

## Application Note DK9221-1111-0059

### Messen analoger Größen

#### Keywords

Schleifengespeist  
2-Leiter-Transmitter  
True-Zero  
4-20 mA  
KL3458  
Analog  
Single-ended  
Stromschleife  
Loop power  
Live-Zero  
KL3454  
KL3054  
Differenz  
Eingang

# Analoge Signalübertragung: Stromschnittstelle 4...20 mA (Live-Zero-Prinzip)

**Dieses Application Example beschreibt die Facetten der analogen Signalaufnahme und deren Übertragungsformen im Allgemeinen und im Besonderen die Aufnahme von Messwerten durch die analogen Eingangs-Busklemmen KL3054, KL3454 und KL3458 von Beckhoff in Verbindung mit 2- oder 3-Leitersensoren, die nach dem Live-Zero-Prinzip auch eine schaltungsinterne Leitungsbruch- und Sensorfehlererkennung ermöglichen.**

## Analoge Signalaufnahme

Analoge Messgrößen wie Druck, Temperatur, Durchfluss, Drehzahl etc. werden durch Sensoren in Analogwerte gewandelt und je nach Sensor auch sensorintern linearisiert. Sensoren für analoge Messgrößen bestehen meist aus den Funktionselementen Messwert-Aufnehmer (MA) und Messwert-Umformer (MU) und ermitteln die Veränderung der Messgröße durch ein physikalisches Prinzip. Das an die Steuerung übermittelte digitalisierte Analog-Signal entspricht i. d. R. einem normierten Pegel und setzt sich immer aus Art (Spannung, Strom, Widerstand usw.) und Betrag (0...10 V,  $\pm 1$  V, 0...20 mA, 500 m $\Omega$  usw.) zusammen.

## Application Note DK9221-1111-0059

### Messen analoger Größen

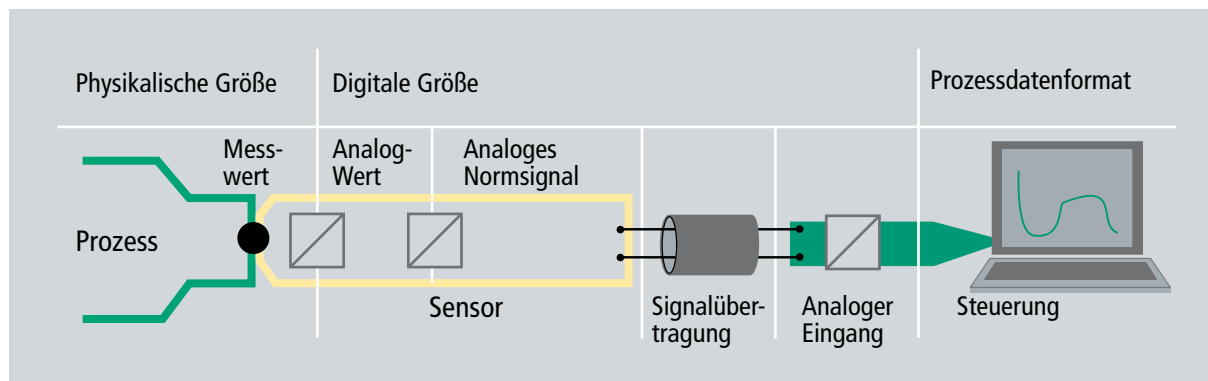


Abb. 1 Vom Feld in die Steuerung: Der Weg eines analogen Prozesswertes

In der Steuerungstechnik kann ein Sensor auch noch weitere Funktionselemente (Bus-Anschaltung, integrierte Skalierung des Messwertes, Mustererkennung etc.) enthalten. Meist wird er dann als „smarter“ Sensor bezeichnet.

### Anschlussarten von Analogensensoren

Sensoren zum direkten Anschluss an Analog-Eingänge der Steuerung („klassische Analogensensoren“) können je nach Energiezuführungskonzept und Signalübertragung in 4-, 3-, oder 2-Leitertechnik ausgeführt sein.

