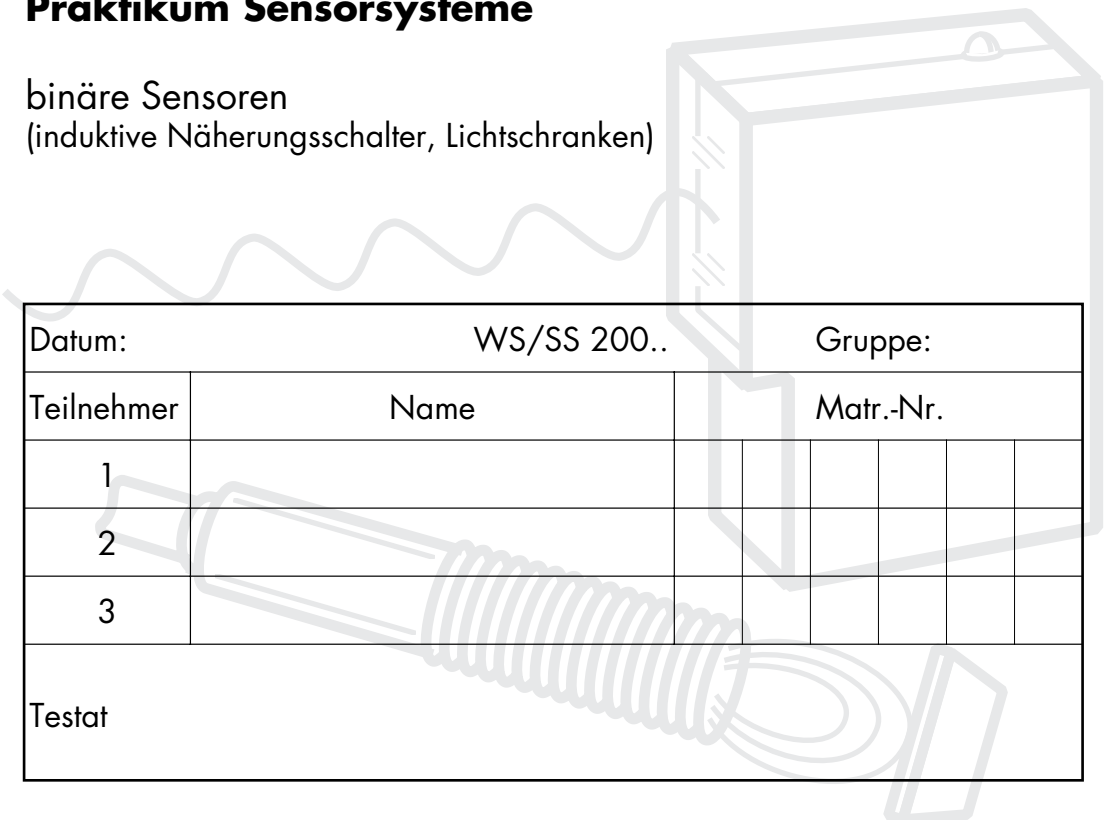


## Praktikum Sensorsysteme

binäre Sensoren  
(induktive Näherungsschalter, Lichtschranken)



Datum:		WS/SS 200..				Gruppe:			
Teilnehmer	Name				Matr.-Nr.				
1									
2									
3									
Testat									

## 1. Allgemeines

Induktive Näherungsschalter und Lichtschranken sind berührungslos arbeitende, *binäre* Sensoren. Sie geben kein analoges sondern ein binäres Ausgangssignal ab; d.h. ihr Ausgang kann nur zwischen zwei Werten schalten. Weil sie in der Automatisierungstechnik Reaktionen auf den laufenden Prozeß auslösen, werden sie auch als (induktive bzw. optische) Initiatoren bezeichnet.

Im Vergleich zu mechanischen Schaltern bieten Sie einige Vorteile: Sie arbeiten berührungslos, verschleißfrei, ohne Betätigungskräfte und weisen außerdem hohe Schaltfrequenzen und eine hohe Schaltgenauigkeit auf.

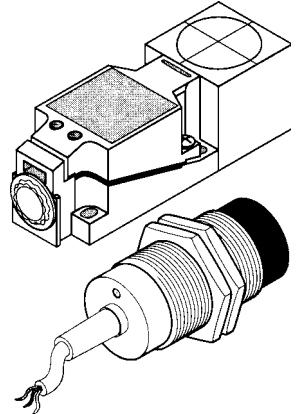
## 2. Induktive Näherungsschalter

Induktive Näherungsschalter sind die in der Automatisierungstechnik am häufigsten eingesetzten Sensoren. Sie reagieren auf die Annäherung metallischen Objekte an ihre Detektionsfläche. Im Vergleich zu Lichtschranken sind sie weitgehend unempfindlich gegen Verschmutzung – solange der Schmutz nicht aus Metallabrieb besteht.

Weit verbreitet sind Initiatoren im rechteckigen sog. Normendschaltergehäuse (120x40x40 mm<sup>3</sup>) und in zylindrischen Gehäusen mit Feingewinden von M8 bis M30. Daneben gibt es noch schlitzz- und ringförmige Gehäusebauformen, die z.B. zur Durchlaßkontrolle auf metallische Fremdkörper im Lebensmittelbereich eingesetzt werden.

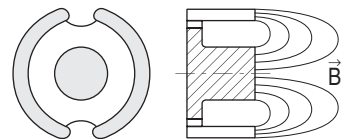
Abhängig von der Gehäusegröße reichen die Schaltabstände handelsüblicher Initiatoren von 0 .. 40 mm. Man kann davon ausgehen, daß der Durchmesser der Detektionsfläche immer etwas größer sein muß als der Schaltabstand. Für einen Schaltabstand von 10 mm sollte man also z.B. einen Initiator im M30-Gehäuse einkalkulieren.

