

Baumer Leitfaden für Schaltausgänge

Geltungsbereich

Dieses Dokument beschreibt die Funktionsweise von Schaltausgängen, wie z. B. PNP oder NPN. Es soll eine Unterstützung für die richtige Auswahl, Parametrierung und Implementierung von Sensoren mit binären Signalen geben.

Die gemachten Angaben dürfen nicht als Spezifikation verstanden werden und Baumer übernimmt keine Verantwortung für die bereitgestellten Informationen.

Inhalt

1	Kurzfassung	2
1.1	Allgemeines	2
1.2	Logische Zustände	2
1.3	Physikalische Ausführungsformen.....	2
1.4	Logische Signalzuordnung	3
1.5	Technologische Arten von Schaltausgängen.....	3
2	Funktionsweise und Eigenschaften von Schaltausgängen	4
2.1	Transistorausgänge	4
2.1.1	PNP-Schaltausgang	4
2.1.2	NPN-Schaltausgang	4
2.1.3	Push-Pull-Schaltausgang	5
2.2	Relais-Kontakte	5
2.2.1	Elektromagnetische Relais	5
2.2.2	Optoelektronische Relais.....	6
2.3	Betrieb von Schaltausgängen.....	7
2.3.1	Belastbarkeit von Schaltausgängen	7
2.3.2	Auswertung von Schaltsignalen	7
2.3.3	Ausfallsichere Konfiguration (Fail-Safe)	8
2.3.4	Antivalenten Signalisierung zur Funktionsüberwachung	9
2.4	Konfiguration von Schaltschwellen.....	9
2.4.1	Schaltswelle	9
2.4.2	Schaltfenster.....	10
2.5	Erweiterte Informationsübertragung mit binären Signalen	11
2.5.1	IO-Link	11
2.5.2	Puls-Weiten-Modulation (PWM)	12
2.5.3	Impulsausgang zur Summenbildung	12
2.5.4	Frequenzausgang zur Messwertübertragung.....	12
3	Anhang	13
3.1	Abbildungsverzeichnis	13
3.2	Dokumentations-Historie	13

1 Kurzfassung

1.1 Allgemeines

Sensoren mit Schaltausgängen bzw. binären Signalen sind primär bekannt zur Grenzstanderfassung, als Druckschalter, Durchflusswächter oder Thermostat. Es können aber auch kontinuierlich messende Sensoren Schaltausgänge beinhalten um zusätzliche Informationen bereit zu stellen oder Steuerungsaufgaben zu übernehmen. Im weiteren Sinne können binäre Signale auch Information in Form von Frequenz, Puls-Weiten-Modulation (PWM), Impuls-Summierung für Durchflussmengen, etc. ausgeben. IO-Link, welcher auf einem Schaltausgang aufbaut, kann in verschiedenen Betriebsmodi Informationen in beide Richtungen übertragen. Der Leitfaden beschränkt sich demnach nicht auf rein binär messende Sensoren sondern behandelt die Thematik von physikalischen Schnittstellen die nur binäre Logikzustände annehmen können, also z. B. 0 V und 24 V bzw. «0» oder «1».

1.2 Logische Zustände

Es werden zwei logische Zustände unterschieden:

- **inaktiv** Normaler Zustand, z. B. kein Medium erkannt, Druck ok oder kein Fehler
- **aktiv** Ausgelöster bzw. kritischer Zustand, z. B. Medium erkannt, Druck zu hoch oder Alarm

Die genaue Festlegung ist wichtig für die weitere logische Signalverarbeitung. Es kann durchaus sein, dass der Zustand «Medium erkannt» ein normaler Zustand ist, wenn es sich z. B. um einen Trockenlaufschutz für Pumpen handelt. Deshalb ist es empfehlenswert immer die Definitionen des Sensors heranzuziehen, also im Beispiel «aktiv» bei Medium erkannt.

1.3 Physikalische Ausführungsformen

Es gibt grundlegend vier verschiedene physikalische Ausführungsformen von Schaltausgängen:

- **PNP** Schalter nach positivem Betriebsspannungspotenzial (+Vs)
- **NPN** Schalter nach Bezugspotenzial (GND, 0 V)
- **Push-Pull** Umschalter zwischen positivem Betriebsspannungspotenzial (+Vs) und Bezugspotenzial (GND, 0 V)
- **Kontakt** Potenzialfreier Schaltkontakt

