



EUROPA-FACHBUCHREIHE  
für elektrotechnische, elektronische,  
mechatronische und informations-  
technische Berufe

# Tabellenbuch Elektrotechnik

Tabellen

Formeln

Normenanwendung

## 27. neu bearbeitete und erweiterte Auflage

Bearbeitet von Lehrern und Ingenieuren an beruflichen Schulen  
und Produktionsstätten (siehe Rückseite)

VERLAG EUROPA-LEHRMITTEL · Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG  
Düsselberger Straße 23 · 42781 Haan-Gruiten

Europa-Nr.: 30103

Europa-Nr.: 30160 XXL, mit CD

## Autoren des Tabellenbuchs Elektrotechnik:

Häberle, Gregor	Dr.-Ing., Abteilungsleiter	Tettwang
Häberle, Heinz	Dipl.-Gewerbelehrer, VDE	Kressbronn
Isele, Dieter	Ing. (HTL), Berufsschullehrer	Lauterach
Jöckel, Hans-Walter	Dipl.-Ing. (FH), Oberstudienrat	Friedrichshafen
Krall, Rudolf	Dipl.-Päd. Ing., Berufsschuloberlehrer	St. Leonhard
Schiemann, Bernd	Dipl.-Ing.	Durbach
Schmid, Dietmar	Dipl.-Ing., Oberstudienrat	Biberach a.d. Riß
Schmitt, Siegfried	staatl. gepr. Techniker, Techn. Oberlehrer	Bad Bergzabern
Tkocz, Klaus	Dipl.-Ing. (FH)	Kronach

## Leitung des Arbeitskreises:

Dr.-Ing. Häberle, Tettwang

## Bildbearbeitung:

Zeichenbüro des Verlags Europa-Lehrmittel, Ostfildern

Auszüge aus DIN-Normen mit VDE-Klassifikation sind für die angemeldete limitierte Auflage wiedergegeben mit Genehmigung 372.015 des DIN Deutsches Institut für Normung e.V. und des VDE Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e.V. Für weitere Wiedergaben oder Auflagen ist eine gesonderte Genehmigung erforderlich.

Maßgebend für das Anwenden der Normen sind deren Fassungen mit dem neuesten Ausgabedatum, die bei der VDE-VERLAG GmbH, Bismarckstr. 33, 10625 Berlin, [www.vde-verlag.de](http://www.vde-verlag.de), erhältlich sind.

27. Auflage 2016

Druck 5 4 3 2 1

Alle Drucke derselben Auflage sind parallel einsetzbar, da sie bis auf die Behebung von Druckfehlern untereinander unverändert sind.

ISBN 978-3-8085-3430-4

ISBN 978-3-8085-3433-5 XXL, mit CD

Alle Rechte vorbehalten. Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der gesetzlich geregelten Fälle muss vom Verlag schriftlich genehmigt werden.

© 2016 by Verlag Europa-Lehrmittel, Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG, 42781 Haan-Gruiten  
<http://www.europa-lehrmittel.de>

Satz: Tutte Druckerei & Verlagsservice GmbH, 94121 Salzweg

Umschlag: braunwerbeagentur, 42477 Radevormwald

Umschlagfotos: © erdquadrat-fotolia.com; Gossen Metrawatt GmbH, Nürnberg; Siemens AG, München;

ZF Friedrichshafen AG, Friedrichshafen

Druck: B.O.S.S Medien GmbH, 47574 Goch

MATHEMATIK, PHYSIK, SCHALTUNGS-  
THEORIE, BAUELEMENTE

11 ... 66

G

TECHNISCHE DOKUMENTATION,  
MESSEN

67 ... 122

TM

ELEKTRISCHE INSTALLATION

123 ... 210

EI

SICHERHEIT, ENERGIEVERSORGUNG

211 ... 304

SE

INFORMATIONEN- UND KOMMUNIKA-  
TIONSTECHNISCHE SYSTEME

305 ... 352

IK

AUTOMATISIERUNGS- UND ANTRIEBS-  
SYSTEME, STEUERN UND REGELN

353 ... 446

AS

WERKSTOFFE, VERBINDUNGSTECHNIK

447 ... 480

W

BETRIEB UND SEIN UMFELD,  
UMWELTTECHNIK, ANHANG

481 ... 560

BU

Die Weiterentwicklungen der Technik und der Lernorganisationen führte wie schon in der 26. Auflage zu einer Überarbeitung und Erweiterung des Buches zu einem Kompendium. Der Leser kann sich dadurch auch bezüglich der Anforderungen aus Industrie 4.0 selbst weiterbilden. Neue und aktualisierte Inhalte sind nachstehend *kursiv* (schräg) gedruckt.

- **Teil G**  
**Mathematik, Physik, Schaltungstheorie, Bauelemente**

Formelzeichen, Größen und Einheiten, Mathematische Zeichen, Dezimale Vorsätze, *Binäre Vorsätze*, Kraft, Kraftmoment, Arbeit, Leistung, Wärme, Ladung, Spannung, Stromstärke, Widerstand, elektrisches und magnetisches Feld, Wechselgrößen, Schaltungen von R, L, C, Drehstrom, Widerstände und Kondensatoren, Dioden, Transistoren, Thyristoren, magnetfeldabhängige und fotoelektronische Bauelemente.
- **Teil TM**  
**Technische Dokumentation, Messen**

Technisches Zeichnen, *Stromkreise und Schaltzeichen*, Schaltpläne, Erstellen einer Dokumentation, Aufbau einer Betriebsanleitung, Messgeräte und Messwerke, Messkategorien, *Messen in elektrischen Anlagen, Elektrizitätszähler, Kennzeichnungen in elektropneumatischen Steuerungen, Elektropneumatische Grundschalungen*, Oszilloskop, Messen mit Sensoren.
- **Teil EI**  
**Elektrische Installation**

Arbeiten in elektrischen Anlagen, Installationsschalungen, Sprechanlagen, *Videoanlagen für Hauskommunikation*, Dimmertypen, feldarme Elektroinstallation, *Gebäudeleittechnik und Gebäudesystemtechnik*, Hausanschluss, Leitungsberechnung, *Induktivitätsbelag und Spannungsfall, Strombelastbarkeit von Leitungen für 90 °C*, Lichttechnik, *Beleuchtungstechnik, LED-Leuchtmittel, Retrofit-Leuchtstofflampen, Lichtwerbeanlagen mit Niederspannung*, Leuchtröhrenanlage, *Gebäudeautomation über bestehende Stromleitungen*.
- **Teil SE**  
**Sicherheit, Energieversorgung**

Arbeitssicherheit, *Stromgefährdung durch DC*, Unfallverhütung, *Differenzstromgeräte*, Basisschutz, Fehlerschutz, *zusätzlicher Schutz, Leiter für die Schutzmaßnahmen*, Kraftwerkarten, Isolierstoffklassen, Transformatoren, Freileitungsnetze, Erdkabel, PV-Anlagen, Brennstoffzellen, Elektrochemie, *Primärelemente, Akkumulatoren, SSV-Anlagen, Energieversorgung von Baustellen, Ladestationen für Elektrofahrzeuge*, Blitzschutz, Qualität der Stromversorgung, Kompensation, *Messen von Oberschwingungen, THD-Werte, Regelung der Netzspannung und Netzfrequenz, Sicherheitstechnik, Raumheizung, Heizwärmeverbrauch, Energie-Effizienz, Hausgerätechnik, Stromtarife*.
- **Teil IK**  
**Informations- und kommunikationstechnische Systeme**

Zahlensysteme, Codes, Schaltalgebra, Flipflops, DA-Umsetzer, AD-Umsetzer, *Modulation und Demodulation*, Netze der Informationstechnik, Ethernet, Funk-LAN, AS-i-Bussysteme, Interbus, PROFIBUS, Identifizierungssysteme, Anschluss an das Telefonnetz, Internet, Antennenanlagen, SAT-Anlagen, Multimediaverkabelung, *Fernwirken, Fernwarten, Bibliotheksfähige SPS-Bausteine, Funktionale Sicherheit SIL, Sensor-Anschlussstechnik*.
- **Teil AS**  
**Automatisierungs- und Antriebssysteme, Steuern und Regeln**

*Hilfsstromkreise von Steuerungen*, Stromrichter, Schaltnetzteile, Kippschalungen, Steuerrelais, Speicherprogrammierbare Steuerungen SPS, Ablaufsteuerung GRAFCET, Schütze, Motorschutz, elektrische Ausrüstung von Maschinen, *Regelungstechnik, Drehstrommotoren*, Wechselstrommotoren, Gleichstrommotoren, Effizienz von Antrieben, Servomotoren, Kleinstmotoren, Linearantriebe.
- **Teil W**  
**Werkstoffe, Verbindungstechnik**

Periodensystem, Stoffwerte, *Stahlnormung*, Magnetwerkstoffe, Isolierstoffe, Leitungen, Erdkabel, Steckverbinder, *lötfreie Anschlussstechnik, Gewinde, Schrauben und Muttern*.
- **Teil BU**  
**Betrieb, Umfeld, Umwelttechnik, Anhang**

Organisationsformen, Arbeiten im Team, Arbeitsplanung, Kosten und Kennzahlen, Qualifikationen der Elektrofachkraft, Durchführung von Projekten, *Umgang mit Konflikten*, Kommunikation mit Kunden, *Statistische Auswertung im Qualitätsmanagement*, Umwelttechnische Begriffe, gefährliche Stoffe, *Normen*, Kurzformen, fachliches Englisch, Sachwortverzeichnis, Firmen und Dienststellen.

Normänderungen wurden übernommen. Allgemein ist zu beachten, dass vielfach die Normen verschiedene Formen zulassen, z. B. in DIN EN 61082 (Dokumente der Elektrotechnik, Regeln) Stromverzweigung mit oder ohne „Punkt“. Davon wurde, wie in der beruflichen Praxis, auch im Buch Gebrauch gemacht.

Verlag und Autoren danken für die zahlreichen Benutzerhinweise, die zu einer weiteren Verbesserung des Buches führten. Gerne nehmen wir auch künftig konstruktive Verbesserungsvorschläge dankbar entgegen. Diese können auch mit E-Mail an [lektorat@europa-lehrmittel.de](mailto:lektorat@europa-lehrmittel.de) gerichtet sein.

Lernfelderauswahl, Hauptabschnitte des Buches, Prüfungsteile	U2	Anwendungsgruppen und Aufbau von Kondensatoren	53
Literaturverzeichnis	10	Halbleiterwiderstände	54
<b>Teil G: Mathematik, Physik, Schaltungstheorie, Bauelemente</b>	<b>11</b>	Dioden	55
Formelzeichen dieses Buches	12	IGBTs, Feldeffekttransistoren	56
Indizes und Zeichen für Formelzeichen dieses Buches	13	Bipolare Transistoren	57
Internationale Formelzeichen	14	Thyristoren	58
Größen und Einheiten	15	Gehäuseformen von Dioden, Transistoren und ICs	61
Mathematische Zeichen	17	Magnetfeldabhängige Bauelemente	62
Potenzen, Vorsätze, Logarithmen, Dreisatzrechnung	18	Fotoelektronische Bauelemente	63
Logarithmisches Maß Dezibel	19	Schutzbeschaltung von Dioden und Transistoren	64
Winkel, Winkelfunktionen, Prozentrechnen	20	Bauelemente für den Überspannungsschutz	65
Beziehungen zwischen den Winkelfunktionen	21	Kühlung von Halbleiter-Bauelementen	66
Längen und Flächen	22	<b>Teil TM: Technische Dokumentation, Messen</b>	<b>67</b>
Körper und Masse	23	Grafische Darstellung von Kennlinien	68
Masse, Kraft, Druck, Kraftmoment	24	Allgemeines technisches Zeichnen	69
Bewegungslehre	25	Maßpfeile, besondere Darstellungen	71
Mechanische Arbeit, mechanische Leistung, Energie	26	Maßeintragung	72
Übersetzungen	27	Maßeintragung, Schraffur	73
Rollen, Keile, Winden	28	Schaltpläne als funktionsbezogene Dokumente	74
Wärme	29	Ortsbezogene und verbindungsbezogene Dokumente	76
Ladung, Spannung, Stromstärke, Widerstand	30	Kennzeichnung in Schaltplänen	77
Elektrische Leistung, elektrische Arbeit	31	Kennbuchstaben der Objekte (Betriebsmittel)	78
Elektrisches Feld, Kondensator	32	Kontaktkennzeichnung in Stromlaufplänen	80
Wechselgrößen, Wellenlänge	33	Stromkreise und Schaltzeichen	81
Leistung bei Sinuswechselstrom, Impuls	34	Allgemeine Schaltzeichen	82
Magnetisches Feld, Spule	35	Zusatzschaltzeichen, Schalter in Energieanlagen	83
Elektrische Feldstärken und magnetische Feldstärken	36	Messinstrumente und Messgeräte	84
Strom im Magnetfeld, Induktion	37	Halbleiterbauelemente	85
Schaltung von Widerständen	38	Binäre Elemente	86
Bezugspfeile, Kirchhoffsche Regeln, Spannungsteiler	39	Analoge Informationsverarbeitung, Zähler und Tarifsaltgeräte	88
Potenzio meter	40	Audiumsetzer, Videoumsetzer und Antennenanlagen	89
Ersatzspannungsquelle, Ersatzstromquelle, Anpassung	41	Schaltzeichen für Installationsschaltpläne und Installationspläne	90
Grundschaltungen von Induktivitäten und Kapazitäten	42	Installationsschaltpläne	92
Schalten von Kondensatoren und Spulen	43	Schaltzeichen für Übersichtsschaltpläne	93
Reihenschaltung von $R, L, C$	44	Spulen, Transformatoren, Transduktor, drehende Generatoren	94
Parallelschaltung von $R, L, C$	45	Einphasenwechselstrommotoren und Anlasser	95
Ersatz-Reihenschaltung und Ersatz-Parallelschaltung	46	Drehstrommotoren und Anlasser	96
Einfache Filter	47	Motoren mit Stromrichterspeisung	97
Dreiphasenwechselstrom (Drehstrom)	48	Vergleich von Schaltzeichen	98
Unsymmetrische Last, Netzwerkwandlung, Brückenschaltung	49	Kurzzeichen an elektrischen Betriebsmitteln	100
Widerstände und Kondensatoren	50	Hydraulische und pneumatische Elemente	101
		Kennzeichnung in elektropneumatischen Steuerungen	102