Preisgünstige Initiatoren sind heute für weniger als 50,- DM/Stück erhältlich.



### 2.1 Sensorprinzip

Zentraler Bestandteil jedes induktiven Näherungsschalters ist ein offener magnetischer Kreis, dessen magnetisches Wechselfeld den zu detektierenden Bereich durchsetzt. Zum Aufbau wird meist die Hälfte eines Ferrit-Schalenkerns verwendet. Manchmal werden aber auch U-Kerne eingesetzt. Mit Schalenkernhälften ergibt sich ein rotationssymmetrischer Verlauf des magnetischen Feldes und damit auch ein rotationssymmetrischer Detektionsbereich.

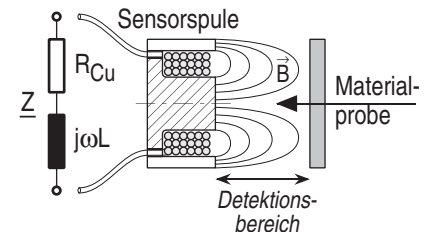


Der Ferritkern wird mit einer Wicklung versehen. Im elektrischen Ersatzschaltbild erscheint diese Sensorspule als verlustbehaftete Induktivität mit  $\underline{Z} = R_{Cu} + j\omega L$ . Dabei ist  $R_{Cu}$  der Wicklungswiderstand des Kupferdrahtes.

Unmagnetische ( $\mu_r \approx 1$ ) und schlecht leitende Materialien (Holz, Kunststoffe, Porzellan) im Detektionsbereich beeinflussen  $\underline{Z}$  praktisch nicht.

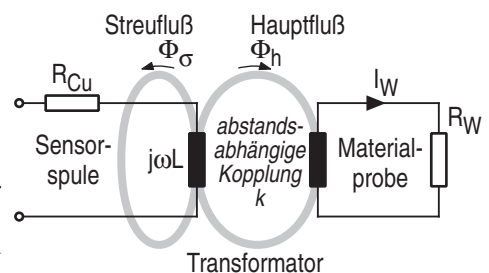
Nähert man aber Materialien, die hochpermeabel ( $\mu_r \gg 1$ ) und/oder gut leitfähig sind, so ändert sich  $\underline{Z}$  erheblich. Dabei sind drei Fälle zu unterscheiden:

- Hochpermeable aber schlechtleitende Materialien (wie z.B. Ferrite) führen im wesentlichen nur zu einer Vergrößerung der Induktivität  $L$ , weil der magnetische Fluß einen Teil des Weges im hochpermeablen Ferritmaterial zurücklegen kann. Der "Luftspalt" wird kleiner und die Induktivität größer.
- Unmagnetische, aber gut leitende Materialien (wie z.B. Aluminium, Kupfer, Messing) verkleinern dagegen den induktiven Anteil  $L$ , weil in ihnen ein Wirbelstrom induziert werden. Man kann sich vorstellen, daß dadurch ein Teil der Wicklung kurzgeschlossen wird.



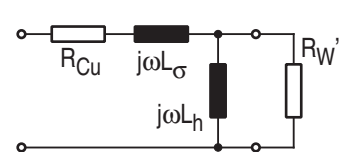
Am besten macht man sich dies anhand des transformatorischen Ersatzschaltbildes der Anordnung klar:

Ein Teil des magnetischen Flusses der Sensorspule, der Hauptfluß  $\Phi_h$  des Transformators, durchsetzt auch die Materialprobe im Detektionsbereich. Dieser Fluß wird um so größer, je näher das Material in das Feld der Spule eintaucht. Die Spule mit der angenäherten Materialprobe kann als Transformator mit variabler Kopplung  $k$  betrachtet werden. Dabei bildet die Materialprobe eine in sich kurzgeschlossene sekundärseitige Windung, die dem Wirbelstrom  $I_W$  den materialabhängigen Widerstand  $R_W$  entgegensetzt.



$R_W$  wird in den primärseitigen Widerstand  $R_W'$  transformiert und liegt nun parallel zur Hauptinduktivität  $L_h$ , einem Teil der Gesamtinduktivität  $L = L_h + L_\sigma$  der Spule.

$L_\sigma = L_h \cdot (1 - k^2)$  ist die von der Kopplung  $k$  bzw. vom Abstand der Materialprobe abhängige Streuinduktivität. Da  $R_W'$  normalerweise sehr klein gegen  $j\omega L_h$  ist, wird  $L_h$  bei ausreichend hoher Frequenz praktisch kurzgeschlossen; es bleibt nur noch  $L_\sigma$  übrig. Lediglich bei tiefen Frequenzen, bei denen  $j\omega L_h \ll R_W'$  ist, bewirkt der Wirbelstrom noch keine nennenswerte Reduktion der Induktivität.



Mit der Induktivität reduziert der Wirbelstrom auch die Güte  $Q = \omega L/R$  der Sensorspule.