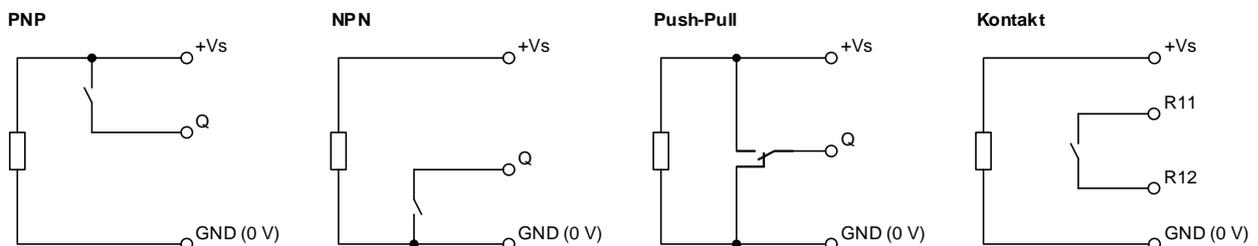


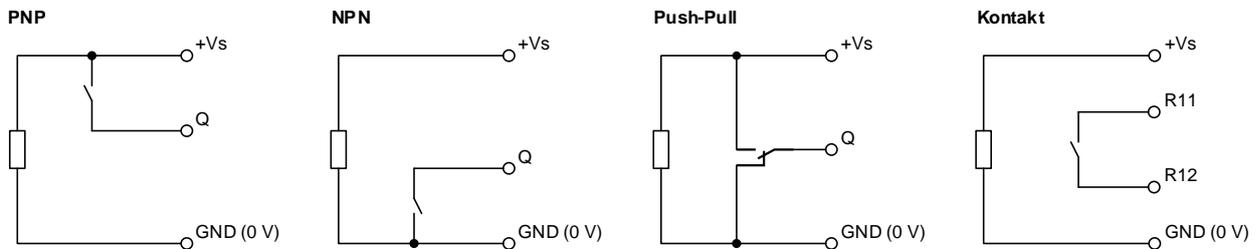
Abb. 1: Physikalische Ausführungsformen von Schaltausgängen

1.4 Logische Signalzuordnung

Bei binären Schaltzuständen spricht man von zwei verschiedenen logischen Signalzuordnungen:

- **Schliesser** (NO: Normally Open) Schalter im normalen (inaktiven) Zustand offen
- **Öffner** (NC: Normally Closed) Schalter im normalen (inaktiven) Zustand geschlossen

Schliesser (NO)



Öffner (NC)

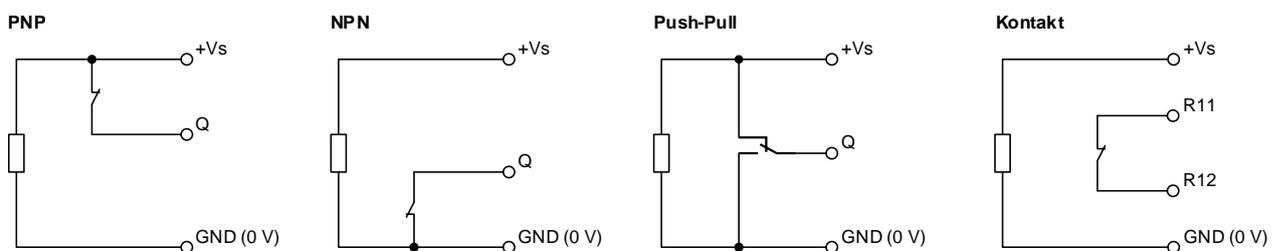


Abb. 2: Logische Signalzuordnungen für die jeweiligen physikalische Ausführungsformen

Die beiden Varianten werden vom Sensor durch eine einfache Invertierung der beiden möglichen logischen Zustände «inaktiv» oder «aktiv» erzeugt. Die richtige Konfiguration hängt vom gewünschten «Fail-Safe» Zustand ab. Für eine Überfüllsicherung wird man «Normally Closed» bevorzugen, da ein Defekt oder Drahtbruch den Zustand «Überfüllung» signalisiert, also den kritischen Zustand (siehe Abschnitt 2.3.3).

1.5 Technologische Arten von Schaltausgängen

Es gibt zahlreiche Technologien um Schaltausgänge zu realisieren. Neben klassischen elektromechanischen Relais sind auch integrierte Schaltungen verfügbar. Prinzipiell lassen sich aber alle Arten in diese Kategorien unterteilen:

- **Transistor** Potenzialgebundene Bipolar- oder Feldeffekt-Transistor(en)
- **Relaiskontakt** Potenzialfreier Schaltkontakt eines
 - elektromechanischen Relais
 - optoelektronischen Relais (auf Halbleiterbasis)

Transistoren schalten i. d. R. das Betriebsspannungspotenzial +Vs oder das Bezugspotenzial GND (0 V) des Sensors durch. Mit potenzialfreien Relaiskontakten lassen sich beliebige Potenziale schalten.

2 Funktionsweise und Eigenschaften von Schaltausgängen

2.1 Transistorausgänge

Transistorausgänge können mit diskreten Komponenten aufgebaut sein oder sich ganz oder teilweise in integrierten Schaltungen befinden. Je nach Technologie sind die schaltenden Elemente Bipolar- oder Feldeffekt-Transistoren. Die Bezeichnungen PNP und NPN sind von den Bipolartransistoren abgeleitet weshalb nur diese im Weiteren in den Prinzipschaltbildern gezeigt sind.

2.1.1 PNP-Schaltausgang

Der PNP-Schaltausgang verwendet einen Transistor dessen Emitter- bzw. Source-Anschluss am positiven Betriebsspannungspotenzial $+V_s$ nageschlossen ist. Die Elektronik des Sensors steuert diesen Transistor an der Basis bzw. dem Gate mit einer Steuerspannung an, welche in Richtung des Bezugspotenzials GND (0 V) gezogen wird wenn der Ausgang aktiv werden soll. In diesem Fall wird der Kollektor- bzw. Drain-Anschluss des Transistors leitend mit dem Betriebsspannungspotenzial $+V_s$ verbunden. Es fließt dann Strom aus dem Schaltausgang Q in den Lastwiderstand R_L des Eingangs in der Steuereinrichtung. Für einen inaktiven Ausgang wird die Steuerspannung am Transistor praktisch mit $+V_s$ verbunden, worauf dieser sperrt und damit kein Strom mehr herausfließen kann.

