

Dr. Michael Dzieia, Heinrich Hübscher, Dieter Jagla, Jürgen Klaue,
Hans-Joachim Petersen, Harald Wickert

Elektronik Tabellen

Betriebs- und
Automatisierungstechnik

4. Auflage

Diesem Buch wurden die bei Manuskriptabschluss vorliegenden neuesten Ausgaben der DIN-Normen, VDI-Richtlinien und sonstigen Bestimmungen zu Grunde gelegt. Verbindlich sind jedoch nur die neuesten Ausgaben der DIN-Normen und VDI-Richtlinien und sonstigen Bestimmungen selbst.

Die DIN-Normen wurden wiedergegeben mit Erlaubnis des DIN Deutsches Institut für Normung e.V. Maßgebend für das Anwenden der Norm ist deren Fassung mit dem neuesten Ausgabedatum, die bei der Beuth-Verlag GmbH, Saatwinkler Damm 42/43, 13627 Berlin, erhältlich ist.

Die in diesem Werk aufgeführten Internetadressen sind auf dem Stand zum Zeitpunkt der Drucklegung. Die ständige Aktualität der Adressen kann vonseiten des Verlages nicht gewährleistet werden. Darüber hinaus übernimmt der Verlag keine Verantwortung für die Inhalte dieser Seiten.

service@westermann.de
www.westermann.de

Bildungshaus Schulbuchverlage Westermann Schroedel Diesterweg Schöningh Winklers GmbH,
Postfach 33 20, 38023 Braunschweig

ISBN 978-3-14-**235016-5**

westermann GRUPPE

© Copyright 2020: Bildungshaus Schulbuchverlage Westermann Schroedel Diesterweg Schöningh Winklers GmbH, Braunschweig

Das Werk und seine Teile sind urheberrechtlich geschützt. Jede Nutzung in anderen als den gesetzlich zugelassenen Fällen bedarf der vorherigen schriftlichen Einwilligung des Verlages.

1	Grundlagen	5 ... 72
2	Elektrische Installationen	73 ... 108
3	Steuerungstechnik	109 ... 152
4	Informationstechnik	153 ... 190
5	Energieversorgung	191 ... 236
6	Messen, Prüfen, Montieren	237 ... 280
7	Automatisierungstechnik	281 ... 320
8	Antriebssysteme	321 ... 360
9	Kommunikationstechnik	361 ... 386
10	Gebäudetechnik	387 ... 432
11	Betrieb und Umfeld	433 ... 480
12	Technische Dokumentation und Formeln	481 ... 526

In diesem Tabellenbuch ist technisches Wissen für das Berufsfeld **Betriebs- und Automatisierungstechnik** in anschaulicher und verständlicher Form für unterschiedliche Leserkreise dargestellt. Das Tabellenbuch ist deshalb besonders geeignet für

- den **Fachunterricht**,
- die **Prüfungsvorbereitung**,
- die **Weiterbildung**,
- die **Berufspraxis** und
- das **Selbststudium**.

Das Buch enthält umfassende Informationen zum theoretischen und praktischen Wissen für die Betriebs- und Automatisierungstechnik.

Das Basiswissen und die aktuellen Technologien sind dazu in kompakter Form abgehandelt und die Darstellungen durch verschiedenartige Grafiken ergänzt.

Diagramme und Tabellen mit wichtigen Daten und Fotos stellen den Bezug zur technischen Realität her.

Die Inhalte sind nach sachlogischen Gesichtspunkten in 12 Kapitel gegliedert.

Die Kapitel „Grundlagen“ und „Technische Dokumentation und Formeln“ enthalten auch Inhalte, die für mehrere Berufsbereiche von Bedeutung sind. Hier zeigt sich der Nachschlagecharakter besonders deutlich.

Die Seitenüberschriften und das Sachwortverzeichnis sind in deutscher und englischer Sprache ausgeführt. Dadurch wird das Verständnis der Terminologie von englischsprachigen Dokumenten gefördert.

Die Seiten jedes Kapitels besitzen am rechten oberen Rand eine bestimmte Farbmarmierung. Ein rascher Zugriff auf das jeweilige Kapitel wird dadurch erleichtert.

Damit sich die Leser vertiefend mit den in diesem Buch verwendeten Normen, Regeln und Vorschriften vertraut machen können, sind diese am Ende des Buches seitenbezogen aufgeführt.

Aufgrund technologischer Entwicklungen ist die vorliegende Auflage um folgende Themen erweitert worden:

- 4 – 20 mA Stromschleifenschnittstelle
- Datenübertragung im Breitbandnetz
- Energieeinsparverordnung
- Erweiterung des LTE-Mobilfunkstandards (NB-IoT)
- Gebäudeautomation
- IoT – Betriebssysteme
- IoT – Gateway
- IoT – Internet of Things
- IoT – Programmiersprachen
- IP-basierte Telekommunikation
- Lichtsteuersysteme
- Message Queuing Telemetry Transport – MQTT
- Niedervoltanlagen
- Python
- Python – Schlüsselwörter, Kommentare, Operatoren
- Raspberry Pi
- Raspberry Pi Kommandos
- Realität – Virtuelle Realität
- Referenzarchitektur Industrie 4.0 – RAMI
- Sicherheitsbeleuchtung
- Thermografie
- Time-Sensitive Networking – TSN

Neben diesen neuen Inhalten sind in der 4. Auflage Korrekturen vorgenommen sowie die Inhalte der aktuellen Normen eingearbeitet worden.

Für Hinweise und Verbesserungsvorschläge sind Autoren und Verlag jederzeit aufgeschlossen und dankbar.

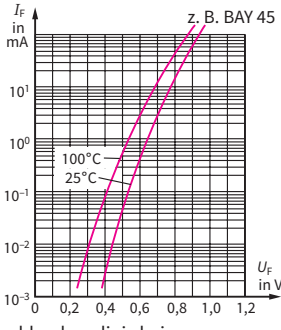
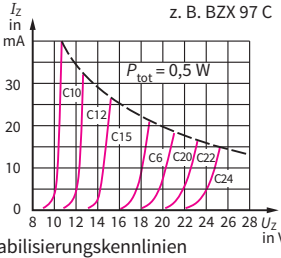
Autoren und Verlag
Braunschweig 2020



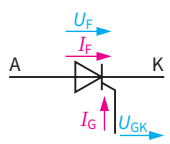
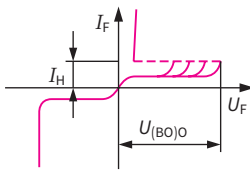
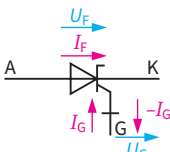
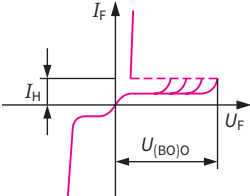
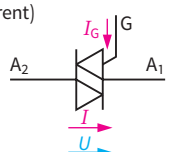
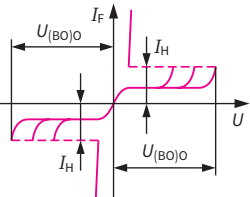
inkl. E-Book

Dieses Lehrwerk ist auch als BiBox erhältlich. In unserem Webshop unter www.westermann.de finden Sie hierzu unter der Bestellnummer des Ihnen vorliegenden Bandes weiterführende Informationen zum passenden digitalen Schulbuch.

Dioden

Schaltzeichen	Kennlinien	Kennwerte	Anwendungen
Diode 	 Durchlasskennlinie bei $\vartheta_u = 25^\circ\text{C}$ bzw. 100°C	Germanium-Dioden: $U_{TO} = 200\text{ mV} \dots 400\text{ mV}$ $U_{RM} \leq 100\text{ V}$ $I_F \leq 150\text{ mA}$ $I_R \leq 300\text{ }\mu\text{A}$ $R_{th\text{JU}} \leq 400\text{ }\frac{\text{K}}{\text{W}}$ $\vartheta_u = -55^\circ\text{C} \dots +75^\circ\text{C}$ Silizium-Dioden: $U_{TO} = 0,6\text{ V} \dots 0,8\text{ V}$ $U_{RM} = 30\text{ V} \dots 3,5\text{ kV}$ $I_F = 150\text{ mA} \dots 750\text{ A}$ $I_R = 0,5\text{ mA} \dots 50\text{ mA}$ $\vartheta_u = -40^\circ\text{C} \dots +150^\circ\text{C}$	Germanium-Dioden: - Universaldiode im HF-Bereich, bedingt durch die geringe Sperrschichtkapazität - Schaltdiode Silizium-Dioden: - Gleichrichterdioden bis Höchstleistungsbereich - Diodenschalter, z. B. Schutz vor Falschpolung - Begrenzerdiode für kleine Spannungen
Z-Diode 	 Stabilisierungskennlinien	Stabilisierungseffekt bei Sperrrichtungsbetrieb $U_Z = 1,8\text{ V} \dots 200\text{ V}$ $P_{tot} \leq 50\text{ W}$ $\vartheta_u \leq 150^\circ\text{C}$ Bei $U_Z \leq 5,1\text{ V}$ negativer und bei $U_Z \geq 5,1\text{ V}$ positiver Temperaturkoeffizient.	- Stabilisierung bzw. Begrenzung von Gleichspannungen - Gegenreihenschaltung von Z- und normalen Dioden zu Referenzdioden mit besonders kleiner Temperaturabhängigkeit - TAZ-Dioden (Transient Absorption Zener) zum Schutz vor zu hohen Spannungsspitzen
U_{TO} : Schleienspannung I_F : Durchlassstrom ϑ_u : Umgebungstemperatur U_Z : Z-Spannung U_{RM} : maximale Sperrspannung	U_F : Durchlassspannung I_R : Sperrstrom U_{RM} : maximale Sperrspannung $R_{th\text{JU}}$: thermischer Widerstand zwischen Sperrschicht und Umgebung		