Elektropneumatische Grundsaltungen . . . . .	103	Gebäudeautomation über bestehende Stromleitungen . . . . .	159
Symbole der Verfahrenstechnik . . . . .	104	Hausanschluss mit Schutzpotenzialausgleich . .	160
Erstellen einer Dokumentation über Geräte und Anlagen . . . . .	105	Fundamenterder im Beton oder in Erde . . . . .	161
Aufbau und Inhalt einer Betriebsanleitung . . . . .	106	Hauptleitungen in Wohnanlagen . . . . .	162
Elektrische Messgeräte und Messwerke . . . . .	107	Zählerplatzinstallation . . . . .	163
Piktogramme für die Messtechnik . . . . .	108	Elektrische Mindestausstattung in Wohn- gebäuden, Zählerplätze . . . . .	164
Mess-Schaltungen zur Widerstandsbestimmung	109	Leitungsführung in Wohngebäuden . . . . .	165
Messbereichserweiterung . . . . .	110	Leitungsberechnung ohne Verzweigung . . . . .	166
Messung in elektrischen Anlagen . . . . .	111	Leitungsberechnung mit Verzweigungen . . . . .	168
Niederspannungs-Schaltungen für Leistungs- messgeräte . . . . .	114	Induktivitätsbelag und Spannungsfall . . . . .	169
Elektrizitätszähler . . . . .	115	Überlastschutz und Kurzschlusschutz von Leitungen . . . . .	170
Osilloskop . . . . .	117	Verlegearten für feste Verlegung . . . . .	171
Kraftmessung und Druckmessung mit Sensoren	120	Strombelastbarkeit für Kabel und Leitungen bei $\vartheta = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ . . . . .	172
Bewegungsmessung mit Sensoren . . . . .	121	Strombelastbarkeit für Kabel und Leitungen bei $\vartheta = 30\text{ }^{\circ}\text{C}$ . . . . .	173
Temperaturmessung mit Sensoren . . . . .	122	Strombelastbarkeit für Kabel und Leitungen für Leitertemperatur bis $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ und $\text{Al } 20\text{ mm}^2$ . . . . .	174
<b>Teil EI: Elektrische Installation . . . . .</b>	<b>123</b>	Strombelastbarkeit von flexiblen oder wärme- festen Leitungen . . . . .	175
Qualifikationen für elektrotechnische Arbeiten .	124	Umrechnungsfaktoren für die Strombelastbar- keit . . . . .	176
Arbeiten in elektrischen Anlagen . . . . .	125	Leitungsberechnung bei Oberschwingungen . .	177
Werkstattausrüstung . . . . .	126	Mindest-Leiterquerschnitte, Strombelastbarkeit von Starkstromkabeln . . . . .	178
Leitungsverlegung, Leitungsbearbeitung . . . . .	127	Überstrom-Schutzeinrichtungen . . . . .	179
Ausschaltung, Serienschaltung . . . . .	128	Räume mit Badewanne oder Dusche . . . . .	182
Wechselschaltung, Kreuzschaltung . . . . .	129	Räume und Anlagen besonderer Art, Arbeiten unter Spannung . . . . .	183
Reale Ausführung von Installationsschaltungen	130	Saunaaanlagen, Schwimmbecken, begehbare Becken . . . . .	184
Treppenlichtzeitschalter, Hausklingelanlage mit Türöffner . . . . .	131	Elektroinstallation in feuergefährdeten Betriebs- stätten . . . . .	185
Schaltungen mit Stromstoßschaltern . . . . .	132	Elektroinstallation in landwirtschaftlichen Betrieben . . . . .	186
Jalousieschaltungen . . . . .	133	Elektroinstallation in medizinisch genutzten Bereichen . . . . .	187
Sprechanlagen . . . . .	135	Elektroinstallation in Unterrichtsräumen mit Experimentiereinrichtungen . . . . .	189
Videoanlagen für Hauskommunikation . . . . .	137	Elektroinstallation in explosionsgefährdeten Bereichen . . . . .	190
Lampenschaltungen mit Dimmern . . . . .	138	Energieversorgung von Werkstätten und Maschinenhallen . . . . .	191
Tastdimmer, Dimmertypen . . . . .	139	Energieversorgung für Baustellen . . . . .	192
Automatikscharter mit Wärmesensor . . . . .	140	Ladestationen für Elektrofahrzeuge . . . . .	193
Automatikscharter mit Ultraschall-Bewegungs- sensor . . . . .	141	Lichttechnik . . . . .	194
Elektroinstallation mit Niedervolt-Halogen- lampen . . . . .	142	Planung der Arbeitsstättenbeleuchtung von Innenräumen . . . . .	195
Feldarme Elektroinstallation . . . . .	143	Wartungsfaktoren von Arbeitsstätten- beleuchtung . . . . .	196
Gebäudeleittechnik und Gebäudesystemtechnik	144	Berechnung von Beleuchtungsanlagen . . . . .	197
Linien und Bereiche des KNX-TP . . . . .	145	Beleuchtung und Blendung . . . . .	198
Schaltzeichen des KNX-TP . . . . .	146		
Systemkomponenten zum KNX-TP . . . . .	147		
Sensoren für den KNX-TP . . . . .	148		
Aktoren für den KNX-TP . . . . .	149		
Installationsbus mit FSK-Steuerung . . . . .	150		
Projektierung und Inbetriebnahme beim KNX .	151		
Smart Home Bush-free@home . . . . .	153		
LON . . . . .	154		
Elektroinstallation mit Funksteuerung . . . . .	156		

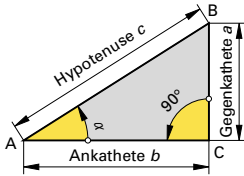
## Inhaltsverzeichnis Contents

Leuchtstofflampen für 230 V .....	199	Windkraftanlagen .....	252
Glühlampen, Metaldampf lampen .....	200	Fotovoltaik .....	253
Energiesparlampen, Farbwiedergabe .....	201	Intelligente Stromnetze .....	255
Induktionslampen und Lichtleiter .....	202	Brennstoffzellen .....	256
Elektronische Vorschaltgeräte EVG für Leuchtstofflampen .....	203	Schutzarten elektrischer Betriebsmittel .....	257
Schaltungen von Entladungslampen .....	204	Elektrochemie .....	258
LED-Beleuchtung .....	205	Primärelemente .....	259
LED-Leuchtmittel .....	206	Akkumulatoren .....	260
Lichttechnische Daten von Leuchten .....	207	Notstromversorgung und Notbeleuchtung .....	262
Leuchtstofflampenersatz .....	208	Sicherheits-Stromversorgungsanlagen (SSV-Anlagen) .....	263
Lichtwerbeanlagen mit Niederspannung .....	209	USV-Systeme (Unterbrechungslose Stromversorgungssysteme) .....	264
Leuchtröhrenanlagen .....	210	Elektromagnetische Verträglichkeit EMV .....	265
<b>Teil SE: Sicherheit, Energieversorgung .....</b>	<b>211</b>	Elektromagnetische Störungen EMI .....	266
Erste Hilfe am Arbeitsplatz .....	212	Maßnahmen gegen EMI .....	267
Persönliche Schutzausrüstung PSA .....	213	Innerer Blitzschutz .....	268
Zeichen zur Unfallverhütung .....	214	Äußerer Blitzschutz .....	269
Arbeitsschutz, Arbeitssicherheit .....	218	Fangeinrichtungen und Ableitungen .....	271
Berührungsarten, Stromgefährdung, Fehlerarten .....	219	Qualität der Stromversorgung .....	272
Schutzmaßnahmen, Schutzklassen .....	221	Oberschwingungen .....	273
Verteilungssysteme (Netzformen) .....	222	Regelung der Netzspannung .....	276
Schutz gegen elektrischen Schlag .....	223	Regelung der Netzfrequenz .....	277
Differenzstromgeräte .....	224	Kompensation .....	278
Fehlerschutz durch automatische Abschaltung der Stromversorgung .....	225	Überwachung der Endstromkreise .....	281
Weitere Schutzmaßnahmen .....	227	Melde- und Überwachungsanlagen .....	282
Weiterer Fehlerschutz in fachlich überwachten Anlagen .....	228	Sicherheitstechnik in Gebäuden .....	283
Leiter für die Schutzmaßnahmen .....	229	Rauchwarnmelder .....	284
Prüfung der Schutzmaßnahmen .....	230	Brandschutzschalter .....	285
Wiederkehrende Prüfungen .....	231	Gefahrenmeldeanlagen .....	286
Instandsetzung, Änderung und Prüfung elektrischer Geräte .....	232	Einbruchmeldeanlagen EMA .....	287
Geräteprüfung bei Instandsetzung oder Änderung .....	234	Videoüberwachung .....	288
Transformatoren und Drosselspulen, Prüfung der Isolation .....	235	Energieeinsparverordnung .....	289
Berechnung von Transformatoren .....	236	Heizwärmeverbrauch und Energieverbrauchs-kennwert von Gebäuden .....	291
Weitere Betriebsgrößen von Transformatoren ..	237	Raumheizung .....	292
Kleintransformatoren .....	238	Fußboden- und Deckenheizung .....	293
Kraftwerksarten .....	239	Klimatisierung .....	294
Drehende Generatoren .....	240	Kochstellen für Elektroherde .....	296
Isolierstoffklassen, Leistungsschilder von Transformatoren .....	241	Warmwassergeräte .....	297
Netze der Energietechnik .....	244	Hausgeräte .....	298
Freileitungen .....	245	CE-Kennzeichnung .....	299
Verlegung von Erdkabeln .....	248	Energieeffizienzklassen .....	300
Eigenerzeugungsanlagen .....	249	Energie-Einsparpotenziale .....	302
Vergütung erneuerbarer Energien nach dem EEG .....	251	Wärmepumpen .....	303
		Stromtarife .....	304
		<b>Teil IK: Informations- und kommunikationstechnische Systeme .....</b>	<b>305</b>
		Dualzahlen und Binär-codes .....	306
		Sedezimalzahlen und Oktalzahlen .....	307

ASCII-Code im Unicode .....	308	Betriebsquadranten bei Antrieben, Linearmotoren .....	362
Binäre Verknüpfungen .....	309	Halbgesteuerte Stromrichter .....	363
Schaltalgebra .....	310	Vollgesteuerte Stromrichter .....	364
Entwicklung von Schaltnetzen .....	311	Wechselrichter .....	365
Code-Umsetzer .....	312	Gleichstromsteller, U-Umrichter-Prinzip .....	366
Komparatoren und Flipflops .....	313	U-Umrichter .....	367
Digitale Zähler und Schieberegister .....	314	Ansteuerschaltungen für Halbleiter .....	368
DA-Umsetzer und AD-Umsetzer .....	315	Glättung und Spannungsstabilisierung .....	369
Modulation und Demodulation .....	316	Grundlagen der Schaltnetzteile .....	370
Mikrocomputer .....	317	Schalttransistor und Kippschaltungen .....	372
Bildschirmgeräte .....	318	Halbleiterrelais .....	373
Schnittstellen und Steckverbinder des PC .....	319	Steuerungstechnik .....	374
Schnittstellenkopplungen .....	320	Kleinsteuerungen .....	375
Betriebssysteme Windows .....	321	Struktogramme und Programmablaufpläne .....	377
Elemente von Windows-Benutzeroberflächen ..	322	Speicherprogrammierbare Steuerungen SPS ..	378
Netze der Informationstechnik .....	323	Signalkopplungen für SPS und Mikrocomputer ..	379
Komponenten für Datennetze .....	324	Steueranweisungen für SPS .....	380
Kommunikation bei Ethernet .....	325	Zähler und Zeitglieder in SPS .....	383
Errichten eines Ethernet-Netzwerkes .....	326	Programmiersprachen Strukturierter Text ST, Ablaufsprache AS .....	384
Industrial Ethernet .....	327	Wortverarbeitung bei SPS .....	386
Signalübertragung .....	328	Bibliotheksfähige SPS-Bausteine .....	387
Datenübertragung mittels Funk .....	329	Ablaufsteuerung mit GRAFCET .....	388
Funk-LAN .....	330	Alphanumerische Kennzeichnung der Anschlüsse .....	390
Identifizierungssysteme .....	331	Elektronische Steuerung von Verbrauchsmitteln	391
AS-i-Bussystem .....	332	Grenzwerte der Anschlussleistung im öffentlichen Netz .....	392
Querkommunikation bei Feldbussen .....	333	Hilfsstromkreise .....	393
PROFIBUS .....	334	Sicherheitsbezogene Teile von Steuerungen ..	394
Fernwirkssysteme .....	335	Architekturen von Steuerungen .....	395
Messumformer und Signalumsetzer für Fern- wirkssysteme .....	337	Funktionale Sicherheit SIL .....	396
Anschluss an das Telefonnetz .....	339	EU-Maschinenrichtlinie .....	397
Telekommunikation mit ISDN .....	340	Elektrische Niederspannungsausrüstung von Maschinen .....	398
ISDN und Internet-Telefonie (VoIP) .....	341	Grenztaster, Befehlsgeräte .....	399
Internet-Zugänge .....	342	Schütze .....	400
Anwendungen des Internet .....	343	Gebrauchskategorien und Prüfbedingungen von Schützen .....	403
Sichern und Schützen von Daten .....	344	Schützsicherungen .....	404
Antennen, Betriebsmittel für Antennenanlagen .	345	Motorschutz .....	407
Satellitenempfang .....	346	Steuerung durch Motorschalter .....	409
Digitales Fernsehen über terrestrische Antenne, DVB-T .....	349	Optoelektronische Näherungsschalter (Licht- schranken) .....	410
Gemeinschaftsantennenanlagen .....	350	Ultraschall-Sensoren .....	412
Errichtung von Antennenanlagen .....	351	Sensor-Anschlussstechnik .....	413
Breitbandkommunikationsanlagen (BK-Anlagen)	352	Regelungstechnik .....	414
<b>Teil AS: Automatisierungs- und Antriebssysteme, Steuern und Regeln .....</b>	<b>353</b>	Unstetige Regelglieder .....	415
Verstärker-Grundsicherungen .....	354	Digitale stetige Regelglieder .....	416
Grundlagen des Operationsverstärkers .....	355	Analoge stetige Regelglieder .....	417
Schaltungen für Gleichrichter und Stromrichter	360	Digitale Regelung .....	418
Wechselwegschaltung, Steuerkennlinie .....	361		

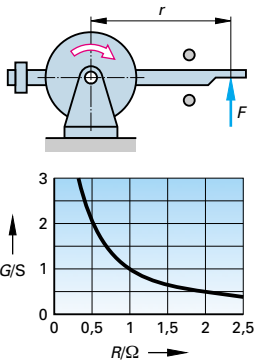


**Mathematik**



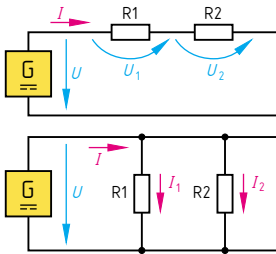
Formelzeichen dieses Buches .....	12
Indizes und Zeichen für Formelzeichen dieses Buches ..	13
Internationale Formelzeichen .....	14
Größen und Einheiten .....	15
Mathematische Zeichen .....	17
Potenzen, Vorsätze, Logarithmen, Dreisatzrechnung ..	18
Logarithmisches Maß Dezibel .....	19
Winkel, Winkelfunktionen, Prozentrechnen .....	20
Beziehungen zwischen den Winkelfunktionen .....	21

**Physik**



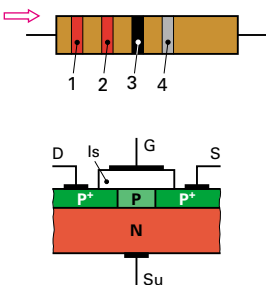
Längen und Flächen .....	22
Körper und Masse .....	23
Masse, Kraft, Druck, Kraftmoment .....	24
Bewegungslehre .....	25
Mechanische Arbeit, mechanische Leistung, Energie ..	26
Übersetzungen .....	27
Wärme .....	29
Ladung, Spannung, Stromstärke, Widerstand .....	30
Elektrische Leistung, elektrische Arbeit .....	31
Elektrisches Feld, Kondensator .....	32
Wechselgrößen, Wellenlänge .....	33
Magnetisches Feld, Spule .....	35
Elektrische Feldstärken und magnetische Feldstärken ..	36
Strom im Magnetfeld, Induktion .....	37

**Schaltungstheorie**



Schaltungen von Widerständen .....	38
Bezugspfeile, Kirchhoff'sche Regeln, Spannungsteiler ..	39
Ersatzspannungsquelle, Ersatzstromquelle, Anpassung ..	41
Grundschaltungen von Induktivitäten und Kapazitäten ..	42
Schalten von Kondensatoren und Spulen .....	43
Ersatz-Reihenschaltung und Ersatz-Parallelschaltung ..	46
Einfache Filter .....	47
Dreiphasenwechselstrom (Drehstrom) .....	48
Unsymmetrische Last, Netzwerkwandlungen, Brückenschaltung .....	49

**Bauelemente**

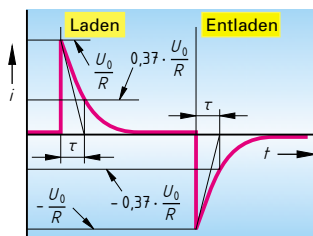
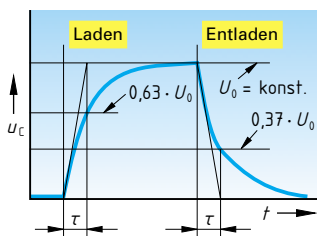
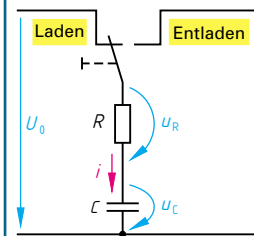


