

Leseprobe

Christiani

seit 1931

Hermann Wellers · Hans Lennert

Tabellenbuch Elektrotechnik mit Formelsammlung

Betriebs- und Automatisierungstechnik



Dr.-Ing. Paul Christiani GmbH & Co. KG
www.christiani.de

Grundlagen	13
Bauelemente der Elektrotechnik	65
Errichtung elektrischer Anlagen	115
Elektrische Maschinen und Antriebe	195
Messtechnik und Sensorik	245
Automatisierungstechnik	279
Stromrichter	371
Installationstechnik	405
Technische Dokumentation	451
Informationstechnik	505

3

Inhalt

Grundlagen.....	13
Physikalische Größen, Einheiten und Konstanten	13
Formelzeichen und Einheiten	15
Mathematische Zeichen	17
Zahlensysteme	18
Rechnen mit Dualzahlen	19
Codes	20
Mathematische Grundlagen	24
Formelumstellung	27
Flächenberechnung	28
Volumenberechnung	29
Physikalische Formeln	30
Mechanik	31
Einfache Antriebe	33
Formeln der Elektrotechnik	34
Gleichstromtechnik	34
Elektrisches Feld	38
Magnetisches Feld	40
Wechselstromtechnik	42
Drehstromtechnik	51
Symbole und Schaltzeichen der Elektrotechnik	54
 Bauelemente der Elektrotechnik	 65
Elektrische Widerstände	65
Nichtlineare Widerstände	68
Heißleiter	68
Kaltleiter	69
Spannungsabhängige Widerstände	69
Kondensatoren	70
Halbleiterbauelemente	73
Kennzeichnung von Halbleitern	73
Farbcodierung von Dioden	74
Bipolare Transistoren	76
Feldeffekttransistoren	78
Thyristoren	81
Optoelektronische Bauelemente	83
Operationsverstärker	87
Wichtige Kenndaten des Operationsverstärkers	87
Grundsaltungen mit Operationsverstärkern	88
Logische Verknüpfungen	90
NAND- und NOR-Schaltungstechnik	93
Bistabile Kippglieder	93
Zeitverzögerung	95
Schaltalgebra	96
Schaltkreisfamilien	97
Arbeitstabelle	98
Wahrheitstabelle	98
Kühlung von Halbleiterbauelementen	101
Elektrochemische Spannungsquellen	101
Primärelemente	101
Sekundärelemente	104
Akkumulatoren	104
Fotovoltaik	108

4

Inhalt

Errichtung elektrischer Anlagen	115
Netzsysteme	115
Elektrische Anlagen bis 1000 V, Begriffe	117
Schutzmaßnahmen – Schutz gegen elektrischen Schlag	119
Wirkung des elektrischen Stromes auf den menschlichen Körper	119
Schutz sowohl gegen direktes als auch bei indirektem Berühren	119
Schutz durch Kleinspannung – SELV und PELV	119
Schutz gegen elektrischen Schlag unter normalen Bedingungen	120
Schutzklassen	124
Schutzmaßnahmen im TN-System	124
Schutzmaßnahmen im TT-System	125
Schutzmaßnahmen im IT-System	126
Schutztrennung	127
Schutz durch RCD	128
RCD-Typen	128
Leitungen und Kabel	130
Leitungsberechnung	130
Mindestquerschnitte von Kabeln und Leitungen	131
Aderfarben	132
Spannungsangaben	132
Bauartkurzzeichen	133
Harmonisierte Leitungen	134
Isolierte Starkstromleitungen für feste Verlegung	135
Flexible Starkstromleitungen	138
Leitungsverlegung	142
Schutz von Leitungen	143
Strombelastbarkeit und Zuordnung der Überstromschutzorgane	143
Schmelzsicherungen	147
Leitungsschutzschalter	150
Höchstzulässige Leitungslänge	151
Prüfung von Anlagen und Verbrauchsmitteln	153
Erstprüfung	153
Messung der Durchgängigkeit des Schutzleiters	153
Messung des Isolationswiderstandes	155
Isolationswiderstandsmessung von Fußböden und Wänden	156
Prüfung der Spannungspolarität	156
Messung der Schleifenimpedanz	157
Messung des Netzzinnenwiderstandes	158
Messung des Erdungswiderstandes	159
Prüfung des Drehfeldes	159
Prüfung von Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen (RCDs)	160
Spannungsprüfung	161
Schutz gegen Restspannung	161
Prüfung elektrischer Geräte	161
Schutzleiterprüfung	163
Messung des Isolationswiderstandes	164
Messung des Schutzleiterstromes	166
Messung des Berührungstromes	167
Nachweis der sicheren Trennung bei SELV und PELV	168
Funktionsprüfung	168
Beurteilung, Dokumentation	168
Wiederkehrende Prüfungen	169
Blindleistungskompensation	170
Berechnung der Kompensationskondensatoren	170
Überspannungsschutz	174
Starkstromkabel	178
Steckvorrichtungen	180

