja tatsächlich Ladungen. Die elektrische Stromstärke entspricht dem Fluss. In den Unterlagen für die Fluidsensorik, für Strömung, Druck und Füllstand, werden diese Begriffe etwas ausführlicher erläutert, weil sie dort am anschaulichsten sind.

ist das alles?

Diese Grundlagen reichen aus, um den induktiven Näherungsschalter zu verstehen. Der Rest ist "nur" Technik. Die Tücke steckt auch hier wieder im Detail. Es gehört viel Know-how dazu, das in Jahrzehnten erworben wurde, um mit diesem Prinzip einen Sensor zu bauen, der am besten von allen Typen Störeinflüssen widersteht (siehe Schulungsunterlagen optische Sensoren).

Wie immer ist die Kenntnis der Grundlagen kein Selbstzweck sondern erleichtert das Verständnis der Eigenschaften des Sensors, die für den praktischen Einsatz von Bedeutung sind. Das betrifft z. B. die Erfassung dünner Folien, die Erfassung kleiner oder unregelmäßig geformter Objekte, die Erfassung von Objekten mit unterschiedlicher Leitfähigkeit usw.

3 Eigenschaften induktiver Sensoren

3.1 Vergleich

3.1.1 Eingrenzung

Positionssensor

Dieser Sensor gehört zur Gruppe der Positionssensoren. Zu dieser Gruppe gehören z. B. auch der optoelektronische oder der kapazitive Sensor. Auswahlkriterien um den geeigneten Positionssensor zu ermitteln, werden in den Schulungsunterlagen optoelektronische Sensoren, Kriterien für die Auswahl eines induktiven Näherungsschalters in den folgenden Kapiteln behandelt (siehe z. B. 3.3.5).

Eine andere Gruppe bilden z. B. die Fluidsensoren. Diese Gruppen lassen sich nicht scharf trennen; die Übergänge sind fließend. So werden z. B. kapazitive Sensoren mit binärem Ausgang häufig zur Überwachung des Füllstands von Fluiden eingesetzt. Da es sich letztlich doch um eine Position handelt, können sie noch zu den Positionssensoren gezählt werden.

Alternativen

Die Kriterien, nach welchen ein Positionssensor für eine bestimmte Aufgabenstellung ausgewählt wird, werden in den oben erwähnten Unterlagen beschrieben. Meßsysteme für Längen bzw. Abstände sind keine echte Alternative zu induktiven Näherungsschaltern, weil hier die Aufgabenstellung eine andere ist.

Der induktive Sensor als binärer Sensor (dieser Punkt wird im weiteren Text noch ausführlich erörtert) hat praktisch als einzige Alternative den mechanischen Positionsschalter. Darauf wird in 3.1.2 ausführlich eingegangen.

binär

Der induktive Näherungsschalter wird in der Regel als binärer Positionssensor eingesetzt (siehe 1.1). Die externe Auswertung des Analogsignals des Messwertgebers ist nur in Spezialfällen sinnvoll. Um dieses Signal zu einer Abstandsmessung einsetzen zu können, müssen stark einschränkende Bedingungen beachtet werden.

Es muss z. B. vorausgesetzt werden, dass immer das gleiche Objekt oder wenigstens ein genau gleichartiges erfasst werden soll. Außerdem muss es sich dem Sensor immer auf die gleiche Weise nähern, das heißt, es muss mechanisch präzise geführt werden (siehe 3.3.2 und Abbildung 21). Die ifm bietet keinen induktiven Näherungsschalter mit einem Analogausgang als Standardgerät an.

3.1.2 Mechanische und elektronische Schalter

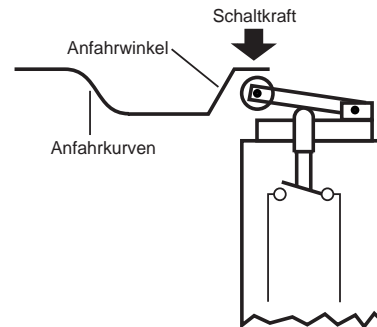


Abbildung 4: Mechanischer Schalter schematisch

Folgende Abbildung zeigt ein Beispiel für einen mechanischen Endschalter.

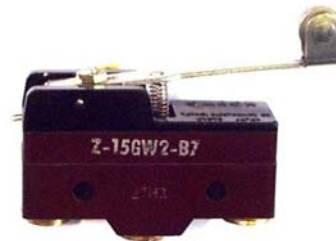


Abbildung 5: Mechanischer Endschalter

Vergleicht man einen induktiven Sensor mit seinem möglichen Konkurrenten, einem mechanischen Endschalter, so ergeben sich für den mechanischen Endschalter folgende Merkmale:

- Für die Betätigung wird eine Schalkraft benötigt
- Mechanische Berührung ist erforderlich
- Nur niedrige Schaltfrequenzen realisierbar
- Berechnung von Anfahrwinkel und -weg notwendig
- Verschleiß bei den mechanisch bewegten Teilen
- Veränderung der Schaltpunkte durch Verschleiß
- Übergangswiderstände der Kontakte ändern sich
- Lebensdauer wird durch Schalthäufigkeit begrenzt
- Kontaktprellen führt zu unsauberem Signal
- Wegen des Kontaktwiderstands ist ein bestimmter Mindeststrom notwendig
- Hohe Anfälligkeit gegen Verschmutzung und Feuchtigkeit
- auch leichte Verschmutzung führt zu Abbrand

Für unterschiedliche Einsatzfälle (z. B. Annäherung von vorn oder von der Seite) sind u. U. völlig verschiedene Bauformen oder völlig verschiedene Abtastorgane (Rollen, Stößel, Hebel usw.) notwendig

Dagegen ergeben sich beim Näherungsschalter, der berührungslos die Annäherung von Gegenständen in Schaltsignale übersetzt, folgende Merkmale:

- Die abzutastenden Gegenstände werden in ihrer Bewegung nicht behindert
- Kurze Ansprech- und Schaltzeiten
- Hohe Schaltfrequenzen
- Kein Verschleiß, keine Veränderung der Schaltpunkte
- Keine Einschränkung der Lebensdauer durch Anzahl der Schaltspiele
- Kein Ausfall durch verschmutzte oder korrodierte Kontakte
- Kein Kontaktprellen, da elektronischer Ausgang (Transistor, Thyristor, Triac), das heißt kontaktloser Ausgang
- Signale eignen sich zur Weiterverarbeitung in elektronischen Schaltungen
- Anfahrkurve muss nicht berechnet werden
- Nur eine Bauform für unterschiedliche Bewegungen

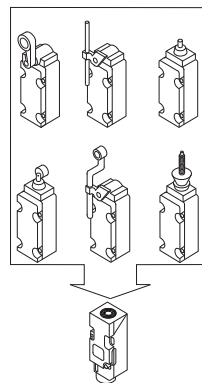


Abbildung 6: Ersatz für unterschiedliche Bauformen

- Sehr kleine Bauformen realisierbar
- Unempfindlich gegen Feuchtigkeit, Staub, Öl usw.

Die Unterschiede im Schaltverhalten verdeutlichen die folgenden Abbildungen:

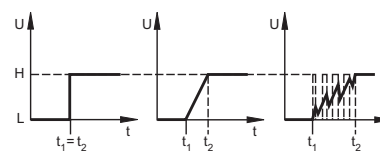


Abbildung 7: Schaltverzögerungszeiten

idealer Schalter
kein Zeitverzug

Näherungsschalter
schaltet im μs -Bereich

Mechanischer Schalter
höhere Verzögerung
schaltet im ms-Bereich
zusätzlich Kontaktprellen

Man erkennt sofort, welche der beiden Möglichkeiten dem Schaltverhalten des idealen Schalters (d. h. Low-High Wechsel ohne Zeitverzögerung) am nächsten kommt. Der berührungslose Näherungsschalter (efector) erfüllt die Aufgabe fast perfekt und bietet das leichter und sicherer auswertbare Signal.

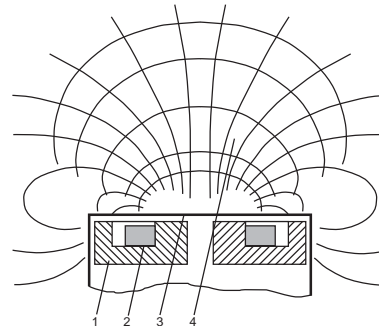
Vergleicht man alle Merkmale, so erkennt man deutlich, dass es sich bei allen Punkten des induktiven Näherungsschalters um Vorteile gegenüber dem mechanischen Endschalter handelt, so dass der Einsatz von berührungsloser Sensorik für den Anwender in jedem Fall einen Pluspunkt - einen Vorteil - bedeutet. Es ergibt sich eine Erhöhung der Zuverlässigkeit seiner Anlage bei Senkung der Betriebskosten und damit eine größere Wettbewerbsfähigkeit.

3.2 Technik und Funktionsprinzip

3.2.1 Elementarsensor induktiv

Streufeld / Resonanzschwingkreis

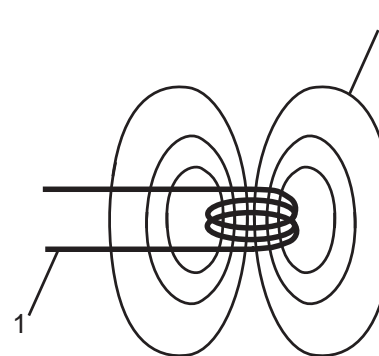
Ein LC-Schwingkreis erzeugt ein elektromagnetisches Wechselfeld mit einer Frequenz zwischen 100 kHz und 1 MHz. In diesem Zusammenhang ist das Magnetfeld von Bedeutung; zu seiner Erzeugung ist im Prinzip jede Luftspule geeignet.



1: Ferritkern; 2: Spule; 3: Gehäuse; 4: Magnetfeld

Abbildung 8: Streufeld eines induktiven Sensors

Im Folgenden soll der Sensor schrittweise aufgebaut werden: von der Spule zum Sensor.



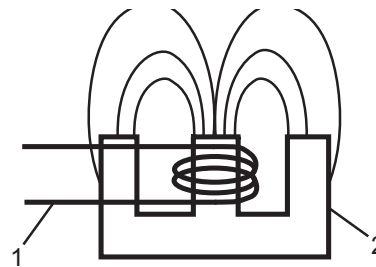
1: Spule; 2. Elektromagnetisches Streufeld

Abbildung 9: Feld einer Spule

Spule mit Kern

Man erkennt, dass das Feld ohne jede Vorzugsrichtung symmetrisch zur Spule aufgebaut ist. In der Praxis wird jedoch keine Luftspule eingesetzt, sondern man versucht, dem Magnetfeld durch ein hochpermeables Ferritmaterial eine Vorzugsrichtung zu geben.

Durch den Einbau der Spule in einen Ferritkern wird das Magnetfeld der Spule auf den Bereich vor dem Sensor konzentriert, d. h. in diesem Bereich wird der Sensor besonders empfindlich. Der Feldverlauf ist ganz ähnlich wie beim Hubmagneten, nur dass bei diesem ein statisches Feld erzeugt wird.

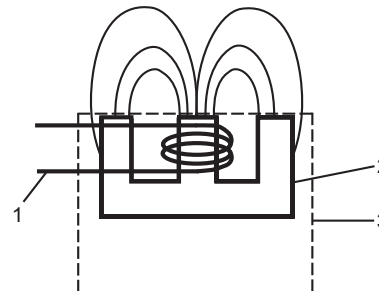


1: Spule; 2: Ferritkern

Abbildung 10: Spule mit Kern

Abschirmung

Sind Spule und Schalenkern zusätzlich von einer metallischen Abschirmung umgeben, so ist das Magnetfeld ausschließlich auf den Bereich vor dem Sensor begrenzt. Damit kann ein solcher Sensor seitlich uneingeschränkt von Metall umgeben sein, es beeinflusst sein Schaltverhalten in keiner Weise. Diese Sensoren sind für bündigen Einbau geeignet (siehe 3.4.1).



1: Spule; 2: Ferritkern mit äußerem Metallring; 3: Gehäuse;

Abbildung 11: Spule mit Abschirmung

Gelangt elektrisch leitfähiges Material in das so geformte magnetische Wechselfeld, so entstehen nach dem Induktionsgesetz im Material Wirbelströme, die dem LC-Schwingkreis des Sensors Energie entziehen.

Dieses System kann man mit einem Transformator vergleichen, wobei die Primärwicklung durch die Spule, die Sekundärwicklung und der Verbraucher durch den elektrisch leitfähigen Gegenstand dargestellt werden. Die Kopplung zwischen Primär- und Sekundärspule geschieht über das Streufeld, d. h. es handelt sich im Prinzip um einen Lufttransformator.

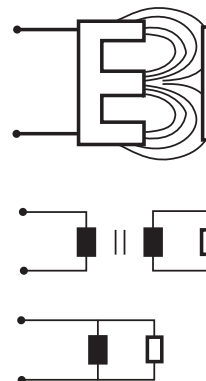


Abbildung 12: Ersatzschaltbild

Die Größe der auftretenden Wirbelstromverluste hängt von einer Reihe von Faktoren ab:

Abstand und der Lage des Gegenstandes vor dem Näherungsschalter
Abmessungen des Gegenstandes und seiner äußeren Form
elektrische Leitfähigkeit und seiner Permeabilität.

Das heißt: schon beim binären Sensor hängt der Abstand, in dem dieser seinen Schaltzustand ändert von allen diesen Faktoren ab (vgl. 3.3.1). Darin liegt der Grund, warum Näherungsschalter in der Regel als binäre Sensoren ausgelegt sind. Ein analoges Ausgangssignal eignet sich nur in geringerem Maße für beispielsweise eine Abstandsmessung.

3.2.2 Signalerzeugung

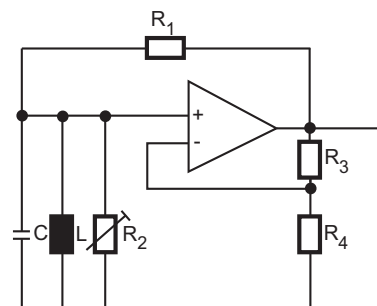


Abbildung 13: Oszillatorschaltung schematisch

Oszillatorschaltung

Gemäß dem Schaltbild können die Wirbelstromverluste dadurch berücksichtigt werden, dass der Widerstand R2 in der Oszillatorschaltung verändert wird. Wird der Gegenstand nun soweit angenähert, dass Gleichung

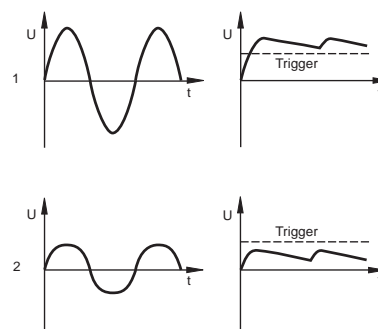
$$\frac{R_1}{R_2} \leq \frac{R_3}{R_4}$$

nicht mehr erfüllt ist, kann der Operationsverstärker nicht mehr so viel Energie zur Verfügung stellen, wie zur Aufrechterhaltung der vollen Schwingung benötigt wird, und die Oszillation wird gedämpft oder bricht völlig zusammen. Die Schaltung stellt also einen funktionsfähigen induktiven Sensor dar, der die beiden Zustände

Gegenstand außerhalb der kritischen Entfernung = Oszillator schwingt mit großer Amplitude und

Gegenstand innerhalb der kritischen Entfernung = Oszillator schwingt mit geringer Amplitude oder gar nicht

in ein leicht auswertbares elektrisches Signal umsetzt.



Sensor nicht bedämpft - oben; bedämpft - unten

Abbildung 14: Bedämpfung

was bedeutet "bedämpft"?

Man sagt auch häufig: "der Sensor ist bedämpft", was mit dem hier beschriebenen Hintergrund besser zu verstehen ist.

Selbstverständlich sind auch andere Auswertverfahren denkbar. So kann die Induktivitätsänderung detektiert oder die Schwingkreisgüte auf anderem Wege gemessen werden. Das oben dargestellte Verfahren hat sich jedoch bisher in der Praxis als das Geeignetste erwiesen. Um spezielle Eigenschaften zu realisieren, wird auch davon abgewichen, siehe 3.5.

Widerstandskennlinie

In der folgenden Abbildung ist die Energieaufnahme im detektierten Gegenstand zusammengefasst als eine scheinbare Widerstandsänderung im Schwingkreis. Wie man leicht sieht, ist dieser Zusammenhang stark nichtlinear. Das bestätigt, dass ein induktiver Näherungsschalter nur sehr bedingt dazu geeignet ist, ein abstandsproportionales Signal abzugeben. Deswegen liegt sein Haupteinsatzgebiet im Bereich eines binären Schalters.

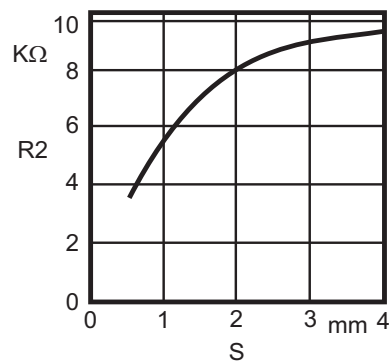


Abbildung 15: Widerstandskennlinie

Funktionsprinzip

Da der vom Objekt bewirkte Energieverlust hier mit Hilfe eines Schwingkreises bestimmt wird, kann man das Funktionsprinzip folgendermaßen zusammenfassen. Induktive Näherungsschalter nutzen den physikalischen Effekt der Güteänderung eines Resonanzschwingkreises, der durch Wirbelstromverluste in elektrisch gut leitfähigen Materialien hervorgerufen wird

3.2.3 Auswertung

Zunächst muss die in der Schwingungsamplitude enthaltene Information in ein Schaltsignal übersetzt werden. Dies erfolgt durch die Gleichrichtung und Glättung der Schwingung (Demodulation). Dieses Signal wird einer Schmitt-Trigger-Stufe zugeführt. Damit wird erreicht, dass nur einer von den zwei möglichen Schaltzuständen "Strom fließt" oder "Strom fließt nicht" eingenommen werden kann.

Signalverarbeitung / Endstufe

Auf den Elementarsensor, der bereits Bestandteil der Oszillatorschaltung ist, folgen weitere Stufen, die das Signal auswerten. Sie sind im folgenden Blockschaltbild zu erkennen. Ein Vergleich mit den Schulungsunterlagen kapazitive Sensoren macht deutlich, dass induktive und kapazitive Sensoren elektronisch ähnlich aufgebaut waren; Unterschiede bestanden in folgenden Punkten:

- Art des Elementarsensors
- Art der Schwingung und Einstellmöglichkeit bei kapazitiven Geräten.

- Nur bei wenigen speziellen induktiven Sensoren (große Bauformen) ist die Empfindlichkeit einstellbar.
- Die neue Generation der kapazitiven Sensoren arbeitet nach einem anderen Prinzip.

3.2.4

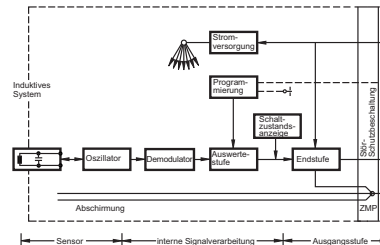


Abbildung 16: Blockschaltbild

Eindeutigkeit

Befindet sich aber ein Objekt exakt in diesem Schaltpunkt oder nähert es sich diesem langsam ("schleichend"), dann besteht die Gefahr, dass der Schaltausgang ständig zwischen den beiden Zuständen hin und her pendelt, man bekäme ein so genanntes Ausgangsflattern. Dies wird durch eine eindeutig definierte Hysterese verhindert, die elektronisch erzeugt wird (siehe 3.3.2).

Zeitverhalten

Weiterhin muss durch schaltungstechnische Maßnahmen sichergestellt werden, dass im Moment des Anlegens der Betriebsspannung kein fehlerhaftes Schaltsignal ausgegeben wird, es muss eine Einschaltimpulsunterdrückung gewährleistet sein. Die Zeit, die vergeht zwischen dem Anlegen der Betriebsspannung und der vollen Betriebsbereitschaft des Sensors heißt Bereitschaftsverzögerungszeit und liegt im Millisekundenbereich. Gelegentlich kommen hier Verwechslungen vor. Sie ist nicht mit der Schaltzeit gleichzusetzen (siehe 3.3.4 oder Abbildung 24). Diese ist erheblich kürzer. Eine weitere Größe ist die Reaktionszeit, d. h. die Zeit, die vergeht zwischen dem Vorhandensein des Objekts und dem Schalten des Ausgangs. Diese hängt mit der Schaltfrequenz zusammen (siehe 3.3.4) und ist auch kürzer.

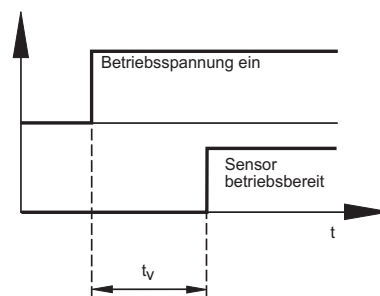


Abbildung 17: Bereitschaftsverzögerungszeit

Schaltfunktion

Bei vielen Geräten kann zusätzlich die Schaltfunktion Schließer oder Öffner gewählt werden. Bei den früheren Geräten wurde das auch als Programmierung bezeichnet, selbst wenn dazu einfach eine Drahtbrücke aufgetrennt werden muss.

Ausgang

Zum Schalten des Ausgangssignals haben sich auf dem Markt Halbleiterschalter, wie Transistoren und Thyristoren durchgesetzt. Sie bieten hinsichtlich der Lebensdauer, der Zahl der zuverlässigen Schaltspiele, der Schaltfrequenz und des prellfreien Schaltverhaltens eindeutige Vorteile gegenüber mechanischen Schaltern.

Die geringen Nachteile, nämlich Leckstrom im ausgeschalteten Zustand, Spannungsfall im durchgeschalteten Zustand und höhere Empfindlichkeit gegenüber Überspannung und Überströmen (siehe Schulungsunterlagen Anschlusstechnik), können in der Regel toleriert oder durch geeignete Schutzmaßnahmen weitgehend vermieden werden.

Die Blockschaltbilder stellen das allgemeine Prinzip dar. Bei speziellen Typen gibt es auch Besonderheiten, z. B. eine zweite LED als Montagehilfe oder die Einstellmöglichkeit über ein Potentiometer.

3.3 Praktischer Einsatz

3.3.1 Schaltabstand

was ist das?

Auf den ersten Blick scheint das ganz einfach zu beantworten. Bei näherer Betrachtung zeigt sich jedoch, dass es sich um einen Schlüsselbegriff zum richtigen Verständnis handelt. Induktive Näherungsschalter arbeiten berührungslos, man muss mit dem zu erfassenden Objekt nur in die Nähe des Sensors kommen. Was heißt aber in die Nähe kommen? Dieser Abstand, bei dem ein Näherungsschalter in der Lage ist, einen Gegenstand sicher zu detektieren, heißt Schaltabstand. Er hängt ab von

- der Art und der Bauform des Sensors, das heißt vom Typ,
- den spezifischen Eigenschaften des verwendeten Exemplars,
- äußeren Bedingungen,
- Form, Abmessung und Materialeigenschaften der zu erfassenden Objekte.

Bemessungsschaltabstand (s_n)

Zu jedem Typ gibt es dafür eine charakteristische Größe, den Bemessungsschaltabstand, der auch auf dem Typenschild zu finden ist. Er hängt bei induktiven Systemen ab von der Spule, der Form und den Abmessungen des Ferritschalenkerns und dem Aufbau des Sensorkopfes, des Elementarsensors.

Als Faustregel kann gelten, dass der Schaltabstand um so größer ist, je größer die äußeren Abmessungen des Sensors sind. Die Werte liegen etwa zwischen 1 bis 60 mm. Bei speziellen Typen kann er auch 100 mm betragen. Statt dieser in der Norm (IEC 60947-5-6) festgelegten Bezeichnung wird auch vom Nennschaltabstand s_n gesprochen.

was bedeutet "Bemessungs-".?

Diese Bezeichnung weist darauf hin, dass diese Größe nicht absolut genommen werden kann sondern Interpretiert werden muss. Wie hängt der tatsächliche Schaltabstand mit dem Bemessungsschaltabstand zusammen? Anders gefragt: wovon hängt der Schaltabstand ab? Es gibt eine Reihe von Einflüssen.

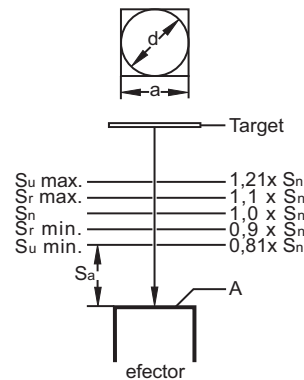
Verschiedene Exemplare des gleichen Typs können nicht völlig identisch sein. Das heißt, dass mit Exemplarstreuungen zu rechnen ist. Außerdem ist der Sensor wechselnden Umgebungsbedingungen, z. B. Temperaturänderungen, Schwankungen der Betriebsspannung usw., ausgesetzt.

Objekte, die sich in der Nähe des Sensors befinden, die aber nicht Gegenstand der Detektion sind, z. B. feststehende Anlagenteile, können ebenfalls den Schaltabstand beeinflussen (vgl. 3.4.1). Schließlich müssen die Eigenschaften der Objekte berücksichtigt werden. Die Auswirkung dieser Einflüsse wird im Folgenden genauer erläutert.

Norm

Um vergleichbare Messergebnisse des Schaltabstandes zu erreichen, ist für induktive Näherungsschalter ein Normmessverfahren vorgeschrieben. Diese Meßmethode ist in der IEC 60947-5-2, früher in der europäischen Norm EN 50 010, festgelegt.

Sie definiert eine Normmessplatte mit quadratischer Abmessung und einer Dicke von 1 mm. Für die Kantenlänge a der Messplatte gilt, dass sie mindestens dem Durchmesser der aktiven Fläche des Sensors entspricht oder dem Dreifachen des Bemessungsschaltabstandes des Sensors, falls dieser Wert größer ist. Als Material für die Messplatte ist Stahl (St 37) vorgeschrieben.



s_n : Bemessungsschaltabstand; s_r : Realschaltabstand; s_u : Nutzschaltabstand; s_a : Arbeitsschaltabstand (sicher eingeschaltet!); A: aktive Fläche; $a = d$: Durchmesser der aktiven Fläche oder $a = 3 \times s_n$, wenn dieser Wert größer ist; Target: Material: St37, 1 mm dick

Abbildung 18: Normmessverfahren des Schaltabstands

Mit dieser Messung erhält man aber nur den Schaltabstand eines typischen Einzelexemplars unter festgelegten Umgebungsbedingungen. Die Norm schreibt daher dem Hersteller feste Grenzwerte vor, die alle Geräte unter Änderung der Umgebungsbedingungen und bei Exemplarstreuungen einhalten müssen.

Exemplarstreuung

Im Datenblatt und auf dem Typenschild angegeben ist der Bemessungsschaltabstand s_n , ein reiner Kennwert. Hierbei sind weder Fertigungsabweichungen noch Streuungen durch Temperatureinflüsse und Spannungsänderungen berücksichtigt. Aussagekräftiger ist schon der Realschaltabstand s_r .

Hierbei werden die Bauteile- und Fertigungstoleranzen berücksichtigt. Der Realschaltabstand wird bei Bemessungsspannung und einer Umgebungstemperatur von 23° C ermittelt. Er darf um bis zu 10% vom Bemessungsschaltabstand abweichen. Hiermit werden die typischen Exemplarstreuungen erfasst. Das wird natürlich bei qualitativ hochwertigen Sensoren nicht voll ausgeschöpft.

Bei der Fertigung der efectoren werden die Bauteiletoleranzen dadurch minimiert, dass jede fertige Schaltung präzise auf den Schaltabstand abgestimmt wird. In der Praxis hat es sich als vorteilhaft erwiesen, wenn s_r leicht unter s_n liegt. Bei einem efector mit einem s_n von 10 mm wird z. B. s_r bei ca. 9,8 mm liegen.