Widerstände und Kondensatoren .....	50
Halbleiterwiderstände .....	54
Dioden .....	55
IGBTs, Feldeffekttransistoren .....	56
Bipolare Transistoren .....	57
Thyristorarten .....	58
Gleichrichterbegriffe .....	60
Gehäuseformen von Dioden, Transistoren und ICs .....	61
Magnetfeldabhängige Bauelemente .....	62
Fotoelektrische Bauelemente .....	63
Schutzbeschaltung von Dioden und Transistoren .....	64
Kühlung von Halbleiter-Bauelementen .....	66

# Schalten von Kondensatoren und Spulen Switching Capacitors and Coils

Schaltung, Zeitkonstante	Spannungsverlauf	Stromverlauf
--------------------------	------------------	--------------

## Ladevorgang und Entladevorgang beim Kondensator an DC



### Zeitkonstante

$$\tau = R \cdot C \quad \mathbf{1}$$

$$[\tau] = \Omega \cdot F = \Omega \cdot \frac{As}{V} = s$$

Laden:  $u_C = U_0 [1 - \exp(-t/\tau)] \quad \mathbf{2}$

Entladen:  $u_C = U_0 \cdot \exp(-t/\tau) \quad \mathbf{4}$

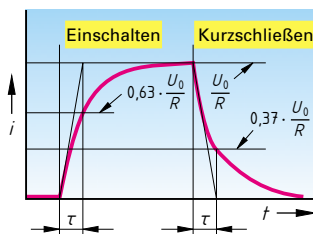
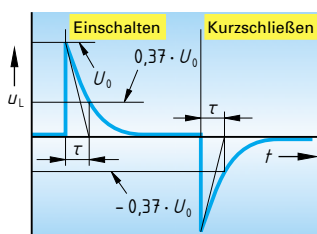
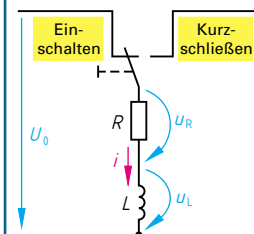
Laden und Entladen:  $u_R = i \cdot R \quad \mathbf{6}$

Laden:  $i_C = \frac{U_0}{R} \cdot \exp(-t/\tau) \quad \mathbf{3}$

Entladen:  $i_C = -\frac{U_0}{R} \cdot \exp(-t/\tau) \quad \mathbf{5}$

$\exp(x) = e^x$  mit  $e = 2,71828 \dots$

## Einschaltvorgang und Ausschaltvorgang (Kurzschließen) bei der Spule an DC



### Zeitkonstante

$$\tau = \frac{L}{R} \quad \mathbf{7}$$

$$[\tau] = \frac{H}{\Omega} = \frac{Vs}{A\Omega} = s$$

Einschalten:  $u_L = U_0 \cdot \exp(-t/\tau) \quad \mathbf{8}$

Kurzschließen:  $u_L = -U_0 \cdot \exp(-t/\tau) \quad \mathbf{10}$

Einschalten:  $u_R = U_0 [1 - \exp(-t/\tau)] \quad \mathbf{12}$

Einschalten:  $i_L = \frac{U_0}{R} \cdot [1 - \exp(-t/\tau)] \quad \mathbf{9}$

Kurzschließen:  $i_L = \frac{U_0}{R} \cdot \exp(-t/\tau) \quad \mathbf{11}$

$\exp(x) = e^x$  mit  $e = 2,71828 \dots$

C Kapazität	R Wirkwiderstand	$u_C$ Kondensatorspannung
i Stromstärke (Augenblickswert)	t Zeit	$u_L$ Spulenspannung
L Induktivität	$\tau$ Zeitkonstante	$u_R$ Spannung an R
		$U_0$ Gleichspannung

$\exp(-t/\tau)$  ist die genormte Schreibweise von  $e^{-t/\tau}$ . Beim Taschenrechner muss man bei der Berechnung die Taste  $e^x$  verwenden und nicht die Taste  $\exp$ . Die Zeitkonstante gibt die Zeit an, nach der ein nach  $\exp(x) = e^x$  verlaufender Vorgang beendet wäre, wenn der Vorgang mit der Anfangsgeschwindigkeit weiter verlaufen würde. Das ist aus den Tangenten der Bilder erkennbar. Endwerte von  $u$  und  $i$  sind erreicht nach  $t \approx 5\tau$ .

**Maßpfeile, besondere Darstellungen Dimension Arrows, Special Representations**

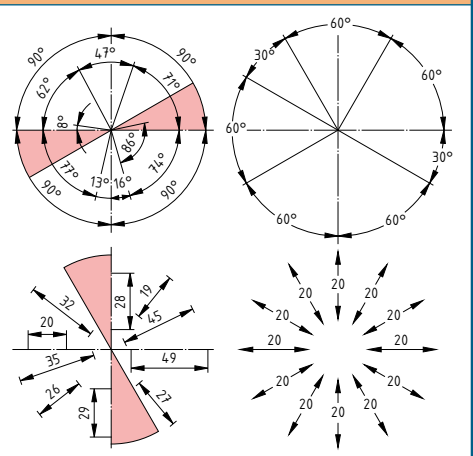
**Maßlinienbegrenzung**

**Maßpfeile:**  
 Immer anwenden bei Radien, Kreisbögen, Durchmessern.  
 ausgefüllt  $\alpha \approx 15^\circ$   
 $l = 5 d$   
 nicht ausgefüllt  
 offen  $\alpha = 15^\circ$  bis  $90^\circ$   
 $l = 3 d$  bis  $5 d$   
 $d$  Linienbreite

**Schrägstriche:**  
 Verlaufen von links unten nach rechts oben, bezogen auf die Maßlinie.  
 $l = 6 d$

**Punkte:**  
 Dürfen nur bei Platzmangel verwendet werden,  
 ausgefüllt:  $\varnothing \approx 1,5 d$   
 nicht ausgefüllt:  $\varnothing \approx 2,5 d$

**Schreibrichtung**



Für jede Zeichnung ist nur eine Art anzuwenden. Bei Platzmangel sind Kombinationen möglich. Leserichtung vorzugsweise von unten und rechts. Zulässig auch in Leselage des Schriftfeldes, nichthorizontale Maßlinien werden unterbrochen.

**Schnitte**

**Bruchlinien und besondere Darstellungen**

Darstellung	Merkregeln
	(a) Schraffur: Dünne Volllinie unter $45^\circ$ zur Achse oder zu den Hauptmrisen. Schnittflächen und Ausbrüche des gleichen Teiles in einer oder mehreren Ansichten werden in gleicher Art und Richtung schraffiert.
	(b) Aneinanderstoßende Werkstücke erhalten entgegengesetzt gerichtete oder verschieden weite Schraffur.
	(c) Der Schraffurlinienabstand ist umso größer, je größer die Schnittfläche ist.
	(d) Umlaufkanten, die durch den Schnitt sichtbar geworden sind, werden eingezeichnet.
	(e) Trennfugen sind als Kanten zu zeichnen.
	(f) Vollkörper einfacher Form werden in der Längsrichtung nicht geschnitten. Beispiele: Niete, Bolzen, Wellen, Stifte, Rippen, Schrauben.
	(g) Ist der Schnittverlauf nicht ohne weiteres ersichtlich, so ist er durch dicke Strichpunktlinien zu kennzeichnen. Die Blickrichtung auf den Schnitt deuten Pfeile an. Buchstaben verwendet man nur zur besseren Übersicht.

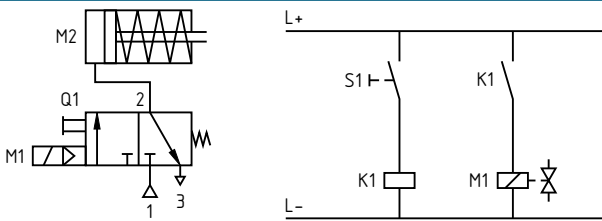
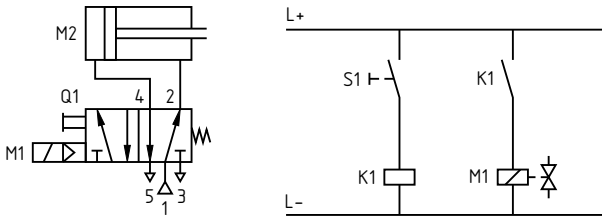
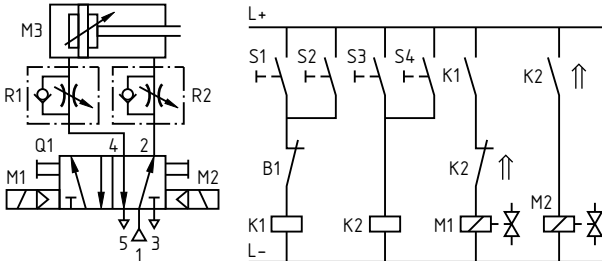
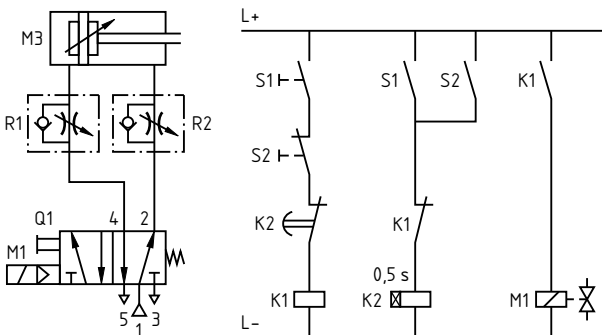
Darstellung	Merkregeln
	(h) Ausbrüche werden durch dünne Freihandlinien begrenzt.
	(i) Bei der Darstellung „halb Ansicht – halb Schnitt“ wird bei waagrechter Mittellinie (Beispiel d) der Halbschnitt unterhalb, bei senkrechter Mittellinie rechts von ihr angeordnet. Durch dünne Freihandlinien werden dargestellt:
	(k) der Bruch flacher Werkstücke,
	(l) der Abbruch von Rundkörpern,
	(m) der Abbruch von hohlen Rundkörpern, z.B. Rohre.
	(n) Spitzkörper sind in abgebrochener Darstellung zusammengeschoben zu zeichnen.
	(o) Der Bruch geschnittener, hohler Rundkörper wird durch eine Freihandlinie begrenzt.
	(p) Gerundete Übergänge und Kanten können durch dünne Volllinien (Lichtkanten), die vor den Körperkanten enden, dargestellt werden, wenn das Bild dadurch anschaulicher wird.
	(q) Flach verlaufende Durchdringungskurven dürfen weggelassen werden.

TM

# Elektropneumatische Grundschaltungen

## Electropneumatical Basic Circuits

TM

Pneumatikschaltung mit Steuerstromkreis	Beschreibung
 <p><b>Einfach wirkender Zylinder mit Federrückstellung und elektrisch vorgesteuertem 3/2-Wegeventil</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● S1 wird betätigt.</li> <li>● K1 zieht an.</li> <li>● M1 bringt Q1.</li> <li>● M2 fährt aus.</li> <li>● S1 wird losgelassen.</li> <li>● K1 fällt ab.</li> <li>● Q1 wird durch die Feder rückgestellt.</li> <li>● M2 fährt ein durch Federrückstellung.</li> </ul>
 <p><b>Doppelt wirkender Zylinder mit elektrisch vorgesteuertem 5/2-Wegeventil</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● S1 wird betätigt.</li> <li>● K1 bringt M1.</li> <li>● M1 bringt Q1.</li> <li>● M2 fährt aus.</li> <li>● S1 wird losgelassen.</li> <li>● K1 fällt ab.</li> <li>● Q1 wird durch die Feder rückgestellt.</li> <li>● M2 fährt ein.</li> </ul>
 <p><b>Türsteuerung mit jeweils zwei Bedienstellen zum Öffnen und Schließen der Tür</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Die Tür kann mit S1 oder S2 geschlossen werden.</li> <li>● Der Sensor B1 meldet, wenn sich jemand in der Tür befindet und verhindert ein Schließen der Tür.</li> <li>● Die Tür kann mit S3 oder S4 geöffnet werden.</li> <li>● Das Öffnen der Tür hat Vorrang.</li> </ul>
 <p><b>Zweihandsicherheitsschaltung für eine Presse mit Arretierungsüberwachung</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● S1 und S2 müssen innerhalb von 0,5 s betätigt werden, damit K1 anzieht.</li> <li>● Wird nur ein Taster betätigt, zieht K1 nicht an. Nach 0,5 s unterbricht K2 die Zuleitung zu K1.</li> <li>● Wird ein Taster festgeklemmt, so verhindert K2 ebenfalls ein Anziehen von K1, wenn der zweite Taster nicht innerhalb von 0,5 s betätigt wird.</li> </ul>

Hinweis: Kennzeichnung der Betriebsmittel nach DIN EN 81346-2.

### Änderungen gegenüber den Grundsaltungen

Grund	Erklärung
Lagerhaltung des Materials	Die Anzahl der vorzuhaltenden Leitungen sollte wegen der Kosten möglichst niedrig bleiben. So wird in vielen Betrieben der Elektroinstallation die Aderzahl von vorrätigen kabelähnlichen Leitungen auf 3 und 5 beschränkt. Dabei ist immer eine Ader grüngelb, also nur als PE, PB oder Erde verwendbar.
dreiadrige Leitung anstelle einer zweiadrigen	Für die Leitung zu einem Ausschalter oder Taster kann eine dreiadrige Leitung verwendet werden, wobei die grüngelbe Ader am Ausschalter bzw. Taster nicht zur Stromleitung angeschlossen wird.
grüngelbe Ader, blaue Ader	Die blaue Ader kann als N verwendet werden oder anderweitig, nicht aber als PE oder PEN.
PE erleichtert die Überwachung	Ein PE in der Schalterleitung dient der Überwachung der Leitungsanlage. Der PE ermöglicht z.B. im betreffenden Leitungszweig die Messung des Isolationswiderstandes.
RCD verhindert Missbrauch	Die missbräuchliche Verwendung des PE als PEN-Leiter wird verhindert, wenn der Fehlerschutz durch Abschaltung mittels RCD erfolgt.
fünfadriges Leitung anstelle von dreiadriger	Ermöglicht bei der Ausschaltung eine Steckdose und Verwendung des Ausschalters als Kontrollschalter.
übrig bleibende Ader	Wenn bei Verwendung von nur 3- und 5-adrigen Mehraderleitungen eine Ader übrig bleibt, so ist diese an die entsprechende Klemme anzuschließen, sofern die vorliegt. Andernfalls legt man die Ader an eine zusätzliche lose Klemme oder isoliert sie.

**Beispiel**

**Dreierdriger Schalteranschluss**

**Ausschaltung mit fünfadrigem Schalterleitung und Steckdose**

### Weitere Beispiele mit kabelähnlichen Mehraderleitungen

**Schaltung**

**Wechselschaltung mit einer Steckdose unter einem Schalter**

**Erklärung**

Bei der üblichen Wechselschaltung ermöglichen fünfadriges Schalterleitungen zu den Schaltern eine Steckdose nur unter dem Schalter, der an L angeschlossen ist. Dagegen ist als Kontrollschalter nur der Schalter möglich, an den der Schalterdraht angeschlossen ist. Dabei muss die Glühlampe des Schalters parallel zur Last geschaltet sein. Dasselbe Verhalten erfolgt an den Wechselschaltern einer Kreuzschaltung.