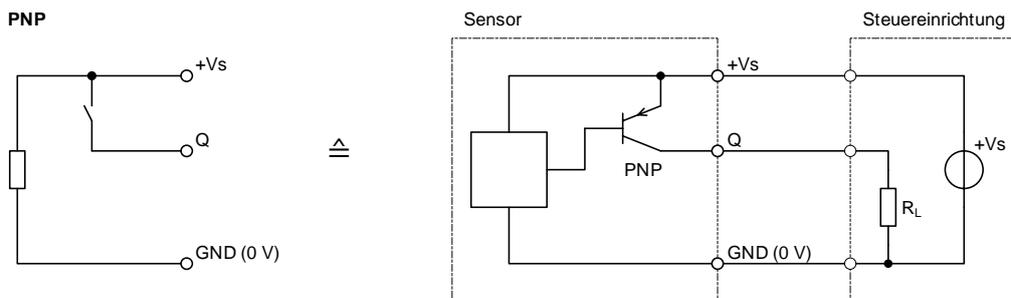


Abb. 3: Prinzipschaltbild eines PNP-Schaltausgangs

2.1.2 NPN-Schaltausgang

Beim NPN-Schaltausgang ist der Emitter- bzw. Source-Anschluss des Transistors mit dem Bezugspotenzial GND (0 V) verbunden. Die Steuerspannung der Sensorelektronik angeschlossen an die Basis bzw. das Gate des Transistors bewegt sich in Richtung Betriebsspannungspotenzial $+V_s$ für einen aktiven Ausgang. Bei einem solchen wird der Kollektor- bzw. Drain-Anschluss des Transistors leitend mit dem Bezugspotenzial GND (0 V) verbunden. Es fließt dann Strom in den Schaltausgang Q aus dem Lastwiderstand R_L des Eingangs der Steuereinrichtung. Bei inaktivem Ausgang wird die Steuerspannung praktisch auf GND (0 V) gelegt so dass der Transistor sperrt und kein Stromfluss mehr möglich ist.

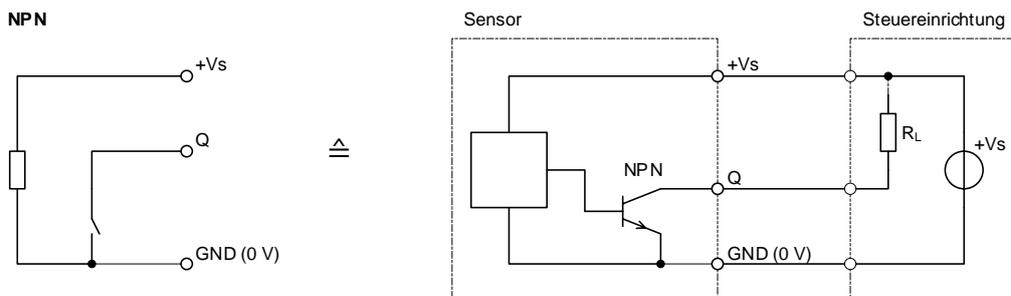


Abb. 4: Prinzipschaltbild eines NPN-Schaltausgangs

2.1.3 Push-Pull-Schaltausgang

Der Push-Pull-Schaltausgang ist im Prinzip eine Mischung aus PNP- und NPN-Schaltausgang. Die Ansteuerung geschieht so, dass immer nur ein Transistor leitend wird und damit der Ausgang entweder mit Bezugspotenzial GND (0 V) oder im aktiven Zustand mit Betriebsspannungspotenzial +Vs verbunden ist. Die angeschlossene Steuereinrichtung kann beliebig angeordnete Lastwiderstände R_L beinhalten, die Schaltpotenziale stellen sich unabhängig von deren Grösse oder Beschaltung ein.

Der Push-Pull-Schaltausgang findet sich generell in schnellen Schnittstellen zur Datenübertragung, so z. B. bei IO-Link im Kommunikationsmodus. Die angeschlossenen Leitungen weisen immer eine Kapazität auf und wirken mit dem Lastwiderstand R_L als RC-Glied. Die jeweilige bei PNP- oder NPN-Schaltausgang nur durch R_L umgeladene Schaltflanke würde bei höherohmigerem R_L und zunehmender Leitungslänge immer mehr verlangsamt, was die max. Datenübertragungsrate reduziert. Mit Push-Pull-Schaltausgängen lassen sich bei beiden Schaltflanken die Leitungskapazitäten sehr schnell umladen, da die Transistoren im geschalteten Zustand sehr niederohmig sind.

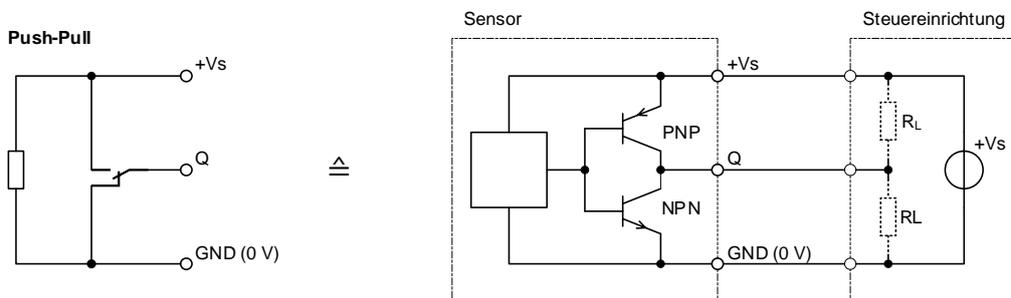


Abb. 5: Prinzipschaltbild eines Push-Pull-Schaltausgangs

2.2 Relais-Kontakte

Unter einem Relais-Kontakt versteht man einen potenzialfreien Schalter. Dieser kann mechanisch (elektromagnetisches Relais) oder optoelektronisch (z. B. Opto-MOS-FET) aufgebaut sein.

