



# Analoge Signalübertragung in der MSR- Technik

Anwenderhandbuch

# **Anwenderhandbuch**

## **Analoge Signalübertragung in der MSR-Technik**

UM DE Analog Basics, Revision 03

2019-06-04

---

105238\_de\_03

# Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung .....	5
1.1	Motivation und Zielgruppen für dieses Handbuch.....	5
1.2	Um welche Signale geht es? .....	5
2	Grundlagen .....	7
2.1	Signalaufbereitung in der MSR-Technik .....	7
2.1.1	Messsignale .....	7
2.1.2	Steuersignale .....	9
2.2	Ereigniserfassung, Impuls- und Frequenzmessung .....	9
2.3	Temperaturmessung .....	10
2.3.1	Widerstandsthermometer .....	10
2.4	Thermoelemente .....	14
2.4.1	Übersichtstabellen .....	15
2.5	Näherungssensoren nach NAMUR-Standard.....	19
2.6	Normsignale .....	20
2.6.1	Normsignale 1 ... 5 V, 0 ... 10 V .....	21
2.6.2	Stromnormsignale nach DIN IEC 60381-1 .....	21
3	Anwendungen .....	23
3.1	Trennverstärker .....	23
3.1.1	Signalverstärkung .....	23
3.1.2	Konvertierung in ein Normsignal .....	25
3.1.3	Filterung .....	25
3.1.4	Galvanische Trennung .....	26
3.1.5	Elektrische Speisung und Trennung der Signalwege .....	28
3.1.6	Leitungsüberwachung .....	30
3.1.7	Weitere Funktionen von Trennverstärkern .....	31
3.1.8	Analoge und digitale Signalein- und -ausgänge .....	32
3.2	Applikationsbeispiele.....	33
3.2.1	Analog IN / Analog OUT .....	33
3.2.2	Analog IN, Digital OUT .....	40
3.2.3	Digital IN, Digital OUT .....	42
3.2.4	Digital IN, Analog OUT .....	45
4	Digitale Feldbusse .....	47
4.1	HART®.....	49
4.1.1	HART-Multiplexer .....	51
4.1.2	WirelessHART .....	51
4.2	FOUNDATION Fieldbus .....	53
4.3	PROFIBUS .....	54
4.4	Ethernet-basierte Systeme .....	56

5	Grundlagen der funktionalen Sicherheit .....	59
5.1	Funktionale Sicherheit gemäß Sicherheits-Integritätslevel (SIL) .....	59
5.1.1	SIL-Betrachtung .....	60
5.1.2	SIL-relevante Kennwerte .....	63
5.2	Sicherheit in explosionsgefährdeten Bereichen .....	65
5.2.1	Richtlinien, Normen, Bestimmungen .....	68
5.2.2	Zoneneinteilung .....	70
5.2.3	Zündschutzarten .....	71
5.2.4	Kennzeichnung von Ex-Produkten .....	73
6	Grundlagen des Überspannungsschutzes .....	75
6.1	Basiswissen.....	75
6.2	Überspannungsschutz für Stromversorgungssysteme .....	76
6.3	Indirekte Einkopplungen .....	78
6.4	Überspannungsschutz für Mess- und Regeleinrichtungen sowie Datentechnik ..	79
6.4.1	Besonderheiten beim Schutz von MSR- und Datentechnik .....	80
6.5	Überspannungsschutz für Datentechnik und Feldbusse.....	81
6.6	Überspannungsschutz im explosionsgeschützten Bereich.....	81
6.7	Überspannungsschutz im Zusammenhang mit Sicherheitsanwendungen .....	82
6.8	Vorausschauende Überwachung der Überspannungsschutzmodule .....	83
6.9	Applikationsbeispiele.....	84
6.9.1	Schutz einer analogen Messung .....	84
6.9.2	Schutz einer analogen Messung, eigensicherer Stromkreis .....	84
6.9.3	Schutz einer 4-Leiter-Messung .....	85
6.9.4	Schutz einer Ethernet-Schnittstelle (inklusive PoE) .....	85
6.9.5	Schutz des PROFIBUS .....	85
A	Technischer Anhang.....	87
A 1	Produkte für die Mess-, Steuerungs- und Regelungstechnik .....	87
B	Verzeichnisanhang .....	93
B 1	Abbildungsverzeichnis.....	93
B 2	Tabellenverzeichnis.....	97
B 3	Stichwortverzeichnis.....	99

# 1 Einleitung

## 1.1 Motivation und Zielgruppen für dieses Handbuch

In der MSR-Technik (Messen, Steuern, Regeln) spielt die störungsfreie Übertragung von Signalen eine zentrale Rolle. Die Signalübertragung ist jedoch von einer zunehmend elektrisch aktiven Umwelt betroffen, insbesondere gilt dies für die schwachen Messwertsignale, die von Sensoren geliefert werden.

Handelt es sich bei Messwertsignalen ohnehin um kleine Spannungen oder Ströme, die geschützt übertragen, mit Sorgfalt aufbereitet und ausgewertet werden müssen, so nehmen die elektromagnetischen und hochfrequenten Störungen zu, denen sie ausgesetzt sind. Ursächlich hierfür sind:

- Die steigende Anzahl elektrisch betriebener Komponenten in allen Leistungsklassen, insbesondere über Frequenzumrichter betriebene Motoren und andere Aktoren
- Die zunehmende Miniaturisierung und Packungsdichte von Gerätekomponten
- Die wachsende Zahl drahtloser Kommunikations- und Steuerungseinrichtungen
- Die regelmäßig performanter werdenden digitalen Systeme, die mit höheren Übertragungsfrequenzen arbeiten

Unzureichende Berücksichtigung dieser Störgrößen, Fehlanpassungen oder andere Planungsmängel beeinträchtigen eine fehlerfreie Signalübertragung.

Die Steuersignale zu den aktiven Komponenten technischer Anlagen werden vorsorglich „elektrisch robuster“ ausgestattet, sind jedoch prinzipiell denselben Störgrößen, Ausführungs- und Planungsrisiken ausgesetzt.

Dieses Anwenderhandbuch stellt die technisch-praktischen Grundlagen der analogen Datenübertragung vor, die wesentlich für die Automatisierungs- und Prozessleittechnik sind. Das Anwenderhandbuch weist dabei auf Risiken für die Funktionssicherheit und Fehler hin, die häufig bei Planung oder Installation gemacht oder bei der Störungsbeseitigung in Anlagen vorgefunden werden. Das Anwenderhandbuch wendet sich an alle Interessierten, insbesondere Auszubildende und Techniker, die sich mit der analogen Datenübertragung in der Automatisierungs- und Prozessleittechnik vertraut machen wollen.

## 1.2 Um welche Signale geht es?

In diesem Anwenderhandbuch geht es vorrangig um analoge elektrische Spannungs- und Stromsignale, zusammenfassend kurz als „Analogsignale“ bezeichnet. „Analog“ werden Signale genannt, wenn sie stufenlos „gleitend“ jeden Wert zwischen einem Minimal- und einem Maximalwert annehmen können und deshalb auch „wertkontinuierlich“ genannt werden. Der Wertebereich ist in diesem Intervall sehr groß und im Rahmen der Messgenauigkeit nahezu unendlich.

Erzeugt werden elektrische Analogsignale z. B. mit Hilfe eines Sensors, der Zustände oder Zustandsänderungen von physikalischen Größen erfasst und in ein elektrisches Signal umsetzt. In der Anlagen- und Prozesstechnik werden dabei typischerweise folgende Größen gemessen:

- Temperatur
- Druck
- Füllstand

- Durchflussmenge
- Schwingung / Vibration
- Verformung zur Lastmessung
- Feuchte
- Gaskonzentration
- Elektrophysikalische Größen wie Spannung, Strom, Feldstärke etc.

Die Übertragung der Analogsignale von der Signalquelle zum Zielgerät erfolgt durch elektrische Leiter. Bei einem Sensorsignal kommen als Zielgerät verschiedene Möglichkeiten in Frage:

- Ein Anzeigegerät, z. B. eine Füllstandsanzeige im Fahrzeug
- Eine Steuerungsanlage, z. B. zur Temperaturregelung eines Heizkreislaufs
- Ein Signalumformer, z. B. ein Verstärker für ein Mikrofonsignal

Dem Sensor kann ein Messumformer nachgeschaltet werden, der das analoge Messwertsignal in ein sogenanntes Normsignal wandelt und damit die Weiterverarbeitung des Signals mit weiteren normierten, elektrischen Bausteinen ermöglicht. Der Messumformer kann bereits im Gehäuse des Sensors integriert sein.

Ganz anders als bei den wertkontinuierlichen, analogen Signalen sieht es bei den binären Signalen aus. Sie nehmen nur zwei Werte an und signalisieren hiermit die Zustände „ein“ oder „aus“ bzw. „1“ oder „0“. Binäre Signale werden oft mit den „digitalen“ Signalen gleichgesetzt, weil digitale Signale in der Regel binär codiert sind. Zwischen den analogen und binären Signalen sind solche einzuordnen, die sprunghaft eine begrenzte Anzahl von Werten annehmen können und „wertdiskret“ genannt werden.

Wertkontinuierliche (analoge) und wertdiskrete Signale lassen sich durch Abtastung und Quantisierung kontinuierlich messen und werden auf diesem Wege zu Digitalsignalen. Digitalsignale werden normalerweise binär codiert in digitalen Rechnersystemen weiterverarbeitet. Auch die Zurückwandlung digitaler in analoge Signale ist häufig üblich. Die Geräte für die Konvertierungen werden als A/D-Umsetzer und D/A-Umsetzer bezeichnet.

Die Konvertierungen zwischen Analog und Digital können durch die Installation gesondert dafür vorgesehener Umsetzer ausgeführt werden oder aber die Umsetzungen erfolgen verdeckt innerhalb von Verarbeitungskomponenten. Die digitalisierte Signalform hat Vorteile für die Übertragung, Speicherung, verlustfreie Kopierbarkeit und automatische Korrigierbarkeit der Signale. Die Umsetzung hat jedoch Nachteile:

- Die Gerätekosten steigen.
- Das Zeitverhalten ist möglicherweise zu langsam für schnelle Reaktionserfordernisse.
- Es gibt systembedingte Fehler, z. B. kann für bestimmte Einsatzzwecke die Auflösung unzureichend sein.

In der MSR-Technik werden analoge Signale oft einfach nur binär für eine Steuerung ausgewertet, etwa wenn es um die Überwachung einer Temperatur geht, die bei Übersteigen eines Grenzwertes eine Gegensteuerung auslösen soll. Hier kann die jeweils aktuell gemessene Temperatur z. B. nur für den Vergleich verwendet werden, ob die Temperatur über oder unter dem Grenzwert liegt.

Nicht in diesem Anwenderhandbuch behandelt wird die nachrichtentechnische Übertragung analoger Signale in der Telekommunikation - also die Übertragung analoger Nutzsingnale durch Modulation eines wesentlich höherfrequenten analogen Trägersignals.

## 2 Grundlagen

### 2.1 Signalaufbereitung in der MSR-Technik

#### 2.1.1 Messsignale

Im Allgemeinen durchläuft ein analoges Messsignal in der MSR-Technik die folgenden Stationen:

1. Ein **Sensor** reagiert auf eine physikalische Größe und setzt diese in ein elektrisch auswertbares Signal um. Entweder generiert der Sensor eine Spannung im Stromkreis, oder er verändert den Stromkreis, an den er angeschlossen ist und der von einer Stromquelle gespeist wird, oder er verändert den entstehenden Spannungsabfall entlang des mit konstantem Strom gespeisten elektrischen Kreises. Wenn Sensoren zur Messung physikalische in elektrische Größen konvertieren, werden sie häufig als **Messumformer** oder **Transmitter** bezeichnet.

Typischerweise werden von Sensoren die folgenden physikalischen Größen gemessen:

- Temperatur
  - Druck
  - Stoffkonzentrationen
  - Frequenz (z. B. Drehzahl, Durchflussmenge)
  - Elektromagnetische und elektrische Eigenschaften (z. B. Licht, energiereiche Strahlung, Leitfähigkeit)
2. Der Sensor ist in der Regel elektrisch an einen **Interface-Baustein** angeschlossen, der das Signal aufbereitet. Es handelt sich dabei um einen elektronischen Baustein, der im Einzelnen eine oder mehrere der folgenden Funktionen haben kann:
    - Elektrische **Verstärkung, Filterung** und **Normierung** des Messsignals
    - **Galvanische Trennung** des Messstromkreises vom Stromkreis des Geräteausgangs
    - **Elektrische Speisung** des Sensors, falls erforderlich
    - Sensor und Interface-Baustein können zusammen in einem Gehäuse untergebracht sein. Ein auf diese Weise integriertes Gerät wird gelegentlich auch als **Transmitter** bezeichnet.
  3. Das aufbereitete Messwertsignal wird an ein Gerät oder an ein System weitergeleitet, das die Messwertinformation auswertet und weiter verarbeitet. Dabei kann es sich direkt um ein Anzeigergerät handeln oder um ein Steuerungssystem, das ganz einfach oder sehr komplex aufgebaut sein kann. Je nach Ausprägung werden für Steuerungssysteme verbreitet folgende Bezeichnungen verwendet:
    - **SPS/PLC** (Speicherprogrammierbare Steuerung/ Programmable Logic Controller)
    - **DDC** (Direct Digital Control)
    - **DCS** (Distributed Control System/Prozessleitsystem)

In einfachen MSR-Systemen können Interface-Bausteine und Steuerungssystem in einem Gerät zusammengefasst sein, ggf. zusätzlich der Sensor.

4. In industriell eingesetzten Steuerungssystemen werden Informationen in der Regel über Kommunikationsbussysteme übertragen. Sie erlauben die Übertragung einer Vielzahl von Informationen mit Hilfe einer begrenzten Anzahl von elektrischen Leitungsverbindungen. Um das analoge Signal eines Sensors auf einem Bussystem zu übertragen, muss es hierfür aufbereitet werden. Die Aufbereitung erfolgt in einem Interface-Baustein und umfasst im Allgemeinen folgende Punkte:
  - **Digitalisierung** des analogen Signals
  - Integration des Signals in das Buszugriffsprotokoll (einschließlich Adressierung)
5. **Übertragung** auf dem Bus zum Steuerungssystem. In umfangreicheren Bussystemen ggf. über mehrere Teilstrecken, die mit Repeater-Bausteinen Signalverluste ausgleichen.

Der fundamentale und zentrale Bereich der MSR-Technik ist die elektrosensorische Erfassung, Aufbereitung und Auswertung von Zustandsdaten in der Umwelt oder einer industriellen Anlage. Bild 2-1 zeigt schematisch diese drei Bereiche:

- Die Signalgewinnung im „Feld“, wie der überwachte und zu steuernde Bereich genannt wird
- Die „Konditionierung“ des Signals mit Hilfe elektronischer Komponenten zur Verstärkung, Umsetzung und zum Schutz vor Signalwegstörungen
- Die analoge und/oder digitale Signalverarbeitung in einer Auswertungs- und Steuereinheit.

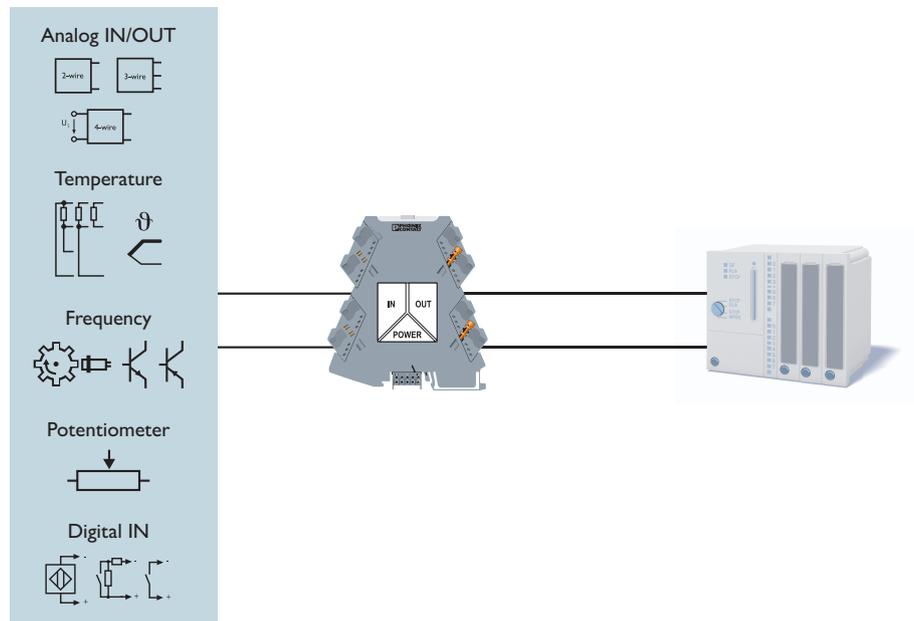


Bild 2-1 Analoges Signal vom Sensor bis zur Steuereinheit

## 2.1.2 Steuersignale

Steuerungssysteme werten die Informationen aus, die von Sensoren geliefert werden, und erzeugen Steuersignale zur Ansteuerung von Aktoren, die elektromechanisch oder auf andere Weise Wirkungen hervorrufen. Typische Aktoren in MSR-Systemen sind:

- Relais
- Ventile
- Elektrisch betriebene Motoren und andere elektrokinetische Aktoren
- Heizungs- und Kühlgeräte

Im Allgemeinen durchläuft ein Steuersignal in der MSR-Technik die folgenden Stationen:

- Interface-Baustein zur Wandlung des Signals der Steuerlogik in das **Zugriffsprotokoll** des Kommunikationsbusses
- **Übertragung** auf dem Bus zum Aktor, ggf. über mehrere mit Repeater-Bausteinen verbundene Teilstrecken
- Interface-Baustein zur Wandlung des Bussignals in ein analoges oder digitales Signal, mit dem der adressierte **Aktor** angesprochen und betrieben werden kann. Ggf. kann diese Wandlung gesondert für die Steuerungslogik und den elektrischen Betrieb des Aktors erfolgen. Wie die Bausteine, die Messsignale aufbereiten, können die Interface-Bausteine neben der Konvertierungsfunktion eine oder mehrere folgender Funktionen haben: Verstärkung, Filterung, Normierung, galvanische Trennung, elektrische Speisung.

## 2.2 Ereigniserfassung, Impuls- und Frequenzmessung

Zur Erfassung und Registrierung von Ereignissen, die selten, gelegentlich oder in nicht zu schneller Folge auftreten, dienen Schalter oder Taster. Im Maschinenbau werden z. B. für die Bestimmung von Positionen oder Bewegungsrichtungen Mikroschalter verwendet, die mechanisch von Schaltknöpfen an bewegten Maschinenteilen betätigt werden. Wenn Berührungen vermieden werden sollen, können elektromagnetisch wirkende Geber dieselbe Funktion übernehmen (Hall-Sensoren, Schlitzinitiatoren etc.).

Berührungslose Verfahren werden vor allem zur Erfassung schnellerer Impulsfolgen eingesetzt, z. B. zur Ermittlung einer Flussmenge mit einem Flügelrad oder der Messung einer Motordrehzahl. Jede Drehung wird dabei elektromagnetisch von einem Impulsgeber erfasst.

An einen Stromkreis angeschlossen liefern Schalter, Taster und Impulsgeber ein binäres Signal, das ggf. noch mit einem geeigneten Baustein angepasst und von der Anzeige- oder Steuereinheit ausgewertet werden kann. Das Signal kann je nach Anwendung auf verschiedene Arten verwendet werden:

- Auslösen einer Aktion
- Messen der Dauer eines Ereignisses
- Zählen der Ereignisse
- Messen der Frequenz

Für die Frequenzanzeige oder die Auswertung der Frequenz auf andere Weise stehen Umsetzerbausteine zur Verfügung, welche die Frequenz in ein proportionales Stromsignal umsetzen.

Um die korrekte Messfunktion zu überwachen, sollten im Messstromkreis die Zustände „Eingeschaltet“ und „Ausgeschaltet“ vom Vorliegen eines Kurzschlusses oder einer Leitungsunterbrechung unterscheidbar sein. Zu diesem Zweck werden Widerstände in den Messkreis eingefügt, wie Bild 2-2 zeigt.

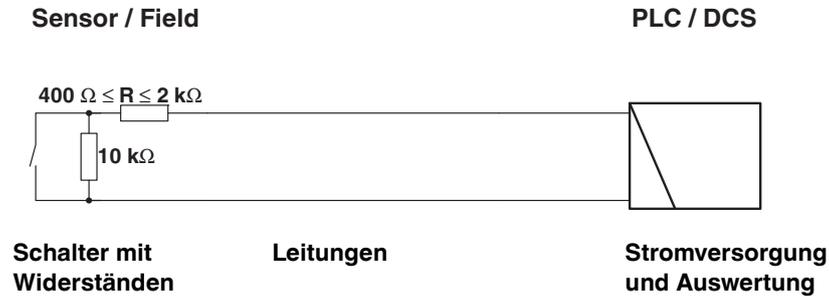


Bild 2-2 Schalteranschluss mit Widerstands-Zusatzbeschaltung zur Leitungsüberwachung

- |                 |  |
|-----------------|--|
| 400 Ω ... 2 kΩ: | Widerstand für den Maximalstrom bei geschlossenem Schalter (Kurzschlussstrom ist größer)   |
| 10 kΩ:          | Widerstand für den Ruhestrom bei geöffnetem Schalter (bei Leitungsbruch ist der Strom = 0) |

Die Dimensionierung der Widerstände muss an den Messstromkreis so angepasst werden, dass von der Auswerteeinheit eine sichere Unterscheidung der vier Zustände vorgenommen werden kann:

- Kurzschluss
- Schalter geschlossen
- Schalter geöffnet
- Leitung unterbrochen

Gute Interface-Bausteine haben diese Beschaltung mit Widerständen und weitere Diagnosefunktionen bereits integriert. Sie signalisieren einen Fehler, in Abhängigkeit von einem einstellbaren analogen Ausgangswert, sowohl an gesondert hierfür vorgesehenen Anschlüssen (Line Fault Detection-/Fault Monitoring-Klemmen) als auch optisch durch Leuchtdioden auf den Bausteinen.

## 2.3 Temperaturmessung

In der industriellen Anwendung haben sich die Temperaturmessverfahren mit Hilfe von Widerstandsthermometern und Thermoelementen durchgesetzt.

### 2.3.1 Widerstandsthermometer

In Widerstandsthermometern wird als Sensor ein temperaturabhängiger Widerstand eingesetzt, der von einem konstanten Strom gespeist wird. Der Strom muss möglichst klein in der Größenordnung 1 mA gehalten werden, damit sich der Widerstand durch ihn nicht störend erwärmt. Gemessen wird der Unterschied der Spannung am Widerstand, der sogenannte Spannungsabfall. Die gemessene Spannung verhält sich proportional zum Widerstand. Das Signal braucht deshalb nur noch an das auswertende Gerät angepasst und als Maß für die Temperatur verwendet zu werden.

Für Widerstandsthermometer wird oft die Abkürzung RTD (englisch: Resistance Temperature Detector) verwendet.

Abhängig vom Einsatzzweck und vom Anspruch an die Messgenauigkeit werden Widerstandsthermometer in unterschiedlicher Weise an Auswertungsgeräte angeschlossen.

**2-Leiter-Anschluss**

Für weniger exakte Messungen ist der 2-Leiter-Anschluss des Widerstandsthermometers geeignet.



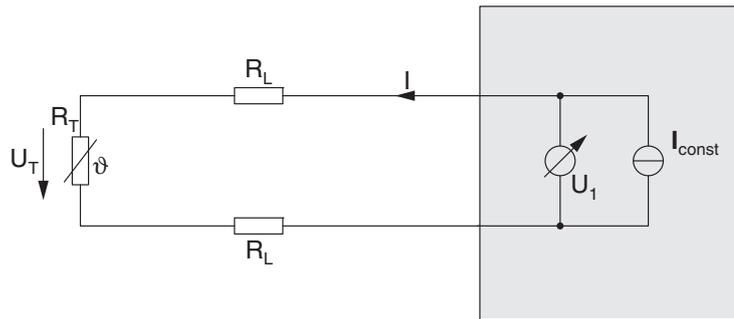
Da die Widerstände der Anschlussleitungen das Messergebnis verfälschen, sollten die Anschlussleitungen möglichst kurz sein und je 10 m nicht überschreiten.

Die Leitungswiderstände können zur Steigerung der Genauigkeit ermittelt und bei vielen Messumformern vom gemessenen Widerstand abgezogen werden. Bei 1 mm<sup>2</sup>-Kupferleitung liegt der Widerstand bei ca. 0,17 Ω je 10 m.

0,385 Ω entsprechen bei einem Widerstandsthermometer des Typs Pt 100 ca. 1 °K Temperaturänderung.

$$U_T = U_1 - (2 I_{const} R_L)$$

$$R_T = U_T / I_{const}$$



**Widerstands-  
thermometer**

**Leitungen**

**Stromversorgung  
und Auswertung**

Bild 2-3 2-Leiter-Anschluss bei einem Widerstandsthermometer

- $U_1$ : Mit Spannungsmessgerät gemessener Gesamt-Spannungsabfall
- $U_T$ : Spannungsabfall am Messwiderstand
- $R_T$ : Widerstand des Messwiderstandes
- $R_L$ : Widerstand einer Leitung zwischen Spannungsmessgerät und Messwiderstand
- $I_{const}$ : Konstantstromquelle (mit elektronisch geregelter Stromabgabe)



Die Änderung der Leitungswiderstände durch Änderung der Umgebungstemperatur wird beim 2-Leiter-Anschluss des Messwiderstandes nicht berücksichtigt und führt zu Verfälschungen des Messergebnisses.

Für größere Leitungslängen und exaktere Messungen sollte der 3- oder 4-Leiter-Anschluss des Widerstandsthermometers verwendet werden.



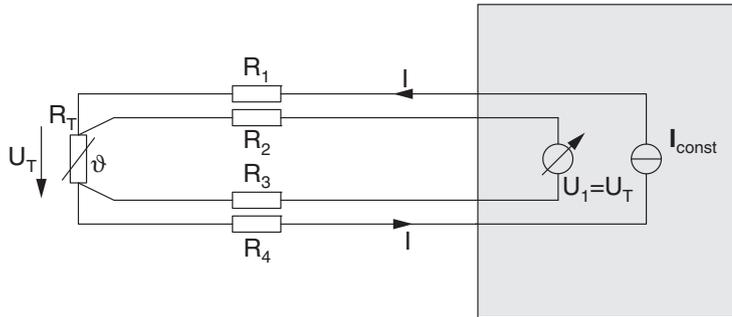
**4-Leiter-Anschluss**

Der 4-Leiter-Anschluss ist für längere Leitungen als 10 m zwischen Sensor und Messumformer geeignet. Beim 4-Leiter-Anschluss werden zwei Messleitungen am Messwiderstand angeschlossen, die beide nicht vom Messstrom durchflossen werden.



Hierdurch spielen Größe und Unterschiede der Leitungswiderstände keine Rolle mehr. Der 4-Leiter-Anschluss ermöglicht die genauesten Messungen unter Verwendung von Widerstandsthermometern.

$$R_T = U_T / I_{const}$$



**Widerstands-  
thermometer**

**Leitungen**

**Stromversorgung  
und Auswertung**

Bild 2-5

4-Leiter-Anschluss bei einem Widerstandsthermometer

$U_1$ : Mit Spannungsmessgerät gemessener Spannungsabfall an  $R_T$

$U_T$ : Spannungsabfall am Messwiderstand

$R_T$ : Widerstand des Messwiderstands

$R_{1...4}$ : Widerstände der Leitung zwischen Spannungsmessgerät und Messwiderstand (können für alle Leitungen unterschiedlich sein:  $R_1 \neq R_2 \neq R_3 \neq R_4$ )

$I_{const}$ : Konstantstromquelle (mit elektronisch geregelter Stromabgabe)



Für eine gute CMV<sup>1</sup>-Unterdrückung des Messumformers ist es vorteilhaft, wenn  $R_2$  und  $R_3$  gleich sind.

<sup>1</sup> Common Mode Voltage (Gleichtaktspannung)

## 2.4 Thermoelemente

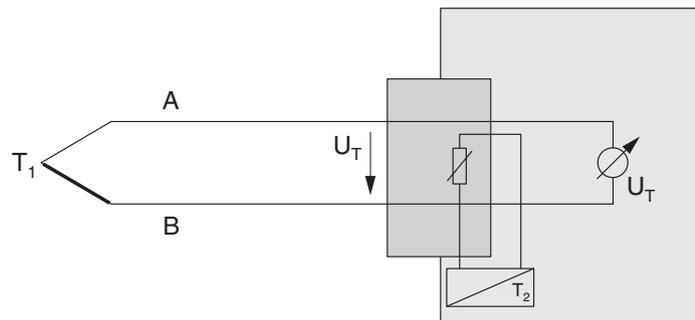
Thermoelemente bestehen aus zwei einseitig miteinander verbundenen Leitern aus unterschiedlichen Metallen, die unterschiedliche thermoelektrische Eigenschaften besitzen, sich in einem Temperaturgefälle befinden und deshalb einen Wärmefluss in elektrische Spannung umsetzen. Gemessen wird die elektrische Spannung an den beiden Anschlüssen des Thermoelements.

### Kaltstellenkompensation

Jedoch wird bei einem Thermoelement nicht nur eine Spannung an der Verbindungsstelle des Thermopaars erzeugt, sondern auch an den beiden Anschluss-Stellen des Messumformers, da diese jeweils zusammen mit der angeschlossenen Leitung des Thermoelements ein weiteres Thermoelement bilden.

Um aus dieser Spannungsdifferenz und somit auch Temperaturdifferenz den absoluten Temperaturwert der Messstelle errechnen zu können, muss die Temperatur der Anschlussstellen gleich und bekannt sein. Hierzu werden die Anschlussstellen künstlich auf einer bekannten Temperatur gehalten, bei Messungen im Labor z. B. durch Eiswasser auf 0 °C, in industriellen Anwendungen durch thermostatisch geregelte Beheizung und Kühlung. Die Berücksichtigung der Anschlussstellentemperatur wird Kaltstellenkompensation genannt. Sie kann ebenfalls mit Hilfe einer gesonderten Temperaturmessung an den Anschluss-Stellen umgesetzt werden. Für den Anschluss von Thermoelementen stehen Interface-Bausteine zur Verfügung, welche die Kaltstellenkompensation bereits beinhalten. Solche Interface-Bausteine sind gleichzeitig Signalumformer mit Anschlüssen für Leitungen zur Auswerteeinheit.

Für Thermoelemente wird oft die Abkürzung TC (englisch: Thermocouple) verwendet.



