

Baumer Leitfaden für analoge Sensor-Schnittstellen

Geltungsbereich

Dieses Dokument beschreibt die Funktionsweise der aktiven analogen Sensor-Schnittstellen wie Strom- und Spannungssignalisierung. Es soll eine Unterstützung für die Auswahl der jeweilig am besten geeigneten analogen Sensor-Schnittstelle und deren Implementierung geben. Alle gemachten Angaben dürfen nicht als Spezifikation verstanden werden und Baumer übernimmt keine Verantwortung für die bereitgestellten Informationen.

Inhalt

1	Allgemeines.....	2
2	Stromsignalisierung	2
2.1	Funktionsweise der Stromsignalisierung	2
2.2	Stromsignalisierungsbereiche	2
2.2.1	0 ... 20 mA (Dead-Zero-Signal)	2
2.2.2	4 ... 20 mA (Live-Zero-Signal)	3
2.3	Arten der Stromsignalisierung	4
2.3.1	Zwei-Leiter-Stromschleife	4
2.3.2	Drei-Leiter-Stromausgang	6
2.3.3	Vier-Leiter-Stromausgang mit galvanischer Trennung	7
2.4	Stromschleifen-Anzeigeeinheit	7
2.5	Überprüfung der Bürde	8
2.5.1	Spannungsmethode bei passivem Stromausgang	8
2.5.2	Spannungsmethode bei aktivem Stromausgang	8
2.5.3	Bürdenmethode (nur für Zwei-Leiter-Stromschleife)	9
2.6	HART	10
3	Spannungssignalisierung.....	12
3.1	Funktionsweise der Spannungssignalisierung	12
3.2	Spannungssignalisierungsbereiche	12
3.2.1	0 ... 5 V und 0 ... 10 V (Dead-Zero-Signal)	12
3.2.2	1 ... 5 V und 2 ... 10 V (Live-Zero-Signal)	13
3.2.3	0,5 ... 4,5 V	13
3.3	Arten der Spannungssignalisierung	13
3.4	Spannungssignalisierungs-Anzeigeeinheit	14
4	Auswahl der am besten geeigneten analogen Sensor-Schnittstelle	14
4.1	Störsicherheit und Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV)	14
4.1.1	Leckströme	14
4.1.2	Kapazitive Störeinkopplung	14
4.1.3	Induktive Störeinkopplung	15
4.2	Verkabelung	15
4.3	Signalverteilung	15
4.4	Service und Fehlersuche	15
4.5	Energieverbrauch	15
4.6	Explosionssgeschützte Bereiche (EX)	16
4.7	Fazit	16
5	Anhang	18
5.1	Abbildungsverzeichnis	18
5.2	Dokumentations-Historie	18

1 Allgemeines

Analoge Schnittstellen haben sich seit langem im Markt etabliert. Neben der historischen Bedeutung hat bis heute keine andere Schnittstellenart einen solch hohen Grad an Interoperabilität (Austauschbarkeit zwischen verschiedenen Herstellern) erreicht, was insbesondere für langlebige Maschinen und Anlagen vorteilhaft ist, wenn Sensoren erneuert werden müssen. Die Akzeptanz bei den Anwendern ist trotz der vielen moderneren digitalen Schnittstellen und Busse immer noch relativ hoch, weil viel Erfahrung damit besteht und die Diagnose im Fehlerfall mit einfachen Hilfsmitteln anschaulich durchgeführt werden kann.

2 Stromsignalisierung

2.1 Funktionsweise der Stromsignalisierung

Eine Stromquelle prägt ein Stromsignal in die angeschlossene Stromschleife ein. Die Grösse des Stromsignals entspricht über eine entsprechende Skalierung dem Messsignal. Übliche Stromsignalisierungsbereiche für den Messinformationsbereich 0 ... 100 % sind 0 ... 20 mA und 4 ... 20 mA.

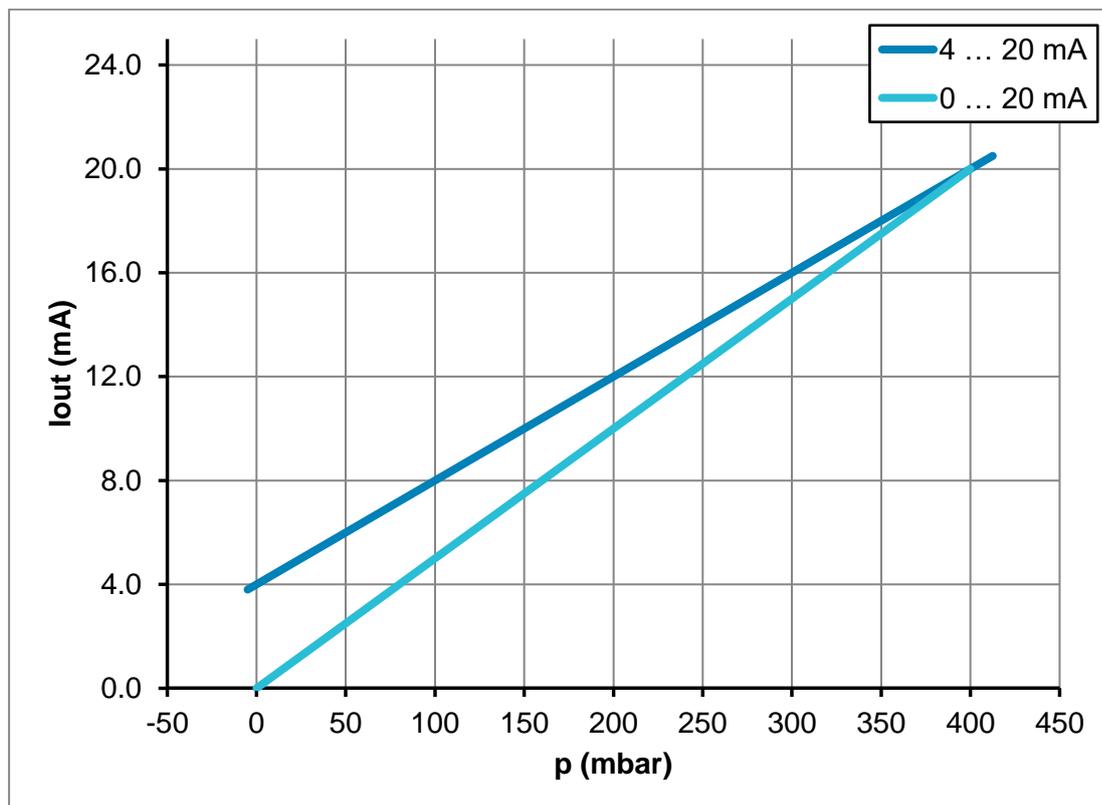


Abb. 1: Messinformation und Stromsignal am Beispiel eines 0 ... 400 mbar Drucksensors

2.2 Stromsignalisierungsbereiche

2.2.1 0 ... 20 mA (Dead-Zero-Signal)

Die Messinformation «null» bedeutet dass kein Stromsignal fließt. Daher ist ein Leitungsbruch oder Kurzschluss der Anschlussleitungen nicht eindeutig detektierbar. Zudem gibt es keine Zwei-Leiter-Stromschleife, da bei Stromsignalen nahe null praktisch kein Leistung mehr für die Versorgung eines

Sensors verfügbar wäre. Deshalb findet dieser Signalisierungsbereich in der Prozessautomatisierung heute kaum mehr Anwendung.