2.2.1 Elektromagnetische Relais

Beim elektromagnetischen Relais bewegt eine stromdurchflossene Spule über das sich aufbauende Magnetfeld einen Anker der den mechanischen Schaltkontakt betätigt. Im inaktiven Zustand (stromlose Spule) stellt eine Feder den Anker zurück und der Schaltkontakt öffnet. Die Logik kann auch invertiert sein, der Kontakt wird dann durch bestromen der Spule geöffnet. Es gibt auch Kombinationen aus Schliesser und Öffner, den sog. Wechsler-Kontakt.

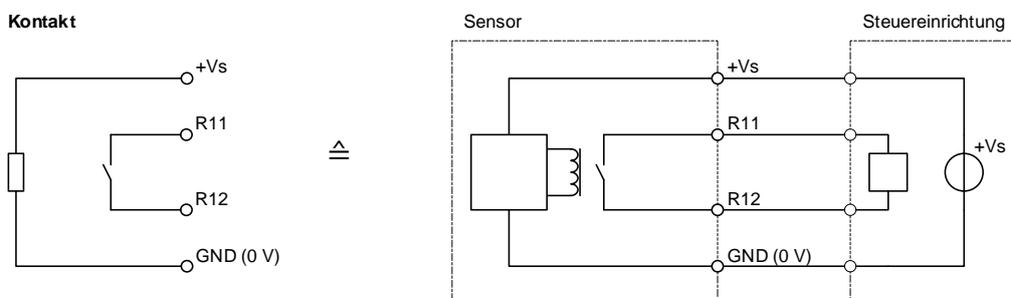


Abb. 6: Prinzipschaltbild eines elektromagnetischen Relais

Wegen der Baugröße und des relativ hohen Strombedarfs zur Versorgung der Spule findet man elektromagnetische Relais nur noch selten in Sensoren. Sie werden aber vorteilhaft in eigensicheren Trennstufen (Schaltverstärkern) für explosionsgefährdete Bereiche eingesetzt.

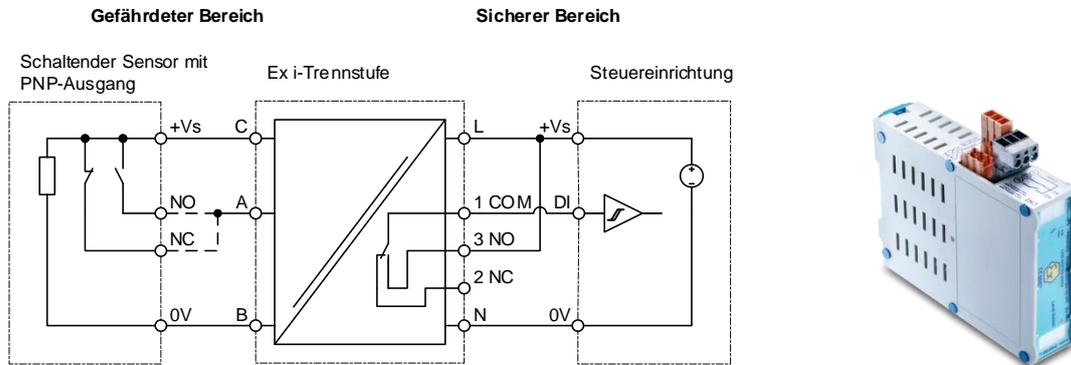


Abb. 7: Beispiel für eine eigensichere Ex i-Trennstufe mit elektromagnetischem Relais

2.2.2 Optoelektronische Relais

Halbleiterschaltungen bieten die Vorteile ohne bewegte Komponenten auszukommen und damit verschleissfrei zu sein. Normale Optokoppler mit einfachen Transistoren können den Strom nur in eine Richtung schalten. Für die Emulation eines Kontaktes wäre dies nicht befriedigend. Es sind integrierte Schaltungen mit Opto-MOS-FETs erhältlich die intern so aufgebaut sind, dass sie den Strom in beide Richtungen schalten können. Ein solcher potenzialfreier Kontakt verhält sich praktisch wie der eines elektromechanischen Relais, sofern die max. Strombelastbarkeit nicht überschritten wird.

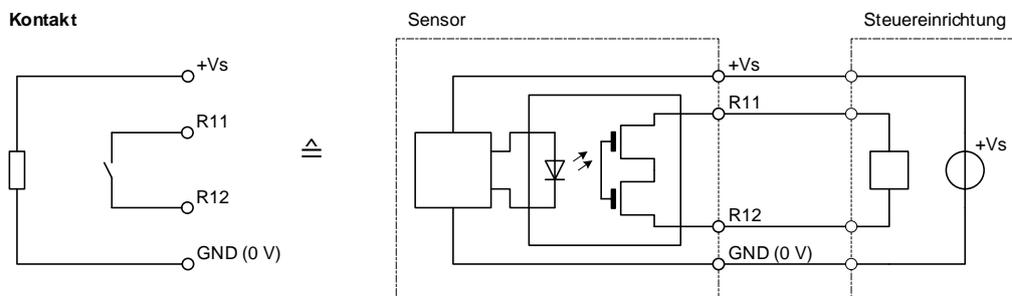


Abb. 8: Prinzipschaltbild eines optoelektronischen Relais

Die kompakte Bauweise von Halbleiterschaltungen erlaubt auch die Integration in kleinere Sensoren. Abb. 9 zeigt ein Beispiel eines Sensors mit Display, welches zusätzlich die Schaltzustände der zwei Relais-Kontakte visualisiert. Auf der Rückseite des Elektronik-Einsatzes sind die Anschlussklemmen Rxx platziert.