**Sparwechselschaltung mit Steckdosen an beiden Schaltern**

**Erklärung**

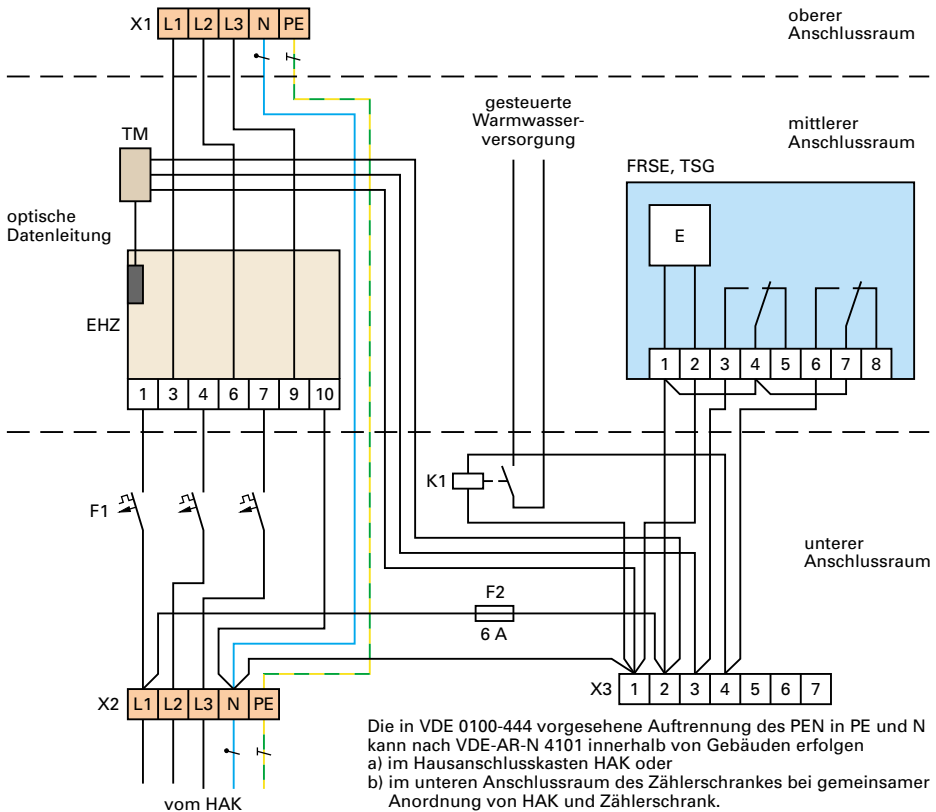
Mit der Sparwechselschaltung (Prinzip vorhergehende Seite) ist es möglich, bei Verwendung von fünfadriges Schalterleitungen, unter jedem Schalter eine Steckdose zu installieren. Desgleichen sind beide Schalter als Kontrollschalter verwendbar, wenn die Glühlampen der Schalter parallel zur Last geschaltet sind.

Die Sparwechselschaltung kann nicht zur Kreuzschaltung erweitert werden.

EI

## Zählerplatzinstallation Installation for the kWh-meter Location

### Mehrarzähler mit Funkrundsteuerempfänger und Steuerung zur Warmwasserbereitung



EI

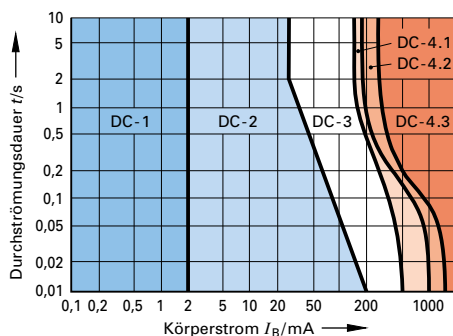
**Schaltplan einer Standardverdrahtung mit indirekter Ansteuerung für Neuanlagen**

Merkmal	Erklärung	Bemerkungen
Verdrahtung	Bis 63 A (Hausanschlussssicherung) mit 10 mm <sup>2</sup> Kupferleitungen, bis 100 A mit 16 mm <sup>2</sup> Kupferleitungen.	Feindrähtig
Anschlussraum	Unterer Anschlussraum: Strom ist noch ungezählt. Oberer Anschlussraum: Enthält Klemmen für Abgangsleitungen und Abgangssicherungen.	Der untere Anschlussraum ist verplombt.
Haushaltszähler	Der Raum für EHZ-Anwendungen befindet sich oben im mittleren Anschlussraum und ist 150 mm hoch. In ihm befindet sich eine Hutschiene mit 12 Teileinheiten. In ihm wird das Tarifmodul TM montiert, das die Kommunikation zwischen Tarifschalgerät und Zähler herstellt.	Bestückung ausschließlich nach den Angaben des Messstellenbetreibers.
Leitungsführung	Zwischen den Zählerplätzen im unteren Anschlussraum. Die vertikale Leitungsführung im Zählerplatz erfolgt mittig unter der Tragplatte für den Zähler.	Für das TSG ist ein eigenes Zählerfeld erforderlich.

E Funkempfänger, EHZ elektronischer Haushaltszähler, FRSE Funkrundsteuerempfänger, F1 selektiver Hauptschalter, F2 Schmelzsicherung für Tarifschalgerät (plombierbar), HAK Hausanschlusskasten, K1 Relais für Gerätesteuerung, TM Tarifmodul, TSG Tarifschalgerät, X1, X2 Hauptleitungsklemmen, X3 Steuerleitungsklemme (7-polig).

## Stromgefährdung bei Gleichstrom

vgl. VDE V 0140-479-1



Sicherheitskurven nach VDE V 0140-479-1 für DC von linker Hand zu den Füßen

Zone	Physiologische Wirkung
DC-1	Leicht stechende Empfindung bei schneller Änderung des Stroms.
DC-2	Unwillkürliche Muskelkontraktion bei schneller Stromänderung, aber meist keine schädliche Wirkung.
DC-3	Starke Muskelkontraktion und Störungen der Reizleitung im Herzen können mit zunehmender Stromstärke und Dauer auftreten, meist kein organischer Schaden.
DC-4	Schädliche Wirkungen wie Herzstillstand, Atemstillstand, Zellschäden und Verbrennungen. Wahrscheinlichkeit Herzkammerflimmern: DC-4.1 ≤ 5 %, DC-4.2 ≤ 50 %, DC-4.3 ≥ 5 %.

## Stromgefährdung bei verschiedenen Wegen des Körperstromes

Der Stromweg des Körperstromes ist umso gefährlicher, je mehr er zu einem Strom über das Herz führt. Der Herzstromfaktor  $F$  gibt an, um welchen Faktor die Stromwirkung anders ist als bei einem Strom derselben Größe, der von der linken Hand zum Fuß fließt.

$I_B$  Körperstrom  
 $I_{Bn}$  Körperstrom  
Hand zu Fuß

## Herzstromfaktor

$$F = \frac{I_B}{I_{Bn}} \quad 1$$

**Beispiel 1:** Bei einer sitzend verrichteten Arbeit erhält Otto bei Arbeit unter Spannung einen Schlag von Hand zu Hand mit z. B. 50 mA. Wie groß hätte der Schlag sein können, wenn Otto auf einem leitenden Fußboden gestanden wäre?

**Lösung:**  $F = 0,4 \rightarrow I_{Bn} = 50 \text{ mA} \cdot 0,4 = 20 \text{ mA}$

Stromweg bei DC oder AC	Herzstromfaktor $F$
Linke Hand zu einem Fuß oder beiden Füßen	1,0
Beide Hände zu beiden Füßen	1,0
Linke Hand zur rechten Hand	0,4
Rechte Hand zu einem oder beiden Füßen	0,8
Rücken zur rechten Hand	0,3
Rücken zur linken Hand	0,7
Brust zur rechten Hand	1,3
Brust zur linken Hand	1,7
Gesäß zur linken Hand, rechten Hand oder beiden Händen	0,7
Linker Fuß zum rechten Fuß	0,04

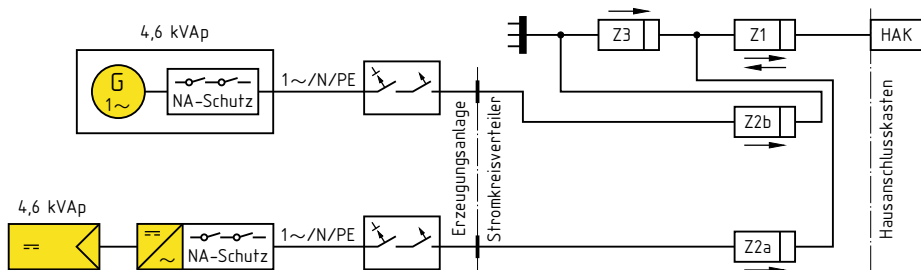
## Sich ändernde Bedeutung von Gleichstrom

Jahre	Anwendungsbeispiele	Einige Normen wegen Gleichstrom	
		Norm	Bezeichnung (gekürzt)
bis 1800	Entwicklung der Elektrophysik mit DC, Anwendungen von DC, z.B. Telegrafie. DC-Generator.	VDE 0122-1	Laden von Elektrofahrzeugen an DC bis 1500 V.
1801 bis 1900	Entwicklung Nachrichtentechnik mit DC. Antriebe mit DC wegen der Steuerbarkeit, sonst AC und 3AC. Netztechnik zunehmend 3AC.	VDE-AR-E 2100-712	Maßnahmen für den DC-Bereich einer PV-Anlage zum Einhalten der elektrischen Sicherheit bei einer technischen Hilfeleistung.
1901 bis 2000	AC und 3 AC hat sich durchgesetzt bis auf wenige DC-Anwendungen in der Schienenfahrzeugtechnik und Kommunikationstechnik.	VDE 0117-3	Sicherheitsanforderungen mit Nennspannungen bis 240 V für Flurförderfahrzeuge.
ab 2001	DC wird wichtiger, bleibt aber bisher energetisch weiter hinter AC und 3AC. Ausnahmen: Netztechnik über große Entfernungen (HGÜ = Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung), Energieversorgung über Photovoltaik, Elektromobilität mit Akkumulatoren, Energieausgleich mit Akkumulatoren.	VDE 0553-1	Hochspannungs-Gleichstrom-Energieübertragung
		E DIN EN ISO 16230-1	Sicherheit in Landmaschinen mit Nennspannungen AC 50 V–1000 V oder DC 75 V bis 1500 V
		VDE 0845-3-1	Überspannungsschutzgeräte in IT-Netzwerken mit DC bis 1500 V

Abrechnungsmessung

vgl. VDE-AR-N 4105

Benennung	Erklärung	Beispiele, Bemerkungen
<b>Volleinspeisung</b> Die gesamte erzeugte Energie wird in das VNB-Netz eingespeist und nach EEG vergütet. Erfordert zwei Zähler, der Zweirichtungszähler Z2 für Lieferung und Bezug Generatoreigenverbrauch.	Die selbst verbrauchte Energie aus dem VNB-Netz und der Eigenerzeugungsanlage wird vom Bezugszähler erfasst und nach dem VNB-Tarif berechnet. Dieser ist niedriger als die EEG-Vergütung.	Eigentlich genügen für die Volleinspeisung zwei normale Zähler mit Rücklaufsperrre. Die VDE-AR-N schlägt Z2 als Zweirichtungszähler vor, damit der Eigenverbrauch des Generators erfasst wird.
<b>Überschusseinspeisung</b> Nur der ins VNB-Netz eingespeiste Energieüberschuss wird mit dem hohen Tarif nach EEG vergütet. Erfordert 3 oder 2 Zähler mit zusammen 3 Messwerken.	Der selbst verbrauchte Anteil der Eigenerzeugung wird vom VNB auch vergütet, aber mit einem kleineren Tarif. Der Bezug aus dem VNB-Netz wird vom VNB berechnet und ist zu bezahlen.	Übliche Anlage für Anlagenbemessungsleistung $\leq 100$ kVA, z. B. mittlere für PV-Anlagen oder Anlagen für Blockheizkraftwerk BHKW.
<b>Generator, Einheit</b> Jede Art von Spannungserzeuger, also z. B. PV-Anlage oder kleine Windkraftanlage.	Die erzeugte Energie jeder Generatorart ist getrennt zu messen. Bei zwei Generatorarten sind erforderlich 4 Zähler.	Kombinationen der Arten von Generatoren sind z. B. PV-Generator und BHKW oder Kleinwind- und Wasserkraftanlage.



Anschluss einer Erzeugungsanlage von zwei verschiedenen Generatoren  $\leq 30$  kVA mit Überschusseinspeisung nach VDE-AR-N 4105


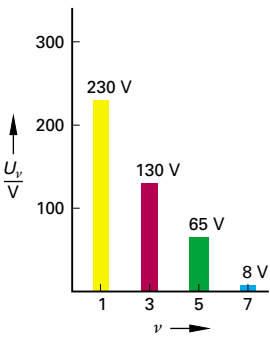
Zählerschaltungen (Beispiele)

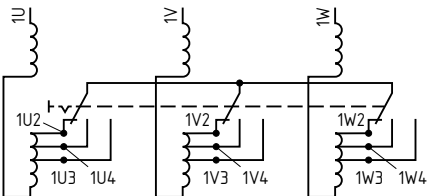
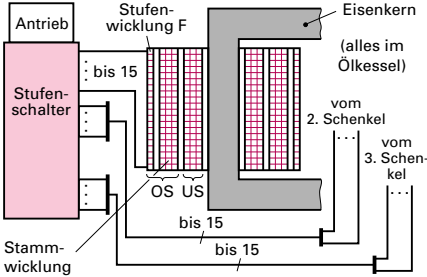
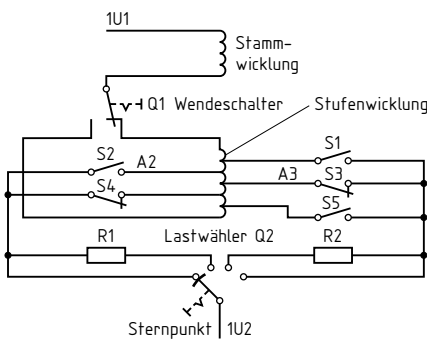
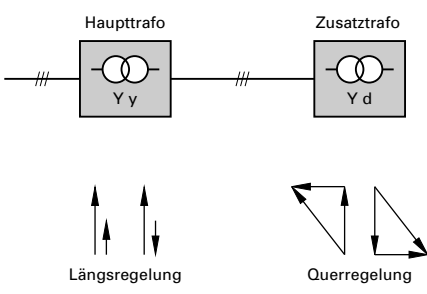
<p>einphasige Erzeugungseinheit</p>	<p><b>Nennleistung:</b> <math>\leq 4,6</math> kVA  <b>Zähler:</b> Z1 Bezug der Kundenanlage, Z2 Lieferung und Bezug der Einheit  <b>Volleinspeisung</b></p>	<p>dreiphasige Erzeugungseinheit</p>	<p><b>Nennleistung:</b> <math>\leq 13,8</math> kVA  <b>Zähler:</b> Z1 Bezug der Kundenanlage, Z2 Lieferung und Bezug der Einheit  <b>Volleinspeisung</b></p>
<p>dreiphasige Einheit</p>	<p><b>Nennleistung:</b> <math>&lt; 30</math> kVA  <b>Zähler:</b> Z1 Bezug der Kundenanlage, Z2 Lieferung und Bezug der Einheit  <b>Überschusseinspeisung</b></p>	<p>zwei dreiphasige Einheiten</p>	<p><b>Nennleistung:</b> <math>\leq 4,6</math> kVAp  <b>Zähler:</b> Z1 Bezug der Kundenanlage, Z2 Lieferung und Bezug der Einheiten  <b>Überschusseinspeisung</b></p>

EEG erneuerbare Energiengesetz, kVA = Kilo-Voltampere, Bemessungswert, p (von peak) Spitzenwert, PV Photovoltaik, VDE-AR-N VDE-Anwendungsrichtlinie Netz, VNBW Verteilungs-Netzbetreiber



