

Refresher

E l e k t r o f a c h k r ä f t e

Automatiker, Mechatroniker, Betriebselektriker, Energieelektroniker, Elektrotechniker sowie damit verwandte Berufe.



Das vorliegende Skript wurde ursprünglich für die Schulung von Elektrofachkräften aus dem Instandhaltungsbereich entwickelt. Es kann auch im Selbststudium benutzt werden. Der zu behandelnde Stoff wird durch Lernzielkontrollen und Praxisbeispiele vertieft. Nebst gebräuchlicher Fachliteratur soll der Repetent auch die in der Elektrotechnik geltenden Gesetze, Verordnungen und Normen (in diesem Beitrag nach schweizerischem System) konsultieren.

1.	Installationsbewilligung für elektrische Anlagen	
1.1	Fachkraft	5
1.2	Fachkundigkeit	5
1.3	Eingeschränkte Installationsbewilligung	6
1.4	Elektrische Anlagen und Betriebsmittel	6
2.	Gleichstromkreis	
2.1	Gleichstromwiderstand	7
2.2	Leitwert	7
2.3	Kapazität	8
2.4	Induktivität	8
2.5	Lernzielkontrolle	8
3.	Wechselstromkreis	
3.1	Impedanz	9
3.2	Admittanz	9
3.3	Blindwiderstand	9
3.4	Blindleitwert	10
3.5	Gemischte Schaltungen	10
3.6	Widerstandsdreieck	11
3.7	Leitwertdreieck	12
3.8	Lernzielkontrolle	13
4.	Leistungsdreieck	
4.1	Scheinleistung	14
4.2	Wirkleistung	15
4.3	Blindleistung	15
4.4	Leistungsfaktor	15
4.5	Blindleistungskompensation	16
4.6	Lernzielkontrolle	18
5.	Normmotoren	
5.1	Asynchronmotoren	19

5.2	Anlaufverhalten	19
5.3	Anzugsstrom	20
5.4	Leistungsberechnung	21
5.5	Schutzorgane	22
5.6	Schaltgeräte	23
5.7	Motorabgänge	23
5.8	Lernzielkontrolle	24
6.	Betriebsmesstechnik	
6.1	Grundlagen	25
6.2	Analoge Messgeräte	26
6.3	Digitale Messgeräte	28
6.4	True-RMS-Messung	31
6.5	Oberschwingungen	32
6.6	Sicherheitsnormen	33
6.7	IEC-Mess-System	34
6.8	Lernzielkontrolle	34
7.	Elektrokontrollen	
7.1	Erstprüfung und Schlusskontrolle	35
7.2	Low-Ohm-Prüfung	36
7.3	Isolationsfestigkeit und Isolationszustand	37
7.4	Personenschutz	39
7.5	FI-Schutzschaltung	41
7.6	Drehfeldrichtungs-Prüfung	41
7.7	Instandsetzungsprüfung	42
7.8	Lernzielkontrolle	43
8.	Gesetze, Verordnungen, Normen	
8.1	Gesetzespyramide	44
8.2	Entstehung eines Gesetzes	45
8.3	Vorparlamentarische Phase	45
8.4	Parlamentarische Phase	46

8.5	Nachparlamentarische Phase	46
8.6	Gesetze für Elektrokräfte	46
8.7	Verordnungen für Elektrokräfte	46
8.8	Normen und Regeln der Technik	47
8.9	Werkvorschriften	47
8.10	Richtlinien	47
8.11	Kennzeichnung	48
8.12	Organe und Institutionen	49
8.13	Zertifizierungsstellen	50
9.	Lehrmittel	
9.1	Fachliteratur	51
9.2	Verordnungen und Normen	51

1 Installationsbewilligung für elektrische Anlagen

1.1 Fachkraft

1.1.1 Gemäss Definition ist eine *Elektrofachkraft*, wer aufgrund der fachlichen Qualifikation und Berufserfahrung sowie Kenntnis der einschlägigen Normen in der Lage ist, das Errichten, Ändern und Instandsetzen elektrischer Anlagen und Betriebsmittel nach den "anerkannten Regeln der Technik" durchzuführen (VDE 0105, Teil 1). Die fachliche Qualifikation wird durch den erfolgreichen Abschluss einer Fachausbildung erworben (Elektroingenieur, Elektromeister, Elektromonteur).¹