2.2.2 4 ... 20 mA (Live-Zero-Signal)

Das Stromsignal für die Messinformation «null» beträgt 4,0 mA. Damit kann ein Leitungsbruch oder Kurzschluss sicher erkannt werden und es steht noch ausreichend Leistung bei einer Zwei-Leiter-Stromschleife zur Versorgung des Sensors zur Verfügung. Die Strombereichsgrenzen von 4 mA und 20 mA für die Messinformation und über diesen Bereich hinausgehend für die Ausfallinformation ist heute der meist genutzte Standard. In der NAMUR-Empfehlung NE 43 sind Empfehlungen für die Vereinheitlichung zur Signalisierung von Ausfallinformationen gegeben.

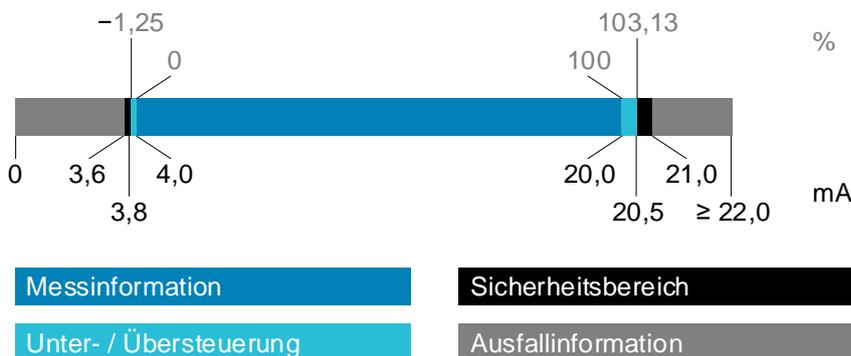


Abb. 2: Definition der Ausfallinformation für die 4 ... 20 mA-Stromsignalisierung nach NE 43

Der Unter- bzw. Übersteuerungsbereich signalisiert eine gültige Messinformation. Ein Sensor kann so über seine nominellen Messbereichsgrenzen hinaus Messwerte signalisieren. Ein Drucksensor beispielsweise mit einem Messbereich von 0 ... 400 mbar kann so -5,0 mbar bis 412,5 mbar ausgeben. In diesem Fall ist noch ein leichter Unterdruck (Vakuum) messbar, was z. B. für hydrostatische Füllstandsmessungen entscheidend sein kann. Sensoren die konfigurierbar sind erlauben meistens eine Einstellung der Unter- bzw. Übersteuerungsgrenzen.



Abb. 3: Stromsignalisierungsbereich am Beispiel eines 400 mbar-Drucksensors

Der jeweilige Sicherheitsbereich dient zur eindeutigen Abgrenzung zwischen Messinformation und Ausfallinformation. In diesen Bereichen sollte keine Stromsignalisierung ausgegeben werden. Die Zuordnung von Stromwerten für die Ausfallinformationen sind gerätespezifisch definiert oder einstellbar. Die NAMUR-Empfehlung schreibt wenigstens einen Stromwert dafür vor. Bei leistungskritischen Geräten kann dieser ausschliesslich im Bereich ≥ 21 mA gewählt werden. Die Ausfallinformation mit 0 mA ist verständlicherweise dem Leitungsbruch vorbehalten, ebenso ein Kurzschluss gegen GND (0 V). Ein solcher gegen die positive Versorgungsspannung erzeugt einen Überlauffehler.

Weitere Ausfallinformationen können z. B. sein:

- Messinformation ungültig oder nicht (mehr) vorhanden

- Sensorelement defekt (z. B. bei Pt100-Fühlerbruch oder Kurzschluss)
- Selbsttest nicht erfolgreich durchlaufen
- Sensorelement verschlissen, z. B. durch Korrosion
- Sensor trocken (z. B. kontinuierlicher Füllstandssensor nicht eingetaucht)
- Versorgungsspannung zu gering

2.3 Arten der Stromsignalisierung

2.3.1 Zwei-Leiter-Stromschleife

Bei der Zwei-Leiter-Stromschleife ist der Sensor eine passive Stromsenke. Dafür muss der Analogeingang der Steuereinrichtung eine Versorgungsspannung bereitstellen.

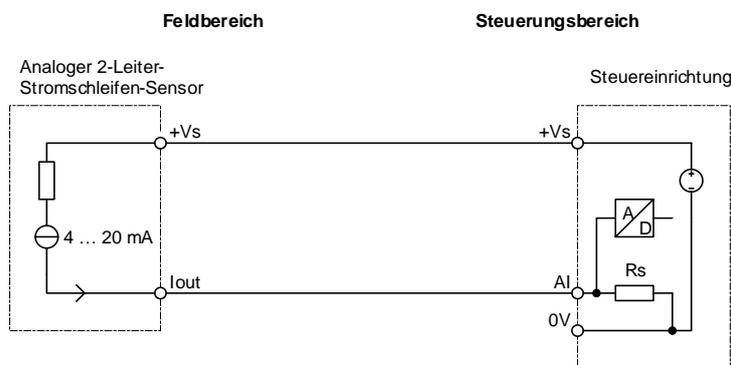


Abb. 4: Signalisierung mit Zwei-Leiter-Stromschleife

Der Sensor hat nur zwei Anschlüsse zur Versorgungsspannung. Der aufgenommene Versorgungsstrom ist proportional zum Messsignal. Der Sensor regelt seinen elektrischen Widerstand immer so, dass unabhängig von der Grösse der zur Verfügung gestellten Versorgungsspannung bzw. deren Quellenwiderstand immer der Sollwert des Stromsignals fließt. In der Regel beträgt das kleinste Stromsignal 3,6 mA (bei Fehlersignalisierung), was eine grosse Herausforderung an das Leistungsmanagement stellt. Geht man von einer min. Versorgungsspannung des Sensors von 10 V aus, stehen für ihn nur 35 mW Versorgungsleistung zur Verfügung.

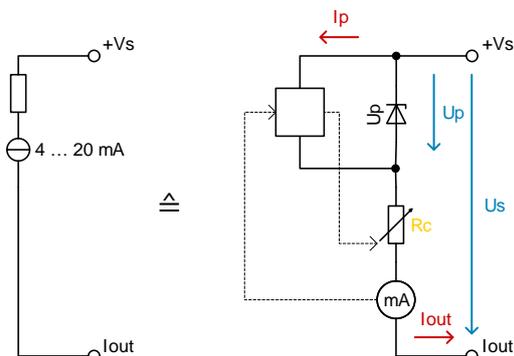


Abb. 5: Schematische Darstellung eines Zweileiter-Stromschleifen-Sensors

Der Sensor entnimmt sich eine bestimmte Versorgungsleistung aus der Versorgungsspannung U_p und dem Versorgungsstrom I_p in einem Bypass der Stromschleife. Er misst ständig das fließende Stromsignal I_{out} und stellt den virtuellen Widerstand R_c so ein, dass dieses immer der gewünschten Messinformation entspricht. Damit werden sowohl Schwankungen in der Versorgungsspannung $+V_s$, im Versorgungsstrom I_p

als auch von weiteren Widerständen wie Shunts oder Anzeigen in der Stromschleife ausgeregelt. Dadurch ändert sich die Klemmenspannung U_s entsprechend.

Der Sensor kann seinen min. Versorgungsspannungsbedarf U_p selbst bestimmen und damit auch bei kleinen Stromsignalen ausreichend Leistung erhalten. Dies geht zu Lasten des maximal möglichen externen Shunt-Widerstandes R_s , da weniger Spannungsreserve in der Stromschleife vorhanden ist, insbesondere beim max. Stromsignal (z. B. 23 mA). Die meisten Sensoren behalten einen konstanten Versorgungsspannungsbedarf U_p über den Stromsignalbereich, z. B. mit einer Zener-Diode. Aufwändigere Sensoren vergrößern ihren Versorgungsspannungsbedarf U_p mit kleiner werdendem Stromsignal I_{out} . So können sie sich über den ganzen Stromsignalbereich mit konstanter Leistung versorgen. Praktikabel ist z. B. eine von 18 V auf 9 V abfallende min. Versorgungsspannung für den Stromsignalbereich von 3,5 – 23 mA; es steht dann wenigstens eine Versorgungsleistung von $18\text{ V} \times 3,5\text{ mA} = 63\text{ mW}$ zur Verfügung. Beim grössten Stromsignal von 23 mA ist der Versorgungsspannungsbedarf U_p mit 9 V entsprechend gering, so dass keine so grosse Einschränkung für den max. Shunt-Widerstand R_s mehr besteht, wie das bei 18 V wäre. Die entsprechenden Kennlinien bzw. Berechnungsformeln sind dem Datenblatt des jeweiligen Sensors zu entnehmen (siehe dazu auch Abschnitt 2.5).