4-Leitersensoren führen Signal und Energie über jeweils zwei Leitungen. Der Verdrahtungsaufwand bei dieser Anschlusstechnik ist hoch.

3-Leitersensoren nutzen zwei Leitungen zur Energieversorgung und führen das Signal über eine separate Leitung heraus. Das Bezugspotenzial ist die GND-Leitung.

2-Leitersensoren führen Signal und Energieversorgung über eine (gemeinsame) Zuleitung. Die 2-Leitertechnik ist besonders verkabelungsarm und in Messumformern für die Feld- oder Fühlerkopfmontage Stand der Technik.

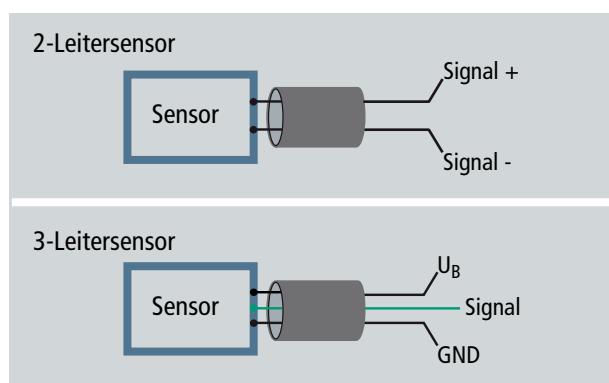


Abb. 2 2-Leitersensor mit Energie und Signal auf einer Leitung, 3-Leitersensor mit getrennten Leitungen für Energie und Signal

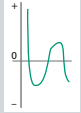
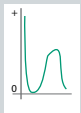
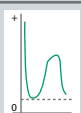
### Übertragungsarten von analogen Prozesswerten

In der Steuerungstechnik sind die Signalpegel zur Übertragung der Sensorsignale normiert, um eine möglichst weitreichende

## Application Note DK9221-1111-0059

### Messen analoger Größen

Kompatibilität von Sensoren und Auswerteeinheiten zu gewährleisten, ohne dabei Freiheitsgrade in der Produktentwicklung zu binden. Hauptsächlich werden spannungs- oder stromgeprägte Übertragungsarten eingesetzt (Tabelle 1). Bei der Übertragung von analogen Prozesswerten ist weiterhin zu beachten, dass das digitalisierte Signal – je feiner es den Prozesswert abbildet – mit steigender Auflösung zur „Unruhe“ neigt. Ist ein hochaufgelöstes Signal gefordert, muss die Übertragung frei von überlagerten Störungen sein. Für solche Anwendungen empfiehlt sich besonders die stromgeprägte Übertragung über sog. „Stromschnittstellen“. Sie sind im Gegensatz zum Spannungssignal deutlich unempfindlicher gegenüber elektromagnetischen Störungen. Im Allgemeinen lässt sich für Stromschnittstellen folgern, dass sich leitungsabhängige Spannungsabfälle (resultierend aus dem Innenwiderstand der Zuleitung) kaum bis gar nicht auf die Qualität der Signalübertragung auswirken: Die Leitungslänge ist nur durch die maximal zur Verfügung stehende Versorgungsspannung der Stromquelle begrenzt.

Analoge Signalformen	Spannung	Strom
bipolar 	$\pm 2 \text{ V}, \pm 10 \text{ V}$	–
true zero 	$0 \dots 2 \text{ V}, 0 \dots 10 \text{ V}$	$0 \dots 20 \text{ mA}$
live zero 	$1 \dots 10 \text{ V}$	$4 \dots 20 \text{ mA}$

Tab. 1 Analoge Signalformen

### Bipolare Signale

Bipolare Signale alternieren um ein Spannungs- oder Stromniveau, das meist 0 („Null“) ist. Je nach Anwendung und Spezifikation des Sensors kann der Pegel mit einem Offset versehen werden. Bei dieser Art von Signal ist darauf zu achten, dass Sensor und Auswerteelektronik auch für Wechselspannungen geeignet sein müssen. Die stromgeprägte Übertragung von bipolaren Signalen ist wenig verbreitet.