Inhalt

5

Schutz- und Meldeeinrichtungen	182
Brandschutz	182
Rauchmelder	186
Brandschutzschalter	188
Einbruchmelder	189
VdS-Sicherungsklassen	190
Symbole Gefahrenmeldeanlagen	191

Elektrische Maschinen und Antriebe 195

Betriebsarten elektrischer Maschinen	195
Bauformen und Aufstellung	197
IP-Schutzarten	200
Erwärmung elektrischer Maschinen	202
Betriebswerte von oberflächengekühlten Drehstrommotoren	203
Energieeffizienz elektrischer Antriebe	207
Leistungsschild	208
Wirkungsgradangabe	208
Wirkungsgrade verschiedener Klassen	208
Drehstrommotor mit Käfigläufer IE 3	209
Wichtige Elektromotoren	211
Normmaße von Drehstrommotoren	212
Drehstrom-Asynchronmotoren	214
Käfigläufermotor	216
Kondensatormotor	217
Drehstrommotor am Einphasennetz (Steinmetzschaltung)	218
Universalmotor	218
Spaltpolmotor	219
Gleichstrommotoren	219
Gleichstrom-Reihenschlussmotor	219
Gleichstrom-Nebenschlussmotor	220
Fremderregter Gleichstrommotor	220
Schrittmotor	222
Bremsen von Elektromotoren	223
Servomotoren	224
Motorschutz	226
Standardschaltungen mit Elektromotoren	230
Transformatoren	232
Wichtige Größen des Transformators	233
Kurzschlussspannung	234
Drehstromtransformator	235
Parallelschaltung von Drehstromtransformatoren	237
Sondertransformatoren	238
Messwandler	240
Auswahl des Antriebsmotors	240
Kühlung	241
Anpassung an die Arbeitsmaschine	241
Inbetriebnahme elektrischer Maschinen	242
Störungen bei Elektromotoren	243

Messtechnik und Sensorik 245

Grundbegriffe der Messtechnik	245
Darstellung von Messgrößen	246
Genauigkeitsklasse	246
Sinnbilder zur Beschriftung von Messgeräten	246

6

Inhalt

Zeigermessgeräte	247
Digitale Multimeter	248
Leistungsmessung	249
Elektrizitätszähler	250
Elektronischer Zähler	252
Messen mit dem Oszilloskop	253
Sensoren	257
Digitales Sensorsystem	258
Schaltzeichen von Messkettengliedern	258
Temperatursensoren	259
Widerstandsmessfühler	260
Thermoelemente	260
Weg- und Winkelmessung	261
Drehzahlmessung	263
Drehgeber	264
DMS-Bauformen	265
DMS-Messschaltungen	266
Drucksensoren	269
Induktive Näherungsschalter	271
Kapazitive Näherungsschalter	273
Ultraschallsensoren	273
Optoelektronische Sensoren	274
Füllstandsmessung	277
Durchflussmessung	277