Thyristoren, Triac

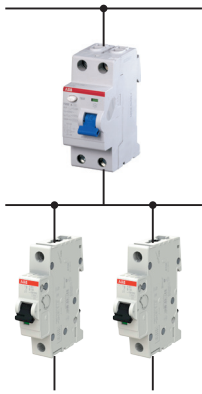
Schaltzeichen	Kennlinie	Eigenschaften	Anwendung, Kennwerte
P-Gate-Thyristor 		Thyristortriode - katodenseitig steuerbar - rückwärtssperrend	Stromrichter bis zu größten Leistungen Von $100\text{ V} \dots 4000\text{ V}$, Stromstärken je nach Bauart bis max. 1000 A bei Scheibenthyrystoren, wassergekühlt
Abschaltbarer Thyristor (GTO, Gate-turn-off) 		Thyristortriode - katodenseitig steuerbar - Sperren von I_F mit negativem Gatestrom - rückwärtssperrend	Gleichstromsteller bis zum mittleren Leistungsbereich Spannung $\leq 1200\text{ V}$ Stromstärken $\leq 400\text{ A}$
Zweirichtungsthyristor, Triac (Triode alternating current) 		- Verhalten ähnlich antiparallel geschalteter Thyristoren - Zündung mit positivem oder negativem Gatestrom unabhängig von Polung der Anoden	Phasenanschnittssteuerungen, elektronische Relais und Schütze im Klein- und im Mittelleistungsbereich. Spannungen bis 1200 V , Stromstärken bis ca. 300 A

Bezeichnung	Verlegung	Leitungstyp	Anwendungen
In wärmeisolierten Wänden und im Elektro-Installationsrohr/-kanal			
A1		H07-U/-R/-K H07V3-U/-R/-K	- Aderleitungen im Elektro-Installationsrohr oder in Formleisten oder Formteilen - Ein- oder mehradrige Kabel oder Mantelleitungen in Türfüllungen oder Fensterrahmen
A2		NYM, NYBUY, NYY, N05VV-U/-R	Mehradrige Kabel oder mehradrige Mantelleitung im Elektro-Installationsrohr
Auf Wänden im Elektro-Installationsrohr/-kanal			
B1		H07V-U/-R/-K H07V3-U/-R/-K	- Aderleitungen im Elektro-Installationsrohr im belüfteten Kabelkanal im Fußboden - Ein- oder mehradrige Kabel oder Mantelleitung im offenen oder belüfteten Kabelkanal - Aderleitungen, einadrige Kabel oder Mantelleitungen
B2		NYM, NYBUY, NYY, N05VV-U/-R	Mehradrige Kabel oder Mantelleitung: Verlegung für beide Arten: Direkt auf einer Wand oder im Abstand $< 0,3 \cdot d$ (d: Außendurchmesser des Elektro-Installationsrohres); in abgehängtem Elektro-Installationskanal; im Fußbodenleistenkanal; Unterflurverlegung im Kanal; im Elektro-Installationsrohr im Mauerwerk/Beton bei spez. Wärmewiderstand $2 \text{ K} \cdot \text{m/W}$
Auf einer Wand			
C		NYM, NYBUY, NYDY, N05VV-U/-R	Ein- oder mehradrige Kabel oder Mantelleitung: Auf einer Wand oder im Abstand $< 0,3 \cdot d$ (d: Außendurchmesser des Kabels/der Leitung); unter der Decke oder mit Abstand von der Decke; auf nicht gelochter Kabelwanne; direkt im Mauerwerk oder Beton bei spez. Wärmewiderstand $2 \text{ K} \cdot \text{m/W}$ ohne/mit zusätzlichem mechanischen Schutz
In der Erde			
D		NYCY, NYY, NA2XY	- Ein- oder mehradrige Kabel oder Mantelleitung im Elektro-Installationsrohr oder Kabelschacht im Erdboden - Ein- oder mehradrige Kabel ohne/mit zusätzlichem mechanischen Schutz direkt im Erdboden: höhere Strombelastbarkeit möglich Umrechnungsfaktoren laut Tab. 4 aus DIN VDE 0276-1000: z. B. Faktor 1,17 bei zul. Betriebstemperatur 70°C, Erdbodentemperatur 15°C und Belastungsgrad 0,7
Frei in der Luft			
E		NYM, NYBUY, NYDY, N05VV-U/-R	Ein- oder mehradrige Kabel oder Mantelleitung: Auf einer Wand oder im Abstand $> 0,3 \cdot d$ (d: Außendurchmesser des Kabels/der Leitung); auf gelochter Kabelwanne, Kabelkonsolen, Kabelpritschen oder abgehängt an einem Tragseil
F		NYN	Einadrige Kabel mit Berührung im Abstand a zur Wand $\geq d$ (d: Außendurchmesser des Kabels)
G		NYN blanke Leiter	Einadrige Kabel ohne Berührung im Abstand zueinander und zur Wand $\geq d$

Installationsanforderung

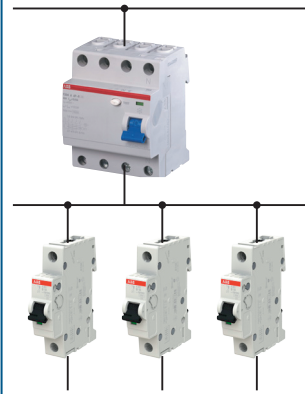
- Aufteilung von Stromkreisen auf mehrere RCDs für
 - Endstromkreise mit Steckdosen
 - Endstromkreise im Außenbereich
- Alternativlösung:
 - FI/LS-Schalter für Endstromkreise mit Steckdosen und für Endstromkreise im Außenbereich
- Steckdosen mit eingebauter RCD, z. B. bei Erweiterung von Anlagen
- Empfehlung:
 - Getrennte RCDs für Steckdosen- und Lichtstromkreise
- Je nach örtlichen Bedingungen:
 - Gleichzeitiger Einsatz von RCDs und FI/LS-Schaltern
- Empfehlung:
 - Möglichst RCDs für einzelne Stromkreise installieren.
- Beleuchtungsstromkreise in Wohnungen:
 - RCD: $I_{\Delta N} \leq 30 \text{ mA}$

Kurzzeitverzögerte Abschaltung



- Auslösung** wird verhindert bei
- geringen Ableitströmen,
 - stoßartigen Strömen,
 - Überspannungen und stoßartigen Strömen in Verbindung mit ständig fließenden Ableitströmen, verursacht durch elektronische Geräte.
- Für elektronische Geräte, z. B. PC, FAX, TK-Anlage
 - RCD: $I_{\Delta N} \leq 30 \text{ mA}$
 - d. h. bei $\Delta I \approx 25 \text{ mA}$ in der Auslösezeit $t_a \approx 100 \text{ ms}$ bis 120 ms

Verzögerte Abschaltung



- Auslösung** gewährt im Fehlerfall
- Schutz gegen direktes Berühren, also Basisschutz
- Für Steckdosen- und Endstromkreise, z. B. Wohnungen
 - RCD: $I_{\Delta N} \leq 30 \text{ mA}$
 - d. h. bei $\Delta I \approx 22 \text{ mA}$ in der Auslösezeit $t_a \approx 35 \text{ ms}$

Schutz durch RCD bei pulsierenden Gleichfehlerströmen

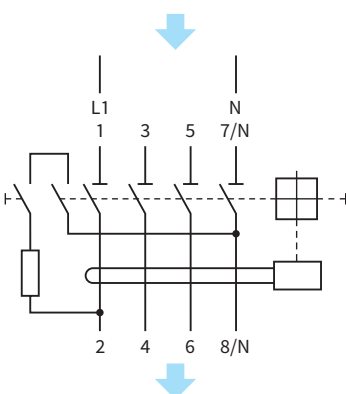
Schutz in Drehstromnetzen mit auftretenden Gleichstromkomponenten

- Bei pulsierenden Gleichfehlerströmen und Anwendung von
 - Einpuls-Mittelpunktschaltung
 - Zweipuls-Mittelpunktschaltung mit Glättung
 - Phasenanschnittsteuerung symmetrisch
 - Schwingungspaketsteuerung
- Auslösung durch RCD bei pulsierenden Gleichfehlerströmen, die innerhalb einer Periode der Netzfrequenz Null oder nahezu Null werden.

RCD-Anschluss

1-phasiger Anschluss

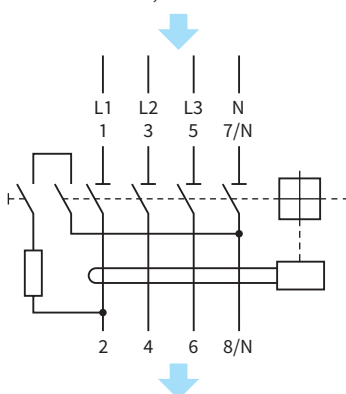
- 1 Außenleiter und Neutralleiter



Hinweis:
Bei einem 4-poligen Gerät auf die beschalteten Klemmen achten.

3-phasiger Anschluss

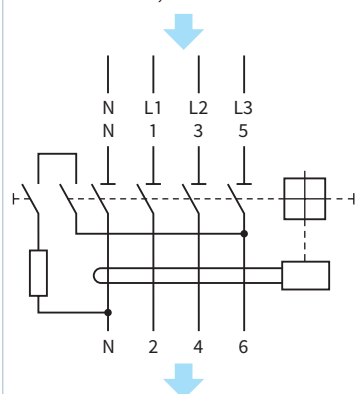
- 3 Außenleiter, Neutralleiter rechts



Hinweis:
Bei Anschluss im Drehstromnetz auf die zu beschaltenden Klemmen achten.

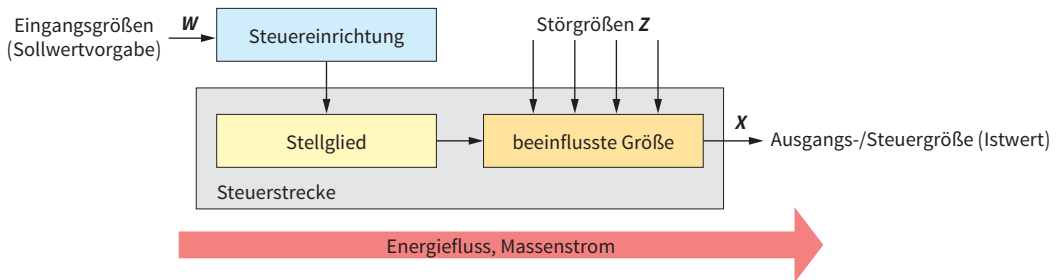
3-phasiger Anschluss

- 3 Außenleiter, Neutralleiter links



Prinzip

- Die Eingangsgrößen werden auf der Steuerstrecke durch Störgrößen beeinflusst. Die Ausgangsgröße ist eine beeinflusste Eingangsgröße.
- Die **Steuerkette** besteht aus einer **Steuereinrichtung**, einem **Stellglied** und der **Steuerstrecke**.
- Die Art der Beeinflussung der Ausgangsgröße ist von der Steuerstrecke abhängig.
- Im Gegensatz zur Regelungstechnik besitzt die Steuerkette einen **offenen Wirkungskreis**.