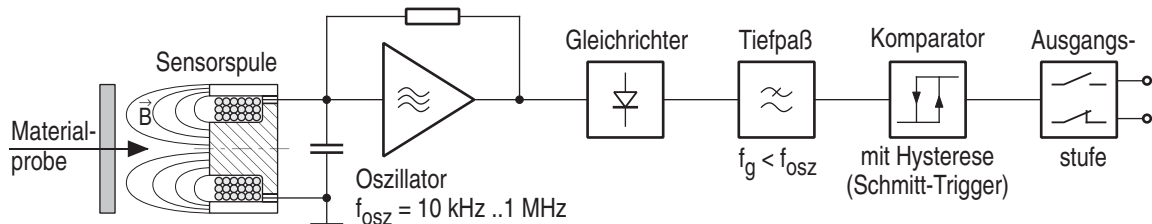
- Hochpermeable *und* gutleitende Materialien (wie z.B. Eisen) bewirken zwei Effekte: Einerseits wird die Induktivität wie bei Ferritmaterial vergrößert. Andererseits reduziert der im Material induzierte Wirbelstrom die Induktivität. Der zweite Effekt gewinnt mit steigender Frequenz an Bedeutung. Bei einer bestimmten Frequenz können sich beide Effekte sogar kom-

pensieren. Die Gesamtinduktivität bleibt dann gleich. Auch die Güte kann bei Annäherung einer massiven Eisenprobe steigen – allerdings nur bei sehr tiefen Frequenzen, bei denen der Wirbelstrom noch keine Rolle spielt. Bei den Frequenzen, bei denen konventionelle induktive Initiatoren betrieben werden, sinkt die Güte, wenn z.B. eine massive Eisenprobe in den Detektionsbereich gelangt.

## 2.2 Schaltung

Da sich bei Annäherung hochpermeabler und/oder gut leitfähiger Materialien in allen oben beschriebenen Fällen die Spulenimpedanz  $Z$  verändert, könnte man zur Auswertung eine Brückenschaltung benutzen. Z.B. könnte man die Sensorspule als variable Impedanz in eine Viertelbrücke einsetzen, die abgeglichen wird, wenn sich kein Fremdkörper im Detektionsbereich befindet. Jede Annäherung würde die Brücke verstimmen, und die verstärkte Brückenausgangsspannung könnte einen Schalter aktivieren.

Für die Praxis hat sich dieses Konzept allerdings als zu aufwendig und zu teuer erwiesen und findet nur in Spezialfällen Verwendung. Induktive Näherungsschalter sind heute fast ausschließlich nach folgendem Blockschaltbild aufgebaut:



Die Sensorspule mit einem parallelgeschalteten Kondensator bildet den Schwingkreis eines Oszillators. Die Verstärkung des über den Widerstand und den Schwingkreis mitgekoppelten Verstärkers wird nun so eingestellt, daß die Schwingbedingung knapp erfüllt ist; d.h., daß die Schleifenverstärkung gerade etwas größer als eins ist. In dem Moment, in dem die Schwingkreisgüte sinkt, weil in einem metallischen Objekt im Feld der Sensorspule Wirbelströme induziert werden, wird die Schwingung erst bedämpft und bricht dann vollständig zusammen.

Zur Schwingungsdetektion wird das Oszillatorsignal gleichgerichtet. Es durchläuft einen Tiefpaß, der Reste der Oszillatorfrequenz unterdrückt, und gelangt auf einen Komparator. Der Komparator setzt das analoge in ein binäres Signal um – im Prinzip ist er ein 1-bit-Analog-Digital-Umsetzer. Um zu verhindern, daß jedes kleinste Zittern des zu detektierenden Objektes und die damit einhergehende Schwankung der Oszillatoramplitude den Komparatorausgang schalten läßt, führt man eine Hysterese ein. Diese Schalthysterese wird in den Datenblättern der Initiatoren auf das Objekt bezogen und in Millimetern angegeben.

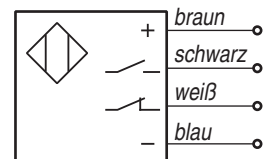
Die Hysterese wird entweder im Komparator selbst gebildet (Schmitt-Trigger) oder aber, indem der Komparatorausgang die Verstärkung des Oszillators ein wenig verändert und so den Schwingungsabbruch oder das Wideranschwingen beschleunigt (Mitkopplung über mehrere Stufen).

Weil das Schaltungskonzept nur auf der Auswertung der Oszillatoramplitude basiert, lassen sich zwar alle Metalle, nicht aber z.B. Ferrite detektieren. Dazu müßte auch die Änderung der Oszillatorfrequenz  $\Delta f_{osz}$  ausgewertet werden. Tatsächlich gibt es Spezialversionen von Initiatoren, die neben der Oszillatoramplitude auch die Änderung der Oszillatorfrequenz auswerten und damit sogar zwischen Eisen und Nichteisenmetallen (Al, Cu, Ms) unterscheiden können.

Abhängig davon, ob der Ausgang des Initiators bei Annäherung aktiviert oder inaktiviert wird, spricht man von Öffnern oder Schließern. Ein Ausgang ist ein Schließer, wenn er bei Annäherung, d.h. im bedämpften Zustand des Oszillators schließt. Im Ruhezustand ist er geöffnet (und so wird er im Symbol auch dargestellt). Für den Öffnerausgang gelten die gegenteiligen Sachverhalte. Manchmal werden Initiatoren auch mit zwei komplementären Ausgängen – einem Schließer und einem Öffner ausgestattet.

Für induktive Näherungsschalter wird in Plänen das nebenstehende Symbol verwendet.

Weitere Einzelheiten über die Ausgangsstufen, deren Betriebsspannungen und Beschaltung sind für induktive und optische Initiatoren im Kapitel 4 zusammengefaßt.



### 3. Lichtschranken

Wenn sich Objekte mit induktiven Näherungsschaltern nicht erfassen lassen, weil sie nichtmetallisch, zu klein oder zu weit entfernt sind, weicht man auf optische Initiatoren, d.h. auf Lichtschranken aus. Eigentlich wäre "Strahlschranke" die korrekte Bezeichnung, da viele dieser Geräte mit Infrarotstrahlung arbeiten. Die Bezeichnung Lichtschranke ist aber geläufiger.