Automatisierungstechnik 279

Grundbegriffe der Steuerungstechnik	279
Schütze	281
Relais	283
Schutzbeschaltung	285
Befehls- und Meldegeräte	286
Farben für Drucktaster, Leuchtdrucktaster und Anzeigen	286
Befehlsgeber und Leuchtmelder	286
Grenztaster	287
Speicherprogrammierbare Steuerungen (SPS)	288
Binäre Verknüpfungen	289
Steueranweisungen	289
Operanden/Zuordnungsliste	290
Programmiersprachen AWL, FUP, KOP	291
Merker – Klammern	292
Abfrage von Öffnern	292
Speicher	293
Zeitfunktionen und Zähler	294
Programmsprung	296
Flankenbewertung	296
Ablaufsteuerung, Schrittsteuerung	297
Befehle, Aktionen	298
Lineare Schrittkette	300
Verzweigung, Sprung und Schleife	301
GRAFCET	302
Strukturierte Programmierung	305
Programmbausteine	305
Sprachelemente, Datentypen und Variablen	306
Variablen und Variablendeklaration	307
Strukturierter Text	308
Wortverarbeitung	310

Inhalt

7

Operationen und Operanden	310
Arithmetische Funktionen	311
Vergleichsfunktionen	311
Analogwertverarbeitung	311
Kleinststeuerung	312
Regelungstechnik	314
Regelkreis	314
Elemente einer Regelstrecke	315
Zeitverhalten von Führungsgrößen	315
Zeitverhalten von Regelkreisgliedern	316
Stetige Regeleinrichtungen	316
Stetige Regeleinrichtungen mit Operationsverstärkern	319
Regelstrecken	320
Zeitverhalten von Regelstrecken	321
Einstellung von Reglern	322
Verlauf eines Regelvorganges	322
Reglereinstellung nach Ziegler und Nichols	322
Reglereinstellung nach Chien, Hrones und Reswick	323
Zweipunktregeleinrichtung	323
Digitale Regelung	324
Industriebussysteme	326
Informationsaustausch in der Automatisierungstechnik	327
Netzwerktopologien	328
Aktor-Sensor-Interface (ASI)	329
ASI safe	333
Multi Point Interface	333
PROFIBUS	334
PROFIBUS FMS	334
PROFIBUS DP	335
PROFIBUS PA	339
PROFINET	339
Echtzeitverhalten	339
PROFINET IO	342
Interbus	349
CAN-Bus	349
Safety-Bus	350
Maschinensicherheit	352
Sicherheitskategorien	353
Risikobeurteilung	354
Not-Befehlseinrichtung	358
Not-Aus und Drahtbruchsicherheit	359
Zweihandverriegelung	359
Beschaltung einer SPS	359
Selbstüberwachende Sicherheitsschaltung	360
Not-Aus-Schaltgerät	360
Erdschlusssicherheit	361
Steuertransformator	362
Netzanschluss	362
Toleranzbereich der Versorgungsspannung	363
Elektromagnetische Verträglichkeit	364
Netzqualität	367

Stromrichter **371**

Kennzeichnung von Stromrichtern	371
Ungesteuerte Stromrichter (Gleichrichter)	372
Gesteuerte Stromrichter	372