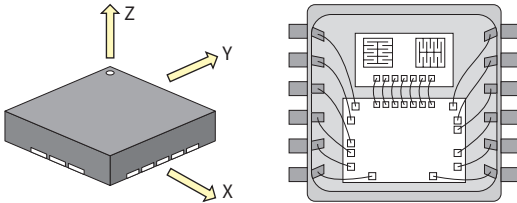
Bezeichnung	Erklärung	Beispiele
Steuereinrichtung	Die Steuereinrichtung bildet in Abhängigkeit der Sollwertvorgaben am Eingang die Stellgröße.	Taster, logische Schaltung, Zeitglied
Stellglied	Das Stellglied wird von der Stellgröße beeinflusst und steuert so den Energiefluss der Steuerstrecke. Es ist ein Teil der Steuerstrecke.	Relais, Transistor, Triac
Steuerstrecke	Die Steuerstrecke ist ein Anlagenteil, der das Stellglied und die aufgabenmäßig beeinflussten Größen enthält.	elektrischer Antrieb

Steuerungsarten

Unterscheidung	Erklärung	Unterscheidung	Erklärung
Signalverarbeitung		Programmierung	
Synchrone Steuerung	Die Signalverarbeitung erfolgt taktsynchron.	Verbindungsprogrammierte Steuerung (VPS)	Die Funktion der Steuerung wird durch die Verdrahtung der Elemente realisiert.
Asynchrone Steuerung	Die Signaländerungen werden nur von der Änderung der Eingangssignale ausgelöst. Es gibt kein Taktsignal.	Speicherprogrammierbare Steuerung (SPS)	Die Steuerungsfunktion wird durch die Ausführung eines Steuerungsprogramms ausgelöst. Das Steuerungsprogramm ist in einem Speicher abgelegt.
Verknüpfungssteuerung	Den Zuständen der Eingangsgrößen werden über Boolesche Verknüpfungen definierte Zustände der Ausgangssignale zugeordnet.	Steuerungen mit Mikrocontroller	Die Steuerfunktion wird durch die Befehlsfolge des Mikrocontrollers realisiert.
Steuerungsablauf		Hierarchische Zuordnung	
Ablaufsteuerung	Steuerungen, die einen schrittweisen Ablauf voraussetzen. Die Übergangsbedingungen steuern die Abfolge von einem Schritt zum Nachfolgenden.	Einzelsteuerung	Es handelt sich um eine Funktionseinheit zur Steuerung eines einzelnen Stellgliedes.
Zeitgeführte Ablaufsteuerung	Ablaufsteuerung, deren Übergangsbedingung nur von der Zeit abhängt	Gruppensteuerung	Funktionseinheit zur Steuerung eines Teilprozesses, der aus mehreren Einzelsteuerungen besteht
Prozessabhängige Ablaufsteuerung	Ablaufsteuerungen, deren Übergangsbedingungen von den zu steuernden Prozesssignalen abhängen	Prozesssteuerung	Eine Funktionseinheit zur Steuerung eines Prozesses, die den Gruppensteuerungen übergeordnet ist.

Merkmale

- Beschleunigungssensoren zählen zu den **MEMS-Sensoren** (Micro **E**lectro **M**echanical **S**ystem)
- Sie gehören zu der Gruppe der Trägheitssensoren und messen, je nach Ausführung, die Beschleunigung in allen drei Bewegungsachsen (X, Y, Z) gleichzeitig.
- Es handelt sich um ein miniaturisiertes System, das sowohl elektrische/elektronische und mechanische Komponenten enthält.
- Auf einem Mikrochip sind neben dem eigentlichen Sensor zusätzliche Signal- und Auswerteeinheiten enthalten.



- Die Abmessungen der einzelnen Sensor-Komponenten betragen zwischen 1 µm und 100 µm.

Physikalische Grundlagen

- Die **Beschleunigung a** beschreibt die zeitliche Änderungsrate seiner Geschwindigkeit v .

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} \quad [a] = \frac{m}{s^2}$$

- Der Wert der Beschleunigung ist für die Beschreibung von Bewegungsvorgängen eines Körpers bzw. die auf ihn einwirkenden Kräfte von großer Bedeutung.
- Der Beschleunigungssensor bestimmt die Kraft F , die auf eine Testmasse m einwirkt und errechnet daraus die Beschleunigung a .

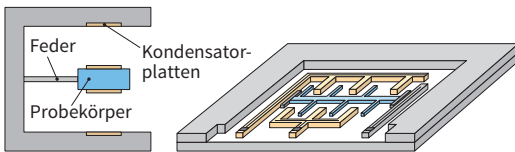
$$a = \frac{F}{m}$$

- In der Praxis wird die Beschleunigung häufig als Vielfaches der Erdbeschleunigung $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ angegeben.
Beispiele:
 - < 0,5 g: Anfangsbeschleunigung eines Sprinters
 - 1 g: Vollbremsung beim Auto
 - 1,5 g: Maximalwert bei einer Kinderschaukel
 - 6 g: Formel-1 Wagen in schnellen Kurven
 - 300 g: Waschmaschine im Schleudergang

Messverfahren

Kapazitives Verfahren

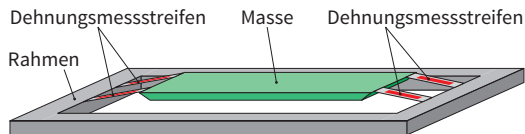
- Prinzip: – Feder-Masse-System
– Kapazitätsänderung zweier Kondensatoren
– Auswertung mit einer Wheatstone-Messbrücke



- Eigenschaften: – hohe Empfindlichkeit und Stabilität
– geringer Leistungsbedarf

Piezoresistives Verfahren

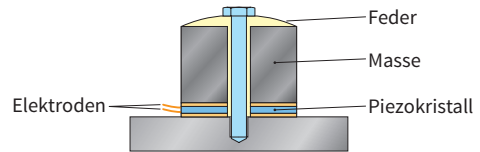
- Prinzip: – Dehnung der piezoresistiven Widerstandsmessstreifen
– Auswertung mit einer Wheatstone-Messbrücke



- Eigenschaften: – hohe Empfindlichkeit
– einfache Auswertung (Messbrücke)

Piezoelektrisches Verfahren

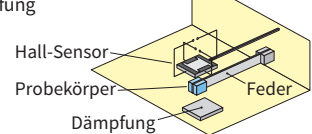
- Prinzip: – Dehnung/Stauchung des Piezokristalls
– Druck/Zug führt zu einer Ladungsänderung
– Auswertung über einen Ladungsverstärker



- Eigenschaften: – hohe Linearität und Langzeitstabilität
– sehr robust, da keine beweglichen Teile

Hall-Effekt Verfahren

- Prinzip: – Magnetische Masse an einer Feder
– Bewegung wird durch Hall-Sensor erfasst
– unterhalb montierte Platte dient zur Dämpfung



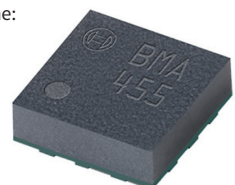
- Eigenschaften: – hohe Zuverlässigkeit
– geringer Energieverbrauch

Einsatzbereiche

- Sicherheitssysteme (z. B. ABS im Auto)
- Vibrationen bei Maschinen oder Gebäuden messen
- Erdbebenüberwachung
- Luftfahrt
- Alarmsysteme
- Computerfestplatten zur Head-Crash Vermeidung
- Smartphone und Digitalkamera
- Steuerung von Videospielen

Beispiel

- Programmierbare Messbereiche:
± 2 g; ± 4 g; ± 8 g; ± 16 g
- Auflösung im ± 2 g-Bereich:
0,24 mg
- Versorgungsspannung:
 $U_{DD} = 1,62 \dots 3,6 \text{ V}$
- Temperaturbereich:
 $T = -40^\circ\text{C} \dots +85^\circ\text{C}$



Eigenschaften

- Der Universal Serial Bus ist eine **serielle Schnittstelle**, die als Punkt-zu-Punkt Verbindung ausgeführt ist.
- Die Steuerung der Kommunikation erfolgt über den **Host-controller**, der als Master arbeitet.
- Über den Hub können insgesamt **127 Geräte** in Form einer Baumstruktur an den Bus angeschlossen werden.
- Pro Port kann nur ein einzelnes Gerät betrieben werden.
- Die Geräte werden **automatisch erkannt** und können im Betrieb am Port entfernt bzw. eingesteckt werden.
- Zusätzlich zu den Datenleitungen sind im Verbindungskabel **Stromversorgungsleitungen** enthalten, die eine Energieversorgung der angeschlossenen Geräte ermöglichen.
- Aufgrund der einfachen Anwendung wird die Schnittstelle zur Anschaltung von **fast allen Peripheriegeräten** (USB-Sticks, Festplatten, WLAN-Adapter, usw.) eingesetzt.

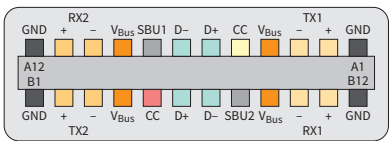
Spezifikationen

Spezifikationen	maximale	
	Stromstärke	Leistung
Spannung 5 V		
USB 1.0/1.1 (Low-Powered-Port)	0,1 A	0,5 W
USB 2.0 (High-Powered-Port)	0,5 A	2,5 W
USB 3.0/3.1	0,9 A	4,5 W
USB-BC 1.2 (Battery Charging) ¹⁾	1,5 A	7,5 W
USB-Typ-C	3,0 A	15,0 W

¹⁾Ladeanschluss

USB-Typ-C

- Die Steckverbindung besteht aus zwei Kontaktreihen zu je 12 Kontakten. Die Kontakte sind horizontal und vertikal spiegel-symmetrisch angeordnet. Der Stecker kann somit in beiden Positionen eingeführt werden.
- Das Kabel hat an beiden Enden einen identischen Stecker. Kabel können nicht mehr als "falsch" eingesteckt werden.
- Datenübertragungsrate: 10 Gbit/s.
- Die Signale sind fünf Gruppen zugeordnet.