Als Strahlungssender werden heute fast ausschließlich Lumineszenzdiolen, mitunter auch Laserdioden verwendet. Die Wellenlänge der Strahlung liegt bei 880 nm (Infrarot) oder bei 660 nm (Rot). Mit sichtbarem Rotlicht arbeitende Lichtschranken werden gerne eingesetzt, weil sie sich dank des sichtbar auftreffenden Lichtflecks besser ausrichten lassen.

Lichtschranken erlauben wesentlich größere Detektionsreichweiten als induktive Näherungsschalter, sind dafür aber nicht so robust und vor allem verschmutzungsanfällig.

#### 3.1 Bauarten

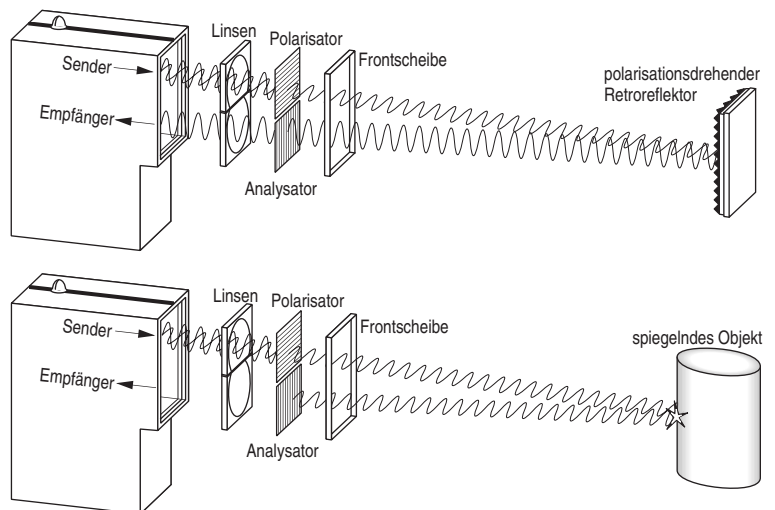
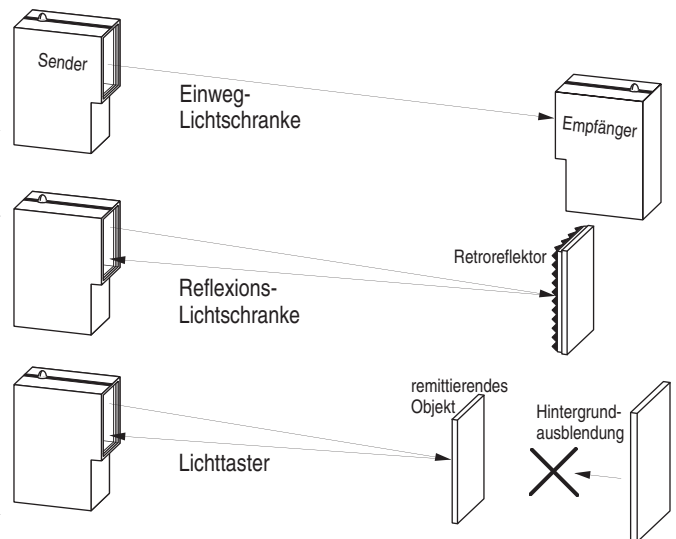
Das nebenstehende Bild zeigt die drei grundsätzlichen Lichtschranken Bauarten:

Bei der *Einweg-Lichtschranke* sind die optischen Sender und Empfänger in getrennten Gehäusen untergebracht. Auf eine Unterbrechung des Strahls reagiert der Empfänger mit einem Signal. Mit dieser Anordnung sind Reichweiten bis zu einigen hundert Metern erreichbar. Von Nachteil ist, daß elektrische Leitungen sowohl zum Sender als auch zum Empfänger verlegt und daß zwei Geräte aufeinander ausgerichtet werden müssen.

Mit weniger Installationsaufwand kommt die *Reflexionslichtschranke* aus. Sie faßt Sender und Empfänger in einem Gehäuse zusammen; der Strahl wird über einen Retroreflektor in den Empfänger umgelenkt. Retroreflektoren lenken einen Strahl immer in die Richtung zurück, aus der er kommt, und müssen deshalb nicht – wie normale Spiegel – exakt ausgerichtet werden. Man kennt sie z.B. aus der Verkehrstechnik als sog. "Katzenaugen". Abhängig von der Qualität des Retroreflektors sind Reichweiten bis zu 50 m erreichbar.

*Lichttaster* reagieren nicht auf Unterbrechung des Strahls, sondern auf das vom zu detektierenden Objekt diffus zurückgestreute Licht. Die Hintergrundunterdrückung bei speziellen Tastern gestattet dabei sogar die Erkennung dunkler Objekte vor einem weißen Hintergrund. Weil nur ein kleiner Teil der rückgestreuten Strahlung auf den Empfänger gelangt, lassen sich mit Tastern nur viel geringere Weiten erreichen als mit Reflexschranken: so können weiße Objekte in 2 m Entfernung gerade noch erkannt werden.