Explosionsgefährdete Bereiche

Die Zwei-Leiter-Stromschleife hat ihre grösste Bedeutung in explosionsgeschützten Bereichen mit dem Konzept der Eigensicherheit (Intrinsic-Safety). Bei geerdetem Stromkreis ist nur eine einkanalige Barriere notwendig. Der Shunt-Widerstand R_s muss in der positiven Versorgungsleitung liegen, was einen speziellen Analogeingang erfordert.

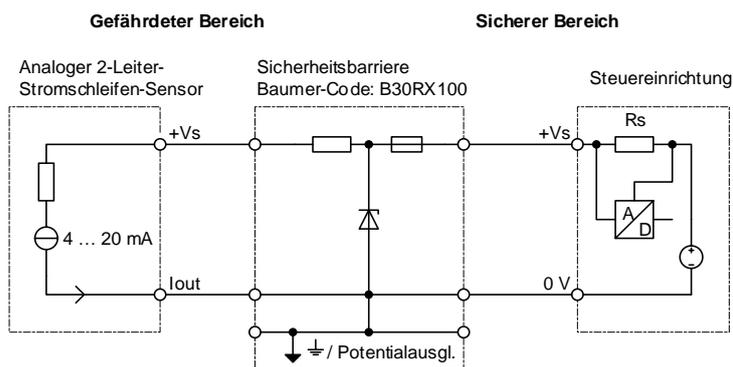


Abb. 6: Eigensicherer, geerdeter Feldstromkreis mit einkanaliger Barriere

Für einen nicht geerdetem Stromkreis ist eine zweikanalige Barriere erforderlich. Der Shunt-Widerstand kann dann wie gewöhnlich 0 V-Bezug haben.

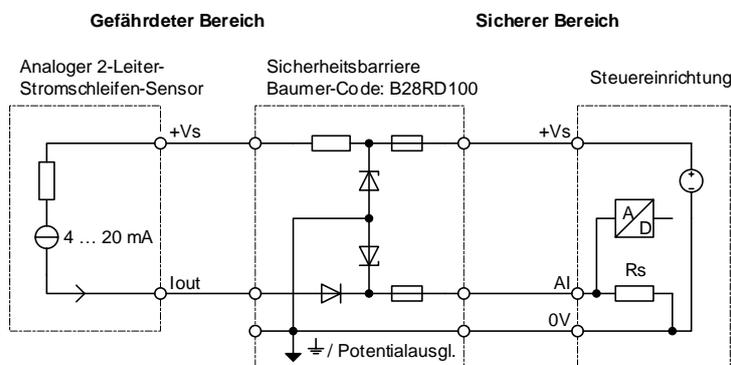


Abb. 7: Eigensicherer, nicht geerdeter Feldstromkreis mit zweikanaliger Barriere

Es sind auch aktive Trennstufen verfügbar, die eine galvanische Trennung beinhalten. Sie arbeiten wie ein klassischer Trennverstärker aber mit zusätzlicher Spannungs- und Strombegrenzung zur Bereitstellung eines eigensicheren Feldstromkreises für den gefährdeten Bereich.

2.3.2 Drei-Leiter-Stromausgang

Je nach Anschlussart der Versorgungsspannung wird zwischen passiver und aktiver Beschaltung unterschieden. Für den Sensor selbst gibt es keine Unterschiede.

2.3.2.1 Passive Beschaltung

Bei der passiven Beschaltung ist die Signalisierung gleichermassen wie bei der Zwei-Leiter-Stromschleife. Der Sensor kann an den GND-Anschluss jedoch einen zusätzlichen Strom für seinen Versorgungsbedarf abgeben. Damit ist das Powermanagement wesentlich einfacher zu realisieren. Wird die aktive Spannungsquelle des Analogeingangs in der Steuereinrichtung zur Versorgung verwendet, muss sie den gesamten Strombedarf des Sensors bereitstellen können, also möglicherweise deutlich mehr als 20 mA.

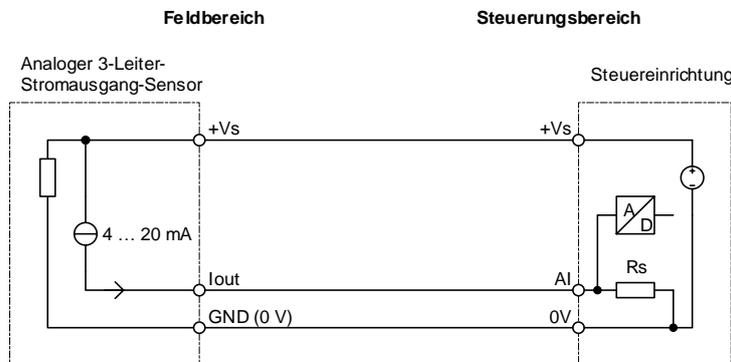


Abb. 8: Passive Beschaltung mit Drei-Leiter-Stromausgang

2.3.2.2 Aktive Beschaltung

Die Speisung kann auch von einem eigenständigen Netzteil übernommen werden, d. h. Versorgungs- und Auswerteeinheit sind getrennt, möglicherweise auch über eine grössere Distanz. Dieses Konzept ist dann vorteilhaft, wenn ein eigenes Versorgungsnetz zur Verfügung steht. Der sog. fremdgespeiste Sensor befindet sich dann in einer aktiven Beschaltung, obwohl es sich um den gleichen Sensor als in der passiven Beschaltung nach Abschnitt 2.3.2.1 handelt.

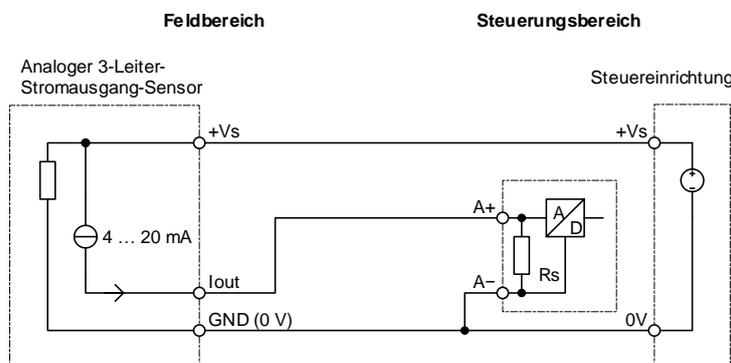


Abb. 9: Aktive Beschaltung mit Drei-Leiter-Stromausgang

2.3.3 Vier-Leiter-Stromausgang mit galvanischer Trennung

Bei bestimmten Sensoren steht der Stromausgang galvanisch getrennt zur Verfügung. Die Auswerteeinheit kann so einen zur Speisung verschiedenen Potentialbezug haben. In der Regel ersetzt dieses Konzept aber nicht die Forderung nach einer geforderten galvanischen Trennung zwischen Feld- und Steuerungsbereich.