# THD-Werte von Oberschwingungen Total Harmonic Distortions

Vorgang, Aufgabe	Erklärung, Lösung	Bild, Formeln												
<p>Zum Messen der Oberschwingungen verwendet man Netzanalysegeräte, z. B. beim Einphasennetz einen speziellen Zangenstromwandler (<b>Bild</b>). Dieser hat wie ein ScopeMeter (Seite 117) ein Display zur Darstellung von Strom- und Spannungsverlauf. Außerdem können die Oberschwingungen grafisch angezeigt werden.</p> <p><a href="http://www.fluke.de/fluke345">www.fluke.de/fluke345</a></p>	<p>Aus dem Oszillogramm von <math>U</math> und <math>I</math> kann der Anwender erkennen, ob Oberschwingungen vorliegen. Diese können getrennt nach ihren Ordnungszahlen gemessen werden, z. B. die Grundschwingung und die 3. Teilschwingung. Angezeigt werden die Effektivwerte. Auch der gesamte Effektivwert ist messbar und zusammen mit den einzelnen Effektivwerten als Histogramm anzeigbar (<b>Bild unten</b>).</p>	 <p><b>Netzqualitätsmesszange</b></p>												
<p><b>Beispiel 1:</b> In einer Einphasenanlage wurden gemessen: <math>U_1 = 230\text{ V}</math>, <math>U_3 = 120\text{ V}</math>, <math>U_5 = 50\text{ V}</math>, <math>U_7 = 8\text{ V}</math>. Wie groß ist der THD-Wert?</p> <p>Die Angabe erfolgt meist in %. Hier also nach Lösung <math>0,3207 = 32,07\%</math></p>	<p><b>Lösung:</b></p> $THD = \frac{U_3^2 + U_5^2 + U_7^2}{U_1^2}$ $= \frac{(120\text{ V})^2 + (50\text{ V})^2 + (8\text{ V})^2}{(230\text{ V})^2}$ $= \frac{14\,400 + 2\,500 + 64}{52\,900}$ $= 0,3207$	<p><b>THD-Wert der Spannung</b></p> $THD = \frac{U_3^2 + U_5^2 + U_7^2 + \dots + U_x^2}{U_1^2}$ <p>1</p> <p><math>U_x</math> mit <math>x = 1, 3, 5, 7</math> Spannung der Ordnungszahl <math>x</math> In entsprechender Weise mit <math>I</math> ist der THD-Wert des Stromes zu ermitteln.</p>												
<p>Für die Energietechnik ist der THD-Wert der Spannung als <math>THD_V</math>-Wert festgelegt.</p> <p><b>Beispiel 2:</b> Der Effektivwert einer Spannung beträgt <math>232\text{ V}</math>, der Effektivwert der Grundschwingung ist <math>230\text{ V}</math>. Wie groß ist der <math>THD_V</math>-Wert?</p> <p>Die Angabe erfolgt meist in %. Hier also nach Lösung <math>0,132 = 13,2\%</math></p>	<p><b>Lösung:</b></p> $THD_V = \frac{\sqrt{V^2 + V_1^2}}{V_1}$ $= \frac{\sqrt{(232\text{ V})^2 - (230\text{ V})^2}}{230\text{ V}}$ $= \frac{\sqrt{53\,824 - 52\,900}}{230}$ $= 0,132$	<p><b>THD<sub>V</sub>-Wert der Spannung in der Energietechnik nach IEEE-Standard 1459</b></p> $THD_V = \frac{\sqrt{V^2 + V_1^2}}{V_1}$ <p>2</p> <p><math>V</math> Spannung mit Oberschwingungen <math>V_1</math> Grundschwingung (<math>V</math> von Voltage)</p>												
 <p><b>Histogramm zu Beispiel 1</b></p>	<p>Bei Erzeugungsanlagen, z.B. PV-Anlagen, Biogasanlagen oder Windrädern, dürfen die Oberschwingungsströme Grenzen nach Tabelle 1 nicht überschreiten, da sonst die Oberschwingungsspannungen im Netz zu groß würden. Wenn durch Messungen festgestellt wird, dass zulässige Grenzen überschritten werden, muss der Anteil an Oberschwingungen reduziert werden, z. B. durch Kompensation (Seite 278).</p>	<p><b>Tabelle 1: Zulässige Oberschwingungsströme bei Erzeugungsanlagen vgl. VDE-AR-N 4105</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th><math>\nu</math></th> <th><math>I_\nu</math> in mA je kVA der Anlage</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>3</td><td>3</td></tr> <tr><td>5</td><td>1,5</td></tr> <tr><td>7</td><td>1</td></tr> <tr><td>9</td><td>0,7</td></tr> <tr><td>11</td><td>0,5</td></tr> </tbody> </table> <p><math>\nu</math> (griech. Nü) Ordnungszahl</p>	$\nu$	$I_\nu$ in mA je kVA der Anlage	3	3	5	1,5	7	1	9	0,7	11	0,5
$\nu$	$I_\nu$ in mA je kVA der Anlage													
3	3													
5	1,5													
7	1													
9	0,7													
11	0,5													
<p>Die Verzerrung von Spannung oder Strom wird oft als THDu oder als THDi angegeben. Der gesamte Oberschwingungsstrom THC (Total Harmonic Current) ist ein Effektivwert (Formel 3).</p>	$THC = \sqrt{I_2^2 + I_3^2 + I_4^2 \dots I_{40}^2}$ <p>3</p> <p><math>I_x</math> mit <math>x = 2, 3, 4 \dots 40</math> Strom der Ordnungszahl <math>x</math></p>	$THDi = \frac{THC}{I_1}$ <p>4</p> <p><math>THDu</math> mit <math>U_1, U_2 \dots</math> entsprechend Formel 3, 4 <math>I_1</math> Grundschwingungsstrom</p>												

Begriffe	Erklärung	Schaltung, Daten
<p>Umsteller</p> <p>stromlose Betätigung</p> <p>nicht für Regelung</p>	<p>Die Änderung der Spannung erfolgt durch Änderung der Windungszahl durch einen Umsteller genannten Schalter, und zwar über Anzapfungen der OS-Wicklung in Stufen bis etwa 4% der Nennspannung vom Trafo. Der Umsteller darf gegen Kurzschlüsse beim Umschalten nur stromlos betätigt werden und ist deshalb ungeeignet für eine fortlaufende Regelung.</p>	 <p><b>Schaltung des Umstellers</b></p>
<p>Stelltransformator</p> <p>Wicklungsanzapfung</p> <p>Stufenwicklung</p> <p>Stammwicklung</p>	<p>Für die fortlaufende Regelung sind <i>Stelltransformatoren</i> geeignet, bei denen die Windungszahl unter Netzspannung geändert werden kann. Dafür wird wegen des kleineren Stroms die Windungszahl der Oberspannungswicklung über Anzapfungen mittels eines Stufenschalters eingestellt. Meist genügt eine Änderung der Windungszahl bis etwa 4%. Deshalb sind etwa 4% der OS-Wicklung als Stufenwicklung mit Anzapfungen ausgeführt. Der Teil der OS-Wicklung ohne Anzapfungen ist die <i>Stammwicklung</i>.</p>	 <p><b>Anschluss des Stelltransformators</b></p>
<p>SE</p> <p>Stufenschalter</p> <p>häufige Spannungsänderung</p> <p>elektronische Regelung</p> <p>Stufenwähler</p> <p>Lastwähler</p> <p>Thyristoren</p> <p>Wendeschalter</p>	<p>Die Trafospannung muss wegen der täglichen Änderung von Last und Einspeisung, z. B. bei Änderung von Wind oder Beleuchtung, täglich bis zu 1000 Mal geregelt werden. Dazu wird die Spannung im 400-V-Netz gemessen und elektronisch im Oberspannungsnetz geregelt. Beim dafür erforderlichen Stufenschalter wird die beabsichtigte Windungszahl der Stufenwicklung stromlos über Stufenwähler eingestellt und dann über dämpfende Widerstände durch Lastwähler umgeschaltet. Die Umschaltung erfolgt z. B. mit Thyristoren. Ein Wendeschalter Q1 ermöglicht das Umschalten der Stufenwicklung von Erhöhung der Spannung auf Herabsetzung derselben.</p>	 <p><b>Prinzip eines Stranges des Stufenschalters für 3AC-Transformator</b></p>
<p>Zusatztransformator</p> <p>Längsregelung</p> <p>Querregelung</p>	<p>Beim obigen Stelltransformator haben die Spannungszeiger von Stufen- und Stammwicklungen dieselbe Richtung. Man spricht von <i>Längsregelung</i> und <i>Längsregelung</i>. Man kann aber die Stränge der Stufenwicklung mit Teilen der Stammwicklung zu einem <i>Zusatztransformator</i> schalten. Hat dieser statt der Sternschaltung eine Dreieckschaltung, so können die Zeiger der Spannungen von Stamm- und Stufenwicklung quer zueinander liegen. Die Regelung ist dadurch eine <i>Querregelung</i>.</p>	 <p><b>Zeiger bei Längs- und Querregelung von Drehstromtransformatoren</b></p>

## Regelung der Netzfrequenz Control of Frequency in a Grid

Begriffe	Erklärung	Bemerkungen, Daten, Bilder
<p>Frequenzhaltung 50 Hz europäisches Verbundnetz Toleranz <math>\pm 0,2</math> Hz Synchrongenerator</p>	<p>Unter Frequenzregelung des Netzes versteht man Regelvorgänge, die zu einer an den Hausanschlüssen annähernd konstanten Frequenz von 50 Hz führen. Man spricht dabei auch von <i>Frequenzhaltung</i>. Im europäischen Verbundnetz ist die <i>Toleranz</i> <math>\pm 0,2</math> Hz. Die Frequenz soll also mindestens 49,8 Hz und höchstens 50,2 Hz betragen.</p>	<p>Die Netzfrequenz geben die Synchrongeneratoren der Großkraftwerke vor. Deren Frequenz <math>f</math> ist proportional der Drehzahl <math>n</math> ihrer Läufer.</p> <div style="text-align: right;"> <p><b>Netzfrequenz</b></p> <math display="block">f = n \cdot p</math> <p><math>f</math> Frequenz  <math>n</math> Drehzahl  <math>p</math> Zahl der Polpaare</p> </div>
<p>Netzlast                      Großkraftwerke                      Primärregelung                      Turbinenleistung                      Sekundärregelung                      Dämpfung von Laststößen</p>	<p>Netzlast bremst die Synchrongeneratoren und ihre Drehzahl und Frequenz sinken. Bei abnehmender Netzlast nehmen die Generatordrehzahl und Frequenz zu. Es muss also die Drehzahl der Turbinen von <i>Großkraftwerken</i> auf konstante Drehzahl nach Formel 1 geregelt werden.</p> <p>Bei der <i>Primärregelung</i> wird die Leistung der Turbinen geregelt, bei der <i>Sekundärregelung</i> die Netzfrequenz. Zu einer Dämpfung von Laststößen führt die mechanische Energie der rotierenden Läufer von Generatoren und Motoren im Netz.</p>	<p style="text-align: center;"><b>Primärregelung eines Synchrongenerators</b></p>
<p>P-Regelung                      Sekundärregelung                      PI-Regelung                      positive Regelenergie                      Spannungsregelung</p>	<p>Für die Primärregelung liegt eine <i>P-Regelung</i> vor, die einen Fehler schnell, aber nicht vollständig, ausregelt. Bei der <i>Sekundärregelung</i> ist die zusätzliche Regelgröße die Netzfrequenz. Hier liegt eine <i>PI-Regelung</i> vor, die den Fehler der P-Regelung langsam ausgleicht.</p> <p>Bei zu niedriger Netzfrequenz wird zusätzliche Einspeisung oder kleinere Netzlast gebraucht (<i>positive Regelenergie</i>). Bei zu kleiner Netzfrequenz ist auch die Generatorspannung zu klein, sodass die Spannungsregelung des Netzes wirksam wird.</p>	<p style="text-align: center;"><b>Wirkungsweise der Sekundärregelung</b></p>
<p>negative Regelenergie                      Zuständigkeit ÜBN                      Sekundenreserve</p>	<p>Bei zu hoher Netzfrequenz wird kleinere Einspeisung oder größere Netzlast gebraucht (<i>negative Regelenergie</i>). Zuständig für die Netzregelung sind die ÜBN. Die Primärregelung erfolgt dezentral in für die Regelung vorgesehenen Großkraftwerken, die ihre Netzfrequenz messen und danach die Leistung steuern.</p>	<p>Die Primärregelung muss innerhalb von 30 Sekunden wirksam werden, wenn <math>\Delta f \geq 20</math> mHz = 0,02 Hz. Diese <i>Sekundenreserve</i> muss mindestens für 15 Minuten verfügbar sein zum Aufwärtsregeln von großen Wärmekraftwerken mit über 1000 MW Leistung oder zum Abwärtsregeln auch von Wasserkraftwerken der ÜBN.</p>
<p>Pumpspeicherkraftwerke                      Gaskraftwerke                      Minutenreserve                      Übertragungsdistanzen</p>	<p>Die <i>Sekundärregelung</i> erfolgt im Übertragungsnetz in Pumpspeicherkraftwerken und Gaskraftwerken innerhalb von maximal 15 Minuten (<i>Minutenreserve</i>). Ein <i>zentraler Regler</i> erfasst die Netzfrequenz und die Leistungen der verschiedenen Regionen und regelt in diesen die Frequenz so, dass Leistungen möglichst über kurze Übertragungsdistanzen bewegt werden.</p>	<p>Für die Sekundärregelung wird ein PI-Regler eingesetzt. Der Beitrag des I-Reglers (Integralregler) steigt ständig an, auch wenn 50 Hz erreicht sind. Dadurch schwankt die Frequenz um etwa 10 mHz = 0,01 Hz um 50 Hz. Die Regelung soll den Mittelwert der Netzfrequenz längere Zeit hindurch bei 50 Hz halten, damit die mit Netzfrequenz gesteuerten Uhren genau gehen.</p>
<p><math>e</math> Regeldifferenz  <math>f</math> Frequenz  <math>n</math> Drehzahl, Umdrehungsfrequenz  <math>p</math> Polpaarzahl, halbe Polzahl; Druck</p>	<p><math>\Delta f</math> Frequenzabweichung                      P-Regler Proportionalregler                      PI-Regler Proportional-Integral Regler                      ÜBN Übertragungsnetzbetreiber</p>	

SE

## Binäre Verknüpfungen Binary Operations

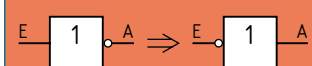
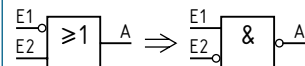
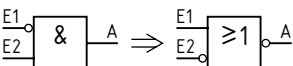
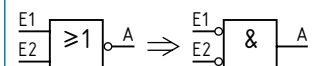
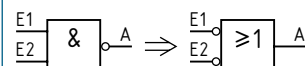
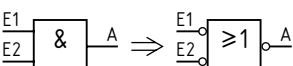
Schaltzeichen	Benennung der Verknüpfung	Kontaktschaltung	Schaltfunktion (Sprechweise)	Wertetabelle		
				b	a	x
	NICHT (Negation)		$x = \bar{a}$ oder $x = \neg a$ (a nicht) nicht genormt: $x = a \setminus a$			
	UND (Konjunktion)		$x = a \wedge b$ (a und b)	0 0 1 1	0 1 0 1	0 0 0 1
	ODER (Adjunktion, Disjunktion)		$x = a \vee b$ (a oder b)	0 0 1 1	0 1 0 1	0 1 1 1
	NAND		$x = \bar{a} \vee \bar{b} = \overline{a \wedge b}$ $= a \setminus b$ (a nand b)	0 0 1 1	0 1 0 1	1 1 1 0
	NOR		$x = \bar{a} \wedge \bar{b} = \overline{a \vee b}$ $= a \setminus b$ (a nor b)	0 0 1 1	0 1 0 1	1 0 0 0
	Exklusiv-ODER Antivalenz, Exklusiv-OR, XOR		$x = (a \wedge \bar{b}) \vee (\bar{a} \wedge b)$ $= a \oplus b$ (a xor b)	0 0 1 1	0 1 0 1	0 1 1 0
	Exklusiv-NOR, Äquivalenz, XNOR		$x = (a \wedge b) \vee (\bar{a} \wedge \bar{b})$ $= a \leftrightarrow b$ (a Doppelpfeil b)	0 0 1 1	0 1 0 1	1 0 0 1
	Inhibition (Sperrlement)		$x = \bar{a} \wedge b$	0 0 1 1	0 1 0 1	0 0 1 0
	Implikation, Subjunktion		$x = \bar{a} \vee b = a \rightarrow b$ (a Pfeil b)	0 0 1 1	0 1 0 1	1 0 1 1
	(m aus n)- Element		Z. B. bei 2 aus 3: $x = (\bar{a} \wedge b \wedge c) \vee$ $(b \wedge a \wedge c) \vee$ $(\bar{c} \wedge a \wedge b)$			$x = 1$ , nur wenn an m von n Eingängen Wert 1 anliegt (m < n).