**Thermoelement**

**Interface-Baustein am Sensor einschließlich Kaltstellenkompensation**

Bild 2-6 Thermoelement-Anschluss

- $T_1$ : Temperatur an der Messstelle
- $T_2$ : Temperatur an der Anschlussstelle
- $U_T$ : Generierte Spannung zwischen Messstelle und Anschlussstelle, gibt durch Berücksichtigung der Anschlussstellentemperatur  $T_2$  die absolute Temperatur  $T_1$  an der Messstelle an

## 2.4.1 Übersichtstabellen

Tabelle 2-1 Verbreitete Temperaturmessverfahren

Merkmale	Fühlerart	
	Widerstandsthermometer, RTD	Thermoelement, TC
<b>Gemessene Eigenschaft</b>	Widerstand (wird durch Spannungsabfall gemessen und ist abhängig von der absoluten Temperatur)	Temperaturdifferenz (erzeugt eine Spannung)
<b>Temperaturbereich</b>	nach oben relativ begrenzt: -200 °C bis +850 °C	-250 °C bis +3000 °C
<b>Genauigkeit</b>	sehr gut	gut
<b>Reaktionszeiten</b>	lang	kurz
<b>Vergleichsstelle</b>	nicht erforderlich	erforderlich (Referenzmessung / Kaltstellenkompensation)
<b>Material des Messfühlers</b>	Platin, Kupfer oder Nickel	Paare verschiedener Metalle
<b>Robustheit</b>	gut	sehr gut
<b>Vibrationsbeständigkeit</b>	sehr empfindlich (unvergossen)	sehr robust
<b>Langzeitstabilität</b>	sehr gut	befriedigend
<b>Selbsterwärmung</b>	muss berücksichtigt werden	tritt nicht auf
<b>Messung von Oberflächentemperatur</b>	nur bedingt geeignet	geeignet
<b>Sensorabmessungen/ Messstelle</b>	relativ groß/ Länge des Messwiderstandes	sehr kleine Sensoren herstellbar, punktförmig
<b>Charakteristik</b>	weitgehend linear	nicht linear
<b>Elektrische Signalstärke</b>	klein (ca. 0,4 mV pro Grad K bei 1 mA Messstrom, bei Pt 100)	sehr klein (einige $\mu$ V pro Grad Temperaturdifferenz)
<b>Versorgung mit Mess-Strom</b>	erforderlich	nicht erforderlich
<b>Anschlussleitungen</b>	Instrumenten-Kupferleitung	Thermomaterial oder Ausgleichsleitung (günstiger)
<b>Preis</b>	relativ teuer	eher günstig (außer PT-Legierungen)

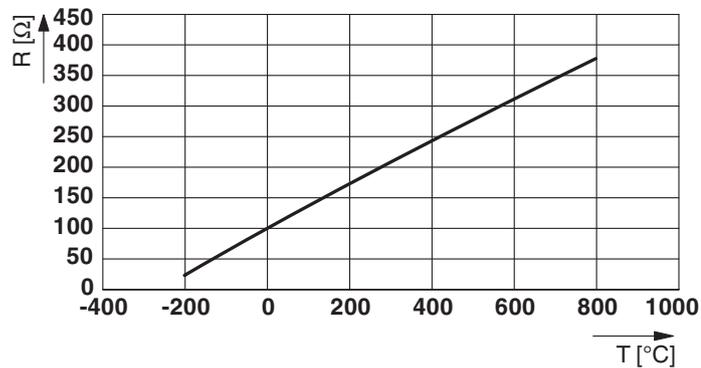
Tabelle 2-2 Widerstandsthermometer-Typen

Typ	Normung	Temperaturbereich [°C]
Pt 100	IEC751 / GOST 6651 $\lambda = 0,00385$	-200 ... +850
Pt 200	IEC751 / GOST 6651 $\lambda = 0,00385$	-200 ... +850
Pt 500	IEC751 / GOST 6651 $\lambda = 0,00385$	-200 ... +850
Pt 1000	IEC751 / GOST 6651 $\lambda = 0,00385$	-200 ... +850
Pt 100	GOST 6651 $\lambda = 0,00391$	-200 ... +850
Pt 100	GOST 6651 $\lambda = 0,00391$	-200 ... +850
Pt 100	JIS C1604-1997	-200 ... +850
Pt 1000	JIS C1604-1997	-200 ... +850
Ni 100	DIN 43760	-60 ... +250
Ni 1000	DIN 43760	-60 ... +250
Cu 50	GOST 6651 $\lambda = 0,00428$	-180 ... +200
Cu 100	GOST 6651 $\lambda = 0,00428$	-180 ... +200
Cu 53	GOST 6651 $\lambda = 0,00426$	-50 ... +180

In den folgenden drei Tabellen werden exemplarisch die Kennlinien gängiger Widerstandsthermometer gezeigt. Die X-Achse stellt jeweils die Temperatur in °C dar, die Y-Achse den Widerstand in  $\Omega$ .

**Kennlinie Pt 100**

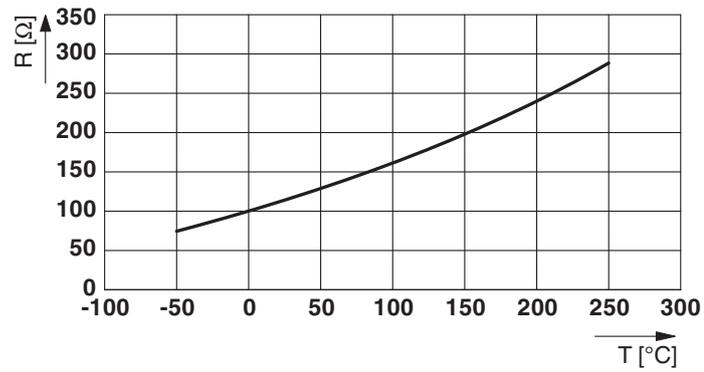
Tabelle 2-3 Kennlinie Pt 100 (IEC 751)



°C	$\Omega$
-200	18,52008
-100	60,25584
0	100
100	138,5055
200	175,856
300	212,0515
400	247,092
500	280,9775
600	313,708
700	345,2835
800	375,704

**Kennlinie Ni 100**

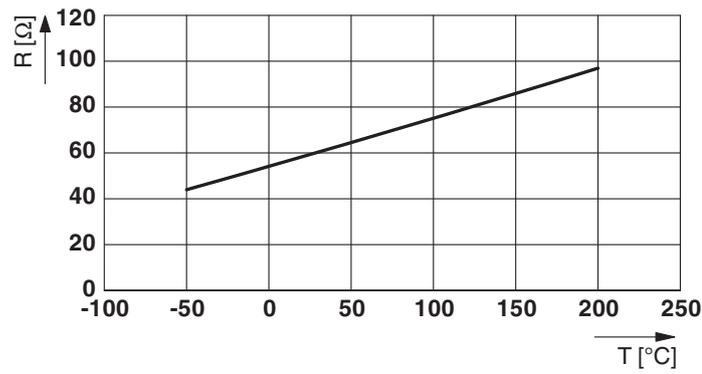
Tabelle 2-4 Kennlinie Ni 100 (DIN 43760)



°C	Ω
-50	74,255
0	100
50	129,105
100	161,7785
150	198,63475
200	240,66
250	289,15625

**Kennlinie Cu 53**

Tabelle 2-5 Kennlinie Cu 53 (GOST 6651  $\alpha = 0,00426$ )



°C	Ω
-50	41,7100002
0	53,0001339
50	64,2897102
100	75,5787289

Thermoelement-Typen

Tabelle 2-6 Thermoelement-Typen

Typ	Normung	Temperaturbereich [°C]	IEC <sup>1</sup> -Farbcode
B	IEC584	+500 ... +1820	nicht definiert
E	IEC584	-230 ... +1000	
J	IEC584	-210 ... +1200	
K	IEC584	-250 ... +1372	
N	IEC584	-200 ... +1300	
R	IEC584	-50 ... +1768	
S	IEC584	-50 ... +1768	nicht definiert
T	IEC584	-200 ... +400	
L	DIN 43710	-200 ... +900	-
U	DIN 43710	-200 ... +600	-
A-1	GOST 8.585	0 ... +2500	-
A-2	GOST 8.585	0 ... +1800	-
A-3	GOST 8.585	0 ... +1800	-
M	GOST 8.585	-200 ... +100	-
L	GOST 8.585	-200 ... +800	-

<sup>1</sup> International Electrotechnical Commission

Kennlinien von Thermoelementen

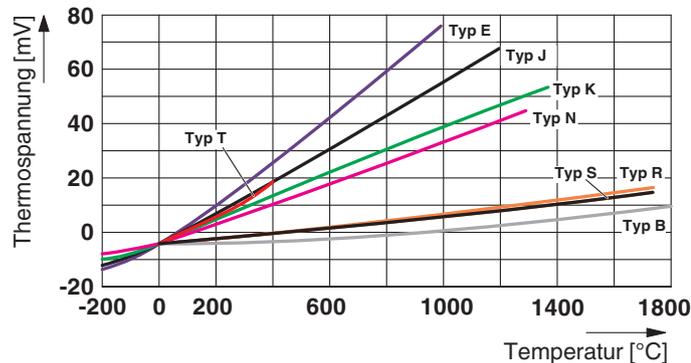


Bild 2-7 Kennlinien von Thermoelementen

## 2.5 Näherungssensoren nach NAMUR<sup>1</sup>-Standard

### NAMUR-Sensoren

NAMUR-Sensoren sind Näherungssensoren, die verbreitet in der Prozesstechnik und im Maschinenbau eingesetzt werden. Für die unterschiedlichen Einsatzzwecke werden sie als optoelektronische, magnetinduktive, kapazitive und induktive Sensoren angeboten.

Die elektrischen Eigenschaften von Sensoren nach NAMUR-Standard und ihre Messcharakteristik sind genormt (IEC 60947-5-6: Steuergeräte und Schaltelemente; Gleichstrom-Schnittstelle für Näherungssensoren und Schaltverstärker) Sie können deshalb herstellerübergreifend ausgetauscht werden. NAMUR-Sensoren sind kurzschlussfest. Kurzschluss und Leitungsbruch können von der auswertenden Einheit erkannt werden. Ein NAMUR-Sensor benötigt keine gesonderte Stromversorgung, seine Speisung erfolgt über den Messstromkreis.

Bild 2-8 zeigt das Messverhalten zweier NAMUR-Sensortypen. Die wesentlichen Eigenschaften werden anschließend erläutert.

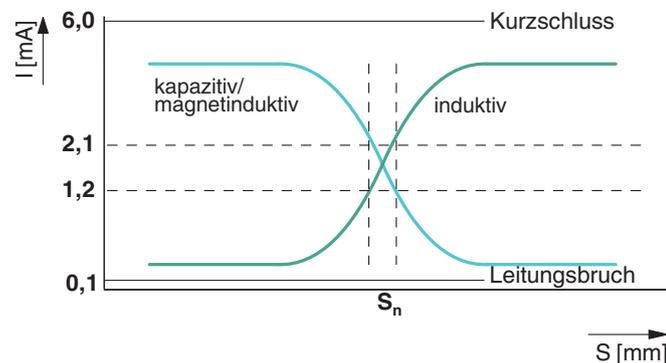


Bild 2-8 NAMUR-Sensor-Charakteristik (ohne optoelektrische Variante)

$I_{[mA]}$ : Gemessener Ausgangsstrom des Sensors in mA

$S_{[mm]}$ : Entfernung zwischen Objekt und Sensor in mm

$S_n$ : Entfernungsstrecke zwischen den beiden Schaltpunkten, die den zugehörigen Stromwerten entsprechen und auf die das Schaltverhalten der auswertenden Einheit eingestellt werden sollte.

Bei kapazitiven und magnetinduktiven Sensorvarianten sinkt der gemessene Sensor-Ausgangsstrom, wenn sich das Objekt vom Sensor weiter entfernt, dagegen steigt bei induktiven Sensorvarianten der Ausgangsstrom.

### Hysterese

Die gestrichelten Linien deuten die Schaltpunkte an, auf welche die auswertende Einheit eingestellt werden sollte. Die Linien sind paarig eingezeichnet, um den Versatz (die sogenannte Hysterese) anzudeuten, mit dem zwei Schaltpunkte eingestellt werden sollten. Damit wird gewährleistet, dass es nicht zum Flattern zwischen Ein- und Ausschalten kommt, wenn nur ein einziger Schaltpunkt eingestellt wird und sich Objekt und Sensor in Entfernung nahe diesem Schaltpunkt bewegen.

<sup>1</sup> Die Abkürzung „NAMUR“ ergibt sich aus dem ehemaligen Verbandsnamen „Normenarbeitsgemeinschaft für Mess- und Regeltechnik in der chemischen Industrie“. Die Abkürzung wurde beibehalten.

### Beispiel

Bei einem kapazitiven Sensor sollte die Auswerteeinheit einen gemessenen Strom von 1,2 mA als Ausschaltsignal verwenden, wenn sich das Objekt vom Sensor entfernt. Bei erneuter Näherung des Objektes sollte jedoch erst bei einem gemessenen Strom von 2,1 mA wieder eingeschaltet werden.

Misst die auswertende Einheit einen Sensor-Ausgangsstrom von 6 mA oder mehr, liegt ein Kurzschluss im Sensor oder zwischen den beiden Anschlussleitungen vor.

Misst die auswertende Einheit einen Sensor-Ausgangsstrom von 0,1 mA oder weniger, liegt eine Unterbrechung des Stromkreises im Sensor oder der Anschlussleitungen vor.

## 2.6 Normsignale

Als Normsignal nach DIN IEC 60381 - auch Einheitssignal genannt - bezeichnet man in der MSR-Technik elektrische Signale mit folgenden grundlegenden Eigenschaften:

- Definiertes Wertebereich mit folgenden elektrischen Ausprägungen:

#### **Stromnormsignal** (DIN IEC 60381-1)

0 mA ... 20 mA

4 mA ... 20 mA (stromführender Nullpunkt, englisch: life-zero)

#### **Spannungsnormsignal** (DIN IEC 60381-2)

0 V ... 10 V

0 V ... 5 V

1 V ... 5 V (spannungsführender Nullpunkt)

-10 V ... +10 V (spannungsführender Nullpunkt)

- Basis für herstellerübergreifend normierte und austauschbare elektrische Komponenten mit vereinfachter Signalverarbeitung

Analoge Sensorsignale können in einem Interface-Baustein je nach Messaufgabe in eines der Normsignale gewandelt werden. Dabei muss das Ergebnis der Umsetzung möglichst proportional zum gemessenen Eingangswert sein, um die Messung nicht zu verzerren.

Ist der untere Wert des Normsignal-Wertebereichs auf 1/-10 V bzw. 4 mA festgelegt, dann kann die Unterbrechung des Messkreises erkannt werden, wenn der Wert 0 (V bzw. mA) von der auswertenden Komponente registriert wird.

Ist der untere Wert des Wertebereichs jedoch mit 0 (V oder mA) festgelegt, kann die auswertende Komponente beim Wert 0 dieser sogenannten „True-Zero-Signale“ nicht unterscheiden, ob es sich um die korrekte Messung des untersten Wertes oder um eine Kabelunterbrechung handelt.



In fast allen industriellen Anwendungen werden die „Life-Zero-Signale“ verwendet, bei denen 1/-10 V bzw. 4 mA den Nullpunkt der Messung repräsentieren.

### Vorteile des Stromnormsignals

Das Stromnormsignal 0/4 mA ... 20 mA ist unempfindlicher gegenüber elektromagnetischen Störungen als das Spannungsnormsignal und ist in weiten Bereichen immun gegen die Nachteile langer Leitungswege zwischen Signalquelle und auswertender Komponente. Es erfüllt die hohen Genauigkeitsanforderungen, die an viele Anwendungen in der Prozessautomatisierung gestellt werden.

Das weniger robuste Spannungsnormsignal wird stärker durch die Spannungsverluste langer Leitungen beeinflusst und deshalb eher in Gebäude- und Fabrikautomatisierung verwendet, bei der die Genauigkeitsanforderungen geringer sind als bei der Prozessautomatisierung. Ebenso ist das Spannungsnormsignal anfälliger hinsichtlich elektromagnetischer Störungen.

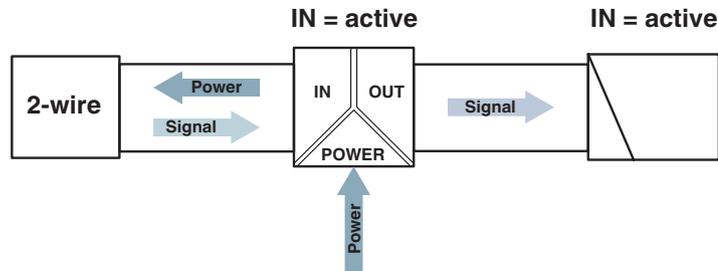


Bild 2-9 Interface-Baustein mit Sensorspeisung und Normsignal-Ausgang

- Der Sensor wird vom Interface-Baustein gespeist und liefert ein Messsignal.
- Der Interface-Baustein wandelt das Messsignal in ein Normsignal (Spannungsnormsignal oder Stromnormsignal).
- Das Normsignal wird einer Komponente zugeführt, die das Normsignal auswertet.

## Transmitter

Wenn Sensor und Interface-Baustein in einem Gehäuse untergebracht sind, nennt man eine solche Einheit auch Transmitter.

Liegt ein Spannungsnormsignal vor und wird ein Stromnormsignal benötigt, so stehen hierfür Spannungs-Strom-Normsignalwandler zur Verfügung. Ebenso können für den umgekehrten Fall genormte Strom-Spannungs-Normsignalwandler eingesetzt werden.

In der MSR-Technik werden neben den genannten Normsignalen verbreitet unipolare und bipolare Signale in folgenden Bereichen verwendet:

- 50 mV ... 100 V
- 1 mA ... 100 mA

### 2.6.1 Normsignale 1 ... 5 V, 0 ... 10 V

Typisch für Spannungsnormsignale sind Übertragungsfehler von 0,1 % (bei 50  $\Omega$  Leitungswiderstand und 10 k $\Omega$  Eingangswiderstand der auswertenden Einheit).

### 2.6.2 Stromnormsignale nach DIN IEC 60381-1

Beim Stromnormsignal muss zwischen aktivem Stromausgang (Stromquelle) und passivem Stromausgang (Stromsenke) unterschieden werden.

#### Aktiver Stromausgang (Stromquelle)

Ein Sensor oder Signalumformer mit **aktivem** Stromausgang gibt einen dem Messwert proportionalen Strom aus. Er bedient sich dabei einer eigenen Spannungsquelle. Diese kann eingebaut oder als gesondert angeschlossene Versorgung ausgeführt sein, ggf. mittels zusätzlicher Leitungen von der auswertenden Komponente. Beim Einsatz eines Sensors oder

Signalumformers mit aktivem Stromausgang muss die für dessen elektrischen Anschluss maximal zulässige Ohmsche Last, auch als Bürde bezeichnet, berücksichtigt werden. Sie ist in den Gerätedatenblättern spezifiziert. Bei Überlastung durch zu hohe Bürde wird das Messsignal verfälscht.

Ein aktiver Stromausgang kann nicht nur für die Normierung von Messsignalen eingesetzt werden, sondern auch für die Ansteuerung von Aktoren. Zum Beispiel kann die Stromquelle ein Ventil steuern, das proportional zur abgegebenen Stromstärke eine Durchflussmenge zwischen 0 % und 100 % regelt.

### **Passiver Stromausgang (Stromsenke)**

Ein Sensor oder Signalumformer mit **passivem** Stromausgang ändert seinen Innenwiderstand proportional zum Messwert und damit den Strom in der Leiterschleife des Messstromkreises. Der Sensor oder Signalumformer wird über die beiden Messleitungen von der auswertenden Komponente versorgt und benötigt einen Anteil der Versorgungsspannung für seine Funktion. Beim Einsatz eines passiven Stromausgangs muss der maximal zulässige Spannungswert berücksichtigt werden. Er ist in den Gerätedatenblättern spezifiziert. Bei zu hoher Spannung kann das Messsignal verfälscht und das Gerät zerstört werden.

## 3 Anwendungen

### 3.1 Trennverstärker

Die verschiedenen Funktionen, die Interface-Bausteine bei der Signalaufbereitung haben können, wurden bereits im vorigen Kapitel kurz angesprochen:

- Verstärkung
- Normierung
- Filterung
- Galvanische Trennung
- Elektrische Speisung der angeschlossenen Komponenten
- Leitungsüberwachung

Die elektronischen Bausteine für diese Aufgaben werden zusammenfassend als Trennverstärker oder Signaltrenner bezeichnet und stehen mit unterschiedlichem Funktionsspektrum zur Verfügung:

- Mit einer oder mehreren dieser Funktionen
- Einstellbar für unterschiedliche Eingangs- und Ausgangssignale
- Einstellbar über Schalter am Gerät oder über Fernkonfiguration vom Steuerungssystem aus

Trennverstärker lassen sich hinsichtlich der Eingangssignaltypen in folgende Gruppen einteilen:

- Trennverstärker für Binärsignale (Schaltverstärker mit Relais- oder Schützfunktion, Frequenzumformer zur Drehzahl- und Drehrichtungsermittlung)
- Trennverstärker für proportionale Analogsignale (Sensor-Speisegeräte und Messumformer mit Normsignalausgang, Grenzwertgeber)

Die Hersteller von Automatisierungs- und Prozessleittechnik bieten ein breites Spektrum sowohl stark spezialisierter als auch universell einsetzbarer Trennverstärker an:

- Trennverstärker mit nur einer, wenigen oder allen Basiseigenschaften, die einzeln zu- und abschaltbar sein können
- Konverter- und Interface-Bausteine mit weiteren Funktionen (siehe „Weitere Funktionen von Trennverstärkern“ auf Seite 31)
- Kombinationen aus diesen Eigenschaften
- Mehrkanalige Trennverstärker, die ein Eingangssignal in mehrere Ausgangssignale umsetzen oder mehrere Bausteine in einem Gehäuse vereinen

Im Folgenden werden wichtige Basiseigenschaften der Trennverstärker an Schaltungsbeispielen erläutert.

#### 3.1.1 Signalverstärkung

Eine Signalverstärkung ist immer dann erforderlich, wenn ein Signal zu schwach ist und nur verfälscht oder gedämpft von der angeschlossenen Auswerteeinheit registriert werden kann. Ursächlich hierfür können folgende Faktoren sein, einzeln oder in Kombination:

- Lange Leitungswege, hohe Leitungswiderstände
- Hoher Eingangswiderstand der Auswerteeinheit oder hoher Summenwiderstand mehrerer in Reihe geschalteter Signal-„Verbraucher“

## Analoge Signalübertragung in der MSR-Technik

- Signale von spannungsgenerierenden Sensoren oder Transmittern mit bauartbedingt schwacher Ausgangsleistung

Der elektrotechnische Sprachgebrauch stellt für solche Fehlanpassungen die anschauliche Diagnose: Der Signalgeber bzw. das Signal kann die angeschlossene, zu hohe „Bürde“ nicht „treiben“. Die maximal zulässige Bürde für einen Signalausgang wird als Widerstandswert in den Datenblättern der elektrischen MSR-Komponenten angegeben.

### Problem

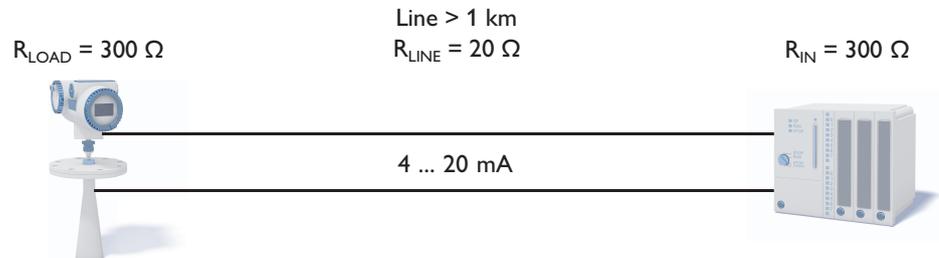


Bild 3-1 Fehlanpassung wegen hoher Leitungs- und Anschlusswiderstände

- Summe aus den Widerständen der Messsignalleitungen und dem Auswerteeinheit-Eingang:  $20 \Omega + 300 \Omega = 320 \Omega$



Die am Messsignalgeber angeschlossene Last ist mit  $320 \Omega$  höher als seine zulässige Höchstlast von  $300 \Omega$ .  
 Der Messsignalgeber kann diese Bürde nicht treiben, das Messsignal wird verfälscht.

### Lösung

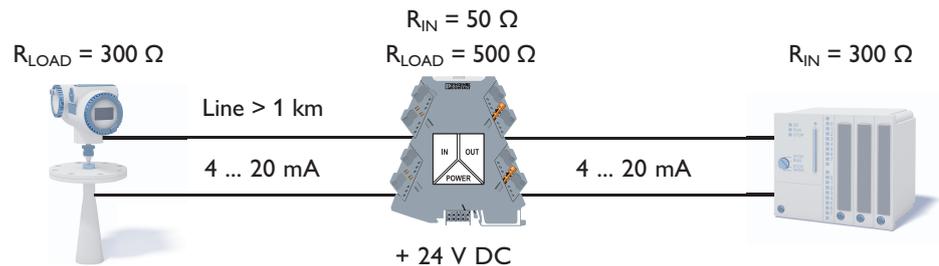


Bild 3-2 Signalverstärkung zur Beseitigung der Fehlanpassung

- Einfügen eines Verstärkers für analoge Signale in die Anschlussleitungen für das Messsignal.
- Summe aus den Widerständen der Messsignalleitungen und dem Verstärker-Eingang:  $20 \Omega + 50 \Omega = 70 \Omega$



Die am Messsignalgeber angeschlossene Last ist mit  $70 \Omega$  kleiner als seine zulässige Höchstlast von  $300 \Omega$ . Der Eingangswiderstand der Auswerteeinheit von  $300 \Omega$  überlastet den Verstärkerausgang ebenfalls nicht, weil er eine Bürde bis zu  $500 \Omega$  treiben kann. Das Messsignal wird nicht verfälscht.

### 3.1.2 Konvertierung in ein Normsignal

Im Beispiel zur Signalverstärkung liefert der Transmitter zur Druckmessung bereits ein 4 ... 20 mA-Normsignal. Der Transmitter selbst beherbergt einen Messwertgeber und einen Signalverstärker, der das Normsignal liefert.

Der Messwertgeber im Transmitter besteht in der Regel aus einem piezoelektrischen Element, an dessen Oberfläche durch Druck Ladungen entstehen, die als Spannungsabfall über das Element gemessen werden können. Der Signalverstärker verfügt über eine Stromversorgung, verstärkt mit deren Hilfe das Messsignal und konvertiert es in das Normsignal, das der Transmitter dann ausgangsseitig an seinen Messsignalanschlüssen liefert.

Transmitter können je nach Einsatzzweck Messumformer beinhalten, die keine Verstärkungsfunktion haben. So kann z. B. zur Messung höherer elektrischer Wechselfspannungen ein Spannungswandler eingesetzt werden, dessen Eingang direkt an die zu messende Spannung angeschlossen ist und ausgangsseitig ein Spannungsnormsignal liefert.

Den Anschluss eines Interface-Bausteins mit Normsignalausgang zeigt in allgemeiner Form Abschnitt „Normsignale“ auf Seite 20. Die Verwendung eines Normsignalwandlers zeigt Bild 3-3.

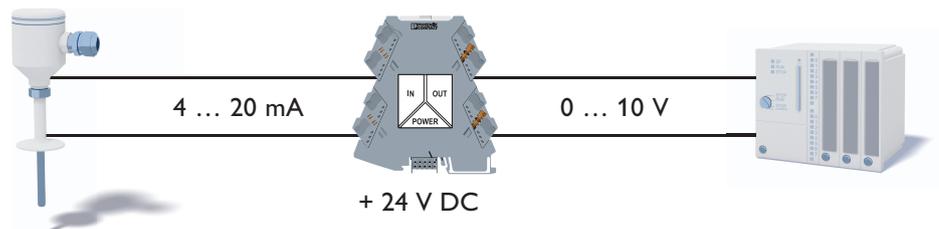


Bild 3-3 Normsignalwandler

#### Problem

- Der Sensor oder Transmitter liefert ein 4 ... 20 mA-Normsignal. Die Auswerteeinheit benötigt ein 0 ... 10 V-Signal.

#### Lösung

- Der zwischen Transmitter und Auswerteeinheit geschaltete Normsignalwandler nimmt die geforderte Anpassung vor.

### 3.1.3 Filterung

Trennverstärker mit Filterfunktion erkennen und unterdrücken Störspannungen in einem weiten Frequenzspektrum. Um weiteren Störungen aus solchen Ursachen vorzubeugen, sollte die Umsetzung eines Spannungssignals in ein Stromsignal erfolgen.

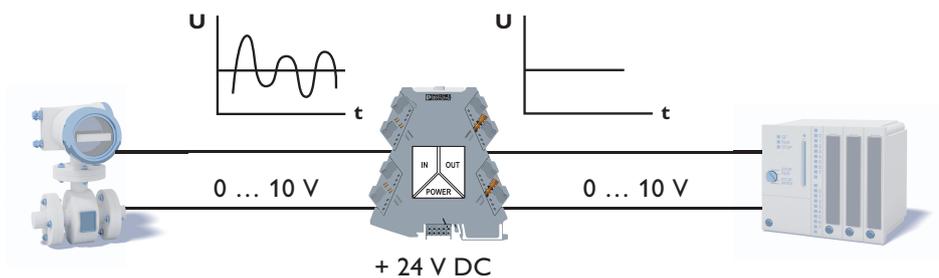


Bild 3-4 Signalfilterung

### Problem

In Leitungen zur Messwertübertragung können Störspannungen auftreten:

- Durch elektromagnetische Induktion, verursacht durch Ströme in elektrischen Leitungen, die in der Nähe verlaufen (siehe Bild 3-4)
- Durch Einwirken hochfrequenter Signale, verursacht durch elektrische Geräte in der Industrieumgebung, z. B. von Frequenzumrichtern

### Lösung

Die Störungen sind besonders ausgeprägt, wenn Spannungssignale betroffen sind. Die Signalübertragung kann durch die Ausführung der verwendeten Leitungen in gewissem Umfang vor solchen Störungen geschützt werden:

- Verdrillte Leitungen verringern die Störeinflüsse durch in die Leitung induzierte Spannungen.



Die leitenden Umhüllungen abgeschirmter Leitungen reflektieren und absorbieren elektrische Felder, denen die Leitungen ausgesetzt sind.

### 3.1.4 Galvanische Trennung

Es gibt verschiedene Gründe, den Stromkreis, in dem sich ein Sensor oder Transmitter befindet, von dem Stromkreis zu trennen, in dem sich die Auswerteeinheit befindet:

- Zur Unterbrechung und Verhinderung von Ausgleichsströmen zwischen Potenzialunterschieden und von elektromagnetischen Störungen in der Messtechnik, Datenübertragung und elektroakustischen Anlagen
- Zur Erhöhung des Schutzes und der Sicherheit von elektrischen Geräten und Anlagen vor gefährlichen Spannungen und Spannungsimpulsen

Je nach Anwendungsfall kann die galvanische Trennung - auch als galvanische Entkopplung oder galvanische Isolation bezeichnet - auf unterschiedliche Weise erfolgen:

- Induktiv durch Transformatoren (für Wechselspannungen und Impulse)
- Kapazitiv durch Kondensatoren (für hochfrequente Signale)
- Optisch durch Optokoppler oder Lichtleiterstrecken (für alle Arten von Informationen)
- Mechanisch durch Relais und Pneumatikelemente (zur Übertragung von elektromechanischen/-pneumatischen Schaltzuständen und Impulsen)

Jedes dieser Verfahren hat seine Vor- und Nachteile. So bieten z. B. Optokoppler eine hohe Isolationsfestigkeit, erlauben jedoch keine Energieübertragung und unterliegen unerwünschten Alterungsprozessen. Konventionelle Transformatoren erlauben die Energieübertragung, sind jedoch groß und teuer. In das Halbleitermaterial von integrierten Schaltungen eingebettete Mikrospulen („Coreless Transformers“) haben diesen Nachteil nicht, büßen jedoch in der Regel die Energieübertragungsfunktion ein. Eine Ausnahme bilden hier digitale Signalübertrager, z. B. vom Typ ADuM5421.



Eine galvanisch getrennte Signalverbindung wird als potenzialfreie Verbindung bezeichnet, weil über sie keine Ausgleichsströme zwischen Potenzialunterschieden fließen.

In der Anlagen- und Prozesstechnik hat sich die galvanische Trennung der Stromkreise des Felds von denen der Anlagensteuerung durchgesetzt. „Feld“ ist dabei die fachsprachlich zusammenfassende Bezeichnung aller Sensoren, Transmitter und Aktoren in der gesteuerten Anlage. Darüber hinaus werden oft zusätzliche galvanische Stromkreistrennungen im Bereich des Felds vorgenommen.

Problem

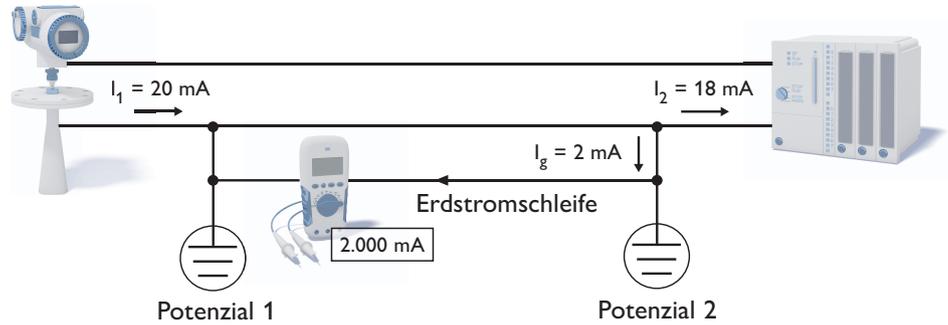


Bild 3-5 Erdstromschleife

- Transmitter und Auswerteeinheit sind geerdet, weisen jedoch unterschiedliche Erdpotenziale auf. Ein Ausgleichsstrom  $I_g$  fließt durch eine der Anschlussleitungen für das Messsignal  $I_1$  und verfälscht dieses.
- Gemessen wird das vom Messsignal  $I_1$  abweichende Signal  $I_2$ .