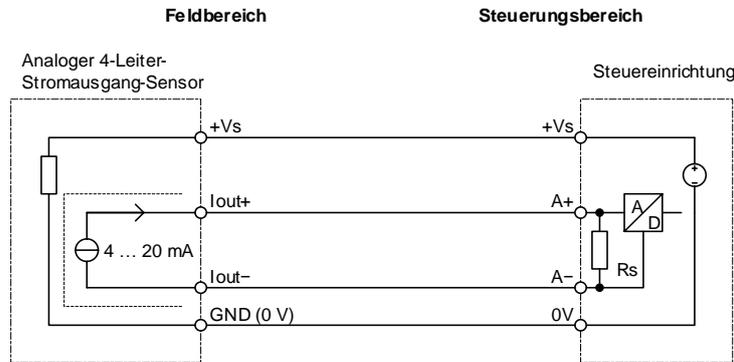


Abb. 10: Signalisierung mit galvanisch getrenntem Vier-Leiter-Stromausgang

Beim Vier-Leiter-Stromausgang ist die Stromquelle aktiv, d. h. der Analogeingang der Steuereinrichtung muss keine aktive Spannungsquelle bereitstellen. Es ist weiter zu beachten, dass der Versorgungsstrom des Sensors deutlich höher als 20 mA sein kann (z. B. 150 mA), den möglicherweise die Sensorspeisung eines Analogeingangs nicht liefern kann.

Eine alternative Ausführung besteht bei Geräten mit Netzanschluss. Die Versorgungsspannung +Vs wird bei diesen über ein integriertes Netzteil gewonnen.

2.4 Stromschleifen-Anzeigeeinheit

Jede der oben gezeigten Stromsignalisierungsarten enthält einen Stromsignalkreis. In diesen kann an beliebiger Stelle eine Stromschleifen-Anzeigeeinheit integriert werden, die in der Regel ihre Versorgungsspannung aus dem Signalstrom erzeugt. Der zusätzliche Spannungsverlust in der Stromschleife ist in die Überprüfung der max. Bürde mit einzubeziehen. Die Stromschleifen-Anzeigeeinheit darf keine Anbindung an ein Bezugspotential wie Erde oder GND (0 V) haben. Ansonsten erhält die Steuereinrichtung kein oder ein verfälschtes Signal.

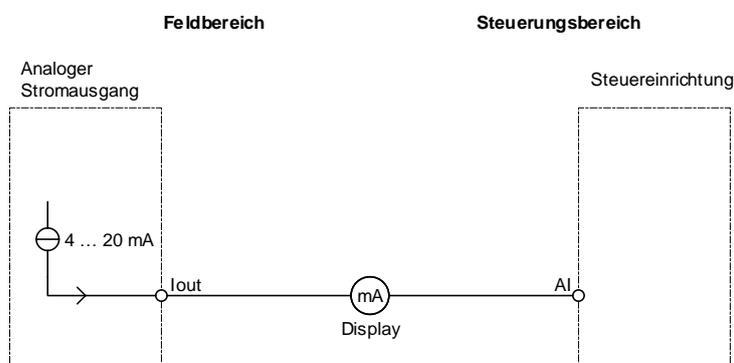


Abb. 11: Stromschleifen-Anzeigeeinheit in einem Stromsignal

2.5 Überprüfung der Bürde

Ziel der Überprüfung ist festzustellen, ob der Sensor im Worst-Case noch genügend Versorgungsspannung erhält. Dies kann man manuell über die Spannungsmethode oder über den Vergleich der Bürdenangaben erledigen.

2.5.1 Spannungsmethode bei passivem Stromausgang

- Aus dem Datenblatt des Sensors werden die Angaben für die min. Versorgungsspannung (z. B. 8 V) und des maximalen Stromsignals des Stromausgangs (z. B. 23 mA) entnommen.
- Vom Analogeingang müssen die Werte für die min. zur Verfügung stehende Versorgungsspannung (z. B. 19,2 V) und die Grösse des Shunt-Widerstandes R_s (z. B. 125 Ω) bekannt sein.
- Der Kabelwiderstand R_c wird aus der Kabellänge und der Datenblattangabe pro Ader mal Faktor zwei (für Hin- und Rückleiter) berechnet. Im Beispiel nehmen wir 25 Ω an, dies entspricht einer Länge von 500 m bei einem Leitungsquerschnitt von 0,34 mm².
- Falls sich noch weitere Geräte, wie z. B. ein Display, in der Stromschleife befinden, ist dessen max. Spannungsabfall von Interesse (z. B. 6,5 V).

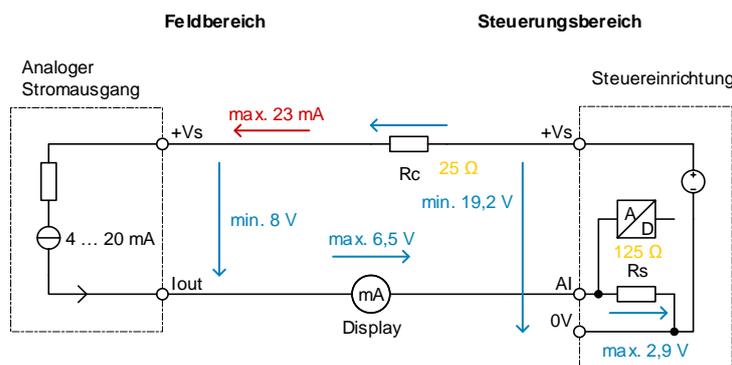


Abb. 12: Spannungsverhältnisse an einem passiven Stromausgang

Zunächst wird der Spannungsabfall am Shunt-Widerstand R_s und Kabelwiderstand R_c berechnet:

$$23 \text{ mA} \times 125 \Omega = 2,9 \text{ V}$$

$$23 \text{ mA} \times 25 \Omega = 0,6 \text{ V}$$

Dann werden alle Verbraucher-Spannungen von der Versorgungsspannung $+V_s$ subtrahiert:

$$19,2 \text{ V} - 0,6 \text{ V} - 8 \text{ V} - 6,5 \text{ V} - 2,9 \text{ V} = 1,2 \text{ V}$$

Das Ergebnis ist die Spannungsreserve zur Versorgung des Sensors. Ist dieses positiv, ist die Überprüfung bestätigt. Bei negativem Ergebnis erhält der Sensor insbesondere bei max. Signalstrom nicht mehr die minimal benötigte Versorgungsspannung. In diesem Fall müssen entweder die Parameter angepasst, z. B. die minimale Versorgungsspannung aus der Steuereinrichtung erhöht werden, der Shunt-Widerstand R_s verkleinert, der Kabelquerschnitt vergrößert oder auf das Display verzichtet werden. Wenn möglich kann das Display auch in einem Modus mit verringerter Helligkeit der Hintergrundbeleuchtung betrieben werden, was eine Verkleinerung seines Spannungsabfalls bewirkt.

2.5.2 Spannungsmethode bei aktivem Stromausgang

- Aus dem Datenblatt des Sensors werden die Angaben für die max. Ausgangsspannung (z. B. 16 V) und des maximalen Stromsignals des Stromausgangs (z. B. 22 mA) entnommen.
- Vom Analogeingang muss der Wert für die Größe des Shunt-Widerstandes R_s (z. B. 125 Ω) bekannt sein.
- Der Kabelwiderstand R_c wird aus der Kabellänge und der Datenblattangabe pro Ader mal Faktor zwei (für Hin- und Rückleiter) berechnet. Im Beispiel nehmen wir wieder 25 Ω an.
- Falls sich noch weitere Geräte, wie z. B. ein Display, in der Stromschleife befinden, ist dessen max. Spannungsabfall von Interesse (z. B. 6,5 V).