IK

### Gleichwertige Darstellung von binären Verknüpfungselementen mit & und ≥ 1

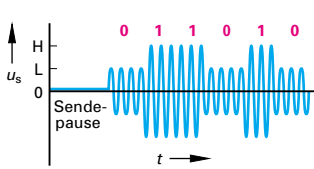
Ein gleichwertiges Schaltzeichen wird entsprechend den de Morgan'schen Regeln wie folgt gebildet (Ausnahme beim NICHT-Element):

1. Alle & werden ≥ 1;
2. Alle ≥ 1 werden &;
3. Alle Anschlüsse werden gegenüber dem Ausgangszustand invertiert.



Prinzip, Vorgang	Erklärung	Bemerkungen
------------------	-----------	-------------

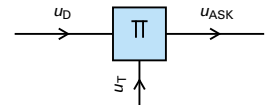
**Digitale Modulation und Demodulation**



ASK mit Kontrolle auf Sendepause

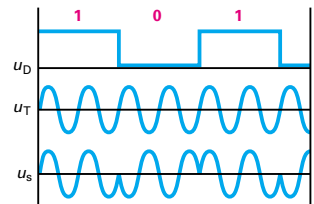
Bei **Amplitudenumtastung ASK** (von Amplitude Shift Keying) wird vom Modulator, z.B. einem Multiplizierer, eine hochfrequente Trägerspannung getastet.

Bei **Frequenzumtastung FSK** (von Frequency Shift Keying) wird z.B. beim Datenbit 1 eine höhere Frequenz als beim Datenbit 0 gesendet.



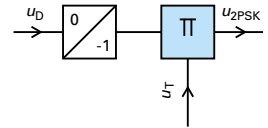
**Modulator für ASK**

Bei Datenbit 1 wird ein höherer Pegel der Trägerspannung verwendet.



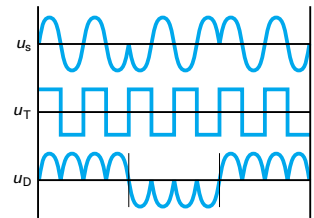
Modulation von 2-PSK

Bei **PSK** (Phase Shift Keying = Verschlüsselung durch Phasenänderung) liegt die Information im Phasenwechsel einer hochfrequenten Trägerspannung. Bei **PSK mit Bezugsphase** bezieht sich der Phasenwechsel auf die nicht modulierte Trägerspannung, beim **Differenz-PSK** auf den vorhergehenden Zustand.



**Modulator für 2-PSK**

Die Modulation bei 2-PSK erfolgt durch einen Ringmischer (Umsetzglied von 0 auf 1 mit einem Multiplizierer). Bei höheren PSK-Verfahren werden IQ-Modulatoren verwendet.



$u_D$  Datenspannung  
 $u_s$  Signalspannung  
 $u_T$  Trägerspannung

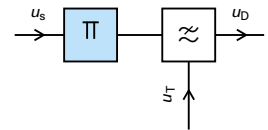
Demodulation von 2-PSK

**Arten von PSK**

Art	Winkel	Bits je Wechsel
2-PSK	180°	1
4-PSK	90°	2
8-PSK	45°	3
16-PSK	22,5°	4

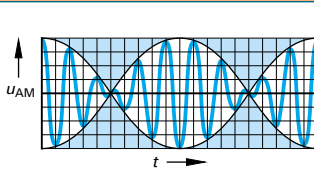
Die Bitrate ist umso höher, je mehr Bits bei einem Phasenwechsel übertragen werden.

Bei **Quadraturmodulation QAM** sind ASK und PSK kombiniert, z.B. bei 4-QAM, 8-QAM usw. bis 1024-QAM.

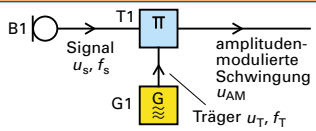


Demodulator von 2-PSK

**Analoge Modulation und Demodulation**

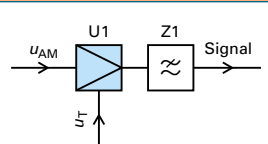


Spannungen bei Amplitudenmodulation



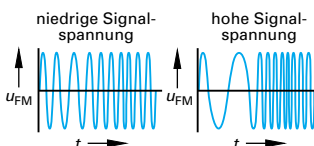
**Prinzip der Amplitudenmodulation AM**

Die Amplitude der Trägerspannung  $u_T$  wird von der Signalspannung  $u_s$  moduliert.



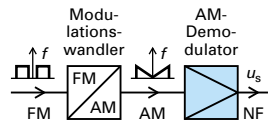
**Prinzip der Demodulation**

Die Demodulation kann auch durch eine Diode mit nachgeschaltetem Tiefpass erfolgen.



FM-Spannungen (frequenzmodulierte Spannungen)

Bei der **Frequenzmodulation FM** wird die Frequenz  $f_T$  eines Trägers mit der Signalspannung  $u_s$  moduliert. Die Amplitude von  $u_s$  erzeugt den Frequenzhub (Abweichung der Frequenz von der  $f_T$ ), die Frequenz (Tonhöhe) von  $u_s$  erzeugt die Zahl der Frequenzänderungen je Zeit.

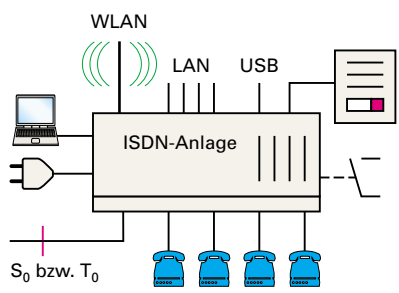


**Prinzip der Demodulation bei FM**

# ISDN und Internet-Telefonie (VoIP) ISDN and Voice over IP

Verfahren	Erklärungen	Bemerkungen, Daten, Formeln
-----------	-------------	-----------------------------

ISDN



**Weitere Einstellungen:**

- Einstellung des Wahlverfahrens IWV (Impulswahl) oder MFV (Mehrfrequenzwahl) für jedes der angeschlossenen Telefone,
- Festlegung eines Programmierpassworts,
- Klingelton, Anklöpfen, Anrufweiterschaltung, Amts-Berechtigung, Gebührenerfassung und -zuteilung, ISDN-Diensterkennung, direkter Amtszugang, Konferenz, Kurzwahl, Freigabe- und Sperrnummern, Vorzugsamt, Wählton, Makeln (Hin- und Herschalten).

**Anlagenmerkmale:**

- Interner S<sub>0</sub>-Bus (Anschluss von ISDN-Telefonen),
- Schnittstelle zu Türsprechanlagen („FTZ123 D12“),
- Schnittstelle zu Alarmanlagen,
- potenzialfreie Schaltrelais,
- Einspeisung von Wartemusik,
- ADSL-Modem,
- LAN-Router,
- LAN-Switch mit WLAN.

**Programmierschritte:**

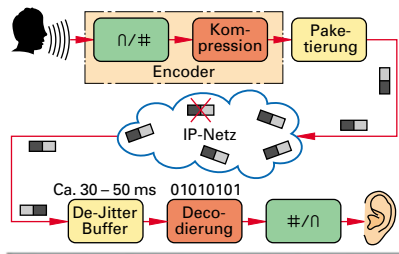
**Anlagenanschluss:**

- „Anlagenanschluss“ in der Anlage einstellen,
- Eintragung der Anlagenrufnummer und der DDIs (direct dial in Durchwahlnummern),
- Festlegung, welches Telefon bei welcher DDI klingelt.

**Mehrgeräteanschluss:**

- „Mehrgeräteanschluss“ einstellen,
- Eintragung der MSNs (Rufnummern),
- Festlegung, welches Telefon bei welcher MSN klingelt,
- Festlegung, welche MSN einen abgehenden Ruf übernimmt.

VoIP-Prinzip



VoIP bedeutet Sprach- und Bildübertragung über IP-Netzwerke, z. B. Internet, Intranet, LAN.

**Funktionsprinzip:**

Verbindungsaufbau und Verbindungsabbau erfolgen über SIP. Der Teilnehmer erhält von einem Provider, z. B. sipgate, eine SIP-Adresse, z. B. sip:Meier@sipgate.de. Endgeräte muss man einmalig während der Startphase bei dem zugewiesenen SIP-Server, z. B. sipgate.de, registrieren.

**Verbindungsaufbau:**

- Endgerät schickt Nachricht an den Server.
- Der Server leitet den Verbindungswunsch an das Endgerät des Anzurufenden weiter.
- Das Endgerät schickt eine entsprechende Nachricht zurück an den Server, die von diesem an den Anrufer weitergeleitet wird.
- Beim Angerufenen klingelt es, der Anrufer hört ein Rufzeichen.

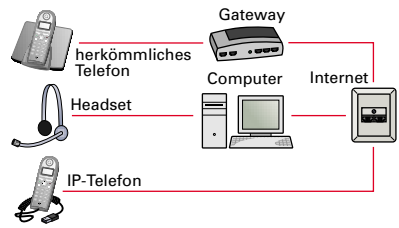
**Gesprächsübertragung:**

Die Endgeräte senden sich die Sprachdatenpakete direkt über das Protokoll RTP in Echtzeit mit üblich 93,6 kBit zu.

Wählprogramm



VoIP-Endgeräte



**Endgeräte:**

- IP-Telefon,
- Headset, Soundkarte im PC,
- Analogtelefon mit Gateway.

VoIP-Anbieter können freie Rufnummern aus dem Nummernvorrat von Ortsnetzen erhalten und an ihre Kunden vergeben. Dialer-Programme, z. B. PhonerLite, ermöglichen das Telefonieren direkt über PC.

VoIP von Voice over = Sprache über und IP Internet Protocol; MSN von Multiple Subscribe Number = Mehrfachrufnummer; SIP von Session Initiation Protocol = Sitzungsbeginn Protokoll; RTP von Real Time Transport Protocol = Echtzeit-Transportprotokoll; Gateway = Protokollumsetzer

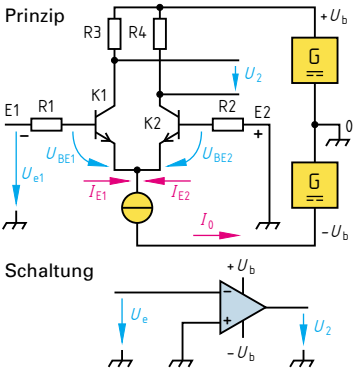
IK

# Grundlagen des Operationsverstärkers

## Basics of the Operational Amplifier

Schaltung, Kennlinie	Erklärung	Bemerkungen
----------------------	-----------	-------------

### Differenzverstärker



**Differenzverstärker als Invertierer geschaltet**

Ein Differenzverstärker besteht aus zwei Transistorstufen mit einer gemeinsamen Konstantstromquelle. R3 und K1 sowie R4 und K2 lassen sich als Zweige einer Brückenschaltung auffassen. Die Basis E2 des Transistors K2 wird an Masse gelegt. Die zweite Basis dient als Eingang E1. Durch Anlegen einer kleinen Spannung an E1 wird K1 angesteuert, d.h. sein Durchlasswiderstand ändert sich. Dadurch ändern sich gleichzeitig  $U_{BE2}$  gegenseitig und damit auch der Widerstand von K2. Die Ausgangsspannung  $U_2$  ist proportional zur Differenz der Eingangsspannungen an E1 und E2. Je nach Eingangssignal liegt die Ausgangsspannung zwischen einem positiven oder negativen Maximalwert ( $\pm U_b$ ).

Meist werden zur Spannungsversorgung zwei Spannungsquellen benötigt (z.B.  $U_b = \pm 15\text{ V}$ ). Diese werden an den Schaltzeichen des Operationsverstärkers meist nicht dargestellt.

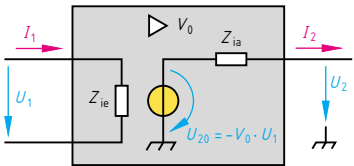
Die Eingänge werden nach ihrer Wirkung auf den Ausgang als -Eingang (invertierender Eingang) oder +Eingang (nicht invertierender Eingang) bezeichnet.

Die meisten Verstärker-IC haben als erste Stufe eine Differenzverstärkerschaltung.

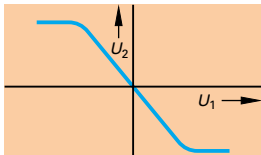
**Konstanter Strom**

$$I_0 = I_{E1} + I_{E2}$$

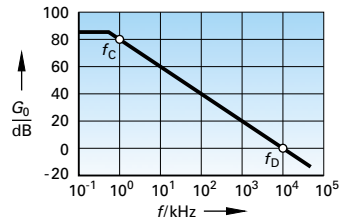
### Verhalten des Operationsverstärkers



**Ersatzschaltung des Operationsverstärkers**



**Ausgangsspannung  $U_2$  des Invertierers als Funktion von  $U_1$**



**Frequenzverhalten**

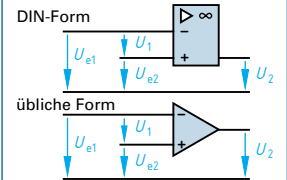
Ein Operationsverstärker besteht meist aus einem Differenzverstärker als Eingangsschaltung und mehreren gleichspannungsgekoppelten Verstärkerstufen, sodass sein Leerlaufverstärkungsfaktor  $V_0$  sehr groß ist. Selbst sehr kleine Eingangsspannungen bewirken recht große Ausgangsspannungsänderungen, die nur durch  $\pm U_b$  begrenzt werden. Daher wird der Operationsverstärker beschaltet.

Ein Operationsverstärker wirkt invertierend, da  $U_2$  positiv bei negativer Ansteuerung an E1 ist. Der Eingang E1 erhält im Schaltzeichen deshalb ein Minuszeichen. Ein Operationsverstärker wirkt dann nicht invertierend, wenn bei positiver Ansteuerung an E2 auch die Ausgangsspannung  $U_2$  positiv ist.

Infolge interner Phasendrehung bei hohen Frequenzen besteht Schwingneigung. Daher ist eine Reduzierung der Verstärkung um 20 dB/Dekade notwendig. Es wird dazu eine Gegenkopplung mit einer RC-Schaltung verwendet (Frequenzkompensation). Meist ist diese bereits im IC vorhanden.