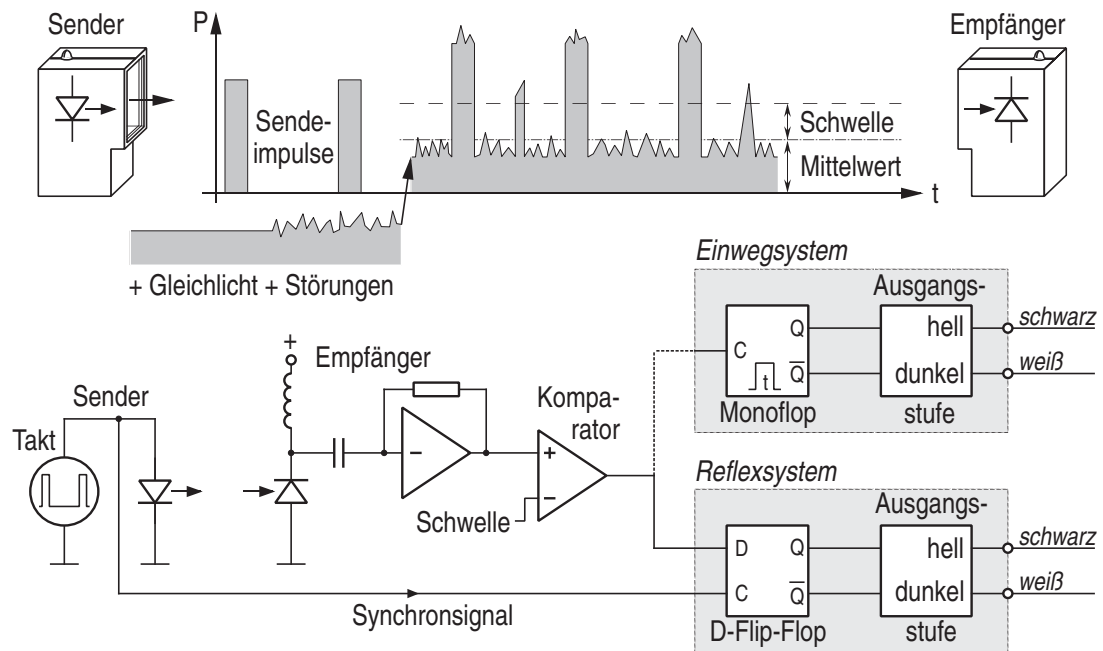
Die Polarisationsfilter-Lichtschranke ist eine Variante der normalen Reflexlichtschranke. Um zu verhindern, daß der Empfänger auf das von spiegelnden Objekten reflektierte Licht reagiert und so praktisch zum Taster wird, werden in den Strahlengang Polarisationsfilter eingebaut. Man nutzt in diesem Fall aus, daß bestimmte Retroreflektoren die Polarisationssebene drehen, während die meisten glänzenden Oberflächen in ihren Reflexen die Polarisationsrichtung erhalten. Das von einem spiegelnden Objekt reflektierte, unerwünschte Licht gelangt nicht durch den Analysator, der gegenüber dem Polarisator um 90° gedreht ist. Nur das vom Retroreflektor in seiner Polarisationssebene gedrehte, erwünschte Licht erreicht den Empfänger. Polarisationsfilter-Lichtschranken arbeiten mit Rotlicht, weil die Polarisationsfilter im Infraroten nicht mehr so gut funktionieren.



#### 3.2 Schaltung

Moderne Lichtschranken und -taster sind fast ausschließlich sog. Wechsellichtschranken, deren Prinzip im folgenden Bild dargestellt ist.

Um im Empfänger die Strahlung des Senders vom Tageslicht (Gleichlicht, nahezu konstante Strahlungsleistung) und von Störungen unterscheiden zu können, strahlt der Sender Impulse ab; er arbeitet mit Intensitätsmodulation, d.h. er moduliert die Strahlungsleistung  $P$ . Als Strahlungsempfänger dient eine Photodiode. Der vom Tageslicht und vom Strahlungsmittelwert verursachte Photogleichstrom fließt über die Drossel ab, während der Wechselanteil der schnellen Impulse in der Transimpedanzschaltung verstärkt wird. Der Empfänger reagiert erst, wenn das Signal den Mittelwert um eine vorgegebene Schwelle überschreitet.



Zur Überbrückung der Pausen zwischen den Sendeimpulsen wird im Empfängergehäuse der Einweglichtschranke mit jedem Impuls ein retriggerbares Monoflop gestartet. Wenn es (wie in Reflexsystemen) möglich ist, ein Synchronsignal vom Sender zu erhalten, wird ein D-Flip-Flop nur während der Impulse auf Datenübernahme geschaltet. So werden Störungen zwischen den Sendeimpulsen unterdrückt (Störimpulsaustastung).

Hinter dem Monoflop bzw. dem D-Flip-Flop liegt bereits das binäre Ausgangssignal der Lichtschranke vor, das die Ausgangsstufe aktiviert. Zur Realisierung einer Schalthysterese kann mittels des binären Ausgangssignals die Komparatorschwelle im Sinne einer Mitkopplung variiert werden.

Die bei sehr schneller Unterbrechung des Sendestrahs maximal mögliche Schaltfrequenz kann hier gerade die halbe Impulsfrequenz erreichen. Zur Verbesserung der Störuneempfindlichkeit wird in einigen Lichtschranken der Ausgang erst dann aktiviert, wenn *mehrere* Lichtimpulse ungestört empfangen wurden (Mehrfach-Impulsauswertung). Leider reduziert diese Maßnahme die maximale Schaltfrequenz auf einen Bruchteil der Impulsfrequenz. Störsicherheit wird hier also – wie überall in der Technik – durch einen Verlust an Geschwindigkeit erkauft.

Hinsichtlich der empfängerseitigen Signalauswertung ist das obige Schaltungskonzept noch nicht optimal. Vor allem die Störuneempfindlichkeit kann mit einem Synchrondemodulator und Filtern noch erheblich verbessert werden. Am Prinzip der Wechsellichtschranke ändert dies aber nichts.

Bei Lichtschranken spricht man von einem dunkelschaltenden Ausgang, wenn der Ausgang bei unterbrochenem Strahl (also bei abgedunkeltem Empfänger) aktiv ist. Ein hellerschaltender Ausgang wird dementsprechend aktiv, wenn der Sendestrahl den Empfänger aufhellt.