8

Inhalt

Wechselrichter	377
Drehzahlsteuerung von Drehfeldmaschinen	378
Betriebsdiagramm von Stromrichterantrieben	380
Gleichstromsteller	381
Wechselstromsteller	381
Schutz von Halbleitern und Stromrichtern	382
Halbleiterschütz	383
Softstarter	384
Frequenzumrichter	389
Netz- und Geräteventile	397
Schaltschrank und Leitungsführung	398
Spannungsversorgung von Betriebsmitteln	398
Kenndaten von Gleichrichterschaltungen zur Spannungsversorgung	399
Siebschaltungen und Spannungsstabilisierung	399
Schaltnetzteile	400
Oberschwingungen	402
Installationstechnik	405
Sicherheitsregeln	405
Arbeiten unter Spannung	405
Zulässiger Spannungsfall	406
Installationsrohre	406
Installationsschaltungen	408
Schalten von Leuchtstofflampen	411
Licht- und Beleuchtungstechnik	411
Beleuchtungsberechnung	413
Lampendaten	416
Leuchtdioden	418
LED-Lampen	420
LED-Lampen für Beleuchtungszwecke	422
Lichtfarbe und Farbwiedergabeeigenschaften	426
Anwendung von Leuchtstofflampen	427
Lampentypen und Sockel	427
Kennzeichnung von Leuchten	428
Vorschaltgeräte von Leuchtstofflampen	429
Gebäudesystemtechnik (EIB/KNX)	429
Aufbau des Bussystems	431
Linien und Bereiche	431
Topologie des Bussystems mit Linien und Bereichen	432
Busstrukturen	433
Busleitung	433
Informationsübermittlung	434
Adressierung	434
Telegrammaufbau	436
Powernet	436
KNX-Funk	436
Räume mit elektrischen Anlagen	436
Elektrische Betriebsstätten	436
Abgeschlossene elektrische Betriebsstätten	437
Batterieräume und Ladestationen	437
Trockene Räume	437
Feuchte und nasse Räume	437
Anlagen im Freien	437
Feuergefährdete Betriebsstätten	438
Räume mit Badewanne oder Dusche	439
Baustellen	442
Explosionsgefährdete Bereiche	443

Inhalt

9

Technische Dokumentation 451

Normung	451
Technisches Zeichnen	451
Papierformate	451
Beschriftung	452
Maßstäbe	452
Linien	452
Projektionen	452
Körperansichten	453
Bemaßung	454
Gewinde	457
Kennzeichnung von Schaltplänen	457
Kennzeichnung elektrischer Betriebsmittel	458
Stromlaufpläne	473
Regeln für Stromlaufpläne	473
Klemmverbindungen	475
Übergangswiderstand von Klemmen	476
Kontakttabellen	477
Hauptstromkreis und Steuerstromkreis	479
Anschlussstabelle (Klemmenplan)	481
Anordnungsplan	481
Stromkreisverteiler	482
Ortsbezogene Pläne	482
Programmablaufplan (Flussdiagramm)	483
Elementare Programmstrukturen	483
Fluidtechnik	485
Grafische Symbole	485
Wegeventile	487
Pneumatik	487
Grundsaltungen der Elektropneumatik	491
Hydraulik	494
Instandhaltung	497
Dokumentation	499
Dokumentation eines betrieblichen Auftrags	500
Betriebsanleitung	501
Bedienungsanleitung	502
Kurzanleitung	502
Produktinformation	502
Lastenheft, Pflichtenheft	502

Informationstechnik 505

Aufbau eines Computers	505
Externe Schnittstellen	506
Schnittstellen	507
Stecker, USB	509
Bluetooth	511
Speichermedien	511
Speicherbausteine	511
Halbleiterspeicher	512
Festspeicher	512
Speicherkarten	512
Optischer Speicher	514
Festplattenlaufwerk	514
Flachbildschirm	515
Drucker	516
LAN und WLAN	518