Umgebungseinflüsse	<p>Des weiteren darf jeder Näherungsschalter zusätzlich in seinem Schaltabstand um maximal 10% vom Realschaltabstand streuen, z. B. bei Änderungen der Spannung und der Temperatur über seinen gesamten im Datenblatt garantierten Temperatur- und Spannungsbereich sowie Einbauumgebungen.</p> <p>Da jedes elektronische Bauteil seine Eigenschaften mit der Temperatur ändert, ist diese Forderung schwerer zu erfüllen. Die größten Anforderungen stellt der bündig einbaubare Typ (siehe 3.4.1). Sie zu erfüllen gelingt nur durch sorgfältige Auswahl der Komponenten und einen daraufhin optimierten Aufbau der Schaltung.</p>
Nutzschaftabstand s_u	<p>Der so gewonnene Schaltabstand wird als Nutzschaftabstand s_u bezeichnet; er liegt zwischen dem 0,9-fachen und 1,1-fachen des Realschaftabstandes. Betrachtet über alle Exemplare und Betriebsbedingungen ergibt sich der Nutzschaftabstandsbereich vom 0,81-fachen bis zum 1,21-fachen des Bemessungsschaftabstandes.</p> <p>Für den Anwender wichtig und interessant ist hierbei die Untergrenze - also $0,81 s_n$. Bei einem Bemessungsschaftabstand von z. B. 10 mm ergäben sich hier noch 8,1 mm Schaltabstand unter extrem schlechten Bedingungen. Damit ist der für den Anwender mindestens erreichbare gesicherte Schaltabstand s_a angegeben.</p> <p>Bei diesem gesicherten Schaltabstand muss jeder Näherungsschalter zuverlässig funktionieren (bezogen auf die Normbedämpfungsfahne).</p>
obere Grenze	<p>Die obere Grenze, das 1,21-fache des Bemessungsschaftabstandes ist auch von Bedeutung, z. B. um Störungen durch Gegenstände in größerer Entfernung zu vermeiden. Ein Objekt in einem größeren Abstand dämpft die Schwingung auch schon etwas, siehe den Punkt "Vorbedämpfung" weiter unten.</p> <p>Dass ein solches Objekt den Schaltzustand beeinflussen kann, wird deutlich, wenn man die Hysterese von maximal dem 0,2-fachen des Realschaftabstandes berücksichtigt (siehe 3.3.2). Jeder Näherungsschalter muss demnach erst beim 1,43-fachen des Bemessungsschaftabstandes sicher ausschalten.</p>
Temperaturänderungen	<p>Wie ändert sich der Schaltabstand durch äußere Einflüsse, z. B. Temperaturänderung? Es lässt sich keine allgemeine Regel angeben. Der Einfluss hängt von der Bauform, der Auslegung der Schaltung, den Eigenschaften der Bauteile usw. ab. Der häufigere Fall ist, dass sich der Schaltabstand erhöht.</p> <p>Das kann dann zu Problemen führen, wenn dadurch weiter entfernte Objekte erfasst werden, die sich also nicht im normgemäßen Abstandsbereich befinden. Der Ausgang kann dann durchschalten und in diesem Zustand bleiben. Selbst wenn der Sensor in Bereichen außerhalb des spezifizierten Bereichs betrieben wird, z. B. bei -40°C oder bei 100°C, ist nicht zu erwarten, dass er gleich zerstört wird. Es ist aber damit zu rechnen, dass sich der Schalterpunkt verschiebt.</p> <p>Ungünstiger wirken sich auf die Lebensdauer des Sensors häufige krasse Temperaturwechsel aus. Dadurch können mechanische Spannungen zwischen den unterschiedlichen Materialien, die beim Aufbau der Schaltung verwendet wurden, auf Grund der unterschiedlichen thermischen Ausdehnung entstehen. Die neuen Geräte des Typs $efector_m$ (siehe 4.1.5) widerstehen erheblich besser selbst krasse Temperaturschocks. Die Testmethode für diese Eigenschaft wird in 4.1.6 beschrieben.</p>
<i>wie genau ist der Sensor?</i>	<p>Man kann die große Spanne der zulässigen Toleranzen von</p>



$$0,81 s_n < s < 1,21 s_n$$

nicht so interpretieren, dass der induktive Näherungsschalter recht ungenau ist, weil der Schaltabstand großen Schwankungen unterworfen ist. Zunächst kann kein einzelner Sensor den ganzen Toleranzbereich ausfüllen. Beispielsweise ist bei Temperaturänderungen im angegebenen Bereich mit einer Veränderung des Schaltpunktes um die in der Norm festgelegten 10% zu rechnen. Erst wenn der Sensor durch ein anderes Exemplar des gleichen Typs ersetzt wird, ist die Exemplarstreuung zu beachten. Das heißt, wenn es auf große Genauigkeit ankommt, dann ist der Sensor gegebenenfalls neu zu justieren.

In der Praxis ergeben sich aber selten solche Probleme, weil die erreichbare Genauigkeit durch andere Einflüsse, z. B. mechanische Verformungen, Vibrationen und dergleichen beschränkt ist.

Beispiel

Zum besseren Verständnis soll kurz ein konkreter Fall betrachtet werden. Es soll ein Exemplar eines bestimmten Typs vorliegen. Zum Typ gehört ein Bemessungsschaltabstand von z. B. 10 mm. Durch eine Messung soll festgestellt worden sein, dass S_r 9 mm beträgt. Damit lässt sich aussagen, dass durch äußere Einflüsse, z. B. Temperaturänderungen oder Schwankungen der Betriebsspannung im zulässigen Bereich, der Schaltpunkt im Bereich 8,1 - 9,9 mm schwanken darf.

Wenn dieser Sensor durch ein anderes Exemplar desselben Typs mit z. B. $S_r = 11$ mm ausgetauscht wird, dann kann der Schaltpunkt zwischen 9,9 und 12,1 mm schwanken. Wenn sich das Objekt (gut detektierbares Material mit ausreichender Flächenausdehnung vorausgesetzt) typischerweise in einem Abstand von 5 mm befindet, dann sind sowohl durch äußere Einflüsse als auch durch Exemplarstreuungen keine Probleme zu erwarten. Das ist ein Beispiel für eine allgemeine Regel.

Faustregel

Als Faustregel hat sich bewährt, dass der Abstand des Objekts (gut detektierbares Material mit ausreichender Flächenausdehnung vorausgesetzt) etwa die Hälfte des Bemessungsschaltabstandes betragen sollte. Dieser Abstand wird z. B. auch bei der Bestimmung der Schaltfrequenz verwendet (siehe 3.3.4).

Regeln

Die Punkte, die für den praktischen Einsatz von besonderer Bedeutung sind, sollen noch einmal kurz zusammengefasst werden:

Der Sensor sollte so platziert werden, dass sich das zu erfassende Objekt innerhalb des Bereichs des gesicherten Schaltabstands befindet, also $0 \dots 0,81 s_n$. Die ifm bietet Geräte mit einer zusätzlichen setup-LED an, die dem Anwender signalisiert, dass sich das Objekt in diesem Bereich befindet.

Dient der Sensor der direkten Steuerung der Bewegung des Objekts (z. B. Abschalten des Antriebsmotors), dann muss die seitliche Annäherung bevorzugt werden, da auf Grund der Anfahrkurve (siehe 3.3.2) sich die Toleranzen nur anteilig bemerkbar machen (außerdem ist die Gefahr der mechanischen Beschädigung geringer, siehe 3.4.3).

Die Bedämpfung von vorn dient hauptsächlich zur Kontrolle der Anwesenheit des Objekts, z. B. Werkstück in Vorrichtung oder Spannzange geschlossen usw. Durch mechanische Vorrichtungen wie Anschläge oder Auflagen lässt sich der gesicherte Schaltabstand einstellen.

Wiederholgenauigkeit R

Dieser Begriff, bzw. das Verfahren zur Messung, ist auch in der Norm festgelegt. Nach IEC 60947-5-2 wird s_r über einen Zeitraum von 8 h bei einer Spannung im Bemessungsspannungsbereich gemessen. Die Umgebungstemperatur soll dabei 23 ± 5 °C betragen. Mit dieser Prüfung wird u. a. die Wirkung der Eigenerwärmung erfasst.

was bedeutet das?

In der Praxis fragt man einfach, wie der Schalterpunkt streut, wenn der Sensor mehrfach vom gleichen Objekt in der gleichen Weise angefahren wird. Es ist nicht ganz korrekt, das einfach Wiederholgenauigkeit zu nennen, weil die Bedeutung des Begriffs Wiederholgenauigkeit in der Norm festgeschrieben ist (siehe oben).

Trotzdem wird der Begriff so verwendet, manchmal spricht man auch von Reproduzierbarkeit. Wichtig ist dabei, dass der Wert viel besser ist, wenn sich die Bedingungen nur wenig ändern, z. B. bei unmittelbar aufeinander folgenden Messungen. Unter idealen Bedingungen, im Labor, können sehr hohe Wiederholgenauigkeiten bis zum μm -Bereich erzielt werden.

Vorbedämpfung

Welche Auswirkungen hat es, wenn sich weitere detektierbare Objekte, z. B. die Metallwand eines feststehenden Gehäuses oder eine Ablagerung von Metallspänen, in der Nähe des Sensors befinden? Man sagt dann, der Sensor ist vorbedämpft. Das bedeutet, dass die Schwingungsamplitude durch diese Objekte schon etwas reduziert wurde, allerdings noch über der Schaltschwelle liegt.

Das hat zur Folge, dass nur noch ein geringer zusätzlicher Einfluss nötig ist, z. B. durch ein oder kleineres oder weiter entferntes Objekt, damit der Sensor geschaltet wird. Der Sensor ist also "empfindlicher" geworden, der Schaltabstand hat sich vergrößert. Dieser Fall sollte also nach Möglichkeit vermieden werden, weil sich dadurch das Risiko von Fehlschaltungen erhöht (vgl. 3.4).

In manchen Fällen kann hier ein neuer Typ eingesetzt werden, der "selektiv" nur auf ferromagnetisches Material reagiert und sich z. B. von Aluminiumspänen nicht stören lässt (siehe 3.3.3).

Freiraum

Um die oben beschriebene Vorbedämpfung zu vermeiden, kann umgekehrt gefragt werden: wie weit darf ein Objekt, z. B. eine gegenüberliegende Gehäusewand, entfernt sein, damit die Funktion des Sensors nicht beeinträchtigt wird? Z. B. in Abbildung 38 ist zu erkennen, dass ein Abstand von $3 \times s_n$ empfohlen wird.

"Sicher aus"

Wegen der großen Bedeutung für Anwendungen soll noch einmal daran erinnert werden, was oben schon unter "obere Grenze" diskutiert wurde. Speziell im Zusammenhang mit der Vorbedämpfung ist das Ausschalten zu beachten. Das Einschalten ist hier nicht kritisch. Wenn die Faustregel oben (halber Bemessungsschaltabstand) beachtet wird, dann wird der Sensor bei Vorbedämpfung erst recht einschalten.

Es kann aber in ungünstigen Fällen vorkommen, dass das Ausschalten nicht mehr gewährleistet ist. Hier ist zusätzlich noch die Hysterese, siehe 3.3.2, zu berücksichtigen. Erst beim 1,43-fachen des Bemessungsschaltabstands muss ja der Sensor ausschalten. Ist die Empfindlichkeit durch Vorbedämpfung erhöht, kann es vorkommen, dass er gar nicht ausschaltet.

Erhöhter Schaltabstand

Wie es beim Beispiel Vorbedämpfung oben schon deutlich wurde, ist eine größere Empfindlichkeit des Sensors nicht unbedingt ein Vorteil. Er kann dadurch anfälliger gegen Störungen werden. Praktisch bedeutet das, dass der zulässige Temperaturbereich eingeschränkt werden müsste, weil sich sonst der Schaltabstand durch den Temperatureinfluss unzulässig verändern würde.

In der Norm IEC 60947-5-2 sind bestimmten Bauformen auch bestimmte (Mindest-)Schaltabstände zugewiesen. Mit der langjährigen Erfahrung ist es inzwischen möglich, auch zuverlässige induktive Näherungsschalter zu bauen, die diese Normwerte des Schaltabstands ohne Einschränkungen beim Temperaturbereich deutlich übertreffen (siehe 4.4.8). Diese werden als Geräte mit erhöhtem Schaltabstand bezeichnet.

Einbausprung

Dieser Begriff steht in engem Zusammenhang mit dem erhöhten Schaltabstand. Durch die Erhöhung des Schaltabstands steigt auch der Einbausprung. Im Extremfall arbeitet das Gerät nicht mehr zuverlässig. Eine Anforderung bei der Entwicklung von Geräten mit erhöhtem Schaltabstand liegt also darin, den Einbausprung minimal zu halten. Diese Geräte sind in 4.4.8 beschrieben. Hier soll der Begriff geklärt werden.

was ist das?

Um die Frage zu beantworten, muss hier schon einmal ein Montagehinweis (siehe 3.4) vorweggenommen werden.

Bei nicht bündig einbaubaren Geräten muss ein definierter Freiraum in der Umgebung vorhanden sein. Der so vermiedene Einfluss der Vorbedämpfung ist der Grund für den höheren Schaltabstand gegenüber bündig einbaubaren Geräten der gleichen Bauform.

Bündig einbaubare Geräte können flachbündig abschließend z. B. in eine Metallfläche gesetzt werden. Sie werden, soweit es geht, von ihrer Umgebung abgeschirmt. Bei gleicher Bauform hat das bündig einbaubare Gerät etwa den halben Bemessungsschaltabstand des nicht bündig einbaubaren. In diesem Schaltabstand ist schon die Vorbedämpfung durch die Umgebung berücksichtigt.

Wird nun ein bündig einbaubarer Sensor nicht bündig eingebaut, dann fehlt ihm die Vorbedämpfung. Sein Schaltabstand verringert sich in der Regel gegenüber dem bündigen Einbau. Dieser Effekt wird Einbausprung genannt.

3.3.2 Hysterese

Zusammenhang

Dieses Thema wird häufig zusammen mit dem Schaltabstand behandelt. Das erschwert aber die Übersicht, so dass es in einem separaten Kapitel behandelt wird.

ist das gewollt?

Hysterese ist die Differenz zwischen dem Abstand, bei dem der Ausgang schaltet, wenn sich das Objekt nähert, und dem Abstand, in dem der Ausgang wieder zurückschaltet, wenn sich das Objekt wieder entfernt. Wenn sich ein Objekt genau im Schaltpunkt befindet, bestünde die Möglichkeit, dass der Schaltausgang ständig zwischen den beiden Zuständen EIN und AUS hin und her pendelt. Dies wird durch eine eindeutig definierte Hysterese verhindert, die elektronisch erzeugt wird. Durch einen schaltungstechnisch eingebauten Unterschied zwischen Ein- und Ausschaltpunkt ergibt sich ein Bereich von 1 -20 % des Schaltabstands, um den das zu detektierende Objekt sich bewegen muss, damit der Näherungsschalter sicher ein- und ausschaltet.

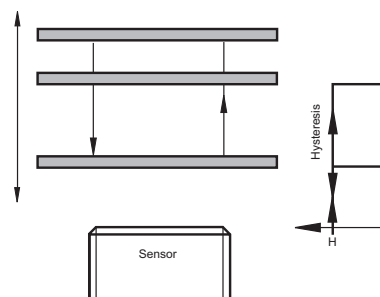


Abbildung 19: Hysterese

Die Hysterese ist auch bei anderen Sensoren, z. B. für Druck und Temperatur von Bedeutung. Hier ist es von Vorteil, wenn die Hysterese frei einstellbar ist, weil damit einfache Regelfunktionen realisiert werden können.

Seitliche Annäherung

Wird der Gegenstand nicht axial sondern radial - also von der Seite - auf den Näherungsschalter zugeführt, dann hängt der genaue Ein- bzw. Ausschaltpunkt von der Form des elektromagnetischen Streufeldes ab. Die Hersteller geben dazu Einschaltkurven in ihren Datenblättern an, die üblicherweise das in der folgenden Abbildung dargestellte Aussehen haben. Wie man leicht erkennt, verringert sich bei radialer Annäherung der Messplatte die notwendige Hubbewegung zwischen Ein- und Ausschaltpunkt beträchtlich. Da sich auch die Reproduzierbarkeit verbessert, sollte dies die bevorzugte Betätigungsrichtung z. B. für Positionieraufgaben sein. Außerdem wird die mechanische Beschädigung des Sensors vermieden (siehe 3.4.3).

Diese Einschaltkurve, auch Anfahrkurve oder Hysterese-Kurve genannt, liefert weitere Hinweise zur Genauigkeit. In Bereichen, in denen die Einschaltkurve weiter von der Ausschaltkurve entfernt ist, das heißt im Grenzbereich, wo das Objekt gerade noch erkannt wird, ist die Genauigkeit geringer.

Schließlich hängt sie noch von der Bauform ab. Je kleiner die Bauform, das heißt, je geringer die Reichweite ist, desto größer ist die erzielbare (absolute) Wiederholgenauigkeit.

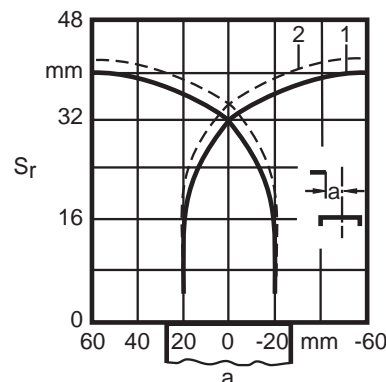


Abbildung 20: Hysterese-Kurve

halber Schaltabstand

Das bestätigt auch die oben erwähnte Faustregel (siehe 3.3.1). Diese Entfernung stellt einen guten Kompromiss dar zwischen den Extremfällen zu nah (geringe Hysterese, d. h. mögliches Flattern des Ausgangs, und Gefahr der mechanischen Beschädigung) und zu weit (geringere Genauigkeit).

3.3.3 Korrekturfaktoren

muss man noch mehr wissen?

In der Praxis hat man es natürlich selten mit der Messplatte gemäß Norm (siehe 3.3.1) als Objekt zu tun. Die Objekte können größer, kleiner, unregelmäßig geformt sein und aus verschiedenen Materialien bestehen. Der Bemessungsschaltabstand ist dann mit Korrekturfaktoren zu multiplizieren, um den tatsächlichen Schaltabstand zu ermitteln.

Das bedeutet praktisch eine Maßstabsänderung. Die Toleranzen der Norm, z. B. $\pm 10\%$ bei Temperaturänderungen, bleiben dabei erhalten. Auch bei der Hysterese-Kurve (siehe Abbildung 20) ändern sich die Maße entsprechend. Wie diese Faktoren zu ermitteln sind, wird im Folgenden beschrieben.

Auch die Art der Annäherung wird in der Praxis nicht immer der Norm entsprechen. Sie wirkt sich aber auf den Schaltabstand aus. Das lässt sich kaum durch einen Korrekturfaktor erfassen.

Der Anwender sollte es im Zweifelsfall immer praktisch ausprobieren. Abbildung 21 zeigt die realen Verhältnisse, wenn es nicht durch eine präzise mechanische Führung gewährleistet ist, dass sich das Objekt immer auf die gleiche Art annähert. Das Beispiel bestätigt, dass der induktive Sensor normalerweise nicht zur Entfernungsmessung geeignet ist (siehe 3.1.1).

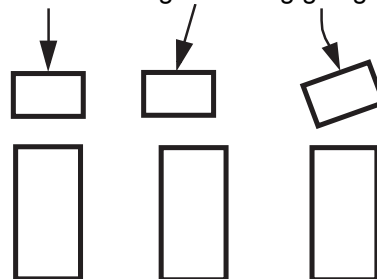


Abbildung 21: Annäherung eines Objekts

Kantenlänge

Wird anstelle der in der IEC 60947-5-2 angegebenen Messplatte mit Normabmessungen (siehe Abbildung 18) eine kleinere oder nicht quadratische Platte eingesetzt, so muss der Schaltabstand mit einem Faktor korrigiert werden.

Für quadratische Messplatten, die nicht der Normabmessung entsprechen, ist dieser Faktor in der untenstehenden Abbildung aufgetragen. Man sieht den typischen Verlauf dieses Korrekturfaktors und erkennt den geringeren Schaltabstand für wesentlich kleinere Platten und den praktisch konstanten Schaltabstand bei größerer Kantenlänge.

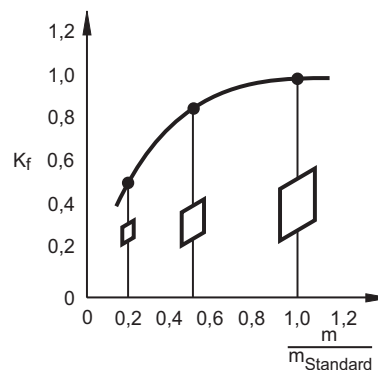


Abbildung 22: Korrekturfaktor Kantenlänge

Faustregel

Man kann als weitere Faustregel aufstellen, dass der Schaltabstand dem Bemessungsschaltabstand entspricht, wenn das Objekt nicht kleiner ist als die aktive Fläche des Sensors (siehe 3.2.1). Erst bei wesentlich kleineren Abmessungen liegt die Grenze, bei der Objekte nicht mehr erkannt werden.

Formfaktor

Bei anderen Formen, z. B. wenn Metallkugeln erfasst werden sollen, lässt sich der Faktor nicht mehr allgemein angeben. Im Beispiel der Kugel wird der Schaltabstand etwas reduziert werden. Der Wert hängt jedoch vom Radius der Kugel ab. Bei noch unregelmäßiger geformten Objekten kann der Schaltabstand nur aus der Erfahrung abgeschätzt werden und sollte durch praktische Versuche ermittelt werden.

Material

Wird anstelle des durch die Norm bestimmten Materials (St 37) für die Messplatte ein anderer Werkstoff verwendet, so muss der Schaltabstand ebenfalls korrigiert werden. Bei induktiven Näherungsschaltern ist dieser Korrekturfaktor direkt abhängig von der elektrischen Leitfähigkeit des Materials, da diese die Höhe der Wirbelstromverluste bestimmt (Ausnahme: ferromagnetische Materialien, siehe unten).

ist gute Leitfähigkeit von Vorteil?

So erkennt man in der folgenden Abbildung, dass sich bei sehr gut elektrisch leitfähigem Material wie Kupfer oder Aluminium ein Korrekturfaktor ergibt, der einen geringeren Schaltabstand zur Folge hat. Dagegen bewirken die elektrische Leitfähigkeit von Graphit und der Ferromagnetismus im Eisen, dass hier die Verluste im Schwingkreis größer sind, so dass die zu erzielenden Schaltabstände auch dementsprechend größer sind. Es ergibt sich die überraschende Konsequenz, dass Material umso schlechter erfasst wird, je besser seine Leitfähigkeit ist.

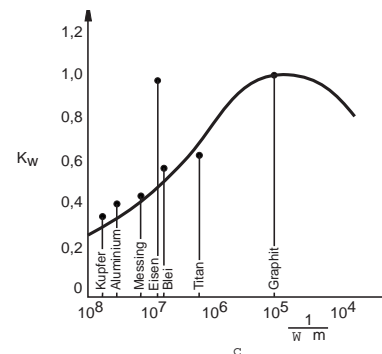


Abbildung 23: Korrekturfaktor Material

Die durchgezogene Kurve stellt die theoretisch zu erwartenden Werte für verschiedene dia- bzw. paramagnetische Werkstoffe dar. Die eingetragenen Messpunkte zeigen die tatsächlich gemessenen Werte. Man erkennt, dass bei einer Leitfähigkeit von ca. $10^4 - 10^5 1/\Omega m$ der Korrekturfaktor ein Maximum hat, er beträgt ca. 1. Bei noch geringerer, schlechterer Leitfähigkeit ergeben sich wieder geringere Schaltabstände.

Somit können Stoffe wie Wasser mit einer Leitfähigkeit von ca. 10^0 bis $10^{-2} 1/\Omega m$ oder andere schwach leitfähige Stoffe nicht erkannt werden. Im Falle von Eisen ergibt sich ein Punkt in der Nähe des Maximums der Kurve, da es sich bei Eisen um ein ferromagnetisches Material handelt. Da dieser Ferromagnetismus die Eindringtiefe des Sensorfeldes auf einige Mikrometer begrenzt, wird scheinbar die Leitfähigkeit des Stoffes verringert. Hieraus resultiert die gute Detektierbarkeit von Eisen, Stahl und eisenhaltigen Legierungen. Ist jedoch der Ferromagnetismus der Legierung schwächer ausgeprägt, dann reduziert sich der Schaltabstand deutlich. Z. B. bei Edelstahl beträgt der Korrekturfaktor ca. 0,7.

K = 1 (siehe 3.5 und 4.4.10)

Gelegentlich ist die Abhängigkeit des Schaltabstands vom Material in der praktischen Anwendung unerwünscht, weil sie eine mögliche Fehlerquelle bei der Erfassung unterschiedlicher Materialien darstellt. Inzwischen ist es gelungen, induktive Näherungsschalter zu entwickeln, bei denen mit verschiedenen Verfahren diese Materialabhängigkeit weitgehend kompensiert wird.

Weil der Korrekturfaktor mit K abgekürzt ist, werden diese als Geräte mit K = 1 bezeichnet. Das bedeutet, dass bei diesen Geräten der Korrekturfaktor praktisch immer den Wert 1 hat, also konstant ist. In der Praxis hat sich allerdings gezeigt, dass diese Eigenschaft nicht häufig benötigt wird. Als Beispiel soll die Bearbeitung von Blechen betrachtet werden. Um die Bleche korrekt zu positionieren, wird ihre Lage mit induktiven Näherungsschaltern kontrolliert.

Es wird aber sehr selten vorkommen, dass in der gleichen Anlage mit den gleichen Verfahren abwechselnd Kupfer-, Eisen- und Aluminiumblech verarbeitet wird. Außerdem ist anzumerken, dass es sehr schwierig ist, eine spezielle Eigenschaft, hier die Materialabhängigkeit, zu optimieren, ohne dass sich andere Eigenschaften verschlechtern, z. die Festigkeit gegen Störeinflüsse wie wechselnde Temperaturen.

K = 0 (siehe 3.5 und 4.4.10)

Damit ist natürlich nicht gemeint, dass der Sensor gar nichts erkennt. Gemeint ist ein Sensor mit selektiver Wirkung. In der Praxis stößt man auch auf die Anforderung, dass ein Sensor z. B. nur eine Schaltfahne aus Eisenblech erkennt, aber z. B. gegen Aluminiumspäne, die sich eventuell auf ihm ablagern, unempfindlich ist. Der Korrekturfaktor bezieht sich hier also auf Nichteisenmetalle.

Materialdicke

In der IEC 60947-5-2 ist die Dicke der Messplatte für induktive Näherungsschalter mit 1 mm festgelegt. Setzt der Anwender jedoch Bedämpfungsmaterialien wie z. B. dünne Metallfolien ein, so ergeben sich zum Teil größere Schaltabstände, als nach Berücksichtigung der Werkstoffkorrekturen zu erwarten wäre. Dies hängt zusammen mit der jeweils unterschiedlichen Eindringtiefe des Sensorfeldes in das Material - mit dem so genannten Skin - Effekt (siehe 2.1).

δ

Charakteristisch für den Skin-Effekt ist die so genannte Eindringtiefe δ des magnetischen Feldes. Sie hängt u. a. ab von der Oszillatorfrequenz. Genau genommen tritt das Feld nicht soweit ein und bricht dann ab, sondern das ist die Tiefe bei der die Feldstärke auf $1/e$ abgesunken ist. Sie entspricht hier einer Grenze für die Dicke der Folie.

In der folgenden Tabelle sind die Grenzdicken für verschiedene elektrisch leitfähige Werkstoffe angegeben bei einer Oszillatorfrequenz von 100 kHz. Unterhalb dieser Grenzdicke muss mit einer Erhöhung des Schaltabstandes gerechnet werden.

Material	δ [mm] bei 100 kHz
Eisen (Dynamoblech)	ca. 0,02
Silber	0,2
Kupfer	0,2
Aluminium	0,3
Zink	0,4
Messing	0,4
Blei	0,7

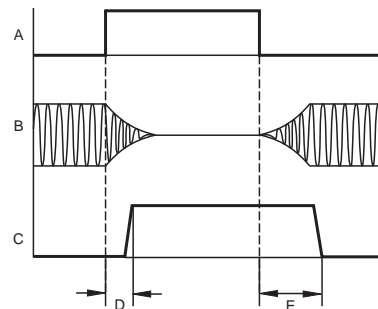
3.3.4 Schaltzeiten und Schaltfrequenz

ms

Die Zeit zwischen Eintreten des zu detektierenden Objekts in den Bereich des Streufeldes und Schalten des Ausgangssignals des Näherungsschalters liegt im Allgemeinen in der Größenordnung von nur wenigen Millisekunden. Die Schaltzeiten sind wesentlich kürzer als die von mechanisch betätigten Kontakten, was im Hinblick auf den Einsatz dieser Sensorik in modernen Schnellaufenden Anlagen wichtig ist.