- SuperSpeed-Link** (TX1+, TX1-, RX1+, RX1- und TX2+, TX2-, RX2+, RX2-) zwei Paar abgeschirmte Twisted-Pair- oder Koaxialleitungen
- USB 2.0-Link** (D+, D-) einfaches, geschirmtes Twisted-Pair Leitungspaar (Halbduplexübertragung)
- Konfiguration** (CC1, CC2); CC erkennt das Anstecken eines Kabels und die Orientierung des Steckers.
- Hilfssignale** (SUB1, SUB2) zur Übertragung analoger Audio-signale
- Stromversorgung** (4 x VBUS, VCONN, 4 x GND)

USB-PD (Power Delivery)

Über eine USB-Typ-C Steckverbindung lassen sich Geräte mit einer Leistung bis 100 W betreiben. Es werden fünf Profile unterschieden mit den Spannungen 5 V, 12 V und 20 V.

Stecker und Buchsen

Standard		
Stecker	Buchse	PIN-Belegung
		1: + 5 V DC (V _{CC}), rot 2: Daten (D-), weiß 3: Daten (D+), grün 4: GND (Masse, Abschirmung), schwarz
Mini		
Stecker	Buchse	PIN-Belegung
		1: + 5 V DC (V _{CC}), rot 2: Daten (D-), weiß 3: Daten (D+), grün 4: ID (frei) 5: GND (Masse, Abschirmung), schwarz ID: Identifikation
Micro		
Stecker	Buchse	PIN-Belegung
		s. Mini-USB
Micro-B USB 3.0 (Stecker)		
1: + 5 V DC 2: USB 2.0 (D-) 3: USB 2.0 (D+) 4: USB OTG ID ²⁾ 5: GND 6: USB 3.0 Senden (-) 7: USB 3.0 Senden (+) 8: GND 9: USB 3.0 Empfangen (-) 10: USB 3.0 Empfangen (-)		

Datenraten

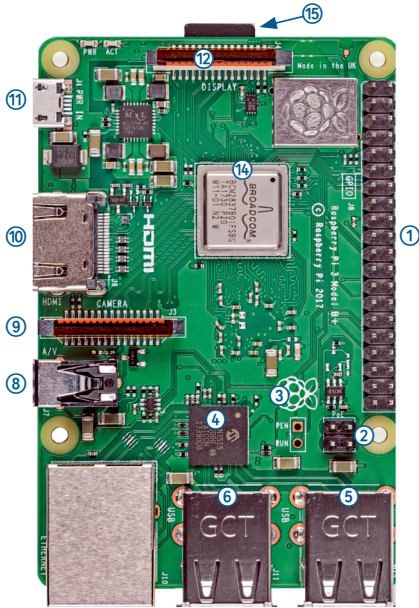
Spezifikation	max. Nutzdatenrate
USB 1.0 Full Speed	1 MB/s
USB 2.0 Hi Speed	40 MB/s
USB 3.0 Super Speed	300 MB/s
USB 3.1 Super Speed +	900 MB/s

USB On-The-Go (USB OTG, OTG)²⁾

USB-Geräte mit dieser Technik tauschen auch untereinander Daten aus – ohne Verbindung zum PC.
Beispiel: Die Digitalkamera kann Bilder direkt an einen Drucker senden. Der Nutzer muss sie nicht auf einen Computer über-spielen, um sie auszudrucken.

Merkmale und Platinenbestückung

- Der Raspberry Pi ist ein Einplatinencomputer, der von der britischen Raspberry Pi Foundation entwickelt wurde.
- Der Rechner enthält ein Ein-Chip-System von Broadcom (BCM2837) mit einem ARM-Mikroprozessor (ARM Cortex-A53; 4 Kerne; 1,4 GHz Takt; 1024 Mbyte Arbeitsspeicher).
- Als offizielles Betriebssystem wird Raspbian eingesetzt (ca. weitere 40 Betriebssysteme verfügbar).
- Verwendete Programmiersprachen sind z. B. C, C++, Python, Scratch, HTML, Java, Ruby, Erlang.
- Einsatzbereiche u. a. in der Steuerungstechnik, als Medien-server oder Cloudserver.



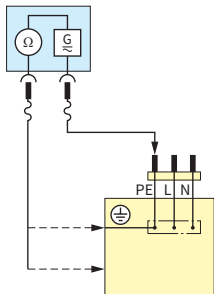
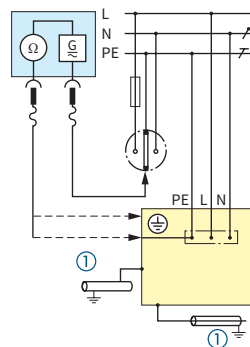
①	GPIO-Header
②	PoE-Header
③	Run-Header
④	LAN-/USB-Controller
⑤	2 x USB Port (übereinander)
⑥	2 x USB Port (übereinander)
⑦	LAN-Anschluss Ethernet (RJ45)
⑧	Audio-/Videoausgang (3,5 mm)
⑨	CSI (Camera Serial Interface) Anschluss für Kamera
⑩	HDMI-Anschluss
⑪	Micro-USB Buchse (Stromversorgung)
⑫	DSI-Anschluss (Display Serial Interface) für TFT-Display
⑬	WiFi-Controller
⑭	Prozessor (SoC Broadcom BCM 2837)
⑮	Micro-SD Kartenslot (Unterseite)

GPIO-Header Belegung

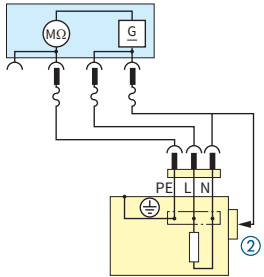
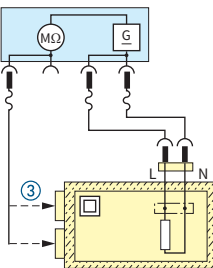
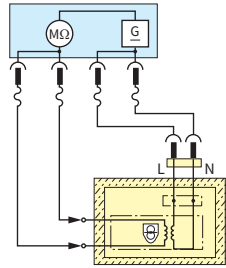
Bezeichnung am Prozessor		Header Pinnummer		Bezeichnung am Prozessor	
Alternative Funktion		①			Alternative Funktion
	3,3 V	1	2	5 V	
SDA1 (I ² C)	GPIO 2	3	4	5 V	
SCL1 (I ² C)	GPIO 3	5	6	0 V	
GPCLK0	GPIO 4	7	8	GPIO 14	TxD0 (UART)
	0 V	9	10	GPIO 15	RxD0 (UART)
	GPIO 17	11	12	GPIO 18	PCM_CLK
	GPIO 27	13	14	0 V	
	GPIO 22	15	16	GPIO 23	
	3,3 V	17	18	GPIO 24	
MOSI (SPI0)	GPIO 10	19	20	0 V	
MISO (SPI0)	GPIO 9	21	22	GPIO 25	
SCLK (SPI0)	GPIO 11	23	24	GPIO 8	SPI0_CE0_N
	0 V	25	26	GPIO 17	SPI0_CE1_N
ID_SD (ID EEPROM)	Reserviert	27	28	Reserviert	ID_SD (ID EEPROM)
GPCLK1	GPIO 5	29	30	0 V	
GPCLK2	GPIO 6	31	32	GPIO 12	PWM0
PWM1	GPIO 13	33	34	0 V	
PCM_FS	GPIO 19	35	36	GPIO 16	
	GPIO 26	37	38	GPIO 20	PCM_DIN
	0 V	39	40	GPIO 21	PCM_DOUT

GPCLK: General Purpose Clock; **GPIO:** General Purpose Input/Output; **ID_SD:** Identification EEPROM
MISO: Master Input, Slave Output; **MOSI:** Master Output, Slave Input; **PCM_CLK:** PCM Clock
PCM_DIN: PCM Data In; **SPI_PCM_DOUT:** PCM Data Out; **PCM_FS:** Pulse Code Modulator Frame Sync.
PWM: Pulse Width Modulator; **RxD:** Receive Data; **SCL1:** Serial Clock; **SDA:** Serial Data; **SPI:** Serial Peripheral Interface
SPI_CE: SPI Chip Enable; **TxD:** Transmit Data; **UART:** Universal Asynchronous Receiver Transmitter

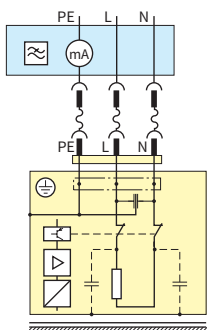
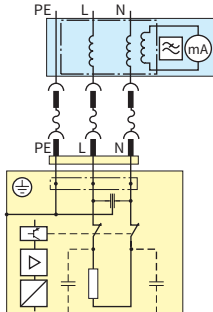
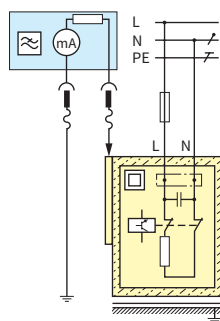
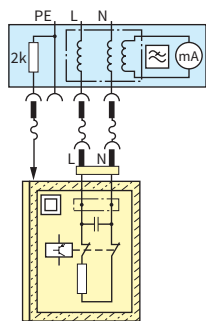
Schutzleiterwiderstand

Direkte Messung	Externer Messpunkt
 ■ Prüfling muss außer Betrieb genommen und vom Netzanschluss getrennt werden.	 ■ Prüfling ist fest angeschlossen oder kann nicht außer Betrieb genommen werden. ■ Als Zugang zum Schutzleiter ist ein Messpunkt zu suchen, z. B. benachbarte Steckdose. ■ Achtung! – Parallele Erdverbindungen können das Messergebnis beeinflussen (z. B. Schirm von Datenleitungen, Wasserrohre) ① ■ Im Extremfall können parallele Erdverbindungen einen Schutzleiter vortäuschen, obwohl dieser fehlt bzw. defekt ist.
Messspannung: AC oder DC, $U_0 = 4 \text{ V} \dots 24 \text{ V}$; Messstromstärke: min. 0,2 A	

Isolationswiderstand

Mit Schutzleiter	Ohne Schutzleiter	Nachweis sicherer Trennung
 ■ Messung zwischen PE und aktiven Leitern. ■ Zusätzlich leitfähige Teile abtasten, die nicht mit dem Schutzleiter verbunden sind ②.	 ■ Berührbare, leitfähige Teile werden mit Prüfsonde abgetastet ③.	 ■ Isolationswiderstand zwischen Primär-/Sekundärseite gewährleistet die sichere Trennung (Sicherheitskleinspannung)

Schutzleiter-/Berührungsstrom

Schutzleiterstrom		Berührungsstrom	
Direktes Messverfahren	Differenzstromverfahren	Direktes Messverfahren	Differenzstromverfahren
 ■ Gerät muss isoliert zum Erdpotenzial stehen.	 ■ Bei Festanschluss kann die Messung auch mit Strommesszange erfolgen.	 ■ Gerät muss isoliert zum Erdpotenzial stehen.	