Lösung

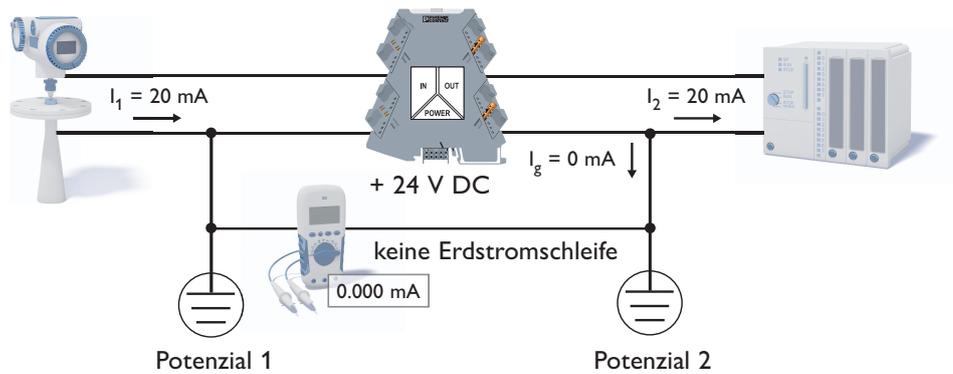


Bild 3-6 Galvanische Trennung zur Unterbrechung von Erdstromschleifen

- Einfügen eines galvanischen Signaltrenners, z. B. eines Übertragers, in die Anschlussleitungen für das Messsignal.
- Es fließt kein Ausgleichsstrom  $I_g$  mehr. Gemessen wird das mit dem Messsignal  $I_1$  identische  $I_2$ .

### 3.1.5 Elektrische Speisung und Trennung der Signalwege

An den Eingangsklemmen eines Trennverstärkers oder einer Auswerteeinheit unterscheidet man zwischen passivem und aktivem Eingang, abhängig davon, ob der angeschlossene Sensor oder Transmitter über eine eigene Stromversorgung verfügt oder über die Sensorsignalleitungen versorgt wird.

#### Passiver Eingang

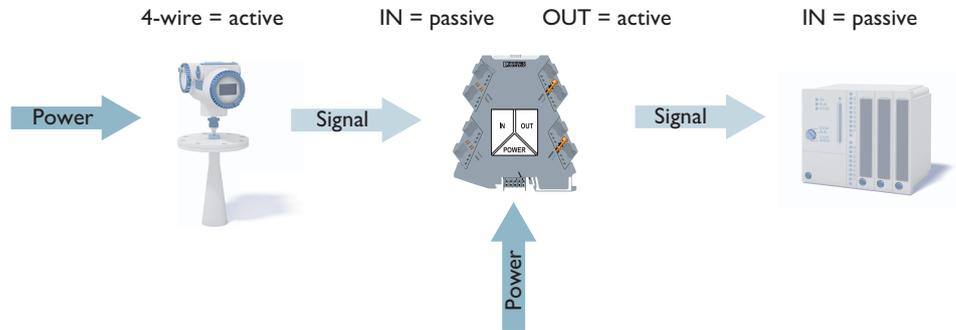


Bild 3-7 Beispiele für einen passiven Signaleingang

- Der Signaleingang hat allein die Funktion, das Signal zu empfangen. Im Beispiel haben Trennverstärker und Auswerteeinheit passive Eingänge.
- Der aktive Sensor/Transmitter (mit 4 Anschlüssen) speist den passiven Eingang des Trennverstärkers.
- Der aktive Ausgang des Trennverstärkers speist den passiven Eingang der Auswerteeinheit.

#### Aktiver Eingang

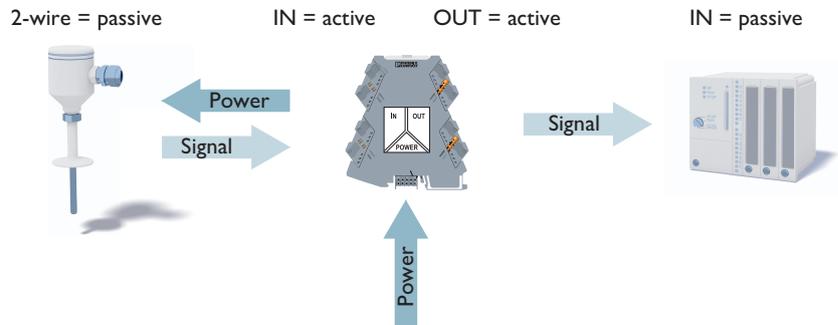


Bild 3-8 Beispiel für einen aktiven Signaleingang

Der Signaleingang hat zwei Funktionen:

1. Empfangen des Signals
  2. Stromversorgung des Signalgebers
- Im Beispiel hat der Trennverstärker einen aktiven Eingang. Er speist den 2- oder 3-Leiter-Sensor/Transmitter. Der aktive Ausgang des Trennverstärkers speist den passiven Eingang der Auswerteeinheit (wie im vorigen Beispiel).
  - Komponenten, die elektrisch gespeist werden müssen, können durch gesonderte Stromversorgungen oder über die Signalleitungen versorgt werden.

Tabelle 3-1 Speisungswege für Signaltrenner: Vor- und Nachteile

Stromversorgung	Vorteile	Nachteile
<b>Gesondert</b>	– Trennung des Versorgungskreises von den Signalkreisen	– Mehraufwand an Material und Kosten
<b>Über Signalleitungen</b>	– Material- und Kosteneinsparungen	– nicht für alle Anwendungen einfach umsetzbar – erhöhtes Störungsrisiko

**Passive Isolation (eingangsschleifengespeist)**

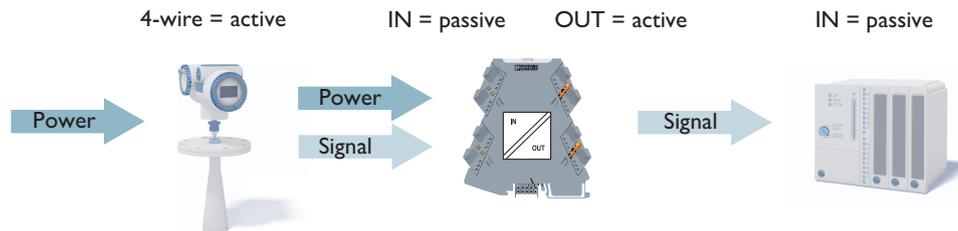


Bild 3-9 Beispiel 1 für passive Isolation (eingangsschleifengespeist)

**Trennverstärkerspeisung über seinen Signaleingang durch Transmitter (eingangsschleifengespeist)**

- Die Signalwege zwischen aktivem (4-Anschluss-) Sensor/Transmitter und Trennverstärker sind nicht von der Transmitterspeisung getrennt.



Der Sensor/Transmitter muss die gesamte Bürde aus Trennverstärker und Auswerteeinheit-Eingang treiben.

**Passive Isolation (ausgangsschleifengespeist)**

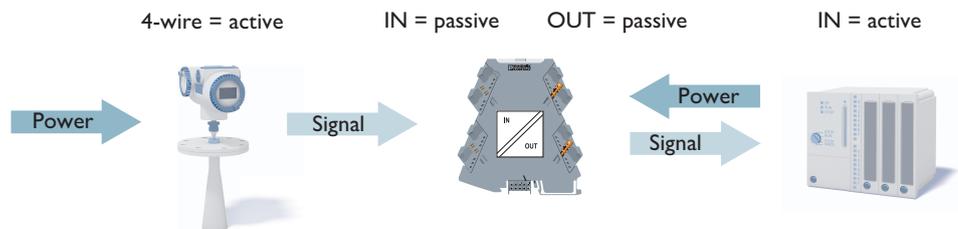


Bild 3-10 Beispiel 2 für passive Isolation (ausgangsschleifengespeist)

**Trennverstärkerspeisung über den Signalausgang durch die Auswerteeinheit (ausgangsschleifengespeist)**

- Der Signalweg zwischen Sensor/Transmitter und Trennverstärker ist von der Transmitterspeisung getrennt.
- Der Signalweg zwischen Trennverstärker und Auswerteeinheit ist nicht von der Speisung der Auswerteeinheit getrennt.



Nur für das 4 ... 20 mA-Ausgangssignal geeignet.

### 3.1.6 Leitungsüberwachung

In Bild 2-2 auf Seite 10 wurde bereits für den Anschluss eines Schalters an eine Auswerteeinheit gezeigt, wie mit zwei Widerständen eine einfache Überwachung einer 2-Draht-Leitung auf Leitungsunterbrechung und Kurzschluss realisiert werden kann.

Diese Überwachungsfunktion ist in den Empfehlungen NE 21 der Interessengemeinschaft Automatisierungstechnik der Prozessindustrie näher spezifiziert.

Zur Leitungsüberwachung stehen spezialisierte Interface-Bausteine zur Verfügung, die keine weiteren Überwachungsfunktionen haben.

Die Leitungsüberwachung ist als zusätzliche Funktion in vielen Interface-Bausteinen integriert. Fehler werden bei ihnen an gesonderten Klemmen signalisiert und durch Leuchtdioden auf den Bausteinen angezeigt.

Die folgende Grafik zeigt schematisch, wie Leitungsüberwachung auf dem gesamten Signalübertragungsweg vom Sensor bis zur Auswerteeinheit eingesetzt wird.

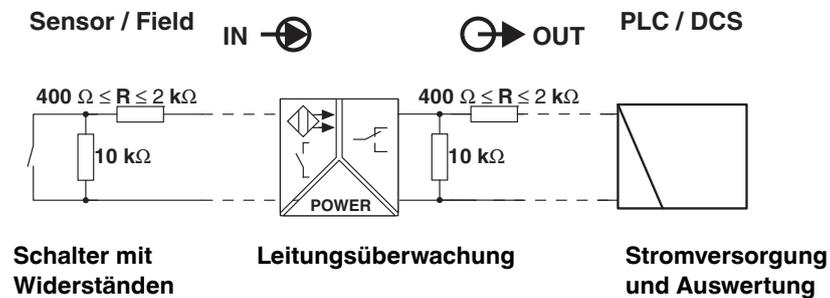


Bild 3-11 Leitungsüberwachung

### 3.1.7 Weitere Funktionen von Trennverstärkern

Neben den Basisfunktionen der Trennverstärker gibt es in der MSR-Technik eine ganze Reihe weiterer Funktionen, für die Interface-Bausteine verfügbar sind. Die Bausteine können einkanalig, mehrkanalig oder zusammen mit anderen Funktionen in einem Gehäuse aufgebaut sein:

- Schaltverstärker mit Relaisfunktion für hohe Lasten
- Konfigurierbare Grenzwertgeber, Vergleicher
- Für Temperatursensoren spezialisierte Messumformer
- Verstärker zum Anschluss von Dehnungsmessstreifen
- Frequenz-Analog-Messumformer, Analog- Frequenz-Messumformer
- Konfigurierbare Konverter zur Umrechnung von Messwerten (etwa bei einem unregelmäßig geformten Tank zur Linearisierung von Füllstandswerten, die nicht proportional zur Füllmenge sind)
- HART-transparente Interface-Bausteine (siehe Abschnitt „HART®“ auf Seite 49)

Trennverstärker mit Bus- und Netzwerkanbindung der Serie MINI Analog Pro kombinieren die Vorteile der galvanischen Trennung mit der digitalen Kommunikation. Aufsteckbare Gateways bündeln bis zu acht Kanäle schnell und fehlerfrei auf ein Netzwerkkabel. Das sorgt für eine galvanische Trennung bis in die CPU und erspart außerdem signalspezifische Eingangskarten.

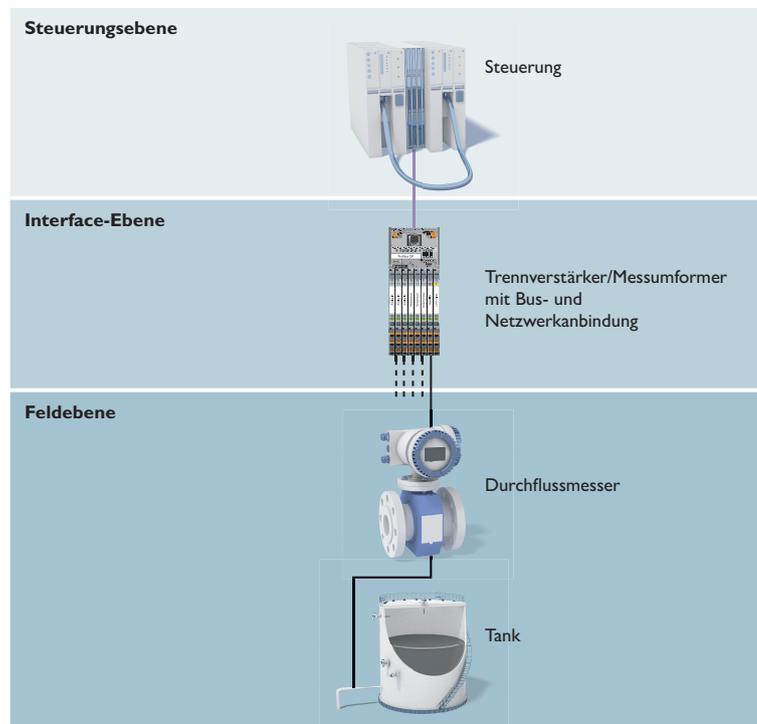


Bild 3-12 Sicher getrennt vom Feld bis ins Netz durch aufsteckbare Gateways

### 3.1.8 Analoge und digitale Signalein- und -ausgänge

Von Funktion und Einsatzbereich eines Interface-Bausteins hängt es ab, wie seine Ein- und Ausgänge zu „beschalten“ sind, d. h., welche anderen elektrischen Komponenten sinnvoll angeschlossen werden können. Deshalb werden Interface-Bausteine wesentlich durch Wertebereiche für ihre Ein- und Ausgänge spezifiziert. Weiterhin lassen sie sich durch Angaben zur Stromversorgung, zu weiteren elektrophysikalischen Eigenschaften, Bauform und Abmessungen spezifizieren.

Grundlegend klassifiziert werden die Bausteine durch die Angabe, ob die Signalein- und -ausgänge analoge oder digitale Signale verarbeiten. (Zur Unterscheidung von analogen und digitalen Signalen siehe „Um welche Signale geht es?“ auf Seite 5.)

In der Automatisierungs- und Prozessleittechnik werden hauptsächlich Interface-Bausteine folgender Typen eingesetzt. Sie können ein- oder mehrkanalig ausgeführt sein, als Kombination mehrerer Typen in einem Baustein und/oder für den Einsatz in explosionsgefährdeten Bereichen:

Tabelle 3-2 Interface-Bausteine mit analogen und digitalen Signalein- (IN) und -ausgängen (OUT)

IN	OUT	Typ	Beispiele
Analog	Analog	Trennverstärker	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Universal-Trennverstärker</li> <li>– Eingangstrenner (zur Trennung von Signalgebern im Feld von der Steuerung)</li> <li>– Speisetrenner (mit Energieversorgung für den Signalgeber)</li> <li>– Signalverdoppler</li> <li>– Ausgangstrenner (zur Trennung der Aktoren im Feld von der Steuerung); ohne oder mit HART-Transparenz</li> </ul> Ausgang proportional zum Eingang oder auch mit anderer Charakteristik konfigurierbar.
		Temperaturmessumformer	Für Signale von RTDs und TCs; siehe „Temperaturmessung“ auf Seite 10
Analog	Digital	Grenz- und Schwellwertgeber	Für analoge Signale von Potenziometern, Temperatursensoren etc.; mehrere Ausgänge möglich; mit Relais- oder Transistorausgang, mehrere Ausgänge möglich
Digital	Digital	Trennverstärker	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Für Schaltkontakte</li> <li>– NAMUR-Trennverstärker für Näherungssensoren (kapazitiv/magnet-induktiv, induktiv, optisch); siehe „Näherungssensoren nach NAMUR-Standard“ auf Seite 19</li> <li>– Digitale Ventilsteuerbausteine</li> </ul> Mit Relais- oder Transistorausgang, mehrere Ausgänge möglich
Digital	Analog	Frequenzmessumformer	D/A-Wandler mit analogem Ausgang, der sich proportional zur Frequenz verhält oder auch mit anderer Charakteristik konfigurierbar ist



Applikationsbeispiele zu den vier Typen finden Sie im folgenden Unterkapitel.

## 3.2 Applikationsbeispiele

Die folgenden Beispiele zeigen typische Anwendungen von Trennverstärkern. Die Anwendung wird jeweils kurz erläutert, und eine Schaltskizze zeigt, wie Signalgeber und Auswerteeinheit (z. B. die Steuerung) angeschlossen sind.

In den Texten zu den Applikationsbeispielen steht der Begriff „Trennverstärker“ für aktive Trennverstärker mit eigener elektrischer Versorgung. Passive Trennverstärker ohne eigene, gesonderte elektrische Versorgung werden als „Passivtrenner“ bezeichnet.

### 3.2.1 Analog IN / Analog OUT

#### Messung der Stromaufnahme eines Gleichstrom-Elektromotors mit Hilfe eines Shunts

In der Regel wird für Strommessung im kleinen und mittleren Leistungsbereich ein niederohmiger (Shunt-)Widerstand eingesetzt, der im Stromkreis in Reihe mit dem Verbraucher liegt. Proportional zum Strom, der den Shunt durchfließt, fällt an ihm eine elektrische Spannung ab. Diese Spannung wird gemessen und aus ihr nach dem Ohmschen Gesetz die Stärke des elektrischen Stromes berechnet, die durch den Shunt zum Verbraucher fließt.

- Der aktive Sensor liefert ein zur Motor-Stromaufnahme proportionales Spannungssignal an den passiven Trennverstärker-Eingang.
- Der Trennverstärker liefert ein zum Eingangssignal analoges aktives Stromausgangssignal an einen passiven Eingang der Auswerteeinheit.

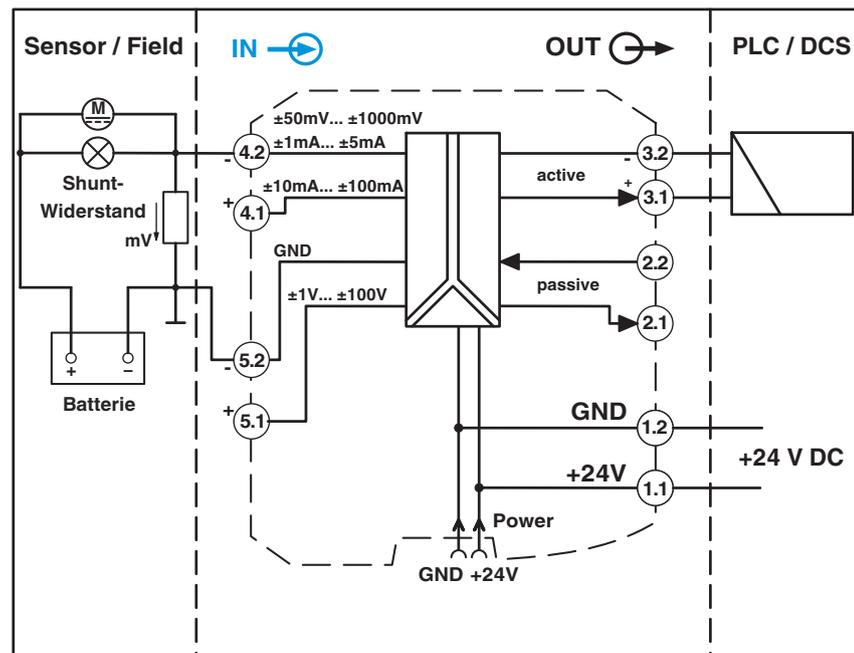


Bild 3-13 Strommessung mit Shunt mit einem multifunktionalen Messumformer MACX MCR-EX-T-UI-UP

**Druckmessung in einem explosionsgeschützten Bereich**

- Der passive 2-Leiter-Sensor liefert ein zum Druck proportionales Stromsignal an den aktiven Eingang des Trennverstärkers.
- Der Trennverstärker liefert ein zum Eingangssignal proportionales aktives Stromausgangssignal an einen passiven Eingang der Auswerteeinheit.

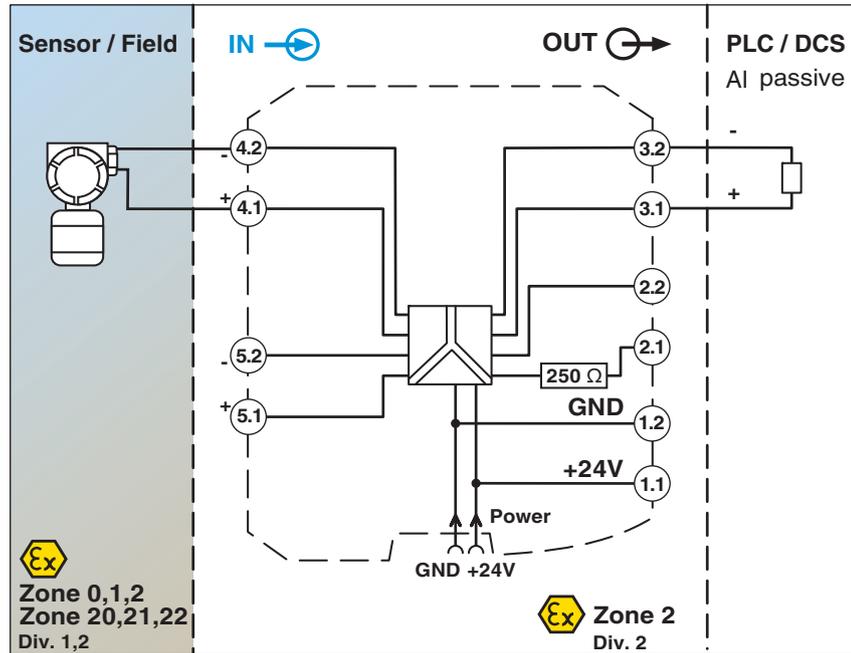


Bild 3-14 Druckmessung im explosionsgeschützten Bereich mit einem Speisetrenner MACX MCR-EX-SL-RPSSI-I

**Durchflussmessung in einem explosionsgeschützten Bereich**

- Der aktive 4-Leiter-Sensor liefert ein zum Durchfluss proportionales Stromsignal an den passiven Eingang des Trennverstärkers.
- Der Trennverstärker liefert ein zum Eingangssignal proportionales passives Stromausgangssignal an einen aktiven Eingang der Auswerteeinheit.

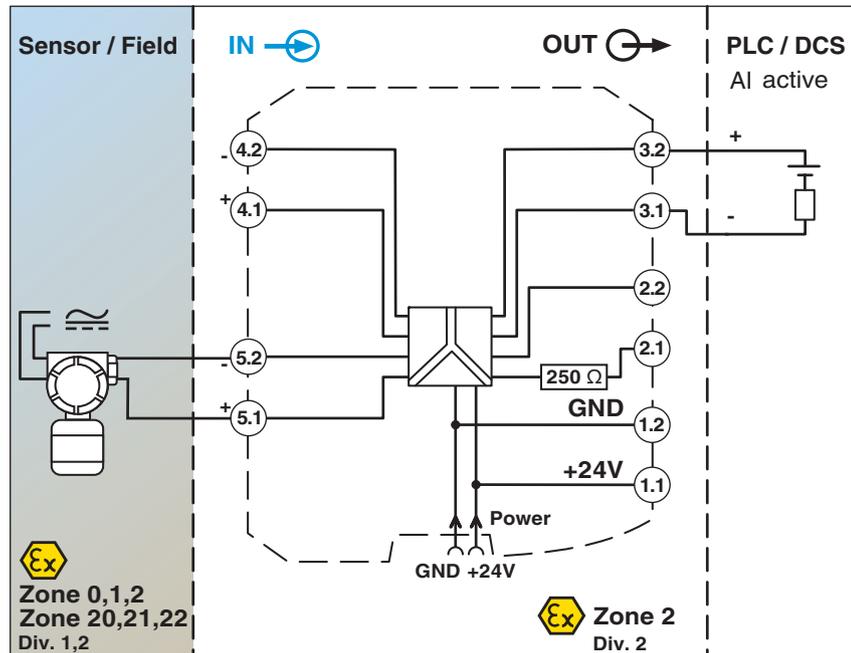


Bild 3-15 Durchflussmessung im Ex-Bereich mit einem Speisetrenner MACX MCR-EX-SL-RPSSI-I

**Regelventilansteuerung in einem explosionsgeschützten Bereich**

- Der aktive Ausgang der Steuereinheit liefert ein analoges Stromsignal an den passiven Eingang des Trennverstärkers (Ausgangstrenner).
- Der Trennverstärker liefert ein zum Eingangssignal proportionales aktives Stromausgangssignal an das Regelventil, das durch dieses Signal betrieben wird.

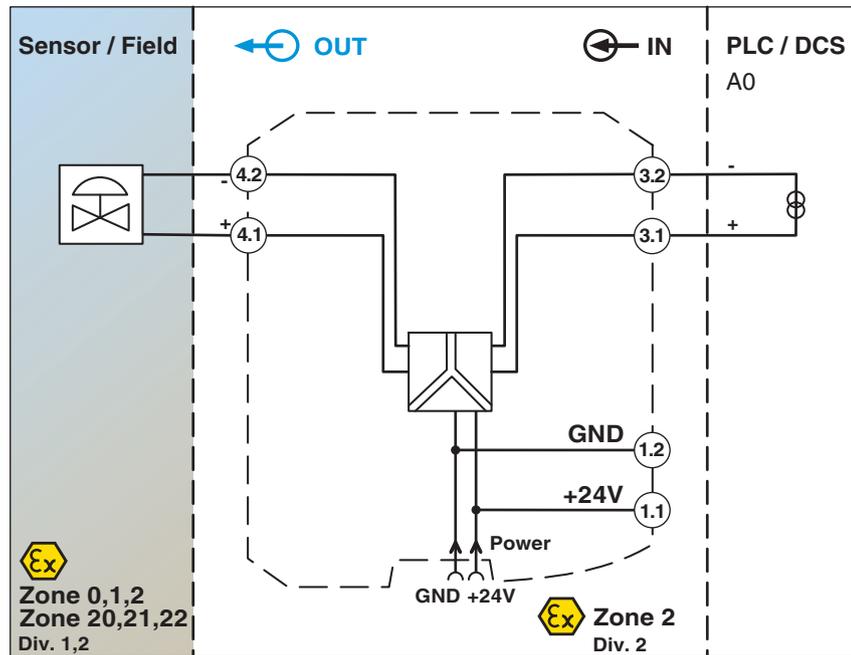


Bild 3-16 Regelventilansteuerung im Ex-Bereich mit einem Trennverstärker MACX MCR-SL-IDSI-I

### Hebebühnensteuerung mit Potenziometer-Sensor

- Der passive Potenziometer-Sensor liefert ein analoges Istwert-Signal an den aktiven Eingang des Trennverstärkers.
- Der Trennverstärker liefert ein zum Eingangssignal analoges aktives Spannungsausgangssignal an einen passiven Istwert-Eingang des Reglers.
- Die Steuerung liefert ein analoges Spannungssignal an den Sollwert-Eingang des Reglers. Der Regler vergleicht Ist- und Sollwert und steuert den Motor, bis der Istwert den Sollwert erreicht hat.

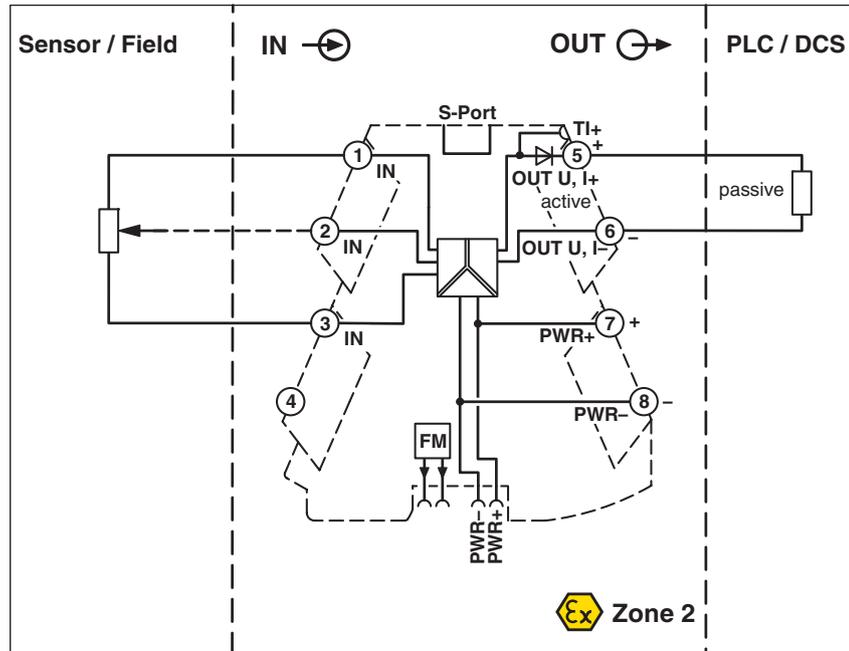


Bild 3-17 Hebebühnensteuerung über Potenziometer-Sensor mit einem Trennverstärker MINI MCR-2-POT-UI(-PT)(-C)

**Durchflussmessung unter Verwendung eines Passivtrenners**

- Der aktive 4-Leiter-Sensor liefert ein zum Durchfluss analoges Stromsignal an den passiven Eingang des eingangsschleifengespeisten Passivtrenners (Trennverstärker ohne eigene, gesonderte elektrische Versorgung, seine Speisung erfolgt über den Sensor).
- Der Passivtrenner liefert ein zum Eingangssignal analoges aktives Stromausgangssignal an einen passiven Eingang der Auswerteeinheit.

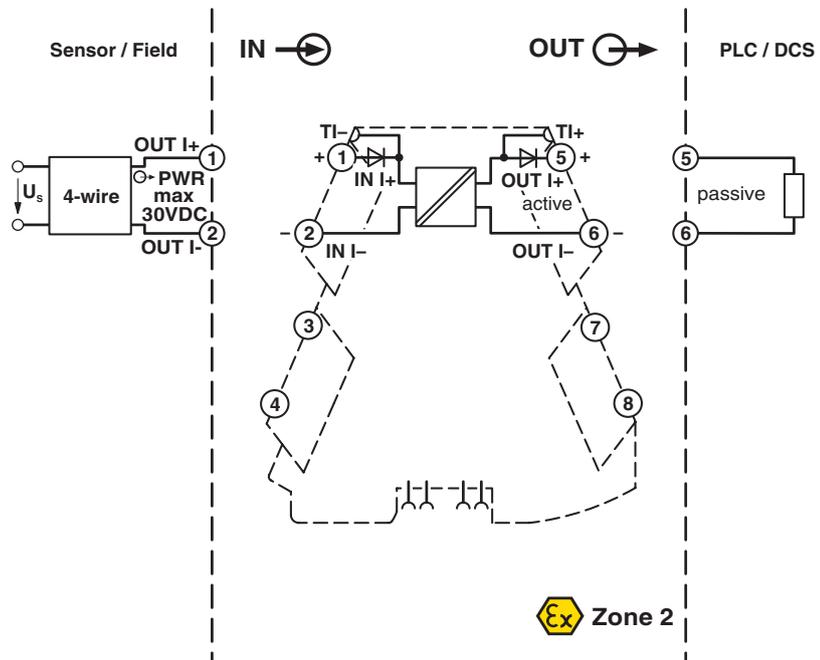


Bild 3-18 Durchflussmessung unter Verwendung eines Passivtrenners, z. B. mit einem Trennverstärker der Serie MINI Analog Pro



Bei Verwendung eines Passivtrenners muss die vom Messumformer gelieferte Spannung hoch genug sein, damit sie die Gesamtbürde mit dem maximalen Strom von 20 mA treiben kann.

**Verwendung eines ausgangsschleifengespeisten Passivtrenners**

- Der (aktive 4-Leiter-) Sensor liefert ein analoges Spannungssignal an den passiven Eingang des ausgangsschleifengespeisten Passivtrenners (siehe auch „Elektrische Speisung und Trennung der Signalwege“ auf Seite 28).
- Der Passivtrenner liefert ein zum Eingangssignal analoges passives Stromausgangssignal an einen aktiven Eingang der Auswerteeinheit.