10

Inhalt

Topologien	518
WLAN	519
Netzwerkkomponenten	520
Netzwerkkarten	521
Verkabelung von Netzwerken	521
Netzwerkkabel	522
Verbinder	524
Lichtwellenleiter	525
Netzwerkprotokolle	530
Datensicherheit	534
Datenschutzstrategie	535
Datenschutz-Grundverordnung	536
Personenbezogene Daten	537
Industrie 4.0	538
Sicherheitskennzeichen	540
Farben und Formen	540
Verbotszeichen	541
Warnzeichen	542
Gebotszeichen	543
Brandschutzzeichen	544
Rettungszeichen	544
Kennzeichnung von Druckgasflaschen	544
Prüfzeichen	545
Risikosätze für Gefahrstoffe (H-Sätze)	545
Sicherheitsratschläge (P-Sätze)	546
GHS/CLP	547
Kennzeichnung von Rohrleitungen	549
Gefahrstoffe am Arbeitsplatz	550
Lärmschutz	551
Entsorgung von Abfällen	552
Verpackungsverordnung	553
Persönliche Schutzausrüstung	554
Qualifikationen	554
Verhalten in Notfällen	555
Notfall-Rettungskette	555
Berufsübergreifende Qualifikationen	557
Produktionsfaktoren	557
Betrieb und Unternehmung	557
Umwelt und Betrieb	558
Kernqualifikationen	559
Arbeitsvertrag	559
Arbeitszeit, Arbeitszeugnis, Arbeitsschutz	560
Weiterbildung	561
Kündigung und Kündigungsschutz	562
Versicherungsarten, Versicherungsprinzipien	563
Gesetzliche Sozialversicherung	563
Lohn- und Gehaltsabrechnung	565
Arbeitsgericht	565
Sozialgericht	566
Tarifrecht	566
Betriebsrat	567
Jugend- und Auszubildendenvertretung	568
Rechtsgeschäfte	568
Besitz und Eigentum	568
Rechtsfähigkeit, Geschäftsfähigkeit	569
Betriebliche Kennzahlen	569

Inhalt

11

Kalkulation 570
Kaufvertrag 573
Abschreibung 573
Rechtsformen der Unternehmung 574
Qualitätsmanagement 576

Anhang 591
Spezifischer Widerstand, spezifische Leitfähigkeit, Temperaturbeiwert 591
Beziehung zwischen Einheiten 592
Dielektrizitätszahlen fester und flüssiger Stoffe 597
Permeabilitätszahlen von Werkstoffen 598
Koerzitivfeldstärken magnetischer Werkstoffe 598
Eisenblechkerne 599
Dauermagnetwerkstoffe 600
Stoffabscheidung durch Elektrolyse 602
Lote 602
Kunststoffe 603
Widerstandswerkstoffe 606
Heizleiterwerkstoffe 606
Kontaktwerkstoffe 606
Wichtige VDE-Vorschriften 607
Energieeffizienz 609
Verlegearten von Leitungen in und an Gebäuden 611
Strombelastbarkeit von CU-Leitungen 612
Strombelastbarkeit von Niederspannungskabeln 615
Strombelastbarkeit von Gummischlauchleitungen 616

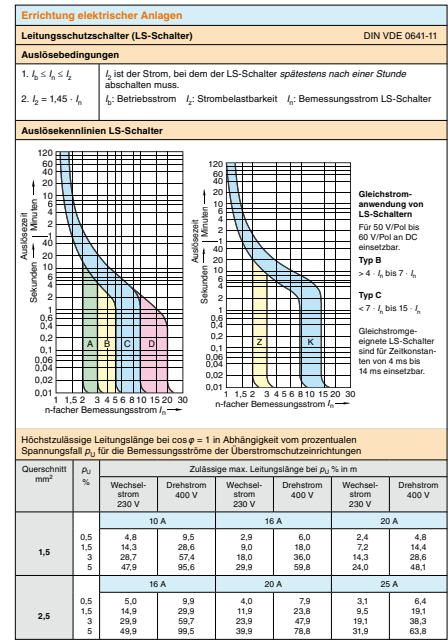
Deutsch – Englisch 621
Englisch – Deutsch 635
Sachwortverzeichnis 649

Hinweise zum Umgang mit dem Tabellenbuch

Bitte beachten Sie die **Seitenfußzeilen**.
Sie enthalten Verweise zu den mit dem Seiteninhalt in enger Verbindung stehenden Themen, ermöglichen so eine rasche Auffindung. Ein Beispiel ist nebenstehend dargestellt.