Abb. 9: Beispiel einer Sensorelektronik mit zwei optoelektronischen Relais-Kontakten

2.3 Betrieb von Schaltausgängen

2.3.1 Belastbarkeit von Schaltausgängen

Unabhängig von der technologischen Art des Schaltausgangs, also z. B. Transistoren oder potenzialfreie Relaiskontakte, ist das Schaltvermögen bezüglich max. Schaltspannung und max. Strombelastung entsprechend begrenzt. Bei Ausgängen mit Halbleiterschaltungen ist i. d. R. ein Kurzschluss-Schutz implementiert. Ansonsten kann ein Schaltausgang bei Kurzschluss oder Überlastung geschädigt oder zerstört werden.

Beispiel der Spezifikation eines Transistor-Schaltausgangs:

Spannungsabfall	PNP: (+Vs -0,5 V) ± 0,2 V, Rload ≤ 10 kΩ NPN: (+0,4 V) ± 0,2 V, Rload ≤ 10 kΩ
Strombelastung	100 mA , max.
Leckstrom	< 100 µA
Kurzschlussfestigkeit	Ja

Beispiel der Spezifikation eines potenzialfreien Kontaktes:

Durchlasswiderstand	< 10 Ω
Strombelastung	75 mA , max.
Schaltspannung	60 V , max.
Kurzschlussfestigkeit	Ja

2.3.2 Auswertung von Schaltsignalen

Üblicherweise ist der Signalhub zwischen «0» und «1» so gross wie die Betriebsspannung, z. B. 24 V. Trotz des grossen Spannungshubs zwischen den beiden Pegeln besteht die Gefahr der Beeinflussung durch elektromagnetische Störungen. Der Lastwiderstand R_L in der Auswerteeinheit der Steuereinrichtung sollte nicht zu hochohmig gewählt werden, da sich kapazitive Störströme sehr leicht einkoppeln können, insbesondere bei ungeschirmten Kabeln. Je hochohmiger der Lastwiderstand R_L , desto grösser ist die entstehende Störspannung, da solche Störströme wie eine Stromquelle wirken, d. h. die Grösse des eingekoppelten Stromes ist unabhängig von der Belastung durch den Lastwiderstand R_L . Nach dem ohmschen Gesetz ist der Spannungsabfall an einem Widerstand proportional zum Produkt aus Strom und Widerstand; deshalb wächst mit hochohmigerem Widerstand auch der Spannungsabfall und damit das Störpotenzial. Eine weitere Störquelle stellen Leckströme dar. Diese können bereits vom Sensor erzeugt sein (siehe dessen Spezifikation) oder durch schlechte bzw. fehlerhafte Leitungsisolations entstehen. Als Daumenwert kann man sagen, dass bei inaktivem Schaltausgang bis zu 1 mA Störstrom fließen kann. Bei

aktivem Schaltausgang sollte man daher mindestens 2 mA Strom ziehen um eine deutliche Reserve zur Unterscheidung zu haben. Des Weiteren muss eine passende Schaltschwelle mit Hysterese definiert werden.

Praxiserprobte Spezifikation für die Auswertung eines PNP-Schaltausgangs mit 24 V Betriebsspannung:

Logikzustand	Spannung (V)	Strom (mA)	Lastwiderstand R_L
0	< 5	< 1	< 5 k Ω
1	> 15	> 2 (max. 30)	(< 7,5 k Ω)

- Beim Logikzustand «0» kann ein Störstrom von 1 mA fließen, die Spannung soll 5 V nicht übersteigen; es ist ein Lastwiderstand R_L von max. 5 k Ω möglich.
- Beim Logikzustand «1» kann die bereitgestellte Spannung bis auf 15 V abfallen, es sollen aber trotzdem noch min. 2 mA fließen; der max. Lastwiderstand R_L errechnet sich zu 7,5 k Ω .
- Beide Bedingungen werden von einem Lastwiderstand $R_L < 5$ k Ω erfüllt.
- Die Schaltschwelle wird am besten in die Mitte der Spannungsgrenzen gelegt, also bei 10 V; die Hysterese sollte min. 1 V betragen.

Die Ergebnisse sind entsprechend auf einen NPN-Schaltausgang übertragbar.

2.3.3 Ausfallsichere Konfiguration (Fail-Safe)

Um einen ausfallsicheren Betrieb zu gewährleisten muss sich im Fehlerfall die Signalisierung so verhalten, dass sich ein sicherer Betriebszustand einstellt.

Beispiel: Wenn eine Überfüllsicherung mit einem Füllstandsschalter ausfällt, muss das Schaltsignal den Zustand «Überfüllung» anzeigen. Damit wird die Pumpe oder das Ventil zum Befüllen des Tanks abgeschaltet und es kann ein Alarm ausgelöst werden.

Ausfallursachen können sein:

- Ausfall der Betriebsspannung
- Leitungsbruch
- Defekt des Sensors

Bei einem Defekt des Sensors muss dieser ein vordefiniertes Signal ausgeben. Bei einigen Sensoren kann für diesen Fall eine Vorgabe in den Parametern gemacht werden.

Beispiel anhand einer Überfüllsicherung im Vergleich zu einem Trockenlaufschutz:

Applikation	Medium erkannt	PNP/NPN		Relais-Kontakt	
		Schliesser (NO)	Öffner (NC)	Schliesser (NO)	Öffner (NC)
Überfüllsicherung	nein		aktiv		geschlossen
	ja		inaktiv		offen
Trockenlaufschutz	nein	inaktiv		offen	
	ja	aktiv		geschlossen	

Bei einem Ausfall der Betriebsspannung bzw. eines Leitungsbruches wird ein PNP- oder NPN-Schaltausgang inaktiv und ein Relais-Kontakt öffnet sich. Diese Zustände sind für die Signalisierung des jeweilig kritischen Falls zu wählen. Für das obige Beispiel heisst dies:

- Überfüllsicherung: Öffner (NC: Normally Closed), Schalter im normalen (inaktiven) Zustand geschlossen
- Trockenlaufschutz: Schliesser (NO: Normally Open), Schalter im normalen (inaktiven) Zustand offen

D. h. im Fall einer Überfüllsicherung muss der Schaltausgang öffnen wenn ein Medium detektiert wird, aber im Fall eines Trockenlaufschutzes muss der Schaltausgang ebenso öffnen wenn **kein** Medium detektiert wird (rote Textmarkierungen in obiger Tabelle).