### True Zero (0...2/10 V | 0...20 mA)

Diese Signalart eignet sich nur bedingt zur Übertragung über 2-Leiterschaltungen, da Signale der Klassifikation „True Zero“ („Wahrer Nullpunkt“) am Messbereichsanfang immer eine externe Hilfsenergie benötigen, damit der Sensor „lebensfähig“ bleibt. Zusätzlich kann ein Leitungsbruch oder ein Sensorausfall nur durch externe Überwachung sicher erfasst werden.

Problematisch ist die adäquate Erkennung eines Leitungsbruch bzw. eines Sensordefekts, weil der Wert „0“ sowohl als Messbereichsendwert als auch als Fehler gedeutet werden kann. In der Praxis wird daher häufig eine zusätzliche externe Sensorüberwachung eingesetzt.

## Application Note DK9221-1111-0059

### Messen analoger Größen

#### Live Zero (1/2...10 V | 4...20 mA)

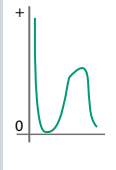
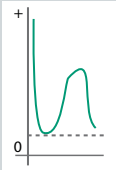
Da ein endlicher Wert (Wert > 0) des unteren Messbereichs (1/2 V, 4 mA) ermöglicht, den Sensor bzw. die interne Schaltung ohne externe Zuführung permanent mit Energie zu versorgen, kann auf diesem Weg auch eine interne Überwachung (Sensordefekt/Leistungsbruch) realisiert werden. Die Signale der Klassifikation Live Zero („Lebender Nullpunkt“) sind typisch für 2-Leitersensoren mit hoher Verfügbarkeitskontrolle. Vorteilhaft ist die Live-Zero-Beschaltung auch bei der Fehlersuche: Der Signalverlauf ist über die gesamte Übertragungsstrecke mit einem Multimeter auswertbar.

#### Hinweis:

Die im Folgenden beschriebenen Produkte von Beckhoff sind nicht der HART-Klassifikation zuzuordnen. Sie sind weder „HART-tauglich“ noch sind sie für den Einsatz als eigensichere Betriebsmittel in explosionsgefährdeten Bereichen geeignet.

#### Die Beckhoff-Analog-Busklemmen | Auswerteeinheiten für analoge Signale

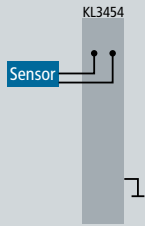
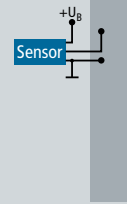
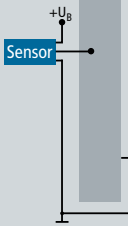
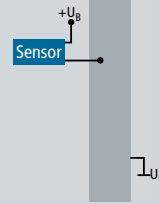
Zur Auswertung von analogen Sensorsignalen bietet Beckhoff ein umfassendes Sortiment an Busklemmen der Serie KL3xxx an, die ein breites Anwendungsfeld der analogen Signalverarbeitung abdecken. Die Eingangsschaltung der Busklemmen unterscheidet sich durch Single-ended- und Differenzeingänge: Ein Single-ended-Eingang erwartet ein Signal mit einem festen Bezug zur Masse.