1.1.2 Für Instandhaltungsarbeiten an Starkstromanlagen, auch wenn diese spannungslos sind, dürfen nur fachlich ausgebildete und zweckmässig ausgerüstete Personen eingesetzt werden. Müssen für besondere Arbeiten Leute ohne fachtechnische Ausbildung herbeigezogen werden, sind diese vorgängig zu instruieren (StV Art. 7).²

1.2 Fachkundigkeit

1.2.1 Um elektrische Installationen zu erstellen, ändern oder instandzusetzen bedarf es der Bewilligung der kontrollpflichtigen Unternehmung. Personen, die in eigener Verantwortung Installationsarbeiten ausführen, erhalten eine allgemeine Installationsbewilligung, wenn sie fachkundig sind und Gewähr bieten, dass sie die Vorschriften der Niederspannungs-Installationsverordnung einhalten (NIV Art. 9).³

1.2.2 Als fachkundig gilt:

- a) Wer die Prüfung in den berufskundlichen Fächern der Meisterprüfung für Elektroinstallateure bestanden hat.
- b) Wer sich gegenüber dem Inspektorat über eine genügende praktische Tätigkeit ausweist und elektrotechnische Studien abgeschlossen hat (ETH, HTL oder gleichwertige Lehranstalt).
- c) Wer eine mit der Meisterprüfung vergleichbare Prüfung in einem Land abgelegt hat, welches Mitglied der CENELEC ist und Gegenrecht hält sowie eine dreijährige Praxis im Installieren in der Schweiz nachweist. (NIV Art.9)

Wie aus NIV Art.9 hervorgeht, genügt weder der Praxisnachweis alleingegenommen noch ein elektrotechnisches Studium an einer Fachhochschule andererseits, um als fackkundig zu gelten. Dadurch ist der Begriff der Fachkundigkeit dem der Fachkraft übergeordnet.

1.3 Eingeschränkte Installationsbewilligung

1.3.1 Betriebselektriker, welche innerbetriebliche Installationsarbeiten ausführen, erhalten eine eingeschränkte Installationsbewilligung bei Erfüllung der folgenden Voraussetzungen:

- a) enn sie im Besitze eines eidgenössischen Fähigkeitszeugnisses als Elektromonteur sind und zusätzlich eine mindestens dreijährige Installationspraxis unter Aufsicht einer fachkundigen

¹ VDE Verband Deutscher Elektrotechniker

² StV Starkstrom Verordnung vom 30. März 1994

³ NIV Niederspannungs Installations Verordnung vom 6. September 1989

Person nachweisen können.

b) Wenn sie im Besitze eines eidgenössischen Fähigkeitszeugnisses in einem dem Elektroinstallationsgewerbe nahestehenden Berufe sind und zusätzlich eine mindestens fünfjährige Installationsfähigkeit unter Aufsicht einer fachkundigen Person nachweisen können.

c) Wenn sie die Betriebselektrikerprüfung bestanden haben. (NIV Art. 13)

1.3.2 Für Installationsarbeiten an besonderen Anlagen kann eine eingeschränkte Installationsbewilligung erteilt werden, wenn die Voraussetzungen als Betriebselektriker erfüllt sind oder die Betriebselektrikerprüfung absolviert wurde.

1.4 Elektrische Anlagen und Betriebsmittel

1.4.1 Elektrische Betriebsmittel sind Gegenstände und Geräte, die als Einzelteil oder als Ganzes der elektrischen Energieanwendung dienen, dh. dem Erzeugen, Fortleiten, Speichern, Messen und Umwandeln sowie Verteilen der elektrischen Energie.