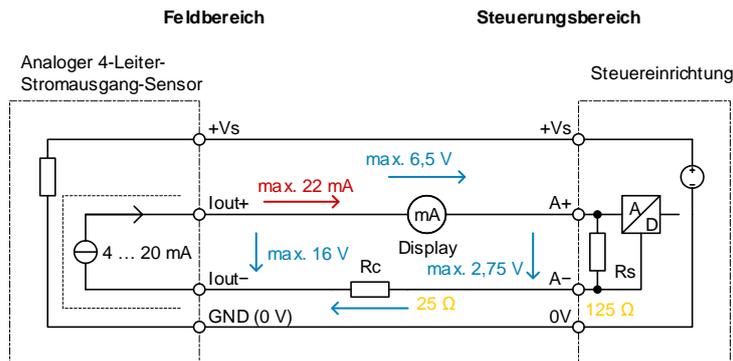


Abb. 13: Spannungsverhältnisse an einem aktiven Stromausgang

Zunächst wird der Spannungsabfall am Shunt-Widerstand R_s und Kabelwiderstand R_c berechnet:

$$22 \text{ mA} \times 125 \Omega = 2,8 \text{ V}$$

$$22 \text{ mA} \times 25 \Omega = 0,6 \text{ V}$$

Dann werden alle Verbraucher-Spannungen von der max. Ausgangsspannung subtrahiert:

$$16 \text{ V} - 6,5 \text{ V} - 2,8 \text{ V} - 0,6 \text{ V} = 6,1 \text{ V}$$

Das Ergebnis ist die Spannungsreserve zum Treiben der Stromschleife. Ist dieses positiv, ist die Überprüfung bestätigt. Bei negativem Ergebnis kann der Stromausgang das max. Stromsignal nicht mehr treiben. In diesem Fall muss entweder der Shunt-Widerstand R_s verkleinert oder auf das Display verzichtet werden. Wenn möglich kann das Display auch in einem Modus mit verringerter Helligkeit der Hintergrundbeleuchtung betrieben werden, was eine Verkleinerung seines Spannungsabfalls bewirkt.

2.5.3 Bürdenmethode (nur für Zwei-Leiter-Stromschleife)

In der Stromschleife kann jedes Gerät bzw. Bauteil mit der sog. «Bürde» charakterisiert werden. Diese ist der wirksame ohmsche Widerstand in der Stromschleife. Für konstante Widerstände, wie z. B. Shunts, ist der Widerstand unabhängig vom Signalstrom. Da aber z. B. die Stromsenke eines Sensors ihren Widerstand mit dem Stromsignal ändern muss, wird die Bürde immer für einen Signalstrom von 20 mA angegeben.

- Aus dem Datenblatt des Sensors wird die Angabe für die min. Versorgungsspannung (z. B. 8 V) entnommen.
- Aus der Eingangskarte der Steuereinrichtung muss der Wert der max. anschliessbaren Bürde bekannt sein, z. B. 650 Ω .
- Der Kabelwiderstand R_c wird aus der Kabellänge und der Datenblattangabe pro Ader mal Faktor zwei (für Hin- und Rückleiter) berechnet. Im Beispiel nehmen wir wieder 25 Ω an.

- Falls sich noch weitere Geräte, wie z. B. ein Display, in der Stromschleife befinden, ist dessen max. Spannungsabfall von Interesse (z. B. 6,5 V).

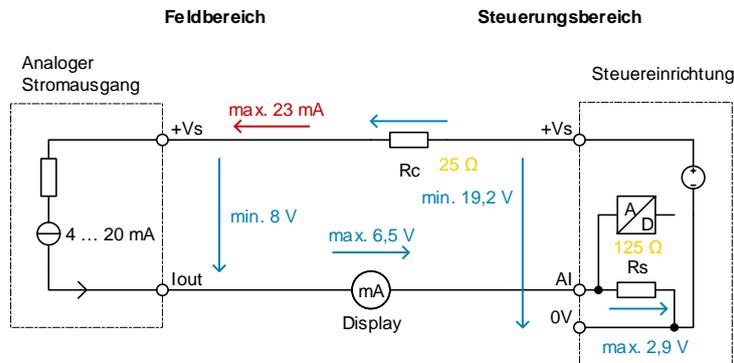


Abb. 14: Widerstandsverhältnisse an einem passiven Stromausgang (Bürdenmethode)

Die Bürde des Sensors beträgt:

$$8 \text{ V} \div 20 \text{ mA} = 400 \text{ } \Omega$$

Die Bürde des Displays errechnet sich zu:

$$6,5 \text{ V} \div 20 \text{ mA} = 325 \text{ } \Omega$$

Die Bürde des Kabelwiderstandes ist der berechnete Wert von $R_c = 25 \text{ } \Omega$.

Die Summe der Bürde aus den angeschlossenen Geräten Sensor und Display ist also:

$$25 \text{ } \Omega + 400 \text{ } \Omega + 325 \text{ } \Omega = 750 \text{ } \Omega$$

Diese ist grösser als die Angabe der max. anschliessbaren Bürde aus den Angaben der Eingangskarte mit $650 \text{ } \Omega$. Dies bedeutet, dass die Funktion nicht garantiert ist, zumindest für grössere Stromsignale. Als Alternative suchen wir die optionale Einstellung für eine verringerte Helligkeit des Displays und finden 4,5 V dafür in dessen Datenblatt. Die alternative Bürde des Displays errechnet sich dann zu:

$$4,5 \text{ V} \div 20 \text{ mA} = 225 \text{ } \Omega$$

Damit ergibt die alternative Summe:

$$25 \text{ } \Omega + 400 \text{ } \Omega + 225 \text{ } \Omega = 650 \text{ } \Omega$$

Das Ergebnis ist gleich der max. erlaubten Bürde von $650 \text{ } \Omega$ was bedeutet, dass die sichere Funktion jetzt gerade noch gewährleistet ist.

Die Angaben der max. anschliessbaren Bürde im Datenblatt des Herstellers der Eingangskarte berücksichtigt den Worst-Case, d. h. die min. mögliche Betriebsspannung und damit die min. mögliche für den Sensor zur Verfügung stehende Versorgungsspannung. Falls die untere Toleranzgrenze der min. Betriebsspannung nicht ausgenutzt wird, kann trotzdem die Funktion gewährleistet sein. Dies lässt sich bei Bedarf mit dem Verfahren der Spannungsmethode überprüfen.

2.6 HART

HART steht für «Highway Addressable Remote Transducer». HART ist ein digitales Datenprotokoll, welches dem Stromsignal überlagert wird. Zur Bitkodierung werden Wechselspannungs- bzw. Wechselstromsignale

mit zwei verschiedenen Frequenzen aufmoduliert (Frequenzumtastung), nämlich 1200 Hz für logisch «1» und 2200 Hz für logisch «0». Der Gleichrichtanteil des aufmodulierten Signals ist null, deshalb stört es die Auswertung für die analoge Stromsignalisierung i. d. R. nicht. Um die Modulation zu ermöglichen muss der Gesamtwiderstand der Stromschleife mindestens 250 Ω betragen. Die Bitrate der bidirektional möglichen Datenübertragung ist 1200 bit/s.