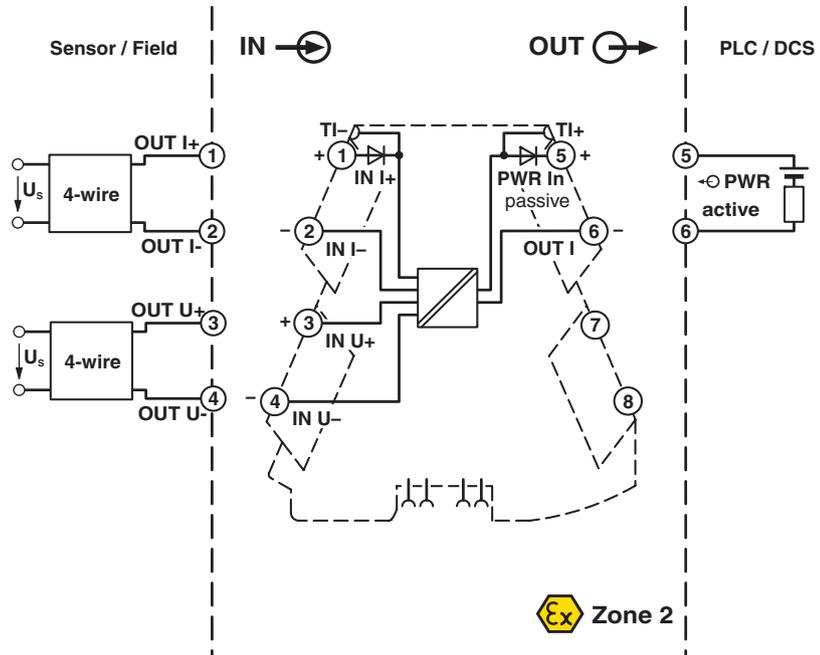


Bild 3-19 Verwendung eines ausgangsschleifengespeisten Passivtrenners z. B. mit einem Trennverstärker der Serie MINI Analog Pro

### 3.2.2 Analog IN, Digital OUT

#### Potenzimeter-Stellungsmessung mit digitalen Meldeausgängen

- Der passive Stellungsmesssensor (Potenziometer) liefert ein analoges Signal an den aktiven Eingang des Trennverstärkers.
- Der Trennverstärker liefert jeweils ein vom Eingangssignal abhängiges digitales Ausgangssignal an drei digitale Eingänge der Auswerteeinheit(en).
- Die drei Ausgangssignale können unabhängig voneinander auf bestimmte Eingangssignalgrößen (gemessene Stellungen) konfiguriert werden.
- Zusätzlich zu den drei digitalen Ausgängen besitzt der Trennverstärker einen aktiven analogen Stromausgang oder einen aktiven analogen Spannungsausgang.

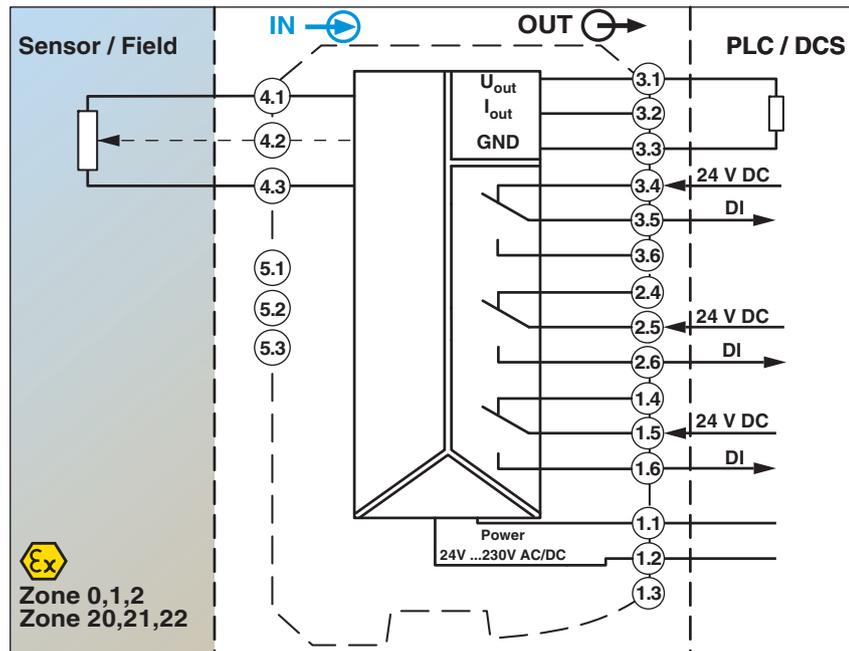


Bild 3-20 Potenziometer-Stellungsmessung mit digitalen Meldeausgängen z. B. mit einem Trennverstärker MACX ... T-UIREL-Serie

### Temperaturmessung mit digitalen Meldeausgängen

- Der passive Temperaturmesssensor (RTD mit 4-Leiter-Anschluss) liefert ein widerstandsabhängiges Spannungssignal an den aktiven Eingang des Trennverstärkers.
- Der Trennverstärker liefert jeweils ein vom Eingangssignal abhängiges digitales Ausgangssignal an zwei digitale Eingänge der Auswerteeinheit(en).
- Die beiden Ausgangssignale können unabhängig voneinander auf bestimmte Eingangssignalgrößen (gemessene Temperaturen) konfiguriert werden.
- Die beiden digitalen Ausgänge (Relaisausgänge als Öffner) 2 und 3 können wie gezeigt in Reihe geschaltet und als redundante Signale zur Auswertung durch die Steuereinheit verwendet werden, z. B. zum Abschalten einer Anlage bei erhöhten Sicherheitsanforderungen.
- Zusätzlich zu den beiden digitalen Ausgängen besitzt der Trennverstärker einen aktiven analogen Stromausgang oder einen aktiven analogen Spannungsausgang.

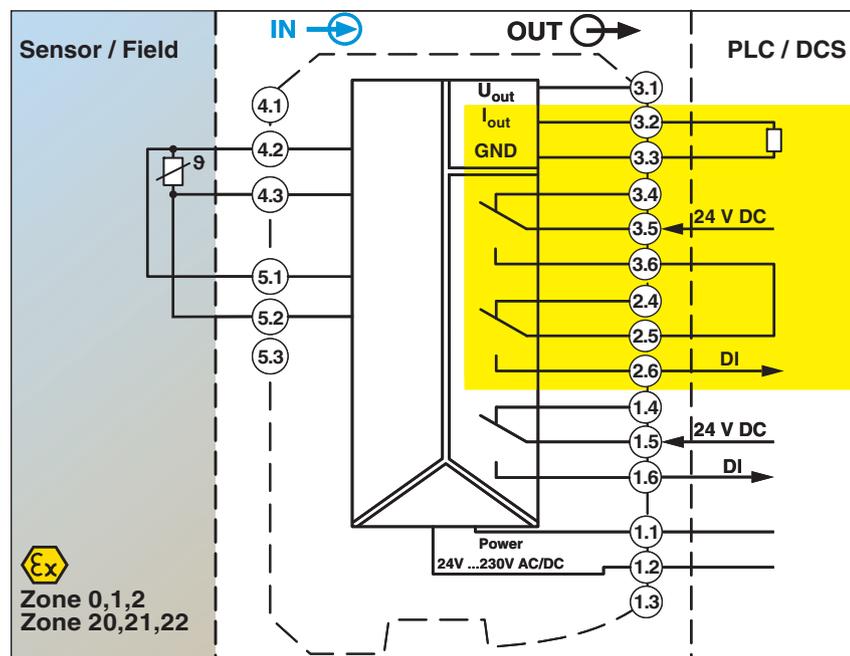


Bild 3-21 Temperaturmessung mit digitalen Meldeausgängen

### 3.2.3 Digital IN, Digital OUT

#### Digitale Trennverstärkung eines Schaltersignals

- Der passive Sensor (Schalter, Näherungssensor) liefert ein digitales Impuls-/Frequenzsignal an den aktiven Eingang des Trennverstärkers.
- Der Trennverstärker liefert ein vom Eingangssignal abhängiges digitales Ausgangssignal an einen digitalen Eingang der Auswerteeinheit.
- Die Charakteristik der Umsetzung des Eingangssignals in das Ausgangssignal kann konfiguriert werden.
- Die Beschaltung des Sensors/Schalters mit Widerständen dient zur Erkennung von Messleitungsbruch und Ausfall des Sensors/Schalters (siehe auch „Ereigniserfassung, Impuls- und Frequenzmessung“ auf Seite 9). In NAMUR-Näherungssensoren sind diese Widerstände bereits im Sensorgehäuse integriert.
- Der zweite digitale Ausgang des Trennverstärkers kann wie der erste zur Ansteuerung eines anderen digitalen Eingangs (Signalverdopplung) oder als Fehlermeldeausgang verwendet werden. Die unterschiedliche Verwendung ist einstellbar.

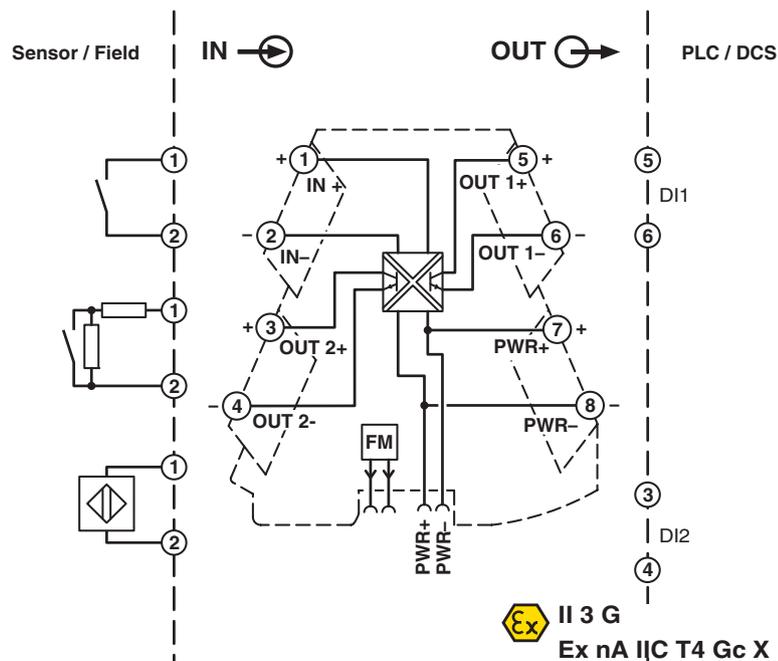


Bild 3-22 Digitale Trennverstärkung eines Schaltersignals

### Zweikanalige digitale Trennverstärkung von Näherungsschaltersignalen

- Die beiden passiven NAMUR-Sensoren (Näherungssensoren) liefern jeweils ein digitales Impuls-/Frequenzsignal an einen aktiven Eingang des Trennverstärkers.
- Der Trennverstärker liefert jeweils ein vom Eingangssignal abhängiges digitales Ausgangssignal an einen digitalen Eingang der Auswerteeinheit.
- Die Charakteristik der Umsetzung des Eingangssignals in das Ausgangssignal kann konfiguriert werden.

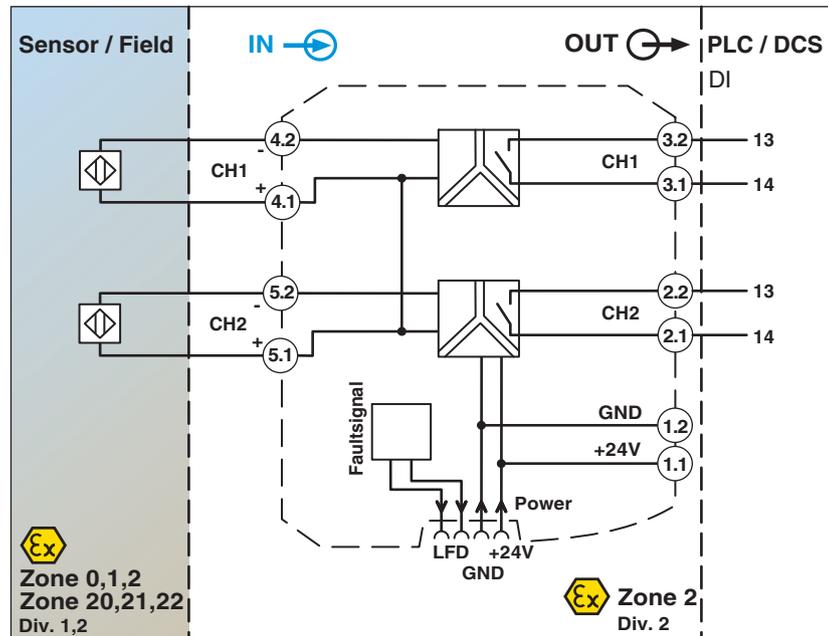


Bild 3-23 Zweikanalige digitale Trennverstärkung von Näherungsschaltersignalen



Da in den NAMUR-Näherungssensoren Widerstände zur Erkennung von Messleitungsbruch und Sensorausfall bereits integriert sind, stehen diese Fehlerinformationen als Signale an den beiden LFD-Anschlüssen des Trennverstärkers (Line Fault Detection) bereit.

Die LFD-Signale werden auf die hierfür vorgesehenen Leitungen in der Versorgungsschiene für den Trennverstärker geführt und können von der Steuereinheit ausgewertet werden.

**Digitale Ventilansteuerung in einem explosionsgeschützten Bereich**

- Der Ausgang der Steuereinheit liefert ein digitales Signal an den Eingang des Trennverstärkers (Ausgangstrenner).
- Der Trennverstärker liefert ein vom Eingangssignal abhängiges digitales Signal an das Regelventil, das durch dieses Signal betrieben (geöffnet oder geschlossen) wird.

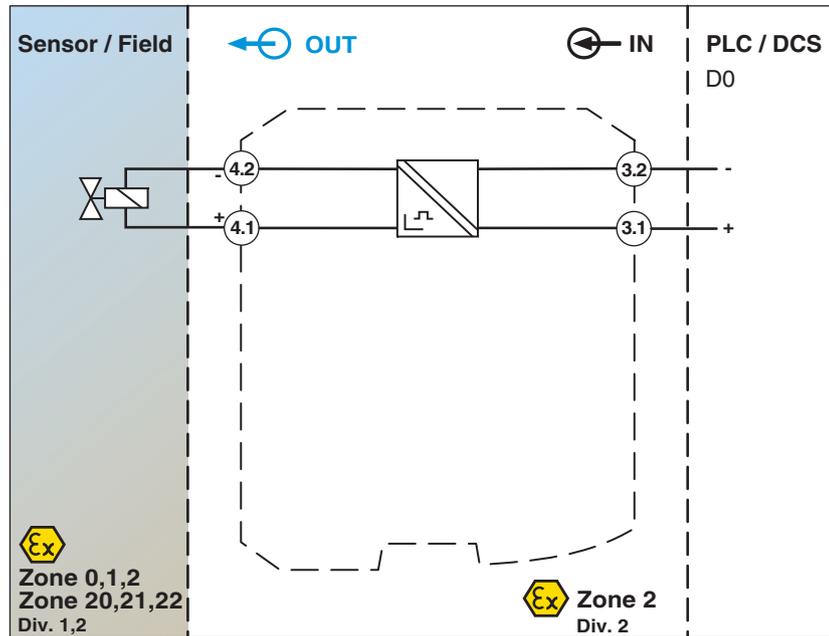


Bild 3-24 Digitale Ventilansteuerung in einem explosionsgeschützten Bereich (nur mit Trennverstärkern der MACX ... EX-Serie)

### 3.2.4 Digital IN, Analog OUT

#### Umsetzung von Frequenzen in analoge Werte

- Der passive NAMUR-Sensor liefert ein Frequenzsignal an den aktiven Eingang des Trennverstärkers.
- Der Trennverstärker liefert ein zur Frequenz abhängiges aktives Ausgangssignal an einen passiven Eingang der Auswerteeinheit.
- Die Charakteristik der Umsetzung des Eingangssignals in das Ausgangssignal kann konfiguriert werden.

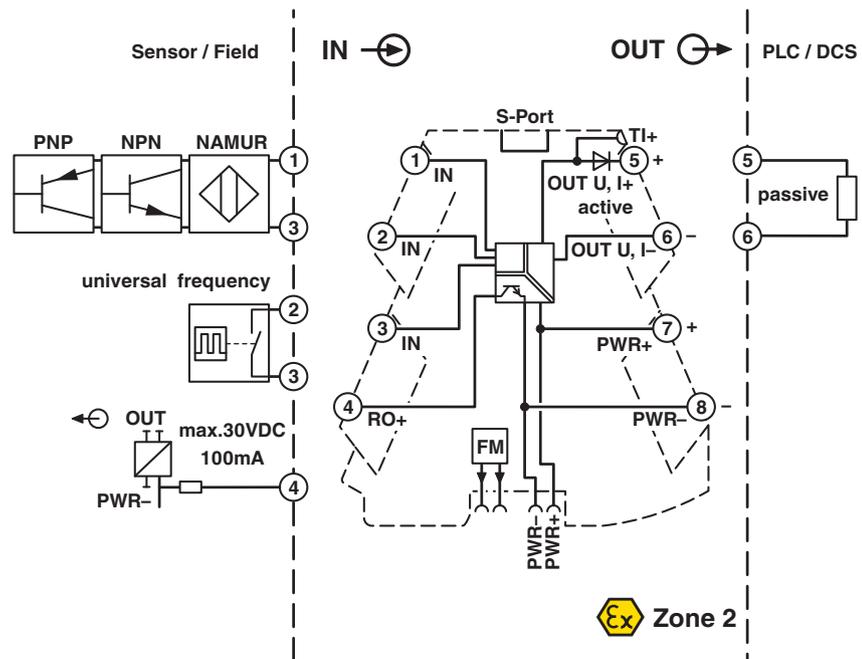


Bild 3-25 Umsetzung von Frequenzen in analoge Werte



## 4 Digitale Feldbusse

In einer Anlage mit Automatisierungs- und Prozessleittechnik müssen zwei Bereiche über elektrische Leitungen verbunden werden:

- Feldgeräte, also die Messfühler (Sensoren) und Stellglieder (Aktoren) in der Anlage
- Die Auswerte- und Steuerungseinheit(en)

Um nicht jedes Feldgerät unter Verwendung gesonderter Anschlusskabel mit der Steuerungseinheit verbinden zu müssen, wurden in den 1980er Jahren die ersten digitalen Feldbusse entwickelt und eingesetzt. Sie ermöglichten die Verbindung mehrerer Feldgeräte mit der Steuereinheit über eine gemeinsam benutzte Busverkabelung und ersetzen vieladrige Kabelstränge mit gesonderten Leitern für jedes Feldgerät:

- Jedes Feldgerät kann an nahezu beliebiger Stelle über einen Interface-Baustein an die Feldbusverkabelung angeschlossen werden.
- Die Kommunikation zwischen Feldgeräten und Steuerungseinheit wird über ein digitales Busprotokoll ermöglicht, wobei die Interface-Bausteine die Übersetzung der Sensor- und Steuerinformationen von und zu den Feldgeräten übernehmen.



Seit 1999 werden Feldbusse in der Norm **IEC 61158** (Digital data communication for measurement and control - Fieldbus for use in industrial control systems) weltweit standardisiert.

Die Feldbusse der ersten Generation werden heute vielfach durch Ethernet ergänzt oder ersetzt. Ethernet ist das in Geschäftswelt, Verwaltung und Wissenschaft am weitesten verbreitete Protokoll zur Verbindung von Rechnern in einem Local Area Network (LAN). Beim echtzeitfähigen Ethernet handelt es sich um eine Weiterentwicklung für die Anforderungen der Industrieautomation.

### ISO/OSI-Referenzmodell

Die Internationale Organisation für Normung (International Organization for Standardization, ISO) hat 1979 ein Modell entwickelt, um die Welt der Datenkommunikation und Netzwerke zu strukturieren und zu standardisieren. Dieses Modell ist das OSI-Referenzmodell (Open Systems Interconnection). Ziel der ISO war es, ein Referenzmodell für die Kommunikation zwischen zwei Systemen (z. B. Computern) zu entwickeln.

Nach dem ISO/OSI-Referenzmodell kann ein System A mit einem System B kommunizieren (zwei Systeme verschiedener Hersteller). Das ISO/OSI-Referenzmodell besteht aus sieben unterschiedlichen Schichten:

- Schicht 1: Bitübertragungsschicht
- Schicht 2: Sicherungsschicht
- Schicht 3: Vermittlungsschicht
- Schicht 4: Transportschicht
- Schicht 5: Sitzungsschicht
- Schicht 6: Darstellungsschicht
- Schicht 7: Anwendungsschicht



Bild 4-1 ISO/OSI-Referenzmodell

Bei den meisten Feldbussystemen und im Einklang mit IEC-Normierungen sind nur die folgenden Schichten des ISO/OSI-Schichten-Referenzmodells für Kommunikationsprotokolle in Rechnernetzen spezifiziert:

- Schicht 7: Anwendungsschicht
- Schicht 2: Sicherungsschicht
- Schicht 1: Bitübertragungsschicht

Im Anschluss an die Liste wesentlicher Vor- und Nachteile des Einsatzes digitaler Feldbusse werden stellvertretend für eine Vielzahl von Entwicklungen und Produkten vier Konzepte digitaler Feldbusse näher beleuchtet:

- Der HART-Feldbusstandard und WirelessHART
- Die Protokollfamilie Fieldbus Foundation (FF)
- Die Profibus-Protokollfamilie
- Ethernet-basierte Systeme

### Vorteile

- Relativ geringer Aufwand für Verkabelung (Material- und Zeitersparnis für Planung und Installation)
- Verbesserte Signalverfügbarkeit durch kurze Signalwege insbesondere für analoge Signale
- Standards erlauben herstellerübergreifend den Austausch von Komponenten.
- Relativ hohe Flexibilität bei Änderung und Erweiterung
- Parametrierung, Statusabfragen etc. von der Leitwarte aus möglich

### Nachteile

- Die relativ komplexen Systeme erfordern qualifizierte Mitarbeiter für Planung, Installation, Wartung und Fehlersuche. Das kann die anfängliche Kostenersparnis unter Umständen wieder aufwiegen.
- Höhere Preise für Komponenten und kleinste austauschbare Einheiten
- Geringfügig höhere Reaktionszeiten
- Die zentrale Anbindung über einen Bus erweitert bei dessen Ausfall die Störungsfolgen und macht ggf. die redundante Ausführung des Busses erforderlich.
- Erhöhte und zum Teil komplexe Anforderungen an die Verdrahtung und das Erdungskonzept von Anlagen



## 4.1 HART®

HART (Highway Addressable Remote Transducer) ist ein Feldbusstandard, dessen Technologie von der HART Communication Foundation (HCF) gefördert wird, einer herstellerübergreifenden Non-Profit-Organisation.

Das HART-Protokoll zeichnet sich im Wesentlichen dadurch aus, dass es im Gegensatz zu anderen digitalen Feldbussystemen als Ergänzung zu klassischen analogen Normsignalen betrieben und genutzt wird. Es ersetzt also nicht die Point-to-Point-Verdrahtung, sondern ermöglicht die Einbringung intelligenter Feldgeräte.

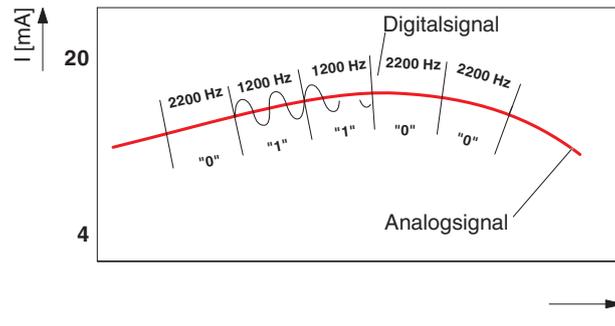


Bild 4-2 HART-Modulation eines analogen Strom-Normsignals

### Grundlagen

Dem niederfrequenten 4 ... 20 mA-Normsignal wird eine höherfrequente Schwingung mit einer Amplitude von +/- 0,5 mA nach dem FSK-Verfahren (Frequency Shift Keying) aufmoduliert, um zusätzlich zur analogen Information des Prozesswertes digitale Informationen mit zu übertragen (siehe Bild 4-2). Eine digitale 1 wird dabei als Frequenz von 1,2 kHz und eine digitale 0 als Frequenz von 2,2 kHz signalisiert und erkannt.

So kann z. B. bei einem Durchflussmesser dem als 4 ... 20 mA proportionalem analogen Wert der Durchflussmenge zusätzlich die Information über den aktuellen Status des Gerätes übermittelt werden oder neue Konfigurationsdaten an das Gerät übertragen werden.

### Kennzeichnend

Der HART-Standard besitzt die folgenden wesentlichen Eigenschaften:

- Praxiserprobt, einfach im Aufbau, Wartung und Anwendung
- Offener De-Facto-Standard, der jedem Hersteller oder Anwender frei zur Verfügung steht; herstellereigene Anpassungen und Erweiterungen
- Weiterverwendung der in der Industrie weit verbreiteten Verkabelung für die Kommunikation mit dem 4 ... 20 mA-Normsignal
- HART ermöglicht die zusätzliche bidirektionale digitale Kommunikation zwischen mehreren HART-Feldgeräten unter Beibehaltung der Übertragung des analogen Strom-Normsignals.
- Die Feldgeräte müssen mit HART-Mikroprozessortechnik ausgerüstet sein und werden deshalb häufig als „SMART“-Geräte bezeichnet.
- Genormt in CPF9 (Communication Profile Family nach IEC 61784)
- Bei einschlägiger Gerätezulassung Verwendung „eigensicherer“ Stromkreise mit begrenztem Stromfluss ohne Bildungsmöglichkeit für zündfähige Funken (Eignung für explosionsgefährdete Bereiche Ex-Zone 0 und 1)
- Verwendungsmöglichkeit von zwei Bediengeräten: die Engineering-Konsole in der Steuereinheit und ein sekundäres, in der Regel mobiles Bediengerät (Laptop oder Handterminal-Steuereinheit)
- Möglichkeit zur Einschleifung von HART-Anzeigen, für die Vor-Ort-Diagnose

### Topologie

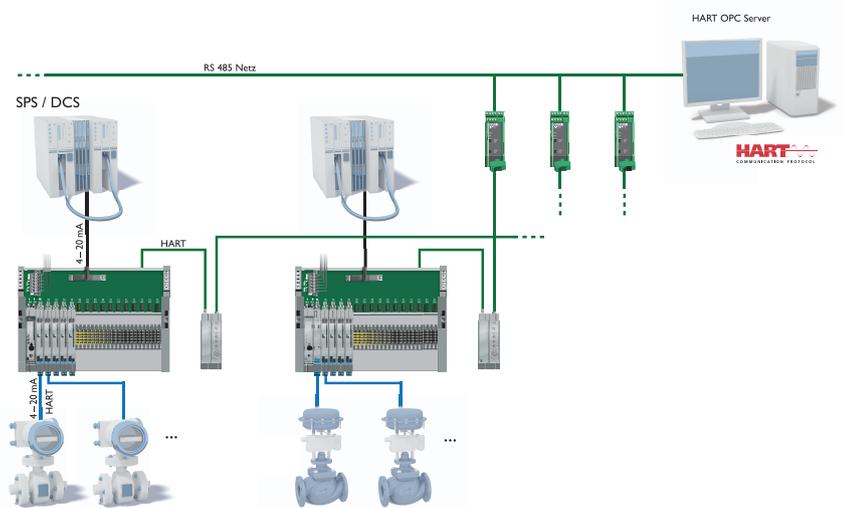


Bild 4-3 Topologie HART

### Einsatzbereich

Die HART-Signale werden in der Regel für folgende Kommunikationsaufgaben verwendet:

- Erweiterung vorhandener Systeme mit HART-Komponenten und Übertragung von Informationen zu Status, Diagnose, Konfigurierung und Steuerung.
- Nachträgliche oder vorübergehende Installation von Feldgeräten, z. B. von transportablen dialogfähigen Geräten zur Ausführung von Messungen und Konfigurationen.



Damit die HART-Kommunikation zwischen den HART-Komponenten funktioniert, darf sie von den Signaltrennern und anderen Interface-Bausteinen nicht blockiert werden.

Deshalb werden im Hinblick auf die HART-Kommunikation verschiedene Interface-Bausteine angeboten:

- Interface-Bausteine, die HART-Signale unverändert passieren lassen. (HART-transparente Bausteine)
- Interface-Bausteine, die HART-Signale blockieren, z. B. um bestimmte Anlagenbereiche von der HART-Kommunikation abzukoppeln, weil diese hier zu Störungen führen könnten.
- Interface-Bausteine, die auf das Weiterleiten oder Blockieren von HART-Signalen einstellbar sind.

### Vorteile

Für den Einsatz von HART-Technologie sprechen zusammengefasst folgende Punkte:

- Einfacher Aufbau eines robusten digitalen Kommunikationsnetzes durch Nutzung bestehender 4...20 mA-Verdrahtung
- Effiziente Feldgerätekonfiguration und Zustandsdiagnose dank Online-Zugriff
- Erhöhung der Anlagenverfügbarkeit durch präventive Erkennung von Abweichungen und Störungen
- Störungsfreier bidirektionaler Datenaustausch mit HART-transparenten Trennverstärkern – galvanisch entkoppelt, auch für eigensichere Stromkreise
- Überbrückung großer Distanzen und kostengünstiges Nachrüsten von Anlagenteilen – mit Wireless-HART-Geräten

### 4.1.1 HART-Multiplexer

HART-Multiplexer ermöglichen die Einbindung der HART-Informationen in Engineering- und Managementsysteme, die gesondert von Auswerte- und Steuerungseinheit(en) betrieben werden.

Die Verbindungen zwischen HART-Feldgeräten und Steuerung werden auf ein HART-Multiplexer-Anschlussboard zusammengeführt. Hier werden die HART-Informationen galvanisch getrennt dem Multiplexer übergeben bzw. entnommen.

Der Multiplexer speichert die Prozessvariablen, Konfigurations- und Diagnosedaten aller angeschlossener HART-kompatiblen Feldgeräte und kommuniziert über eine einzige Verbindung mit dem Engineering- und Managementsystem.

#### Vorteile

Für den Einsatz von HART-Multiplexern sprechen folgende Punkte:

- Zusammenfassung vieler HART-Kanäle auf einer Leitung (typischerweise 32 Kanäle je Multiplexer)
- Zusammenfassung vieler HART-Multiplexer auf einer Schnittstelle der Steuerung (typischerweise 128 Multiplexer auf einer PC-Schnittstelle)
- Geringer Platzbedarf, besonders wichtig bei Nachrüstungen im Schaltschrank mit knappem Restraum für zusätzliche Komponenten
- Einfache zusätzliche Erschließung bisher ungenutzter Informationen und Funktionen von HART-kompatiblen Feldgeräten

## WirelessHART

### 4.1.2 WirelessHART

Die Überbrückung von nicht für die HART-Kommunikation geeigneten Verbindungen zwischen Feldgeräten und Steuereinheit kann drahtlos erfolgen (WirelessHART). Hierfür stehen Funkmodule zur Verfügung, die an die Feldgeräte und an die Steuereinheit angeschlossen werden.



WirelessHART ist wie HART ein offener Industriestandard und wurde 2010 von der IEC (International Electrotechnical Commission) als internationaler Standard **IEC 62591** genormt.

- Reichweiten je nach Bebauung zwischen 30 m und 250 m
- Maschenförmige Struktur (Mesh-Netzwerk), bei der jedes HART-Funkmodul gleichzeitig als Router vermittelt und als Repeater verstärkt
- Nutzung der eingespielten Werkzeuge und Prozeduren für Konfiguration, Wartung und Diagnose

### Topologie

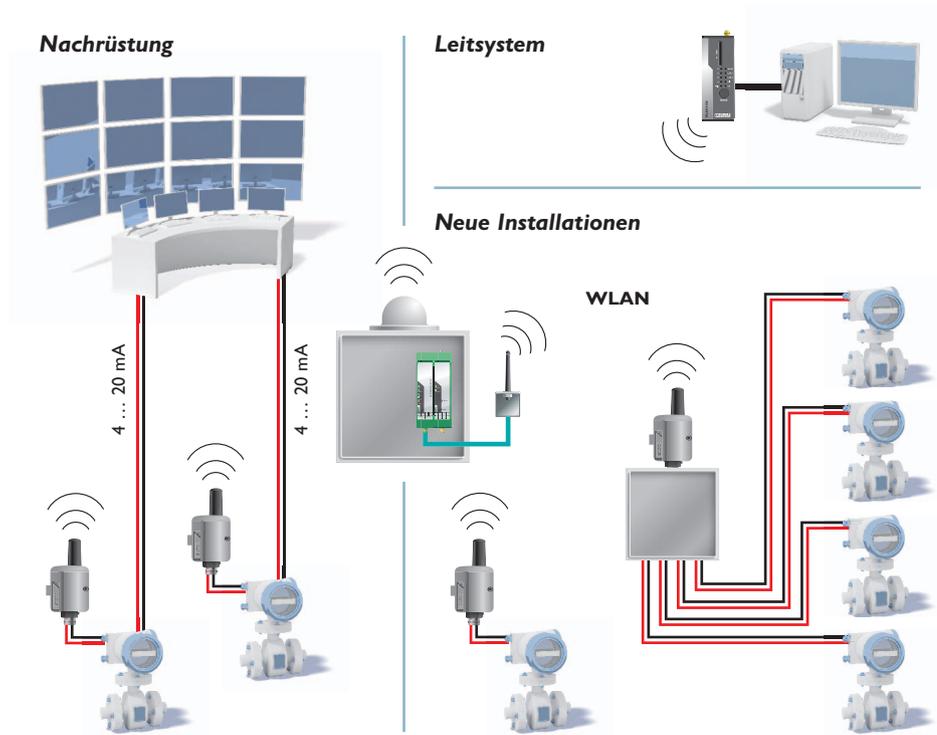


Bild 4-4 Topologie WirelessHART

### Vorteile

- Einsatz in allen Fällen, in denen nicht HART-kompatible Verbindungen zwischen Feldgerät und Steuereinheit vorliegen
- Höhere Mobilität und Flexibilität bei Anlagenänderungen und -erweiterungen
- Erhöhter Datendurchsatz durch gleichzeitige Nutzung mehrerer Kommunikationspfade
- Ausgleich von Übertragungsstörungen durch automatische Funksignalumleitung um Störquellen herum



## 4.2 FOUNDATION Fieldbus

Die Fieldbus Foundation ist ein 1994 in den USA gegründeter Zusammenschluss vieler Unternehmen, die Feldbussysteme und Feldbuskomponenten entwickeln und produzieren. Ziel ist die Etablierung gemeinschaftlicher Standards und Normen.