2.3.4 Antivalente Signalisierung zur Funktionsüberwachung

Für eine ständige Funktionsüberwachung können zwei Schaltsignale parallel übertragen werden, deren logische Werte invertiert sind (Antivalenz). Wenn bei der Auswertung der Signale diese nicht mehr invertiert sind, liegt ein Fehler vor.

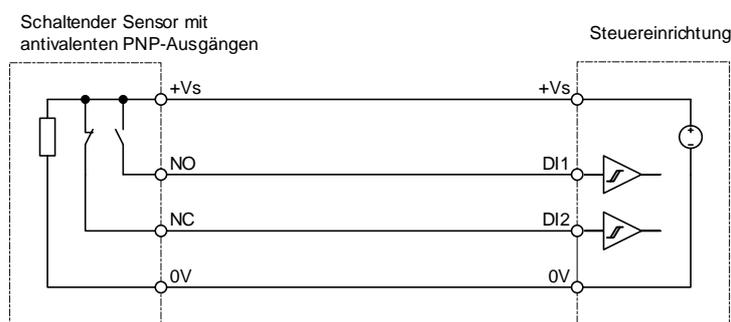


Abb. 10: Antivalente Signalisierung zur Funktionsüberwachung am Beispiel von PNP-Ausgängen

Wahrheitstabelle für die Antivalente Signalisierung:

Sensorzustand	inaktiv		aktiv	
	inaktiv	aktiv	inaktiv	aktiv
Ausgang NO	0	1	0	1
Ausgang NC	1	0	0	1
Status	ok	ok	Fehler	Fehler

Die antivalente Signalisierung kann auch mit den Ausführungsformen NPN oder Push-Pull realisiert werden.

2.4 Konfiguration von Schaltschwellen

Kontinuierlich messende Sensoren mit Schaltausgang, z. B. Druckschalter, haben Parameter um die Schaltschwellen bzw. Schaltfenster zu konfigurieren. Die Funktionalität und Parameterstruktur ist gerätespezifisch, weshalb die Betriebsanleitung heranzuziehen ist um die passenden Einstellungen vornehmen zu können.

Im Weiteren sind die Möglichkeiten auf generischer Basis erläutert.

2.4.1 Schaltschwelle

Die Parameter für eine Schaltschwelle sind Schwellenwert und Hysterese. Das Ausgangssignal wechselt beim Überschreiten des Schwellenwertes in den aktiven Zustand. Das Rücksetzen in den inaktiven Zustand geschieht erst beim Unterschreiten der Schaltschwelle abzüglich einer sog. Hysterese. Dadurch wird vermieden, dass das Ausgangssignal schwingt, wenn sich die Anregung nahe um die Schaltschwelle bewegt (siehe Abb. 11).

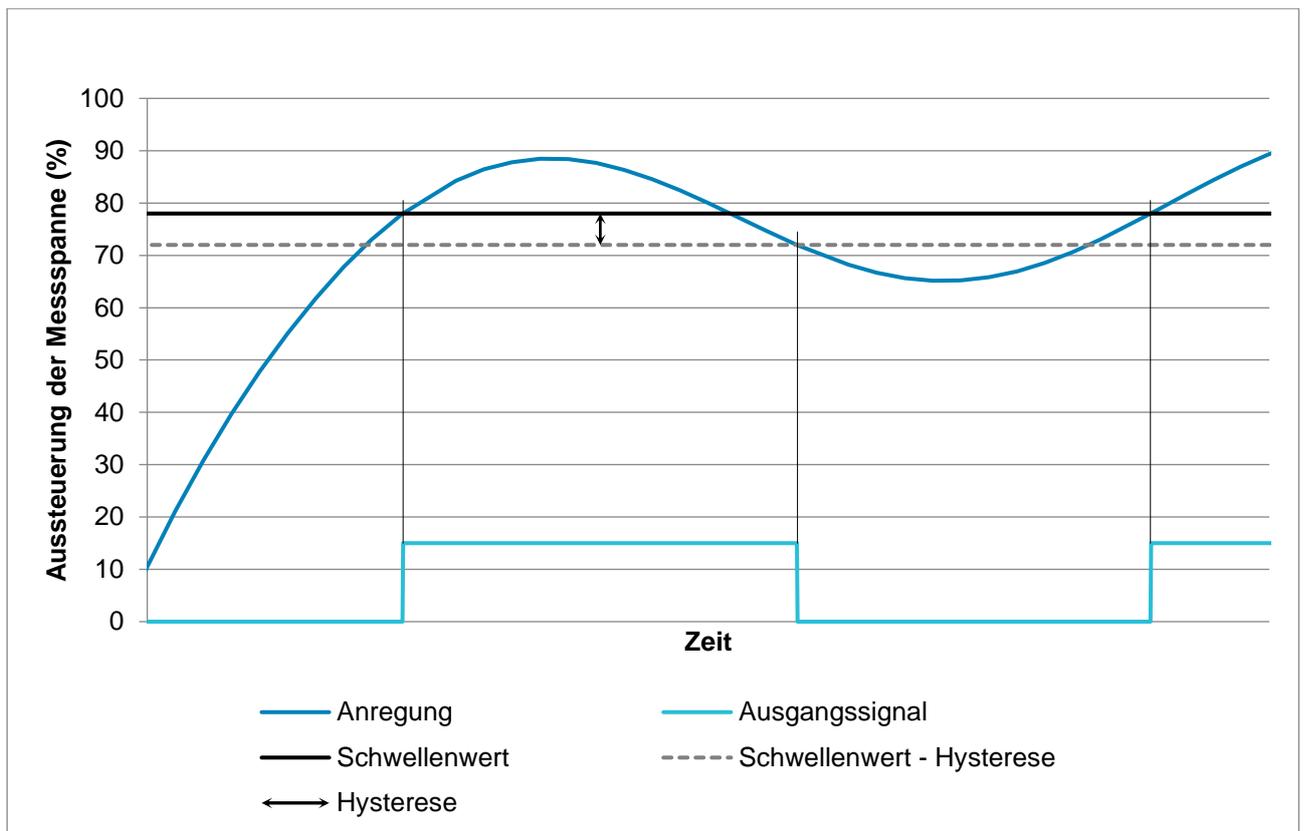
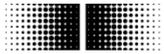