Abhängigkeit

Diese Schaltzeiten sind von mehreren Faktoren abhängig. Zum einen von der im Oszillatorschwingkreis gespeicherten Energie, die wiederum abhängig ist von der Induktivität, der Kapazität und der Schwingkreisgüte bzw. der Oszillatorfrequenz und des Oszillatortyps. Zum anderen hängt die Zeit wesentlich von der Größe der Wirbelstromverluste im Schwingkreis ab. Diese hängen ja, wie bekannt, von der Größe des Objekts, vom Material und vom Abstand zur Sensoroberfläche ab. Damit ergeben sich bei Näherungsschaltern (bauartenspezifisch) in der Regel Werte für die Bedämpfungszeit zwischen 0,2 und 2 ms und zwischen 0,3 und 3 ms für das Entdämpfen.



A: Bedämpfungszeit; B: Oszillatorspannung; C: Schaltzustand der Ausgangsstufe; D: Bedämpfungszeit; E: Entdämpfungszeit

Abbildung 24: Be- und Entdämpfung schematisch

Be- und Entdämpfungszeit

Wenn die Oszillation ganz zusammenbricht, dann ist die Entdämpfungszeit, das ist die Zeit, die der Oszillator braucht, um wieder mit seiner vollen Amplitude zu schwingen, größer als die Bedämpfungszeit. Bei früher gefertigten Geräten war ein typischer Wert für das Verhältnis von Be- zu Entdämpfungszeit 1:2.

Bei den neueren Geräten lässt man die Oszillation nicht völlig zusammenbrechen, was zu einer Reduzierung der Entdämpfungszeit führt. Heute kann man bei den meisten Geräten von einem Verhältnis der beiden Zeiten von 1:1 ausgehen. Abweichungen treten eher bei großen Bauformen auf.

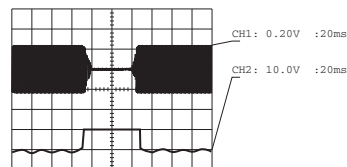


Abbildung 25: Schwingung und Ausgang früher

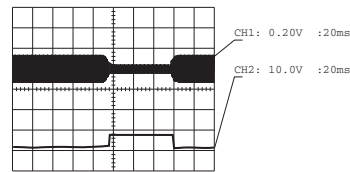


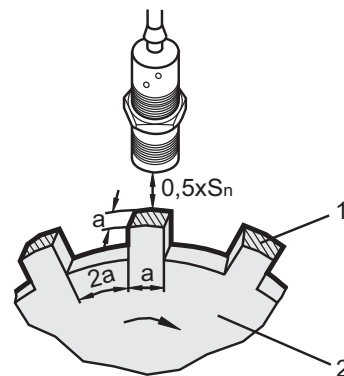
Abbildung 26: Schwingung und Ausgang aktuell

Einen wesentlichen Einfluss haben die Schaltzeiten auf die maximale Schaltfrequenz und die maximale Schaltgeschwindigkeit mit der ein Gegenstand am Sensor vorbeigefahren werden kann, damit er auch sicher erfasst wird.

Um trotz all dieser Faktoren zu vergleichbaren Ergebnissen für die Angabe von maximalen Schaltfrequenzen zu kommen, gibt es eine Meßmethode zur Ermittlung der Schaltfrequenz gemäß IEC 60947-5-2. Diese schreibt vor, dass Messplatten (siehe 3.3.1) mit der Kantenlänge a im Abstand von $2a$ zueinander an einer Scheibe montiert mit dem halben Bemessungsschaltabstand an einem Näherungsschalter vorbei bewegt werden. Die so ermittelte Schaltfrequenz wird üblicherweise in den Datenblättern der Hersteller von Näherungsschaltern angegeben. Die Schaltzeit darf nicht mit der Bereitschaftsverzögerungszeit verwechselt werden; diese ist erheblich größer (s. Seite 3.2.3).

Puls-Pause 1

Das mechanische Puls-Pause-Verhältnis von 1:2 ergibt ein Be- und Entdämpfungsverhältnis von ca. 1:1. Das liegt daran, dass der Ausgang schaltet kurz nachdem die Messplatte auf der Höhe des Randes der aktiven Fläche war (siehe Abbildung 27). Er schaltet aus, nachdem die Messplatte diesen Bereich schon fast wieder verlassen hat.



Messplättchen aus St37
Scheibe aus nichtmagnetischem und nicht leitendem Werkstoff

Abbildung 27: Normmessverfahren der Schaltfrequenz

Schaltnocken

Häufig werden induktive Näherungsschalter als Impulsgeber, z. B. für die Überwachung von Drehzahlen eingesetzt (siehe Schulungsunterlagen e-comat 200). Dazu wird eine (oder mehrere) Schraube an einer Kunststoffscheibe angebracht. Diese wird auf die zu überwachende Achse gesetzt. Der Kopf der Schraube dient dann als Schaltnocken. Bei hohen Drehzahlen reicht allerdings die Beachtung der Schaltfrequenz nicht aus. Ein Beispiel dazu:

Die Drehzahl soll 60 000 U/min betragen. Das ergibt rechnerisch eine Impulsfrequenz von 1 kHz. Die meisten Standardsensoren haben Schaltfrequenzen von 1 kHz. Scheinbar müsste die Anwendung funktionieren. Falls aber der Schraubenkopf einen etwas geringeren Durchmesser hat als die aktive Fläche des Sensors, dann reicht möglicherweise die Verweilzeit des Schraubenkopfs vor dem Sensor nicht aus, um diesen zuverlässig zu bedämpfen.

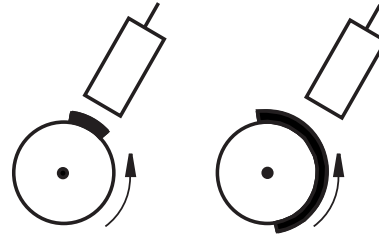


Abbildung 28: Drehzahlüberwachung

was ist zu tun?

Hier muss der Schaltnocken verlängert werden. Er sollte mindestens so lang wie die Messplatte sein. Auf der Kunststoffscheibe kann maximal ein Blechstreifen der Länge $1/3 - 1/2$ des Umfangs angebracht werden. Siehe unten "Puls-Pause 2".

Lochscheibe

Noch kritischer ist der Fall, wenn statt des Schaltnockens auf einer Kunststoffscheibe ein Loch in einer Metallscheibe verwendet wird, um Impulse zu erzeugen. Hier müsste an Stelle eines Loches ein Schlitz verwendet werden.

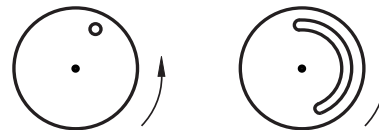


Abbildung 29: Drehzahlüberwachung an Lochscheibe

Das Beispiel zeigt aber auch, dass dieser Punkt nur bei sehr hohen Drehzahlen von Bedeutung ist.

Puls-Pause 2

Es gibt noch weitere Gründe, die dafür sprechen, das Puls-Pause-Verhältnis zu optimieren. Selbst wenn die Drehzahl nicht extrem hoch ist und der Sensor den Schaltnocken sicher erkennt, dann ist immer noch nicht die sichere Verarbeitung der Impulse in einer nachgeschalteten Auswertelektronik gewährleistet. Ein Beispiel dazu:
Die Drehzahl soll 600 U/min betragen. Rechnerisch ergibt sich daraus eine Signalfrequenz von 10 Hz. Können die Signale durch eine SPS ausgewertet werden?

Grenzfrequenz

Es gibt hauptsächlich zwei Eigenschaften der SPS, welche die Signalfrequenz begrenzen, die die SPS noch verarbeiten kann. Um die Frage zu beantworten, müssen diese bekannt sein.

Das Tiefpassfilter am Eingang hat eine Grenzfrequenz von 25 Hz (die Standard-Eingänge einer SPS sind in der Regel auf diese Weise gegen Störspitzen geschützt). Die Signale können also von der Hardware sicher aufgenommen werden.

Zykluszeit

Die Zykluszeit soll 20 ms betragen (es handelt sich also um ein langes Programm oder eine langsame SPS). Das heißt, die Zyklusfrequenz liegt bei 50 Hz. Das ist deutlich über der Signalfrequenz.

Scheinbar kann die Frage mit ja beantwortet werden. Die Praxis zeigt aber, dass in diesem Zusammenhang immer wieder Schwierigkeiten auftauchen. Aus den Werten oben ergibt sich, dass 100 ms für eine Umdrehung benötigt werden. Wenn der Durchmesser des Schaltnockens 1/10 des Umfangs beträgt (er wird eher noch kleiner sein), dann kann die Länge des Signal zu 10 ms abgeschätzt werden. Das ist aber die Hälfte der Zykluszeit. Die Signale können also nicht zuverlässig erfasst werden!

Konsequenz

Wenn die Signalfrequenz über der Zyklusfrequenz liegt, dann ist eindeutig klar, dass die Auswertung auf diese Weise nicht vorgenommen werden kann. Es genügt aber nicht, dass sie kleiner ist. Das Puls-Pause-Verhältnis muss beachtet werden.

was ist zu tun?

Es gibt eine ganze Reihe von Möglichkeiten:

- einen Zähler dazwischen schalten
- schnelle Eingänge der SPS verwenden
- den Schaltnocken verlängern

Die letzte Möglichkeit ist natürlich die einfachste und preiswerteste. Das optimale Puls-Pause-Verhältnis ist offenbar 1:1, damit beide Zustände des Signals, 1 und 0, mit der gleichen Zuverlässigkeit erfasst werden.

1:1

Immer, wenn die Auswertung, die Zählung von Impulsen unzuverlässig funktioniert, sollte zunächst das Puls-Pause-Verhältnis auf 1:1 optimiert werden.

Die folgenden Abbildungen verdeutlichen noch einmal die Problematik. Dargestellt ist der Fall, der in der Praxis nicht ungewöhnlich ist, bei dem direkt die Zähne eines Zahnrads abgefragt werden, um z. B. durch Auswertung der Impulse die Drehzahl zu überwachen.

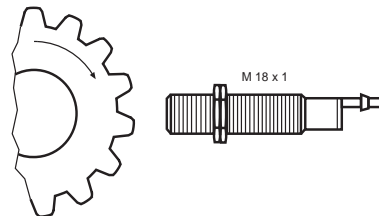


Abbildung 30: Zahnrad 1

In Abbildung 30 ist der Normalfall dargestellt. Bei dieser Bauform des Sensors sollte es kein Problem darstellen, wenn Objekte, in diesem Fall Zähne, und Lücken dazwischen die gleiche Ausdehnung haben. Bei größeren Bauformen kann es problematisch sein, weil die Lücke nicht tief genug ist. Das mechanische Puls-Pause-Verhältnis ist näher bei 1:1 als bei 1:2, wie es die Norm für das Messverfahren vorschreibt. Bei höheren Drehzahlen reicht eventuell die Entdämpfungszeit nicht aus. Es wäre dann noch günstiger, wenn die Lücke etwas größer wäre, also tiefer und breiter.

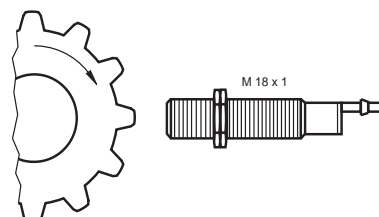


Abbildung 31: Zahnrad 2

Wenn, wie in Abbildung 31, die Lücken im Verhältnis sehr groß sind, dann steigt die Gefahr einer Fehleinschätzung, falls nur die Frequenz betrachtet wird. Hier muss zusätzlich gefragt werden, ob die Bedämpfungszeit überhaupt ausreicht.

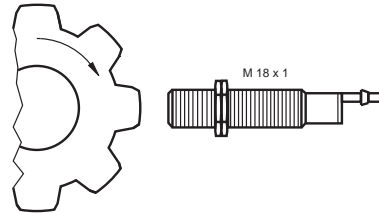


Abbildung 32: Zahnrad 3

In Abbildung 32 ist der umgekehrte Fall wie in Abbildung 31 dargestellt. Sinngemäß muss hier die gleiche Überlegung angestellt werden. Die Entdämpfungszeit ist hier kritisch.

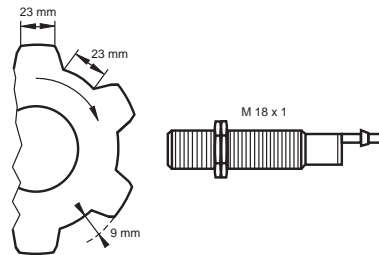


Abbildung 33: Zahnrad 4

Abbildung 33 zeigt eine günstigere Anordnung als Abbildung 32. Hier ist der Anwender gefordert, aus den angegebenen Maßen die maximal erfassbare Drehzahl zu ermitteln. Dazu muss der Katalog zu Rate gezogen werden.

3.3.5 Hinweise zum praktischen Einsatz

In diesem Kapitel sollen einige Punkte ergänzt und andere, die oben ausführlicher erklärt wurden, noch einmal kurz zusammengefasst werden.

Zuerst soll betont werden, dass der induktive Näherungsschalter ein einfaches und unkompliziertes Gerät ist. Das wird dadurch bestätigt, dass er in riesigen Stückzahlen eingesetzt wird, ohne dass geschulte Experten benötigt werden. Die meisten Erklärungen und Hinweise in diesem Text werden in der Praxis kaum beachtet.

Ein Gerät kann aber noch so unkompliziert sein; es bleiben immer noch Möglichkeiten, etwas falsch zu machen. Außerdem gibt es Fälle, bei denen man auf Grenzen der Einsatzmöglichkeit stößt. Die vorliegenden Unterlagen sollen unter anderem auch bei etwas kniffligen Fällen, wenn sich der Sensor anders verhält als erwartet, dabei helfen, Lösungen zu finden.

Material des Objekts

Der induktive Sensor detektiert alle elektrisch gut leitenden Materialien. Seine Funktion ist weder auf magnetisierbare Werkstoffe noch auf Metalle beschränkt, er erkennt beispielsweise auch Graphit.

Bewegung des Objekts	Wegen des hochfrequenten elektromagnetischen Wechselfeldes, das der induktive Sensor erzeugt, erkennt er Gegenstände unabhängig davon, ob sie sich bewegen oder nicht.
Form des Objekts	<p>Der induktive Sensor erkennt flächenhafte Gegenstände am besten, denn nur dort können sich Wirbelströme ausreichender Größe bilden. Einzelne, im Verhältnis zur Sensorfläche kleine Gegenstände, z. B. Späne von einem Bearbeitungsprozess, Riefen oder Grate auf der Oberfläche des Werkstücks, beeinflussen die Funktion erst dann, wenn sie in großer Zahl auftreten.</p> <p>Die Abstandsmessung ist also keine Punktmessung, sondern integriert über ein bestimmtes Flächenstück. Die Zahl von Stahlkugeln, die auf der Sensorfläche deponiert werden können, ohne den Schalter zu beeinflussen, ist ein praktisches Beurteilungskriterium für die Betriebssicherheit von induktiven Schaltern.</p>
Rückwirkung auf das Objekt	Der induktive Sensor kann mit wenigen Mikrowatt elektrischer Energie betrieben werden. Das hat den Vorteil, dass sein Hochfrequenzfeld keine Funkstörungen verursacht und im Gegenstand keine messbare Erwärmung erzeugt. Da der Sensor auch keine magnetische Wirkung ausübt, ist er praktisch vollkommen rückwirkungsfrei. Er erzeugt im Übrigen auch keinen Elektrosmog.
Auswahl	<p>Im folgenden Beispiel soll kurz die Auswahl eines geeigneten induktiven Näherungsschalters für eine konkrete Aufgabe beschrieben werden. Ein Aluminiumblechstreifen der Länge von 4 cm und der Höhe 3 cm soll aus einer Entfernung von 4 mm erkannt werden.</p> <p>Optimal ist die Erfassung im halben Schaltabstand. s sollte also 8 mm betragen. Der Korrekturfaktor von Aluminium beträgt 0,4. Der Bemessungsschaltabstand sollte demnach 20 mm ($= 8 \text{ mm} / 0,4$) betragen. Es gibt Geräte der Bauform M30 mit $s_n = 22 \text{ mm}$. Diese können hier also eingesetzt werden.</p>
Alternativen	Kritisch bei unserem Beispiel ist das Material Aluminium. Um bei diesem Korrekturfaktor die geforderte Reichweite zu erzielen muss ein Gerät mit erhöhtem Schaltabstand gewählt werden. Die Bauform M30 passt gerade zur Höhe 3 cm. Eine größere Bauform mit größerer Reichweite ist hier nicht sicherer, weil das Objekt dann kleiner wäre als die aktive Fläche. Bei einer kleineren Bauform, z. B. M18, liegt das maximale s_n bei 12 mm. Durch Multiplikation mit dem Korrekturfaktor 0,4 ergibt sich 4,8 mm als s_{nAl} . Berechnet man den gesicherten Schaltabstand, 81 % von 4,8 mm, ergibt sich 3,89 mm. Das wäre für diese Anwendung nicht mehr sicher.
Verbesserung	Es würde die Auswahl stark erleichtern, wenn das Aluminiumblech als Objekt durch Stahlblech ersetzt werden könnte.
<i>wie finde ich diese Werte?</i>	Früher bedurfte es einer manchmal mühsamen Recherche im Katalog. Hier ist der elektronische Katalog (www.ifm.com) von Vorteil. Ein automatischer Selektor trifft nach vorgegebenen Kriterien eine Auswahl von passenden Geräten.

3.4 Montagehinweise

3.4.1 Bündig / Nicht Bündig

Das ist ein wichtiges Kriterium für den praktischen Einsatz der Geräte. Die entsprechende Eigenschaft ist durch die Konstruktion des Geräts vorgegeben und daher nicht nur auf dem Datenblatt sondern auch auf dem Typenschild zu finden.

b / nb

Früher wurde die Abkürzung b bzw. nb verwendet.

f / nf

Heute wird die international verständliche Bezeichnung f (für flush mountable) bzw. nf (für not flush mountable) verwendet.

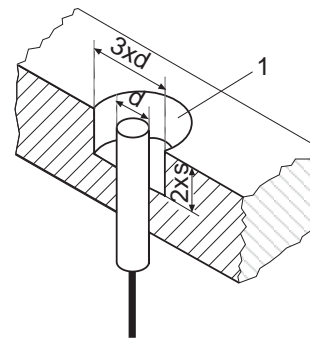
was ist der Hintergrund?

Bei induktiven Näherungsschaltern beruht die Funktionsweise darauf, dass ein elektromagnetisches Streufeld vor dem Sensor aufgebaut wird. Dabei ist nicht immer zu vermeiden, dass dieses Streufeld nicht nur mit dem zu detektierenden Objekt interferiert sondern auch andere Gegenstände in der Umgebung des Schalters erkennt.

Für die einwandfreie Funktion eines Näherungsschalters muss also gewährleistet sein, dass in einem Bereich um den Sensorkopf herum kein detektierbares Material vorhanden ist. Für induktive Näherungsschalter bedeutet dies, dass in diesem Bereich keine elektrisch gut leitfähigen Stoffe vorhanden sein dürfen.

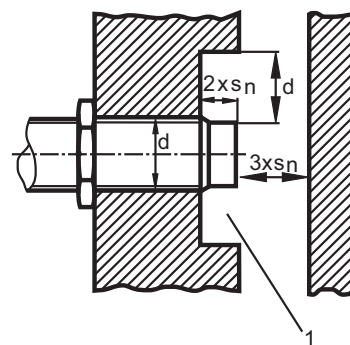
Freiräume bei nf

In der EN 60947-5-2 sind die Freiräume für die Montage von nicht bündig einbaubaren induktiven Näherungsschaltern festgelegt.



d: Durchmesser Sensor; s: Bemessungsschaltabstand; 1:Freiraum

Abbildung 34: nicht bündiger Einbau, zylindrisch



1:Freiraum

Abbildung 35: Freiraum zylindrisch nicht bündig

Abbildung 35 zeigt noch einmal die Anordnung zusammen mit dem Freiraum vor der aktiven Fläche. Dargestellt ist hier eine Gewindebauform mit Metallgehäuse. Man erkennt, dass das Metallgehäuse mit der Metallfläche am Einbauort abschließt, nur die Kunststoffhülse ragt in den Freiraum. Offenbar muss diese um $2 \times s_n$ überstehen.

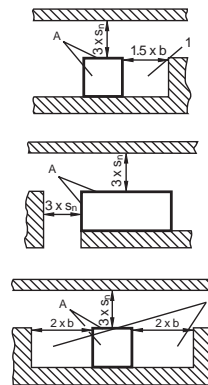


Abbildung 36: Freiraum quaderförmig nicht bündig

Eigenschaft bei f

Überall dort, wo die oben eingezeichneten Freiräume nicht eingehalten werden können, muss auf den Einbau von Geräten mit so genannter bündiger Einbaumöglichkeit zurückgegriffen werden. Hierbei kann die aktive Schaltfläche der Näherungsschalter bündig abschließend in Metall eingebaut werden.

Bei diesen Geräten ist das elektromagnetische Streufeld so weit abgeschirmt, dass keine merkliche Komponente mehr seitlich zur aktiven Fläche austritt. Damit sind diese Gerätetypen immun gegen Beeinflussung von der Seite.

Diese vorteilhafte Abschirmung muss aber mit folgender Konsequenz erkauft werden:

Bündig einbaubare Näherungsschalter haben bei gleicher Bauform kleinere Schaltabstände als nicht bündig einbaubare, die Schaltabstandsreduktion kann je nach Typ bis zu 50% des Bemessungsschaltabstandes ausmachen. Das ist einer der Gründe, die zur Entwicklung von Geräten mit erhöhtem Schaltabstand geführt haben (siehe 4.4.8).

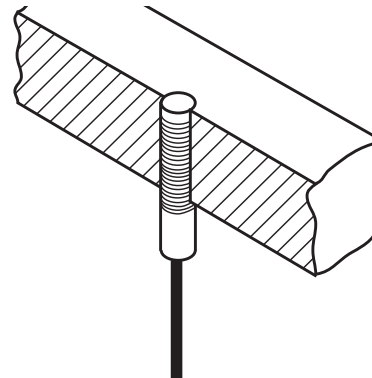
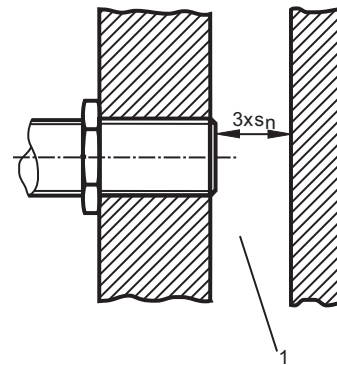


Abbildung 37: bündiger Einbau zylindrisch



1: Freizone

Abbildung 38: Freiraum zylindrisch bündig

Einbausprung

Wird bei einem Gerät, das für nicht bündigen Einbau bestimmt ist - diese Information findet sich auf jedem Typenschild - der Freiraum unterschritten, ist natürlich damit zu rechnen, dass es kein eindeutiges Signal mehr liefert, bzw. dass es den Ausgang ständig durchschaltet.

Wie verhält es sich im umgekehrten Fall, also wenn ein für bündigen Einbau bestimmtes Gerät nicht bündig eingebaut wird? Dieser Fall kann in der Praxis durchaus vorkommen. Falls z. B. beide Typen benötigt werden, beschränkt man sich auf den bündig einbaubaren Typ (ein genügender Schaltabstand vorausgesetzt), um die Anzahl der Typen, von denen dann auch einige als Ersatzteile ans Lager kommen, zu reduzieren.

In diesem Fall ist damit zu rechnen, dass sich der Schaltabstand etwas reduziert, weil die Vorbedämpfung reduziert ist. Dieser Unterschied wird auch als Schaltsprung oder Einbausprung bezeichnet. Um also problemlos mit diesen Geräten arbeiten zu können, muss gefordert werden, dass der Schaltsprung möglichst gering ist.

Speziell bei Geräten mit erhöhtem Schaltabstand (vgl. Schalter für spezielle Einsatzbereiche) ist dieser Punkt besonders kritisch. Bei Standard-effectoren ist der Schaltsprung in der Regel nicht größer als 5 % (siehe 4.4.8). Die zulässigen Toleranzen der EN 60547-5-2 dürfen jedoch niemals überschritten werden.

Sind alle diese Anforderungen erfüllt, dann ist der bündig einbaubare Sensor ein universelles Gerät, weil der Anwender nicht auf Freiräume achten muss. Außerdem sind Geräte mit Metallgehäuse widerstandsfähiger gegen mechanische Einwirkungen.

quasi bündig

Ein Begriff, auf den man in diesem Zusammenhang gelegentlich trifft ist "quasi bündig einbaubar". Damit werden Geräte bezeichnet, bei denen ein geringerer Freiraum als der oben beschriebene zulässig ist, er liegt in der Größenordnung mm. Dieser Begriff ist aber nicht genormt, er ist herstellerspezifisch.

Der Anwender muss also peinlich genau die Vorgaben des Herstellers beachten, er kann sich nicht auf die übliche Bedeutung von bündig, nämlich der Einbau, bei dem der Sensorkopf wirklich eben mit der Einbaufäche abschließt, verlassen. Aus diesem Grund liefert die ifm nur echte bündig oder nicht bündig einbaubare Sensoren.

überbündig

Besonders bei Geräten, die zur Überwachung von Transportprozessen eingesetzt werden, kann es vorkommen, dass ein schwerer Gegenstand auf den Sensor fällt und diesen mechanisch beschädigt. Hier wäre es von Vorteil, wenn der Sensor nicht nur bündig sondern versenkt in eine Metallfläche eingebaut oder mit einer überstehenden Schutzhaube aus Metall versehen werden könnte.

Für diesen Einsatzfall wurde ein Gerät entwickelt, bei dem das möglich ist. Dafür gelten spezielle Einbauvorschriften, die beachtet werden müssen (siehe 4.4.9). Auch dieser Begriff ist herstellerspezifisch. Da es sich aber nicht um eine Einschränkung sondern um die Übertreffung der Norm handelt, ist das eher zu akzeptieren als die Bezeichnung quasi bündig.

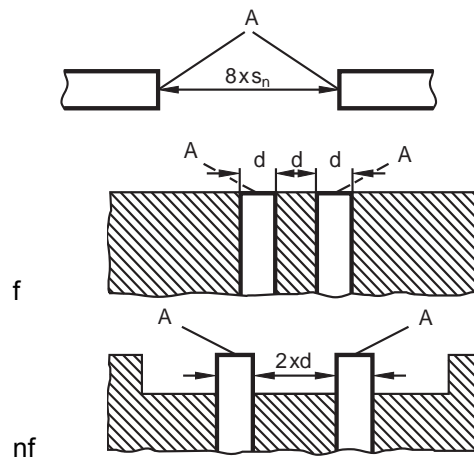
Vorbedämpfung

Wenn es sich gar nicht vermeiden lässt, dass ein Objekt in der Umgebung des Sensors diesen beeinflusst, dann spricht man von Vorbedämpfung. Dieser Begriff wird in 3.3.1 erläutert. Um Vorbedämpfung zu vermeiden sind die Freiräume in Abbildung 35, Abbildung 36 und Abbildung 38 zu beachten.

Werden also beim nicht bündig einbaubaren Gerät diese Freiräume unterschritten, nimmt die Vorbedämpfung unzulässig zu. Es besteht also die Möglichkeit, dass er sofort, ohne Objekt, durchschaltet oder dass er einmal durchschaltet und dann in diesem Zustand verbleibt.

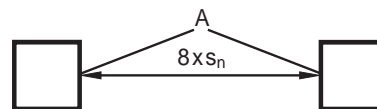
3.4.2 Gegenseitige Beeinflussung

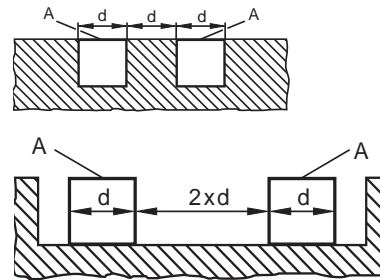
Sollen an eine Anlage mehrere Näherungsschalter gleichen Typs nahe beieinander betrieben werden, so sind ebenfalls bestimmte Mindestabstände zwischen den Geräten einzuhalten. Auch hier sollten die in der folgenden Abbildung angegebenen Mindestabstände als Faustregel eingehalten werden.