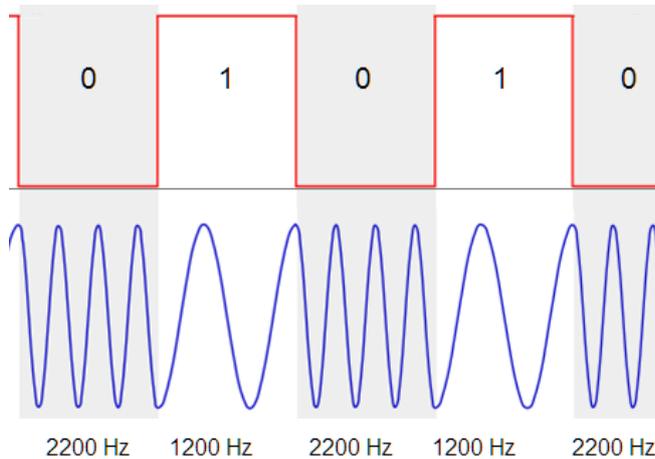


Abb. 15: Modulation der HART-Signalisierung durch Frequenzumtastung

Neben der zusätzlich digitalen und damit unverfälschbaren Information des primären Sensormesswertes können sekundäre Zusatzinformationen wie weitere Messwerte oder Diagnosedaten übertragen werden. Auch der Austausch von Messwerten zwischen Geräten ist möglich. Neben Anzeigegeräten kann z. B. auch ein Leitfähigkeitsmessgerät den Temperaturmesswert zur Temperaturkompensation von einem externen Temperatursensor erhalten. Auch bieten viele Geräte eine Parametriermöglichkeit an. Es sind obligatorische Universal- und empfohlene Standard-Befehle definiert. Mithilfe der Device-Description («DD») können auch gerätespezifische Befehle dem Kommunikationsgerät bekannt gemacht werden.

Neben HART-fähigen Kommunikationsmodulen für Steuerungen gibt es auch Handhelds für den Feldeinsatz. Diese sog. Primary- und Secondary-Master können gleichzeitig angeschlossen sein und steuern für sich den jeweiligen Datenverkehr.

Im Vergleich zur rein analogen Stromsignalisierung mit Anstiegszeiten im Millisekundenbereich ist die Aktualisierungsrate beim HART-Protokoll relativ langsam, etwa zwei Nachrichten pro Sekunde. Es kann durchaus interessant sein schnellere Prozessinformationen, wie Prozessdrücke, aus der Stromsignalisierung zu gewinnen und sekundäre Informationen, wie z. B. Temperatur oder Diagnosedaten, gleichzeitig über das HART-Protokoll zu übertragen. Zu beachten ist eine möglicherweise geringere Zykluszeit im Vergleich zur rein analogen Stromsignalisierung durch die Ausfilterung der aufmodulierten HART-Signalisierung.

Die Verkabelung muss bei einer Nachrüstung von HART-fähigen Geräten nicht geändert werden. Dies kann beim Nachrüsten bzw. Retrofitting interessante Perspektiven bieten.

Wird auf die analoge Stromsignalisierung verzichtet können sogar mehrere Sensoren parallel an eine Zweidrahtleitung angeschlossen werden (Multidrop-Technologie). Die Aktualisierungsrate für Messwerte verringert sich dann entsprechend.

Die max. Kabellänge kann bei einer Punkt-zu-Punkt-Verbindung je nach verwendetem Kabeltyp im Bereich um 1000 m liegen. Der Kabelwiderstand zusammen mit dem Kapazitätsbelag sind die bestimmenden Parameter (RC-Wert).

HART stellt in explosionsgeschützten Bereichen eine kostengünstige digitale Kommunikation zur Verfügung, auch über die dort notwendigen Entfernungen.



3 Spannungssignalisierung

3.1 Funktionsweise der Spannungssignalisierung

Eine variable Spannungsquelle stellt das Spannungssignal zur Verfügung. Die Spannung entspricht über eine entsprechende Skalierung dem Messsignal. Übliche Spannungssignalisierungsbereiche für den Messinformationsbereich 0 ... 100 % sind zwischen 0 V und 10 V definiert, es gibt aber auch bipolare Bereiche zwischen -10 V und +10 V.

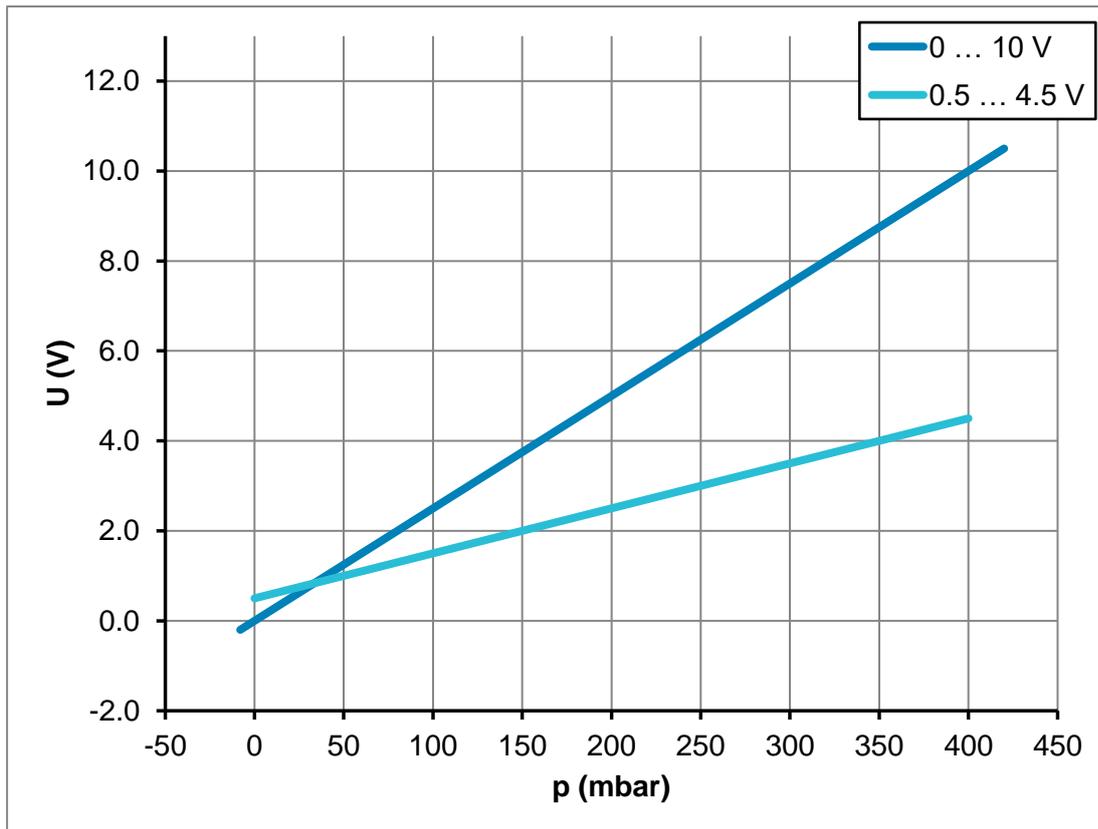


Abb. 16: Messinformation und Spannungssignal am Beispiel eines 0 ... 400 mbar Drucksensors

3.2 Spannungssignalisierungsbereiche

In der Praxis gibt es zahlreiche Spannungssignalisierungsbereiche die aus verschiedenen Gründen historisch entstanden sind. Dazu zählen auch bipolare Bereiche (z. B. -10 V ... 10 V). Im weiteren wird nur eine Auswahl der heute gängigsten Bereiche erläutert. Die Angaben sind entsprechend auch auf andere Bereiche anwendbar.

3.2.1 0 ... 5 V und 0 ... 10 V (Dead-Zero-Signal)

Die Messinformation «null» bedeutet ein Spannungssignal von 0 V. Daher ist ein Leitungsbruch oder Kurzschluss der Anschlussleitungen nicht eindeutig detektierbar. Die Skalierung ist aber sehr einfach. So kann man das Signal direkt auf einen Spannungsanzeiger mit entsprechender Skala geben (z. B. 0 ... 100 %).