Die obskure Farbgebung (schwarz = hell-, weiß = dunkelschaltend) der Anschlußdrähte ist darauf zurückzuführen, daß ursprünglich einmal *Lichttaster* ausgangsseitig mit induktiven Näherungsschaltern gleichgesetzt werden sollten. Beide sollten bei Objektdetektion ein Signal am gleichfarbigen Anschlußdraht abgeben; bei Näherungsschaltern war dies der schwarze Anschlußdraht – bei Lichtastern der hellerschaltende Ausgang! Schließlich hat man diese Farbgebung auch für die *Lichtschranken* übernommen.

### 3.3 Funktionssicherheit

Die Funktionssicherheit gibt an, das Wievielfache der zum sicheren Schalten erforderlichen Leistung unter bestimmten Bedingungen auf den Empfänger trifft. Sie ist abhängig von der Entfernung zwischen Sender und Empfänger bzw. der Entfernung zum Reflektor.

Funktionssicherheit 1 bedeutet, daß der Empfänger gerade noch schalten kann; Funktionssicherheit 20 oder 20-fache Funktionssicherheit, daß der Strahl auf 1/20 geschwächt werden kann, ohne die Funktion zu stören.

Man ermittelt die Funktionssicherheit, indem man Graufilter mit bekanntem Transmissiongrad  $\tau_{\text{ges}} = \tau_1 \cdot \tau_2 \cdot \tau_3$  in den Strahlengang einführt, bis die Lichtschranke gerade nicht mehr sicher schaltet. Bei Reflexsystemen ist dabei zu beachten, daß der Strahl die Graufilter zweimal durchläuft und deshalb um  $\tau_{\text{ges}}^2$  abgeschwächt wird.

Für zuverlässigen Betrieb sollte die Funktionssicherheit 2 sein; dann ist die sog. Funktionsreserve 1. Bei einfacher Funktionssicherheit hat man keine Funktionsreserve mehr.

Es gilt: Funktionsreserve = Funktionssicherheit - 1; leider werden beide Begriffe mitunter gleichgesetzt oder verwechselt.



#### 4. Betriebsspannung, Versorgungsspannungsbereich, Verpolsicherheit

Automatisierungstechnische Anlagen arbeiten üblicherweise mit einer Steuerungsspannung von 24 V. Initiatoren werden deshalb meist für einen Versorgungsspannungsbereich von 10 V bis 30 V angeboten, innerhalb dessen die Leistungsmerkmale vom Hersteller garantiert werden.

Die meisten Initiatoren für diesen Versorgungsspannungsbereich sind verpolsicher gegen alle Möglichkeiten falschen Anschließens, überspannungsfest gegen kurze Spannungsspitzen und haben kurzschlußfeste Ausgänge, so daß sie durch Installationsfehler nicht zerstört werden können, solange nicht die zulässige Betriebsspannung überschritten wird.

Die Verpolsicherheit wird durch Reihenschaltung von Dioden in den Anschlußleitungen erreicht und erhöht die Restspannungen der Ausgänge um die Flußspannung einer Diode. Spannungsspitzen werden durch Z-Dioden oder Varistoren kurzgeschlossen.

Vor allem bei Lichtschranken gibt es sog. Allstromtypen mit einem Versorgungsspannungsbereich von 18 V bis 260 V Gleich- oder Wechselspannung. Erreicht wird dieser weite Versorgungsspannungsbereich meist mit einem kleinen Schaltenteil ohne Potentialtrennung. Bei Betrieb an 230 V ~ Netzspannung kann die gesamte Sensorelektronik auf Netzpotential liegen, was nicht gefährlich ist, solange alles gut isoliert ist. Zur ausgangsseitigen Potentialtrennung werden in diesem Fall bevorzugt Relaisausgänge eingesetzt.

Initiatoren in sog. Zweidrahttechnik übermitteln das Ausgangssignal über ihre Stromaufnahme und sparen so einen zusätzlichen Anschluß für den Ausgang. Sie verhalten sich ähnlich wie analoge Sensoren mit 4 .. 20 mA-Ausgang. Abhängig vom Zustand des Ausgangssignals wechselt die Stromaufnahme zwischen einem Wert  $\leq 4$  mA und einem Wert, der durch die in Reihe geschaltete Last oder die interne Strombegrenzung vorgegeben ist. Der minimale Spannungsabfall bzw. die minimale Betriebsspannung liegt meist bei 5 V; der Initiator muß im ungünstigsten Fall also mit einer Betriebsleistung von 20 mW funktionieren. Weil Lichtschranken meist eine höhere Betriebsleistung benötigen, ist die Zweidrahttechnik vor allem bei induktiven Näherungsschaltern anzutreffen.

#### 5. Ausgänge, Beschaltung

Um allen Beschaltungsvariationen gerecht zu werden, werden Initiatoren mit unterschiedlichen Typen von Ausgängen angeboten. Einige Initiatoren verfügen sogar über zwei, meist invertiert schaltende Ausgänge. Bei induktiven Näherungsschaltern unterscheidet man Schließer und Öffner, bei Lichtschranken hell- und dunkelschaltende Ausgänge. Diese Bezeichnungen sagen aber nur etwas darüber aus, *unter welcher Bedingung* der Ausgang *aktiv* wird. Sie legen hingegen noch nicht fest, ob es sich um einen plus- oder minusschaltenden Ausgang handelt.