A: aktive Fläche; S_n : Bemessungsschaltabstand; d : Durchmesser der aktiven Fläche (des Sensors)

Abbildung 39: Gegenseitige Beeinflussung zylindrisch





A: aktive Fläche; Sn: Bemessungsschaltabstand; d: Durchmesser der aktiven Fläche (des Sensors)

Abbildung 40: Gegenseitige Beeinflussung quaderförmig

In Abbildung 40 ist zu erkennen, dass es in diesem Zusammenhang praktisch keinen Unterschied zwischen quaderförmigen und runden Bauformen gibt.

woher kommt die Beeinflussung?

Oszillatoren können sich umso eher gegenseitig beeinflussen, man spricht hier auch von Kopplung, je näher ihre Frequenzen beieinander liegen. Dieser Effekt ist hier unerwünscht, weil er dazu führen kann, dass die Geräte scheinbar willkürlich schalten.

Die Reichweite von gegenseitigen Beeinflussungen ist außerdem abhängig von der zufälligen produktionstechnisch bedingten Differenz der Oszillatorfrequenzen. So zeigt sich eine Beeinflussung oft erst bei ganz bestimmten Bedämpfungszuständen oder nach dem Austausch eines Schalters.

versetzte Frequenzen

Wenn die in der Abbildung aufgeführten Mindestabstände nicht eingehalten werden können, hat man bei der ifm die Möglichkeit, spezielle Schalter einzusetzen, bei denen die Oszillatorfrequenz künstlich um einen bestimmten Betrag verändert wurde. Diese werden durch ein /F im Typenschlüssel, siehe S.79, gekennzeichnet.

Abgesehen von der versetzten Frequenz des Schwingkreises unterscheiden sich die technischen Daten praktisch nicht von denen des Standardgerätes. Da bei diesen Geräten die Frequenz um etwa den gleichen Wert verändert wurde, können sich mehrere davon auch wieder gegenseitig beeinflussen. Falls also mehrere Sensoren dicht nebeneinander montiert werden müssen, was auch als paketieren bezeichnet wird, dann ist dabei wie folgt vorzugehen:

NF VF NF VF...

Dabei steht N für ein Gerät mit normaler und V für ein Gerät mit versetzter Frequenz. Es sind also abwechselnd (alternierend) Geräte mit normaler und versetzter Frequenz zu montieren. Um Fehler bei der Montage zu vermeiden, empfiehlt es sich, die Geräte deutlich zu markieren, damit sie sicher unterschieden werden können. Dieser Zusammenhang musste auch beim IND beachtet werden (siehe 4.4.2). Im Gehäuse eines IND stecken zwei IN, einer davon mit der normalen, der andere mit versetzter Frequenz.

3.4.3 Mechanische Festigkeit

Besonders in vibrationsreicher Umgebung muss auf sorgfältige Befestigung des Näherungsschalters geachtet werden. Obgleich viele Gewindebauformen wie Bolzen aussehen, sind die Anzugsmomente für die Muttern begrenzt. Es sollten ausschließlich die vom Hersteller mitgelieferten bzw. empfohlenen Befestigungselemente verwendet werden. Dies gilt insbesondere für Geräte mit glatter Hülse, wo beispielsweise eine Fixierung mit einer Madenschraube keinesfalls zulässig ist.

Wenn das nach Herstellerangaben erlaubte Anzugsmoment für die Muttern nicht ausreichend erscheint, können Metallgewindegeräte eingesetzt werden. Bei kleinen Gerätebauformen mit Kunststoffgewinde wird zur Verbesserung der Befestigung der Einsatz von Gummiunterlegscheiben empfohlen. Näherungsschalter sollten an Orten angebracht werden, wo sie vor mechanischer Beschädigung möglichst geschützt sind. Gegebenenfalls können sie abgedeckt werden: so eignen sich Glas- oder Keramikplatten, um die aktive Fläche beispielsweise vor scharfkantigen oder heißen Spänen zu schützen. Für den direkten Einsatz in Pneumatik- oder Hydrauliksystemen gibt es spezielle Ausführungen, die einem Druck bis etwa 300 bar auf die Stirnfläche standhalten.

Die serienmäßige Anschlussleitung von Näherungsschaltern ist nur für leichte mechanische Beanspruchung geeignet. Falls die Einsatzumgebung eine stärkere Leitung erfordert, ist ein Schutzschlauch zur Verstärkung notwendig. Alternativ kann ein Gerät mit Anschlussraum eingesetzt werden.

Die Anschlussleitung muss so verlegt werden, dass sie keine Kräfte auf das Gehäuse übertragen kann. Wenn die Anschlussleitung ständig bewegt werden muss, wird ebenfalls das Anbringen eines Schutzschlauches empfohlen (siehe dazu folgende Abbildung).

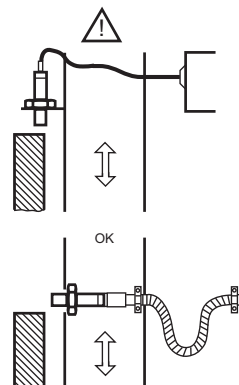


Abbildung 41: Einbau und Bewegungsrichtung

Bewegungsrichtung

Die obere Art der Montage ist nicht zu empfehlen, da hier die Gefahr der mechanischen Zerstörung besteht. Der Schalter sollte keinesfalls als "Endanschlag" verwendet werden.

Übersicht

3.5 Technik und Funktionsprinzip K1, K0

In diesem Kapitel wird das Funktionsprinzip dieser speziellen Typen etwas ausführlicher beschrieben. Weil es deutlich vom oben beschriebenen abweicht, wird es hier separat behandelt. Die folgenden Abschnitte enthalten zum Teil Wiederholungen von 3.2, 3.3 und 3.4, es werden aber auch neue Aspekte beleuchtet. Wer sie überspringen will, kann bei Punkt 3.5.3 weiterlesen. Die Eigenschaften dieser speziellen Typen, die für die Anwendung von Bedeutung sind, werden in 4.4.10 beschrieben.

3.5.1 Bezeichnungen

K = 0, K = 1

Die Kurzform dieser Bezeichnung ist: K0, K1. Sie steht für die Eigenschaften neuer Gerätefamilien, die dem Anwender den Einsatz induktiver Näherungsschalter unter speziellen Bedingungen erleichtern.

Kurz gesagt handelt es sich um induktive Näherungsschalter, die

nur auf ferromagnetisches Material (abgekürzt als K0, allgemein als $K = 0$ bezeichnet) und auf beliebige (leitfähige) Materialien ohne unterschiedliche Korrekturfaktoren (abgekürzt als K1, allgemein als $K = 1$ bezeichnet) reagieren.

Korrekturfaktor

Zur Erinnerung: beim konventionellen induktiven Sensor ist in der Praxis der Korrekturfaktor für das Material zu berücksichtigen. In der Norm, die das Messverfahren zur Ermittlung des Bemessungsschaltabstands festlegt, IEC 60947-5-2, ist (neben anderen Parametern) auch das Material des Targets vorgeschrieben, nämlich St37.
Um den Schaltabstand z. B. für ein Target aus Al zu bestimmen, wird der nach Norm auf St37 ermittelte Wert mit dem Korrekturfaktor für Al, ca. 0,4, multipliziert. Das zeigt, dass sich der Schaltabstand um 60 % verringert. So erklärt sich der Wunsch nach einem induktiven Näherungsschalter, der alle (leitfähigen) Materialien im gleichen Abstand erfasst, der also einen konstanten Korrekturfaktor hat ($K = 1$, oder kurz K1).

was ist ein Target?

Der Begriff Target soll noch kurz erklärt werden. In der Anwendung soll der Näherungsschalter ganz konkret z. B. eine Schaltfahne oder ein Werkstück erkennen. Wenn man sich allgemein ausdrückt, sagt man, er soll ein Objekt erkennen. Der Fachausdruck dafür ist Target. Im Folgenden bedeutet also "das Target nähert sich dem Sensor" genau dasselbe wie "das Objekt (oder die Schaltfahne) nähert sich dem Sensor".

3.5.2 Konventioneller induktiver Sensor

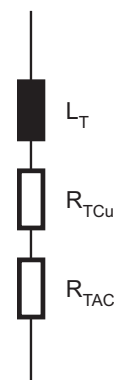
$K \neq 1$

Zunächst wird noch einmal auf den konventionellen Typ eingegangen. Er soll hier kurz mit $K \neq 1$ bezeichnet werden. Es gibt verschiedene Möglichkeiten, sein Funktionsprinzip zu erklären. Dabei handelt es sich um Vereinfachungen, um Modelle, die das Verständnis erleichtern. Je nach dem Aspekt, der verdeutlicht werden soll, können sie auch unterschiedlich aussehen.

Dämpfung der Schwingung durch Wirbelstromverluste im Target Güteänderung eines Schwingkreises. Das wird häufig mit einem Ersatzschaltbild beschrieben, in dem der Widerstand, der für die Verluste steht, parallel zur Spule geschaltet ist.

Alternativ kann für das Ersatzschaltbild (Abbildung 42) auch eine Reihenschaltung gewählt werden. Diese beiden Darstellungen sind gleichwertig. Bei einer festen Frequenz können die entsprechenden Werte leicht umgerechnet werden.

Um den Unterschied zum K1 besser zu verstehen, wird hier, beim Ersatzschaltbild für $K \neq 1$, die Reihenschaltung gewählt. Der Index T bei den Bezeichnungen bedeutet Transmitter (Sender) wie in den Abbildungen weiter unten.



L: Induktivität, R_{Cu} : Widerstand Material (Cu), R_{AC} : Wechselstromwiderstand

Abbildung 42: Ersatzschaltbild Serienschaltung

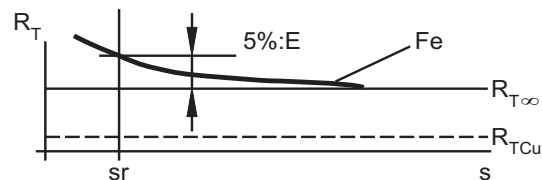
Beim $K \neq 1$ wird die Widerstandsänderung ausgewertet.

Schaltfrequenz

Die Schaltfrequenz des Sensors hängt zusammen mit der Oszillatorfrequenz. Eine höhere Oszillatorfrequenz lässt sich beim konventionellen Typ nicht ohne weiteres realisieren. Da, wie gesagt, die Güteänderung ausgewertet wird, betreibt man den Schwingkreis im Bereich seiner maximalen Güte. Bei höheren Frequenzen nimmt die Güte ab, weil die Wechselstromwiderstände stark ansteigen. Beim $K = 1$ ist das besser zu realisieren, siehe 3.5.3.

Widerstandskennlinie

Die Abbildung 43 zeigt den Verlauf von $R = R_{Cu} + R_{AC}$, aufgetragen gegen s , die Entfernung des Targets aus dem Material Fe (Eisen, kein Edelstahl). s_r ist die Entfernung, bei welcher der Sensor schaltet. Es wird nur der qualitative Verlauf dargestellt. Auf eine Bemaßung der Achsen wird daher verzichtet. R_T steht wieder für Transmitter (Sender)



R_T : widerstand beim Transmitter (Sender), $R_{T\infty}$: Grenzwert des Widerstands, Fe: Eisen (ferromagnetisches Material), E: Empfindlichkeit, R_{TCu} : Widerstand der Spule (aus Kupfer), s: Abstand des Targets, s_r : Realschaltabstand

Abbildung 43: Widerstand und Abstand

Aus der Kurve in Abbildung 43 ist abzulesen, dass der Gesamtwiderstand R asymptotisch einem Grenzwert R_{∞} zustrebt. Je größer der Abstand wird, desto weniger ändert sich des Widerstand. Dagegen liegt beim Schaltpunkt (Realschaltabstand s_r) der Wert ca. 5% über dem Grenzwert. Diese 5%, der Signalhub für Fe, wird hier auch als Empfindlichkeit E bezeichnet. Dieser Wert hat sich in der Praxis bewährt. Die Kurve für ein anderes Material, z. B. Al, ist hier nicht eingetragen. Sie wäre auch schlecht zu erkennen, weil sie praktisch mit der Linie für $R_{T\infty}$ zusammenfallen würde. Die folgende Tabelle zeigt typische Werte (alles nur näherungsweise) für die Differenzen:

	Al	Fe
ΔR_T	0 %	+ 5 %...10 %
ΔL_T	- 0,4 %	- 0,2 %

Daraus ist zu erkennen, dass über den Widerstand ein Target aus Al nur schwer zu erfassen ist. Damit ist besser zu verstehen, dass ein Target aus Al erst bei deutlich geringeren Abständen erkannt wird (siehe 3.5.1, Stichwort Korrekturfaktor). Ein Sensor mit $s_r = 10$ mm auf ein normgemäßes Target aus St37 schaltet auf ein Target aus Al erst bei 4 mm.

Soll dagegen erreicht werden, dass der Sensor möglichst gleich auf alle Materialien schaltet, dann ist in der Tabelle zu erkennen, dass die Änderung der Induktivität L dazu besser geeignet ist. Einerseits hängt sie viel weniger vom Material ab. Andererseits ist sie bedeutend geringer, also schwieriger auszuwerten.

3.5.3 Sensor mit K = 1

Hier wird die Änderung der Induktivität ausgewertet. Sie hängt mit der Änderung der Permeabilität μ_r zusammen. Zur Erinnerung:

$$L = \mu_0 \mu_r n^2 A / l$$

L [Henry]: Induktivität; $\mu_0 [1,2566 \cdot 10^{-6} \text{ Vs/Am}]$: magnetische Feldkonstante; μ_r : Permeabilitätszahl; A[m²]: Fläche; l[m]: Länge

„ $L = \mu_0 \mu_r n^2 A / l$ “ ist die Formel für die Induktivität einer Spule. μ_r wird auch als relative Permeabilität bezeichnet. Diese Zahl beschreibt eine Materialeigenschaft, nämlich das Verhalten eines Materials im Magnetfeld.

Dieses Thema soll hier nicht weiter vertieft werden, etwas ausführlicher wird in den Schulungsunterlagen Magnetsensoren, Zylinderschalter auf die Permeabilität eingegangen. Die Formel soll hier nur verdeutlichen, wie die Induktivität mit der Permeabilität zusammenhängt. μ_r ist keine absolute Konstante sondern hängt z. B. bei Wechselfeldern von der Frequenz ab.

Abbildung 44 zeigt (auch wieder qualitativ) den Zusammenhang zwischen μ_r und der Frequenz f.

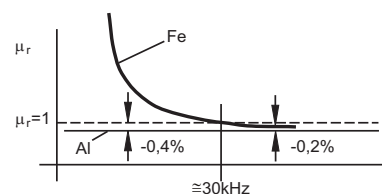


Abbildung 44: Permeabilität und Frequenz

Zu beachten ist in Abbildung 44 der deutliche Unterschied bei kleineren Frequenzen zwischen Fe (Eisen, bzw. ferromagnetische Materialien) und dem praktisch konstanten Wert bei Al (Aluminium). Dieser Unterschied verringert sich bei höheren Frequenzen. Damit ist der Unterschied zwischen K0 und K1 schon kurz angesprochen.

Frequenzauswertung

Es gibt verschiedene Möglichkeiten, die Änderung der Induktivität auszuwerten. Eine davon wäre die Auswertung der Änderung der Oszillatorfrequenz, die von der Änderung der Induktivität bewirkt wird. Dieser Weg wurde hier aber nicht verfolgt. Weil diese Technik auch bei Geräten auf dem Markt verwendet wird soll sie kurz erläutert werden.

Zähler

Um die Frequenz zu ermitteln, können die Impulse gezählt werden. Die dazu erforderlichen Bauteile sind aber bezüglich Volumen und Preis für einen Standardsensor überdimensioniert.

Referenzschwingkreis

Um die Frequenz mit der eines Referenzschwingkreises zu vergleichen, müssen an die Eigenschaften von dessen Komponenten besondere Ansprüche gestellt werden. Speziell präzise und temperaturstabile Kondensatoren sind schwer zu beschaffen. Es liegt daher nahe, einen anderen Weg zu wählen, bei dem man auf das vorhandene Know-how bezüglich Spulen zurückgreifen kann.

Ausgewertet wird beim ifm-Sensor die Änderung der Kopplung zweier Oszillatoren. Der Koppelfaktor liefert eine andere Beschreibung der Induktivitätsänderung zwischen den beiden Spulen L_T und L_R .

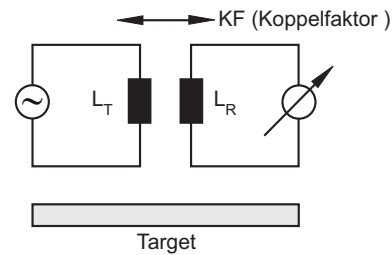


Abbildung 45: gekoppelte Spulen

T und R	Die Spule beim linken Oszillator, der zum Schwingen angeregt wird, kann als Sender (T: Transmitter), die Spule beim rechten Kreis, der hochohmig ausgeführt ist, als Empfänger (R: Receiver) angesehen werden. Die beiden Oszillatoren sind hier über das Magnetfeld gekoppelt.
Kopplfaktor	Ein Maß dafür ist der Kopplungsgrad oder Kopplfaktor KF. Er hängt ab z. B. von der Lage und Anordnung der Spulen. Außerdem von äußeren Einflüssen wie z. B. von der An- oder Abwesenheit eines Targets. Dieser Zusammenhang wird noch deutlicher, wenn man sich vorstellt, das Target befände sich zwischen den Spulen, ähnlich wie bei einem Schlitzinitiator. Zunächst hängt das Ausmaß der Änderung des Kopplfaktors vom Material des Targets ab. Ein Parameter dafür ist die Permeabilität μ_r .
Material	<p>Aus der Kurve oben (Abbildung 44) ist die Konsequenz abzuleiten, dass bei hohen Frequenzen die Änderung des Kopplfaktors unabhängig vom Material ist. Das bedeutet, dass diese Anordnung (bei hohen Frequenzen!) auf jedes Target gleich reagiert. Genau diese Eigenschaft ist beim K1-Sensor erwünscht</p> <p>Die Aufgabe besteht jetzt "nur noch" darin, ein Gerät zu entwickeln, das diesen Effekt ausnutzt und das einfach und kostengünstig in großen Stückzahlen gefertigt werden kann.</p>
Signalhub	<p>Was diese Aufgabe schwierig macht, ist der Umstand, dass der Signalhub so klein ist. Wenn die Spannung an der Empfängerspule mit U_R (R: Receiver) bezeichnet wird, dann ergibt sich als typischer Wert</p> $\Delta U_R / U_R \cong 0,3 \%$ <p>Dieser Wert wird als elementare Empfindlichkeit bezeichnet. Die direkte Auswertung wäre sehr aufwendig. Eine Möglichkeit, die Aufgabe zu lösen, besteht darin die Messung der Differenz zweier Werte vorzunehmen. Im Ersatzschaltbild, siehe Abbildung 46, kann man das so darstellen, dass auf der Empfängerseite 2 Spulen in Reihe geschaltet werden. Ist der Drehsinn der Windungen umgekehrt, dann kehrt sich beim 2. Empfänger das Vorzeichen der Spannung um. Die Spannung über beiden Spulen ist dann die Differenz der einzelnen Spannungen.</p> <p>Einflüsse von außen, z. B. Temperatur oder Magnetfelder werden durch die Bildung der Differenz weitgehend kompensiert. Der erste Empfänger wird, wie in Abbildung 47, vom Target beeinflusst. Durch entsprechende Anordnung der Spulen wird dafür gesorgt, dass die zweite praktisch nicht vom Target beeinflusst wird. Sie dient als Referenz, um Störungen, die sich auf beide Spulen gleich auswirken, zu kompensieren.</p>

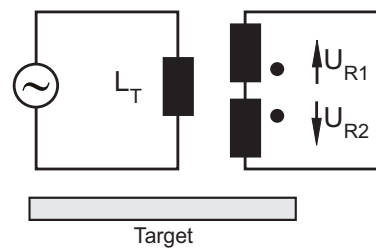
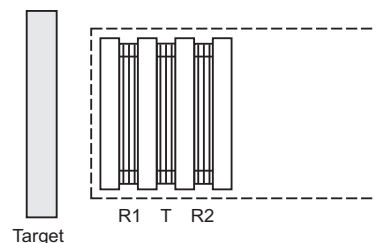


Abbildung 46: Erzeugung des Differenzsignals

Bei dieser Anordnung ergibt sich:

$$\Delta(U_{R2} + U_{R1}) / (U_{R2} + U_{R1}) \cong 10 \%$$

Ein solcher Wert kann nun einfach ausgewertet werden. Die Anordnung der Spulen muss jetzt so gewählt werden, dass sich die oben erwähnten Eigenschaften ergeben. Wie es realisiert wird, zeigt schematisch die Abbildung 47 und Abbildung 50.



T: Transmitterspule (Sender); R1, R2: Receiverspulen (Empfänger); - - - Gehäuse (beim K = 0 inklusive Stirnfläche aus Edelstahl)

Abbildung 47: Aufbau des Sensors

Die Funktionsweise wird im Folgenden etwas ausführlicher erklärt. In Abbildung 47 wurden die Bezeichnungen T für Transmitter (Sender) und R für Receiver (Empfänger) verwendet. R1 reagiert auf das Target, hat also Empfindlichkeit, R2 dagegen hat praktisch keine Empfindlichkeit.

Präzision

Bei der Fertigung kommt es ganz wesentlich auf höchste Präzision des Trägers und der Wicklung der Spulen an, um die Exemplarstreuungen gering zu halten. Der Träger besteht aus einem Spezialkunststoff, der im Wesentlichen wegen seiner mechanischen Eigenschaften ausgewählt wurde. Er erfüllt die Bedingungen möglichst präzise Spritzteile mit hoher Wiederholgenauigkeit fertigen zu können. Hier wurde kein Ferrit gewählt, weil sonst die Sendespule vom Target praktisch abgeschirmt würde.

Auswertung

Bei der Auswertung wird noch ein weiterer Kunstgriff angewendet. Die Spannungen am Sende- und am Empfängerkreis werden durch einen Multiplikator (x in Abbildung 48) weiterverarbeitet. Das bewirkt u. a. eine zusätzliche Kompensation von Störeinflüssen. Das Ergebnis wird integriert (∫ in Abbildung 48) und danach einer Triggerstufe zugeführt, die den Schalt- ausgang ansteuert.

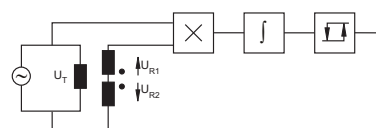


Abbildung 48: Auswertung der Signaldifferenz

3.5.4 Sensor mit $K = 0$

selektiv

Dieser Sensor zeigt als Besonderheit das selektive Verhalten. Diese und weitere Eigenschaften werden im Folgenden kurz beschrieben.

weniger Störungen

Den Anstoß zur Entwicklung dieses Sensors gab folgende Anforderung aus der Praxis: der Sensor soll zuverlässig eine Schaltfahne aus ferromagnetischem Material, z. B. St37, erkennen. Er soll nicht durch eventuell vorhandene Aluminiumspäne gestört werden, selbst wenn diese auf ihm liegen.

gleiches Prinzip

Um diese Forderung zu erfüllen, bedarf es keiner grundsätzlichen neuen Überlegung und Entwicklung. Ein Blick auf die Kurve von Abbildung 44, wo μ_r gegen die Frequenz aufgetragen wurde, zeigt, dass bei niedrigeren Frequenzen das μ_r von Eisen deutlich ansteigt. Das ist gerade das Kennzeichen von ferromagnetischem Material.

Arbeitet der Sensor bei niedrigeren Frequenzen, dann lässt sich dieser Effekt leicht auswerten. Die Anordnung der Spulen kann hier vom K1 direkt übernommen werden. Unterschiede liegen in der viel kleineren Oszillatorfrequenz und der Auswertung, die hier einfach durch einen weiteren Oszillator geschieht, der entweder anschwingt oder bei dem die Schwingung zusammenbricht.



Abbildung 49: Querschnitt durch K0

Die Abbildung 49 zeigt einen Querschnitt durch einen solchen Sensor. Die folgende Abbildung zeigt die entscheidende Komponente, das Spulensystem. Abbildung 50 zeigt die Realisierung des Schemas von Abbildung 47.

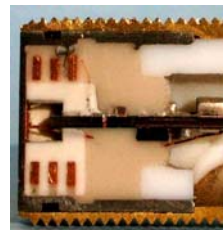


Abbildung 50: Spulensystem

Platine

Man erkennt, dass hier eine spezielle Platine verwendet wird. Bei dieser ist die Verbindung zwischen Sensor (Spule) und der Schaltung einfacher herzustellen. Aus diesem Grund wird teilweise jetzt schon und auch in Zukunft eine Kombination aus Leiterfilm und Spezialplatine verwendet.

4 Induktive Sensoren der ifm

4.1 Mechanische Eigenschaften

4.1.1 Aufbau allgemein

Hauptgruppen

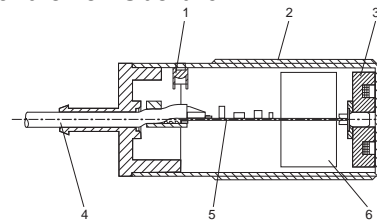
Man kann hier Hauptgruppen unterscheiden, die jeweils aus diversen Einzelkomponenten bestehen.

- Gehäuse
- Elementarsensor
- Schaltung
- Anschluss

Man kann diese aber nicht als unabhängig voneinander ansehen. Im Folgenden werden sie daher auch nicht getrennt besprochen sondern im Zusammenhang.

Aufbau eines efectors

Die Abbildung zeigt den schematischen Aufbau eines induktiven Näherungsschalters. Bei der technischen Realisierung gibt es dabei jeweils verschiedene Varianten. Sie unterlagen außerdem im Laufe der Zeit gravierenden Wandlungen. Um den heutigen Stand richtig zu verstehen, ist es meist nützlich zu wissen, wie die Entwicklung dahin verlaufen ist. Die folgende Tabelle gibt dazu einen Überblick.



1: Anzeige-LED; 2: Gehäuse; 3: Sensor; 4: Anschlussleitung; 5: Bauelementeträger; 6: Abschirmung

Abbildung 51: Aufbau eines induktiven Sensors

4.1.2 Zeitliche Entwicklung

Stufe	Gehäuse	Schaltung
1	Kunststoff vergossen	Platine
2	Kunststoff und/oder Metall vergossen	Platine
3	Kunststoff und/oder Metall vergossen	Filmtechnik
4	Kunststoff und/oder Metall modular	Filmtechnik modular

Erläuterung

Die einzelnen Punkte sollen kurz erläutert werden.

Zeit

Da die Übergänge jeweils fließend waren, wurde eine Einteilung in Stufen anstatt fester Jahreszahlen gewählt.

Verguss

Das Füllen der Hohlräume mit Vergussmasse, u. a. Gießharz stellte damals einen beträchtlichen Fortschritt dar. Die ifm ließ sich Patente darauf erteilen. Durch dieses Verfahren wurde es überhaupt erst ermöglicht, elektronische Geräte unter rauen Umgebungsbedingungen einzusetzen. Im Laufe der Zeit zeigten sich dabei aber auch Nachteile, siehe folgende Liste:

- Schutz gegen Feuchtigkeit und Staub
- mechanische Fixierung der Bauteile
- Festigkeit gegen Temperaturschocks

- Wärmeabfuhr
- Beständigkeit gegen Kühlschmier- und Reinigungsmittel

4.1.3 Trennung der Komponenten

Temperaturschocks führen durch die unterschiedliche Wärmeausdehnung der Komponenten zu mechanischen Spannungen, die im Extremfall das Gerät zerstören können.

Durch die ständige Weiterentwicklung der chemischen Bestandteile der genannten Mittel ergaben sich in neuerer Zeit vermehrt Probleme.

Bei der Entsorgung von Altgeräten ist es wirtschaftlicher, die Komponenten zu trennen, da nur in den elektronischen Bauteilen giftige Substanzen enthalten sein können. Das ist bei vergossenen Geräten aufwendig.

Medium

Die Vergussmasse wurde im Laufe der Zeit einige Male gewechselt. Das hatte verschiedene Gründe. Z. B. wird bei bestimmten Mischungen die Entstehung gesundheitsschädlicher Dämpfe beim Aushärten reduziert. Die Beständigkeit gegen Kühlschmiermittel wurde verbessert. Der Verguss muss jedoch immer sorgfältig überwacht werden und lässt sich nicht vollständig automatisieren.