1.4.2 Elektrische Anlagen entstehen durch den Zusammenschluss von elektrischen Betriebsmitteln zu einer betrieblichen Einheit. Anlagen mit Betriebsspannung bis 1'000 V gelten als Niederspannungsanlagen, solche mit Betriebsspannungen über 1'000 V als Hochspannungsanlagen. (StV Art. 3)

1.4.3 Als Starkstromanlagen werden generell solche elektrische Anlagen bezeichnet, in welchen Ströme und Spannungen auftreten, die unter bestimmten Umständen für Personen und Sachen gefährlich sind (im Sinne der NIN Betriebsströme $> 2 \text{ A}$ oder Betriebsspannungen $> 50 \text{ VAC}$ bzw. 120 VDC). Starkstromanlagen und daran angeschlossene elektrischen Erzeugnisse müssen nach den anerkannten Regeln der Technik erstellt, geändert, instandgehalten und kontrolliert werden. Sie dürfen bei bestimmungsgemäsem Betrieb oder Gebrauch sowie in voraussehbaren Störfällen weder Personen noch Sachen gefährden. (StV Art. 4)

1.4.4 Es muss zwischen Anlagen und Objekten unterschieden werden (Beispiele und Erläuterungen zu NIN 2010).⁴ Ein Apparat ist immer ein Objekt, ein Objekt jedoch nicht immer ein Apparat.

1) Ein **Objekt** ist in vielen Fällen Teil einer Anlage. In einem Objekt können weitere Objekte enthalten sein. Zugehörige Leitungstücke und einzelne Apparate gehören zum Objekt, wenn sie am Objekt selbst montiert sind.

a) Ein transportabler Waschautomat, bestehend aus Elektromotor, Heizung, Magnetventilen, Sensoren, Schaltautomatik, Bedienungstasten, Verdrahtung und Apparateschnur, ist ein Objekt.

b) Eine Drehbank mit angebautem Hauptantriebsmotor und angebauten Aggregaten und Elementen, wie Arbeitsplatzleuchte, Kühlmittelpumpe, Nockenschalter, Steuerschalter, Hauptschalter und im Maschinenständer integrierter Schaltgerätekombination, ist ein Objekt.

2) Eine **Anlage** besteht aus zugehörigen Objekten bzw. Betriebsmitteln und Anlageteilen.

⁴ **NIN** Niederspannungs Installations Normen

- a) Eine Klimaanlage, bestehend aus Klimagerät, Schaltgerätekombination, ortsfest verlegten Steuerleitungen und einer Zuleitung, wird als Anlage bezeichnet.
- b) Ein CNC-Bearbeitungszentrum, bestehend aus Haupt- und Servoantrieben, separat aufgestellter Schaltgerätekombination, Steuerpendel, Ueberwachungseinrichtungen, Hilfsaggregaten und Verbindungsleitungen zwischen den einzelnen Teilen, wird als Anlage bezeichnet.

2 Gleichstromkreis

2.1 Gleichstromwiderstand

2.1.1 Unter dem Gleichstromwiderstand R in Ohm $[\Omega]$ – auch als ohmscher Widerstand bezeichnet – versteht der Elektrotechniker den *Wirkwiderstand*, welcher durch die Eigenschaften eines Werkstoffes Leiters bestimmt wird. In jedem Wirkwiderstand wird das Produkt I^2R in Wärmeleistung umgesetzt. Dadurch wächst die Entropie eines geschlossenen Systems (2. Hauptsatz der Thermodynamik).

$$R = \frac{U}{I} \quad [\Omega] \quad \begin{array}{l} R \text{ Wirkwiderstand in Ohm } [\Omega] \\ U \text{ elektrische Spannung in Volt } [V] ; I \text{ elektrische Stromstärke in Ampere } [A] \end{array}$$

Bei Metallen steigt der elektrische Widerstand mit der Temperatur (positiver Temperaturkoeffizient). Es ist von einem PTC-Widerstand die Rede. Bei Halbleitern nimmt der Widerstand mit der Temperatur ab (negativer Temperaturkoeffizient). Es ist von einem NTC-Widerstand die Rede. Bei starker Abkühlung verlieren einige Leiter ihren Widerstand (Supraleitung).