3.2.2 1 ... 5 V und 2 ... 10 V (Live-Zero-Signal)

Das Spannungssignalisierung für die Messinformation «null» beträgt 1 V bzw. 2 V. Damit kann ein Leitungsbruch oder Kurzschluss sicher erkannt werden. Die Skalierung eignet sich weniger für den direkten Anschluss an einen Spannungsanzeiger, jedoch bieten analoge Eingangskarten von Steuereinrichtungen die Auswahl dieses Signalisierungsbereiches direkt an.

3.2.3 0,5 ... 4,5 V

Dieser Signalisierungsbereich findet hauptsächlich Anwendung in OEM-Applikationen, z. B. bei Sensorelementen. In den meisten Fällen ist die Referenz «ratiometrisch». Dabei wird davon ausgegangen, dass bei einer nominalen Versorgungsspannung von 5 V der angegebene Signalisierungsbereich gilt. Weicht die Versorgungsspannung in gewissen Grenzen von 5 V ab, wird im gleichen Verhältnis der Signalisierungsbereich verändert. D. h. dass der Signalisierungsbereich immer 10 ... 90 % der Versorgungsspannung beträgt. Damit besteht keine Notwendigkeit mehr auf beiden Seiten eine kalibrierte Referenzspannung einsetzen zu müssen, was den Kostenaufwand reduziert und die Langzeit- und Temperaturstabilität deutlich erhöht. Sofern Digital-Analog- und Analog-Digital-Wandler eingesetzt werden, lässt sich schaltungstechnisch deren Referenzspannungen auf beiden Seiten einfach von der Versorgungsspannung ableiten.

3.3 Arten der Spannungssignalisierung

Die Spannungssignalisierung erfordert i. d. R. drei Leitungen, das Bezugspotential, die Versorgungsspannung und die Spannungssignalisierung.

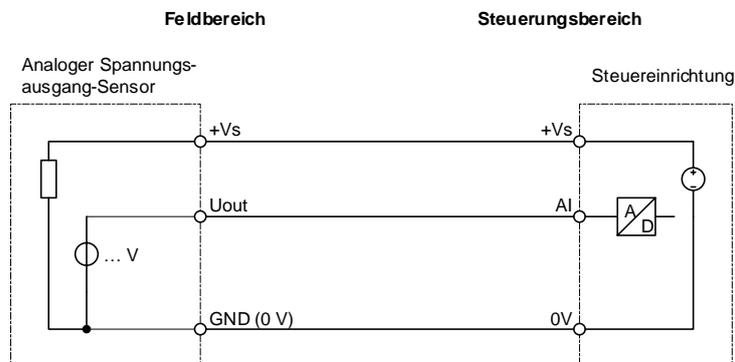


Abb. 17: Signalisierung mit Spannungsausgang

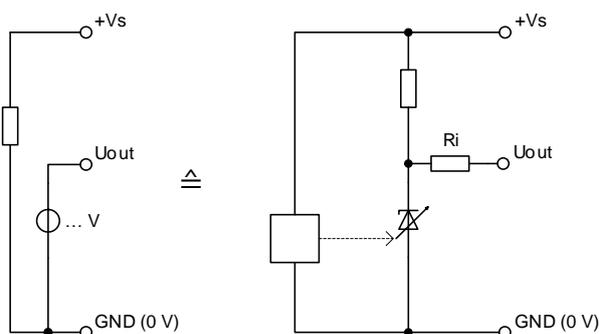


Abb. 18: Schematische Darstellung der Spannungssignalisierung

Die Spezifikation des Sensors enthält Angaben über die max. Belastbarkeit des Signalausgangs um die angegebene Genauigkeit einzuhalten. Bei zu grosser Belastung kann durch den Innenwiderstand R_i der Signalquelle eine Verfälschung entstehen.

Die ratiometrische Spannungssignalisierung wird mit einem virtuellen Potentiometer (R_c) gewonnen. In der Regel wird dies schaltungstechnisch mit einem Digital-Analog-Wandler (DAC) realisiert, dessen Referenzspannung direkt aus der Versorgungsspannung abgeleitet wird (siehe dazu auch Abschnitt 3.2.3).

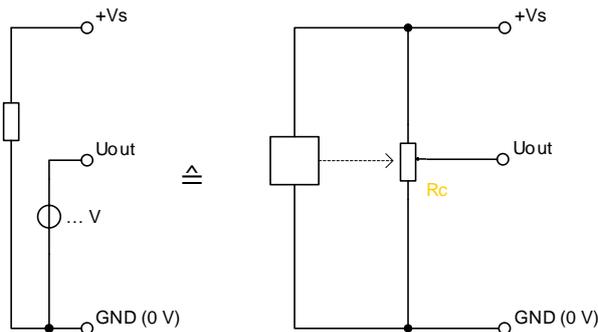


Abb. 19: Schematische Darstellung der Spannungssignalisierung mit ratiometrischem Ausgang

3.4 Spannungssignalisierungs-Anzeigeeinheit

Die Spannungssignalisierung erlaubt es mehrere Anzeigeeinheiten an beliebiger Stelle zu platzieren, solange die Belastung im Rahmen des spezifizierten Bereiches bleibt. Die Versorgung der Anzeigeeinheit wird aber i. d. R. nicht aus dem Spannungssignal gewonnen sondern muss getrennt bereitgestellt werden. Im Vergleich zur Stromschleifen-Anzeigeeinheit darf die Spannungssignalisierungs-Anzeigeeinheit einen Potentialbezug haben, Erdschleifen dürfen aber nicht entstehen.

4 Auswahl der am besten geeigneten analogen Sensor-Schnittstelle

4.1 Störsicherheit und Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV)

4.1.1 Leckströme

Die Spannungssignalisierung ist unempfindlich gegen Leckströme, wie sie z. B. bei feucht gewordenen Kabeln oder Isolationsfehlern entstehen können. Bei der Stromsignalisierung wirkt sich jeglicher Leckstrom wegen des entstehenden Stromteilers direkt als Fehler aus. Dies kann lange Zeit unbemerkt geschehen.

4.1.2 Kapazitive Störeinkopplung

Kapazitive Störeinkopplungen, wie sie z. B. bei eng parallel verlegten Kabeln vorkommen können, bewirken primär Störströme. Diese sind für die Stromsignalisierung schädlich. Kapazitive Störeinkopplungen können aber sehr leicht mit abgeschirmten Kabeln vermieden werden. Dabei ist zu empfehlen den Schirm nur einseitig an der Auswerteeinheit, also i. d. R. der Steuereinrichtung aufzulegen.

Solange der Innenwiderstand der Signalquelle bei der Spannungssignalisierung ausreichend niederohmig ist (ungefähr $< 50 \Omega$), können die kapazitiven Störströme kompensiert werden. Es kann dann eher auf geschirmte Kabel verzichtet werden. Bei einem entfernten Leitungsbruch kann es vorkommen, dass die Leitung wie als Antenne wirkt und kapazitive Störströme einfängt, die am relativ grossen Eingangswiderstand des Analogeingangs Störspannungen erzeugen. Dies kann dazu führen, dass der

Leitungsbruch nicht sicher erkannt wird, weil die eingelesene Spannung nicht 0 V beträgt. Zur Abhilfe empfiehlt sich dann auch hier ein abgeschirmtes Kabel.

4.1.3 Induktive Störeinkopplung

Induktive Störeinkopplungen, wie sie von Kabeln mit hoher Stromaufnahme (z. B. bei Antrieben) ausgehen, induzieren Störspannungen. Diese wirken sich verständlicherweise primär auf die Spannungssignalisierung aus. Eine Kabelabschirmung wirkt hier nur, wenn sie auf beiden Seiten richtig aufgelegt wird. Dies kann neben erhöhtem Aufwand auch Probleme mit Potentialverschleppungen durch Erdschleifen mit sich bringen. Gegen induktive Störeinkopplung haben sich auch verdrehte (Twisted-Pair) Leitungen bewährt. Das magnetische Feld erzeugt in aufeinanderfolgenden Aderschlägen jeweils eine Störspannung mit umgekehrter Polarität; diese hebt sich dann in Summe auf.