Das hängt u. a. mit der Volumenänderung (Kontraktion) beim Aushärten zusammen. Ein kritischer Fall liegt in der Entstehung von Luftblasen, die das komplette Ausfüllen der Hohlräume verhindern. Bei weniger viskosen (dünnflüssigeren) Medien tritt das weniger auf. Dafür kann hier das Medium beim Verguss aus der Hülse austreten.

Metall in Stufe 2

Der Grund für die Verwendung von Metallhülsen liegt in der besseren Beständigkeit gegen mechanische Belastungen

Filmtechnik (Stufe 3)

Die Verwendung dieser Technik bietet wesentliche Vorteile:

- Montage
- Bauform
- Zeit
- Qualität (weniger fehlerhafte Schaltungen)

Aus diesen Gründen wurde der Filmtechnik der Vorzug gegeben gegenüber der Fertigung konventioneller Platinen die häufig noch manuell erfolgt. Durch die Flexibilität der Folie lassen sich die vom Markt geforderten kleinen Bauformen besser realisieren.

Durch die vollautomatische Bestückung des Leiterfilms lassen sich zum Teil beträchtliche Zeitvorteile erzielen. Auch Modifikationen der Schaltung lassen sich rasch realisieren.

SMD

Häufig werden für die Filmtechnik auch die Bezeichnungen SMD (surface mountable device) oder SMT (surface mountable technology) verwendet. Damit wird darauf hingewiesen, dass hierbei die Bauteile und die Leiterbahnen auf derselben Seite liegen.

ifm

Es ist eine Pionierleistung der ifm, die Filmtechnik für die Standardsensorik eingeführt zu haben. Am Markt ist sonst nur Sensorik mit einer Schaltung auf konventionellen Platinen zu finden, abgesehen von speziellen Techniken, die aber nur für spezielle Geräte von Bedeutung sind.

Die Abbildung 51 ist relativ "neutral" gehalten. Bei den schematisch ange deuteten Bauteilen bleibt es offen, ob es sich um konventionelle, auf eine Platine aufgebrachte, oder um SMD-Bauteile handelt. Auch der Leiterfilm wird auf einen Träger aufgebracht. Dass er bei zylindrischen Bauformen aufgerollt wird, ist im Querschnitt nicht deutlich zu machen.

Die Abschirmung ist bei Filmtechnik mit als geschlossene Fläche aus leitfähigem Material auf den Film aufgebracht. Wird der Leiterfilm dann aufgerollt, umgibt diese die Schaltung. Die Abbildung zeigt keinen Modulsensor, weil bei diesem eine andere Technik zur Abdichtung des Gehäuses verwendet wird. Das wird im folgenden Kapitel 4.1.5 beschrieben.

Ergänzungen	Damit soll die Erläuterung der Tabelle abgeschlossen sein. Die Modultechnik wird im nächsten Kapitel behandelt. Es folgen einige Ergänzungen, die aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht mit in die Tabelle aufgenommen wurden.
Hybrid	Auch bei Effectoren werden Aufbautechniken für spezielle Geräte (Kleinstbauformen) eingesetzt, bei denen die Halbleiter direkt auf den (Keramik-)Träger gebondet und Widerstände im Siebdruckverfahren aufgebracht werden (Hybridtechnik).
Trend Integration	Zur Verringerung der Bauelementezahl und zur Realisierung von Zusatzfunktionen werden immer häufiger spezielle integrierte Schaltungen eingesetzt. Diese ICs werden nach Vorgaben der ifm von Halbleiterherstellern gefertigt.
Elementarsensor	Der Elementarsensor besteht (siehe 3.2.1) aus einem Schwingkreis mit einer Spule in einem Ferritkern. Zur besseren Übersicht wurde er in der Tabelle oben weggelassen. Hier ergaben sich relativ wenig Änderungen. Nur bei speziellen Geräten (magnetfeldfest und $K = 1$ oder 0) werden Kombinationen mehrerer Spulen verwendet.

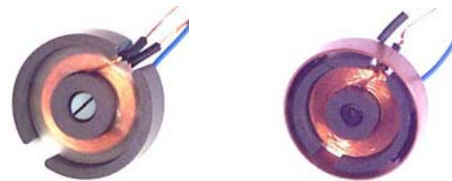


Abbildung 52: Sensor für nicht bündigen und bündigen Einbau

Es gibt auch Sensoren für bündigen Einbau ohne Metallring wie in Abbildung 52. Bei diesen übernimmt das Metallgehäuse die Aufgabe des Ringes, nämlich die seitliche Abschirmung.

4.1.4 Anschluss

Auch bei der Anschlusstechnik gibt es kaum wesentliche Änderungen. Im Laufe der Zeit verschieben sich nur die Gewichte.

Steckergeräte	<p>Bei der Wartung automatisierter Anlagen, z. B. beim Austausch eines gebrochenen Kabels oder defekten Gerätes ist der Zeitaufwand ein wesentlicher Kostenfaktor. Aus diesem Grund ist ein Trend zum Steckergerät zu beobachten. Die mögliche Fehlerquelle einer undichten Verbindung wird dabei in Kauf genommen. Sie kann aber nur z. B. durch zu lockeres oder zu festes (Gefahr der mechanischen Beschädigung) Anziehen der Mutter undicht werden. Hier hat sich der Universalstecker mit M 12 Gewinde durchgesetzt.</p> <p>Bei kleinen Bauformen, darunter fallen auch die Zylinderschalter (Magnet-schalter), sowie zur Gewichtersparnis, z. B. beim Einsatz am Arm eines Roboters, werden auch vermehrt Stecker mit M 8 Gewinde verwendet.</p>
---------------	--

Lebensmittelindustrie	<p>Um den speziellen Anforderungen dieser Applikation gerecht zu werden, gibt es dafür optimierte Geräte. Sie sind z. B. mit vergoldeten Kontaktstiften und einem Gehäuse aus V4A ausgestattet. Zum Anschluss sollte natürlich auch beim Kabelstecker eine Überwurfmutter aus V4A verwendet werden. Der Griffkörper sollte aus PVC bestehen, weil dieses Material am besten Wasser und Reinigungsmitteln widersteht. Hier wurde die noch häufig verwendete Bezeichnung V4A verwendet. Es soll noch einmal kurz daran erinnert werden: V2A steht für rostfreie CrNi-Stähle V4A steht für rostfreie und säurebeständige CrNiMo-Stähle</p>
Drehmoment	<p>In der Regel ist es nicht erforderlich einen Schlüssel mit einstellbarem maximalem Drehmoment zur Montage zu verwenden. Es sollte klar sein, dass mit Kunststoffgewinden sensibler umgegangen werden sollte als mit Metallgewinden. Bei Geräten mit Klemmenraum muss die Verschraubung fest genug angezogen werden, um die Schutzart zu gewährleisten. (siehe Schulungsunterlagen Schutzarten).</p>
Gehäusewerkstoffe	<p>Induktive Näherungsschalter sind als Sensoren in industriellen Prozessen in besonderem Maße Umwelteinflüssen wie Hitze, Kälte, Staub, Vibration, Feuchte, aggressiven Flüssigkeiten und Dämpfen usw. ausgesetzt. Sie müssen daher in Gehäusen untergebracht werden, die gegen diese Einwirkungen beständig sind.</p> <p>Der Gehäusewerkstoff ist in der Regel ein glasfaserverstärkter Kunststoff, der eine gute chemische Beständigkeit und ein hohes Isolationsvermögen aufweist. Zur weiteren Verbesserung der Gehäusestabilität im Hinblick auf die Befestigung werden Gewindegeräte vielfach mit Metallhülsen ausgestattet.</p>
PBTP	<p>Der in der Regel von der ifm verwendete Gehäuse-Kunststoff ist ein cadmiumfreies Polybutylenterephthalat (PBTP), das z. B. unter dem Markennamen Pocan von der Firma Bayer produziert wird. Eine Übersicht über die chemische Beständigkeit gegenüber verschiedenen Medien gibt die Tabelle im Anhang.</p>
Metall	<p>Bei zylindrischen Bauformen setzte die ifm früher bei Standard-Geräten vernickeltes Messing ein, heute wird es mit Optalloy beschichtet. Das ist eine Legierung aus Kupfer, Zinn und Zink, auch unter dem Begriff Weißbronze bekannt.</p> <p>Als Sondergeräte sind die Bauformen aber auch mit einer Hülse aus V4A-Stahl z. B. für die Lebensmittelindustrie erhältlich.</p>
4.1.5 Modultechnik	
efector _m	<p>Im Jahre 2000 wurden unter dem Namen efector_m die neue Generation der induktiven Näherungsschalter vorgestellt. Der Vorstellung gingen aufwendige Entwicklungsarbeiten voraus.</p> <p>Schon die bisherige Generation zeichnete sich durch hohe Störfestigkeit und Zuverlässigkeit, auch unter rauen Bedingungen, aus. Einige der oben (siehe 4.1.2) angesprochenen Punkte ließen sich aber mit dieser Technik nicht weiter optimieren.</p>
Aufbau	<p>Im Folgenden werden für den Modulsensor spezifische Einzelheiten beschrieben. Die Zusammenhänge werden verdeutlicht, indem die Zustände vorher und nachher gegenüber gestellt werden.</p>

Schaltung

Die Schaltung wird wie vorher, nur modular aufgebaut. Damit kann die Typenvielfalt der Schaltungen auf wenige Module reduziert werden. Von einem Gerät mit gleicher Bauform und gleichem Schaltabstand gibt es eine ganze Reihe von Schaltungen. Z. B. gehört zu jeder Variante pnp-, npn-, Allstrom-schaltend eine eigene Schaltung. Deren Anzahl kann sich noch einmal verdoppeln für Geräte mit Kabel- oder Steckeranschluss. Die Signalerzeugung, also die Erzeugung der Oszillation, die Auswertung der Amplitude usw. ist bei jedem Gerät gleich. Beim Modulsensor ist das immer das gleiche Modul. Für die Ausgangsschaltung, pnp- usw., gibt es jeweils ein eigenes Modul. Dieses wird dann verbunden mit dem Stecker- bzw. Kabelmodul für den Anschluss.

Vorher

Nachher

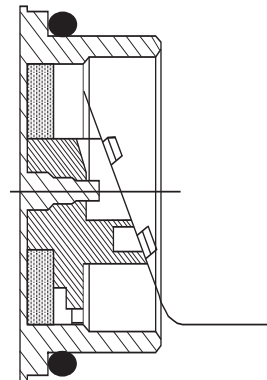


Abbildung 53: Sensormodul

Gehäuse

Vorher

Hier geht es speziell um Metallgehäuse. Die Schaltung wird mit einem Träger verbunden, an der auch die Spule mit ihrem Kern befestigt ist. Beim fertigen Gerät befindet sie sich in einer Kunststoffhülse. Diese wird vom eigentlichen Gehäuse (Kunststoff oder Metall) umgeben. Die Hohlräume werden mit Gießharz vergossen. Die einzelnen Bearbeitungsschritte lassen sich im Wesentlichen nur manuell durchführen. Bei Temperaturänderungen dehnen sich die Metallhülse und die anderen Komponenten unterschiedlich aus. Wenn die aktive Fläche wegen speziellen Umgebungsbedingungen durch einen speziellen Werkstoff geschützt werden muss, dann bedeutet das die Fertigung eines weiteren kompletten Geräts.

Nachher

Die Schaltung wird zum Teil auf einen mechanischen Träger gebracht. Dieser wird direkt in die Metallhülse gesteckt. Die Enden der Metallhülse werden mit O-Ringen abgedichtet. Die Stirnfläche, die aktive Fläche des Sensors kann dabei aus verschiedenen Materialien, PEEK, Keramik usw. bestehen, je nach den Erfordernissen der Anwendung. Die aufwendige Entwicklung und Fertigung von Sondergeräten entfällt. Speziell eine Stirnfläche aus Keramik war mit der bisherigen Technik kaum zu realisieren. Am anderen Ende wird der Anschluss, Kabel oder Stecker, befestigt. Diese Enden werden als einzige Komponenten noch vergossen, um eine optimale Abdichtung und mechanische Stabilität zu gewährleisten. Das Zusammenfügen geschieht vollautomatisch. Auch die Dichtigkeitsprüfung lässt sich einfach und zuverlässig automatisieren.

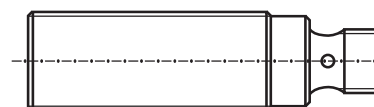


Abbildung 54: Modultechnik Gehäuse

Dichtigkeit vorher	<p>Auch hier konnten Verbesserungen erzielt werden. Bisher konnte auch schon sehr selten ein undichtes Gerät unbemerkt die Qualitätskontrollen passieren. Das wurde durch penible Überwachung des Fertigungsprozesses erreicht. Die Prüfung für jedes Gerät war bei der konventionellen Bauweise schwieriger.</p>
nachher	<p>Da der $e\text{factor}_m$ nicht vergossen ist, wurde es möglich die Dichtigkeitsprüfung mit einer einfachen Druckprüfung zu realisieren. Sie ist in den automatisierten Fertigungsprozess integriert. Jeder $e\text{factor}_m$ wird erst nach bestandener Dichtigkeitsprüfung für den Verkauf freigegeben. Das war eine der wesentlichen Anforderungen, welche die Entwicklung dieser Technik aufwendig gestalteten. Die Geräte erfüllen nun nicht die Anforderungen von IP 67 (siehe Schulungsunterlagen Schutzarten), wie bisher auch schon, sondern auch IP 69 K.</p> <p>Natürlich gibt es auch technische Entwicklungen, die nicht nur dem Modulgerät zu gute kommen. Weil diese aber die aktuelle Generation ist, werden sie hier auch zuerst realisiert.</p>
elektrischer Anschluss	<p>Mehr Informationen über die elektrischen Eigenschaften und ihre Bedeutung für die Anwendung sind in 4.3 zu finden. Allgemeine Informationen über die Bedeutung und Eigenschaften von 2- und 3-Leitergeräten sind in den Schulungsunterlagen Anschlusstechnik zu finden.</p>
vorher	<p>Auch bisher zeichneten sich die Geräte, die in der bewährten Quadronormtechnik ausgeführt waren, als 2-Leitergeräte durch einen geringen Reststrom aus, in der Regel $< 0,4 - 0,6 \text{ mA}$. Damit ist zumindest vom Pegel der problemlose Anschluss an elektronische Steuerungen ohne zusätzliche Beschaltung gewährleistet. Zusätzlich ist aber von der SPS-Norm Typ 1 ein Mindestlaststrom gefordert, was bei den Quadronormgeräten nicht in jedem Fall erfüllt wurde. Daneben gab es natürlich die 3-Leitergeräte mit vernachlässigbarem Leckstrom.</p>
nachher	<p>Bei den 2-Leitergeräten ist der Reststrom $< 0,5 \text{ mA}$. Bei den 3-Leitergeräten ist eine neue Variante hinzugekommen. Sie werden als 3/2-Leitergeräte bezeichnet. Damit wird darauf hingewiesen, dass sie wahlweise als 2- oder 3-Leitergeräte angeschlossen werden können. Damit wird die Lagerhaltung an Ersatzteilen weiter vereinfacht. Da diese Geräte zusätzlich eine 2. LED (Setup-LED) aufweisen, liegt auf Grund des höheren Strombedarfs der maximale Reststrom bei $0,6 \text{ mA}$ sowohl im 2- als auch im 3-Leiter-Betrieb. Die neuen 2-L-Geräte erfüllen die SPS-Spezifikation uneingeschränkt mit $I_R = 0,5 \text{ mA}$ und $I_L \geq 2 \text{ mA}$.</p>
Beschriftung vorher	<p>U. a. elektrische Geräte müssen mit einer Beschriftung versehen sein. Bisher wurde auf den meisten Geräten ein Typenschild angebracht (bei sehr kleinen Bauformen auch am Kabel). Im Laufe der Zeit, unter rauen Bedingungen, konnte dieses verschmutzen oder sich lösen. Es erschwerte natürlich die Wartung, wenn ein ausgefallenes Gerät schnell ersetzt werden soll aber nicht zu identifizieren ist.</p>
nachher	<p>Die Geräte werden mit einer dauerhaften Laserbeschriftung versehen. Selbst wenn wegen Verschmutzung ein aggressives Reinigungsmittel verwendet werden muss, bleibt die Beschriftung lesbar. Durch den hohen Automatisierungsgrad ließ sich das beim $e\text{factor}_m$ besonders zuverlässig und einfach realisieren.</p>
2 Vorteile	<p>Die Vorteile lassen sich zu zwei Hauptpunkten zusammenfassen Anwendung Fertigung Sie werden im Folgenden erläutert und zusammengefasst.</p>

4.1.6 Anwendung des $e\text{factor}_m$

Mechanik

Die mechanischen Eigenschaften konnten weiter optimiert werden. Das zulässige Drehmoment ist beim $efector_m$ wegen der höheren Wandstärke größer geworden. Seine Vibrationsfestigkeit hat ebenfalls zugenommen.

Die Schutzbeschaltung war auch bisher schon so weit entwickelt, dass elektrische Einflüsse, Überlast, Kurzschluss, Verpolung usw., das Gerät kaum noch zerstören können. Die mechanische Beschädigung ist die Hauptausfallursache von $efectoren$. Als weitere Schutzmaßnahme dagegen, können Geräte mit erhöhtem Schaltabstand, speziell die mit der LED-Anzeige für den sicheren Schaltabstand, eingesetzt werden.

Temperaturfestigkeit

Manche Geräte werden einem 1000 Stunden dauerndem Test unterworfen, bei dem zyklisch, in Intervallen von 2 Stunden die Temperatur in den im Datenblatt angegebenen Grenzen herauf und herunter gefahren wurde. Bei den Extremwerten wurde die Temperatur jeweils für 1 Stunde konstant gehalten.

Erst nachdem dieser Test bestanden wurde, erfolgt die Produktionsfreigabe. Solchen Tests, die Anforderungen von Anwendern und Normen meist übertreffen, werden in der ifm seit Jahren durchgeführt. Damit wird sichergestellt, dass die Geräte harten Umgebungsbedingungen gewachsen sind.

Temperaturschocks

Speziell bei Anwendungen in der Lebensmittelindustrie kann es vorkommen, dass der $efector$ mit kochendem Wasser (100°C) in Berührung kommt und anschließend mit Eiswasser (0°C). Nach der Norm für Umweltprüfungen (EN 60068-2-14, Prüfung N_L) wird im 2-Bäderverfahren die Festigkeit gegen Temperaturschocks geprüft.

Als Medium, dem der Sensor ausgesetzt ist, wird Wasser verwendet. Ein Messzyklus besteht aus 15...60 min bei 100° C und 15...60 min bei 0° C. Auch diese Prüfung hat der $efector_m$ bestanden. Der Test wurde abgebrochen, nachdem das Gerät über 50 Zyklen widerstanden hat.

Medien

Auch für kritische Medien lässt sich durch die Modulbauweise leicht der Werkstoff mit geeigneten Eigenschaften einsetzen. Die Hülse besteht aus V4A. Die aktive Fläche ist hier ausschlaggebend.

Medium	aktive Fläche
Öle	LCP
Kühlschmiermittel	Keramik
heiße Metallspäne	Keramik
Reinigungsmittel	PEEK
Lebensmittel	

Vergoldete Kontaktstifte geben Sicherheit gegen korrosionsbedingte Ausfälle.

Identifizierung

Dauerhaft lesbare Laserbeschriftung

4.1.7 Fertigung des $efector_m$

Modularität

Aus wenigen Modulen lässt sich eine breite Palette unterschiedlicher Geräte fertigen. Das betrifft die Mechanik und die Elektronik:
 Werkstoff der aktiven Fläche (LCP, Keramik, PEEK)
 Schaltung (pnp-npn, 2-Leiter, 3-Leiter)
 Auf lange Sicht ist es denkbar, dass ein Gerät direkt nach Eingang der Bestellung gefertigt und sofort ausgeliefert wird.

Automatisierung

Der Automatisierungsgrad ließ sich im Vergleich zur bisher verwendeten Technik beträchtlich steigern.

Prüfung Neben den bisher schon durchgeführten Prüfungen der Schaltung wird jetzt auch jedes Gerät auf Dichtigkeit geprüft.

4.2 Bauformen

Das Standardprogramm der ifm umfasst die in der Industrie gängigen quaderförmigen und zylindrischen Bauformen, vgl. auch die IEC60947-5-2.

Quaderförmig Diese Bauform wird hauptsächlich verwendet für: Geräte mit großer Reichweite. Die große Reichweite, bei Standardgeräten bis 60 mm, wird durch große Spulen erreicht. Diese werden auf der Flachseite untergebracht, z. B. bei 120 × 80 mm² (siehe Tabelle unten). Geräte angelehnt an Normmaße. Bei den früher gebräuchlichen mechanischen Positionsschaltern (siehe 3.1.2) waren Normmaße üblich. Es erleichtert die Konstruktion einer Maschine, wenn von vornherein Gewindelöcher zur Befestigung des Schalters mit Schrauben eingeplant werden können, ohne dass der genaue Typ bekannt sein muss. Das Gehäuse besteht in der Regel aus Kunststoff (Pocan).

Zylindrisch glatt Die erste Generation der efectoren hatte diese Bauform. Sie wird auch heute verwendet. Sie lassen sich einfach mit einer Schelle montieren und auf den richtigen Abstand bringen. Die Schelle gehört normalerweise zum Lieferumfang. Lediglich beim Ersatz der Schelle sollte darauf geachtet werden, dass die passende Originalschelle verwendet wird, um mechanische Beschädigung (Quetschen) zu vermeiden. Das Gehäuse besteht hier meist aus Kunststoff (Pocan).

Zylindrisch mit Gewinde Auch diese Bauform wird häufig verwendet. Die Geräte lassen sich an einem Haltewinkel (als Zubehör erhältlich) oder einem einfach einzubringendem Bohrloch mit Mutter und Kontermutter fixieren. Als weiteres Zubehör gibt es hier auch eine spezielle Anschlaghülse für M 8, M 12, M 18 und M 30 Geräte. Sie ermöglicht es, ein ausgefallenes Gerät mit einem Handgriff auszutauschen, ohne das Ersatzgerät neu zu justieren. Speziell bündig eingebaute Geräte (siehe 3.4.1) haben diese Bauform. Das Gehäuse besteht aus Kunststoff oder Metall. Zu der zuletzt erwähnten Gruppe gehört der efector_m.

Die folgende Tabelle soll einen Überblick vermitteln. Sie zeigt nicht alle Maße; speziell bei Gewindebauformen gibt es häufig eine Kurzbauform, so dass die Tabelle durch die vielen Typen, die sich nur durch die Länge unterscheiden, sehr unübersichtlich wäre.

Bauform	Maße in mm	Werkstoff
Quader	52 x 8 x 8	Metall
	27,8 x 16 x 10,2	Kunststoff
	40 x 26 x 12	
	40 x 40 x 66	
	60 x 36 x 10	
	121,3 x 40,5 x 40,5	
	90 x 60 x 40	
	120 x 80 x 30	
	105 x 80 x 39,2	

Zylinder	glatt	4 × 30 4 × 45 6,5 × 35 6,5 × 49 6,5 × 35 11 × 60 18 × 70	Metall
		11 × 54 20 × 77,4 20 × 92 34 × 82	Kunststoff
	Gewinde	M5 × 0,5 M8 × 1 M12 × 1 M18 × 1 M30 ×	Kunststoff oder Metall

Bei der Bauform zylindrisch sind Durchmesser bzw. Gewindemaß und Länge angegeben. Die Längenmaße beziehen sich auf das Gehäuse, also bis zum Ansatz des Kabels bzw. des Gewindestutzens

ich will mehr wissen!

Weitere Angaben, Maßzeichnungen, Informationen über zulässige Toleranzen der Maße usw. sind im Katalog oder bei www.ifm.com zu finden. Die gewünschte Bauform lässt sich durch den Einsatz des Selektors, der dynamischen Produktsuche, rasch und einfach auffinden. Bei der Übersicht über die Bauformen ist auch der Typenschlüssel im Anhang nützlich.

ist das immer noch nicht alles?

Neben dieser Grundpalette bietet ifm eine Vielzahl weiterer Schalter an: Bauformen, die mit mechanischen Schaltern kompatibel sind (z.B. Mikroschalter nach DIN 41635, gekapselte Grenztaster nach DIN 43694); Bauformen, die nach internationalen Normen der CENELEC standardisiert sind, sowie eine Vielzahl von anwendungsorientierten und anwenderspezifischen Sonderbauformen. Neu sind auch Sensoren des induktiven Typs, die mit speziellen Schaltverstärkern für sicherheitsgerichtete Anwendungen vorgesehen sind. Die Einzelheiten werden in den Schulungsunterlagen Sicherheitstechnik beschrieben.

Es folgen 2 Beispiele für weitere Typen, die sich am Markt finden: Zu den anwendungsorientierten Bauformen zählen unter anderem Schlitz- und Ringsensoren, auch wenn diese beiden Typen keine Näherungsschalter im herkömmlichen Sinne sind.

Wegen des besonderen Sensorfeldverlaufes werden Schlitzsensoren bevorzugt dort eingesetzt, wo eine hohe Wiederholgenauigkeit gefordert wird. Ringsensoren sind in der Lage, kleine Gegenstände wie Kugeln, Nägel, Muttern usw. gut zu erkennen.

Anschluss
Kabel

Es gibt 3 Varianten:
Hier ist die Anschlussleitung fest mit dem Gerät verbunden. Die Fehlerquelle: undichte Steckverbindung durch unsachgemäße Montage wird hier sicher ausgeschlossen.

Stecker

Diese Geräte mit dem Vorteil der einfachen Austauschbarkeit werden immer mehr eingesetzt. Auch bei Erstmontage ist ein Fehler durch vertauschte Kabel ausgeschlossen. Wegen der wachsenden Bedeutung gibt es inzwischen einen eigenen Prospekt zur Übersicht der Kabel Dosen.

Klemmenraum

Außerdem werden in den Katalogen und Prospekten oder im Internet (siehe oben) für die Näherungsschalter mit Steckeranschluss Standardkabelstecker oder Kabelstecker mit besonderen Eigenschaften, die z. B. für den Einsatz in der Lebensmittelindustrie besonders geeignet sind, empfohlen. Als weitere Variante sind spezielle Geräte mit Anschlussraum erhältlich, bei denen der Anwender eine Leitung seiner Wahl montieren kann. Die Dichtigkeit des Anschlussraums wird durch eine Kabel-Verschraubung erreicht, durch die das Kabel geführt wird. Als Besonderheit gibt es hier zylindrische Bauformen, bei denen das Kabel entweder in Richtung der Längsachse verläuft oder, bei beengten Platzverhältnissen, durch Schwenken des patentierten Anschlussstutzens um 90° abgewinkelt zugeführt werden kann.

4.3 Elektrische Eigenschaften

Es gibt eine Reihe von elektrischen Eigenschaften, die allen elektronischen, binären Positionssensoren (vgl. 3.1.1), z. B. induktiven und kapazitiven Näherungsschaltern, optoelektronischen Sensoren usw. gemeinsam sind. Daher werden sie separat ausführlich behandelt, siehe Schulungsunterlagen Anschlussstechnik. Hier wird im Folgenden nur kurz auf wichtige Punkte und Besonderheiten hingewiesen, ohne dass die verwendeten Begriffe noch einmal ausführlich erläutert werden.

Schnittstellenrichtlinie

In der IEC 61131-2, der aktuellen SPS-Norm, werden Anforderungen an Geräte festgelegt, u. a. um sie an SPS anschließen zu können. Dadurch ist die Bedeutung der elektrischen Eigenschaften noch gestiegen.

4.3.1 Wichtige Parameter

Die Anschlussstechnik ist für jeden Sensor ein Thema, deshalb wird sie in den entsprechenden Schulungsunterlagen separat behandelt. Hier sollen nur kurz einige wichtige Punkte zusammengefasst werden:

Anschlussstechnik

Binäre Sensoren werden in so genannter 2-Leiter-, 3-Leiter- und (für besondere Fälle) in 4-Leiter-Technik angeboten. Bei 3- und 4-Leiter-Schaltern wird die Betriebsspannung zwischen $+U_B$ und 0 V angelegt und das Schaltsignal über eine Extraleitung zur Last geführt.

Bei 2-Leiter-Schaltern ist die Betriebsspannung diejenige, die der Reihenschaltung von Näherungsschalter und Last gemeinsam zur Verfügung steht. Ein Sonderfall stellen die Modulsensoren dar, bei denen es Typen gibt, die wahlweise als 2- oder 3-Leiter verwendet werden können. In der Praxis sind dabei folgende Punkte zu beachten:

Spannungsfall und Reststrom bei 2-Leitern.