Abb. 11: Definition der Schaltschwelle mit Hysterese

Die Festlegung der Hysterese ist entweder mit einem eigenen Parameter realisiert oder mit einem absoluten Rücksetz-Schwellenwert. Ein solcher muss bei einer Änderung des Schwellenwertes manuell nachgezogen werden.

Des Weiteren gibt es Definitionen von positiver und negativer bzw. links und rechts oder zentrierter Hysterese. Wie die damit erzeugten Schwellenwerte realisiert werden ist der jeweiligen Betriebsanleitung zu entnehmen.

2.4.2 Schaltfenster

Beim Schaltfenster ist das Ausgangssignal aktiv, solange sich die Anregung innerhalb der beiden Parameter Schaltfenster min. und Schaltfenster max. befindet (siehe Abb. 12).

Auch hier gibt es eine Hysterese die entweder fest eingestellt oder parametrierbar ist. Neben einer expliziten Auswahlmöglichkeit zwischen Schaltschwelle und Schaltfenster gibt es auch eine Implementierung welche die Schaltfenster-Funktion auswählt, wenn der Rücksetz-Schwellenwert grösser als der Schwellenwert ist.

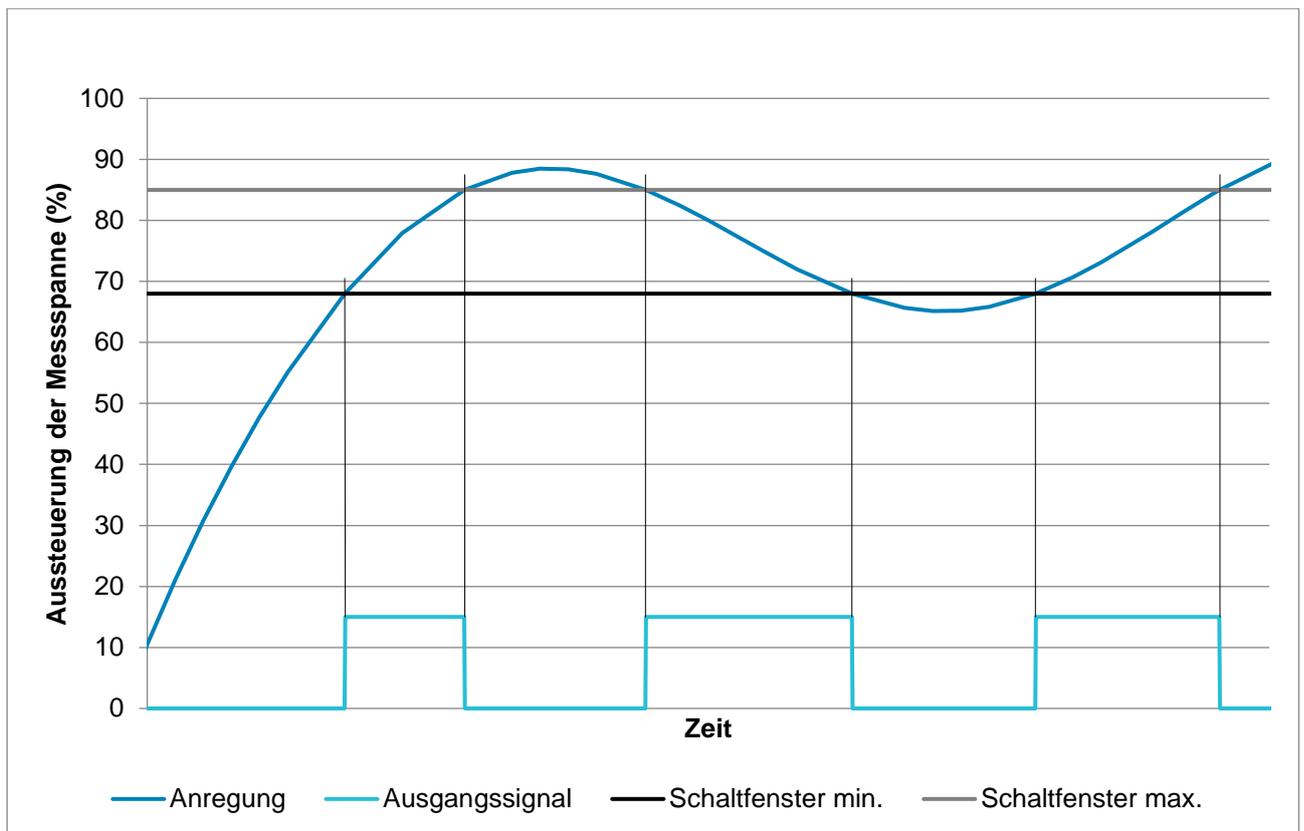


Abb. 12: Definition des Schaltfensters

2.5 Erweiterte Informationsübertragung mit binären Signalen

2.5.1 IO-Link

IO-Link baut auf einem Schaltausgang auf. Neben der standardmässigen Signalisierung mit einem Schaltausgangssignal kann ein entsprechender IO-Link-Master den Sensor in den Kommunikationsmodus versetzen. Der dann bidirektional mögliche Datenaustausch basiert auf einem Digitalprotokoll mit festgelegter Bitrate. In diesem Kommunikationsmodus arbeitet der Ausgang in Push-Pull-Ausführung, um beide Signalfanken, steigende und fallende, nicht zu verschleifen. Dies erreicht eine dann niederohmige Ansteuerung welche eine schnelle Umladung der Kabelkapazitäten vermag.

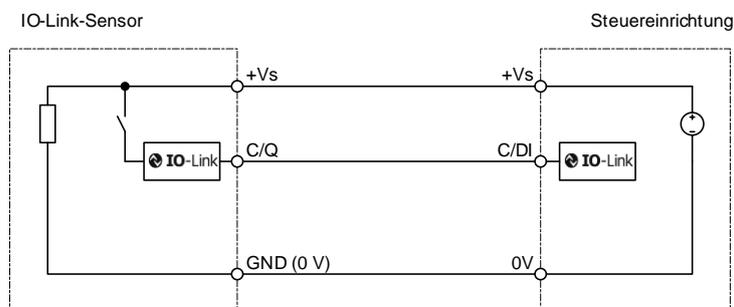


Abb. 13: Prinzipschaltbild einer IO-Link-Implementierung

2.5.2 Puls-Weiten-Modulation (PWM)

Mit der PWM lässt sich ein kontinuierlicher Messwert über einen binären Schaltausgang übertragen. Die Information steckt in einem periodischen Rechtecksignal, dessen Verhältnis der Einschaltdauer zur gesamten Periodenlänge den Messwert zwischen 0 und 100 % repräsentiert.

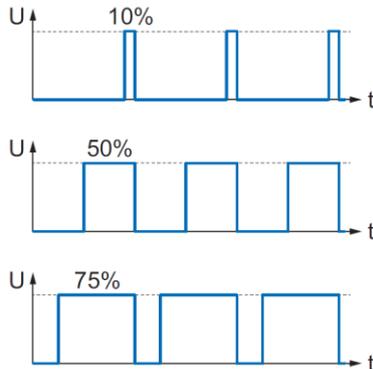