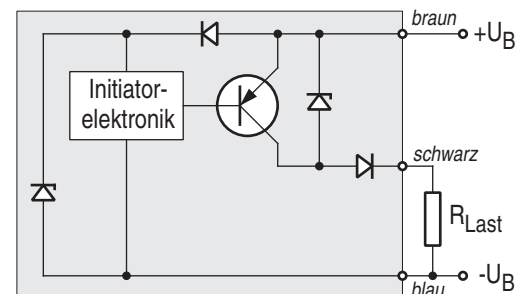
##### 5.1 pnp-Ausgang, plusschaltender Ausgang, source-output, high-side-switch

Hier wird der Ausgang beim Schalten mit der positiven Betriebsspannung verbunden. Weil dazu oft ein pnp-Transistor verwendet wird, bezeichnet man diesen Typ auch als pnp-Ausgang. Obwohl ebenso gut ein npn-Transistor (als Emitterfolger) oder ein Leistungs-MOSFET verwendet werden können, hat sich diese Bezeichnung leider festgesetzt. Besser und auch üblich ist die Bezeichnung "plusschaltender Ausgang".

Die Last (SPS-Eingang, Relais, Anzeigelampe ...) wird beim plusschaltenden Ausgang einseitig mit der negativen Betriebsspannung verbunden. Im eingeschalteten Zustand bleibt ein lastabhängiger Spannungsabfall bis zu 2 V zwischen positiver Betriebsspannung und Ausgang. Die Restströme im ausgeschalteten Zustand liegen im  $\mu$ A-Bereich.

Die im Bild zusätzlich dargestellten Dioden und Z-Dioden dienen der Verpolsicherheit bzw. dem Überspannungsschutz beim Abschalten induktiver Lasten. Maßnahmen zur Strombegrenzung sind hier nicht dargestellt.

Die eingezeichneten Farben der Anschlußdrähte entsprechen dem Standard (DIN IEC 757), an den sich allerdings nicht alle Hersteller halten. Die Kabelfarbe schwarz kennzeichnet bei induktiven Näherungsschaltern einen Schließer, bei Lichtschranken einen hell(!)schaltenden Ausgang. Weiß kennzeichnet einen Öffner bzw. dunkel(!)schaltenden Ausgang.

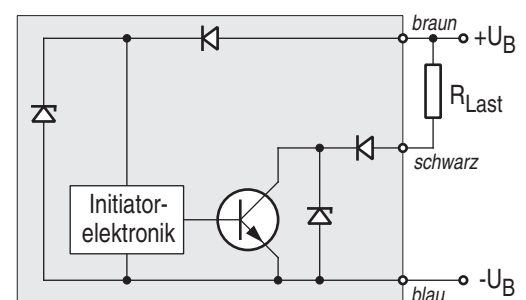


plusschaltender-Ausgang

##### 5.2 npn-Ausgang, minusschaltender Ausgang, sink-output, low-side-switch

Hier wird der Ausgang beim Schalten hier mit der negativen Betriebsspannung verbunden. Wegen des dazu oft verwendeten npn-Transistors bezeichnet man diesen Typ auch als npn-Ausgang. Besser und sachlicher ist die Bezeichnung "minusschaltender Ausgang".

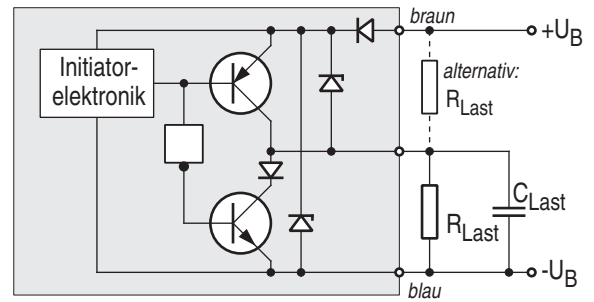
Die Last liegt beim minusschaltenden Ausgang einseitig an der positiven Betriebsspannung. Für Restspannungen und -ströme gelten ähnliche Werte wie bei den plusschaltenden Ausgängen.



minusschaltender-Ausgang

### 5.3 Gegentaktausgang, push-pull-output

Der Gegentaktausgang läßt sich durch Verbindung eines plusschaltenden Ausgangs mit einem invertiert minusschaltenden Ausgang herstellen. Er ist universeller, weil er je nach Beschaltung sowohl als plus- als auch als minusschaltender Ausgang verwendbar ist. Außerdem kann er Lasten mit hohem kapazitiven Anteil (wie z.B. lange Kabel) schneller schalten, weil er die Kapazität aktiv auf- und entlädt.



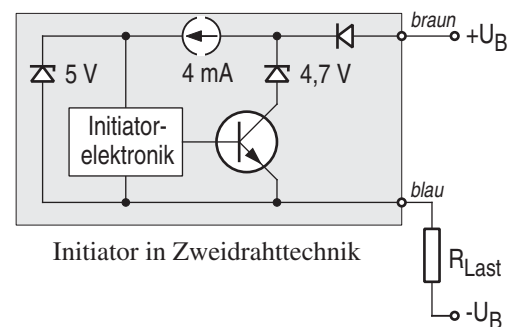
Gegentakt-Ausgang

### 5.4 Relaisausgang

Bei Relaisausgängen sind meist Arbeits- und Ruhekontakt aus dem Initiator herausgeführt. Die Kontakte sind potentialgetrennt von der Versorgungsspannung und können frei verschaltet werden. Wegen der Potentialtrennung findet man diesen Ausgangstyp oft bei Allstrom-Initiatoren, die direkt an 230 V ~ Netzspannung betrieben werden. Von Vorteil ist hier, daß praktisch keine Restspannungen über geschlossenen Kontakten auftreten und auch Wechselspannungen geschaltet werden können. Nachteilig ist die durch die Relaismechanik reduzierte Schaltfrequenz.