Statt des in der Norm festgelegten Begriffes Spannungsfall wird gelegentlich auch der Begriff Spannungsabfall verwendet. Er ist von Bedeutung, weil dadurch die an der Last liegende Spannung reduziert wird. Bei früheren Geräten konnte der Reststrom von einigen mA z. B. beim Anschluss an elektronische Steuerungen des Typs 1 (für mechanische Schalter) zu unsicheren Schaltzuständen führen. Bei neueren Geräten, speziell den quadronorm-Geräten, ist es gelungen den Reststrom auf typischerweise 0,4 bis 0,6 mA zu reduzieren.

Bei den 2-Leiter-Modulgeräten liegt er bei 0,5 mA, der Spannungsabfall bei 2,5 V und der Mindestlaststrom bei 2 mA. Diese technischen Daten entsprechen der SPS-Norm Typ 1. Wegen des beträchtlich geringeren Verdrahtungsaufwands sind die aktuellen 2-Leiter eine kostengünstige Alternative zu den 3-Leitern (wenn nicht ohnehin ein Feldbus-System wie z.B. AS-Interface verwendet wird).

Reihen- und Parallelschaltung

Beim aktuellen Stand der Technik werden elektronische Positionssensoren direkt auf SPS-Eingänge geführt und durch die Programmlogik verknüpft. Daher ist dieser Punkt heute kaum noch von Bedeutung. Falls es aber nicht zu umgehen ist, müssen Besonderheiten beachtet werden, siehe Schulungsunterlagen Anschlusstechnik. Diese betreffen wieder den Reststrom und Spannungsfall bei 2-Leitern und auch bei 3-Leitern mögliche Auswirkungen auf die Bereitschaftsverzögerungszeit.

Spannungsversorgung

Maßgebend für die Praxis ist nicht die Nennspannung sondern der Spannungsbereich, in dem die Geräte zuverlässig arbeiten. Diese sind in den Datenblättern und auf dem Typenschild zu finden. Die Normen, die der CE-Kennzeichnung zu Grunde liegen, definieren u. a. den Grad der leitungsgeführten Störeinflüsse, denen das Gerät widerstehen muss, siehe Schulungsunterlagen CE-Kennzeichnung.

Restwelligkeit

Bei Gleichspannung ist zu beachten, dass auch die Restwelligkeit die Grenzwerte nicht überschreitet. Es genügt nicht, nur einen effektiven Mittelwert zu kontrollieren. Wenn am Netzteil gespart wurde, so dass keine hinreichend geglättete Spannung zur Verfügung steht, dann ist die zuverlässige Funktion nicht mehr gewährleistet.

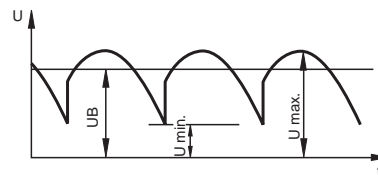


Abbildung 55: Stromversorgung DC und Restwelligkeit

Wenn die Restwelligkeit unter den Grenzwert der Betriebsspannung des Näherungsschalters sinkt, hilft ein Glättungskondensator. Als Faustregel kann hierfür gelten: 1000 µF pro 1 A Stromstärke.

Schutzbeschaltung

Je nach Bauform und Typ sind die Geräte mit unterschiedlichen Schutzbeschaltungen ausgeführt. Im Einzelnen ist das der Schutz gegen

- Überlast
- Kurzschluss
- Verpolung
- leitungsgebundene Störeinflüsse

4.3.2 Übersicht

Die folgende Übersicht zeigt die "Familie" der induktiven Näherungsschalter in Form eines "Baumes". DC und AC dürften bekannte Begriffe sein. UC steht für universal current, oder Allstrom-Geräte. Diese können in den angegebenen Grenzen an Gleich- oder Wechselstrom angeschlossen werden.

Der * kennzeichnet Geräte mit Kurzschlusschutz

Man erkennt, dass die Strombelastbarkeit bei Halbleiterausgängen bauformabhängig zwischen ca. 100 - 400 mA liegt.

Inzwischen hat sich die Nennspannung von 24 V DC als Steuerspannung weitgehend durchgesetzt. Andere Spannungen werden noch in speziellen Branchen oder Ländern verwendet. Im Folgenden werden Anschlussschemata für DC- Geräte gezeigt.

quadronorm

Eine Besonderheit stellen die Quadronormgeräte dar (siehe 4.4.4). Sie arbeiten in beiden Polaritäten.

4.4 Schalter mit speziellen Eigenschaften

4.4.1 Einsatz in explosionsgefährdeten Bereichen

Verweis

Da dieses Thema ebenfalls (siehe 4.3) vielen binären Positionssensoren gemeinsam und darüber hinaus auch für Fluidsensoren wichtig ist, wird es ebenfalls separat behandelt, siehe Schulungsunterlagen ATEX. Dort werden die einschlägigen Begriffe, Bezeichnungen, insbesondere die Kennzeichnung der Geräte, Normen usw. ausführlicher beschrieben. Hier soll nur kurz der Begriff ATEX genannt werden. Er steht für eine Richtlinie der EU. Das stellt den aktuellen Stand dar. Auf früher verwendete Begriffe, z. B. Ex-Geräte, NAMUR-Geräte wird man noch häufig treffen. Es wurden einige Definitionen modifiziert und Bezeichnungen geändert. Ein Beispiel für Experten: die frühere Zone 10 muss jetzt Zone 20 heißen.

Wichtig!

Der Sensorhersteller kann sich Geräte von den zuständigen Stellen prüfen und abnehmen lassen. Wegen der Vielfalt der Applikationen führt die ifm keine Beratung darüber durch, welches Gerät in einem konkreten Anwendungsfall eingesetzt werden darf. Jeder Anwender ist selbst dafür verantwortlich, die Normen und Vorschriften, die für die jeweilige Anwendung maßgeblich sind, z. B. ATEX 100a und ATEX 118a, zu kennen und korrekt anzuwenden.

Der Einsatz in explosionsgefährdeten Bereichen nicht nur in der chemischen Industrie, sondern z. B. auch in Farbspritzkabinen, in Mühlen oder in Tankanlagen, ist der älteste Anwendungsbereich für Näherungsschalter überhaupt. Da in diesen Bereichen nur sehr kleine Spannungen verwendet werden dürfen, gibt es mit mechanischen Schaltern oft Probleme. In Näherungsschaltern hingegen entstehen betriebsmäßig keine Funken, Lichtbögen oder unzulässig hohen Temperaturen. Früher waren viele Ausführungen in bestimmten Ex-Zonen direkt einsetzbar. Das gilt mit ATEX nicht mehr.

Damit sind die Anforderungen an das Gerät schon kurz umschrieben. Es darf in keinem Fall, z. B. bei mechanischer Zerstörung eines Geräts, durch Kurzschluss über ein Bauteil, das elektrische Energie speichert, also Spule oder Kondensator, ein Funke entstehen, der eine Explosion auslösen kann. Auch bei weniger gefährdeten Bereichen (Zone 2, die genaue Definition, was das bedeutet, ist in Schulungsunterlagen ATEX zu finden) muss jedes elektrische Betriebsmittel eindeutig als EX-fähig gekennzeichnet sein, selbst wenn es als Standardgerät den Anforderungen schon entspricht.

Bei höher gefährdeten Bereichen lassen sich die Anforderungen z. B. dadurch erfüllen, dass der Elementarsensor vom Schaltverstärker räumlich getrennt ist. Bei diesen so genannte NAMUR-Sensoren (siehe Schulungsunterlagen ATEX) gibt es obere Grenzen für Ströme und Spannungen, die strikt eingehalten werden müssen. Erst im Schaltverstärker, der sich außerhalb des gefährdeten Bereichs befinden muss, z. B. in einem gekapselten Schaltschrank, wird Leistung geschaltet. Selbst für die Leitungen, die beide verbinden, müssen Regeln beachtet werden.

Als eine Besonderheit bei der Zonen- und Gruppenfestlegung werden im Bereich Ia IIc (siehe Schulungsunterlagen ATEX) noch induktive und kapazitive Werte der Geräte berücksichtigt, die durch Geber und Leitungen verursacht werden.

Beim Anschluss verschiedener äußerer Energiespeicher an den Steuerstromkreis ist zu beachten: Da der Energiegehalt des Steuerkreises durch das Sensorkabel und den Sensor verändert wird (z. B. durch Kabelkapazitäten), ist die Einhaltung der auf dem Typenschild angegebenen Werte zwingend vorgeschrieben. Allgemeingültige Aussagen über die maximal zulässige Leitungslänge können aus diesem Grunde nicht gemacht werden.

efectoren im ATEX-Bereich

In allen Ex-Bereichen dürfen nur die dafür zugelassenen und gekennzeichneten Sensoren eingesetzt werden. Die frühere Generation dieser Sensoren gab ein analoges Ausgangssignal ab, das vom Schaltverstärker ausgewertet wurde. Heute wird ein binäres Ausgangssignal ausgegeben. Dazu befinden sich mehr Bauteile als früher im Sensor, wobei die Schaltung natürlich immer noch die strengen Spezifikationen einhalten muss.

ATEX-Schaltverstärker

Die zugehörigen Schaltverstärker erzeugen, galvanisch getrennt, binäre Informationen aus den Signalen eigensicherer Geräte aus dem Ex-Bereich. Die Schaltverstärker können von allen klassischen Schaltelementen angesteuert werden:

- Mechanische Kontakte
- Näherungsschalter nach DIN 19 234

NV 0100

Der Schaltverstärker besitzt ein blaues Typenschild und verschiedenfarbige Klemmleisten für die Sensorseite (blau) als eigensicherer Kreis und eine schwarze Leiste auf der Netzanschlussseite. Die Betriebsspannung für die Steuerungsseite (Sensor) beträgt 8,2 V DC. Die zugehörigen 2-Leiter-DC efectoren haben ebenfalls zur Kennzeichnung des möglichen Einsatzes im ATEX-Bereich ein blaues Kabel (blaue Farbe = Hinweis ATEX-Bereich).

4.4.2 Schwenkantriebsschalter

IND

Mit dem Schwenkantriebsschalter IND ist es möglich, die Auf- bzw. Zu-Stellung von Schwenkantrieben gemäß Standard-Schnittstelle VDI / VDE 3845.3.1 an Stellklappen und Schiebern zu überwachen, ohne dass - wie bisher üblich - zwei getrennte Schalter montiert und verdrahtet werden müssen.

Der Installationsaufwand und die entstehenden Kosten werden dadurch erheblich reduziert. Die mechanische Konstruktion des IND und die Steckverbindung machen in Verbindung mit einer Scheibe mit Schaltnocken, die als Zubehör erhältlich ist, den Einbau und die Verdrahtung in einen zusätzlichen Klemmkasten überflüssig. über zwei Langlöcher mit genormtem Abstandsmaß kann der Schalter direkt auf den Schwenkantrieb montiert werden.

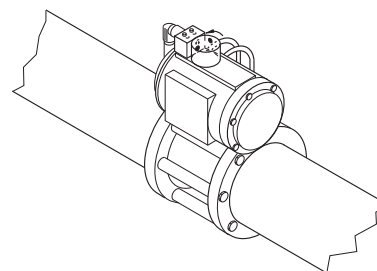


Abbildung 56: efector IND

AS-i

Die Einführung dieses Systems (siehe Katalog) hat diesem Sensor, bzw. Modifikationen davon neue Anwendungsmöglichkeiten erschlossen. Durch die Kombination des Sensors zur Positionsüberwachung und der Ansteuerung der Ventile in einem Gerät, kann die Steuerung von Schwenkantrieben kostengünstig realisiert werden. das ist ein Beispiel dafür, dass mit diesem System neue Geräte mit hoher Integrationsdichte realisierbar geworden sind.

4.4.3 Geräte mit Montagehilfe

efectoren mit der Zwei-Farb-LED-Funktion erfüllen die Forderungen nach einem einfachen, unverwechselbaren Anschluss und einer optischen Montage- und Einstellhilfe. Durch eine rote und eine grüne (oder gelbe) LED wird angezeigt, in welchem Schaltabstandsbereich sich das zu erfassende Objekt befindet.

Sobald das Objekt erfasst wird, leuchten beide LEDs. Bei Annäherung auf einen Wert unter 80 % des Bemessungsschaltabstandes leuchtet nur noch die Schalt-LED und signalisiert einen sicheren Montageabstand. Zusätzlich zeichnen sich die Geräte durch einen hohen Schaltabstand bei bündigem und nichtbündigem Einbau aus.

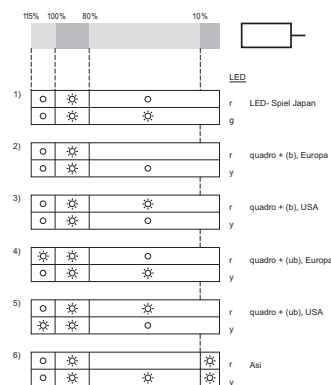


Abbildung 57: Funktionsdiagramm Zwei-Farb-LED

AS-i

Bei optoelektronischen Sensoren ist bei manchen Typen ein weiterer Schaltausgang herausgeführt, um einen unsicheren Schaltzustand zu melden. Das wird auch als Vorausfallmeldung bezeichnet und kann z. B. dazu verwendet werden, eine Verschmutzung zu beseitigen, bevor Störungen auftreten. Bei induktiven Näherungsschaltern wäre diese Option auch denkbar, wurde aber bisher nicht realisiert.

Dagegen spricht z. B. der zusätzliche Aufwand, wenn pro Sensor zwei Ausgänge mit der Steuerung verbunden werden müssen. Deshalb wird bei diesen Sensoren der unsichere Schaltzustand nur über die LED im Sinne einer Montagehilfe angezeigt. Anders sieht es jedoch bei den so genannten intelligenten Sensoren aus. Diese sind direkt Teilnehmer am AS-i System (siehe Katalog) und verfügen über bis zu 4 Datenbits. Damit kann neben dem unsicheren Schaltzustand z. B. auch die Betriebsbereitschaft überwacht werden.

4.4.4 Quadronormgeräte

Reststrom

Bei 2-Leitergeräten der früheren Generationen konnte der Reststrom Werte von einigen mA annehmen, bei denen eine zuverlässige Signalverarbeitung, z. B. durch die Eingänge einer SPS, nicht mehr gewährleistet war.

Polarität

Bei Halbleiterausgängen für Gleichstrom muss die Polarität beachtet werden. In vielen Ländern und Branchen sind pnp-schaltende Sensoren üblich. Sei es durch ein importiertes Steuergerät oder beim Export einer kompletten Anlage in Länder, in denen die andere Polarität gebräuchlich ist, sind die unterschiedlichen Polaritäten eine mögliche Fehlerquelle, besonders, wenn ein ausgefallener Sensor ersetzt werden muss. Z. B. trifft man in Japan noch häufig npn-Geräte an.

Schließer / Öffner

Es kommt häufig vor, dass zwei Geräte, die sich nur durch ihre Schaltfunktion unterscheiden und ansonsten völlig gleich sind, benötigt werden. Wenn es wirklich zwei Geräte sind, verdoppelt sich die Lagerhaltung an Ersatzgeräten. Außerdem ist der Ersatz eines ausgefallenen Gerätes eine mögliche Fehlerquelle. Speziell bei den Geräten mit Klemmenraum lässt sich die Schaltfunktion durch Auswahl der Anschlussklemmen bestimmen. Das ist bei den Standardgeräten aber nicht möglich.

Die Entwicklung der Quadronormgeräte stand unter der Zielsetzung, die oben genannten Punkte zu verbessern. Sie haben folgende Eigenschaften:
 Reststrom in der Regel 0,4 - 0,6 mA
 automatische Erkennung und Einstellung auf Polarität
 Schaltfunktion wird durch Vertauschen der Anschlüsse invertiert.

Adernfarbe

Bei der farblichen Markierung der Adern mussten neue Wege beschriftet werden, da die üblichen Farben, z. B. BN für L+, nicht verwendbar sind (vgl. 4.3.2).

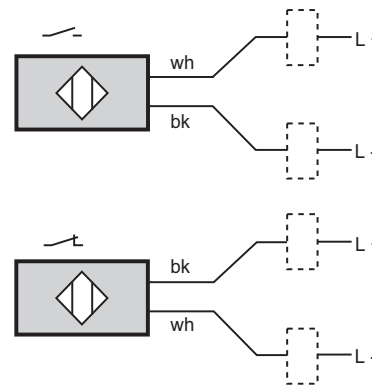


Abbildung 58: Anschlussbild quadronorm

4.4.5 Unipolare Geräte

Diese sind ein Spezialfall der Quadronormgeräte. Unipolarer Anschluss bedeutet, dass die Funktion des Gerätes, zum Beispiel Schließer, erhalten bleibt, egal wie der Schalter angeschlossen wird. Diese Funktion kommt dem Schalter mit mechanischem Kontakt am nächsten.

Kennzeichen für effectoren mit unipolarem Anschluss sind die beiden schwarzen Adern, womit verdeutlicht wird, dass der Anschluss beliebig ist.

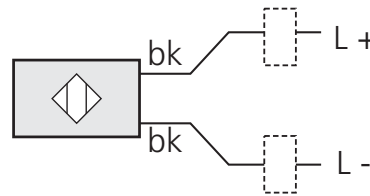


Abbildung 59: Anschlussbild unipolar

Damit wird der einzige Fehler, der beim Anschluss von Quadronormgeräten vorkommen kann, nämlich ungewollte Umkehrung der Schaltfunktion durch Vertauschung der beiden Anschlussleitungen, auch noch vermieden.

4.4.6 Selbstüberwachende Bauformen

Sicherheit für Maschinen und Anlagen Nach statistischen Untersuchungen liegen 90% aller in einer Anlage auftretenden Fehler in der Peripherie, das heißt bei den Sensoren (zum Beispiel elektronischen Näherungsschaltern) und Aktuatoren (zum Beispiel Magnetventilen).

Dies wird verständlich, wenn man berücksichtigt, dass diese Baugruppen und deren Zuleitung oft extremen Umweltbedingungen ausgesetzt sind. Ausfälle, wie zum Beispiel durch Leitungsbruch, Kurzschluss oder mechanische Beschädigung, sind nicht auszuschließen.

Ein unbemerkter Ausfall eines Befehlgebers kann unter Umständen zur Zerstörung von Anlagenteilen, zur Beschädigung des Produktionsgutes oder sogar zu Gefahren für das Personal führen.

Sicherheit für Personen? Nein!

Im Prinzip betrifft dieses Thema indirekt auch die Sicherheit von Personen. Dafür gibt es jedoch einen eigenen Zweig der Technik, die Sicherheitstechnik. Geräte, die zum Personenschutz eingesetzt werden dürfen, unterliegen besonderen und strengen Regeln, Normen und Vorschriften. Für ihren Einsatz sind besondere Zulassungen Voraussetzung, wie bei ATEX-Geräten. Daher werden auch diese Geräte separat behandelt, siehe Schulungsunterlagen ATEX, bzw. Schulungsunterlagen Sicherheitstechnik. Hier geht es also, wie oben gesagt, um die Sicherheit von Maschinen und Anlagen.

Vergangenheit

Es gab Geräte, eine Kombination aus Sensoren, die S-effector genannt wurden und einer Überwachungseinheit, den F 400. Diese Geräte sind nicht mehr erhältlich. Da sie aber noch im Einsatz sind wurden sie hier kurz erwähnt.

aktuelle Lösung: AS-i

Diese Geräte wurden natürlich nicht deshalb aus dem Programm genommen, weil die Anwendungen nicht mehr existieren. Ein optimaler Schutz für Anlagen und wertvolle Produktionsgüter bleibt natürlich immer ein Thema. Heute gibt es allerdings andere Möglichkeiten, als spezifische Spezialgeräte.

Dazu gehören die oben (siehe 4.4.3) schon beschriebenen intelligenten AS-i Sensoren (siehe Katalog). Außerdem gibt es auch hier Geräte für den Einsatz beim Personenschutz. Das ist aber auch bei AS-i ein separates Thema (siehe Schulungsunterlagen Sicherheitstechnik).

4.4.7 Schweißstromfeste Geräte

Anwendung in Schweißanlagen mit hohen Gleich- und Wechselfeldern. Induktive Näherungsschalter kommen in Schweißanlagen zum Einsatz (siehe auch IEC 60947-5-2 Anhang E), zum Beispiel

- an Schweißrobotern unmittelbar in der Nähe der Schweißzange bzw. Schweißelektroden, um deren Stellung während des Schweißvorganges zu überwachen
- zur Stellungsüberwachung der Werkzeugspanner
- zur Detektierung der im Werkzeug liegenden Schweißkomponenten wie zum Beispiel Blechteile
- für die automatische Steuerung und Positionierung des Werkzeuges während der verschiedenen Schweißvorgänge.

Beeinflussung durch das Magnetfeld

Beim Schweißvorgang selbst fließen 8 bis 30 kA Schweißstrom, je nach Materialbeschaffenheit, Blechdicke,

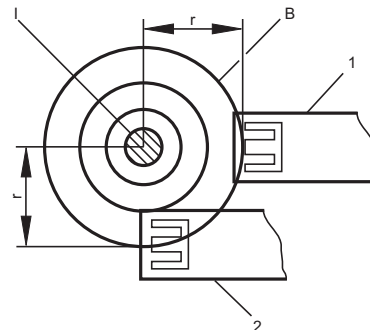
Verwendungszweck der Blechteile am Auto (wie zum Beispiel Außenhautbleche, deren Oberflächenbeschaffenheit nicht negativ beeinträchtigt werden darf), Verschleiß der Schweißelektroden.

weshalb?

Das hierdurch entstehende magnetische Feld kann induktive Näherungsschalter beeinflussen, die sich in unmittelbarer Nähe befinden, und zwar im unbetätigten Zustand durch magnetische Sättigung des Ferritkerns, im betätigten oder unbetätigten Zustand durch induzierte Spannungen innerhalb der Elektronik.

Lage im Magnetfeld

Die Lage des Näherungsschalters im Magnetfeld spielt hierbei eine wichtige Rolle, wobei die axiale Lage wegen der hohen magnetischen Durchflutung die ungünstigste darstellt.



I: Leiter mit Schweißstrom I; 1: Sensor im radialen Feld; 2: Sensor im axialen Feld

Abbildung 60: Lage im Magnetfeld SC100-53.EPS

Schweißstrom und Abstand zum Leiter

Die Einsatzmöglichkeit schweißstromfester induktiver Sensoren hängt von der Höhe des Schweißstromes I und des Abstandes r zum schweißstromdurchflossenen Leiter ab.

Den Verlauf der magnetischen Induktion B in Abhängigkeit vom Abstand r des stromdurchflossenen (zylinderförmigen) Leiters zeigt die Abbildung.

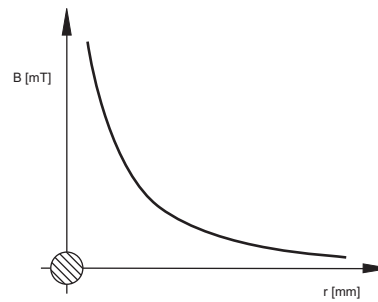


Abbildung 61: Magnetfeld und Abstand vom Leiter

Größengleichung

Mit der Größengleichung zur Berechnung der magnetischen Induktion erhält man Richtwerte zur Sensormontage:

$$B = \frac{200 \times I}{r}$$

B[mT]: magnetische Induktion; I[A]: Stromstärke; r[mm]: Abstand

Die magnetfeldfesten efektoren der ifm electronic, auch schweißstromfeste efektoren genannt, können in unmittelbarer Nähe der Schweißelektroden in Wechsel- und Gleichfeldern eingesetzt werden. Es wurden zum Beispiel efektoren der Bauform M12 und M18 in einem Wechselfeld bei einem Schweißstrom 21 kA und einem Abstand des Sensors zum schweißstromdurchflossenen Leiter von 30 mm mit Erfolg getestet. Diese Einsatzbedingung entspricht einer magnetischen Induktion $B = 140$ mT.

Zum Vergleich: In einem Abstand von 1 mm zu einem Leiter, der einen Strom der Stärke $I = 1$ A führt, beträgt $B = 0,2$ mT. Das Erdmagnetfeld liegt in der Größenordnung 0,01 mT.

wodurch?

Die Magnetfeldfestigkeit wurde erreicht durch:

- speziellen Oszillator
- neuen Spulenaufbau.
- Luftspule

Zum Schutz gegen Schweißspritzer wurden die induktiven magnetfeldfesten efektoren mit einer antihaftenden, temperaturbeständigen Stirnfläche ausgerüstet. Die Beschichtung ist nicht silikonhaltig, da Silikon eine lackbenetzungsstörende Substanz ist, die im Karosserie-Rohbau zur Kraterverursachung führen kann. Bei den neueren Geräten besteht sie aus PTFE.

Falls erforderlich können je nach Einsatzfall zum weiteren mechanischen Schutz des Näherungsschalters PTFE-(Teflon-)kappen für M12, M18 und M30 als Zubehör bestellt werden. Als weiteres Zubehör werden Kabeldosens angeboten mit strahlenvernetzten Kabeln, die sich besonders für den Einsatz in Schweißanlagen eignen.

Besondere Merkmale der magnetfeldfesten Geräte:

- Magnetfeldfest (schweißstromfest) beim 50 Hz- und 1000 Hz-Schweißen
- Unempfindlich gegenüber Vorbedämpfung (bündig einbaubare Geräte)
- Spulenaufbau: 1- und 2-Spulen-Technik

- Mechanisch geschützte Stirnfläche
- Stirnfläche aus PTFE (Teflon) beziehungsweise antihafbeschichtet (Safecoat), wärmebeständig, Bauform gemäß Automobilindustrie, Länge ≤ 60 mm, inklusive Stecker
- Hohe Schaltfrequenz, Bauformen M12 b/nb, M18b, M30b und quaderförmig mit Universalstecker US-100.

4.4.8 Geräte mit erhöhtem Schaltabstand

In der Praxis besteht zunehmend der Wunsch, Geräte mit erhöhten Schaltabständen einzusetzen. Das liegt u. a. daran, dass in Anlagen die Einbaubedingungen gemäß IEC 60947-5-2 nicht praktikabel sind, d. h. dass die notwendigen Freiräume für den Einbau nicht bündiger Geräte in Metall nicht mehr zur Verfügung stehen, dass kleinere Bauformen bzw. kleinere Schaltfahnen zum Einsatz kommen sollen, und dass die Zweiteilung in bündig und nicht bündig einbaubare Geräte aufgehoben werden soll, um den Aufwand bei Montage, Service und Ersatzteilhaltung zu reduzieren.

Um diese Wünsche der Anwender erfüllen zu können, wurden bei der ifm Geräte mit erhöhtem Schaltabstand entwickelt. Wichtige Forderungen an die Geräte sind:

Geringer Einbausprung. Das ist die Veränderung des Schaltabstandes bei bündigem und nicht bündigem Einbau; siehe 3.3.1

Ausreichende Betriebsreserve, um das unkontrollierte Schalten z. B. durch leitfähigen Schmutz und hohe Temperaturen zu verhindern.

Die Einhaltung der Einbaubedingungen nach IEC 60947-5-2 für den bündigen und nicht bündigen Einbau von induktiven Näherungsschaltern.

Mindestens gleiche Korrekturfaktoren wie bei den Geräten mit normalen Schaltabständen, das heißt auch höhere Schaltabstände bei Materialien die nicht St37 sind.

Fertigung in Serie, d. h. keine kostenintensive, stückzahlbegrenzte Sensortechnologie

wie wird diese Eigenschaft erreicht?

Schaltabstand und Güte des Schwingkreises stehen in einem direkten Verhältnis, je besser die Güte, umso höher der mögliche Schaltabstand.

Durch die Veränderung folgender Größen wird die Güte verbessert:

Kernmaterial und Geometrie

Spulenlitze

Magnetfeldverteilung (Entwicklung eines Sandwich-Sensors)

Oszillatorfrequenz

Verwendung von NTC-Netzwerken zur Temperaturkompensation

Werden bündig einbaubare Geräte nicht bündig eingebaut, kommt es speziell bei großen Bauformen (M18, M30) zu einem Einbausprung; siehe 3.3.1 und folgende Abbildung:

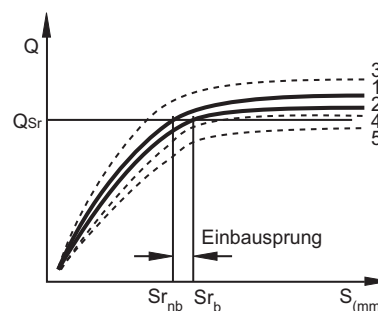


Abbildung 62: Einbausprung

ifm-Geräte haben in der Regel einen Einbausprung kleiner 10%; s. Kurve 1 zu Kurve 2.