Bei FOUNDATION Fieldbus unterscheidet man zwei Implementierungsarten, die verschiedene Anforderungen im Bereich der Prozessautomatisierung abdecken.

FOUNDATION Fieldbus H1 nutzt die MBP (Manchester Coded Bus Powered) Übertragungstechnik mit einer Übertragungsrate von 31,25 kbit/s. Hierbei werden die Datenübertragung und die Versorgung der angeschlossenen Geräte in der Regel über eine gedrillte Zweidrahtleitung vorgenommen. Hierdurch lässt sich der Verdrahtungsaufwand beim Anschluss von Feldgeräten erheblich reduzieren.

Durch die Möglichkeit, die Energie zum Feld hin zu begrenzen eignet sich FOUNDATION Fieldbus auch für den Einsatz in explosionsgefährdeten Bereichen (ATEX Zone 0 und 1).

Ergänzend dazu ist der Standard HSE (High Speed Ethernet) festgelegt. Hierbei wird basierend auf der Ethernet-Technologie eine maximale Übertragungsrate von 100 MBit/s ermöglicht. HSE dient dabei als übergeordnete Kommunikationsebene hin zum Leitsystem wie DCS-Systemen (Distributed Control Systems).

### Kennzeichnend

- Verbreitung mit Schwerpunkt in Amerika und Asien
- Einsatzschwerpunkt Prozessautomation
- Unterstützung von Anlagenverwaltung (Asset Management) und vorbeugenden Wartungsmaßnahmen (Predictive Maintenance)
- Topologie: Linie oder Baum
- Einzelnen „intelligenten“ Feldgeräten können Automatisierungsaufgaben übertragen werden. Solche Geräte sind dann nicht mehr nur Sensor oder Aktor, sondern bieten zusätzliche Funktionen (dezentrale Prozessbearbeitung)
- Genormt in CPF1 nach **IEC 61784**

### Topologie

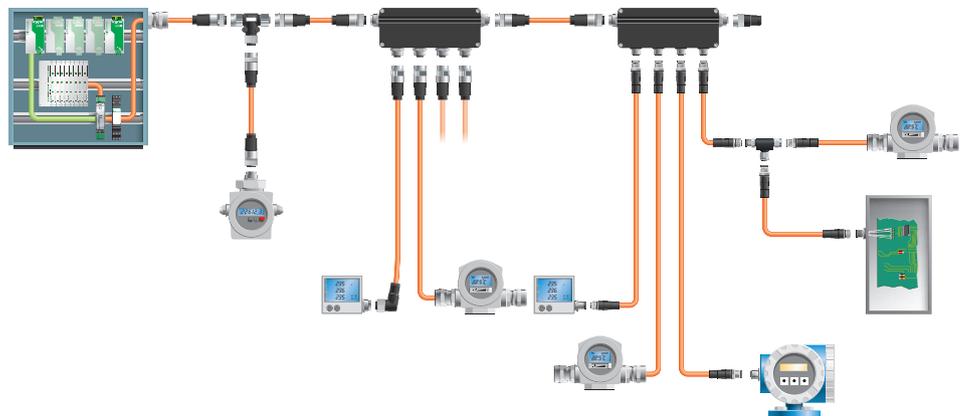


Bild 4-5 Topologie FOUNDATION Fieldbus

### Varianten

#### H1 (bis zu 31,25 kbit/s)

- Zentrale Kommunikationssteuerung mit getakteten und ungetakteten Datenübertragungen durch den Link Actice Scheduler (LSA)
- Datenaustausch und aktive Energieversorgung über verdrehte 2-Draht-Leitungen
- Maximale Gesamtlänge eines Bussegments: 1900 m (mit vier Repeatern bis max. 9500 m)
- Eignung für explosionsgefährdete Bereiche Ex-Zone 0 und 1
- Maximale Anzahl Feldgeräte im sicheren Bereich: 32
- Busabschluss beidseitig mit Abschlusswiderständen (Terminatoren)

#### HSE (bis zu 100 MBit/s)

- Verwendung von High-Speed-Ethernet
- Datenaustausch über verdrehte 2-Draht-Leitungen und/oder Lichtwellenleiter

### Vorteile

- Bedarfsgerechte Installation durch modularen Aufbau
- Hohe Sicherheit: für explosionsgefährdete Bereiche bis in Zone 0 zugelassen



## 4.3 PROFIBUS

Die PROFIBUS-Busfamilie (**Process Field Bus**) ist das Ergebnis einer 1987 in Deutschland gestarteten Initiative von Firmen und Instituten zur Entwicklung von gemeinsamen technischen Konzepten für die Fertigungs- und Prozessautomatisierung.

PROFIBUS ist ein Multi-Master-fähiges Bussystem, bei dem ein sogenanntes Token als Berechtigung zum Kommunikationsaufbau zwischen den Mastern übergeben wird. Angeschlossene Geräte werden in Master- und Slave-Geräte unterteilt. Master sind in der Regel Automatisierungs- oder Engineering-Systeme. Automatisierungssysteme, wie SPSen, werden dabei als Klasse-1-Master bezeichnet. Engineering-Systeme können z. B. PCs sein, die zur Inbetriebnahme an den Bus angekoppelt werden. Diese bezeichnet man als Klasse-2-Master.

Bei Slaves handelt es sich um Feldgeräte, die nur kommunizieren können, wenn sie von einem Master dazu aufgefordert werden.

Der PROFIBUS bietet unterschiedliche Varianten des Datenaustausches an: Einen zyklischen Datenaustausch für Prozessdaten und einen azyklischen Datenaustausch für Parametrierungsdaten.

### Kennzeichnend

- Verbreitung zunächst mit Schwerpunkt in Europa
- In Fertigungsautomatisierung und in der Prozessautomatisierung gleichermaßen einsetzbar
- Datenübertragung bitseriell
- Topologie: Linie oder Baum
- Multi-Master-fähige Kommunikation
- Regelung des Zugriffs auf den Bus in Kombination von Master-Slave- und Token-Passing-Verfahren
- Genormt in CPF3 nach **IEC 61784**

## Topologie

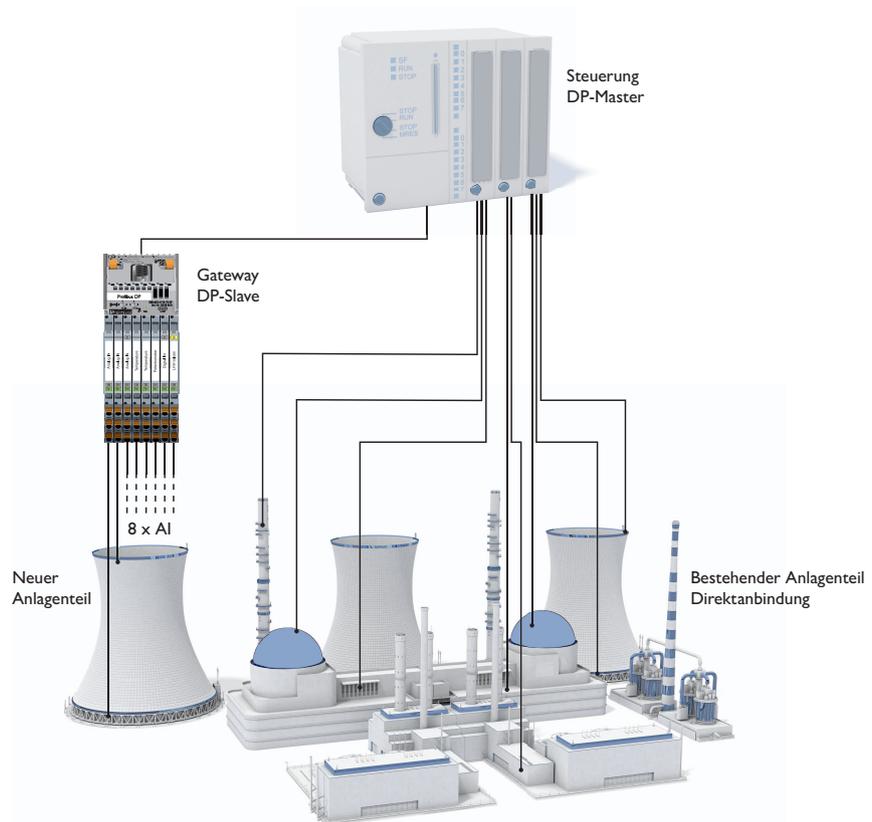


Bild 4-6 Topologie PROFIBUS

## Varianten

**DP** (Dezentrale Peripherie)

- Dezentrales Management von Peripheriegeräten (Sensoren, Aktoren) in der Fertigung, Multi-Master-fähig
- Standardisierte Diagnosefunktionen
- Vernetzung mehrerer Steuerungen (ähnlich wie bei Variante FMS)
- Datenaustausch über verdrehte 2-Draht-Leitungen und/oder Lichtwellenleiter
- Datenübertragungsrate bis zu 12 MBit/s

**PA** (Prozessautomation)

- Kommunikation in der Prozessleit- und Verfahrenstechnik
- Datenaustausch und Energieversorgung über verdrehte 2-Draht-Leitungen
- Relativ langsame Datenübertragungsrate von bis zu 31,25 kbit/s
- Digitale Alternative zur klassischen analogen Kommunikation (4 ... 20 mA-Technik)
- Eignung für explosionsgefährdete Bereiche Ex-Zone 0 und 1

**FMS** (Fieldbus Message Specification)

- Konzipiert für den Einsatz in komplexen Maschinen und Anlagen
- Wurde in der Normung von Variante DP abgelöst.

### Vorteile

- Weltweit führendes Feldbussystem – dank über 25 Jahre bewährter Technik und großer Verbreitung in allen Branchen der industriellen Automatisierung
- International standardisiert: genormt nach **IEC 61158**
- Zukunftssicher – stetige Weiterentwicklung der Technologie durch PROFIBUS-Nutzerorganisation

## 4.4 Ethernet-basierte Systeme

Der Anteil Ethernet-basierter Feldbussysteme (Industrial Ethernet) gewinnt seit einigen Jahren immer mehr an Bedeutung innerhalb der Automatisierungstechnik. Gerade in der Leitebene, aber auch im Bereich der Steuerungsebene gehört es heute fast zum Standard. Gründe hierfür liegen in den aus dem Office-Bereich bekannten Vorteilen.

Die bekanntesten Industrial-Ethernet-Kommunikationssysteme sind:

- PROFINET, insbesondere in Europa
- Modbus/TCP und EtherNet/IP™ in Nordamerika.

### Kennzeichnend

- Beschrieben in den IEEE 802-Standards
- Linien-, Ring- oder Sterntopologie
- Übertragungsraten von 10 und 100 MBit/s in industriellen Netzen
- Medienzugriff per CSMA/CD-Verfahren

### Topologie

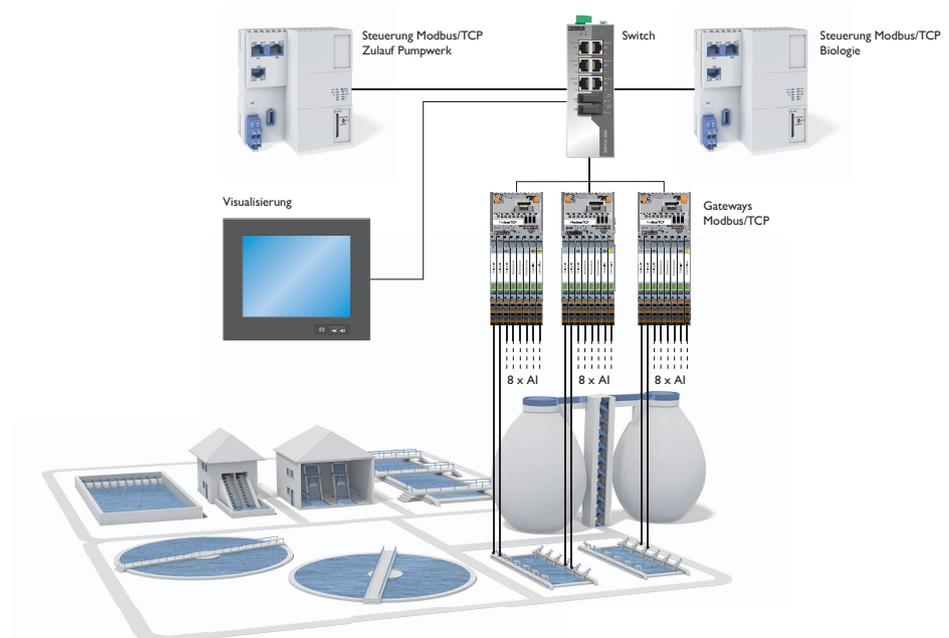


Bild 4-7 Topologie Ethernet-basierte Systeme

**Varianten****PROFINET IO**

- **Process Field Network**
- Basiert auf PROFIBUS DP-Funktionsmodell
- Standardisierte Diagnosefunktionen
- Entwickelt zur schnellen Übertragung von E/A-Daten
- Vernetzung mehrerer Steuerungen

**Modbus/TCP**

- Entwickelt durch Schneider Electric und IDA
- Nutzung der TCP/IP-Übertragungstechnik unter Beibehaltung der etablierten Modbus-Dienste
- TCP/IP-basierte Client/Server-Kommunikation

**EtherNet/IP™**

- Entwickelt durch ODVA und Rockwell Automation
- Verbreitung besonders auf dem amerikanischen Kontinent
- Als Anwendungsprotokoll kommt das von DeviceNet und ControlNet bekannte "Common Industrial Protocol" (CIP) zum Einsatz

**Vorteile**

- Möglichkeit große Datenmengen übertragen zu können
- Aufbau großer Netze möglich durch den Einsatz von Switches
- Nahezu unbegrenzte Anzahl an gleichberechtigten Teilnehmern
- Einsatz verschiedenster Übertragungsmedien möglich (Kupfer, LWL, Funktechnologien)
- Vertikale und horizontale Kommunikation in einer Anlage über ein Übertragungsmedium
- Nahezu beliebige Netztopologien möglich



## 5 Grundlagen der funktionalen Sicherheit

### 5.1 Funktionale Sicherheit gemäß Sicherheits-Integritätslevel (SIL)

Der Sicherheits-Integritätslevel (Safety Integrity Level, SIL) wird im Deutschen alternativ als „Sicherheitsanforderungsstufe“ bezeichnet. SIL gründet sich auf folgende Normen für die Prozessindustrie:

Tabelle 5-1 SIL-Normen für die Prozessindustrie

Name		Zielgruppe
<b>IEC/EN 61508</b>	Funktionale Sicherheit für sicherheitsbezogene elektrische, elektronische oder programmierbare elektronische Systeme	Hersteller von Geräten und Systemen
<b>IEC/EN 61511</b>	Funktionale Sicherheit - Sicherheitstechnische Systeme für die Prozessindustrie	Planer, Errichter und Betreiber von Anlagen

Für die funktionale Sicherheit von Maschinen existieren gesonderte Normen.

Bei der SIL-Beurteilung und Auslegung von Geräten und Systemen werden folgende Ziele verfolgt:

- Beurteilung hinsichtlich der Versagenswahrscheinlichkeit bzw. Zuverlässigkeit der Sicherheitsfunktionen
- Nachvollziehbare Messbarmachung und Quantifizierung von Ausfallwahrscheinlichkeit bzw. Risikoreduzierung
- Anwendung sicherheitsgerichteter Konstruktionsprinzipien, um das angestrebte niedrige Level für Fehlfunktionen auf ein tolerierbares Restrisiko zu begrenzen
- Letztlich der Schutz von Leben, Gesundheit, Umwelt und Gütern

In der sogenannten Gefährdungsbeurteilung von Systemen zur Ermittlung ihrer SIL-Level werden zwei Faktoren berücksichtigt:

- Zuverlässigkeit bzw. Ausfallwahrscheinlichkeit des Systems
- Gefahrenpotenzial des Systems

Nach der genannten Norm wird in vier SIL-Level von Stufe 1 (gering) bis Stufe 4 (hoch) unterteilt. Systeme mit geringem Gefahrenpotenzial können mit einem kleinen SIL-Level betrieben werden. Systeme mit SIL-Level 1 und 2 können die Hersteller in Eigenverantwortung beurteilen. Systeme mit hohem Gefahrenpotenzial benötigen einen hohen SIL-Level. Systeme mit SIL-Level 3 und 4 müssen durch unabhängige Dritte beurteilt und zertifiziert werden.

Die SIL-Beurteilung darf sich jedoch nicht auf die einzelnen Baugruppen und Schutzeinrichtungen beschränken, da sich die Normenforderungen auf die Sicherheitskreise beziehen, also auf die Zusammenschaltung der verschiedenen Betriebsmittel wie Sensoren, Aktoren, Steuerungselemente etc.

Werden Teilsysteme verschiedenen SIL-Levels zugeordnet, so besitzt das Gesamtsystem den niedrigsten Level der Teilsysteme. Um den SIL-Level eines Teilsystems zu erhöhen, können z. B. Komponenten redundant ausgelegt werden. In der Prozessindustrie werden Messkreise meist in SIL-Level 2 eingruppiert, gelegentlich auch in Level 3 und dann gewöhnlich durch redundante Auslegung von Teilsystemen.

### 5.1.1 SIL-Betrachtung

Aus den SIL-Normen ergibt sich die folgende Vorgehensreihenfolge, wobei im Einzelnen das 4-Augen-Prinzip bei allen Beurteilungs-, Planungs- und Verifikationsschritten gefordert ist.

1. Risikoanalyse: Ermittlung der erforderlichen Risikoreduzierung (Spezifikation der SIL-Anforderung)
2. Realisierung der Risikoreduzierung (Implementierung und SIL-Bewertung einer Schutzeinrichtung)

#### 1. Risikoanalyse

- a. Identifizierung aller Risiken (Einsatz eines Risikoidentifizierungsverfahrens)
- b. Reduzierungsbedarf für jedes Risiko ermitteln
- c. Erforderliche Risikoreduzierung für jedes Risiko quantifizieren (Einsatz einer Risikobewertungsverfahren, aus dem eine SIL-Anforderung als Ergebnis abgeleitet werden kann)

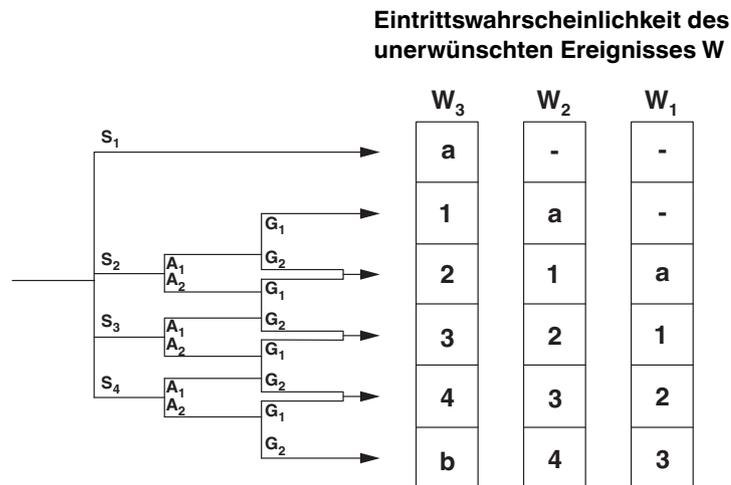
Risikoidentifizierung und Risikobewertung werden häufig mit Software-Unterstützung vorgenommen. Verbreitet eingesetzte Verfahren:

#### Verfahren zur Risikoidentifizierung

- HAZOP („Hazard and Operability Study“)
- Ergebnisbaumanalyse (ETA, „Event Tree Analysis“)
- Fehlerbaumanalyse (FTA, „Fault Tree Analysis“)

#### Verfahren zur Risikobewertung und -quantifizierung

- Risikograph (siehe Bild 5-1)
- LOPA („Layer of Protection Analysis“)
- Risikomatrix (siehe Bild 5-2)



- 1, 2, 3, 4 Sicherheits-Integritätslevel, SIL
- tolerierbares Risiko, keine Sicherheitsanforderungen
  - a keine besonderen Sicherheitsanforderungen
  - b ein einzelnes E/E/PE-System reicht nicht aus

Bild 5-1 Beispiel für einen Risikographen

**Risikoparameter**

<b>Schadensausmaß</b>	<p><b>S<sub>1</sub></b> leichte Verletzung oder leichter Schaden</p> <p><b>S<sub>2</sub></b> schwere, irreversible Verletzung oder Tod einer Person, temporärer schwerer Schaden</p> <p><b>S<sub>3</sub></b> Tod mehrerer Personen, langfristiger Schaden</p> <p><b>S<sub>4</sub></b> viele Tote, katastrophale Auswirkungen</p>
<b>Häufigkeit/Aufenthaltsdauer</b>	<p><b>A<sub>1</sub></b> seltener bis häufiger Aufenthalt im Gefahrenbereich</p> <p><b>A<sub>2</sub></b> häufiger bis dauernder Aufenthalt im Gefahrenbereich</p>
<b>Gefahrenabwehrung</b>	<p><b>G<sub>1</sub></b> möglich</p> <p><b>G<sub>2</sub></b> nicht abwendbar, kaum möglich</p>
<b>Eintrittswahrscheinlichkeit des unerwünschten Ereignisses</b>	<p><b>W<sub>1</sub></b> sehr gering, kaum</p> <p><b>W<sub>2</sub></b> gering</p> <p><b>W<sub>3</sub></b> hoch, häufig</p>

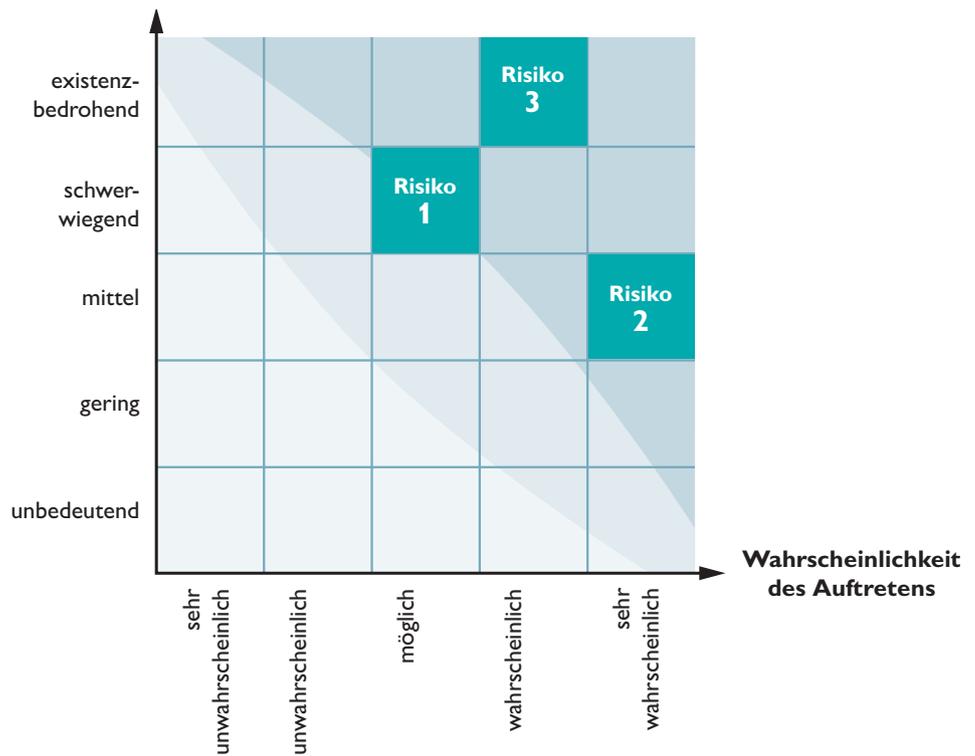


Bild 5-2 Beispiel für eine Risikomatrix

### 2. Risikoreduzierung

Die Betriebsleittechnik (BLT) einer Anlage ermöglicht den Normalbetrieb und beinhaltet in der Regel bereits sicherheitstechnische Funktionen. Diese können jedoch selten alle vermeidbaren Risiken bis zum vertretbaren Restrisiko abdecken. Deshalb werden zusätzliche BLT-Schutzeinrichtungen eingesetzt, die nur bei Fehlfunktionen in Aktion treten.

Die Auslegung der BLT-Schutzeinrichtungen kann ereignisverhindernd oder auswirkungs-/schadensbegrenzend sein und muss auf das Risiko abgestimmt werden:

- Das tolerierbare Restrisiko muss hinreichend klein sein.
- Der Aufwand für Planung, Einbau und Betrieb muss angemessen sein.

Ziel ist deshalb, dass die BLT-Schutzeinrichtung möglichst genau die geforderte Risikoreduzierung (SIL-Level-Anforderung) trifft:

- Hinweise zur Ausgestaltung der Schutzeinrichtung geben die Normen **IEC/EN 61508** und **IEC/EN 61511** (siehe oben) sowie die Richtlinie **VDI/VDE 2180** „Sicherung von Anlagen der Verfahrenstechnik mit Mitteln der Prozessleittechnik“.
- Untersucht werden muss dabei, ob ein Ausfall der Schutzeinrichtung zufälligen oder systematischen Ursachen unterliegt, wie wahrscheinlich er ist und ob er vermeidbar oder nicht vermeidbar ist.
- Die praktische Umsetzung der Schutzeinrichtung sollte die drei folgenden Aspekte abdecken:
  - a) **Fehlervermeidung** durch Anwendung eines FSM-Systems („Functional Safety Management)
  - b) **Fehlerbeherrschung** durch Redundanz, Diagnosedeckungsgrad, sichere Zustände im Fehlerfall
  - c) Quantifizierung der **Versagenswahrscheinlichkeit** aufgrund zufälliger Fehler (PFD-/PFH-Berechnung, siehe unten)

### 5.1.2 SIL-relevante Kennwerte

Die SIL-relevanten Sicherheitskennwerte liefern Gerätehersteller in der Gerätedokumentation, um Planern und Anwendern die SIL-Klassifikation von Messketten zu ermöglichen, in denen die Geräte eingesetzt werden.

Die in den folgenden beiden Beispielen benutzten Abkürzungen werden im Anschluss ab Seite 64 erläutert.

#### Beispiel aus einem Datenblatt

#### Sicherheits-Integritätsanforderungen Fehlerraten

- Typ B-Gerät (nach EN 61508-2)
- Safety Integrity Level (SIL) 2
- HFT = 0
- Architektur 1oo1

$\lambda_{sd}$	$\lambda_{su}$	$\lambda_{dd}$	$\lambda_{du}$	SFF	DC <sub>D</sub>	HFT
4,61 *10 <sup>-7</sup>	1,50 *10 <sup>-7</sup>	3,18 *10 <sup>-8</sup>	3,23 *10 <sup>-7</sup>	91,3 %	90,2 %	0

Die gesamte Ausfallrate beträgt:  $9,62 * 10^{-7}$

Die MTTF (Mean Time To Failure) beträgt damit: 119 Jahre.

Aus den Fehlerraten wird die Wahrscheinlichkeit eines gefahrbringenden Ausfalls pro Stunde für die Betriebsart „kontinuierliche Anforderung“ und die mittlere Ausfallwahrscheinlichkeit der entworfenen Funktion bei Anforderung für die Betriebsart „niedrige Anforderung“ ermittelt:

#### PFD<sub>avg</sub>-Werte

T[PROOF] =	1 Jahr	2 Jahre	3 Jahre	5 Jahre	7 Jahre	8 Jahre
PFD <sub>avg</sub> =	1,3 * 10 <sup>-4</sup>	2,6 * 10 <sup>-4</sup>	3,91 * 10 <sup>-4</sup>	6,51 * 10 <sup>-4</sup>	9,11 * 10 <sup>-4</sup>	1,04 * 10 <sup>-3</sup>

PFH\* =  $3,23 * 10^{-8}/h$

Die Berechnung erfolgte unter der Annahme eines Überprüfungsintervalls von 1 Jahr und einer Reparaturzeit von 8 h.

Ausgehend von dem ermittelten Wert für die mittlere Ausfallwahrscheinlichkeit PFD<sub>avg</sub> kann das Überprüfungsintervall auf bis zu 7 Jahre erhöht werden.

Beispiel einer FMEDA-Tabelle

Tabelle 5-2 FMEDA<sup>1</sup>-Tabelle aus einer TÜV-Zulassung für ein Gerät

SFF	Typ A Teilsysteme			Typ B Teilsysteme		
Anteil ungefährlicher Ausfälle	HFT-Fehlertoleranz der Hardware			HFT-Fehlertoleranz der Hardware		
	0	1	2	0	1	2
< 60 %	SIL 1	SIL 2	SIL 3	nicht erlaubt	SIL 1	SIL 3
60 % - < 90 %	SIL 2	SIL 3	SIL 4	SIL 1	SIL 2	SIL 4
90 % - < 99 %	SIL 3	SIL 4	SIL 4	SIL 2	SIL 3	SIL 4
≥ 99 %	SIL 3	SIL 4	SIL 4	SIL 3	SIL 4	SIL 4
Sicherheits-Integritätslevel (SIL)	<b>Betriebsart mit niedriger Anforderungsstufe</b> (mittlere Ausfallwahrscheinlichkeit der Sicherheitsfunktion bei Anforderung = PFD)					
4	≥ 10 <sup>-5</sup> bis 10 <sup>-4</sup>					
3	≥ 10 <sup>-4</sup> bis 10 <sup>-3</sup>					
2	≥ 10 <sup>-3</sup> bis 10 <sup>-2</sup>					
1	≥ 10 <sup>-2</sup> bis 10 <sup>-1</sup>					

<sup>1</sup> FMEDA = Failure Mode Effect and Diagnostic Analysis

Erläuterung der Abkürzungen in den Beispielen (Datenblatt, FMEDA-Tabelle)

PFD<sub>avg</sub>

**Average Probability of Failure on Demand**

- Mittlere Wahrscheinlichkeit gefahrbringender Ausfälle einer Sicherheitsfunktion im Anforderungsfall
- Wird für Betriebsarten mit „niedriger Anforderungsrate“ bestimmt. In der Regel arbeiten Schutzsysteme prozesstechnischer Anlagen der chemischen Industrie mit niedriger Anforderungsrate:
  - a) Die Sicherheitsfunktion wird nur im Gefahrenfall herangezogen, um das zu überwachende System in den definierten sicheren Zustand zu überführen.
  - b) Die Sicherheitsfunktion wird weniger als einmal pro Jahr angefordert.

PFH

**Probability of Dangerous Failure per Hour**

- Ausfallwahrscheinlichkeit je Stunde für die Sicherheitsfunktion
- Wird für Betriebsarten mit „hoher Anforderungsrate“ bestimmt, also wenn das zu überwachende System dauerhaft in seinem normalen sicheren Zustand gehalten werden muss (z. B. bei der Drehzahlüberwachung an Maschinen).

SFF

**Safe Failure Fraction**

- Anteil ungefährlicher Ausfälle:  
Anteil von Ausfällen ohne Potenzial, das sicherheitsbezogene System in einen gefährlichen oder unzulässigen Funktionszustand zu versetzen
- Ein Wert von z. B. 91,3 % bedeutet, dass durchschnittlich 91,3 von 100 Ausfällen für die Sicherheitsfunktion unkritisch sind.