Abb. 14: Beispiel für Puls-Weiten-Modulation (PWM)

2.5.3 Impulsausgang zur Summenbildung

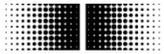
Durchfluss-Messgeräte haben üblicherweise auch einen Impulsausgang implementiert. Über diesen wird beim Erreichen einer festgelegten kumulierten Durchflussmenge ein Impuls ausgegeben, der von der Auswerteeinheit aufsummiert wird. Diese Summe entspricht dann der gesamten Durchflussmenge (Volumen) über den betrachteten Zeitraum.



Abb. 15: Beispiel eines Durchfluss-Messgerätes mit Anzeige der kumulierten Durchflussmenge

2.5.4 Frequenzausgang zur Messwertübertragung

Kontinuierliche Messwerte können über ein binäres Signal mit veränderlicher Frequenz übertragen werden. Der Messwertbereich 0 ... 100 % ist dann zwischen einer unteren und oberen Frequenz definiert. Mechanische Durchfluss-Messgeräte (Turbinen) geben so beispielsweise die Durchflussrate aus. Elektronische Durchfluss-Messgeräte (z. B. MID) emulieren dieses Signal um einen direkten Austausch zu ermöglichen.



3 Anhang

3.1 Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Physikalische Ausführungsformen von Schaltausgängen2

Abb. 2: Logische Signalzuordnungen für die jeweiligen physikalische Ausführungsformen3

Abb. 3: Prinzipschaltbild eines PNP-Schaltausgangs4

Abb. 4: Prinzipschaltbild eines NPN-Schaltausgangs4

Abb. 5: Prinzipschaltbild eines Push-Pull-Schaltausgangs5

Abb. 6: Prinzipschaltbild eines elektromagnetischen Relais5

Abb. 7: Beispiel für eine eigensichere Ex i-Trennstufe mit elektromagnetischem Relais6

Abb. 8: Prinzipschaltbild eines optoelektronischen Relais6

Abb. 9: Beispiel einer Sensorelektronik mit zwei optoelektronischen Relais-Kontakten7

Abb. 10: Antivalente Signalisierung zur Funktionsüberwachung am Beispiel von PNP-Ausgängen.....9

Abb. 11: Definition der Schaltschwelle mit Hysterese10

Abb. 12: Definition des Schaltfensters11

Abb. 13: Prinzipschaltbild einer IO-Link-Implementierung11

Abb. 14: Beispiel für Puls-Weiten-Modulation (PWM).....12

Abb. 15: Beispiel eines Durchfluss-Messgerätes mit Anzeige der kumulierten Durchflussmenge.....12

3.2 Dokumentations-Historie

Version	Datum	Überprüft	Änderung / Ergänzung / Beschreibung
V1.00	27.07.2020	fep	Initialdokument