Busklemmen zur Auswertung von stromgeprägten Analogsignalen (KL3xxx   KS3xxx)				
	1-Kanal	2-Kanal	4-Kanal	8-Kanal
<b>True-Zero</b> 0 ... 20 mA 	KL3011   KS3011 Differenz- eingang, 12 Bit  KL3041   KS3041 Einspeise- klemme, 12 Bit	KL3012   KS3012 Differenz- eingang, 12 Bit  KL3042   KS3042 Einspeise- klemme, 12 Bit  KL3112   KS3112 Differenz- eingang, 16 Bit  KL3142   KS3142 16 Bit, 0,05%	KL3444   KS3444 4 x 2-Leiter- anschluss, 12 Bit  KL3044   KS3044 12 Bit	KL3448   KS3448 8 x 1-Leiter- anschluss, 12 Bit
<b>Live-Zero</b> 4 ... 20 mA 	KL3021   KS3021 Differenz- eingang, 12 Bit  KL3051   KS3051 Einspeise- klemme, 12 Bit	KL3022   KS3022 Differenz- eingang, 12 Bit  KL3052   KS3052 Einspeise- klemme, 12 Bit  KL3122   KS3122 Differenz- eingang, 16 Bit	KL3454   KS3454 4 x 2-Leiter- anschluss, 12 Bit  KL3054   KS3054 12 Bit	KL3458   KS3458 8 x 1-Leiter- anschluss, 12 Bit

Tab. 2 Busklemmen zur Auswertung von stromgeprägten Analogsignalen

## Application Note DK9221-1111-0059

### Messen analoger Größen

Busklemmen für Live-Zero-Signale 4...20 mA				
	KL3454	KL3054	KL3458	
Anzahl der Kanäle	4	4	8	
Auflösung	12 Bit	12 Bit	12 Bit	
Integrierte Spannungsversorgung	ja/24 V DC	nein	nein	
Bezugsmasse	0-V-Powerkontakt	gemeinsame Bezugsmasse aller 4 Eingänge	0-V-Powerkontakt	
Sensorspeisung	loop-powered	extern; Klemme als galvanische Insel	8 x 24 V DC 8 x Masse	8 x 24 V DC
Optionale Einspeiseklemme	–	–	KL9184	KL9186
Anschlussbeispiel	2-Leitersensor 	2-/3-Leitersensor 	3-Leitersensor 	2-Leitersensor 

Tab. 3 Der Messfehler aller 4...20-mA-Busklemmen liegt bei  $< \pm 0,3\%$  (bezogen auf den Messbereichsendwert).

#### KL3454 | Schleifengespeiste 2-Leitersensoren („Loop powered“, Live-Zero)

Die 4-kanalige analoge Eingangs-Busklemme KL3454 unterstützt den direkten Anschluss von vier 2-Leitersensoren ohne externe Energiezuführung. Die Sensoren werden direkt über die Auswerteeinheit mit Energie versorgt, sie sind „loop powered“ – „schleifengespeist“. Eine externe Spannungsversorgung kann entfallen, da der 24-V-Powerkontakt auf die Klemmenstellen geführt ist. Die KL3454 digitalisiert Stromsignale im Bereich von 4 bis 20 mA mit einer maximalen Auflösung von 12 Bit. Die interne Beschaltung der KL3454 ist derartig niederohmig, dass selbst bei einem Vollausschlag des Sensors (Signalpegel 20 mA) der geringe klemmeninterne Spannungsabfall dem Sensor ausreichend Versorgungsspannung zur Verfügung stellt. Der Widerstand der internen Beschaltung ( $80\ \Omega$ ) und der längenabhängige Leitungswiderstand addieren sich zu einem Gesamtwert auf, der deutlich unter den sonst üblichen  $500\ \Omega$  liegt. Daher kann die Berücksichtigung einer max. zulässigen Leitungslänge i. d. R. entfallen.

#### 4-kanalige analoge Eingangs-Busklemme KL3054

Auch die KL3054 unterstützt die Anschaltung von Sensoren für 4...20-mA-Signale in 2-Leitertechnik. Anzuschließen sind ausschließlich fremdgespeiste Sensoren, d. h. sie müssen extern mit Energie gespeist werden, da die Busklemme als galvanische Inseln fungiert. Mit der KL3054 können Analogwerte bei unterschiedlichen Sensorversorgungsspannungen oder auch zwischen Anlagenteilen, die keine gemeinsame Masseverbindung haben, ermittelt werden. Wie auch die KL3454 digitalisiert die KL3054 die Sensorsignale mit 12 Bit.