2.1.2 Der Widerstand eines Leiters wird durch den *spezifischen Widerstand* ρ (eine material-spezifische Grösse) und die Leiterabmessungen bestimmt [Brandenberger].

$$R = \frac{\rho \cdot l}{A} \quad [\Omega] \quad \begin{array}{l} \rho \text{ spezifischer Widerstand in } \left[\frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}} \right] \\ l \text{ Leiterlänge in } [\text{m}] ; A \text{ Leitungsquerschnitt in } [\text{mm}^2] \end{array}$$

2.2 Leitwert

Als *Leitwert* G bezeichnet man den Kehrwert des ohmschen Widerstandes und als Leitfähigkeit κ den Kehrwert des spezifischen Widerstandes.

$$G = \frac{1}{R} \quad G \text{ Leitwert in Siemens } [S] \quad \kappa = \frac{1}{\rho} \quad \kappa \text{ Leitfähigkeit in } \left[\frac{\text{m}}{\Omega \cdot \text{mm}^2} \right]$$

2.3 Kapazität

2.3.1 Unter der *Kapazität* C versteht der Elektrotechniker das Speichervermögen eines als Kondensator bezeichneten Bauelementes.

$$C = \frac{Q}{U} \quad [F] \quad C = \varepsilon \cdot \frac{A}{l} \quad [F] \quad \begin{array}{l} C \text{ Kapazität in Farad } [F] \\ Q \text{ elektrische Ladung in Coulomb } [1 \text{ C} = 1 \text{ As}] \\ \varepsilon \text{ Permittivität: } \varepsilon = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r \text{ in } [A \cdot s \cdot V^{-1} \cdot m^{-1}] \end{array}$$

2.3.2 Unter der *Permittivität* ε verbirgt sich die *elektrische Feldkonstante* ε_0 multipliziert mit der *Permittivitätszahl* ε_r [Friedrich Tabellenbuch]. Letztere ist eine materialspezifische Konstante, die besagt, um welchen Faktor sich die Kapazität eines Kondensators erhöht, wenn

anstelle von Luft ein anderer Stoff als *Dielektrikum* verwendet wird.⁵

2.4 Induktivität

2.4.1 Als *Induktivität* bezeichnet der Elektrotechniker das Speichervermögen eines als Spule bezeichneten Bauelementes.

$$L = N \cdot \frac{\Phi}{I}$$

$$L = \frac{N^2}{R_m} \rightarrow L = N^2 \cdot \mu \cdot A$$

L Induktivität in Henri [1 H = 1 Vs/A]
 Φ magnetischer Fluss in Weber [1 Wb = 1 Vs]
 R_m magnetischer Widerstand (Reluktanz) in [H⁻¹]
 μ Permeabilität: $\mu = \mu_r \cdot \mu_0$ in [V · s · A⁻¹ · m⁻¹]
 N Windungszahl, A Spulenquerschnitt

2.4.2 Unter der *Permeabilität* μ verbirgt sich das Produkt von *magnetischer Feldkonstante* μ₀ und *Permeabilitätszahl* μ_r [Friedrich Tabellenbuch].⁶ Letztere ist eine materialspezifische Konstante, die besagt, um welchen Faktor sich die Induktivität einer Spule erhöht, wenn anstelle von Luft ein ferromagnetischer Werkstoff als Material für den Spulenkern verwendet wird.