Die im **Sachwortverzeichnis** blau hervorgehobenen Stichworte werden besonders häufig gebraucht.
Hier ermöglicht die hervorgehobene Schreibweise eine schnelle Orientierung.

Leitungsschutzschalter, Auslösekennlinien, maximale Leitungslängen 151



Brandschutzschalter → 188, Schmelzsicherungen, Strom-Zeit-Bereiche → 149, 150

Grundlagen

Physikalische Größen und Einheiten	13
Physikalische Konstanten	14
Griechisches Alphabet	14
Formelzeichen und Einheiten	15
Mathematische Zeichen	17
Zahlensysteme	18
Codes	20
Mathematische Grundlagen	24
Flächenberechnung	28
Volumenberechnung	29
Physikalische Formeln	30
Mechanik	31
Einfache Antriebe	33
Formeln der Elektrotechnik	34
Symbole und Schaltzeichen	54

Vorschaltgeräte, Gebäudesystemtechnik

429

Installationstechnik

Lampendaten

Vorschaltgeräte von Leuchtstofflampen

Aufgaben: Vorheizen der Lampenelektroden, Erzeugung der Zündspannung, Begrenzung des Entladestromes

Konventionelles Vorschaltgerät (KVG)

Drosselspule, Zündeinrichtung durch Starter

- *flackernde Zündung (Starter)*
- *geringer Leistungsfaktor $\cos \varphi$*
- *sehr hohe Energieverluste*
- *stroboskopischer Effekt (bei einer Lampe)*
- *Dimmen nicht möglich*

Verlustarmes Vorschaltgerät (VVG)

Aufbau entspricht KVG, jedoch geringere Verluste (Cu-Querschnitt, Eisenblech)

- *flackernde Zündung (Starter)*
- *geringer Leistungsfaktor $\cos \varphi$*
- *hohe Energieverluste*
- *stroboskopischer Effekt (bei einer Lampe)*
- *Dimmen nicht möglich*

Elektronisches Vorschaltgerät (EVG)

Eine elektronische Schaltung erzeugt eine hochfrequente Wechselspannung einschließlich der Zündspannung. Lampenlebensdauer und Lichtausbeute sind höher.

- *flackerfreie Zündung*
- *guter Leistungsfaktor $\cos \varphi$*
- *sehr geringe Energieverluste*
- *kein Flimmern*
- *Dimmen möglich*

Vorsicht

- **Lampen nur im ausgeschalteten Zustand austauschen!**
- **Schalthäufigkeit der EVGs beachten!**
- **Bei Dreiphasenbetrieb Leitungen nur im spannungslosen Zustand verbinden oder trennen!**
- **N-Leiter niemals allein oder zuerst unterbrechen!**

Gebäudesystemtechnik (EIB/KNX)

DIN EN 50090

Begriffe

- **EIB**
Europäischer Installationsbus
- **EIBA**
European Installation Bus Association
- **EIB/KNX**
Einheitlicher Standard für Feldbusanwendungen
- **KONNEX**
Standard für sämtliche Produkte von EIB/KNX

Vorteile

- Hoher Komfort
- Zentrale Steuerung, Überwachung und Visualisierung; auch durch Fernsteuerung
- Schnelle und preisgünstige Änderung und Erweiterung
- Verknüpfung unterschiedlicher Funktionsnetze
- Effiziente Sicherheitsüberwachung
- Energiemanagement

Bussystem

• **KNX Twisted Pair (KNX TP)**

- Getrennte Übertragung von Energie und Information (Energieversorgung und Bus).
- Sämtliche Busteilnehmer sind über die Busleitung parallel miteinander verbunden.
- Der Bus dient der Informationsübertragung und der Spannungsversorgung der KNX-Komponenten.
- Die Aktoren werden an das Energieversorgungsnetz (230/400 V) angeschlossen.
- Die Zuordnung der Schaltfunktion zwischen den Busteilnehmern erfolgt programmgesteuert.
- Ausgereiftes und sicheres Übertragungsverfahren.