## Application Note DK9221-1111-0059

### Messen analoger Größen

#### 8-kanalige analoge Eingangsklemme KL3458

Die KL3458 vereint acht Eingänge in einem Gehäuse und bietet so in 1-Leitertechnik Anschlussmöglichkeiten für mehrkanalige Sensorik auf kleinstem Raum. Die KL3458 eignet sich für fremdversorgte 2- und 3-Leitersensoren, es ist jedoch in jedem Fall eine Verbindung zwischen der Masse der Spannungsversorgung des Sensors und des Busklemmenstrangs (0-V-Powerkontakt) herzustellen.

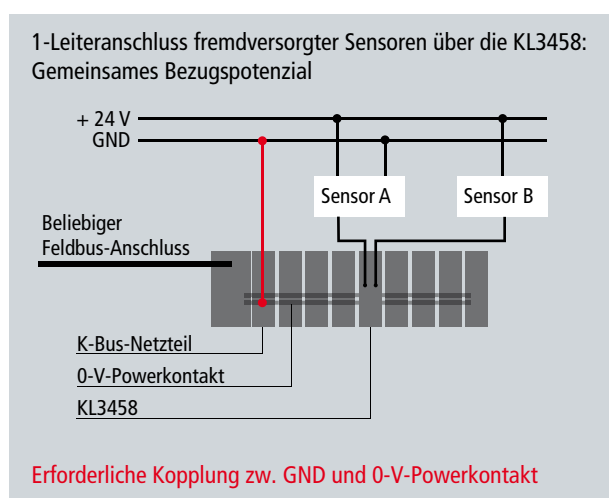


Abb. 4 Anschlussbeispiel KL3458: Beim 1-Leiteranschluss fremdversorgter Sensoren ist eine Kopplung zwischen der GND (Spannungsversorgung Sensor) und dem 0-V-Powerkontakt des Klemmenstrangs erforderlich.

#### Busklemmen für Live-Zero-Signale „Differenzeingang“

Trotz der Vorteile bei der Signalübertragung hat die Anbindung von Sensoren über eine Stromschleife auch Nachteile: Verbraucher können nicht wie bei spannungsgeprägten Signalen parallel zu einander geschaltet werden. Soll ein Messwert an mehreren Stellen verarbeitet werden, ist eine Reihenschaltung der Auswerteeinheiten notwendig. In dieser Reihenschaltung kann nur eine Auswerteeinheit mit Massebezug arbeiten, alle anderen benötigen einen Differenzeingang, der keine gemeinsame Verbindung der einzelnen Massen erwartet.

Eine solche Reihenschaltung entsteht bspw. dann, wenn ein Messwert nicht ausschließlich an die Steuerung übertragen werden sollen, sondern über ein Anzeigergerät (in den Schaltschrank eingebautes Digital-Amperemeter) ohne Eingriff der Steuerung visualisiert werden soll. In solchen Fällen ist die Messung über einen analogen Differenzeingang einzusetzen, der keine gemeinsame Verbindung der einzelnen Masseanschlüsse erwartet.

## Application Note DK9221-1111-0059

### Messen analoger Größen

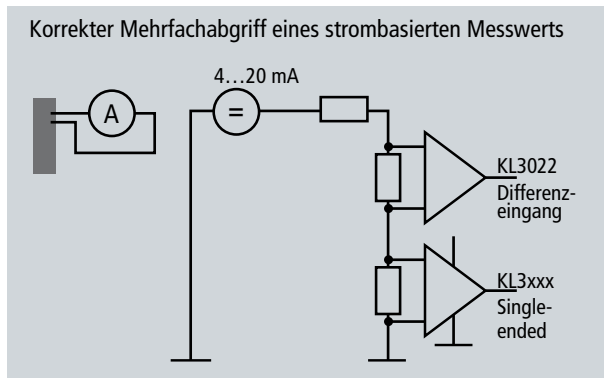


Abb. 5 Reihenschaltung von Differenz- und Single-ended-Eingängen beim Mehrfachabgriff eines strombasierten Messwerts