2.5 Lernzielkontrolle

A. Theorie-Aufgaben

- a) Wie gross ist der Ohmsche Widerstand (T = 20° C) eines Cu-Drahtes von D = 0,8 bei einer Länge von 100 Metern?
- b) Wie gross ist der Spannungsabfall eines zweiadrigen TT-Kabels von 2,5 mm² Querschnitt und 85 m Länge bei einer Stromstärke von 14 Ampere?
- c) Wie gross ist der Strom I_{max} in einem Bremswiderstand von 120 Ω (P_{vmax} = 100 W)?
- d) Berechne die Kapazität eines einfachen, quadratischen Plattenkondensators (Seitenlänge 10 cm) bei einem Plattenabstand von 1 cm?
- e) Wie gross ist die in einem Kugelkondensator gespeicherte Ladung Q, wenn ein angeschlossenes Elektrometer eine Spannung von 10 kV anzeigt?
- f) Nach welcher Zeitdauer ist ein Kondensator von 1000 μF entladen, wenn er anschlussseitig mit einem Widerstand von 1 MΩ "kurzgeschlossen" wird?
- g) Berechne die Induktivität einer ringförmig gewickelten Luftspule (Toroid) bei einem Spulenquerschnitt von 19,625 cm² und einem mittleren Toroidhalbmesser von 25 cm?
- h) Welchen Betrag erreicht die Selbstinduktionsspannung -U_L, wenn der Stromfluss I während 20 ms gleichförmig von 10 A auf Null abklingt?
- i) Welche Bauteile werden in der Steuerungstechnik zum Abbau unerwünschter Induktionsspannungen verwendet?

⁵ ε₀ ≈ 8,854 · 10⁻¹² F/m

⁶ μ₀ = 1,257 · 10⁻⁶ H/m

B. Praxis-Aufgaben

- a) Bestimme mit einem Analogmessinstrument den Gesamtwiderstand eines zweiadrigen Kabels von 1 mm^2 Querschnitt und einer Länge von 100 m. Welche Umstände sind bei der Messung zu berücksichtigen?
- b) Bestimme mit einem DMM (Fluke) die Kapazität eines gegebenen Kondensators. Vergleiche das Messergebnis mit den Kennwerten des Bauteiles.
- c) Bestimme mit einer Messbrücke (Wheatstone) den Ankerwiderstand eines gegebenen DC-Motors.

3 Wechselstromkreis

3.1 Impedanz

3.1.1 Als *Impedanz* Z (Scheinwiderstand) werden Widerstände bezeichnet, die nebst dem ohmschen Anteil einen frequenzabhängigen Blindwiderstand (induktiv und/oder kapazitiv) beinhalten.

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2} \quad Z \text{ Scheinwiderstand (Impedanz) in Ohm } [\Omega]$$

Weil sich die Impedanz nur in Wechselstromnetzwerken bemerkbar macht, bezeichnet man sie auch als Wechselstromwiderstand. So besitzt bspw. ein Netzkabel eine bestimmte Impedanz, die in einem gesetzmässigen Zusammenhang zur Netzfrequenz, dem Leiterwiderstand, der Kabelinduktivität und der Kabelkapazität steht.

3.1.2 Zur Bestimmung des *einpoligen Kurzschlussstromes* ist ausser der treibenden Spannung die Impedanz des beteiligten Stromkreises massgebend.

$$I_k = \frac{U}{Z_{ges}}$$

3.2 Admittanz

Bei der Parallelschaltung komplexer Widerstände wird aus praktischen Gründen mit dem *Scheinleitwert* Y gerechnet.

$$Y = \sqrt{\frac{1}{R^2} + \left(\frac{1}{\omega L} - \omega C\right)^2} \quad Y \text{ Scheinleitwert (Admittanz) in Siemens } [S]$$

3.3 Blindwiderstand

3.3.1 Bauteile, die elektrische oder magnetische Feldenergie speichern, besitzen einen frequenzabhängigen Blindwiderstand X .

Solange die zum Aufbau der Felder benötigte Leistung nicht in mechanische oder thermische Leistung (Wirkleistung) umgesetzt wird, handelt es sich um Blindleistung. Beim Abbau der beteiligten Felder wird die im Feld gespeicherte Energie wieder der Quelle zugeführt. Folglich

wird über eine Periode gemittelt keine Energie "verbraucht" (die Entropie des geschlossenen Systems verändert sich nicht).