### 5.5 Beschaltung von Initiatoren in Zweidrahttechnik

Bei Initiatoren in Zweidrahttechnik wird die Last in Reihe mit dem Initiator an die Betriebsspannung geschaltet. Der Initiator verhält sich wie ein nichtidealer Schalter. Die Spannung über dem Initiator sinkt im eingeschalteten Zustand nicht unter 5 V. Im ausgeschalteten Zustand fließt ein Ruhestrom  $\leq 4$  mA. Viele SPS-Eingänge sind so ausgelegt, daß sie Signale von Zweidraht-Initiatoren korrekt erkennen. Auch die Ansteuerung eines Relais ist kein Problem, wenn das Relais einen Haltestrom  $> 4$  mA hat und z.B. in einem 24 V-Netz bei höchstens 19 V anzieht.



Initiator in Zweidrahttechnik

Literatur zu dem behandelten Themengebiet:

B. Krieg: Automatisieren mit Optoelektronik, Vogel Buchverlag, Würzburg

## 6. Aufgaben und Versuche mit induktiven Näherungsschaltern

### 6.1 Beschaltung

Untersuchen Sie die Anschlüsse der beiden, im Versuch vorliegenden induktiven Näherungsschalter! Wo und wie muß die Betriebsspannung angeschlossen werden. Sind die Ausgänge plus- oder minusschaltend? Handelt es sich um Öffner oder Schließer? Wie ist die Last anzuschließen? Die Betriebsspannung darf 30 V nicht überschreiten!

Sensor 1: induktiver Näherungsschalter im quadratischen Gehäuse, Beschaltungsskizze

Sensor 2: induktiver Näherungsschalter im zylindrischen Gehäuse, Beschaltungsskizze

### 6.2 Messung der Schaltabstände

Hilfsmittel: optische Bank mit Befestigungsmaterial, Mikrometerschraube, Materialproben

	Sensor 1: Schaltabstände in mm gegen:			Sensor 2: Schaltabstände in mm gegen:		
	Stahl	Aluminium	Kupfer	Stahl	Aluminium	Kupfer
ein						
aus						
Hysterese						

### 6.3 Messung der Oszillatorfrequenz

Messen Sie die Oszillatorfrequenz  $f_{osz}$ , sowie die Änderungen der Oszillatorfrequenz  $\Delta f$  (Vorzeichen?) bei Annäherung von Stahl, Aluminium und Kupfer bis zum Ansprechen des Initiators! Das Meßsignal ist induktiv auszukoppeln!

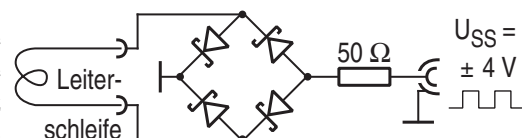
Sensor 1	$\Delta f/\text{Hz}$	$\Delta f/\text{Hz}$	$\Delta f/\text{Hz}$	Sensor 2	$\Delta f/\text{Hz}$	$\Delta f/\text{Hz}$	$\Delta f/\text{Hz}$
$f_{osz}/\text{kHz}$	Stahl	Aluminium	Kupfer	$f_{osz}/\text{kHz}$	Stahl	Aluminium	Kupfer

Wenn ein Eisenkern die Induktivität einer Spule erhöht und damit die Resonanzfrequenz sinken müßte, warum steigt dann im Versuch die Oszillatorfrequenz bei Annäherung der Eisenprobe an?

### 6.4 Messung des dynamischen Verhaltens

Bestimmen Sie die Ein- und Ausschaltverzögerungen  $t_{ein}$  und  $t_{aus}$  sowie die maximal erreichbare Schaltfrequenz  $f_{max}$ !

Bringen Sie dazu eine Leiterschleife (Sensor 1) oder eine kleine Spule (Sensor 2) in den Detektionsbereich der Initiatoren. Schließen Sie die Leiterschleife bzw. die Spule über eine Diodenbrücke periodisch kurz und simulieren Sie so die Annäherung einer Materialprobe. Zur Ansteuerung der Schaltdioden benutzen Sie den Rechteckausgang eines Funktionsgenerators. Stellen Sie das Ansteuersignal der Diodenbrücke und das Ausgangssignal des Initiators auf einem Zweikanaloszilloskop dar!



Sensor 1	$t_{ein}/\text{ms}$	$t_{aus}/\text{ms}$	$f_{max}/\text{Hz}$	Sensor 2	$t_{ein}/\text{ms}$	$t_{aus}/\text{ms}$	$f_{max}/\text{Hz}$



## **7. Aufgaben und Versuche mit einer Reflexionslichtschranke**

### **7.1 Beschaltung**

Untersuchen Sie die Anschlüsse der Reflexionslichtschranke! Wo muß die Versorgungsspannung angeschlossen werden? Sind die Ausgänge plus- oder minusschaltend, hell- oder dunkelschaltend? Wie ist die Last anzuschließen? Die Betriebsspannung darf 30 V nicht überschreiten! Skizzieren Sie die Beschaltung!

### **7.2 Grenreichweite**

Messen sie die Grenreichweite (maximale Distanz zum Reflektor)!

### **7.3 Funktionssicherheit bei 1 m Abstand zum Reflektor**

Benutzen Sie die optische Bank, um Lichtschranke und Retroreflektor in 1 m Abstand zu befestigen. Bestimmen Sie die Funktionsreserve mit Hilfe von Graufiltern!

### **7.4 Strahlmodulation**

Bestimmen Sie Modulationsfrequenz  $f_m$ , Pulsdauer  $t_i$  und Pausendauer  $t_p$  der intensitätsmodulierten Ausstrahlung der Lichtschranke. Benutzen Sie dazu eine Photodiode als Sensor!

### **7.5 maximale Schaltfrequenz**

Ermitteln Sie die maximale Schaltfrequenz der Lichtschranke mit Hilfe einer Chopperscheibe!