## Gut zu Wissen

### HART-Protokoll

Auch die HART-Kommunikation (**H**ighway **A**dressable **R**emote **T**ransducer) nutzt die analoge 4...20-mA-Technik in Verbindung mit 2-Leitersensorik. HART beschreibt fernadressierbare Messumformer und ist eine funktionsorientierte Erweiterung des analogen Stromsignals durch die zeitgleiche Überlagerung von digitalen Informationen. HART kommt typischerweise in der Prozessindustrie zum Einsatz, und wird dort u. a. in explosionsgefährdeten Bereichen eingesetzt.

### Systematische Messabweichung bei anwenderspezifischer Skalierung

Es werden immer 4 mA zur Sensorversorgung benötigt, so stellt der Hub von 16 mA die Prozessdateninformation dar, die durch die Auswerteeinheit bewertet werden muss. Typische Fehler resultieren häufig aus einer falsch angepassten Anwenderskalierung, die den Nullpunkt nicht korrekt abbildet.

### Energierreiche Überspannung

Für Applikationen, in denen energiereiche Überspannungen auf der Versorgungsspannung zu erwarten sind, können Analogsignale zusätzlich durch den Einsatz einer Surge-Filter-Klemme KL954x entstört werden.

- Busklemmen für analoge Eingangssignale [www.beckhoff.de/KL3xxx](http://www.beckhoff.de/KL3xxx)
- Surgefilter-Feldversorgung für analoge Busklemmen [www.beckhoff.de/KL9540-0010](http://www.beckhoff.de/KL9540-0010)
- Potenzialverteilung (0V | 24 V) für acht 3-Leitersensoren [www.beckhoff.de/KL9184](http://www.beckhoff.de/KL9184)
- Potenzialverteilung (24 V) für acht 2-Leitersensoren [www.beckhoff.de/KL9186](http://www.beckhoff.de/KL9186)
- Grundbaustein für die Automatisierung [www.beckhoff.de/Busklemmen](http://www.beckhoff.de/Busklemmen)

## Application Note DK9221-1111-0059

### Messen analoger Größen

Dieses Dokument enthält exemplarische Anwendungen unserer Produkte für bestimmte Einsatzbereiche. Die hier dargestellten Anwendungshinweise beruhen auf den typischen Eigenschaften unserer Produkte und haben ausschließlich Beispielcharakter. Die mit diesem Dokument vermittelten Hinweise beziehen sich ausdrücklich nicht auf spezifische Anwendungsfälle, daher liegt es in der Verantwortung des Kunden zu prüfen und zu entscheiden, ob das Produkt für den Einsatz in einem bestimmten Anwendungsbereich geeignet ist. Wir übernehmen keine Gewährleistung, dass der in diesem Dokument enthaltene Quellcode vollständig und richtig ist. Wir behalten uns jederzeit eine Änderung der Inhalte dieses Dokuments vor und übernehmen keine Haftung für Irrtümer und fehlenden Angaben. Eine detaillierte Beschreibung unserer Produkte enthalten unsere Datenblätter und Dokumentationen, die darin enthaltenen produktspezifischen Warnhinweise sind unbedingt zu beachten. Die aktuelle Version der Datenblätter und Dokumentationen finden Sie auf unserer Homepage ([www.beckhoff.de](http://www.beckhoff.de)).

© Beckhoff Automation GmbH, November 2011

Die Weitergabe sowie Vervielfältigung dieses Dokuments, Verwertung und Mitteilung seines Inhalts sind verboten, soweit nicht ausdrücklich gestattet. Zuwiderhandlungen verpflichten zu Schadenersatz. Alle Rechte für den Fall der Patent-, Gebrauchsmuster- oder Geschmacksmustereintragung vorbehalten.