Kenngrößen		
Größe	Typischer Wert	Näherung
$V_0$	$10^4$ bis $10^7$	$\infty$
$Z_{ie}$	100 k $\Omega$ bis $10^3$ G $\Omega$	$\infty$
$Z_{ia}$	10 $\Omega$ bis 5 k $\Omega$	0

**Schaltzeichen und Formelzeichen**



$$Z_{ie} = \frac{U_1}{I_1}$$

$$Z_{ia} = \frac{\Delta U_2}{\Delta I_2}$$




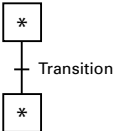
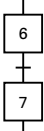
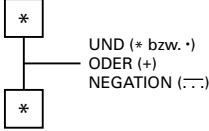
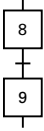
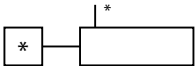
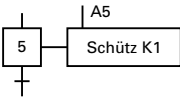
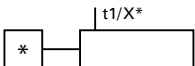
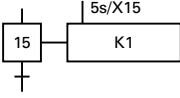
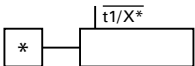
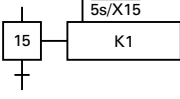
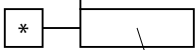
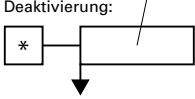
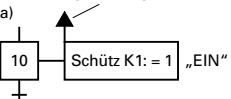
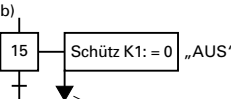
$$V_0 = \frac{U_2}{U_1}$$

$$G_0 = 20 \lg \frac{U_2}{U_1}$$

$$G_{CM} = 20 \lg \frac{U_2}{U_{1CM}}$$

$$f_c = \frac{f_D}{V}$$

$f_c$ Grenzfrequenz	$I_2$ Ausgangsstrom	$V$ Spannungsverstärkungsfaktor
$f_D$ Durchtrittsfrequenz	$U_{e1}, U_{e2}$ Eingangsspannungen	$V_0$ Leerlauf-Spannungsverstärkungsfaktor
$G_0$ Leerlauf-Spannungsverstärkungsmaß in dB	$U_1$ Differenzeingangsspannung	$Z_{ie}$ Eingangssinnenwiderstand bei Differenzansteuerung
$G_{CM}$ Gleichtaktverstärkungsmaß in dB	$U_2$ Differenzausgangsspannung	$Z_{ia}$ Ausgangssinnenwiderstand
$I_1$ Eingangsstrom	$U_{1CM}$ Eingangsspannung bei gleichphasiger Ansteuerung	$\Delta$ Zeichen für Differenz
$I_{E1}, I_{E2}$ Emitterströme	$U_b$ Betriebsspannung	

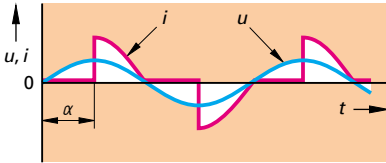
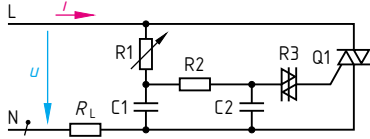
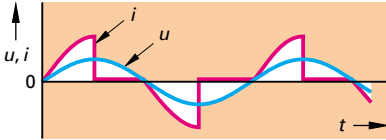
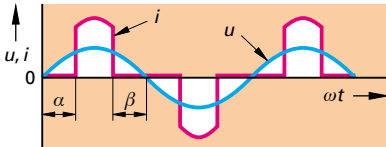
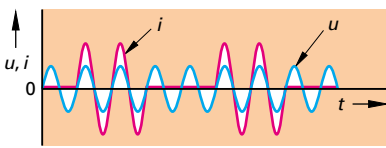
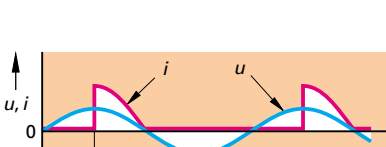
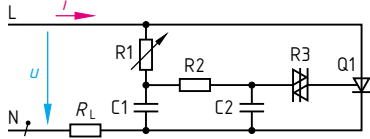
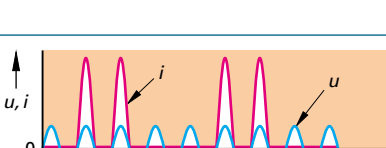
Symbol	Beschreibung	Beispiel
	<b>Anfangsschritt</b> (Quellschritt, Initialschritt). Das Symbol bedeutet, dass dieser Schritt die Anfangssituation darstellt. Schritte erhalten alphanumerische Kennzeichnungen. Der * in den Symbolen ist durch die jeweilige Schrittnummer zu ersetzen.	 Anfangsschritt, Initialschritt  Schrittbeispiele
	Zwischen zwei Schritten steht eine <b>Weiterschaltbedingung</b> (Transition) auf der rechten Seite. Es ist immer nur ein Schritt aktiv. Schritte und Transitionen wechseln sich ab. Kommentare werden in Anführungszeichen angegeben.	 „Start Automatik“ Taster betätigt (S1)
	<b>Transitionsbedingungen</b> dürfen in Textform, durch grafische Symbole und mithilfe Boole'scher Ausdrücke beschrieben werden. Für Boole'sche Ausdrücke gilt: UND $\Rightarrow$ *, ODER $\Rightarrow$ +, NEGATION $\Rightarrow$ $\bar{X}$	 $S1 * S2 + S3$
	<b>Aktion mit Zuweisungsbedingung</b> ist erfüllt, wenn der zugehörige Schritt aktiv und die Zuweisungsbedingung erfüllt ist. Beispiel: Wird der Schritt 5 aktiviert und ist die Zuweisungsbedingung A5 erfüllt, dann wird Schütz K1 aktiv (Wert 1). In allen anderen Fällen ist der Wert „0“.	
	<b>Zeitliche Transitionen</b> werden durch eine vorgestellte Zeitangabe beschrieben. Die Transition kann einen Namen erhalten, der links und in Klammern stehen muss. Wird im Beispiel Schritt 15 aktiviert, so wird nach Ablauf von 5 s K1 aktiv.	
	<b>Zeitbezogene Aktion</b> erhält man durch Negation der Bedingung einer zeitverzögerten Aktion. Im Beispiel wird K1 für 5 s nach Aktivierung des Schrittes 15 aktiv.	
<p>Aktivierung:</p>  <p>Deaktivierung:</p>  <p>* = Wert</p>	<b>Speichernde Aktionen</b> werden zu einem bestimmten Zeitpunkt mit einem Befehl einmal ausgeführt. Ein weiterer Befehl bestimmt die Rücknahme. Man unterscheidet: • Aktion bei Aktivierung des Schrittes, • Aktion bei Deaktivierung des Schrittes. Beispiele: a) Sobald Schritt 10 aktiv wird, wird das Schütz K1 aktiv (Wert 1). Ist Schritt 10 nicht mehr aktiv, so bleibt der Wert 1 aktiv. b) Schütz K1 wird auf 0 gesetzt, wenn Schritt 15 deaktiviert wird.	<p>steigende Signalfanke</p>  <p>fallende Signalfanke</p> 

GRAFCET, nach franz. GRAPhe Fonctionnel de Commande Étape Transition = Darstellung der Steuerungsfunktion mit Schritten und Weiterschaltbedingungen. Man verwendet GRAFCET für Programmierung und Beschreibung von Ablaufbeschreibungen in der Automatisierungstechnik.



# Elektronische Steuerungen von Verbrauchsmitteln

## Electronic Control of Electrical Consumers

Name	Liniendiagramme	Bemerkungen, Schaltungsprinzip
Symmetrische Anschnittsteuerung (symmetrische Phasenanschnittsteuerung)		<p>Häufiges Verfahren zur Steuerung von Wechselstromlasten, insbesondere von Beleuchtungsanlagen mittels Dimmer. Nachteil: Induktiver Blindleistungsbedarf und hochfrequente Störung.</p> 
Symmetrische Abschnittsteuerung (symmetrische Phasenabschnittsteuerung)		<p>Steuerung von Wechselstromlasten, z.B. mit Dimmern vom Typ C. Das Einschalten erfolgt mittels Nullspannungsschalter, das Abschalten mit IGBT oder Transistor.</p> <p>Vorteile gegen Anschnittsteuerung: Weniger hochfrequente Störstrahlung. Aufnahme von kapazitiver Blindleistung, wie Kondensator.</p>
Symmetrische Sektorsteuerung		<p>Steuerung von Wechselstromlasten, z.B. mit Dimmern vom Typ RLC. Die symmetrische Sektorsteuerung ist eine Kombination von Anschnitt- und Abschnittsteuerung. Bei ihr wird keine Phasenverschiebung hervorgerufen, sie erzeugt aber eine stoßartige Netzbelastung und ruft Oberschwingungen hervor.</p>
Symmetrische Vielperiodensteuerung (symmetrische Schwingungspaketsteuerung)		<p>Häufiges Verfahren zur Steuerung von Wechselstromlasten, insbesondere von elektrischen Heizungsanlagen. Nicht geeignet zur Beleuchtungssteuerung und zur Drehzahlsteuerung. Einschalten erfolgt durch Nullspannungsschalter, Abschalten durch Thyristor infolge Unterschreiten des Haltestroms.</p>
Unsymmetrische Anschnittsteuerung (Schaltung E1C)		<p>Stromrichter zur Steuerung von kleinen Gleichstromlasten. Nachteil: Magnetisierung des vorgeschalteten Transformators.</p> 
Unsymmetrische Vielperiodensteuerung		<p>Verfahren zur Steuerung von Gleichstromlasten, bei denen stromlose Pausen von mehreren Perioden möglich sind, z.B. beim Laden von Akkumulatoren. Einschalten und Abschalten wie bei der symmetrischen Vielperiodensteuerung. Nachteil ihr gegenüber: Magnetisierung vorgeschalteter Transformatoren.</p>

Anschnittsteuerung (Phasenanschnittsteuerung), Abschnittsteuerung und Sektorsteuerung dürfen nur angewendet werden, wenn eine andere Steuerung, z.B. mit Schwingungspaketen, nicht ausreicht, z.B. bei der Helligkeitssteuerung von Lampen. Alle elektronischen Steuerungen rufen störende Einflüsse im Netz (Netzurückwirkung) hervor. Deshalb gelten Grenzwerte der Anschlussleistung (siehe folgende Seite).

$i$  Stromstärke,  $t$  Zeit,  $u$  Spannung,  $\alpha$  Zündwinkel, Steuerwinkel,  $\beta$  Löschwinkel

Art	Erklärung	Bemerkungen																														
Stromversorgung	Die Größen müssen im <i>Toleranzbereich</i> liegen. Die <i>Oberschwingungsspannungen</i> bis zur 5. Teilschwingung dürfen höchstens 10 % des gesamten Effektivwertes betragen. Bei DC darf die <i>Welligkeit</i> (Spitze zu Tal) höchstens 15 % der Nennspannung betragen.	<b>Toleranzbereiche der Versorgung</b>																														
Toleranzen		Größe bei AC bei DC																														
Oberschwingungen	Wegen <i>EMV</i> (Seite 265) sind	Dauerbetriebsspannung 0,9 bis 1,1 $U_n$ bei Bb 0,85 bis 1,15 $U_n$ bei Fz 0,7 bis 1,2 $U_n$ bei Ub 0,9 bis 1,1 $U_n$																														
EMV	<ul style="list-style-type: none"> <li>Gehäuse strahlungssicher auszuführen,</li> <li>empfindliche Stromkreise zu erden,</li> <li>Leiter möglichst dicht an Masse zu führen.</li> </ul>	Frequenz, d 0,99 bis 1,01 $f_n$ – Frequenz, k 0,98 bis 1,02 $f_n$ – $f_n$ Nennfrequenz, $U_n$ Nennspannung, Bb Batteriebetrieb, d dauernd, Fz Fahrzeug, k kurzzeitig, Ub Umrichterbetrieb																														
Netz-Trenneinrichtung	<p>Netz-Trenneinrichtung muss vorhanden sein, z.B.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>ein Leistungsschalter mit Trennstrecke,</li> <li>ein anderes trennendes Schaltgerät, z.B. ein RCD oder ein Motorschutzschalter,</li> <li>eine Stecker-Steckdosenkombination bei flexibler Zuleitung.</li> </ul>	<b>Strombelastbarkeit von PVC-isolierten Cu-Leitern bei Maschinen (Umgebungstemperatur 40 °C)</b>																														
Halbleiterschütze	Halbleiterschütze sind zum Trennen nicht geeignet. Stromkreise zur Instandhaltung sollten davon getrennt eine eigene Trenneinrichtung haben. <i>Basisschutz</i> und <i>Fehlerschutz</i> erfolgen nach Seite 223. Wegen der Erdung der Steuerstromkreise wird PELV an Stelle von SELV angewendet.	symmetrisch belastete Drehstromleitung																														
Basischutz, Fehlerschutz, Überstromschutz	<i>Überstrom-Schutzeinrichtungen</i> sind nach der Bemessungsstromregel (Seite 170) auszuwählen, wobei die Belastbarkeit der Leitungen in der Maschine kleiner ist als bei 25 °C ( <b>Tabelle</b> ).	A in mm <sup>2</sup> Verlegeart																														
Motoren	<i>Motoren</i> mit Bemessungsleistungen über 0,5 kW müssen gegen unzulässige Erwärmung geschützt sein, z.B. durch Motorschutzschalter.	<table border="1"> <thead> <tr> <th>A in mm<sup>2</sup></th> <th>B1</th> <th>B2</th> <th>C</th> <th>E</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0,75</td> <td>8,6</td> <td>8,5</td> <td>9,8</td> <td>10,4</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>10,3</td> <td>10,1</td> <td>11,7</td> <td>12,4</td> </tr> <tr> <td>1,5</td> <td>13,5</td> <td>13,1</td> <td>15,2</td> <td>16,1</td> </tr> <tr> <td>2,5</td> <td>18,3</td> <td>17,4</td> <td>21</td> <td>22</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>24</td> <td>23</td> <td>28</td> <td>30</td> </tr> </tbody> </table>	A in mm <sup>2</sup>	B1	B2	C	E	0,75	8,6	8,5	9,8	10,4	1	10,3	10,1	11,7	12,4	1,5	13,5	13,1	15,2	16,1	2,5	18,3	17,4	21	22	4	24	23	28	30
A in mm <sup>2</sup>	B1	B2	C	E																												
0,75	8,6	8,5	9,8	10,4																												
1	10,3	10,1	11,7	12,4																												
1,5	13,5	13,1	15,2	16,1																												
2,5	18,3	17,4	21	22																												
4	24	23	28	30																												
Potenzialausgleich	<i>Schutzpotenzialausgleich</i> (Maßnahme für den Fehlerschutz) und <i>Funktionspotenzialausgleich</i> (zur Verminderung von Betriebsstörungen infolge von Isolationsfehlern) sind bei Maschinen auszuführen ( <b>Bild</b> ).	Steuerstromkreise AC oder DC																														
Steuerstromkreis	<i>Steuerstromkreise</i> sind als Hilfsstromkreise (Seite 393) auszuführen und zu erden, meist durch Verbindung mit dem Schutzleiter. Steuergeräte und optische Anzeigen müssen farblich gekennzeichnet sein (Seite 215). Drucktaster sollen zusätzliche Symbole haben ( <b>Tabelle</b> ).	A in mm <sup>2</sup> Verlegeart																														
Drucktaster	<i>Handlungen im Notfall</i> erfolgen durch Einrichtungen zum <i>NOT-AUS</i> (Abschalten) oder <i>NOT-HALT</i> (Abschalten und Abbremsen).	<table border="1"> <thead> <tr> <th>A in mm<sup>2</sup></th> <th>nicht anwendbar</th> <th>B2</th> <th>C</th> <th>E</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0,2</td> <td></td> <td>4,3</td> <td>4,4</td> <td>4,4</td> </tr> <tr> <td>0,5</td> <td>bar</td> <td>7,5</td> <td>7,5</td> <td>7,8</td> </tr> <tr> <td>0,75</td> <td></td> <td>9,0</td> <td>9,5</td> <td>10</td> </tr> </tbody> </table>	A in mm <sup>2</sup>	nicht anwendbar	B2	C	E	0,2		4,3	4,4	4,4	0,5	bar	7,5	7,5	7,8	0,75		9,0	9,5	10										
A in mm <sup>2</sup>	nicht anwendbar	B2	C	E																												
0,2		4,3	4,4	4,4																												
0,5	bar	7,5	7,5	7,8																												
0,75		9,0	9,5	10																												
NOT-AUS	<b>Verdrahtungstechnik.</b> Anschlüsse müssen gegen Lockern gesichert sein, z.B. durch Zahnscheiben. Jeder Leiter muss an jedem Anschluss wie in der Dokumentation gekennzeichnet sein.	weitere Werte siehe VDE 0113, Verlegearten Seite 171																														
NOT-HALT	Wenn die Leiter durch Farben identifiziert (kennlich gemacht) werden, so sind die Leiter																															
Leiterfarben	<ul style="list-style-type: none"> <li><b>schwarz</b> für AC- oder DC-Hauptstromkreise,</li> <li><b>rot</b> für AC-Steuerstromkreise,</li> <li><b>blau</b> für DC-Steuerstromkreise,</li> <li><b>orange</b> für Stromkreise, die nicht von der Netz-Trenneinrichtung abgeschaltet werden.</li> </ul>																															
Dokumentation	<b>Dokumentation</b> Über Errichten, Betrieb und Instandhaltung muss eine Dokumentation angefertigt werden mit z.B. Schaltplänen, Stücklisten, Betriebsanweisungen und Instandhaltungshinweisen.	<b>Schutzpotenzialausgleichsleiter und Funktionspotenzialausgleichsleiter</b>																														
		<b>Symbole für Drucktaster</b>																														
		<table border="1"> <thead> <tr> <th>START oder EIN</th> <th>STOPP oder AUS</th> <th>wechselweise EIN oder AUS</th> <th>Drücken EIN, Loslassen AUS</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td> </td> <td>○</td> <td>⊥</td> <td>⊕</td> </tr> </tbody> </table>	START oder EIN	STOPP oder AUS	wechselweise EIN oder AUS	Drücken EIN, Loslassen AUS		○	⊥	⊕																						
START oder EIN	STOPP oder AUS	wechselweise EIN oder AUS	Drücken EIN, Loslassen AUS																													
	○	⊥	⊕																													