Unterscheidungsmerkmale

- Steckverbinder werden nach folgenden Merkmalen unterschieden:

- Bemessungsspannung
- Bemessungsstromstärke
- Frequenz
- Schutzart
- Kontaktanzahl
- Lage des Schutzkontaktes
- Klemm- bzw. Schraubanschlüsse



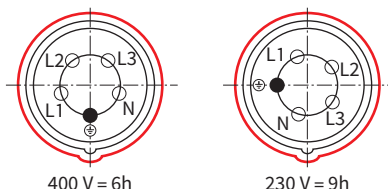
Gehäusekennfarben

Kennfarbe	Bemessungsspannung
lila	20 V ... 25 V
weiß	40 V ... 50 V
gelb	100 V ... 130 V
blau	200 V ... 250 V
rot	380 V ... 480 V
schwarz	500 V ... 690 V
grün	für Stecker und Buchsen mit einer Frequenz größer 60 Hz bis maximal 500 Hz
grau	für Sonderfälle, bei denen eine passende Farbuordnung fehlt

Position des Schutzleiterkontaktes

- Durch die Lage des Schutzleiterkontaktes wird sichergestellt, dass nur der Stecker eines bestimmten Typs in die Steckdose desselben Typs passt.
- Die Angabe erfolgt in Form einer Uhrzeit (z. B. 6h), d. h. der Schutzleiterkontakt befindet sich an der 6-Uhr-Position auf einem Ziffernblatt.
- Diese Festlegung in Verbindung mit der Farbe und den elektrischen Betriebswerten verhindern eine Verwechslung der Stecksysteme.

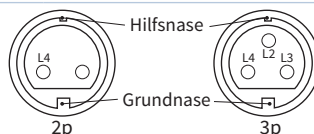
Beispiel: Ansicht Vorderseite der Steckdose



Lage des Schutzleiterkontaktes	Anzahl der Kontakte		
	2P + PE	3P + PE	3P + N + PE
1 h	1)	1)	1)
2 h	> 50 V; 16/32 A 300 ... 500 Hz	> 50 V; 16/32 A 300 ... 500 Hz	> 50 V; 16/32 A 300 ... 500 Hz
3 h	> 50 ... 250 V	380 V, 16 A/32 A, 50 Hz 440 V, 16 A/32 A, 60 Hz	220/380 V, 16 A/32 A, 50 Hz 250/440 V, 16 A/32 A, 60 Hz
4 h	100 ... 130 V, 50/60 Hz	100 ... 130 V, 50/60 Hz	57/100 ... 75 V / 130 V, 50/60 Hz
5 h	1)	600 ... 690 V, 50/60 Hz	347/600 ... 400 V/690 V, 50/60 Hz
6 h	200 ... 250 V, 50 ... 60 Hz	380 ... 415 V, 50/60 Hz	200/346 ... 240V/415V, 50/60 Hz
7 h	480 ... 500 V, 50 ... 60 Hz	480 ... 500 V, 50/60 Hz	277/480 ... 288 V/500 V, 50/60 Hz
8 h	> 250 V	1)	1)
9 h	380 ... 415 V, 50 ... 60 Hz	200 ... 250 V, 50/60 Hz	120/208 ... 144 V/250 V, 50/60 Hz
10 h	1)	> 50 V, 16/32 A; 100 ... 300 Hz	1)
11 h	1)	440 ... 460 V, 60 Hz	250/400 ... 265 V/460 V, 60 Hz
12 h	Ausgang eines Trenntransformators $U > 50$ V	1)	1)

1) Lage des Schutzleiterkontaktes ist nicht genormt (frei für Sonderanwendungen).

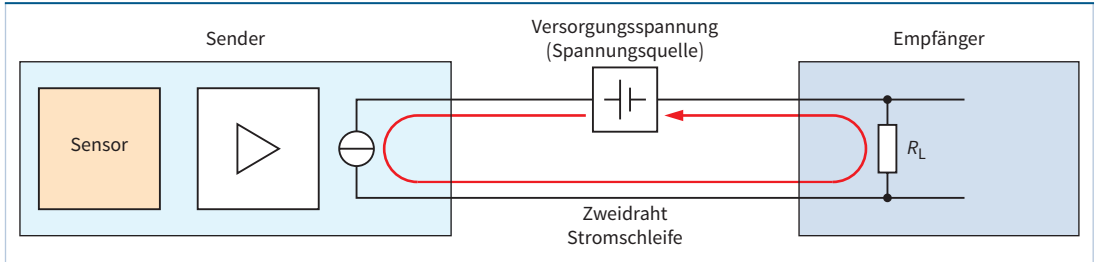
- Steckverbinder für Bemessungsspannungen ≤ 50 V besitzen keinen Schutzleiterkontakt. Zur Unterscheidung hat der Steckverbinder eine Hilfsnase. Hier entspricht die Hilfsnase der Uhrzeitstellung (z. B. 12 h).



Funktionen

- Die 4-20 mA-Stromschleife ist eine Schnittstelle, die auf Basis konstanter Stromstärken wirkt.
- Der Schleifenstrom fließt durch alle in der Schleife vorhandenen Komponenten.
- An allen Komponenten in der Schleife entstehen Spannungsfälle.
- Die Schleifenstromstärke wird von diesen Spannungsfällen nicht beeinflusst, solange die Versorgungsspannung (Spannungsquelle) höher ist als die Summe der Spannungsfälle.
- Der Vorteil der Stromschnittstelle ist die Unempfindlichkeit gegenüber elektrischem Rauschen.
- Neben der Analogwert-Übertragung wird die Stromschnittstelle auch zur Übertragung von digitalen Daten verwendet.
- Dabei entspricht die Stromstärke 0 dem digitalen Wert „0“ und die Stromstärke 20 mA dem digitalen Wert „1“.
- Die Länge der Übertragungsleitung ist abhängig von der Höhe der Spannungsversorgung, die in der Regel 24 V beträgt.
- Übertragungsentfernung ca. 1000 m bei 9600 bit/s.

Prinzip

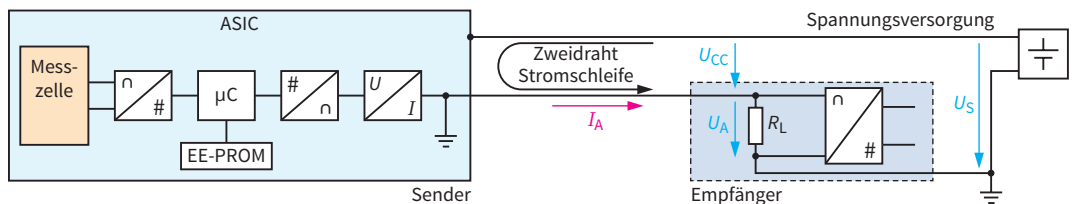


Varianten

Typ 2	Typ 3	Typ 4
- Der Sender verwendet 2 Anschlussdrähte und wird durch die Stromschleife versorgt. - Die Spannungsversorgung kann im Empfänger enthalten sein.	- Der Sender verwendet 3 Anschlussdrähte und wird von der Spannungsversorgung gespeist. - Der Sender ist die Stromquelle für die Schleife.	- Der Sender verwendet 4 Leitungen, die von der Spannungsversorgung gespeist werden. - Der Sender versorgt die Stromschleife mit Strom.
 Sensor Stromquelle		

Anwendung Typ 2

Beispiel: Drucksensor



Dimensionierung von R_L :

Der minimale Wert von U_{CC} wird durch die Minimalspannung für die elektronischen Schaltungen (ASIC und Messzelle) im Inneren des Sensors vorgegeben.

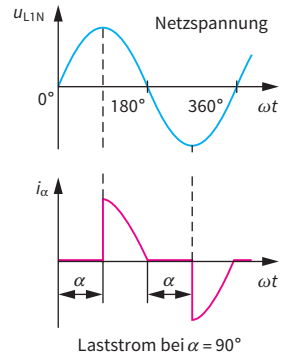
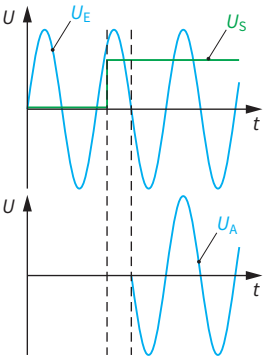
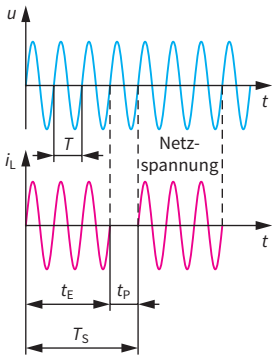
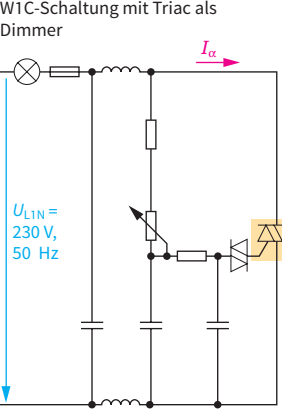
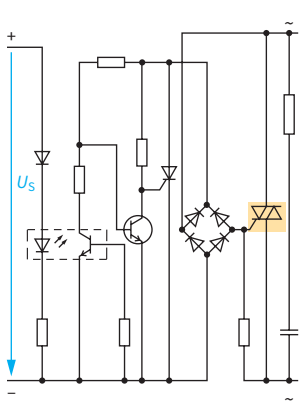
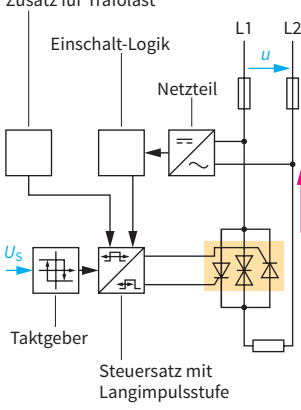
Bei langen Verbindungskabeln ist der Leiterwiderstand R_K zu berücksichtigen.