3.3.2 Induktive Komponenten, die mit Wechselspannung betrieben werden, besitzen einen induktiven Widerstand X_L , welcher linear mit der Frequenz ansteigt.

$$X_L = \omega L$$

X_L induktiver Blindwiderstand (Induktanz) in Ohm $[\Omega]$
 $\omega = 2\pi f$ in $[s^{-1}]$ ist die Kreisfrequenz (Winkelgeschwindigkeit) eines per definitionem im Gegenuhrzeigersinn rotierenden Zeigers (Spannungs- oder Stromzeiger).

3.3.3 Kapazitive Komponenten, die mit Wechselspannung betrieben werden, besitzen einen kapazitiven Widerstand X_C , welcher mit zunehmender Frequenz abnimmt.

$$X_C = \frac{1}{\omega C}$$

X_C kapazitiver Blindwiderstand (Kapazität) in Ohm $[\Omega]$

3.4 Blindleitwert

Bei Spule und Kondensator wird bei einer Parallelschaltung mit den Blindleitwerten bzw. der Suszeptanz gerechnet.

$$B_L = \frac{1}{\omega L}$$

B_L induktiver Blindleitwert in Siemens [S]
 B_C kapazitiver Blindleitwert in Siemens [S]
 ω Kreisfrequenz

$$B_C = \omega C$$

3.5 Gemischte Schaltungen

Wechselstromnetzwerke bestehen in der Regel aus ohmschen, induktiven und kapazitiven Widerständen.

3.5.1 Reihenschaltung mit gemischten Widerständen

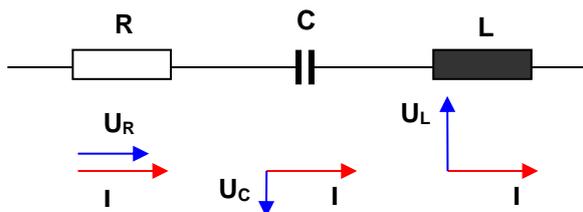


Abb. 1: RCL-Reihenschaltung

Abb. 1: Parallelschaltung mit gemischten Widerständen

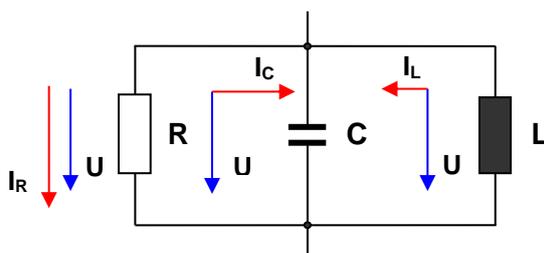


Abb. 2: RCL-Parallelschaltung

3.5.3 Zur Bestimmung des Scheinwiderstandes (Impedanz) in Wechselstromnetzwerken stehen dem Elektrotechniker unterschiedliche Methoden zur Verfügung:

- a) Bestimmung des Scheinwiderstandes durch geometrische Konstruktion (Widerstandsdreieck, Zeigerdiagramme).
- b) Berechnung des Scheinwiderstandes durch Anwendung des pythagoreischen Lehrsatzes.
- c) Darstellung komplexer Widerstände in einem polaren Koordinatensystem mit Zeiger und Winkel.
- d) Berechnung komplexer Widerstände mittels der symbolischen Methode (komplexe Zahlen, Gaußsche Zahlenebene).
- e) Empirische Ermittlung von Wirk-, Blind- und Scheinwiderständen durch messtechnische Verfahren.

Für einfache Schaltungen bietet sich die geometrische Konstruktion sowie die Anwendung des pythagoreischen Lehrsatzes an. Bei komplizierten Netzwerken muss auf die komplexe Wechselstromrechnung zurückgegriffen werden, die dem Praktiker meist nicht geläufig ist.

3.6 Widerstandsdreieck

3.6.1 In einer Reihenschaltung von R, C und L besitzt der zeitabhängige Strom $i(t)$ in allen Elementen dieselbe Richtung und denselben Betrag. Anders verhält es sich mit den Teilspannungen über den einzelnen Widerständen.