AS

Sprungantwort einer Regelstrecke	Bemerkungen
<p>Beharrungswert Wendetangente <math>T_t</math> Anregelzeit <math>T_{an}</math> <math>T_e</math> <math>T_b</math> Ausregelzeit <math>T_{aus}</math> Sprungantwort <math>x</math> Sprungfunktion <math>y</math> <math>x_m</math> Toleranzband</p>	<p>Für die Bewertung der Qualität einer Regelung gelten die Kriterien:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Genauigkeit</li> <li>• Stabilität</li> <li>• Schnelligkeit</li> <li>• Dämpfung</li> </ul> <p>Die Stabilität einer Regelung kann erreicht werden durch:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Inbetriebnahme der Regelung mit Erfahrungswerten für die Reglerparameter und Anpassung dieser,</li> <li>• Ermittlung der Parametrierwerte des Reglers anhand von Einstellregeln (siehe folgende Seite).</li> </ul>

Stabilität von Regelvorgängen	Bemerkungen
<p>instabil Schwingungsdauer Stabilitätsgrenze stabil, periodisch stabil, aperiodisch</p>	<p>Bei der Beurteilung der Stabilität einer Regelung unterscheidet man drei Betriebsarten:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• stabil</li> <li>• Betrieb an der Stabilitätsgrenze</li> <li>• instabil</li> </ul> <p>Die Regelkreisstruktur und die Reglerparametrierung bestimmen die Stabilität der Regelung.</p> <p>Stellt sich nach einer Stellgrößenänderung der Störung ein neuer stationärer Wert der Regelgröße ein, liegt eine Regelstrecke mit Ausgleich vor.</p>

**Zeitverhalten von Regelstrecken**

<p><b>Sprungantwort-Verfahren</b> Beim Sprungantwort-Verfahren wird die Übergangsfunktion experimentell ermittelt.</p>	<p>Einheitsprung z.B. 1 V Eingang <math>y</math> Ausgang <math>x</math> Regelstrecke</p>
--	--

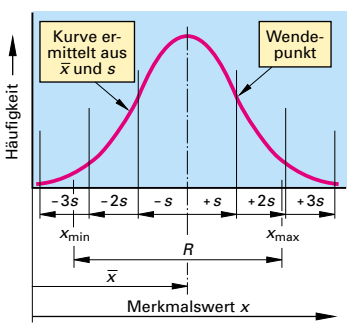
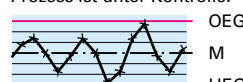
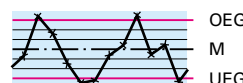
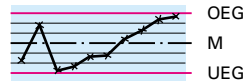
Bezeichnung Kenngrößen	Stell-Sprungantwort	Beispiel	Übergangsverhalten
<p><b>P<sub>0</sub>-Strecke</b> Proportional-Beiwert <math>K_{ps} = x/y</math></p>	<p><math>K_{ps} \cdot Y</math></p>	<p><math>I_B \hat{=} y</math> <math>U \hat{=} x</math></p>	<p><math>x</math> folgt proportional unverzögert der Eingangsgröße <math>y</math>.</p>
<p><b>PT<sub>t</sub>-Strecke</b> Proportional-Beiwert <math>K_{ps} = x/y</math> Totzeit <math>T_t</math></p>	<p><math>T_t</math> <math>K_{ps} \cdot Y</math></p>	<p><math>T_t = \frac{s}{v}</math></p>	<p><math>x</math> folgt proportional, um die Zeit <math>T_t</math> verzögert, der Eingangsgröße <math>y</math>.</p>
<p><b>PT<sub>t</sub>-T<sub>1</sub>-Strecke</b> Proportional-Beiwert <math>K_{ps} = x_{\infty}/y</math> Totzeit <math>T_t</math> Zeitkonstante <math>T_S</math></p>	<p><math>T_t</math> <math>T_S</math> <math>K_{ps} \cdot Y</math></p>	<p>Mischung im Behälter</p>	<p><math>x</math> folgt proportional, mit einer e-Funktion und einer Totzeit verzögert, der Eingangsgröße <math>y</math>.</p>
<p><b>I<sub>0</sub>-Strecke</b> Integrierzeit <math>T_{IS}</math> <math>K_{is} = v_x/y</math> <math>v_x = \frac{\Delta x}{\Delta t}</math></p>	<p><math>T_{IS}</math> <math>\Delta x</math> <math>\Delta t</math></p>		<p><math>x</math> ist das Zeitintegral der Eingangsgröße <math>y</math>.</p>

Für Regelstrecken ohne Ausgleich ist statt  $K_s$  der Ausdruck  $K_{is}$  einzusetzen, siehe vorhergehende/folgende Seite.  
 $I_B$  Basisstrom,  $x_{\infty}$  Reglergröße nach Einschwingvorgang, sonstige Erklärungen der weiteren Formelzeichen siehe vorhergehende Seite.

AS

# Statistische Auswertung im Qualitätsmanagement

## Statistical Analysis in Quality Management

Merkmal	Erklärung	Bemerkungen																																																																																																																	
<p>Wahrscheinlichkeit</p> <p>Häufigkeit</p>	<p>Die Wahrscheinlichkeit, dass ein Ereignis A auftritt, ist gleich der Anzahl der auftretenden Fälle A dividiert durch die Anzahl aller Fälle.</p> <p>Relative Häufigkeit ist die absolute Häufigkeit eines Merkmals einer Menge dividiert durch die Anzahl aller Merkmale der Menge.</p>	<p>Die Wahrscheinlichkeit von 10 fehlerhaften Teilen in einer Menge von 400 Teilen eines davon zu ergreifen, beträgt nach Formel 1 → 2,5%</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid red; padding: 5px; width: 45%;"> <p><b>Wahrscheinlichkeit</b></p> <math display="block">p = \frac{g}{m} \cdot 100\%</math> <p style="text-align: right; color: red;">1</p> </div> <div style="border: 1px solid red; padding: 5px; width: 45%;"> <p><b>Relative Häufigkeit</b></p> <math display="block">h_j = \frac{n_j}{n} \cdot 100\%</math> <p style="text-align: right; color: red;">2</p> </div> </div>																																																																																																																	
<p>Normalverteilung</p>		<p><b>arithmetischer Mittelwert</b></p> $\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n}$ <p style="text-align: right; color: red;">3</p> <p><b>Standardabweichung</b></p> $s = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$ <p style="text-align: right; color: red;">5</p> <p><b>Spannweite</b></p> $R = x_{\max} - x_{\min}$ <p style="text-align: right; color: red;">7</p> <p><b>Gesamtmittelwert</b></p> $\bar{\bar{x}} = \frac{\bar{x}_1 + \bar{x}_2 + \dots + \bar{x}_m}{m}$ <p style="text-align: right; color: red;">4</p> <p><b>Mittelwert der Standardabweichungen</b></p> $\bar{s} = \frac{s_1 + s_2 + \dots + s_m}{m}$ <p style="text-align: right; color: red;">6</p> <p><b>mittlere Spannweite</b></p> $\bar{R} = \frac{R_1 + R_2 + \dots + R_m}{m}$ <p style="text-align: right; color: red;">8</p>																																																																																																																	
<p>Qualitätsregelkarte</p>	<p>Mittels Qualitätsregelkarten soll durch Beobachten von Messwerten sowie durch eventuelles Beeinflussen des Prozesses dieser seinen Sollzustand beibehalten.</p>	<p>Die Eingriffs- und Warngrenzen werden über Prozessschätzwerte bestimmt.</p>																																																																																																																	
<p>Mittelwert-Standardabweichungskarte</p> <p>Natürlicher Prozessverlauf</p> <p>Überschreiten der Eingriffsgrenzen</p> <p>Trendverlauf</p>	<p><math>\bar{x}</math>-s-Karte</p> <p>Verdeutlicht die Tendenz der Mittelwertentwicklung. Ein computerunterstütztes Führen der Regelkarte ist zweckmäßig.</p> <p>Alle Werte liegen innerhalb der Eingriffsgrenzen, 2/3 der Werte im Bereich <math>\pm s</math>. Der Prozess ist unter Kontrolle.</p>  <p>OEG M UEG</p> <p>In den Prozess muss eingegriffen werden, z.B. falsch eingestellte Maschine.</p>  <p>OEG M UEG</p> <p>Aufeinanderfolgende Werte zeigen eine Tendenz, z.B. wegen Werkzeugverschleiß.</p>  <p>OEG M UEG</p>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr> <td style="width: 15%;">Prüfmerkmal: <math>\phi</math></td> <td colspan="4">Kontrollmaß: <math>5 \pm 0,05</math></td> </tr> <tr> <td>Stichproben: <math>n = 5</math></td> <td colspan="4">Kontrollintervall: 60 min</td> </tr> <tr> <td rowspan="6" style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Messwerte mm</td> <td><math>x_1</math></td> <td>4,98</td> <td>4,96</td> <td>5,03</td> <td>4,97</td> </tr> <tr> <td><math>x_2</math></td> <td>4,97</td> <td>4,99</td> <td>5,01</td> <td>4,96</td> </tr> <tr> <td><math>x_3</math></td> <td>4,99</td> <td>5,03</td> <td>5,02</td> <td>5,01</td> </tr> <tr> <td><math>x_4</math></td> <td>5,01</td> <td>4,99</td> <td>4,99</td> <td>4,99</td> </tr> <tr> <td><math>x_5</math></td> <td>5,01</td> <td>5,00</td> <td>4,98</td> <td>5,02</td> </tr> <tr> <td><math>\bar{x}</math></td> <td>4,992</td> <td>4,994</td> <td>5,006</td> <td>4,990</td> </tr> <tr> <td rowspan="4" style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Mittelwerte <math>\bar{x}</math> in mm</td> <td><math>s</math></td> <td>0,018</td> <td>0,025</td> <td>0,021</td> <td>0,025</td> </tr> <tr> <td>5,02</td> <td colspan="4" style="border-bottom: 1px solid red;">OEG</td> </tr> <tr> <td>5,01</td> <td colspan="4" style="border-bottom: 1px solid blue;">OWG</td> </tr> <tr> <td>5,00</td> <td colspan="4" style="border-bottom: 1px solid black;">M</td> </tr> <tr> <td>4,99</td> <td colspan="4" style="border-bottom: 1px solid blue;">UWG</td> </tr> <tr> <td>4,98</td> <td colspan="4" style="border-bottom: 1px solid red;">UEG</td> </tr> <tr> <td rowspan="5" style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Standardabweichung s</td> <td>0,026</td> <td colspan="4" style="border-bottom: 1px solid red;">OEG</td> </tr> <tr> <td>0,024</td> <td colspan="4" style="border-bottom: 1px solid blue;">OWG</td> </tr> <tr> <td>0,022</td> <td colspan="4" style="border-bottom: 1px solid black;">M</td> </tr> <tr> <td>0,020</td> <td colspan="4" style="border-bottom: 1px solid blue;">UWG</td> </tr> <tr> <td>0,018</td> <td colspan="4" style="border-bottom: 1px solid red;">UEG</td> </tr> <tr> <td>0,016</td> <td colspan="4"></td> </tr> <tr> <td>Probenr.</td> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>Uhrzeit</td> <td>6<sup>00</sup></td> <td>7<sup>00</sup></td> <td>8<sup>00</sup></td> <td>9<sup>00</sup></td> </tr> </table> <p style="text-align: center; font-weight: bold;">Mittelwert-Standardabweichungs-Karte</p>	Prüfmerkmal: $\phi$	Kontrollmaß: $5 \pm 0,05$				Stichproben: $n = 5$	Kontrollintervall: 60 min				Messwerte mm	$x_1$	4,98	4,96	5,03	4,97	$x_2$	4,97	4,99	5,01	4,96	$x_3$	4,99	5,03	5,02	5,01	$x_4$	5,01	4,99	4,99	4,99	$x_5$	5,01	5,00	4,98	5,02	$\bar{x}$	4,992	4,994	5,006	4,990	Mittelwerte $\bar{x}$ in mm	$s$	0,018	0,025	0,021	0,025	5,02	OEG				5,01	OWG				5,00	M				4,99	UWG				4,98	UEG				Standardabweichung s	0,026	OEG				0,024	OWG				0,022	M				0,020	UWG				0,018	UEG				0,016					Probenr.	1	2	3	4	Uhrzeit	6 <sup>00</sup>	7 <sup>00</sup>	8 <sup>00</sup>	9 <sup>00</sup>
Prüfmerkmal: $\phi$	Kontrollmaß: $5 \pm 0,05$																																																																																																																		
Stichproben: $n = 5$	Kontrollintervall: 60 min																																																																																																																		
Messwerte mm	$x_1$	4,98	4,96	5,03	4,97																																																																																																														
	$x_2$	4,97	4,99	5,01	4,96																																																																																																														
	$x_3$	4,99	5,03	5,02	5,01																																																																																																														
	$x_4$	5,01	4,99	4,99	4,99																																																																																																														
	$x_5$	5,01	5,00	4,98	5,02																																																																																																														
	$\bar{x}$	4,992	4,994	5,006	4,990																																																																																																														
Mittelwerte $\bar{x}$ in mm	$s$	0,018	0,025	0,021	0,025																																																																																																														
	5,02	OEG																																																																																																																	
	5,01	OWG																																																																																																																	
	5,00	M																																																																																																																	
4,99	UWG																																																																																																																		
4,98	UEG																																																																																																																		
Standardabweichung s	0,026	OEG																																																																																																																	
	0,024	OWG																																																																																																																	
	0,022	M																																																																																																																	
	0,020	UWG																																																																																																																	
	0,018	UEG																																																																																																																	
0,016																																																																																																																			
Probenr.	1	2	3	4																																																																																																															
Uhrzeit	6 <sup>00</sup>	7 <sup>00</sup>	8 <sup>00</sup>	9 <sup>00</sup>																																																																																																															
<p><math>a</math> Anzahl aller Fälle</p> <p><math>h_j</math> Anzahl günstiger Fälle</p> <p><math>n_j</math> relative Häufigkeit in %</p> <p><math>n, m</math> absolute Häufigkeit</p> <p><math>p</math> Anzahl Einzelwerte</p> <p><math>s</math> Standardabweichung</p> <p><math>x_i</math> Einzelmesswert</p> <p><math>x_{\max}</math> größter Messwert</p> <p><math>x_{\min}</math> kleinster Messwert</p> <p><math>\bar{x}</math> arithmetischer Mittelwert</p> <p><math>\bar{\bar{x}}</math> Gesamtmittelwert</p> <p><math>R</math> Spannweite</p> <p><math>M</math> Mittelwert des Merkmals</p> <p>OEG, UEG obere, untere Eingriffsgrenze</p> <p>OGW, UGW oberer, unterer Grenzwert</p> <p>OWG, UWG obere, untere Warngrenze</p>																																																																																																																			