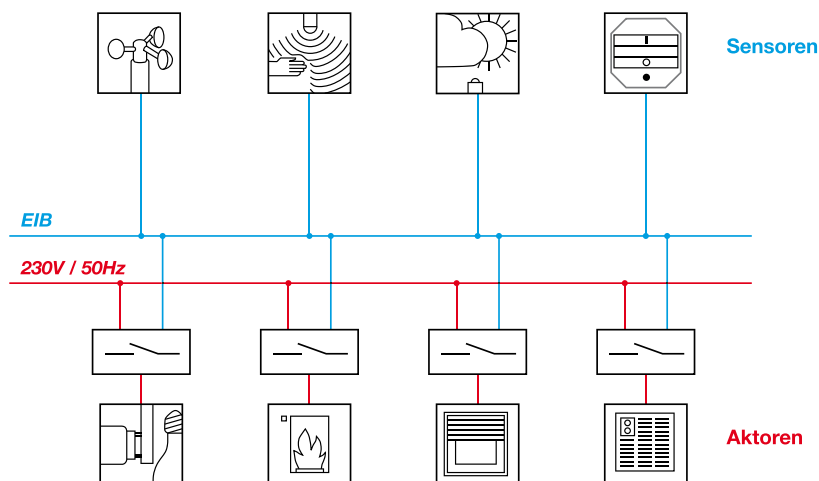
Installations-
technik

Installationstechnik

Gebäudesystemtechnik (EIB/KNX)

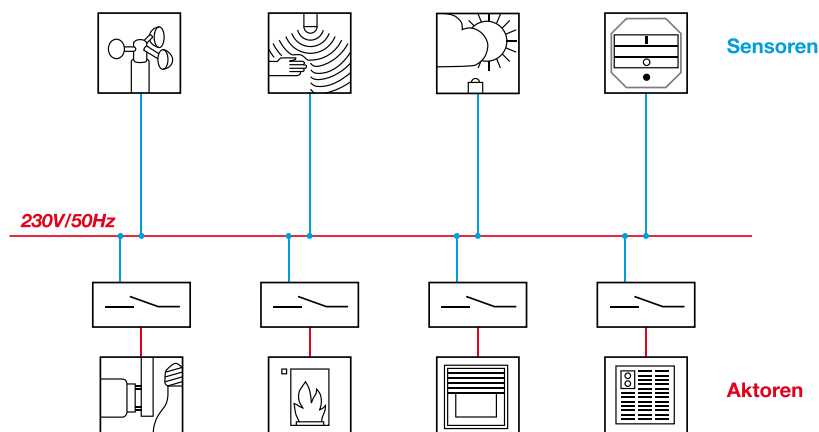
Bussystem

• KNX Twisted Pair (KNX TP)



• KNX-Power Line (KNX PL)

- Busleitung wird hier nicht benötigt.
- Das 230-V-Netz dient der Energieversorgung und der Informationsübertragung.
- Wenn die Information auf allen drei Außenleitern übertragen werden soll, muss ein *Phasenkoppler* eingesetzt werden.
- Einsatz nur, wenn eine nachträgliche Verlegung der Busleitungen nicht vertretbar ist.



• KNX Radio Frequency (KNX RF)

- Die Information wird über *Funk* übertragen, eine Busleitung ist nicht erforderlich.
- Die Energieversorgung der Sensoren erfolgt über Batterien oder über das 230-V-Energieversorgungsnetz.
- Die Reichweite der Funksignale beträgt im Freien ca. 100 m, in Gebäuden ca. 30 m.