**HFT**

**Hardware Fault Tolerance**

- Hardware-Fehler-Toleranz:  
Fähigkeit einer Funktionseinheit, eine geforderte Funktion bei Bestehen von Fehlern oder Abweichungen weiter auszuführen
- Ein Wert von 0 bedeutet „keine Hardware-Redundanz“, so dass ein Fehler (Ausfall der Hardware) zum Verlust der Sicherheitsfunktion führt. Ein Wert von 1 (einfache Redundanz) bedeutet, dass mindestens zwei Fehler zum Verlust der Sicherheitsfunktion erforderlich sind.

**Typ A/B**

**Typ-A-Geräte**

- Einfache Geräte, bei denen das Ausfallverhalten der Bauteile komplett beschreibbar ist, z. B. ein 4 ... 20 mA-Speisetrennverstärker

**Typ-B-Geräte**

- Komplexe Geräte, bei denen das Ausfallverhalten nicht vollständig bekannt ist, z. B. bei Mikroprozessor-Software und bei Geräte-Firmware

$\lambda_d, \lambda_{dd}, \lambda_{du}, \lambda_s$

$\lambda_d$	Rate of Dangerous Failures	Anteil Gefahr bringender Ausfälle je Stunde
$\lambda_{dd}$	Rate of Dangerous Detected Failures	Anteil erkannter Gefahr bringender Ausfälle je Stunde
$\lambda_{du}$	Rate of Dangerous Undetected Failures	Anteil unerkannter Gefahr bringender Ausfälle je Stunde
$\lambda_s$	Rate of Safe Failures	Anteil ungefährlicher Ausfälle je Stunde

**5.2 Sicherheit in explosionsgefährdeten Bereichen**



Explosionsschutz ist ein Bereich der Sicherheitstechnik und spielt insbesondere für die Auslegung und den Betrieb von technischen Anlagen in folgenden Bereichen eine wichtige Rolle:

- Chemische Industrie
- Bergbau, Erdöl- und Erdgasförderung
- Holzverarbeitende- und Textilindustrie
- Lebensmittelindustrie
- Lackierungstechnik

Explosionsschutz muss in Bereichen berücksichtigt werden, die bei einem flüchtigen Blick nicht betroffen scheinen, wie z. B. bei der Schokoladeherstellung:

- Kakaopulver kann zusammen mit Luftsauerstoff die Gefahr einer Staubexplosion darstellen.
- Zur Reinigung von Mischkesseln und Leitungen werden hochprozentige Alkohollösungen eingesetzt, die explosionsfähige Gasgemische bilden können.

Explosionsschutz muss überall technisch umgesetzt werden, wo brennbare Stoffe in Form von Gas, Dampf, Nebel oder Staub mit Sauerstoff reagieren können, wenn eine Zündquelle vorhanden ist. Je nach Ausbreitungsgeschwindigkeit dieser Reaktion bildet man - über das Verbrennen hinaus - die folgende grobe Klassifikation:

- Verpuffung [cm/s]
- Explosion [m/s]
- Detonation [km/s]

### Zündquellen

Einen Überblick über Zündquellen gibt die folgende Tabelle.

Tabelle 5-3 Zündquellen

Zündquelle	Beispiel für die Ursache
Funken	Mechanisch erzeugte Funken (z. B. durch Reib-, Schlag- oder Abtragvorgänge), elektrische Funken
Lichtbögen	Kurzschluss, Schaltvorgänge
Heiße Oberflächen	Heizkörper, spanabhebende Bearbeitung, Erwärmung im Betrieb
Flammen und heiße Gase	Verbrennungsreaktionen, Funkenflug bei Schweißarbeiten
Elektrische Anlagen	Öffnen/Schließen von Kontakten, Wackelkontakt Schutzkleinspannungen ( $U < 50 \text{ V}$ ) sind keine Maßnahme des Explosionsschutzes. Es kann auch bei kleinen Spannungen noch genügend Energie erzeugt werden, um eine explosionsfähige Atmosphäre zu entzünden.
Statische Elektrizität	Entladung aufgeladener, isoliert angeordnete leitende Teile, bei z. B. vielen Kunststoffen
Elektrische Ausgleichsströme, kathodischer Korrosionsschutz	Rückströme von Generatoren, Körper-/Erdschluss bei Fehlern, Induktion
Elektromagnetische Wellen im Bereich $3 \times 10^{11} \dots 3 \times 10^{15} \text{ Hz}$	Laserstrahl zur Entfernungsmessung, insbesondere bei Fokussierung
Hochfrequenz $10^4 \dots 3 \times 10^{12} \text{ Hz}$	Funksignale, industrielle Hochfrequenzgeneratoren für Erwärmung, Trocknung, Schnitt
Blitzschlag	Atmosphärische Wetterstörungen
Ionisierende Strahlung	Röntengerät, radioaktiver Stoff, Absorption von Energie führt zur Erwärmung
Ultraschall	Absorption von Energie in festen/flüssigen Stoffen führt zur Erwärmung
Adiabatische Kompression und Stoßwellen	Schlagartiges Öffnen von Ventilen
Exotherme Reaktionen	Chemische Reaktion führt zur Erwärmung

**Gaskonzentration**

Bei Gasen entscheidet ihre Konzentration im Gas-Luftgemisch, ob eine Explosion möglich ist. Nur wenn die Konzentration des Stoffs zwischen der unteren Explosionsgrenze (UEG) und oberen Explosionsgrenze (OEG) liegt, kann das Gemisch gezündet werden.\*

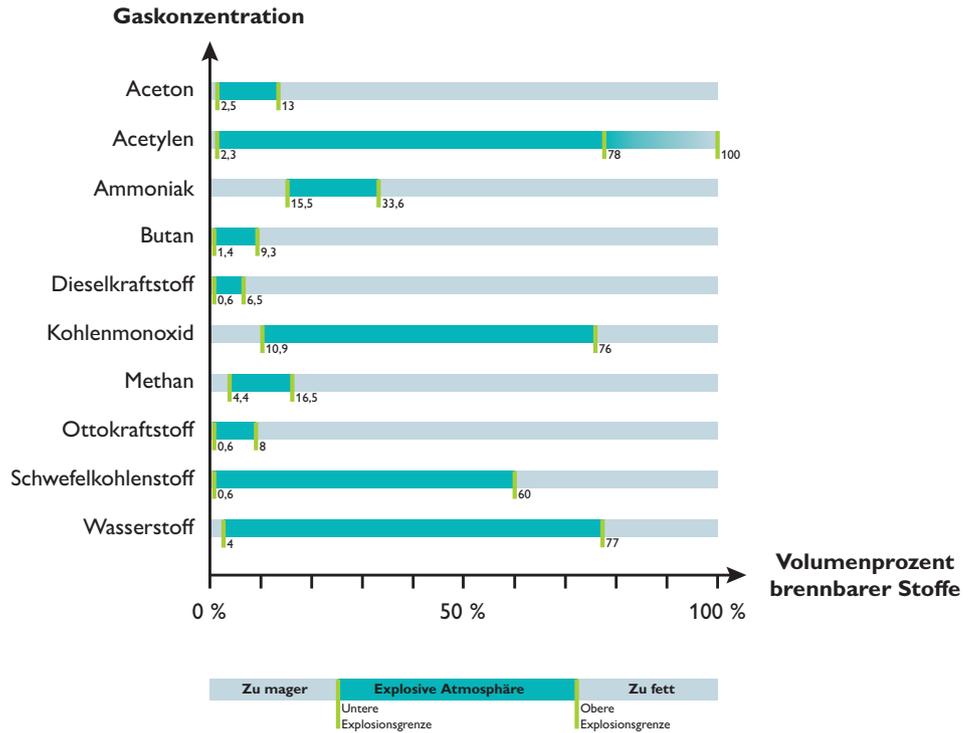


Bild 5-3 Beispiele für zündfähige Gaskonzentrationen in Luft bei Normaldruck

Die Tabelle gilt für Normaldruck und Raumtemperatur. Der Explosionsbereich eines Stoffes erweitert sich mit steigendem Druck und steigender Temperatur.

**Staubkonzentration**

Für Stäube lassen sich ähnliche Angaben machen wie für Gase, auch wenn die Explosionsgrenzen hier nicht die gleiche Bedeutung haben. Staubwolken sind in der Regel inhomogen und die Konzentration innerhalb einer Stauwolke schwankt sehr stark. Es lassen sich für Stäube eine untere Zündgrenze (bei ca. 20 ... 60 g/m<sup>3</sup>) und eine obere Zündgrenze (bei ca. 2 ... 6 kg/m<sup>3</sup>) ermitteln.

\* Einige chemisch unbeständige Stoffe (z. B. Acetylen, Ethylenoxid) können auch ohne Sauerstoff durch Selbstzersetzung exotherme Reaktionen eingehen. Die obere Explosionsgrenze (OEG) verschiebt sich dann auf 100 Volumen-Prozent.

**Maßnahmen**

Explosionsschutzmaßnahmen werden wie folgt klassifiziert:

1. Primärer Explosionsschutz: **Vermeiden explosionsfähiger Atmosphäre**  
Ersatz, Verdünnung, Passivierung von explosionsfähigen Stoffen z. B. durch Zusatz von Stickstoff oder Kohlendioxid
2. Sekundärer Explosionsschutz: **Vermeiden wirksamer Zündquellen**  
Vermeidung aller Zündquellen, Verringerung der Ausdehnung der explosionsgefährdeten Zone
3. Tertiärer Explosionsschutz: **Konstruktiver Explosionsschutz**  
Explosionsunterdrückung durch Löscheinrichtungen, druckfester und druckstoßfester Aufbau von Geräten und Bauwerken, automatisierte Verschluss- und Druckableitungssysteme

Ein integrierter Explosionsschutz berücksichtigt alle drei Maßnahmenklassen, in der angegebenen Reihenfolge sowohl nach Priorität als auch nach Abfolge.

**5.2.1 Richtlinien, Normen, Bestimmungen**

**ATEX-Richtlinien**

In Europa ist der Explosionsschutz in den ATEX-Richtlinien geregelt:

- ATEX-Produktrichtlinie 2014/34/EU (auch als ATEX 114 bezeichnet) gilt für den Hersteller von Einrichtungen und Betriebsmittel, von denen eine Zündgefahr ausgehen kann.
- ATEX-Betriebsrichtlinie 1999/92/EG (auch als ATEX 118a oder ATEX 137) gilt für den Anlagenbetreiber.

**Gerätegruppe, Gerätekategorie**

Die ATEX-Richtlinien unterteilen die Geräte nach Gruppe und Kategorie wie folgt, Einzelheiten zeigt die folgende Tabelle:

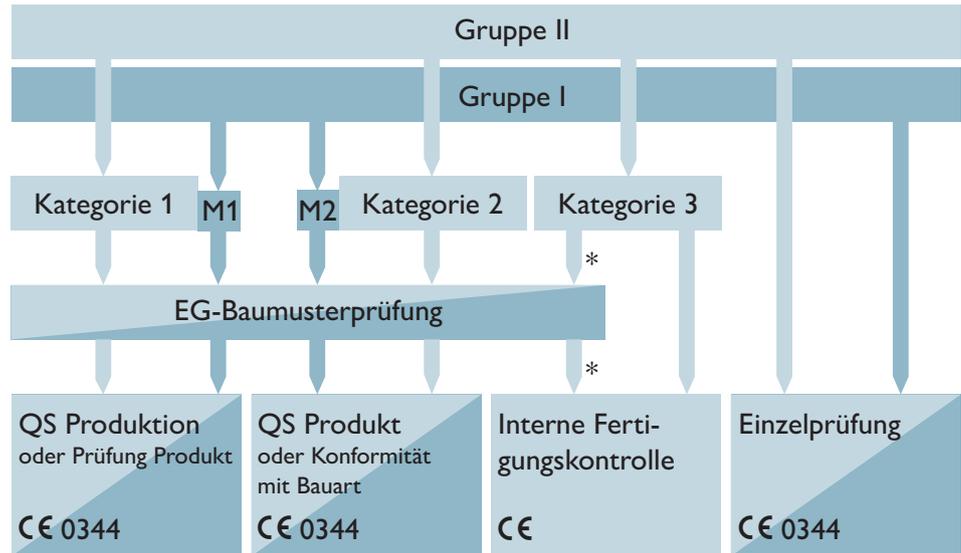
- Gerätegruppe I (Bergwerke) mit den Kategorien M1 und M2
- Gerätegruppe II (andere Geräte) mit den Kategorien 1, 2, 3

Tabelle 5-4 Gerätegruppen und -kategorien nach ATEX-Richtlinien

Gerätegruppe	Kategorie	Schutzgrad	Gewährleistung des Schutzes	Betriebsbedingungen
I	M1	sehr hoher Grad an Sicherheit	Zwei unabhängige Schutzmaßnahmen Sicher, wenn zwei Fehler unabhängig voneinander auftreten	Produkte müssen aus Sicherheitsgründen bei vorhandener explosionsfähiger Atmosphäre weiter betrieben werden können
I	M2	hoher Grad an Sicherheit	Schutzmaßnahmen bei normalem Betrieb auch unter erschwerten Bedingungen wirksam	Diese Produkte müssen beim Auftreten einer explosionsfähigen Atmosphäre abgeschaltet werden können
II	1	sehr hoch	Zwei unabhängige Schutzmaßnahmen. Sicher, wenn zwei Fehler unabhängig voneinander auftreten	Geräte bleiben in den Zonen 0, 1, 2 (G) und 20, 21, 22 (D) weiter einsatzbereit und werden weiter betrieben
II	2	hoch	Im normalen Betrieb und bei üblicherweise auftretenden Fehlern sicher	Geräte bleiben in den Zonen 1, 2 (G) und 21, 22 (D) weiter einsatzbereit und werden weiter betrieben
II	3	normal	Im normalen Betrieb sicher	Geräte bleiben in den Zonen 2 (G) und 22 (D) weiter einsatzbereit und werden weiter betrieben

**Konformitätsbewertung**

Abhängig von der Zuordnung eines Geräts bei bestimmungsgemäßem Gebrauch zu Gerätegruppe und -kategorie wird das Verfahren zur Konformitätsbewertung nach Bild 5-4 festgelegt:



\* Optional möglich, ähnliches Verfahren

Bild 5-4 Ermittlung des Verfahrens zur Konformitätsbewertung

Die ATEX-Richtlinien legen die grundlegenden Sicherheits- und Gesundheitsanforderungen fest, die von den sogenannten harmonisierten Normen oder von eigenen Normen und Richtlinien der Hersteller und Betreiber umgesetzt werden.

- Entweder muss die Konformität der Geräte mit den Normen und Richtlinien durch eine „benannte Stelle“ geprüft und bescheinigt werden (in Bild 5-4 „CE 0344“; die in der Abbildung als Beispiel angegebene benannte Stelle „0344“ bezeichnet die Prüfstelle DNV KEMA in den Niederlanden mit Niederlassungen in über 30 Ländern).
- Oder der Hersteller bescheinigt selbst, weil das Gerät nicht der Fertigungsüberwachung unterliegt (in Bild 5-4 „CE“ ohne 4-stellige Prüfstellenangabe).

Bei den verschiedenen Normen und Standards für die unterschiedlichen Anwendungsfälle lassen sich die folgenden Geltungsbereiche unterscheiden. In der Regel gibt es dabei Entsprechungen zwischen den europäischen (EN), internationalen (IEC), USA- (NEC, FM, UL) und Kanada-(CSA)Regelwerken:

- Elektrische Betriebsmittel in gasexplosionsgefährdeten Bereichen
- Elektrische Betriebsmittel in staubexplosionsgefährdeten Bereichen
- Nichtelektrische Betriebsmittel in explosionsgefährdeten Bereichen
- Betrieb von prozesstechnischen Anlagen

## 5.2.2 Zoneneinteilung

Die Räume, in denen eine explosionsfähige Atmosphäre auftreten kann, werden in Zonen eingeteilt. Die Wahrscheinlichkeit einer Gefahr steht dabei im Vordergrund. Bestehen bei der Einteilung in Zonen Zweifel, so müssen sich die Schutzmaßnahmen im gesamten explosionsgefährdeten Bereich nach der jeweils höchstmöglichen Wahrscheinlichkeit des Auftretens gefährlicher explosionsfähiger Atmosphäre richten.

Tabelle 5-5 Anforderung an elektrische Betriebsmittel in Ex-Zonen

Zone	Zulassung elektrischer Betriebsmittel
0	ausdrückliche Zulassung für Zone 0 und Baumusterprüfbescheinigung einer anerkannten Prüfstelle
1	Baumusterprüfbescheinigung einer anerkannten Prüfstelle
2	Anforderungen in VDE 0165/9.83, Abschn. 6.3

Die in Europa geltenden Normen unterscheiden bei der Zoneneinteilung folgende Abhängigkeiten:

- getrennt für gasexplosionsgefährdete Bereiche und für staubexplosionsgefährdete Bereiche
- nach Art der Gefahr
- nach Gerätekategorie (siehe Tabelle 5-4)

Tabelle 5-6 Zonen für gasexplosionsgefährdete Bereiche nach EN 60079-10-1

Zonen	Art der Gefahr
Zone 0	ständig, lange Zeiträume, häufig
Zone 1	gelegentlich
Zone 2	normalerweise nicht, nur kurzzeitig

Tabelle 5-7 Zonen für staubexplosionsgefährdete Bereiche nach EN 60079-10-2

Einteilung in Deutschland vor ATEX	Einteilung nach ATEX	Art der Gefahr
Zone 10	Zone 20	ständig, lange Zeiträume, häufig
	Zone 21	gelegentlich
Zone 11	Zone 22	normalerweise nicht, nur kurzzeitig

Tabelle 5-8 Zuordnung von Zonen und Gerätekategorien nach Betrieberrichtlinie 1999/92/EG

Zone	Gerätekategorie
0, 20	1
1, 21	1, 2
2, 22	1, 2, 3

### 5.2.3 Zündschutzarten

Zündschutzarten definieren Konstruktionsprinzipien, die in den verschiedenen Bereichen angewendet werden müssen, um Schutz vor Explosionen zu bewirken. Die Einzelheiten sind in EN/IEC-Normen beschrieben. Die vier folgenden Tabellen geben Informationen zu den Zündschutzart-Normungen für elektrische Betriebsmittel.

Daneben existieren weitere Normen für Zündschutzarten für nichtelektrische Geräte (z. B. Getriebe, pneumatische Pumpen, Förderbänder).

Tabelle 5-9 Gas-Zündschutzarten für elektrische Betriebsmittel

Zündschutzart		Schutzprinzip	EN/IEC	Zone	Anwendung
Ex ia, ib, ic	Eigensicherheit	Eigensicherheit, eigensichere Systeme, eigensichere (FISCO) und nicht funkende (FNICO) Feldbussysteme	60079-11, 60079-25, 60079-27	0, 1, 2	Mess-, Steuerungs- und Regelungstechnik, Sensoren, Aktoren, Instrumentierung
Ex d	Druckfeste Kapselung	Druckfeste Kapselung	60079-1	1, 2	Schalt- Befehls- und Meldegeräte, Steuerungen, Motoren, Leistungselektronik
Ex e	Erhöhte Sicherheit	Erhöhte Sicherheit	60079-7	1, 2	Abzweig- und Verbindungskästen, Gehäuse, Motoren, Klemmen
Ex px, py, pz	Überdruckkapselung	Überdruckkapselung	60079-2	1, 2	Schalt- und Steuerschränke, Motoren, Mess- und Analysegeräte, Rechner
Ex o	Ölkapselung	Ölkapselung	60079-6	1, 2	Transformatoren, Relais, Anlaufsteuerungen, Schaltgeräte
Ex ma, mb, mc	Vergusskapselung	Ausschluss explosionsfähiger Atmosphäre	60079-18	1, 2	Spulen von Relais und Motoren, Elektronik, Magnetventile, Anschlusssysteme
Ex q	Sandkapselung	Sandkapselung	60079-5	1, 2	Transformatoren, Relais, Kondensatoren
Ex nA, nC, nL, nR, nP	Zündschutzart für Zone 2	verschiedene	60079-15	2	nur Zone 2
Ex op is, oppr, opsh	Optische Strahlung	Energieübertragung von optischer Strahlung begrenzen oder vermeiden	60079-28	1, 2	Optoelektronische Geräte

#### Eigensicherheit Ex i

Hauptmerkmale der Zündschutzart Eigensicherheit:

- Geltung für den gesamten Stromkreis, in dem ein elektrisches Betriebsmittel betrieben wird
- Spannungsbegrenzung vermindert die Zündfunkenenergie
- Strombegrenzung vermindert Oberflächentemperaturen
- Begrenzung der im Stromkreis gespeicherten Energie (in Kapazitäten und Induktivitäten)
- Trennung der eigensicheren von den nicht eigensicheren Stromkreisen durch Beschaltung mit Widerständen und Zener-Dioden oder durch galvanische Trennung

Für die Eigensicherheit werden in EN/IEC 60079-11 drei Schutzniveau-Stufen unterschieden:

Tabelle 5-10 Schutzniveaus bei Zündschutzart Eigensicherheit

Schutz-niveau	Zugelassen in Ex-Zone	Fehlertoleranz	
ia	0 <sup>1</sup> , 1, 2	Zweifehler-sicherheit	Das Auftreten eines Fehlers oder irgendeiner Kombination von zwei Fehlern kann im Normalbetrieb keine Zündung verursachen (z. B. durch Beschaltung mit 3 redundanten Zener-Dioden <sup>2</sup> )
ib	1, 2	Einfehler-sicherheit	Das Auftreten eines Fehlers kann im Normalbetrieb keine Zündung verursachen (z. B. durch Beschaltung mit 2 redundanten Zener-Dioden <sup>2</sup> )
ic	2	keine	Das Gerät kann im Normalbetrieb keine Zündung verursachen

<sup>1</sup> In Ex-Zone 0 empfiehlt IEC/EN 60079-14 neben Ex ia galvanische Trennung

<sup>2</sup> Zener-Dioden zur Spannungsbegrenzung sind Halbleiterbauelemente, werden als störanfällig eingestuft und müssen durch redundante Bauteile abgesichert werden. Schicht- oder Drahtwiderstände zur Strombegrenzung gelten als nicht störanfällige Bauteile. Im Fehlerfall werden sie hochohmig und können ohne Redundanz ausgeführt werden.

**Zündschutzart Ex n**

Hauptmerkmale der Zündschutzart Ex n:

- verbesserte Industriequalität für den Normalbetrieb
- ohne Fehlerbetrachtung (wie z. B. bei Ex i)
- nur für Gerätegruppe II in Zone 2 anwendbar
- Anlehnung an US-Norm NI mit Abweichungen bei Ex nC

Tabelle 5-11 Unterteilung der Gas-Zündschutzart „n“ für elektrische Betriebsmittel

Zündschutzart		Vergleich-bar mit ...	Schutzprinzip
Ex nA	Nicht funkend	Ex e	Auftreten von Lichtbögen, Funken oder heißen Oberflächen wird minimiert
Ex nC	Funkende Betriebsmittel	teilweise Ex d, Ex m	umschlossene Schalteinrichtung, nichtzündfähige Bauteile, hermetisch dichte, abgedichtete oder gekapselte Einrichtungen
Ex nR	Schwadensicheres Gehäuse	---	Eindringen von explosiven Gasen wird beschränkt
Ex nL	Energiebegrenzt (abgelöst durch Ex ic nach EN/IEC 60079-11)	Ex i	Energiebegrenzung, damit weder Funke noch thermische Wirkung eine Zündung hervorruft
Ex nP	Vereinfachte Überdruckkapselung	Ex p	Eindringen von explosiven Gasen wird durch Überdruck verhindert, Überwachung ohne Abschaltung

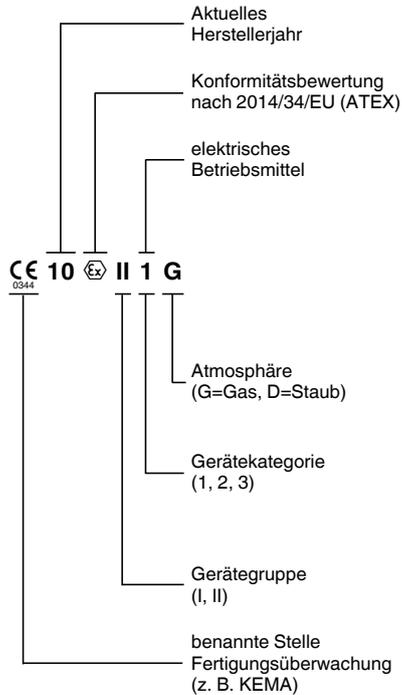
Tabelle 5-12 Staub-Zündschutzarten für elektrische Betriebsmittel

Zündschutzart	Schutzprinzip	EN/IEC	Zone	Anwendung	
Ex pD neu: P	Überdruckkapselung	Ausschluss explosionsfähiger Atmosphäre	61241-4 neu: 60079-2	21, 22	Schalt- und Steuerschränke, Motoren, Mess- und Analysegeräte
Ex iD neu: ia, ib, ic	Eigensicherheit	Begrenzung der Zündenergie und Oberflächentemperatur	61241-11 neu: 60079-11	20, 21, 22	Mess-, Steuerungs- und Regelungstechnik, Sensoren, Aktoren, Instrumentierung
Ex mD neu: ma, mb, mc	Vergusskapselung	Ausschluss explosionsfähiger Atmosphären	61241-18 neu: 60079-18	20, 21, 22	Spulen und Relais der Motoren, Elektronik und Anschlussysteme
Ex tD neu: ta, tb, tc	Schutz durch Gehäuse	Ausschluss explosionsfähiger Atmosphäre	61241-1/ neu: 60079-31	21, 22	Schalt-, Befehls- und Meldegeräte, Leuchten, Abzweig- und Verbindungskästen, Gehäuse

## 5.2.4 Kennzeichnung von Ex-Produkten

### 5.2.4.1 ATEX-Richtlinie und EN 60079-0

Kennzeichnung nach ATEX-Richtlinie



Kennzeichnung nach EN 60079-0:2009

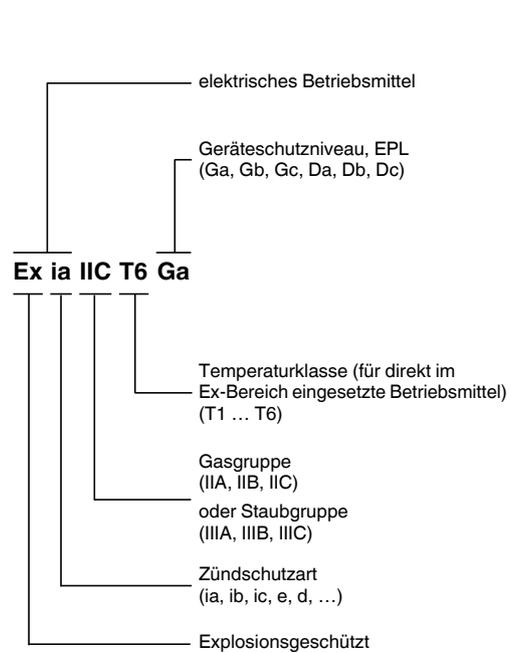


Bild 5-5 Kennzeichnung von Ex-Produkten

## Analoge Signalübertragung in der MSR-Technik

### ATEX-Kategorie, EN-60079 Schutzniveau

Die Zuordnung von Gerätekategorie nach ATEX und Geräteschutzniveau nach EN 60079-0:2009 zeigt die folgende Tabelle:

Tabelle 5-13 Zuordnung von Gerätekategorie nach ATEX und Geräteschutzniveau nach EN 60079-0:2009

	Gerätekategorie nach ATEX-Richtlinie 2014/34/EU	Geräteschutzniveau EPL (Equipment Protection Level)	Zone	Art der Gefahr
<b>Gas</b>	1G	Ga		Ständig, lange Zeiträume, häufig
	2G	Gb	1	Gelegentlich
	3G	Gc	2	Normalerweise nicht, nur kurzfristig
<b>Staub</b>	1D	Da	20	Ständig, lange Zeiträume, häufig
	2D	Db	21	Gelegentlich
	3D	Dc	22	Normalerweise nicht, nur kurzfristig
<b>Bergbau</b>	M1	Ma		Ständig, lange Zeiträume, häufig
	M2	Mb		Gelegentlich

### 5.2.4.2 EG-Baumusterprüfung

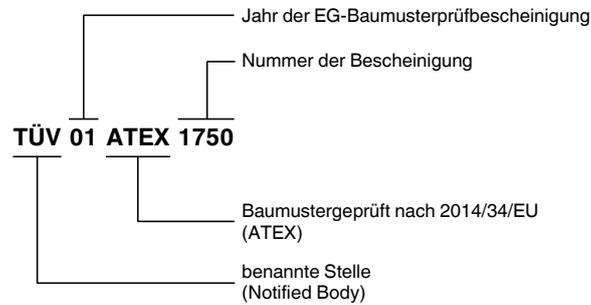


Bild 5-6 Informationen in einer EG-Baumusterprüfbescheinigung



Mehr Informationen zum Thema Explosionsschutz finden Sie in der Broschüre „Explosionsschutz - Theorie und Praxis“ (MNR 5107652).

# 6 Grundlagen des Überspannungsschutzes

**i** Webcode: #0144

## 6.1 Basiswissen

### Risikobetrachtung

Anlagen und Gebäude werden durch eine Risikobetrachtung nach IEC/EN 62305 bewertet. Ziel ist es, mögliche Personen- und Sachschäden sowie Betriebsstillstände zu vermeiden bzw. zu minimieren. Nur ein kleines, bekanntes Restrisiko sollte am Ende der Betrachtung und Maßnahmenumsetzung getragen oder versichert werden. Auch der Blitz- und Überspannungsschutz liefert einen wichtigen Anteil bei der Bewertung. Hier können mit vergleichsweise geringem Aufwand wertvolle Bewertungspunkte in der Risikoberechnung erworben werden. Hinzu kommt, dass der Blitz- und Überspannungsschutz von vielen Versicherungen mittlerweile nicht als optional, sondern als obligatorisch gesehen wird. Industrieanlagen erfordern nach den anerkannten Regeln der Technik und den entsprechenden Normen die Ausrüstung der technischen Anlagen mit Blitz- und Überspannungsschutz. Nur so wird gewährleistet, dass die Anlagensicherheit und die Verfügbarkeit hoch sind.

### Blitzschutz-zonen-Konzept

Im Teil 4 der IEC/EN 62305 wird aufgezeigt, nach welchen Prinzipien ein derartiges Grundkonzept für Blitz- und Überspannungsschutz ausgeführt werden kann. In diesem Sinne ist die gesamte Anlage in Blitzschutz-zonen (englisch: Lightning Protection Zones, LPZ) einzuteilen. Außerhalb der Gebäudehüllen spricht man von der Zone 0. Unterteilt wird diese weiterhin in Zone 0A und in Zone 0B. In Zone 0A liegt eine Gefährdung durch direkte Blitzeinschläge und das daraus resultierende volle elektromagnetische Feld. Hingegen ist in Zone 0B, bedingt durch einen äußeren Blitzschutz, die Wahrscheinlichkeit eines direkten Einschlages außerhalb der Fangstangen sehr gering. Im Fall eines Blitzeinschlages entsteht dennoch das volle elektromagnetische Feld.

Betrachtet man die innere Gebäudehülle, wird diese in "geschachtelte" Zonen unterteilt. In den verschiedenen Bereichen sind unterschiedlich hohe Bedrohungswerte hinsichtlich leitungsgebundener transients Überspannungen und elektromagnetischer Felder zu erwarten. Durch eine kaskadierte Gestaltung der Schutz-zonen nimmt die Gefährdung stufenweise ab. Die Störgrößen, die an den elektrischen Betriebsmitteln innerhalb der einzelnen Blitzschutz-zonen auftreten, sind nur noch so klein, dass keine Zerstörung daraus folgt. In der innersten Zone besteht dementsprechend der beste Schutz.