- ▶ Beim Wirkwiderstand R befindet sich die Spannung U_R in Phase mit dem Strom.
- ▶ Beim kapazitiven Blindwiderstand X_C eilt der Strom der Spannung U_C um eine viertel Periode bzw. 90° voraus.
- ▶ Beim induktiven Blindwiderstand X_L eilt die Spannung U_L dem Strom um eine viertel Periode bzw. 90° voraus.

Fazit: Die Spannungszeiger von Induktanz und Kapazität sind zueinander um 180° versetzt. Gegenüber dem Wirkwiderstand besteht eine Phasenverschiebung von $\pm 90^\circ$.

3.6.2 Weil sich in einer Reihenschaltung die Teilspannungen proportional zu den Widerständen verhalten, können wir die Beträge der Widerstände geometrisch addieren. Resultante aus ohmschen und nichtohmschen Widerständen ist die Impedanz Z. Dieser Sachverhalt lässt sich anschaulich im rechtwinkligen Dreieck darstellen.

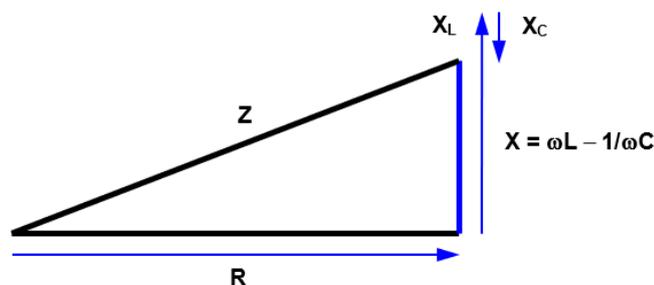


Abb. 3: Widerstandsdreieck mit Spannungspfeilen

Aus der ersichtlichen pythagoreischen Gesetzmässigkeit folgt für die Impedanz:

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

Von der Induktanz wird die Kapazitätz subtrahiert, weil sich die Spannungen (und damit auch die Blindwiderstände) gegenphasig zueinander verhalten.

3.7 Leitwertdreieck

3.7.1 Es ist offenkundig, dass bei einer Parallschaltung die Spannung U an allen Widerständen dieselbe Richtung und denselben Betrag besitzen muss. Anders verhält es sich mit den Teilströmen in den einzelnen Zweigen.

- ▶ Am Wirkwiderstand R sind Spannung U und Strom I_R in Phase, so dass sie sich zwar betragsmässig unterscheiden können, aber in Bezug auf die Zeiger gleich ausgerichtet sind.
- ▶ Am kapazitiven Blindwiderstand X_C eilt der Strom I_C der Spannung U um eine viertel Periode bzw. 90° voraus. Spannung und Strom sind phasenverschoben.
- ▶ Am induktiven Blindwiderstand X_L eilt hingegen die Spannung U dem Strom I_L um eine viertel Periode bzw. 90° voraus. Auch hier besteht zwischen Spannung und Strom eine Phasenverschiebung.

Fazit: Die Stromzeiger von Induktanz und Kapazitätz sind um 180° versetzt und somit gegenphasig. Gegenüber dem Wirkwiderstand besteht eine Phasenverschiebung von $\pm 90^\circ$.

3.7.2 Weil sich die Teilströme proportional zu den Leitwerten verhalten, können wir die Beträge der Leitwerte geometrisch addieren. Auch hier dient uns das rechtwinklige Dreieck als Mittel zum Zweck.

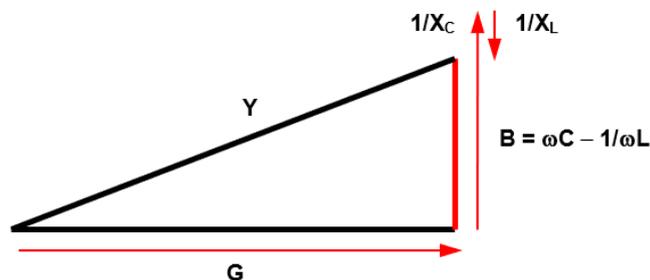


Abb. 4: Leitwertdreieck mit Strompfeilen

Durch Drehung in der Ebene erhalten wir die vertrautere Darstellung des Leitwertdreiecks.