Die Stromsignalisierung ist dagegen robust gegen induktive Störeinkopplungen, selbst bei ungeschirmten Kabeln, da Störströme vom Signalausgang kompensiert werden können.

4.2 Verkabelung

Die Kosten für Kabel steigen mit deren Aderanzahl. Bei sehr langen Leitungen kann die Zwei-Leiter-Stromschleife erhebliche Kostenvorteile bieten. Bei kurzen Leitungen, insbesondere wenn vorkonfektionierte Kabel mit M12-Steckern Verwendung finden, ist das Einsparungspotenzial meist nicht nennenswert. Aus Gründen der Störsicherheit sollten bei der Zwei-Leiter-Stromschleife Hin- und Rückleiter immer beieinander liegen, also im selben Kabel verlaufen, auch wenn es theoretisch möglich wäre eine Schleife zu verschiedenen Geräten mit einer Eindrahtleitung zu verlegen.

4.3 Signalverteilung

Soll das Messsignal gleichzeitig an mehreren Stellen abgreifbar sein, z. B. für ein Display und einen Digitalschreiber, kann ein Stromsignal durch die entsprechenden Geräte geschleift werden. Nachteilig sind die begrenzte Bürde und eventuelle Potentialprobleme, falls ein Gerät an einem Anschluss geerdet ist. Differenzeingänge oder Trennverstärker können hier Abhilfe schaffen, bedingen aber einen entsprechenden Mehraufwand.

Ein Spannungssignal kann an mehrere Geräte einfach parallel angeschlossen werden, solange die max. Belastung nicht überschritten wird. Dies findet man häufig in der HLK-Technik, wenn z. B. zwei Klappen gegeneinander zu fahren sind.

4.4 Service und Fehlersuche

Um das Signal bei der Stromsignalisierung mit einem Messgerät überprüfen zu können, muss die Leitung an einer Stelle unterbrochen und das Messgerät eingeschleift werden. Dies bedingt neben dem erhöhten Aufwand auch eine Unterbrechung der Funktion. Bei der Spannungssignalisierung dagegen kann an jedem zugänglichen Punkt das Spannungssignal gemessen werden ohne den laufenden Prozess zu beeinflussen.

4.5 Energieverbrauch

Der Signalstrom bei der Stromsignalisierung wird am Ende immer in Wärme umgesetzt. Beim Einsatz sehr vieler Sensoren kann dies ein Argument für die Spannungssignalisierung sein, insbesondere bei Anlagen, die z. B. aus Solarzellen gespeist werden oder für die eine unterbrechungsfreie Stromversorgung (USV) gewünscht ist.

Zwei-Leiter-Stromschleifen-Sensoren sind prinzipiell energiesparend aufgebaut. Diese können einen Vorteil gegenüber stromhungrigen Drei- oder Vier-Leiter-Sensoren haben.

4.6 Explosionsgeschützte Bereiche (EX)

Das Konzept für Eigensicherheit (Intrinsic-Safety) lässt sich mit dem 2-Leiter-Stromsignal wesentlich einfacher realisieren. Es kann eine einkanalige Zener-Barriere verwendet werden oder eine zweikanalige mit Rückkanal. Für die Speisung eines Sensors mit Spannungsausgang benötigt man eine zweikanalige Barriere mit einem Widerstand auch in der Rückleitung. Da i. d. R. beide Kanäle die gleichen Werte für die beiden Widerstände enthalten, müssen wegen der Aufschaltung auf ein einziges Gerät die Kurzschlussströme addiert werden. Dies führt auf die notwendige Wahl eines Barrierentyps mit höherem Widerstandswert, was eine Reduzierung des max. möglichen Versorgungsstromes bedingt.

4.7 Fazit

Die Stromsignalisierung ist am weitesten verbreitet, da sie robust gegen induktive Störeinkopplungen ist, die sich auch mit abgeschirmten Kabeln nicht ganz so einfach beseitigen lassen. Die höhere Störanfälligkeit von kapazitiven Störeinkopplungen lässt sich dagegen einfach mit einem einseitig aufgelegten Kabelschirm reduzieren. Bei sachgemässer Installation mit geschirmtem Kabel (nur einseitig aufgelegt) ist also die Stromsignalisierung im Vorteil was die Störsicherheit angeht.

In feuchter Umgebung, wo auf Dauer Leckströme zu erwarten sind, ist die Spannungssignalisierung die bessere Wahl. Und dies umso mehr, wenn es sich z. B. um entlegene Installationen im Umweltbereich handelt, wo die Energie z. B. über Solarzellen erzeugt wird.

Die Frage nach Verkabelung, Service und Fehlersuche muss je nach Gegebenheit beantwortet werden.

Gegenstand	Stromsignal (2-Leiter)	Spannungssignal
Leckstrom (schlechte Kabelisolation)	-	+
Kapazitive Störungen (von parallel verlegten Kabeln)	-	+
Induktive Störungen (von Starkstromkabeln)	+	-
Kabelschirmanschluss	einseitig	beidseitig
Bezugspotential (Erdung)	floatend	geerdet
Kabelkosten (für grosse Längen)	+	-
Signalverteilung (z. B. mehrere Aktoren)	-	+
Service und Fehlersuche	-	+
Energiebedarf	-	+
Explosionengeschützte Umgebung (EX)	+	-
Bekanntheit (Verfügbarkeit von Interoperabilität)	+++	-
Marktanteil	90 %	10 %

Abb. 20: Vergleich von Stromsignal und Spannungssignal

5 Anhang

5.1 Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Messinformation und Stromsignal am Beispiel eines 0 ... 400 mbar Drucksensors	2
Abb. 2: Definition der Ausfallinformation für die 4 ... 20 mA-Stromsignalisierung nach NE 43	3
Abb. 3: Stromsignalisierungsbereich am Beispiel eines 400 mbar-Drucksensors	3
Abb. 4: Signalisierung mit Zwei-Leiter-Stromschleife	4
Abb. 5: Schematische Darstellung eines Zweileiter-Stromschleifen-Sensors	4
Abb. 6: Eigensicherer, geerdeter Feldstromkreis mit einkanaliger Barriere	5
Abb. 7: Eigensicherer, nicht geerdeter Feldstromkreis mit zweikanaliger Barriere	5
Abb. 8: Passive Beschaltung mit Drei-Leiter-Stromausgang	6
Abb. 9: Aktive Beschaltung mit Drei-Leiter-Stromausgang	6
Abb. 10: Signalisierung mit galvanisch getrenntem Vier-Leiter-Stromausgang	7
Abb. 11: Stromschleifen-Anzeigeeinheit in einem Stromsignal	7
Abb. 12: Spannungsverhältnisse an einem passiven Stromausgang	8
Abb. 13: Spannungsverhältnisse an einem aktiven Stromausgang	9
Abb. 14: Widerstandsverhältnisse an einem passiven Stromausgang (Bürdenmethode)	10
Abb. 15: Modulation der HART-Signalisierung durch Frequenzumtastung	11
Abb. 16: Messinformation und Spannungssignal am Beispiel eines 0 ... 400 mbar Drucksensors	12
Abb. 17: Signalisierung mit Spannungsausgang	13
Abb. 18: Schematische Darstellung der Spannungssignalisierung	13
Abb. 19: Schematische Darstellung der Spannungssignalisierung mit ratiometrischem Ausgang	14
Abb. 20: Vergleich von Stromsignal und Spannungssignal	17

5.2 Dokumentations-Historie

Version	Datum	Überprüft	Änderung / Ergänzung / Beschreibung
V1.00	27.04.2020	fep	Initialdokument