**LPZ:**  
Lightning Protection Zone

**SPD:**  
Surge Protective Device

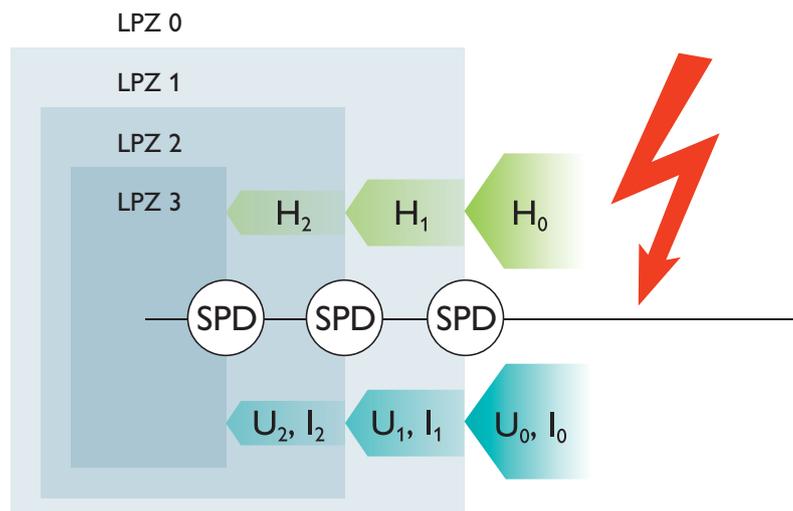


Bild 6-1 EMV-gerechtes Blitzschutz-zonen-Konzept

Betrachtet man die elektromagnetischen Felder, bewirkt die verschachtelte Anordnung von Raumschirmungen eine stufenweise Dämpfung. In Industriebauten können die Stahlkonstruktionen, Bewehrungselemente in Betondecken und Wänden und weitere metallische Bauteile wie Fassadenverkleidungen für Raumschirmung genutzt werden, wenn sie elektrisch leitend miteinander verbunden werden. Bei Neubauten können eine geschickte Planung und die gute Abstimmung zwischen den Gewerken das Ziel erreichen, dass mit relativ kleinem zusätzlichem Aufwand eine gute Raumschirmung aus den ohnehin geplanten Bauelementen entsteht. Bei bestehenden Bauten kann durch eine Nachrüstung von Ringleitern und Bewehrungselementen das Dämpfungsverhalten der LPZ verbessert werden. Beispielsweise die Ausführung der LPZ 3 ist recht einfach zu erreichen, wenn die elektrischen Baugruppen in metallischen Schaltschränken eingebaut sind. Hier stellt der Schaltschrank selbst die Hülle der Zone dar. In allen Fällen ist auf den elektrischen Potenzialausgleich und die Erdung nach gültigem Stand der Technik zu achten.

Der innere Blitz- und Überspannungsschutz wird ebenfalls in mehreren Stufen eingebracht, mit dem Ziel die transienten Überspannungen auf den elektrischen Leitungen zu begrenzen. Im Idealfall wird an jedem Zonenübergang ein Überspannungsschutzgerät (englisch: Surge Protective Device, SPD) installiert.

 Webcode: #0143

## 6.2 Überspannungsschutz für Stromversorgungssysteme

Für den Schutz von Stromversorgungssystemen wird ein Blitzstromableiter Typ 1 am Zonenübergang von 0 nach 1 vorgesehen. Gemäß Norm ist dieser Ableiter direkt an der Haus-einführung zu setzen. So lassen sich Einkopplungen in parallel verlegte Leitungen innerhalb des Gebäudes am besten vermeiden. In der Praxis sind die Typ 1-Ableiter häufig in der Hauptstromverteilung zu finden.

Typ 2-Ableiter sind am Zonenübergang von 1 nach 2 vorgesehen. In der Praxis befinden sich diese in Zwischenverteilern.

Typ 3-Ableiter bieten einen besonders guten Schutzpegel mit sehr geringen Restspannungswerten. Sie werden vor besonders empfindlichen elektronischen Geräten installiert. Der Abstand zwischen Schutzgerät und zu schützendem Gerät sollte so kurz wie möglich sein.

Die technischen Eigenschaften der Ableiter unterscheiden sich maßgeblich. Aus der Kombination ergibt sich ein optimaler Schutz in der Gesamtanlage. Typ 1-Ableiter können sehr hohe Ableitströme bis 100 kA zur Erde ableiten. Dieses hohe Ableitvermögen gewährleistet, dass auch sehr hohe Blitzströme von 200 kA keinen Schaden anrichten, wenn sie das äußere Blitzschutzsystem treffen. Ein Teil des Impulsstromes gelangt über die galvanische Verbindung zum Potenzialausgleich des Gebäudes in das Gebäudeinnere. Man geht bei der Auslegung des Ableitvermögens von Blitzstromableitern davon aus, dass sich der Blitzstrom 50:50 aufteilt.

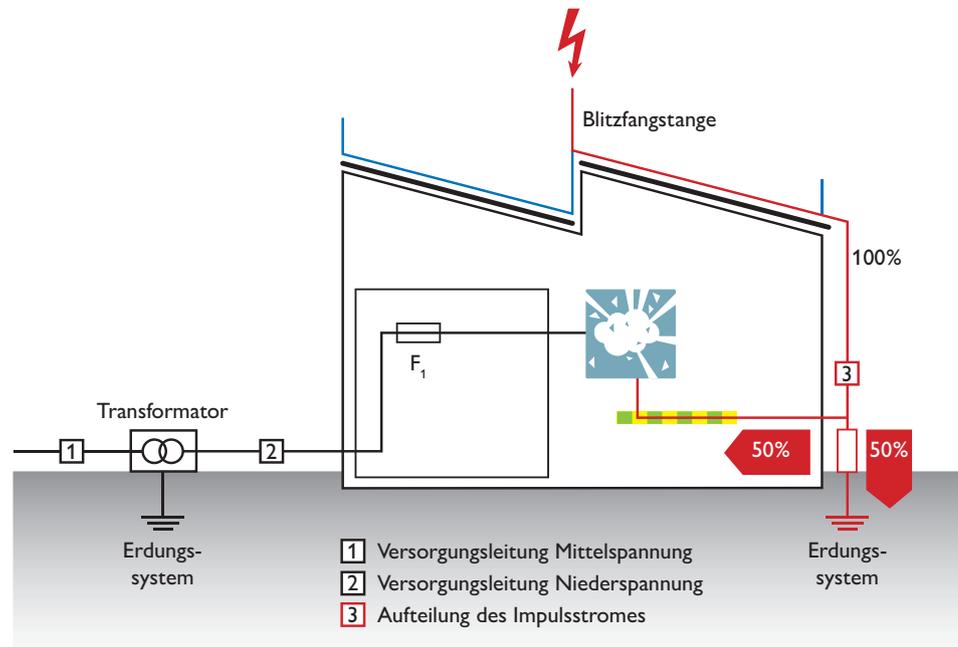


Bild 6-2 Effekt der Blitzstromaufteilung

Im weiteren Verlauf setzt sich der Effekt der Überspannung über die Leitungen im Gebäude bzw. über das Potenzialausgleichsnetzwerk auch in weiteren Gebäuden oder Anlagenteilen fort. Auch hier gilt, dass sich der Impulsstrom bei jeder Verzweigung aufteilt und letzten Endes über diverse Punkte zur Erde fließt.

Aufgrund der verbleibenden Restspannung über den Blitzstromableiter Typ 1 sind in den innen liegenden LPZ zwei weitere Schutzstufen zu installieren. Hier werden Typ 2- und Typ 3-Ableiter benötigt.

Bei der Auswahl von Überspannungsschutzgeräten ist die jeweils vorliegende Netzform zu berücksichtigen. Bestimmte Leitungslängen, typischerweise 10 m zwischen den einzelnen Schutzstufen, sorgen dafür, dass das koordinierte Ansprechverhalten der einzelnen Ableitertypen im Gesamtsystem funktioniert. Bei modernen Produkten eines Systems vom gleichen Hersteller funktioniert die Koordination der Produkte auch ohne Mindestleitungslänge, da die Technik optimal aufeinander abgestimmt ist und hochwertige Triggerelektroniken aufweist.

Die neueste Generation von Produkten funktioniert nahezu netzfolgestromfrei. In dem Moment, in dem das SPD einen transienten Impuls ableitet, besteht zwischen den energieführenden Leitern und der Erde ein sehr niederimpedanter Zustand. Moderne SPD begrenzen bei diesem Ereignis den Strom aus dem Energieversorgungsnetz, welcher folglich ebenfalls über den Ableiter fließt, auf ein Minimum. Das SPD und die gesamte Anlage werden geschont, was sich wiederum auf die Langlebigkeit der Installation und einen unterbrechungsfreien Betrieb selbst bei häufigem Auftreten von Überspannungen auswirkt.

### 6.3 Indirekte Einkopplungen

Neben der direkten galvanischen Einkopplung einer Überspannung gibt es auch andere Kopplungsarten.

Bei einem Blitzeinschlag entsteht aufgrund des Blitzstoßstromes um den Blitzkanal ein elektromagnetisches Feld. Dieses induziert in Leitungen, die im Einflussbereich verlegt sind, eine hohe Spannung. Die induzierten Überspannungen gelangen über die Leitungen bis in alle angeschlossenen Endgeräte. Ähnliche Effekte treten auf, wenn Stromkabel den Blitzstoßstrom in das Gebäude führen und auf parallel verlegte Signalleitungen übertragen.

Die kapazitive Einkopplung erfolgt prinzipiell über das elektrische Feld zwischen zwei Punkten mit hohem Potenzialunterschied. Über der Ableitung eines Blitzableiters entsteht ein hohes Potenzial aufgrund eines Blitzeinschlags. Es bildet sich ein elektrisches Feld zwischen der Ableitung und den Leitungen der Stromversorgung und Signalübertragung. Der einsetzende Ladungstransport durch das elektrische Feld verursacht Überspannungen in den betroffenen Leitungen.

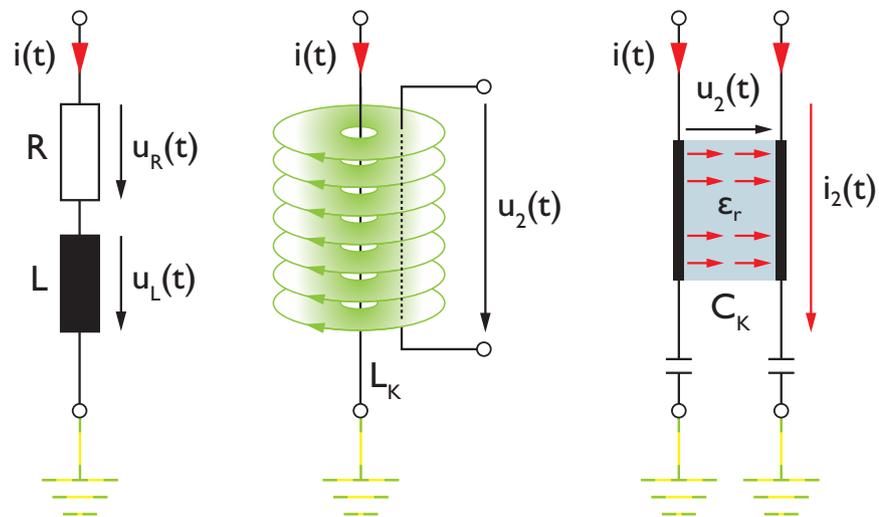


Bild 6-3 Möglichkeiten der Einkopplung von Überspannungen von links: galvanische oder direkte, induktive und kapazitive Einkopplung

Transiente Überspannungen entstehen auch durch Schaltvorgänge an Großverbrauchern oder im Niederspannungs-/Mittelspannungsnetz. In der Praxis findet man nicht immer ideale Trennungsabstände und geschirmte Kabel, mit denen sich Störeinflüsse begrenzen lassen. Aber für alle Situationen gibt es geeignete Schutzgeräte, mit denen ein wirkungsvoller Überspannungsschutz aufgebaut werden kann.

## 6.4 Überspannungsschutz für Mess- und Regeleinrichtungen sowie Datentechnik

Moderne Schutzgeräte für Signalschnittstellen haben eine Kombination aus schnell ansprechenden und hoch beanspruchbaren Bauelementen, um beide Eigenschaften in einem Produkt zu vereinen. Kabel für Mess-, Steuerungs- und Regelkreise sowie Datentechnik lassen sich nur mit hohem Aufwand an den Blitzschutzzonenübergängen auftrennen. Darum verzichtet man in der Praxis häufig darauf, gemäß der Norm an jedem Übergang eine Schutzstufe zu installieren. Die Schutzgeräte werden darum möglichst nah an dem zu schützenden Gerät eingebaut. Um die Gefahr von Übersprechen und Einkopplungen zu verringern, kommen geschirmte Kabel zum Einsatz. Zu berücksichtigen ist, dass oft nicht nur das Gerät am zentralen Punkt, sondern auch das Feldgerät schützenswert ist. In dem Fall sind an beiden Leitungsenden Schutzgeräte einzuplanen. Die Isolationsfestigkeit eines elektrischen Gerätes wird beispielsweise ermittelt nach IEC/EN 61000-4-5. Beschrieben ist die Störfestigkeit, die das Gerät selbst erfüllt.

Unterschieden werden hierbei:

1. Die Isolationsfestigkeit zwischen den Signaladern und Masse. Typische Werte liegen bei 1,5 kV bei Kurvenformen (1,2/50)  $\mu\text{s}$  oder (8/20)  $\mu\text{s}$ .
2. Die Spannungsfestigkeit. Sie beschreibt die maximale Impulsspannung, welche zwischen den Signaladern anstehen darf, ohne das Gerät zu zerstören. Da hier meist direkt die Geräteelektronik betroffen ist, liegt der Wert deutlich niedriger. Typischerweise liegt die Spannungsfestigkeit unter 100 V. Geeignete Schutzgeräte begrenzen Überspannungen zwischen Ader und Erde sowie zwischen Ader und Ader.

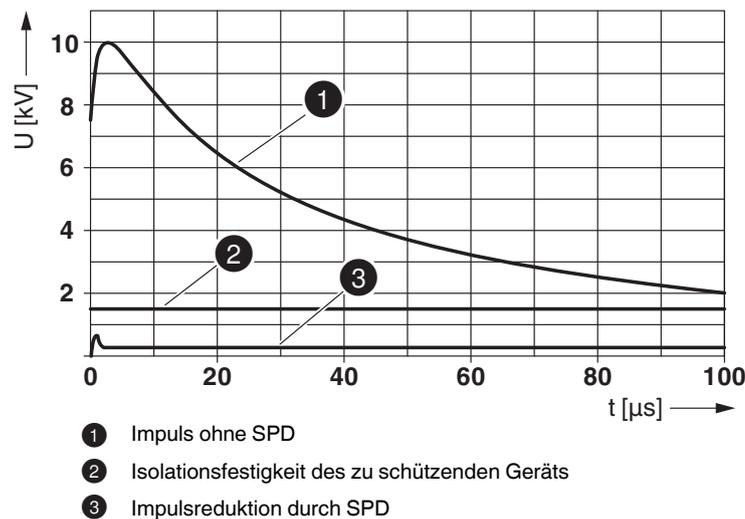


Bild 6-4 Spannungsimpuls in der Wirkungsrichtung Ader-Erde und Spannungsbegrenzung durch den Einsatz eines Überspannungsschutzgeräts

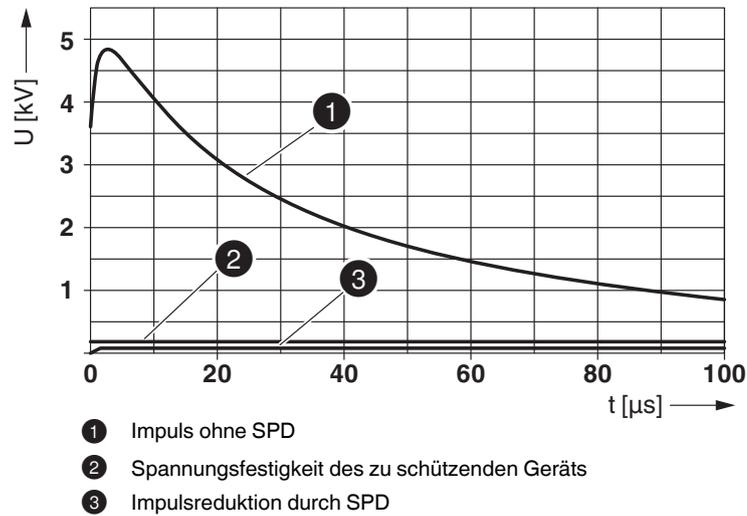


Bild 6-5 Spannungsimpuls in der Wirkungsrichtung Ader-Ader und Spannungsbegrenzung durch den Einsatz eines Überspannungsschutzgeräts

### 6.4.1 Besonderheiten beim Schutz von MSR- und Datentechnik

Für die speziellen Schutzbedürfnisse der Elektronikbaugruppen gibt es unterschiedliche Schutzschaltungen. Bei der Auswahl sollte unter anderem bekannt sein, ob es sich um isolierte Signale handelt oder ob es ein gemeinsames Bezugspotenzial gibt. Das Bezugspotenzial kann erdpotenzialfrei oder mit Erde verbunden sein. Auswahlhilfen erleichtern die Suche nach dem geeigneten Produkt.

In den zentralen Steuerschränken werden Schutzgeräte auf der Tragschiene montiert. Bei modernen Schutzgeräten liegt das Bezugspotenzial der Schutzschaltung auf einem stoßstromtragfähigen Kontaktfuß. So werden die Stoßströme aus Überspannungseinkopplungen direkt über die Hutschiene zur Erde abgeleitet. Es ist sicher zu stellen, dass die Hutschiene in das Potenzialausgleichssystem eingebunden ist und eine normgerechte Verbindung zur Erde besteht.

Im Feld kommen in Kleinverteilern auch Schutzgeräte als Tragschienenmodul zum Einsatz. Für die Montage an den Gewindeverschraubungen von Messumformern stehen spezielle Varianten zur Verfügung.

An den meisten Schutzgeräten lassen sich auch Kabelschirme anschließen. Mit Blick auf elektrische und magnetische Felder ist ein wirkungsvoller Schutz gegeben, wenn der Schirm an beiden Endstellen direkt geerdet wird. In der Praxis können lokale Potenzialunterschiede zwischen den Erdungspunkten vorliegen. Aus dem Grund sollten Schutzgeräte mit einem zusätzlichen Gasentladungsableiter ausgestattet sein, um den Schirm indirekt zu Erden. So bleibt der Isolationsschutz für die Kabel erhalten, mögliche Störströme werden jedoch unterbunden.

## 6.5 Überspannungsschutz für Datentechnik und Feldbusse

Auch für die speziellen Anforderungen der Datentechnik und Feldbusse gibt es geeignete Schutzgeräte. Sie beherrschen die hohen Datenraten ohne die Signale zu verfälschen oder zu dämpfen. Auch die physikalische Schnittstelle ist bereits berücksichtigt, sodass der Anschluss systemkonform möglich ist. Geeignete Produktvarianten für PROFIBUS, Modbus, FOUNDATION Fieldbus, Ethernet bis 10G BaseT und viele weitere Systeme sind erhältlich.

## 6.6 Überspannungsschutz im explosionsgeschützten Bereich

In der Normenreihe IEC/EN 60079 sind diverse Hinweise zu finden, dass auch in diesem sensiblen Bereich Überspannungsschutz obligatorisch ist. Maßgeblich für die Auswahl geeigneter Schutzgeräte sind die Zündschutzart des Signalkreises und der Installationsort.

Werden druckgekapselte Gehäuse in den Ex-Zonen verwendet, muss jede eingebaute Komponente, hinsichtlich der resultierenden Gesamtlösung vom Planer oder Systemintegrator bewertet werden. Eine Rolle spielt dabei die Eigenerwärmung der Komponenten. Diese Werte sind für Schutzgeräte vergleichsweise gering. Schutzgeräte mit Ex-Approbation nach der Zündschutzart Ex n können ohne zusätzliche Kapselung in Zone 2 eingebaut werden.

Häufig findet man in den Anlagen Signalkreise mit der Zündschutzart Ex i, Eigensicherheit nach IEC/EN 60079-11. Für diese Anwendung ist es erforderlich, Schutzgeräte zu verwenden, die eine entsprechende Zulassung aufweisen. Produkte für diesen Einsatzzweck weisen eine Ex i-Zertifizierung nach der ATEX-Richtlinie 2014/34/EU auf. Auch Zulassungen nach IECEx und UL für den amerikanischen Markt sind vorhanden. Schutzgeräte mit Ex i-Zulassung sind für die Installation in Zone 1 geeignet, wobei die geschützten Leitungen bis in Zone 0 geführt werden können. Wenn die Zündschutzart Ex i gewählt wird, sind zum Nachweis der Eigensicherheit die Kapazitäten und Induktivitäten der Schutzgeräte in der Gesamtberechnung zu berücksichtigen.

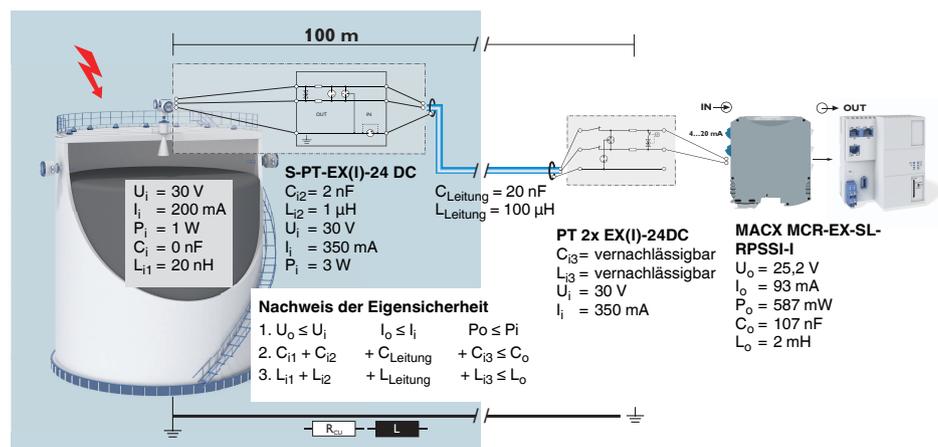


Bild 6-6 Schutz durch SURGETRAB S-PT-EX(I)-24DC in Durchgangsverdrahtung und PLUGTRAB TTC-6P-1X2-M-EX-24DC-UT-I

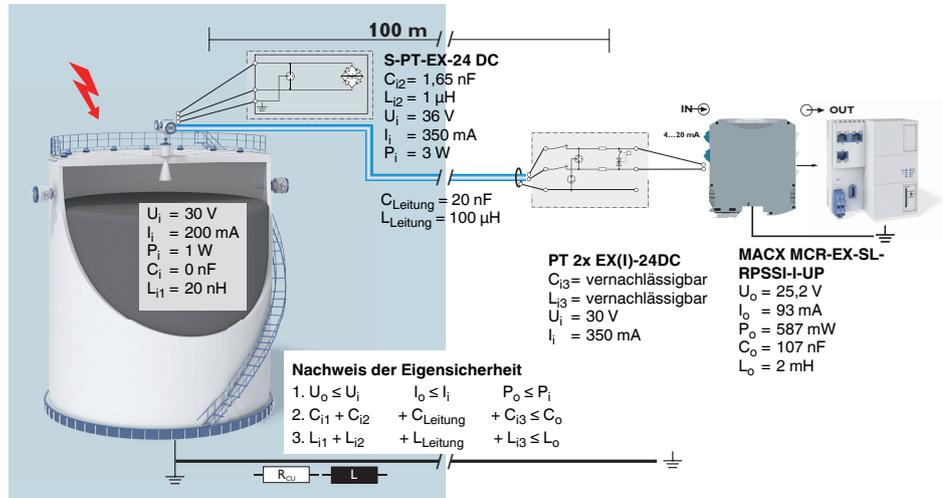


Bild 6-7 Schutz durch SURGETRAB S-PT-EX-24DC in Parallelverdrahtung und PLUGTRAB TTC-6P-1X2-M-EX-24DC-UT-I

## 6.7 Überspannungsschutz im Zusammenhang mit Sicherheitsanwendungen

In Anlehnung an die IEC 61508 wird Überspannungsschutz als ein Teilsystem des Typs A betrachtet. Somit sind Schutzgeräte einfache Systeme, deren mögliche Fehler zu 100 % bekannt sind. Um für Anlagenplaner eine Gesamtbewertung in Sicherheitskreisen auch mit Berücksichtigung von Überspannungsschutz zu ermöglichen, werden die ermittelten Fehlerraten der Artikel zur Verfügung gestellt. Je nach Ausführung der Struktur des Sicherheitskreises und die Einbeziehung eines Zeitrahmens für die Wartungsintervalle, kann der Planer prüfen, welcher Sicherheits-Integritätslevel erreicht wird. Zusätzlich muss sichergestellt werden, dass durch mögliche Zustandsänderungen der Bauteile im Schutzgerät kein unentdeckter, gefährlicher Signalzustand entsteht, beispielsweise im End-of-Live-Modus.

## 6.8 Vorausschauende Überwachung der Überspannungsschutzmodule

Die Überprüfung der technischen Funktionsfähigkeit wichtiger Anlagenkomponenten ist ein Thema, welches die Betreiber ständig begleitet. Der Kostendruck führt mehr und mehr dazu, dass im Bereich der Wartung gespart wird und die Wartungsintervalle für die Prüfung nicht immer eingehalten werden. Auch die Sichtung und Überprüfung der Schutzgeräte, die nach den Standards und Werksnormen vorzunehmen sind, kann dies betreffen. Es besteht zunehmend der Trend, die wichtigen technischen Komponenten aktiv zu überwachen und den Status an die zentrale Leitwarte zu übermitteln. Ziel ist es, auf diese Weise die Anlagenverfügbarkeit zu erhöhen. Auch im Bereich des Überspannungsschutzes ist dieser Standard mittlerweile etabliert und viele Artikel haben die Möglichkeit der Fernsignalisierung. Der heutige Benchmark geht allerdings noch einen Schritt weiter. Der interne "Verschleiß" der Überspannungsprodukte, der durch häufige Ableitvorgänge entsteht, wird im Produkt gemessen und ausgewertet. Wenn eine bestimmte Beanspruchungsgrenze erreicht ist, zeigt das Schutzgerät dies an. Diese Warnung erfolgt, bevor ein realer Funktionsausfall entsteht. Die Information wird an die Leitwerte übertragen und so kann durch das vorausschauende Monitoring eine gezielte Wartungsarbeit geplant werden. Konzepte dieser Art können genutzt werden, um das Budget für die Wartung und Instandsetzung optimiert einzusetzen.

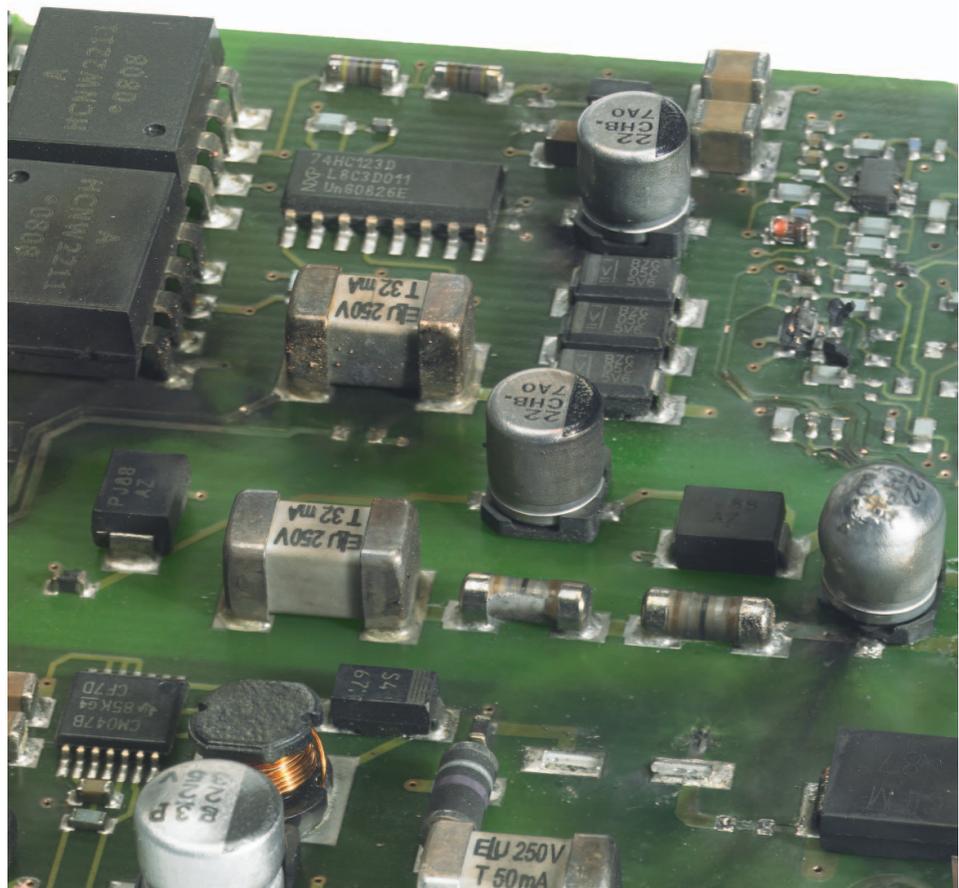


Bild 6-8 Überspannungsschaden einer elektronischen Baugruppe

## 6.9 Applikationsbeispiele

Damit für eine Anwendung ein passender Überspannungsschutz ausgewählt werden kann, sind Applikationsbeispiele sehr hilfreich. Neben der Vorgabe des geeigneten Überspannungsschutzes werden auch Installationshinweise zur Verfügung gestellt. Mit diesen beiden Informationen kann das Überspannungsschutzkonzept verbessert werden.

### 6.9.1 Schutz einer analogen Messung

#### PT-IQ

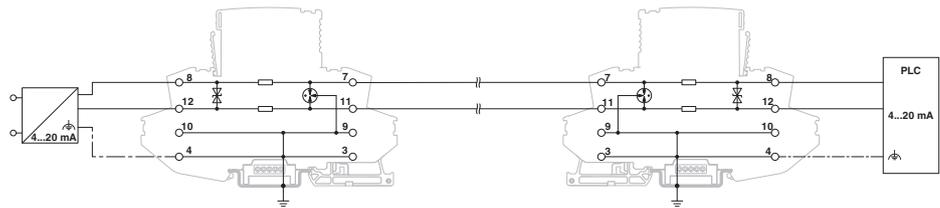


Bild 6-9 Schutz einer analogen Messung mit PT-IQ

#### TERMITRAB

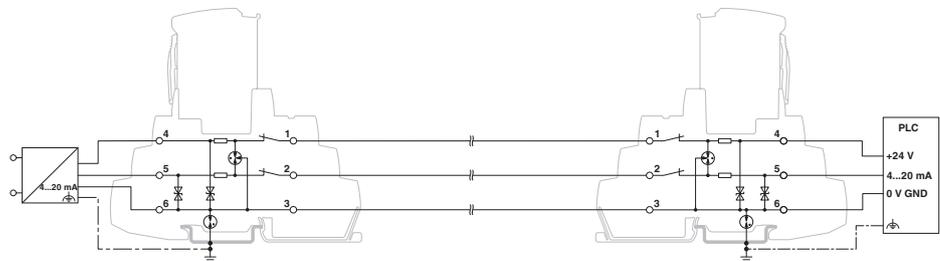


Bild 6-10 Schutz einer analogen Messung mit TERMITRAB

### 6.9.2 Schutz einer analogen Messung, eigensicherer Stromkreis

#### SURGETRAB/TERMITRAB

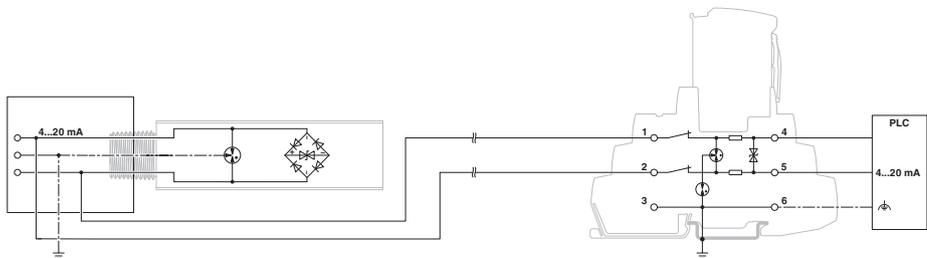


Bild 6-11 Schutz einer analogen Messung mit SURGETRAB/TERMITRAB

### 6.9.3 Schutz einer 4-Leiter-Messung

PT 4

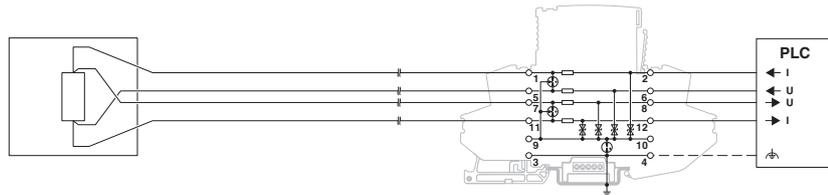


Bild 6-12 Schutz einer 4-Leiter-Messung mit PT 4

### 6.9.4 Schutz einer Ethernet-Schnittstelle (inklusive PoE)

DT-LAN-CAT.6+

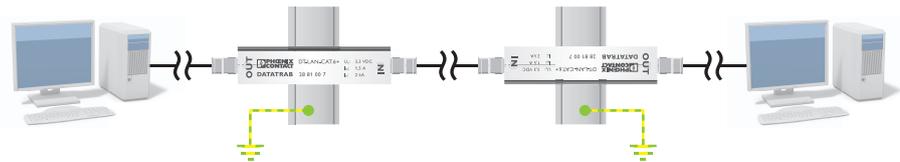


Bild 6-13 Schutz einer Ethernet-Schnittstelle mit DT-LAN-CAT.6+

### 6.9.5 Schutz des PROFIBUS

PT-IQ und PT 5HF

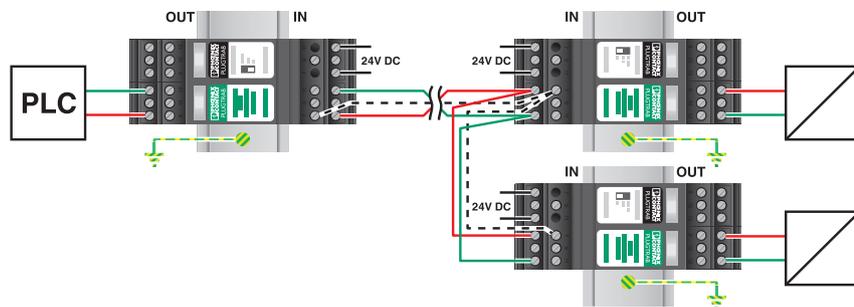


Bild 6-14 Schutz des PROFIBUS mit PT-IQ und PT 5HF



# A Technischer Anhang

## A 1 Produkte für die Mess-, Steuerungs- und Regelungstechnik

### Signale sicher übertragen

Die modularen Analog-Konverter für die Mess-, Steuerungs- und Regelungstechnik vermeiden die Verfälschung analoger Signale durch externe Störgrößen. Sie sichern und erhöhen durch die exakte Umsetzung, Trennung, Filterung oder Verstärkung analoger Signale die Übertragungsqualität und damit die Güte von Regelkreisen.