Wird der Einbausprung beim erhöhten Schaltabstand nur unzureichend kompensiert, dann haben große Bauformen einen größeren Einbausprung; s. Kurve 3 zu Kurve 4

oder schalten sogar auf Dauer ein; s. Kurve 5

Die folgende Tabelle gibt einige typische Werte für erhöhte Schaltabstände bei ifm-Geräten an.

	bündig einbaubar		nicht bündig einbaubar	
	alt	neu	alt	neu
M8	1	2 (+ 100 %)	2	4 (+ 100 %)
M12	2	4 (+ 100 %)	4	7 (+ 75 %)
M18	5	8 (+ 60 %)	8	12 (+ 50 %)
M30	10	15 (+ 50 %)	15	22 (+ 47 %)

Alle Maße für s_n [mm]. "alt" bedeutet "gemäß IEC 60947-5-2", "neu" steht für den erhöhten Wert.

4.4.9 Gerät für überbündigen Einbau

In 3.4.1 wurde der Begriff überbündig schon erläutert. Bei der Überwachung von Transportprozessen, besonders wenn schwere Gegenstände bewegt werden, sind große Schaltabstände, wie sie mit quaderförmigen Geräten erreicht werden, erforderlich.

Ein solches Gerät ist überbündig einbaubar. Die Abbildung 63 zeigt die dabei einzuhaltenden Freiräume. Das Gerät kann maximal um 5 mm versenkt werden. Dazu sind seitliche Freiräume von 3 - 4 mm einzuhalten.

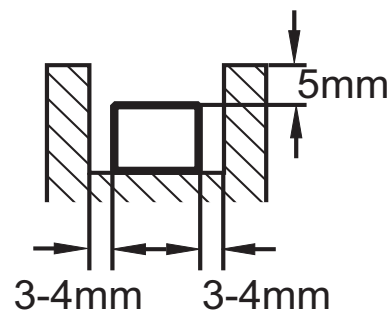


Abbildung 63: IDC überbündiger Einbau

Auch bei diesem Gerät ließ sich ein Einbausprung (siehe 3.4.1 und 4.4.8) nicht vermeiden. Bei größeren Freiräumen oder bei der Montage auf eine Fläche, reduziert sich der (Arbeits-)Schaltabstand (siehe 3.3.1) von 40,5 mm um maximal 5,5 mm.

Geräteübersicht Induktiv

Wegen der Fülle der Typen und Varianten ist die Zusammenfassung zu einer einfachen Tabelle kaum noch möglich. Hier wird die Bildschirmdarstellung des Selektors als Beispiel dargestellt. Bei der Arbeit mit dem Selektor ist zu bemerken, dass es natürlich nicht jede beliebige Kombination von Eigenschaften gibt. Es ist zu empfehlen, sich etwas mit dem Selektor vertraut zu machen, weil so eine gute Übersicht zu der Vielzahl der Geräte zu erreichen ist.

Bauform	Werkstoff	Baulänge	Reichweite	Einbauart	Leiter	Anschluß	Ausgang	Funktion	Strombelastbarkeit	spezielle Ausführung	Umgebungsbedingung
M 5	Metall	bis 30 mm	bis 2 mm	bündig	2-Leiter	Stecker	DC PNP	Schließer		erhöhter Schaltabstand	Fabrikautomation
M 8	V2A	bis 40 mm	bis 4 mm	nicht bündig	3-Leiter	- M8	DC NPN	Öffner	bis 100 mA	optische Einstellhilfe	Öle und Kühlschmiermittel
M12	V4A	bis 50 mm	bis 6 mm		4-Leiter	- M12	DC	Antivalent	bis 150 mA	Korrekturfaktor K=0	Elektromagnetische Felder
M18	Kunststoff	bis 60 mm	bis 8 mm		2- oder 3-Leiter	- M18	PNP/NPN	2x Schließer	bis 200 mA	Korrekturfaktor K=1	Hygiene- und Naßbereich
M30		bis 70 mm	bis 10 mm			- 1,2"	DC		bis 350 mA		Mobiler Einsatz
Ø 4-11mm		bis 80 mm	bis 15 mm			- 7/8"	AC / DC		bis 400 mA		Ex-Bereich (ATEX)
Ø 12 mm		bis 90 mm	bis 30 mm			- Rd24	AC		bis 450 mA		
Ø 18 mm		bis 150 mm	bis 70 mm			Kabel	AS-i				
Ø 20 mm					Klemmen	Namur					
Ø 34 mm											
rechteckig											

Abbildung 64: Geräteübersicht induktiv im Selektor

Bei den großen quaderförmigen Geräten gibt es eine Besonderheit: die Empfindlichkeit, der Schaltabstand ist hier über ein Potentiometer einstellbar. Bei den anderen Geräten ist er fest.

4.4.10 Spezielle Korrekturfaktoren, K1, K0

$K = 1$

Das Funktionsprinzip wurde in 3.5 ausführlich beschrieben. Im Folgenden wird auf für diesen Typ spezifische Eigenschaften, die für den Anwender von Bedeutung sind, eingegangen.

Eigenschaften

Dieser Sensor verhält sich im Prinzip wie ein konventioneller induktiver Näherungsschalter. Bei speziellen Anwendungen sind aber bestimmte Eigenschaften zu beachten. Die Anfahrkurve ist deutlich schmaler als beim konventionellen Typ. Die Anordnung der Spulen hat eine gewisse Richtwirkung, die sich bei diesem Typ stärker auswirkt.

Die gestrichelte Linie in Abbildung 65 stellt die Anfahrkurve beim konventionellen (nicht verwechseln mit der Hysterese-Kurve, Abbildung 20), die durchgezogene Linie die des K1-Sensors dar. Zur Verdeutlichung wurde etwas übertrieben.

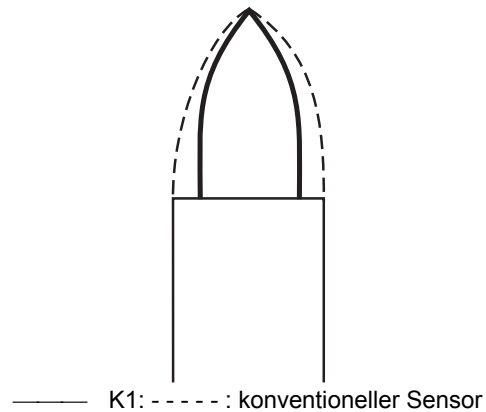


Abbildung 65: Anfahrkurven

schmale Objekte

Sollen Blechstapel, z. B. Transformatorbleche, erkannt werden, dann sollte die Position quer zu den Lagen (waagerechter Pfeil in Abbildung 66) gewählt werden. Die andere Position (senkrechter Pfeil) ist ungünstig. Bekanntlich sind beim Transformatorblech die Schichten elektrisch isoliert, um Wirbelstromverluste gering zu halten.

Das kann aber beim K1 zur Folge haben, dass der einzelne Blechstreifen, der dem Sensor direkt gegenüber steht (untere Position in Abbildung 66), den Sensor also von der Kante her "sieht", zu geringe Abmessungen hat, zu schmal ist, um erkannt zu werden. Die seitlich daneben liegenden Bleche werden wegen der Richtwirkung erst recht schlecht erkannt.

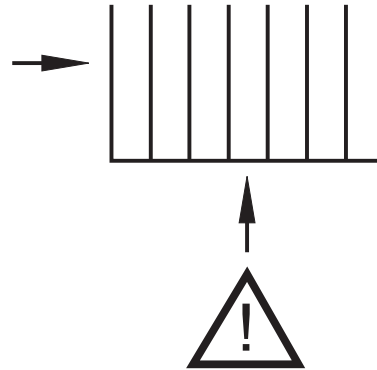


Abbildung 66: Erfassung von Transformatorblechen

<i>welche Bauformen?</i>	Die folgenden Aussagen betreffen die neuen, zylindrischen Bauformen.
Frequenz	Bedingt u. a. durch die höhere Frequenz des Oszillators hat der K1-Sensor eine höhere Schaltfrequenz.
Temperatur	Um wirklich sicherzugehen, wird beim K1-Sensor die obere Grenze des Temperaturbereichs mit 70 °C angegeben.
Schweißstrom	Durch das Funktionsprinzip ist der K1-Sensor ohne zusätzliche Maßnahmen schweißstrom-(magnetfeld-)fest.
Vorbedämpfung	Speziell beim nichtbündig einbaubaren, konventionellen Typ können sich in der Praxis Probleme durch Vorbedämpfung ergeben. Der Einfluss der Vorbedämpfung ist beim K1 viel geringer (erst recht beim K0, siehe 3.5.4). Er ist also sicherer in der Anwendung.
kleine Objekte	Die geringere Anfälligkeit gegen Vorbedämpfung hat allerdings die Kehrseite, dass der Sensor kleine Objekte weniger sicher als der konventionelle Sensor erkennt.
K = 0	Die Eigenschaften des K0 unterscheiden sich kaum von denen des K1, abgesehen von der Schaltfrequenz.
Einbausprung	Bemerkenswert ist das im Vergleich zum klassischen Sensor umgekehrte Verhalten. Bei Vorbedämpfung kann sich der Schaltabstand sogar verringern. Dieser Effekt ermöglicht es, eine Stirnfläche aus V4A zu verwenden.
Einsatzgebiet	In metallverarbeitenden Applikationen sind Näherungsschalter direkt den rauen Umgebungsbedingungen ausgesetzt. Die absolut dichte "Ferrous-only" efector _m -Konstruktion beinhaltet hochwertige Materialien, beispielsweise O-Ringe aus Viton oder eine Sensorfläche aus Edelstahl. Diese garantieren einen dauerhaften Einsatz.
Ferrous-only	Die neuen efector _m Ferrous-only-Schalter erkennen nur eisenhaltige Metalle. Aluminiumspäne, die sich während des Prozesses auf der aktiven Fläche legen und bei herkömmlichen Sensoren zu Fehlschaltungen führt, werden durch dieses Prinzip ignoriert.

Absolut dicht	Durch den speziellen konstruktiven Aufbau, zusätzliche Dichtungen sowie die Verwendung eines VA-Deckels als aktive Fläche ist der Sensor resistent gegen Öl- und Kühlschmiermittel. Dadurch erreicht er eine hohe Standzeit. Diese efactor _m -Geräte haben die Schutzklasse IP 68 und IP67 (siehe Schulungsunterlagen Schutzarten).
Robust	Das Ganzmetallgehäuse beim K0 ist z. B. auch gegen Abrieb widerstandsfähiger als Standardsensoren. Dank Lasertypenschild können Geräte auch nach Jahren noch identifiziert werden.
Leistungsmerkmale	Aluminium Chip-Immune, deshalb keine Fehlfunktion durch Alu-Späne. IP68, IP67. Absolut zuverlässig bei dauerhaftem Kontakt mit Öl- und Kühlschmiermitteln. Hohe Vibrations- und Schockfestigkeit. Robuste Ausführung mit Edelstahl- Sensorfläche und verstärktem Gehäuse. Dauerhaft lesbares Lasertypenschild.
Geräte	Der erste Typ mit K = 1 war quaderförmig. Als neue Generation sind Gewindebauformen dazu gekommen
quaderförmig	IMC (siehe Katalog, Typ IM 5067)
Gewinde	IFK (M 12), IGK (M 18), IIK (M30)
K = 0	Bauformen: IF und IG (siehe Katalog, Typen IFC 211 und IGC 211).

4.5 Kriterien für die Praxis

Übersicht	<p>Die meisten der folgenden Punkte wurden oben schon ausführlich angesprochen. Zur besseren Übersicht werden sie hier noch einmal zusammengefasst und ergänzt.</p> <p>Da Sensoren in Fertigungsprozessen in der Regel an ziemlich ungeschützten Stellen der Maschine eingesetzt sind, sind sie den starken Umweltbelastungen durch Hitze, Kälte, Stoß, Vibration, Staub, Feuchte, chemisch aggressiven Flüssigkeiten usw. unmittelbar ausgesetzt. Sie müssen daher gegen Beeinträchtigung ihrer Funktion durch solche rauen Umgebungsbedingungen geschützt werden. In den Datenblättern werden Angaben über die Einsatzmöglichkeiten und die Umweltbedingungen gemacht, unter denen die Geräte problemlos eingesetzt werden können.</p>
Umgebungstemperatur	<p>Hiermit wird die Temperatur des den Näherungsschalter umgebenden Mediums angegeben. Der hier eingeräumte zulässige Temperaturbereich beträgt vielfach schon -25° C bis +80° C. Innerhalb dieser Werte darf der Schalter beliebig lange betrieben werden. Geringfügiges kurzzeitiges Über- oder Unterschreiten dieser Temperaturgrenzen wird von den Schaltern in der Regel ebenfalls toleriert. Das bedeutet, dass der Schalter nicht zerstört wird, dass sich aber der Schaltabstand innerhalb dieser Zeit über den zulässigen Bereich hinaus verändern kann. Für andere Temperaturbereiche stehen Sondergeräte zur Verfügung.</p> <p>Die Festigkeit gegen Temperaturschocks, krasse Temperaturänderungen in kurzer Zeit, ist bei den Modulgeräten wesentlich besser.</p>

Schock- und Schwingbeanspruchung	Näherungsschalter besitzen keine beweglichen Teile. Damit sind sie äußerst unempfindlich gegen Schock- oder Schwingbeanspruchung. Normwert für die maximal zulässige Schockbeanspruchung ist die 30fache Erdbeschleunigung (30 g); Richtwert für die maximale Schwingbeanspruchung ist eine Frequenz bis zu 55 Hz bei einer Amplitude von 1 mm. Darüber hinaus wurden z. B. die efector _m -Geräte für mobilen Einsatz speziell auf die dort auftretenden, erhöhten Schock- und Schwingbeanspruchungen hin entwickelt. Die Eigenschaften dieser Geräte liegen weit über den Standardanforderungen.
Fremdkörper und Staub	Induktive Näherungsschalter werden durch Staubablagerungen von elektrisch nicht leitfähigen Materialien in keiner Weise beeinflusst; auch kleinere leitfähige Partikel wie Metallspäne erzeugen nicht so hohe Wirbelstromverluste, dass der Schalter davon beeinflusst würde. Zur Kennzeichnung der Dichtigkeit (des Schutzgrades, bzw. der Schutzart, siehe Schulungsunterlagen Schutzarten) von elektrischen Betriebsmitteln wird eine international genormte Zahlenkombination verwendet, nach der die Hersteller von Näherungsschaltern die Dichtigkeit ihrer Geräte z. B. mit IP67 angeben. IP ist hierbei die Abkürzung für "international protection". Die erste Ziffer gibt den Schutzgrad gegen Berührungen und Eindringen von Fremdkörpern an. Dabei bedeutet die 6 Schutz gegen Eindringen von feinstem Staub und vollständigen Berührungsschutz. Die zweite Ziffer der Schutzartenkennzeichnung gibt an, bis zu welcher Beeinflussung ein Näherungsschalter in feuchter, nasser Umgebung betrieben werden darf.
Feuchte und Wasser	Näherungsschalter induktiven Typs werden von Wasser, Feuchtigkeit, Nebel und Dämpfen in ihrer Funktionsweise nicht direkt beeinflusst. Die Einschränkung bezieht sich hier auf lang anhaltende Einwirkung. Aus Sicherheitsgründen ist es jedoch wichtig zu wissen, wie gut ein Näherungsschalter gegen das Eindringen von Feuchtigkeit in das Gerät geschützt ist. Dazu dient die zweite Ziffer der IP-Schutzartenkennzeichnung. Hierbei bedeutet z. B. die 7, dass ein Näherungsschalter so gegen das Eindringen von Wasser geschützt ist, dass er in 1 m Wassertiefe eine halbe Stunde aufbewahrt werden kann, ohne dass Wasser in schädlichen Mengen in ihn eindringt. In der Regel werden Näherungsschalter gemäß den Anforderungen der Norm mit den Schutzartenklassifizierungen IP65 und IP67 angeboten. Geräte mit eingegossenem Kabel haben in der Regel die Schutzart IP 67. Bei Geräten mit Klemmenraum oder Steckern wird IP 65 angegeben. Diese können aber häufig auch unter Bedingungen eingesetzt werden, unter denen IP 67 erforderlich ist. Diese Schutzart wird angegeben, weil sich durch Montagefehler, z. B. falsches Einlegen der Dichtung, ein anderer Schutz ergeben kann. Bei den Modulgeräten wurde die Dichtigkeit weiter verbessert.
Chemische Einflüsse	Immer wenn Umgebungsbedingungen vorliegen, in denen chemische Substanzen in fester, flüssiger oder gasförmiger Form die Umgebung des Näherungsschalters belasten können, muss sorgfältig geprüft werden, ob Gehäuse und Anschlussleitungen gegen diese Substanz ausreichend beständig sind. Die heute gebräuchlichen Kunststoffgehäuse aus glasfaserverstärktem Material bzw. die zusätzlich metallummantelten Geräte sind für den Einsatz auch in chemisch belasteten Umgebungen meistens geeignet. Für besonders schwierige Einsatzfälle werden auch Sondergehäuse aus korrosionsbeständigem Edelstahl bzw. Hüllen aus PTFE als Zubehör angeboten; s. auch die Tabelle zur chemischen Beständigkeit im Anhang.

Speziell die ständigen Weiterentwicklungen der chemischen Industrie von Additiven für Reinigungsmitteln oder Kühlschmiermitteln stellen ständig wachsende Ansprüche an die Geräte. Sie werden durch die Modulgeräte am besten erfüllt.

Elektromagnetische Beeinflussung

Im Einsatzbereich von Näherungsschaltern, also in industriellen Umgebungen, treten elektromagnetische Störungen von sehr vielfältigem Aussehen und hohen Energiepegeln auf. Zum Beispiel durch Rundfunksender, durch Schaltvorgänge im Netz, durch das Abschalten induktiver Lasten oder auch durch Blitzeinschläge.

Solche elektromagnetischen Störungen können über das Sensorfeld oder die Anschlussleitung in den Näherungsschalter eingekoppelt werden. Wegen der im Vergleich zur Wellenlänge von Rundfunkwellen geringen Abmessungen des Sensors, besteht bei solchen periodischen Störungen eine sehr geringe Gefahr der Beeinflussung. Stoßartige Störungen von kurzer Dauer können schaltungstechnisch herausgefiltert werden, so dass sich eine insgesamt hohe Störfestigkeit für Näherungsschalter ergibt.

Eine weitere Möglichkeit der Einkopplung von möglichen Störungen ist das Kabel. Bei ungünstiger Leitungsführung kann es vorkommen, dass die Zuleitung zum Näherungsschalter als Empfangsantenne für Rundfunkwellen wirkt, oder dass über parallel geführte Leitungen mit einem hohen Störanteil zahlreiche stoßartige Störungen eingekoppelt werden. Besonders die Weiterentwicklung von Umrichtern für Drehstrommotore ergibt erhöhte Anforderungen. In Sonderfällen kann der Einbau eines Entstörfilters Abhilfe schaffen.

Grenzwerte für die Beständigkeit gegen diese Störungen werden durch die EMV-Richtlinien definiert (siehe Schulungsunterlagen CE-Kennzeichnung). Bedingung dafür, dass die Geräte die obligatorische CE-Kennzeichnung tragen, ist das Bestehen einer Reihe von Tests. Dabei wird die Beständigkeit gegen definierte Störeinflüsse geprüft.

Wesentlich höhere Anforderungen als nach dem EMV-Gesetz (CE-Kennzeichnung) gelten für Geräte, die im mobilen Bereich (Straßenverkehr) eingesetzt werden. Auch für diesen Bereich bietet die ifm Geräte an (mit e1-Zulassung).

Sonstige Einflüsse

Im Vergleich zu anderen Sensortypen können induktive Näherungsschalter durch Schall und Licht nicht in ihrer Funktion gestört werden. Nur gegenüber intensiver Röntgenstrahlung oder Radioaktivität ist ein Näherungsschalter nicht immun. Bei starken Magnetfeldern in der unmittelbaren Umgebung des Näherungsschalters, wie z. B. bei Elektroschweißanlagen, kann die Funktion von induktiven Näherungsschaltern beeinträchtigt werden. Für diesen Einsatzfall bietet die ifm so genannte schweißstromfeste Ausführungen als Sonderbauform an.

5 Applikationsbeispiele

Haupteinsatzgebiet für Näherungsschalter ist die Verwendung als Positionsschalter als Alternative zu mechanischen Positionsschaltern. Ein mechanischer Endschalter ist zwar preisgünstiger aber einem gewissen Verschleiß unterworfen. Wenn er ausfällt, können ganze Anlagenteile, Transportbänder o. ä. für Stunden zum Stillstand kommen. Aus dieser Überlegung heraus ist es schon sinnvoll, an all diesen Stellen statt mechanischer Schalter berührungslos und verschleißfrei arbeitende elektronische Näherungsschalter einzusetzen.

Auch bei der Drehzahlmessung bietet sich der Einsatz von Näherungsschaltern an. Hier müssen hohe Schaltfrequenzen erreicht werden und eine große Anzahl von Schaltspielen ist Voraussetzung für das einwandfreie Funktionieren des Überwachungssystems. Für eine exakte Auswertung ist ein sauberes Schaltsignal ebenfalls wichtig. Dafür bieten sich die Näherungsschalter mit den hohen Schaltfrequenzen und dem Halbleiterausgang und damit einem sauberen, schnellen Ausgangssignal geradezu an (siehe auch 3.3.4).

Der Einsatz in explosionsgefährdeten Bereichen der chemischen Industrie, in Mühlen oder in Tankanlagen, ist der älteste Anwendungsbereich für Näherungsschalter überhaupt. Da in diesen Bereichen aber nur mit sehr kleinen Spannungen gearbeitet werden darf, gibt es für solche Applikationen Näherungsschalter mit zusätzlicher Sicherheit: Näherungsschalter in vielen Bauformen sind zum Einsatz in diesen so genannten ATEX-Zonen zugelassen. Diese Schaltertypen sind in der DIN 19 234 genormt und werden häufig als NAMUR-Sensor bezeichnet.

Für Anwendungen, in denen man sich den Ausfall eines Näherungsschalters, z. B. durch mechanische Beschädigung, nicht erlauben kann, bieten viele Hersteller so genannte selbstüberwachende Systeme an, wo der Näherungsschalter selbst auf seine Funktion ständig überwacht wird.

Dieses kann nur ein kurzer Überblick über die universelle Einsetzbarkeit von induktiven Näherungsschaltern sein. Viele Aufgaben in Bereichen, die nicht unmittelbar nahe liegend sind, erschließen sich vielfach dem Anwender erst bei der Konstruktion seiner Anlage. Somit ergibt sich früher oder später bei der einen oder anderen Applikation allein durch das Wissen über die Funktion und die Eigenschaften von induktiven Näherungsschaltern die eine oder andere Problemlösung.

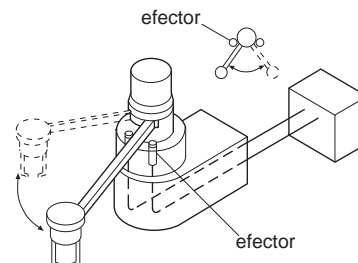


Abbildung 67: Roboterarm

Beim Roboterarm werden die beiden möglichen Endpositionen berührungslos durch induktive Näherungsschalter überwacht.

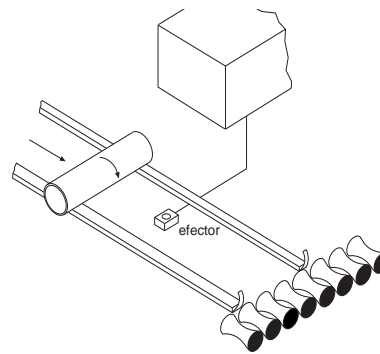


Abbildung 68: Rohrherstellung

Bei der Rohrherstellung überwacht der induktive Näherungsschalter die Zufuhr von neuen Rohren zur Weiterbearbeitung.

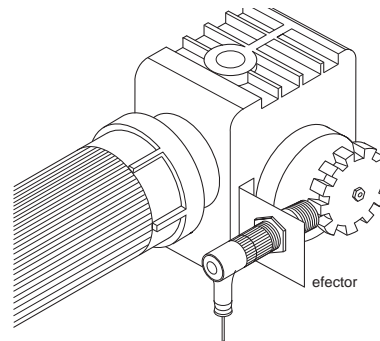


Abbildung 69: Drehzahlüberwachung

Induktiver Näherungsschalter eingesetzt zur Drehzahlüberwachung (siehe 3.3.4) einer Maschine. Der Näherungsschalter erfasst berührungslos die Zähne des Zahnrades, die Montage zusätzlicher Schaltfahnen oder Schaltnocken entfällt.

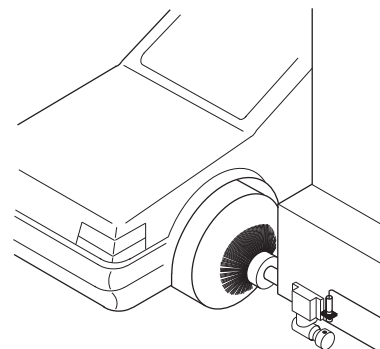


Abbildung 70: Autowaschanlage

Induktive Näherungsschalter mit erhöhtem Schaltabstand eingesetzt in einer automatischen Waschanlage. Der hohe Schaltabstand gewährleistet ein sicheres Erfassen auch bei Toleranzen in der Mechanik.

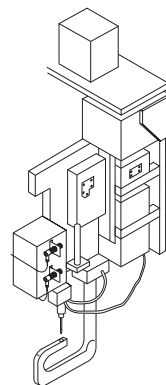


Abbildung 71: Schweißroboter

Magnetfeldfeste efectoren ermöglichen die Endlagenkontrolle z. B. an Schweißrobotern auch in unmittelbarer Nähe der Schweißelektroden.

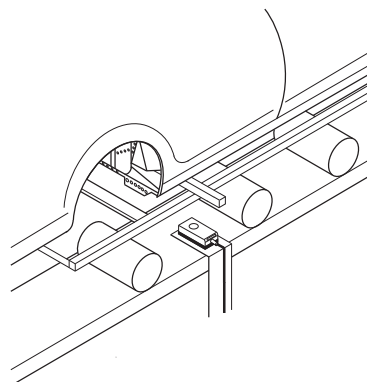


Abbildung 72: Transportanlage

Induktive efectoren kontrollieren die Position an automatischen Transport- und Förderungsanlagen, z. B. in der Automobilindustrie.

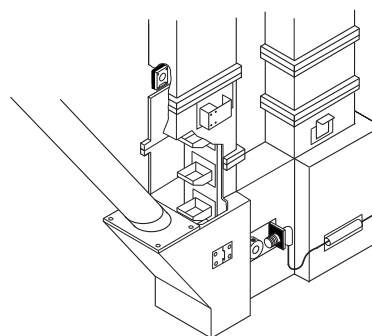


Abbildung 73: Elevator

efectoren, eingesetzt zur Überwachung eines Elevators. In Verbindung mit Drehzahl- und Schiefauwächtern melden die Sensoren den Schiefelauf des Förderbandes und kontrollieren die Drehzahl der Antriebseinheit.