$$U_S = U_{CC} + U_A = U_{CC} + I_A \cdot R_L$$

$$U_S \geq U_{CCmin} + I_{Amax} \cdot R_L$$

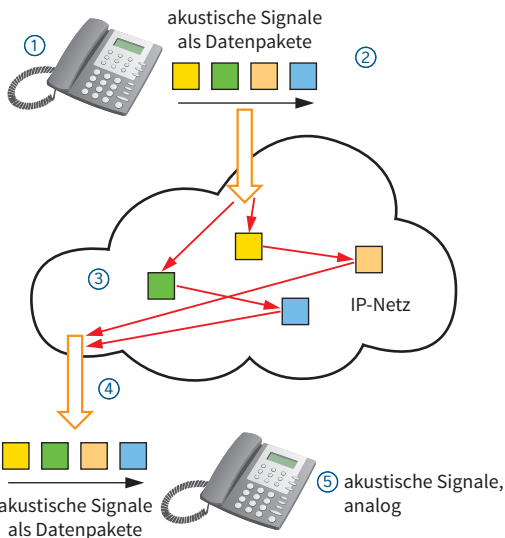
$$R_L \leq \frac{(U_S - U_{CCmin})}{I_{Amax}}$$

$$U_S \leq U_{CCmin} + I_{Amax} \cdot (R_L + R_K)$$

	Phasenanschnittsteuerung	Nullspannungsschalter	Schwingungspaketsteuerung
Beschreibung	Netzspannung wird erst bei Erreichen des Steuerwinkels α zugeschaltet. Dadurch wird der Spannungseffektivwert zwischen 0 und 100 % eingestellt.	Unabhängig vom Zeitpunkt des Steuersignals erfolgt die Einschaltung beim nächsten Spannungsnulldurchgang über der Schaltstrecke.	Einschaltvorgang des Schalters erfolgt so, dass immer eine komplette Spannungsschwingung die Last versorgt.
Anwendung	■ Einsatz im Dimmer ■ Stellglied für Anker-/Erregerkreis von Gleichstrommotoren ■ Zwischenkreiseinspeisung bei Frequenzumformern ■ Hochspannungs-Gleichstromübertragung	■ elektronisches Lastrelais ■ beliebige Lasten ■ Vermeidung von Ausgleichsvorgängen	■ Heizungs-/Temperaturregelung z. B. bei Schmelz- und Trockenöfen, Elektroheizungen, Lötkolben usw.
Schaltverhalten			
Eigenschaften	■ Verursacht Stromoberschwingungen und Steuerblindleistung. ■ Verbraucher mit hoher Leistung nur mit Sondergenehmigung des VNB zu betreiben. ■ Nach TAB 2007 max. 1,7 kW Glühlampenleistung pro Außenleiter; bei induktivem Vorschaltgerät bzw. Motoren max. 3,4 kVA	■ Prellfreies Schalten möglich ■ Ausschaltung nach natürlichem Stromnulldurchgang ■ Geringe Funkstörung und Netzurückwirkungen ■ Hohe Schaltgeschwindigkeit ■ Geräuscharmes Schalten	■ Keine Stromoberschwingungen, keine Steuerblindleistung ■ Verursacht Flicker (optisch wahrnehmbare Beleuchtungsstärkeschwankung) durch schnelle Änderung der Netzspannung ■ Max. Anschlussleistung beschränkt; abhängig von Schalthäufigkeit und Netzform
Beispiele	WTC-Schaltung mit Triac als Dimmer 		Zusatz für Trafolast 

Prinzip

- Die Telekommunikation erfolgt nicht über leitungsgebundene Netze, sondern über das Internet.
- Verwendet wird für den Datenaustausch das **Internetprotokoll (IP)**.
- Diese Art der Telekommunikation wird auch als **Voice-over IP (VoIP)** bezeichnet.
- Die akustischen Signale ① werden dazu mit Hilfe des Mikrofons in elektrische Signale umgewandelt, digitalisiert und codiert.
- Die Datenmenge wird reduziert und komprimiert.
- Danach werden diese Daten in viele kleine „Pakete“ gleicher Größe aufgeteilt ② (**Paketvermittlung**) und in das IP-Netz eingespeist.
- Die Datenpakete gelangen dann auf unterschiedlichen Wegen ③ zum Empfänger (IP-Adresse) und werden dort wieder zu einem kontinuierlichen Datenstrom zusammengefügt ④.
- Zum Ausgleich zeitlicher Schwankungen bei der Übertragung der Pakete werden Pufferspeicher verwendet.
- Für den Auf- und Abbau von Verbindungen wird ein Protokoll eingesetzt, das von der Sprachkommunikation getrennt ist (**SIP: Session Initiation Protocol**).

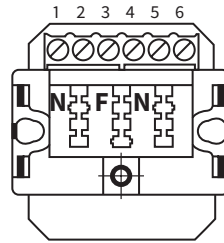


Übertragungsqualität

- Sie hängt ab von
- der verwendeten Abtastrate (Analog-Digital-Umsetzer) auf der Senderseite (Standard-Telefonqualität 8 kHz),
 - den eingesetzten Kompressions- und Reduktionsverfahren,
 - einem möglichen Verlust von Datenpaketen, da der Empfang der Datenpakete nicht bestätigt wird (Paketverlustrate),
 - der Übertragungskapazität des Netzes (z. B. 100 bis 120 kbit/s) und
 - Verzögerungen (Jitter) und Schwankungen bei der Datenübertragung.

IP-basierter Anschluss

- Vom **Diensteanbieter** (service provider) gelangen die Signale über Kupfer- bzw. Lichtwellenleiter in die **Vermittlungsstelle** und dann in die **Verteilerkästen**, die sich häufig in der Nähe von Wohngebäuden bzw. Wohneinheiten befinden.
- Im Wohngebäude ist abschließend eine **TAE-Dose** (Telekommunikations-Anschluss-Einheit) installiert. Dort endet die Zuständigkeit des Netzbetreibers.



- Vorteile gegenüber einem bisherigen Anschluss:
 - Alle Dienste sind über einen Anschluss möglich.
 - Größere Datenmengen können in vergleichbaren Zeitabschnitten übertragen werden (größere Bandbreite).
 - Zwei Sprachkanäle, verbesserte Sprachqualität
 - WLAN-Anbindung
 - Bis zu 10 Rufnummern

Router

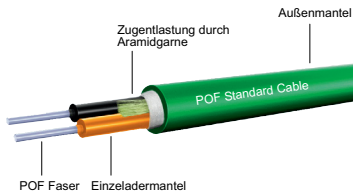
- Für die IP-basierte Telekommunikation werden Router verwendet. Es sind Geräte, die
 - Netzwerkpakete mit Hilfe von IP-Adressen weiterleiten,
 - Anpassungen zwischen unterschiedlichen Protokollen vornehmen und
 - Sicherheitsmaßnahmen durchführen können.
- Router benötigen eine eigene Energieversorgung.
- Für Telefone ist eine TAE-Dose mit **F-Codierung** (F: Fernsprechtrommelbetrieb ①) vorgesehen.
- Für die Signalführung aus dem Netz sowie für die PC-Anschlüsse ② sind RJ45 Buchsen vorhanden.

Beispiel:



POF: Polymer Optical Fiber

- DIN EN 60793-2-40:2016-10
- Polymere optische Faser, Kunststoff-LWL
- Kern und Mantel aus Kunststoff
- Einadriges Kabel mit Stufenindex (SIF, SI-POF), Gradientenindex (**GI-POF**) oder **Multi Step Index (MSI-POF)**
- Mehradriges Kabel: **Multicore POF (MC-POF)**
- Anwendungen: Kurzstrecken Datenübertragung, Haus, Automobil
- Dämpfung hoch: bei 650 nm ≤ 180 dB/km
- **Bandbreite-Längen-Produkt (BLP)** ca. 1 MHz · km



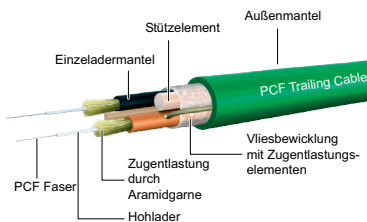
Faserkategorien und Basiseigenschaften

OM: Optical Multimode

Typ	Kerndurchmesser in μm		Bandbreitenlängenprodukt (BLP) in MHz · km		Dämpfung in dB/km	
			850 nm	1300 nm	850 nm	1300 nm
OM1	50	62,5	≥ 200	≥ 500	3,5	1,5
OM2	50	62,5	≥ 500	≥ 500	3,5	1,5
OM3	50		≥ 1500	≥ 500	3,5	1,5
OM4	50		≥ 3500	≥ 500	3,5	1,5
OM5	50		≥ 4700	≥ 2470	3,5	1,5

PCF: Polymer Cladded Fiber

- DIN EN 60793-2-30:2016-12
- Polycarbonat-Glasfaser
- Kern aus reinem Quarzglas, harter polymerer Mantel
- Kern-Mantel-Durchmesser bei 650 nm; 200/230 μm
- Dämpfung: < 10 dB/km
- Bandbreite-Längen-Produkt (BLP) 20 MHz · km
- Anwendung: Für große Entfernungen



Standardisierte Farben

■ OM-Kabel

Klasse	Stecker	Patchkabel	Verlegekabel
OM1	beige	orange	orange
OM2	beige	orange	orange
OM3	aqua	aqua	orange
OM4	schwarz	erikaviolett	orange
OM5	lime, neongrün		

■ LWL-Fasern

	IEC 60794-2	Faser		Worldcom ¹⁾
	blau	1		blau
	gelb	2		orange
	rot	3		grün
	weiß	4		braun
	grün	5		grau
	violett	6		gelb
	orange	7		rot
	grau	8		violett
	türkis	9		weiß
	schwarz	10		schwarz
	braun	11		rosa
	rosa	12		türkis