Dazu bietet Phoenix Contact folgende Produktfamilien:

### MINI Analog Pro

#### Hochkompakte Trennverstärker mit steckbarer Anschlussstechnik

Einfache Handhabung auf engstem Raum

Die hochkompakten Trennverstärker MINI Analog Pro bieten einfache Installation und Inbetriebnahme auf engstem Raum. Mit dem neuen Gateway integrieren Sie bis zu acht beliebig kombinierbare Feldsignale platzsparend und störungsfrei industrielle Netzwerke.

 Webcode: #0492



Bild A-1 MINI Analog Pro

- Einfache Installation durch leicht zugängliche Anschlusspunkte, Energiebrückung und steckbare Anschlussklemmen
- Einfache Inbetriebnahme und Service: Signale messen ohne Auftrennen der Stromschleife und optionale Trennfunktion
- Platzsparende Netzwerkintegration beliebig kombinierbarer Trennverstärker durch kompakte Gateways für Modbus RTU/TCP, PROFIBUS und EtherNet/IP™
- Vielfältige Parametriermöglichkeiten: einfache DIP-Schalter-Konfiguration sowie erweiterte Konfiguration per Software oder Smartphone-App ohne weiteres Zubehör
- Servicefreundlich mit großzügigen Beschriftungsflächen, Status-LEDs in jedem Trennverstärker und Sammelfehlermeldung
- Verdrahtung mit Schraubanschluss oder schnell und werkzeuglos mit Push-in-Technologie
- Beste Signalqualität durch modernste Schaltungstechnologie und sichere galvanische Trennung zwischen Eingang, Ausgang und Versorgung

### MACX Trennverstärker

### Trennverstärker mit funktionaler Sicherheit SIL

Für jede Signalart eine Lösung

Sicher trennen, anpassen, filtern und verstärken: MACX Trennverstärker bieten Ihnen für umfangreiche Lösungen für die analoge Signalverarbeitung.

Sparen Sie Planungs- und Betriebskosten durch die Kombination von hoher Signalflexibilität mit sicherer Trennung und SIL-Bewertung.

**i** Webcode: #1143



Bild A-2 MACX Trennverstärker

- Funktional sicher und zuverlässig mit durchgängiger SIL-Zertifizierung nach IEC 61508
- Präzise, störungsfreie Signalübertragung durch patentiertes Übertragerkonzept mit sicherer galvanischer Trennung und geringer Eigenerwärmung
- Bequem konfigurieren und beobachten: per DIP-Schalter und Bedieneinheit oder mit Software für erweiterte Funktionalität und Monitoring
- Schnelle und sichere Installation durch steckbare Klemmen mit Schraubanschluss oder Push-in-Anschlussstechnik
- Flexible Energieversorgung: Varianten mit Weitbereichseingang oder einfache Energiebrückung mit dem Tragschienen-Busverbinder für die 24 V-Varianten
- Maximaler Explosionsschutz für alle Ex-Zonen und Gasgruppen mit 1- und 2-kanaligen Signaltrennern für eigensichere Stromkreise im Ex-Bereich
- Analoge Signale einfach in die Sicherheitskette nach Maschinenrichtlinie integrieren mit Trennverstärkern mit Performance Level

## Termination Carrier

### Systemverkabelung für Trennverstärker

Termination Carrier von Phoenix Contact sind Plug-and-Play-Lösungen zur schnellen und fehlerfreien Anbindung großer Signalmengen aus dem Feld mit Ihrem Automatisierungssystem. Wählen Sie das passende Standard-Tragschienenengerät für Ihre Signalaufbereitung und bestücken Sie damit Ihren Termination Carrier.

 **Webcode: #1138**



Bild A-3 Termination Carrier für MINI-Analog-Pro- und MACX-Trennverstärker

- Platzsparend durch kompakte Bauform, der Radius der Systemkabel ragt nicht über die Module hinaus
- Tragschienenhalterung mit integriertem Endhalter, sodass Sie mehrere Termination Carrier direkt aneinander reihen können
- Hohe Anlagenverfügbarkeit durch robustes Gehäuse in Kombination mit einem vibrationsfesten Aluminiumprofil und mechanisch entkoppelter Termination-Leiterplatte
- Vereinfachte Dokumentation und Inbetriebnahme dank servicefreundlichem Termination Carrier-Konzept
- Schnelle und sichere Anbindung an die Termination Carrier-Leiterplatte mit steckbaren und kodierte Kabelsätzen
- Verwendung ausschließlich von Standard-Tragschienenengeräten, Spezialgeräte sind nicht erforderlich
- Schnelle und fehlerfreie Steuerungsanbindung per vorkonfektionierter VARIOFACE-Systemverkabelung

### Field Analog

### Prozessanzeigen und Feldgeräte

Erfassen, überwachen, steuern

Die Prozessanzeigen der Serie Field Analog ermöglichen Ihnen die Überwachung und Anzeige von Analog- und Temperatursignalen sowie eine Steuerung über digitale und analoge Ausgänge. Mit den Kopfmessumformern erfassen Sie Temperaturen direkt vor Ort und wandeln sie in analoge Normsignale.

 **Webcode: #1140**



Bild A-4 Prozessanzeigen und Feldgeräte Field Analog

- Einfache Konfiguration der Prozessanzeigen per Fronttastatur oder FDT/DTM-Software
- Alles im Blick: hinterleuchtetes Display mit Bargraph und Farbwechsel im Fehlerfall
- International einsetzbar mit UL- und CSA-Zulassungen
- Auch für eigensichere Stromkreise im Ex-Bereich: Varianten mit ATEX-, CSA- und FM-Zulassung
- Temperaturen vor Ort erfassen und wandeln mit schleifengespeisten Kopfransmittern oder Messumformern für die Tragschiene
- Universeller Einsatz: Prozessanzeigen für die Feld- und Schalttafelinstallation mit Universaleingang für Strom, Spannung, RTD und TC
- Überwachung von bis zu vier zusätzlichen Prozesswerten über Prozessanzeigen mit HART-Master-Funktionalität

**PLUGTRAB PT-IQ**

**Vorausschauendes Überspannungsschutzsystem**

PLUGTRAB PT-IQ ist ein System aus Versorgungs- und Fehlermeldemodul sowie dem eigentlichen Überspannungsschutz. Das Versorgungs- und Fehlermeldemodul versorgt die Schutzgeräte mit Strom und stellt die Sammelfermeldung für bis zu 28 Schutzmodule zur Verfügung.

Besonders hervorzuheben ist die mehrstufige Fernmeldung und Signalisierung der Schutzgeräte. Dabei wird jedes spannungsbegrenzte Bauelement der Schutzschaltung intelligent überwacht.

Ein gelbes Statussignal meldet, dass die Leistungsgrenze aufgrund häufiger Überspannungen erreicht ist. Die Ableiter sind immer noch funktionsfähig und Ihre Anlage ist weiterhin geschützt. Der Austausch wird aber empfohlen, um unnötige Serviceeinsätze zu vermeiden.

**Besonderer Schutz für explosionsgefährdete Bereiche**

Explosionsgefährdete Bereiche: Installieren Sie PT-IQ Ex direkt in die Ex-Zone 2

Mit den Produkten PLUGTRAB PT-IQ Ex stehen erstmals Überspannungsschutzgeräte mit Hilfsenergieversorgung für die Zündschutzart „Eigensicherheit“ zur Verfügung, die direkt in der Ex-Zone 2 installiert werden dürfen.

PT-IQ Ex überwacht eigensichere Stromkreise bis Ex-Zone 0 permanent. Auch hier werden vorgeschädigte Schutzgeräte direkt erkannt und gemeldet.

Die Zulassungen nach ATEX und IECEx erlauben den weltweiten Einsatz.

**i Webcode: #0144**



Bild A-5 Produktfamilie PLUGTRAB PT-IQ

- Planbarer Service dank selbstüberwachter Schutzgeräte mit Statusanzeige
- Vibrationsfest installieren – die neue Verrastung bietet sicheren Halt auch bei Installationen in rauen Umgebungen
- Platzsparend installieren: Auf nur 17,5 mm Baubreite können bis zu fünf Signaladern geschützt werden
- Energieeffizient, denn die grünen LEDs aller Schutzmodule können zentral am Versorgungs- und Fehlermeldemodul ausgeschaltet werden

- Variabel in der Anschlusstechnik: Wählen Sie zwischen dem herkömmlichen Schraubanschluss oder dem komfortablen Push-in-Anschluss

### TERMITRAB complete

#### Schutz in der Reihenklemme

Die mehrstufigen Überspannungsschutzgeräte für den Schutz einer Doppelader dienen als Fein- und Mittelschutz zwischen den Signaladern und als Grobschutz zwischen den Signaladern und Erde. Mit Schraub- oder Push-in-Anschlüssen sowie als Varianten mit Trennmessern oder für den Ex-Bereich.

 **Webcode: #0292**



Bild A-6 Produktfamilie TERMITRAB

### SURGETRAB

#### Schutz direkt am Messkopf

Die Anschraubmodule gibt es für alle gängigen Normsignale. Das extrem robuste Gehäuse aus rostfreiem V4A-Edelstahl schützt auch in rauer Industrieumgebung vor ungewünschten Ausfällen und ist vorbereitet für den Einsatz im Ex-Bereich.



Bild A-7 Produktfamilie SURGETRAB

# B Verzeichnisanhang

## B 1 Abbildungsverzeichnis

### Kapitel 2

Bild 2-1:	Analoges Signal vom Sensor bis zur Steuereinheit .....	8
Bild 2-2:	Schalteranschluss mit Widerstands-Zusatzbeschaltung zur Leitungsüberwachung .....	10
Bild 2-3:	2-Leiter-Anschluss bei einem Widerstandsthermometer .....	11
Bild 2-4:	3-Leiter-Anschluss bei einem Widerstandsthermometer .....	12
Bild 2-5:	4-Leiter-Anschluss bei einem Widerstandsthermometer .....	13
Bild 2-6:	Thermoelement-Anschluss .....	14
Bild 2-7:	Kennlinien von Thermoelementen .....	18
Bild 2-8:	NAMUR-Sensor-Charakteristik (ohne optoelektrische Variante) .....	19
Bild 2-9:	Interface-Baustein mit Sensorspeisung und Normsignal-Ausgang .....	21

### Kapitel 3

Bild 3-1:	Fehlanpassung wegen hoher Leitungs- und Anschlusswiderstände .....	24
Bild 3-2:	Signalverstärkung zur Beseitigung der Fehlanpassung .....	24
Bild 3-3:	Normsignalwandler .....	25
Bild 3-4:	Signalfilterung .....	25
Bild 3-5:	Erdstromschleife .....	27
Bild 3-6:	Galvanische Trennung zur Unterbrechung von Erdstromschleifen .....	27
Bild 3-7:	Beispiele für einen passiven Signaleingang .....	28
Bild 3-8:	Beispiel für einen aktiven Signaleingang .....	28
Bild 3-9:	Beispiel 1 für passive Isolation (eingangsschleifengespeist) .....	29
Bild 3-10:	Beispiel 2 für passive Isolation (ausgangsschleifengespeist) .....	29
Bild 3-11:	Leitungsüberwachung .....	30
Bild 3-12:	Sicher getrennt vom Feld bis ins Netz durch aufsteckbare Gateways .....	31
Bild 3-13:	Strommessung mit Shunt mit einem multifunktionalen Messumformer MACX MCR-EX-T-UI-UP .....	33
Bild 3-14:	Druckmessung im explosionsgeschützten Bereich mit einem Speisetrenner MACX MCR-EX-SL-RPSSI-I .....	34
Bild 3-15:	Durchflussmessung im Ex-Bereich mit einem Speisetrenner	

	MACX MCR-EX-SL-RPSSI-I .....	35
Bild 3-16:	Regelventilansteuerung im Ex-Bereich mit einem Trennverstärker MACX MCR-SL-IDS-I .....	36
Bild 3-17:	Hebebühnensteuerung über Potenziometer-Sensor mit einem Trennverstärker MINI MCR-2-POT-UI(-PT)(-C) .....	37
Bild 3-18:	Durchflussmessung unter Verwendung eines Passivtrenners, z. B. mit einem Trennverstärker der Serie MINI Analog Pro .....	38
Bild 3-19:	Verwendung eines ausgangsschleifengespeisten Passivtrenners z. B. mit einem Trennverstärker der Serie MINI Analog Pro .....	39
Bild 3-20:	Potenzimeter-Stellungsmessung mit digitalen Meldeausgängen z. B. mit einem Trennverstärker MACX ... T-UIREL-Serie .....	40
Bild 3-21:	Temperaturmessung mit digitalen Meldeausgängen .....	41
Bild 3-22:	Digitale Trennverstärkung eines Schaltersignals .....	42
Bild 3-23:	Zweikanalige digitale Trennverstärkung von Näherungsschaltersignalen .....	43
Bild 3-24:	Digitale Ventilansteuerung in einem explosionsgeschützten Bereich (nur mit Trennverstärkern der MACX ... EX-Serie) .....	44
Bild 3-25:	Umsetzung von Frequenzen in analoge Werte .....	45

## Kapitel 4

Bild 4-1:	ISO/OSI-Referenzmodell .....	48
Bild 4-2:	HART-Modulation eines analogen Strom-Normsignals .....	49
Bild 4-3:	Topologie HART .....	50
Bild 4-4:	Topologie WirelessHART .....	52
Bild 4-5:	Topologie FOUNDATION Fieldbus .....	53
Bild 4-6:	Topologie PROFIBUS .....	55
Bild 4-7:	Topologie Ethernet-basierte Systeme .....	56

## Kapitel 5

Bild 5-1:	Beispiel für einen Risikographen .....	60
Bild 5-2:	Beispiel für eine Risikomatrix .....	61
Bild 5-3:	Beispiele für zündfähige Gaskonzentrationen in Luft bei Normaldruck .....	67
Bild 5-4:	Ermittlung des Verfahrens zur Konformitätsbewertung .....	69
Bild 5-5:	Kennzeichnung von Ex-Produkten .....	73
Bild 5-6:	Informationen in einer EG-Baumusterprüfbescheinigung .....	74

## Kapitel 6

Bild 6-1:	EMV-gerechtes Blitzschutz-zonen-Konzept .....	75
Bild 6-2:	Effekt der Blitzstromaufteilung .....	77
Bild 6-3:	Möglichkeiten der Einkopplung von Überspannungen von links: galvanische oder direkte, induktive und kapazitive Einkopplung .....	78
Bild 6-4:	Spannungsimpuls in der Wirkungsrichtung Ader-Erde und Span- nungsbegrenzung durch den Einsatz eines Überspannungs- schutzgeräts .....	79
Bild 6-5:	Spannungsimpuls in der Wirkungsrichtung Ader-Ader und Span- nungsbegrenzung durch den Einsatz eines Überspannungs- schutzgeräts .....	80
Bild 6-6:	Schutz durch SURGETRAB S-PT-EX(I)-24DC in Durchgangsver- drahtung und PLUGTRAB TTC-6P-1X2-M-EX-24DC-UT-I .....	81
Bild 6-7:	Schutz durch SURGETRAB S-PT-EX-24DC in Parallelverdrah- tung und PLUGTRAB TTC-6P-1X2-M-EX-24DC-UT-I .....	82
Bild 6-8:	Überspannungsschaden einer elektronischen Baugruppe .....	83
Bild 6-9:	Schutz einer analogen Messung mit PT-IQ .....	84
Bild 6-10:	Schutz einer analogen Messung mit TERMITRAB .....	84
Bild 6-11:	Schutz einer analogen Messung mit SURGETRAB/TERMITRAB .....	84
Bild 6-12:	Schutz einer 4-Leiter-Messung mit PT 4 .....	85
Bild 6-13:	Schutz einer Ethernet-Schnittstelle mit DT-LAN-CAT.6+ .....	85
Bild 6-14:	Schutz des PROFIBUS mit PT-IQ und PT 5HF .....	85

## Anhang A

Bild A-1:	MINI Analog Pro .....	87
Bild A-2:	MACX Trennverstärker .....	88
Bild A-3:	Termination Carrier für MINI-Analog-Pro- und MACX-Trennver- stärker .....	89
Bild A-4:	Prozessanzeigen und Feldgeräte Field Analog .....	90
Bild A-5:	Produktfamilie PLUGTRAB PT-IQ .....	91
Bild A-6:	Produktfamilie TERMITRAB .....	92
Bild A-7:	Produktfamilie SURGETRAB .....	92



## B 2 Tabellenverzeichnis

### Kapitel 2

Tabelle 2-1:	Verbreitete Temperaturmessverfahren .....	15
Tabelle 2-2:	Widerstandsthermometer-Typen .....	16
Tabelle 2-3:	Kennlinie Pt 100 (IEC 751).....	16
Tabelle 2-4:	Kennlinie Ni 100 (DIN 43760) .....	17
Tabelle 2-5:	Kennlinie Cu 53 (GOST 6651 $\beta = 0,00426$ ).....	17
Tabelle 2-6:	Thermoelement-Typen .....	18

### Kapitel 3

Tabelle 3-1:	Speisungswege für Signaltrenner: Vor- und Nachteile.....	29
Tabelle 3-2:	Interface-Bausteine mit analogen und digitalen Signalein- (IN) und -ausgängen (OUT) .....	32

### Kapitel 5

Tabelle 5-1:	SIL-Normen für die Prozessindustrie .....	59
Tabelle 5-2:	FMEDA-Tabelle aus einer TÜV-Zulassung für ein Gerät .....	64
Tabelle 5-3:	Zündquellen.....	66
Tabelle 5-4:	Gerätegruppen und -kategorien nach ATEX-Richtlinien .....	68
Tabelle 5-5:	Anforderung an elektrische Betriebsmittel in Ex-Zonen .....	70
Tabelle 5-6:	Zonen für gasexplosionsgefährdete Bereiche nach EN 60079-10-1 .....	70
Tabelle 5-7:	Zonen für staubexplosionsgefährdete Bereiche nach EN 60079-10-2 .....	70
Tabelle 5-8:	Zuordnung von Zonen und Gerätekategorien nach Betreiberrichtlinie 1999/92/EG.....	70
Tabelle 5-9:	Gas-Zündschutzarten für elektrische Betriebsmittel .....	71
Tabelle 5-10:	Schutzniveaus bei Zündschutzart Eigensicherheit.....	72
Tabelle 5-11:	Unterteilung der Gas-Zündschutzart „n“ für elektrische Betriebsmittel.....	72
Tabelle 5-12:	Staub-Zündschutzarten für elektrische Betriebsmittel.....	73
Tabelle 5-13:	Zuordnung von Gerätekategorie nach ATEX und Geräteschutzniveau nach EN 60079-0:2009 .....	74



## B 3 Stichwortverzeichnis

### Numerics

2-Leiter-Anschluss .....	11
3-Leiter-Anschluss .....	12
4-Leiter-Anschluss .....	13

### A

A/D-Wandler .....	6
Ableiter.....	76
Abtastung.....	6
Aktoren .....	9
Analog- Frequenz-Messumformer .....	31
Analog IN .....	33
Analog In, Digital OUT.....	40
Analog OUT .....	33
analoge Signale .....	5
analoger Signalausgang .....	32
analoger Signaleingang .....	32
Ansprechverhalten .....	77
Anzeigegerät.....	6
ATEX-Richtlinie.....	81
Aufenthaltsdauer.....	61
ausgansschleifengespeist.....	29

### B

Baumusterprüfung .....	74
Berührungslose Verfahren .....	9
binäres Signal .....	6
Blitz- und Überspannungsschutz .....	75
Blitzschutzkonzept .....	75
Blitzstoßstrom .....	78
Blitzstromableiter .....	76
Bürde .....	24
Bussystem	
Multi-Master-fähig .....	54
Buszugriffs-Protokoll .....	8

### D

D/A-Wandler .....	6
DCS .....	7
DDC .....	7
Dehnungsstreifen.....	31
Diagnosefunktion .....	10
Digital IN, Analog OUT .....	45

Digital IN, Digital OUT .....	42
digitale Feldbusse .....	47
Digitale Trennverstärkung .....	42
digitales Signal.....	6
digitalisieren .....	6
Digitalisierung .....	8
Digitalsignalen.....	6
Drehzahl.....	7
Druck .....	7
Druckmessung.....	34
DT-LAN-CAT.6+ .....	85
Durchflussmenge .....	7
Durchflussmessung .....	35, 38

### E

EG-Baumusterprüfbescheinigung .....	74
Eigensichere Stromkreise .....	84
eingansschleifengespeist.....	29
Einkopplungen .....	78
Einleitung .....	5
Eintrittswahrscheinlichkeit.....	61
Erdstromschleife .....	27
Ereignisdauer .....	9
Ereigniserfassung .....	9
Ereigniszählung.....	9
ETA (Event Tree Analysis) .....	60
Ethernet/IP .....	56
Ethernet-basierte Systeme.....	56
EX i-Zertifizierung.....	81
explosionsfähige Atmosphäre .....	68
explosionsgefährdete Bereiche.....	65
Explosionsgrenze.....	67
Explosionsschutz .....	65

### F

Fault Monitoring .....	10
Fehlerbeherrschung.....	62
Fehlermeldeausgang .....	42
Fehlervermeidung .....	62
Feld .....	8
Feldbusse .....	47
Fieldbus Foundation .....	53
Fieldbus Message Specification .....	55

## Analoge Signalübertragung in der MSR-Technik

---

Filterung .....	25
Foundation Fieldbus .....	53
Frequenz .....	7
Frequenzmessung .....	9
FTA (Fault Tree Analysis).....	60
Funktionale Sicherheit.....	59

### G

Galvanische Trennung .....	7
galvanische Trennung.....	26
Gasentladungsableiter .....	80
Gaskonzentration .....	67
Gefahrenabwendung .....	61
Gefahrenbereich .....	61
Gerätegruppe .....	68
Geräteklasse .....	68
Geräteschutzniveau .....	74
Grenzwertgeber .....	31

### H

Hall-Sensor .....	9
HART	
Modulation.....	49
Multiplexer .....	51
Protokoll .....	49
Wireless .....	51
HAZOP (Hazard and Operability Study).....	60
Hebebühnensteuerung .....	37
HSE (High Speed Ethernet) .....	53
Hysterese.....	19

### I

IEC 61158 .....	47
Impulsgeber .....	9
Impulsmessung.....	9
Industrial Ethernet .....	56
Interface-Baustein .....	7
ISO/OSI-Referenzmodell .....	47
Isolationsfestigkeit.....	79

### K

Kaltstellenkompensation .....	14
Kennlinie	
Thermoelement .....	18
Widerstandsthermometer .....	16

Kennlinie Cu53.....	17
Kennlinie Ni100.....	17
Kennlinie Pt100 .....	16
Kennlinien von Thermoelementen.....	18
Kennzeichnung von Ex-Produkten .....	73
Kommunikationsbus.....	8
Konditionierung .....	8
Konformitätsbewertung .....	69
Kurzschluss.....	9

### L

Leitfähigkeit.....	7
Leistungsüberwachung .....	10, 30
Leistungsunterbrechung .....	9
Leitungswiderstände .....	11
Leuchtdiode .....	10
LFD (Line Fault Detection) .....	43
Life-Zero-Signal .....	20
Line Fault Detection .....	10
LOPA (Layer of Protection Analysis) .....	60

### M

MACX Analog .....	88
Messsignal.....	7
Messumformer .....	6, 7
Messwertsignal .....	5
MINI Analog Pro .....	87
Modbus/TCP .....	56
MSR-Technik .....	5
Multi-Master-fähiges Bussystem.....	54

### N

Näherungssensor.....	19
Näherungssensoren.....	43
Normierung .....	7
Normsignalwandler .....	25

### P

Passive Isolation .....	29
Passivtrenner .....	38
physikalischen Größe.....	5
PLC .....	7
PLUGTRAB PT-IQ .....	91
Potenziometer-Sensor .....	37
Potenziometer-Stellungsmessung .....	40

PROFIBUS..... 54  
     DP ..... 55  
     FMS..... 55  
     PA ..... 55  
 PROFINET ..... 56  
 Prozessleitsystem ..... 7  
 Prozesstechnik..... 5  
 PT 4 ..... 85  
 PT 5HF..... 85  
 PT100 ..... 11  
 PT-IQ ..... 84, 85

**Q**

Quantisierung..... 6

**R**

Regelventilansteuerung ..... 36  
 Risikoanalyse..... 60  
 Risikograph..... 60  
 Risikoidentifizierung..... 60  
 Risikoparameter..... 61  
 Risikoreduzierung ..... 60, 62

**S**

Schadensausmaß ..... 61  
 Schalter..... 9  
 Schaltverstärker ..... 31  
 Schlitzinitiator..... 9  
 Sensor ..... 5, 7  
     NAMUR..... 19  
     Potenziometer ..... 37  
 Shunt..... 33  
 Sicherheits-Integritäts level (SIL) ..... 59  
 Signal  
     Life-Zero..... 20  
     True-Zero ..... 20  
 Signalaufbereitung ..... 7  
 Signalausgang ..... 32  
 Signalgewinnung..... 8  
 Signalumformer..... 6  
 Signalverarbeitung ..... 8  
 Signalverdopplung ..... 42  
 Signalverstärkung ..... 23  
 SIL (Sicherheits-Integritäts level) ..... 59  
 SIL-Kennwerte ..... 63

SPS..... 7  
 Staubkonzentration ..... 67  
 Stellungsmessung..... 40  
 Steuersignal ..... 5, 9  
 Steuerungsanlage..... 6  
 Stoffkonzentration ..... 7  
 Stoßströme ..... 80  
 Strommessung..... 33  
 Stromsenke..... 22  
 Surge Protective Device, SPD..... 76  
 SURGETRAB..... 84, 92  
 Systemverkabelung ..... 89

**T**

TC (Thermocouple)..... 14  
 Telekommunikation..... 6  
 Temperatur ..... 7  
 Temperaturmessung..... 41  
 Temperaturmessverfahren..... 15  
 Termination Carrier ..... 89  
 TERMITRAB ..... 84, 92  
 Thermoelement..... 14  
     Kennlinie ..... 18  
 Thermoelement-Typen..... 18  
 Trägersignal ..... 6  
 Transiente Überspannungen..... 78  
 transiente Überspannungen..... 75  
 Transmitter ..... 7, 21  
 Trennverstärker..... 23, 89  
 True-Zero-Signal ..... 20  
 Typ 1- Ableiter..... 76  
 Typ 2- Ableiter..... 76  
 Typ 3- Ableiter..... 76

**U**

Überspannungseinkopplungen ..... 80  
 Überspannungsschutz ..... 75  
 Überspannungsschutzgerät ..... 76  
 Umsetzer..... 6

**V**

Ventilansteuerung ..... 44  
 Versagenswahrscheinlichkeit..... 62

### W

wertdiskret .....	6
wertkontinuierlich .....	5
Widerstandsthermometer.....	10
Widerstandsthermometer-Typen .....	16
Wireless HART .....	51

### Z

Zielgruppe.....	5
Zoneneinteilung .....	70
zündfähige Gaskonzentrationen .....	67
Zündquellen .....	66, 68
Zündschutzart EX i.....	81
Zündschutzarten .....	71

---

## Bitte beachten Sie folgende Hinweise

### **Allgemeine Nutzungsbedingungen für Technische Dokumentation**

Phoenix Contact behält sich das Recht vor, die technische Dokumentation und die in den technischen Dokumentationen beschriebenen Produkte jederzeit ohne Vorankündigung zu ändern, zu korrigieren und/oder zu verbessern, soweit dies dem Anwender zumutbar ist. Dies gilt ebenfalls für Änderungen, die dem technischen Fortschritt dienen.

Der Erhalt von technischer Dokumentation (insbesondere von Benutzerdokumentation) begründet keine weitergehende Informationspflicht von Phoenix Contact über etwaige Änderungen der Produkte und/oder technischer Dokumentation. Sie sind dafür eigenverantwortlich, die Eignung und den Einsatzzweck der Produkte in der konkreten Anwendung, insbesondere im Hinblick auf die Befolgung der geltenden Normen und Gesetze, zu überprüfen. Sämtliche der technischen Dokumentation zu entnehmenden Informationen werden ohne jegliche ausdrückliche, konkludente oder stillschweigende Garantie erteilt.

Im Übrigen gelten ausschließlich die Regelungen der jeweils aktuellen Allgemeinen Geschäftsbedingungen von Phoenix Contact, insbesondere für eine etwaige Gewährleistungshaftung.

Dieses Handbuch ist einschließlich aller darin enthaltenen Abbildungen urheberrechtlich geschützt. Jegliche Veränderung des Inhaltes oder eine auszugsweise Veröffentlichung sind nicht erlaubt.

Phoenix Contact behält sich das Recht vor, für die hier verwendeten Produktkennzeichnungen von Phoenix Contact-Produkten eigene Schutzrechte anzumelden. Die Anmeldung von Schutzrechten hierauf durch Dritte ist verboten.

Andere Produktkennzeichnungen können gesetzlich geschützt sein, auch wenn sie nicht als solche markiert sind.

---

## So erreichen Sie uns

### Internet

Aktuelle Informationen zu Produkten von Phoenix Contact und zu unseren Allgemeinen Geschäftsbedingungen finden Sie im Internet unter:

[phoenixcontact.com](http://phoenixcontact.com).

Stellen Sie sicher, dass Sie immer mit der aktuellen Dokumentation arbeiten.

Diese steht unter der folgenden Adresse zum Download bereit:

[phoenixcontact.net/products](http://phoenixcontact.net/products).

### Ländervertretungen

Bei Problemen, die Sie mit Hilfe dieser Dokumentation nicht lösen können, wenden Sie sich bitte an Ihre jeweilige Ländervertretung.

Die Adresse erfahren Sie unter [phoenixcontact.com](http://phoenixcontact.com).

### Herausgeber

PHOENIX CONTACT GmbH & Co. KG

Flachmarktstraße 8

32825 Blomberg

DEUTSCHLAND

Wenn Sie Anregungen und Verbesserungsvorschläge zu Inhalt und Gestaltung unseres Handbuchs haben, würden wir uns freuen, wenn Sie uns Ihre Vorschläge zusenden an:

[tecdoc@phoenixcontact.com](mailto:tecdoc@phoenixcontact.com)



PHOENIX CONTACT GmbH & Co. KG  
Flachmarktstraße 8  
32825 Blomberg, Germany  
Phone: +49 5235 3-00  
Fax: +49 5235 3-41200  
E-mail: [info@phoenixcontact.com](mailto:info@phoenixcontact.com)  
**phoenixcontact.com**