6 Anhang

Pluspunkte	<p>In der Regel kann man davon ausgehen, dass efectoren die angegebenen Daten nicht nur einhalten, sondern eher auf der sicheren Seite liegen. Normvorschriften werden nicht nur eingehalten, sondern eher übertroffen. IP 67 besagt z. B. dass das Gerät in 1 m Wassertiefe, während 30 min einwandfrei arbeitet.</p> <p>Es gibt Einsatzfälle, bei denen efectoren ständig und problemlos in größeren Wassertiefen betrieben werden. Auch Über- oder Unterschreitungen des angegebenen Temperaturbereiches von z. B. -25°C bis $+80^{\circ}\text{C}$ sind - in gewissen Grenzen natürlich - auch möglich (vgl. 3.3.1). Modulgeräte zeichnen sich durch eine bisher nicht erreichte Festigkeit gegen Temperaturschocks aus.</p> <p>weitere Punkte Lieferfähigkeit Zuverlässigkeit (5 Jahre Garantie bei Standardgeräten) Service (relativ großer Außendienst) Befriedigung spezieller Wünsche (Sondergeräte) Einsatz der Film- und Modul-Technik</p>
6.1 Kleines technisches Lexikon	
Aktive Fläche	Die aktive Fläche ist die Fläche am Näherungsschalter, durch die ein elektromagnetisches Feld austritt.
Aktive Schaltzone	Die aktive Schaltzone ist der Bereich vor der aktiven Fläche, in dem der Näherungsschalter auf die Näherung von bedämpfendem Material reagiert, d.h. seinen Schaltzustand ändert.
Ausgangsfunktion	<p>Schließer (Arbeitsstromprinzip): Gegenstand im Bereich der aktiven Schaltzone - Ausgang durchgeschaltet / High-Signal</p> <p>Öffner (Ruhestromprinzip): Gegenstand im Bereich der aktiven Schaltzone - Ausgang gesperrt / Low-Signal</p> <p>Programmierbar: Öffner oder Schließer frei wählbar</p> <p>Antivalent: Schließer- und Öffnerfunktion stehen durch zwei separate Signalausgänge gleichzeitig zur Verfügung</p>
Bemessungsbetriebsstrom	Der Bemessungsbetriebsstrom (Dauerstrombelastbarkeit) gibt den Strom an, mit dem ein Näherungsschalter im Dauerbetrieb belastet werden kann.
Bemessungsisolationsspannung U_i	ist die Spannung, auf welche die Isolationsspannungsprüfung und die Kriechstrecken bezogen werden. Für Geräte mit Schutzklasse II gilt als U_i diejenige des benachbarten Netzes, 250 V AC.
Bemessungsschaltabstand S_n	Der Bemessungsschaltabstand ist eine Gerätekenngroße, bei der Fertigungsstreuungen und Änderungen durch äußere Einflüsse wie Temperatur und Spannung nicht berücksichtigt werden; (s. auch Schaltabstand).
Bemessungsstoßspannungsfestigkeit U_{imp}	ist die Spannung, auf welche die Bemessung der Luftstrecken bezogen ist.
Bereitschaftsverzögerungszeit	Zeit, die der Näherungsschalter benötigt, um nach dem Anlegen der Betriebsspannung funktionsbereit zu sein. Sie hängt vom Schaltertyp ab und liegt im ms-Bereich (bauartenspezifisch 5 ms bis über 200 ms). Innerhalb dieser Zeit muss sich die interne Spannungsversorgung stabilisieren und der Oszillator anschwingen.

- Betriebsspannung** Spannungsbereich (um die Nennspannung herum), in dem der Näherungsschalter sicher arbeitet. Bei Gleichspannung dürfen die Maximal- und Minimalwerte auch durch die Restwelligkeit nicht über- bzw. unterschritten werden.
- bündiger Einbau** Die aktive Fläche kann bündig abschließend in bedämpfenden Werkstoff eingebaut werden.
- Gebrauchskategorie** Diese werden in der nachstehenden Tabelle nach EN 60947-5-2 aufgeführt und erläutert.

Betriebsklassen für Schaltelemente		
	Kategorie	Typische Anwendungen
Wechselspannung	AC-12	Steuerung von Widerstands- und Halbleiterlasten
	AC-140	Steuerung kleiner elektromagnetischer Lasten mit Haltestrom < 0,2 A; z. B. Hilfsschütze
Gleichspannung	DC-12	Steuerung von Widerstands- und Halbleiterlasten
	DC-13	Steuerung von Elektromagneten

Bei efectoren in Allstrom-Ausführung gilt die Kategorie AC-140, bei 2- und 3-Leiter DC efectoren DC-13 und bei NAMUR-Ausführungen DC-12.

Gehäusewerkstoffe

Metallgehäuse

- Aluminium
- Edelstahl*
- Stahlblech verzinkt
- Messing mit Optalloy (nickelfrei)*
- Messing beschichtet mit PTFE (Safecoat)*

*: induktive Geräte
 Edelstähle (rostfrei, V2A bzw. säurebeständig V4A)
 V2A: 1.4305 (X10CrNiS 189)
 1.4301 (X2CrNiMo)
 V4A: 1.4404 (X2CrNiMo 17132)
 1.4435 (X2CrNiMo 18143)
 1.4571 (X6CrNiMoTi 17122)

Kunststoffgehäuse

PBTP (Polybutylenterephthalat)

Das Gehäuse ist weitgehend beständig gegen aliphatische und aromatische Kohlenwasserstoffe, Öle, Fette, Hydraulikflüssigkeiten, Kraftstoffe; keine Spannungsrissbildung an Luft.
 Das Gehäuse ist nicht beständig gegen heißes Wasser, heißen Dampf, Aceton, Halogenkohlenwasserstoffe, konzentrierte Säuren und Laugen.

Modifiziertes PPO

Das Gehäuse ist weitgehend beständig gegen verdünnte Mineralsäuren, schwache Laugen, einige Alkohole, Öle und Fette je nach Zusätzen.

chemisch beständige Fluorkunststoffe: PTFE (Polytetrafluorethylen)
 LCP, PEEK, PEI, PA, Mod. PC

Kunststoffe weisen je nach Umgebungs- und Einsatzbedingungen unterschiedliche Beständigkeiten auf. Eine Zusicherung bestimmter Eigenschaften oder die Eignung für einen bestimmten Einsatzzweck kann daher nicht gegeben werden.
 Bei häufiger oder dauernder Einwirkung von Chemikalien ist bei allen Gehäusematerialien eine vorherige Einsatzprüfung notwendig.

Das beim Verguss verwendete Gießharz hat weitgehend vergleichbare Chemikalienbeständigkeit wie die Gehäusekunststoffe. Bei unvergossenen e_{factor_m} Geräten ist durch ihre Konstruktion der Schutz gegen Berührung des Mediums mit anderen als Gehäusematerialien weiter verbessert worden.

gesicherter Schaltabstand s_a	Der gesicherte Schaltabstand ist jener Abstand vor der aktiven Fläche, in dem ein Näherungsschalter unter angegebenen Temperatur- und Spannungsbedingungen sicher funktioniert (s. auch Schaltabstand). Er stellt die untere Grenze des Nutzschtaltabstands dar.
Hysterese	Die Hysterese ist die Wegdifferenz zwischen Ein- und Ausschaltpunkt des Näherungsschalters. Sie wird in Prozent - bezogen auf den unter gleichen Bedingungen gemessenen Einschaltpunkt - angegeben und dient dazu, das unkontrollierte Umschalten des Näherungsschalters zu verhindern, wenn die Messplatte in der Nähe des Schaltpunktes steht ("Ausgangsflattern").
Kabelmaterial PVC	Um Bruchgefahr zu vermeiden, dürfen Kabel aus PVC bei Temperaturen unter -5°C nicht mehr bewegt werden.
Kleinster Betriebsstrom bei 2-Leiter-Geräten	Das ist der Strom, der im durchgeschalteten Zustand mindestens fließen muss, um einen sicheren Betrieb des Näherungsschalters zu gewährleisten (gelegentlich auch als Mindestlaststrom bezeichnet).
Korrekturfaktor	Weicht der bedämpfende Gegenstand in Form, Werkstoff oder Materialdicke von der Norm-Messplatte ab, so ergeben sich vom Normschaltabstand abweichende Schaltabstände. Sie lassen sich mit Hilfe von Korrekturfaktoren, die in den technischen Daten angegeben werden, berechnen. Folgende Faktoren müssen gegebenenfalls berücksichtigt werden:
Formfaktor	Wird anstelle der Norm-Messplatte eine kleinere oder eine Platte mit nicht quadratischer Form eingesetzt oder ist der bedämpfende Gegenstand nicht eben, so muss der Schaltabstand mit einem Formfaktor korrigiert werden.
Werkstofffaktor	Wird anstelle des durch die Norm festgelegten Materials der Messplatte - Stahl, z. B. FE360 nach ISO 630 - ein anderer Werkstoff verwendet, muss der Schaltabstand mit einem Werkstofffaktor korrigiert werden. Dieser ist bei induktiven Schaltern abhängig von der elektrischen Leitfähigkeit und der Permeabilität des Werkstoffes. Bei K1-Geräten ist er konstant gleich 1, K0-Geräte erfassen nur Stahl (ferromagnetisches Material) Bei kapazitiven Sensoren ist er abhängig von der Dielektrizitätskonstante des Werkstoffes.
Materialdickenfaktor	Wird eine Messplatte mit einer Dicke verwendet, die kleiner ist als die Eindringtiefe des Sensorfeldes (z. B. Metallfolie), so muss der Schaltabstand mit einem Materialdickenfaktor korrigiert werden. Dieser Faktor ist bei induktiven Schaltern im Allgemeinen größer als 1, d. h. die Leitfähigkeit des Materials erscheint kleiner als normal, da durch den Skin - Effekt ein Teil des Streufeldes hinter der Metallfolie wieder austritt. Dies hat zur Folge, dass sich ein größerer Schaltabstand ergibt. Bei kapazitiven Schaltern ist der Faktor in der Regel kleiner als 1.

Kurzschlusschutz	<p>Der Ausgang eines Näherungsschalters wird nach VDE 0160 als kurzschlussfest bezeichnet, wenn er einen Kurzschluss der Last bzw. einen Masseschluss am Ausgang dauerhaft ohne Schaden übersteht und nach Beseitigung des Schlusses ohne Schalthandlung wieder betriebsbereit wird.</p> <p>Im Falle eines Kurzschlusses wird der Endtransistor sofort gesperrt. Nach Aufheben des Kurzschlusses ist das Gerät sofort wieder betriebsbereit. Ein Vertauschen der Anschlussleitungen führt nicht zur Zerstörung der Geräte. Geräte mit Kurzschlusschutz sind in der Regel überlastfest und verpolungssicher.</p>
Messungen des Schaltabstandes	Die Bestimmung des Schaltabstandes erfolgt nach den Richtlinien der EN 60947-5-2.
Montagearten	Bei der Montage von induktiven Näherungsschaltern unterscheidet man zwischen bündigem und nicht bündigem Einbau.
Bündiger Einbau (f)	Die aktive Schaltfläche kann bündig abschließend in bedämpfenden Werkstoff eingebaut werden;
Nicht bündiger Einbau (nf)	Die aktive Schaltfläche muss von einem Freiraum umgeben sein (siehe Einbauhinweise).
	Bei der Montage von Näherungsschaltern nebeneinander bzw. gegenüber müssen definierte bauformabhängige Mindestabstände eingehalten werden.
Leerlaufstrom bei 3-Leiter-Geräten	<p>Die Leerlaufstrom ist der Eigenstromverbrauch (auch als Stromaufnahme bezeichnet) des Näherungsschalters im gesperrten Zustand.</p> <p>Über den Ausgangstransistor fließt bei gesperrtem Ausgang ein sehr geringer Leckstrom von ca. 0,1 μA (open-collector).</p>
NAMUR	NAMUR ist die Abkürzung für Normenarbeitsgemeinschaft für Mess- und Regeltechnik in der chemischen Industrie. Unter NAMUR-Schalter wird eine besondere Ausführung eines 2-Leiter-Gleichspannungsschalters nach DIN 19234 verstanden, der für den Einsatz in explosionsgefährdeten Zonen geeignet ist (heute ATEX, siehe Schulungsunterlagen).
Nennschaltabstand	siehe Bemessungsschaltabstand
Nutzschantabstand s_u	Der Nutzschantabstand wird nach EN 60947-5-2 und innerhalb der zulässigen Bereiche für die Betriebsspannung und die Umgebungstemperatur gemessen. Er muss zwischen 90 % und 110 % des Realschantabstandes liegen; (s. auch Schaltabstand).
Öffnerfunktion	Ruhestromprinzip; befindet sich ein Gegenstand im Bereich der aktiven Schaltzone, ist der Ausgang gesperrt.
Programmierung	Bei einigen efector - Bauformen kann die Ausgangsfunktion Schließer oder Öffner programmiert werden. Je nach efector - Bauform erfolgt eine Programmierung der Ausgangsfunktion durch eine Drahtbrücke, einen Stecker oder durch Wahl der Anschlussbelegung.
Realschantabstand s_r	Der Realschantabstand eines Näherungsschalters ist der Schaltabstand, der bei der Bemessungsspannung und Raumtemperatur ($23 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$) gemessen wird. Er muss zwischen 90 % und 110 % des Bemessungsschantabstandes liegen; (s. auch Schaltabstand).

Reststrom bei 2-Leiter-Geräten	Der Reststrom ist der Strom, der bei 2-Leiter-Geräten bei gesperrtem Ausgang über das Gerät fließt, um die Stromversorgung der Elektronik zu gewährleisten. Der Reststrom fließt immer auch über die Last.
Schaltabstand	<p>Der Schaltabstand eines Näherungsschalters ist der Abstand, bei dem ein sich der aktiven Fläche axial nähernder Gegenstand einen Signalwechsel am Ausgang hervorruft; (siehe Korrekturfaktoren).</p> <p>Siehe auch: Bemessungsschaltabstand, Nutzschtaltabstand, Realschaltabstand und gesicherter Schaltabstand.</p>
Schaltfrequenz	<p>Die Schaltfrequenz ist die Grenzfrequenz, bei der jeder sich periodisch wiederholende Be- und Entdämpfungsvorgang des Näherungsschalters gerade noch sicher in ein Schaltsignal umgewandelt wird. Da die erreichbare Schaltfrequenz von einer Reihe von Einflussfaktoren abhängt, wird in der EN 60947-5-2 eine Norm-Messanordnung definiert, mit der Vergleichswerte gewonnen werden können. Im tatsächlichen Einsatz sind vielfach erheblich höhere Schaltfrequenzen möglich.</p> <p>Wird der Näherungsschalter mit einer hohen induktiven Last (Schütz, Relais, Magnetventile) über einen längeren Zeitraum und einer hohen Schaltfrequenz betrieben, so müssen zusätzliche Schutzmaßnahmen zum Abbau der Abschaltüberspannung vorgenommen werden (z.B. Freilaufdioden).</p>
Schaltverzugszeit	Die Schaltverzugszeit ist die Zeit, die vom Einbringen der Messplatte in die aktive Zone bis zum Schalten des Ausganges vergeht. Die Schaltverzugszeiten beim Be- und Entdämpfen können erheblich voneinander abweichen. Bei ifm-effectoren liegen diese Zeiten (bauartenspezifisch) in der Regel zwischen 0,2 und 2 ms für das Bedämpfen und 0,3 bis 3 ms für das Entdämpfen. Bei Geräten mit F-IC kann auch ein Verhältnis von 1:1 für diese beiden Zeiten erreicht werden.
Schließerfunktion	Arbeitsstromprinzip; befindet sich ein Gegenstand im Bereich der aktiven Schaltzone, ist der Ausgang durchgeschaltet.
Schutzart IP 65	<p>siehe Schulungsunterlagen Schutzarten</p> <p>Vollständiger Schutz gegen Berühren unter Spannung stehender Teile. Schutz gegen Eindringen von Staub. Schutz gegen Strahlwasser.</p>
IP 67	Vollständiger Schutz gegen Berühren unter Spannung stehender Teile. Schutz gegen Eindringen von Staub. Schutz gegen die Wirkungen beim zeitweiligen Untertauchen in Wasser, Prüfbedingungen: 1 m Wassertiefe und 30 Minuten Dauer.
Spannungsfall (Durchlassspannung)	Da der Schaltausgang des Näherungsschalters mit einem Halbleiterschalter (Transistor, Thyristor, Triac) ausgestattet ist, tritt im eingeschalteten Zustand ein (geringer) Spannungsfall (gelegentlich auch als Spannungsabfall bezeichnet) in Reihe zur Last auf. Bei der Zweileitertechnik dient der Spannungsfall gleichzeitig dazu, die Elektronik des Näherungsschalters mit Energie zu versorgen. Die Höhe des Spannungsfalls hängt vom Typ ab und liegt zwischen 2,5 V (DC) und 6,5 V (AC/DC).
Strombelastbarkeit/Kurzzeit	Ein- und Ausschaltvermögen unter üblichen/unüblichen Bedingungen Die Kurzzeitstrombelastbarkeit gibt den Höchstwert des Stromes an, der für eine bestimmte Zeit im Einschaltmoment fließen darf, ohne den Näherungsschalter zu zerstören.

Besonders Wechselspannungsgeräte sind so ausgelegt, dass sie wegen hoher Einschaltströme von vielen Wechselstromlasten (Signallampen, Schütze, ...) kurzzeitig mit dem sechsfachen Nennstrom belastet werden können (siehe auch Gebrauchskategorien).

Temperaturgang / Schaltpunktdrift	Unter Schaltpunktdrift versteht man die Verschiebung des Schaltpunktes durch Veränderung der Umgebungstemperatur.
Überlastfestigkeit	Der Ausgang eines Näherungsschalters wird überlastfest genannt, wenn er alle Ströme zwischen Nennlaststrom und Kurzschlussstrom ohne Schaden dauerhaft führen kann.
Umgebungstemperatur /Temperaturbereich	Der Temperaturbereich gibt an, bei welchen Temperaturen Näherungsschalter eingesetzt werden können. Bei ifm-efectoren übliche Bereiche Standardgeräte -25...80° C
Geräte mit besonderen Leistungsmerkmalen (z. erhöhter Schaltabstand)	-25...70 °C 0...100 °C -40...85 °C
Verpolungsfestigkeit	Wenn die Anschlüsse eines Näherungsschalters beliebig vertauscht an die vorgesehenen Klemmen angeschlossen werden können, ohne dass der Schalter dabei Schaden nimmt, wird er verpolungsfest genannt. In der Regel müssen verpolungssichere Schalter in Dreileitertechnik kurzschlussfest sein, da eine Vertauschung des Ausganges und des Masseanschlusses (0 V) sonst zur Zerstörung führen würde.
Vorbeifahrtgeschwindigkeit	Denkt man sich das Be- und Entdämpfen des Näherungsschalters durch eine einzelne Messplatte hervorgerufen, die mit hoher Geschwindigkeit durch die aktive Zone bewegt wird, so gibt es eine obere Grenze der Vorbeifahrtgeschwindigkeit, bei der gerade noch ein sicheres Schaltsignal ausgegeben wird.
Wiederholungsgenauigkeit (Reproduzierbarkeit)	Die Differenz zweier Schaltabstandsmessungen, die unter genormten Bedingungen über eine Dauer von 8 Stunden durchgeführt werden, wird Wiederholungsgenauigkeit genannt und in Prozent bezogen auf den Realschaltabstand angegeben. Die Differenz zweier beliebiger Messungen darf 10 % des Realschaltabstandes nicht überschreiten.

7 Typenschlüssel

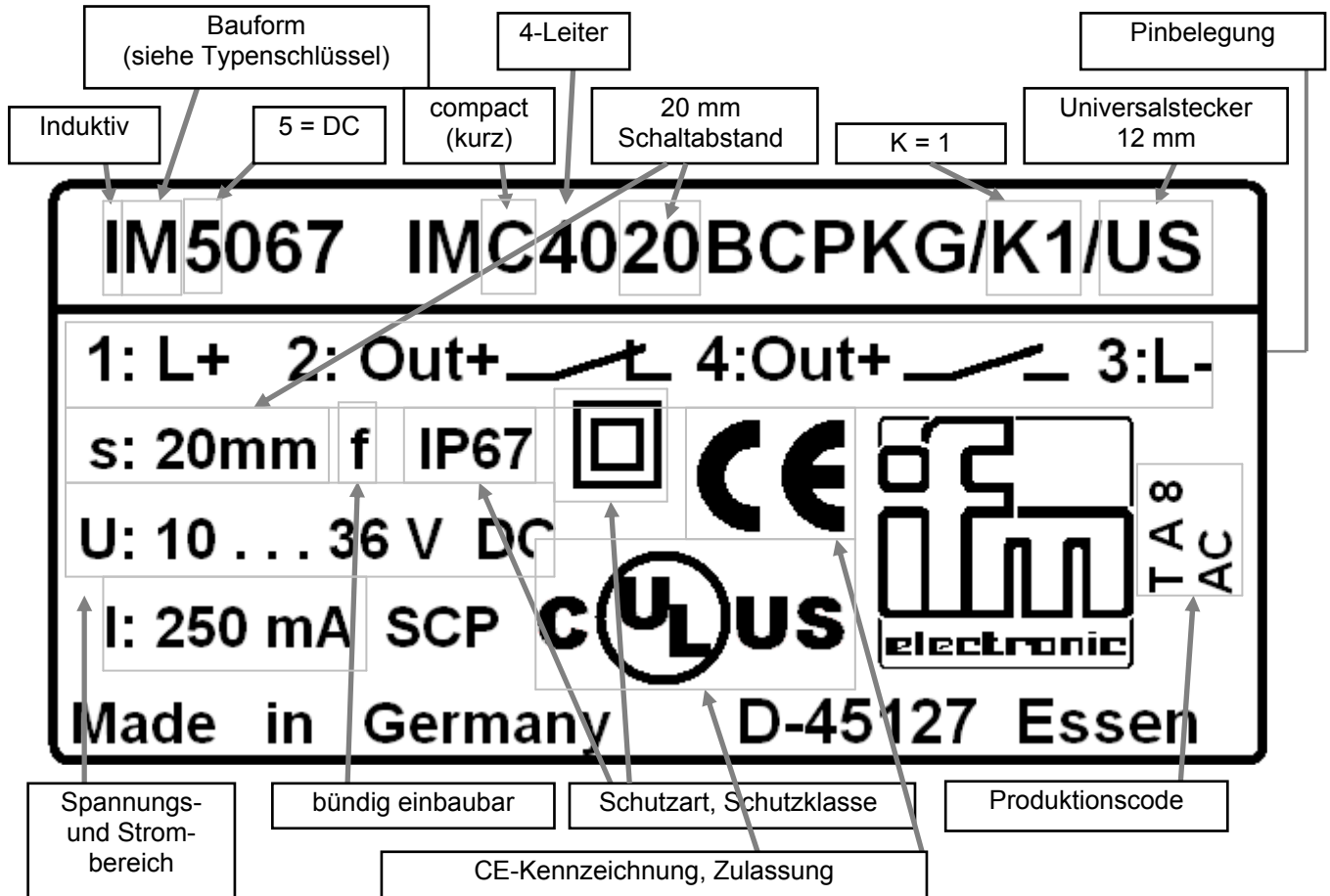
Stelle	Bezeichnung	Inhalt
1	Abtastprinzip	Induktiv
2	Bauform	1 = Zylindrisch-glattes Kunststoffgehäuse Ø 100mm 2 = Zylindrisch-glattes Kunststoffgehäuse Ø 164mm 3 = rechteckiges Gehäuse 8 x 8 x 40mm (alt, jetzt =L) 6 = Sondergehäuse Doppelschalter (Firma Still) A = Zylindrisch-glattes Kunststoffgehäuse Ø 20mm B = Zylindrisch-glattes Kunststoffgehäuse Ø 34mm C = rechteckiges Kunststoffgehäuse 90 x 60 x 40mm D = rechteckiges Kunststoffgehäuse 120 x 80 x 30mm DC = rechteckiges Kunststoffgehäuse 92 x 80 x 40mm

		<p>DE = rechteckiges Kunststoffgehäuse 105 x 80 x 40mm E = zylindrisches Gehäuse M8 x 1 F = zylindrisches Gehäuse M12 x 1 G = zylindrisches Gehäuse M18 x 1 H = zylindrisches Gehäuse M22 x 1,5 I = zylindrisches Gehäuse M30 x 1,5 J = rechteckiges Gehäuse (27 x 25 x 10,5 mm) und weitere Sondergeräte L = rechteckiges Gehäuse 8 x 8 x 40mm M = rechteckiges Kunststoffgehäuse 120 x 40 x 40mm MC= rechteckiges Kunststoffgehäuse 66 x 40 x 40mm N = rechteckiges Kunststoffgehäuse 40 x 26 x 12mm ND = rechteckiges Kunststoffgehäuse 40 x 26 x 26mm NS = Sensor für Spanntechnik (Kniehebelspanner) O = rechteckiges Kunststoffgehäuse 26 x 26 x 70mm Q = rechteckiges Kunststoffgehäuse 30 x 28 x 15mm (Kabelvers.) rechteckiges Kunststoffgehäuse 30 x 28 x 24mm (Steckervers.) R = druckfeste Sonderbauform S = rechteckiges Kunststoffgehäuse 28 x 16 x 10mm T = Zylindrisch-glattes Gehäuse Ø 6,5mm V = rechteckiges Kunststoffgehäuse 118 x 40 x 40mm = rechteckiges Kunststoffgehäuse 118 x 55 x 55 W = rechteckiges Kunststoffgehäuse 60 x 36 x 10mm Z = Zylindrisch-glattes Gehäuse Ø 4mm Y = zylindrisches Gehäuse M5 x 0,5 9 = Sonderbauform</p>
3	Gehäuseausführung	<p>– = Standard / Kunststoffhülse A = Standard / Metallhülse B = Kurzbauform / Metallgewinde C = Kurzbauform / Kunststoffgewinde D = Doppelschalter (IND) E = Gehäuse mit Kabelanschlussraum G = Glattes Gehäuse K = Mittellange Metallgewindeausführung W = Würfelförmig</p>
4	Anschlussystem	<p>2 = Zweileiter-System 3 = Dreileiter-System 4 = Vierleiter-System C = 2/3-Leiter-Schaltung (Modultechnik-Geräte)</p>
5-7	Schaltabstand	in mm
8	Zusatzbezeichnungen	<p>– = Standard B = Bündiger Einbau (bei erhöhtem Schaltabstand) D = 2 getrennte Endstufen (IND) P = 2 positionsabhängige Ausgänge S = S-efector R = reihenschaltbar U = Magnetfeldfest Z = Temperaturfest</p>
9	Schaltfunktion	<p>A = Schließerfunktion bei Zweileiter und bei Dreileiter NPN Öffnerfunktion bei Dreileiter PNP Schließerfunktion für 2/3-Modultechnik-Geräte B = Öffnerfunktion bei Zweileiter und bei Dreileiter NPN</p>

		<p>Schließerfunktion bei Dreileiter PNP Öffnerfunktion für 2/3-Modultechnik-Geräte C = Antivalenter Ausgang D = Analog-Ausgang E = Schließer und Öffnerausgang (unabhängig, nicht antivalent) F = Ausgangsfunktion programmierbar V = Spannungsausgang</p>
		<p>N = NAMUR-Sensoren (Stellen 10-12 bleiben frei) S = Sicherheitsschalter (Stellen 10-12 bleiben frei) asi = asi-Sensoren (Stelle 12 bleibt frei)</p>
10	Ausgangssystem	<p>B = Halbleiterausgang bei AC- und AC/DC-Geräten N = Halbleiterausgang minusschaltend P = Halbleiterausgang positivschaltend R = Halbleiterausgang plus- oder minusschaltend S = 2/3-Modultechnik-Geräte (3-L PNP; 2-L PNP/NPN) T = 2/3-Modultechnik-Geräte (3-L NPN; 2-L PNP/NPN)</p>
11	Kurzschlussschutz	<p>K = mit Kurzschlussschutz L = LATCH (Wiedereinschaltsperr) O = ohne Kurzschlussschutz</p>
12	Anschlussspannung	<p>A = Alternativ Gleich- oder Wechselspannung (AC / DC) G = Gleichspannung (DC) W = Wechselspannung (AC)</p>
13	Schrägstrich	
14	Optionen (mehrere durch "/" getrennt)	<p>2LEDs = 2 LEDs SL = Schutzleiter V2A = Metallhülse aus V2A V4A = Metallhülse aus V4A MS = Metallschutzschlauchstutzen UP = Unipolarer Ausgang SC = safecoat-beschichtet F = Versetzte Frequenz xm = mit x Meter langem Kabel SF = erhöhte Störfestigkeit AC = mit AC-Steckverbindung (nur nach ... /xm - JAPAN) DC = mit DC-Steckverbindung (nur nach ... /xm - JAPAN) T2 = T2-Verteiler M = Modultechnik K0 = Ferrous only (erkennt nur eisenhaltige Metalle) K1 = gleicher Sa bei allen Metallen xD = ATEX zugelassen für x Kategorie Staub xG = ATEX zugelassen für x Kategorie Gas xxV = mit Ub=xxV</p>

8 Typenschild

Beispiel für ein Typenschild mit einigen Erläuterungen



ENDE