¹⁾ Telefongesellschaft USA

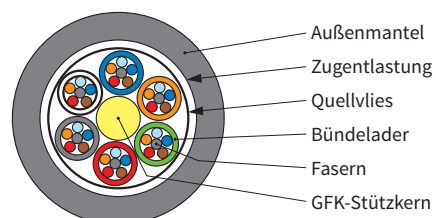
Grundsätzlicher Kabelaufbau

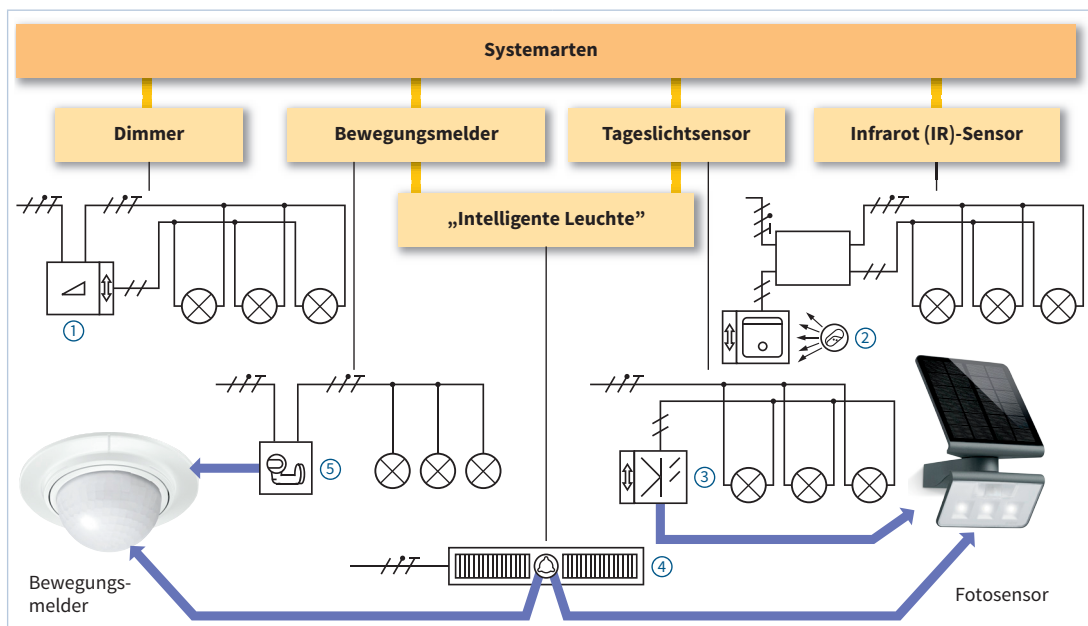
Vollader		- Kompakt, flexibel - Empfindlich gegen Zugbelastung und Temperaturschwankungen
Hohlader		- Faser liegt lose in der Hülle - Unempfindlich gegenüber Temperaturschwankungen - Verbesserte Zugentlastung
Kompakt-ader		- Kombination aus Hohlader und Vollader - Gleitschicht zwischen Faser und Hülle
Bündelader gefüllt/ungefüllt		- Mehrere Fasern in einer Hülle - Füllung mit wasserabweisendem Gel - Geeignet für raue Umgebung im Außenbereich

Hülle, fest	LWL-Faser	Gelartige Füllmasse
Hülle, lose	Hohlraum	

Außenkabel (Beispiel)

A-DQ(ZN)B2Y 4x12



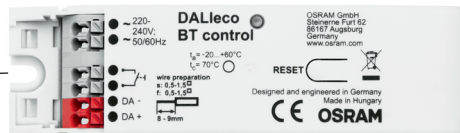
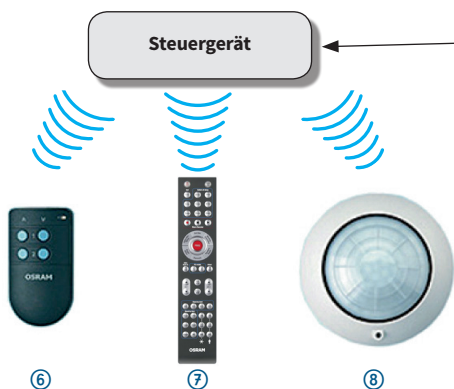


Funktionen:

- Dimmen der Beleuchtungsstärke manuell ①
- Dimmen mit Hilfe einer Fernbedienung ②
- Steuerung durch Sensor mit Abschaltverzögerung je nach Tageslichtintensität ③
- Steuerung durch Sensor je nach Tageslichtintensität mit gleichzeitiger Steuerung der Beleuchtungsstärke ④
- Steuerung der Beleuchtungsstärke durch Sensoren je nach Anwesenheit ⑤

Beispiel

Digitales Lichtsteuersystem mit DALI-Schnittstelle
(Digital Adressable Lighting Interface)



Hinweis: Anschluss von maximal 64 EVGs

- ⑥ Minibedienung
- ⑦ Komfortbedienung
- ⑧ Licht- und Bewegungssensor

Systemeigenschaften:

- Gruppenweise Lichtregelung und bewegungsabhängige Aktivierung von Lichtsystemen über Funk
- Tageslichtabhängige Lichtregelung möglich
- Kommunikation zwischen Zentrale (Steuergerät) und Komponenten des Lichtsteuersystems über Funk
- Steuerfunktionen zwischen Zentrale und EVGs über Leitung
- Einstellungen des Systems bleiben auch nach längerem Netzausfall erhalten
- Anschluss von Leuchten über DALI-EVGs mit DIMM-Funktion (1 % ... 100 %)
- Keine separaten Leitungen für die DALI-Schnittstelle, Verwendung der zwei nicht benötigten Adern von NYM 5 x 1,5 mm² möglich
- Verwendung von Funkkomponenten ermöglichen schnelle Systemänderungen und Nachrüstungen ohne zusätzlichen Leitungsaufwand

Merkmale

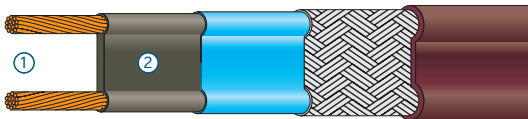
- Begleitheizungen werden eingesetzt, um bestimmte Temperaturbedingungen (z. B. Frostschutz, Medientemperatur) einzuhalten.
- Anwendung: im Industrie- und Privatbereich für die Beheizung von z. B.
 - Rohren, Ventilen, Pipelines, Abwasserrohren
 - Warmwassererhaltung, Öltanks, Freiflächen.

Technologien

- Verfügbare Technologien:
 - Selbstregulierende Heizkabel,
 - Konstantleistungs-Heizkabel und
 - Serielle Widerstandskabel.
- Die Auswahl der Technologie für eine bestimmte Heizaufgabe ist u. a. abhängig von der erforderlichen Heizleistung und der Längenausdehnung.

Selbstregulierende Heizkabel

Aufbau



- Kupferleiter ① sind am Ende nicht miteinander verbunden
- Elektrischer Widerstandskern ② (kohlenstoffhaltiger Kunststoff) zwischen den Leitern

Funktion

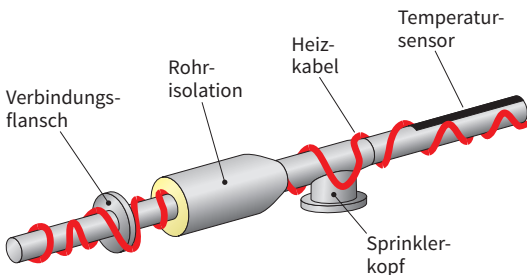
- **Hohe Umgebungstemperatur:** Kunststoffkern dehnt sich aus (molekulare Expansion), Widerstand steigt, Heizleistung sinkt
- **Niedrige Umgebungstemperatur:** Kunststoffkern zieht sich zusammen, Widerstand sinkt, Heizleistung steigt

Heizleistungsbemessung

Erforderliche Angaben:

- Durchmesser, Länge und Art des Rohres
- Qualität und Dicke der Isolierung
- Umgebungstemperatur
- Erforderliche Temperatur der zu erwärmenden Flüssigkeit

Beispiel: Heizkabel für Sprinklerrohr

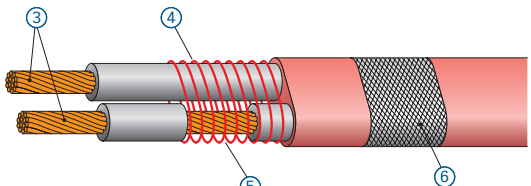


Beispiel:

Bemessungsspannung	230 V
Mittlere Leistung bei 10 °C pro m	22 W
Selbstregulierende Temperatur gleichmässig	65 °C
Maximal zulässige Temperatur	85 °C
Maximal zulässige Länge des Heizkabels	150 m
Anlaufstromstärke (kalter Zustand bei +10 °C)	0,14 A
Anlaufstromstärke (kalter Zustand bei -10 °C)	0,21 A

Konstantleistungs-Heizkabel

Aufbau



Ersatzschaltung

R : Heizleiterwiderstand pro Längenabschnitt

- Kupferleiter ③ (Stromzufuhr) sind am Ende **nicht** miteinander verbunden
- Heizleiter ④ (Ni-Chrome-Widerstandsdraht)
- Verbindungspunkt ⑤ zwischen Heizleiter und Kupferleiter (Leiterisolierung in festgelegten Abständen / abwechselnd einpolig unterbrochen und mit Kupferleiter verschweißt: Parallelschaltung der Heizleiterabschnitte)
- Gesamtschirmung ⑥

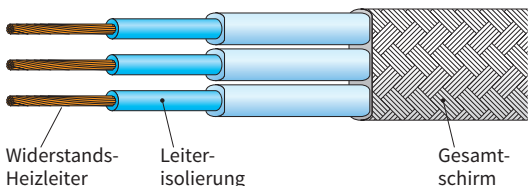
Funktion

- Erzeugt konstante Heizleistung pro Meter
- Kabel an beliebiger Stelle kürzbar

Serielle Widerstandskabel

Aufbau

Beispiel: Drehstromausführung



Funktion und Bemessung

- Endpunkte der Widerstandsheizleiter werden in Sternschaltung verbunden
- Heizleistung **muss** über Temperaturregeleinrichtung gesteuert werden
- Kabellänge ist speziell für die Anforderungen zu bemessen (elektrische Leistung bzw. erforderliche Wärmemenge pro m)

[A. Eberle GmbH & Co. KG, Nürnberg: 211.3, 211.4. |ABB, Friedberg: 319.9. |ABB STOTZ-KONTAKT GmbH, Heidelberg: 91.1, 91.2, 95.3, 95.4, 95.5, 95.6, 95.7, 95.8, 95.9, 215.1. |AMSYS GmbH & Co. KG, Mainz: 130.6. |AVENTICS GmbH, Laatzten: 143.7, 143.8, 143.9. |Bayerische Kabelwerke AG, Roth: 82.1. |BC GmbH Verlags- und Medien-, Forschungs- und Beratungsgesellschaft, Ingelheim: 2.1, 2.3, 2.4, 2.5, 2.6, 2.7, 2.8, 2.9, 2.10, 2.11, 2.12, 2.13, 2.14, 2.15, 2.16, 2.17, 2.18, 2.19, 2.20, 2.21, 2.22, 2.23, 2.24, 2.25, 2.26, 2.27, 2.28, 2.29, 2.30, 404.2, 404.3, 404.4, 404.5, 471.1, 471.2, 471.3, 471.4, 471.5, 471.6, 471.7, 471.8, 471.9, 471.10, 471.11, 471.12, 471.13, 471.14, 471.15, 471.16, 471.17, 471.18, 471.19, 471.20, 479.1, 479.2, 479.3, 479.4, 479.5, 479.6, 479.7, 479.8, 479.9, 479.10, 479.11. |Brandenburger Kabelwerk GmbH, Zehdenick: 80.8. |BSD GmbH, Großbröhrsdorf: 200.1, 200.2, 200.3, 200.4. |Burgarella, Claudio, Köln: 362.4. |ComatReleco AG, Worb: 250.1, 250.5, 250.8. |Dätwyler, Hattersheim: 376.1, 376.2, 376.3, 413.2, 413.3, 413.4, 417.4, 417.5, 417.6. |Deca s.p.a., Rovereto/Repubblica di San Marino: 208.4. |deckermidia GbR, Rostock: 250.2, 250.3, 250.6. |DEHN SE + Co KG, Neumarkt i.d.OPf.: 106.4, 107.1, 107.2, 199.10, 199.11, 407.4, 407.6, 422.2, 440.4. |DIAS Infrared GmbH, Dresden: 260.2. |Druwe & Polastri, Cremlingen/Weddel: 54.4, 54.7. |Dzieia, Michael Dr., Darmstadt-Arheilgen: 92.1, 92.3. |E-T-A Elektrotechnische Apparate GmbH, Altdorf: 98.7, 98.8, 98.9. |Eaton Industries GmbH, Bonn: 124.1, 124.3, 340.2. |ebm-papst Muldingen GmbH & Co. KG, Muldingen: 359.1, 359.2, 359.3. |EKF Elektronik GmbH, Hamm: 167.3, 167.4. |Emile Egger & Cie SA, Cressier NE: Rohrbogenpropellerpumpe; Egger-Typenbezeichnung: RPP 360.1. |EnOcean GmbH, Oberhaching: 135.1, 135.3, 135.7. |EPA GmbH, Bruchköbel: www.epa.de 355.1, 355.3. |Festo AG & Co. KG, Esslingen: 142.10, 142.11, 142.14, 142.15, 143.5. |Fluke Deutschland GmbH, Glotttetal: 260.3, 260.4, 261.2, 261.3, 261.4. |fotolia.com, New York: cenkeratila.3.1. |GAMMA-SCOUT GmbH & Co.KG, Schriesheim: 473.5. |GMC-I Service GmbH, Nürnberg: 104.1. |GNB Industrial Power - EXIDE Technologies GmbH, Büdingen: 233.1, 233.2, 233.3. |Gustav Hensel GmbH & Co. KG, Lennestadt: 89.1, 199.9. |Gustav Klauke GmbH, Remscheid: 270.1, 270.2, 270.3, 270.4, 270.5, 270.6, 270.7, 270.8, 270.9, 270.10. |Hager Vertriebsgesellschaft mbH & Co. KG, Blieskastel: 89.7, 90.1, 94.4. |HARTING Deutschland GmbH & Co. KG, Minden: 273.5, 273.12. |Heinrich Klar Schilder- u. Etikettenfabrik GmbH & Co. KG, Wuppertal: 2.2. |Helukabel GmbH, Hemmingen: 78.2, 78.3, 78.5, 78.7, 78.9, 78.10, 78.11, 80.1, 80.2, 80.3, 80.4, 80.5, 80.6, 80.7, 80.9, 80.10, 80.11, 80.12, 80.13, 81.1, 81.2, 81.3, 81.4, 81.5, 81.6, 81.7, 81.8, 81.9, 81.10. |Hilti Deutschland AG, Kaufering: 267.1, 267.2, 267.3, 267.4, 267.6. |Hübscher, Heinrich, Lüneburg: 158.1, 160.1, 160.3, 279.3, 302.3, 362.2, 382.3, 382.4, 382.5, 382.6, 382.7. |Hymer-Leichtmetallbau GmbH & Co. KG, Wangen im Allgäu: 469.1, 469.2, 469.3, 469.4, 469.5, 469.6. |Hytec Hydraulik OHG, Helmstedt: 148.4. |INELTA Sensorsysteme GmbH & Co., Taufkirchen: Michael Fiala 131.4, 131.7. |Infineon Technologies AG, Neubiberg: Mit freundlicher Genehmigung der Infineon Technologies AG 57.4, 57.6. |Infinite Electronics, Inc, Irvine: 309.1. |Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA), Sankt Augustin: 320.4, 320.5. |ismet AG, Villingen-Schwenningen: 205.2, 205.3. |iStockphoto.com, Calgary: Asian 372.2. |KAISER GmbH & Co. KG, Schalksmühle: 89.3, 89.5. |KELLER AG für Druckmesstechnik, Winterthur: www.keller-druck.com 130.4. |Kistler Instrumente GmbH, Sindelfingen: 252.3. |KWS Electronic Test Equipment GmbH Tattenhausen, Großkarolinenfeld: 379.3. |LANZ OENSINGEN AG, Oensingen: G-Kanal der lanz oensingen ag 371.1. |LEDVANCE GmbH, Garching: Abbildungen von Leuchtmitteln mit freundlicher Genehmigung der LEDVANCE GmbH 401.1, 401.3, 401.5, 401.7. |Lithos, Wolfenbüttel: Grafiken|MENNEKES Elektrotechnik GmbH & Co. KG, Kirchhundem: 273.2. |MicroNova AG, Vierkirchen: 190.1. |Microsoft Deutschland GmbH, München: 320.6. |NEDIS GmbH, Bremen: 273.11. |NETZSCH Pumpen & Systeme GmbH, Waldkraiburg: 360.2. |OBO Bettermann Holding GmbH & Co. KG, Menden: 89.10, 89.11. |Osram AG, München: 405.8, 405.9, 405.10. |OSRAM GmbH - Marketing Communication, München: 405.4. |PeakTech Prüf- und Messtechnik GmbH, Ahrensburg: 220.4. |Petersen, Sebastian, Helmstedt: 180.1, 182.1, 260.1, 395.5, 396.4, 396.5, 396.6. |PHOENIX CONTACT GmbH & Co. KG, Blomberg: 273.13, 407.5. |Plattform Industrie 4.0, Berlin: Plattform Industrie 4.0/Salari 460.1. |PULS GmbH, München: 220.3. |reichelt elektronik GmbH & Co. KG, Sande: 273.3, 273.9, 273.10. |Rittal GmbH & Co. KG, Herborn: 89.12, 89.13. |Rohde & Schwarz GmbH & Co. KG, München: 243.1. |Schneider-Albert, Gabriela, Berlin: 48.2, 48.3, 48.4, 48.5. |Seibersdorf Labor GmbH, Seibersdorf: Dosimeterservice 473.4. |Shutterstock.com, New York: Andrey_Popov 383.2; Gerber, Gregory 159.1; Jin young-in 555.2; Macrovector 396.2; Martynyuk, Ivan 365.2; New Africa 383.1. |SICK AG, Waldkirch: 133.1, 133.2, 133.3, 133.5, 133.6, 133.7, 133.8, 133.9. |Siemens AG, München: 97.3, 97.4, 97.5, 111.1, 111.2, 137.1, 195.1, 195.2, 197.4, 207.1, 220.5, 283.1, 284.2, 304.1, 320.2, 320.3, 340.3, 340.4, 340.5, 375.1, 375.2; © Siemens AG 2019, Alle Rechte vorbehalten 135.4, 135.6, 135.8. |STEINEL Vertrieb GmbH, Herzebrock-Clarholz: 405.2, 405.3. |STEP Sensortechnik und Elektronik Pockau GmbH, Pockau-Lengefeld: 473.3. |stock.adobe.com, Dublin: Aliaksandra 90.4; garage38 89.9; Jamrooferpix 396.1; Kharkin, Vyacheslav 90.2; mpix-foto 248.1, 248.2; Tactic, Max 90.3; Wandruschka, Olaf 465.2. |TDK Electronics AG, München: A TDK Group Company 2017 355.5, 355.7. |TECNOTION B.V., Almelo, Niederlande: 356.3, 356.4. |Thermo Fisher Scientific Messtechnik GmbH, Erlangen: 473.2. |TR-Electronic GmbH, Trossingen: 136.2, 136.4. |WAGO Kontakttechnik GmbH & Co. KG, Minden: 272.2. |Weller Tools GmbH, Besigheim: 269.2, 269.3, 269.4. |wenglor sensoric GmbH, Tettnang: 134.1, 134.2, 134.3, 134.5, 134.6, 134.7, 134.8, 134.9. |©STEMMER IMAGING, Puchheim: 138.3, 138.5, 138.6, 138.7.

Wir arbeiten sehr sorgfältig daran, für alle verwendeten Abbildungen die Rechteinhaberinnen und Rechteinhaber zu ermitteln. Sollte uns dies im Einzelfall nicht vollständig gelingen sein, werden berechnete Ansprüche selbstverständlich im Rahmen der üblichen Vereinbarungen abgegolten.