Aus der auch hier ersichtlichen pythagoreischen Gesetzmässigkeit folgt für die Admittanz:

$$Y = \frac{1}{Z} = \sqrt{\left(\frac{1}{R}\right)^2 + \left(\frac{1}{X_C} - \frac{1}{X_L}\right)^2}$$

Um aus dem Scheinleitwert (Admittanz) die Impedanz zu erhalten, wird der Kehrwert gebildet:
 $Z = 1/Y$

3.8 Lernzielkontrolle

A. Theorie-Aufgaben

a) Gegeben sind ein Widerstand (2k Ω) und ein Kondensator (470n). Wie gross ist die Stromstärke in einer Reihenschaltung, wenn der Effektivwert des anliegenden Sinussignals (40 kHz) 30 V beträgt?

b) Parallel zu einer Drosselspule (100 mH) wird ein Kondensator von 10 μ F geschaltet. Der gemessene Strom hat eine Stärke von 0,5 mA. Wie gross ist die Signalspannung bei einer Frequenz von 440 Hz?

c) In einer LC-Parallelschaltung sind induktiver und kapazitiver Blindwiderstand gleich gross (10 Ω). An den Anschlussklemmen liegt eine Sägezahnspannung von 36 V Effektivwert. Wie gross ist die Stromstärke in der Zuleitung?

d) Wie gross ist der aufgenommene Strom I in der vorliegenden Schaltung?

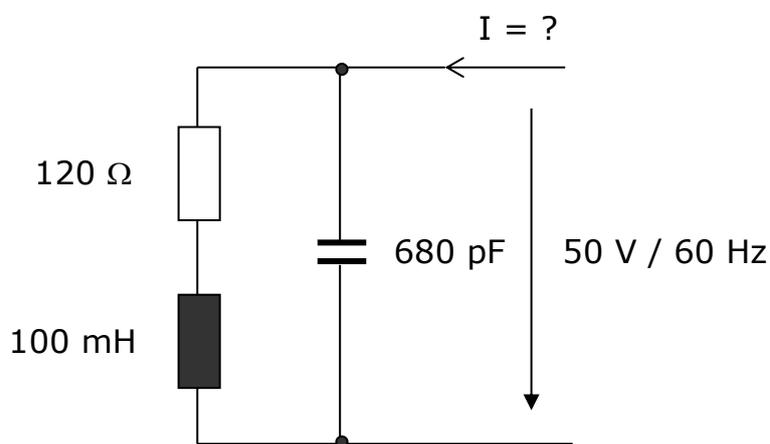


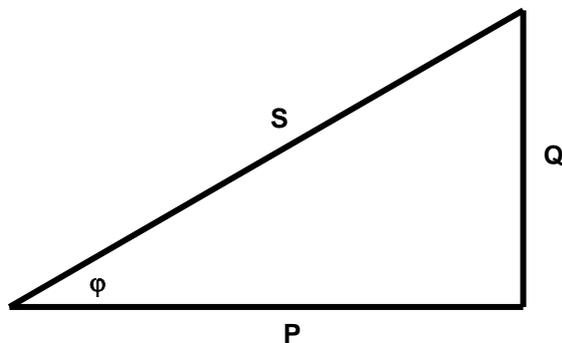
Abb. 5: Gemischte Schaltung mit passiven Bauelementen

Beschreibe die folgenden Begriffe mit einem andern Wort:

- Impedanz
- Admittanz
- Reaktanz

4 Das Leistungsdreieck

Schein-, Wirk- und Blindleistung können aufgrund ihrer Proportionalität zu Wirkwiderstand, Blindwiderständen und Impedanz durch ein rechtwinkliges Dreieck dargestellt werden. Auch hier findet der pythagoreische Lehrsatz seine exzellente Anwendung.



$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad \text{in Volt-Ampere [VA]}$$

$$P = S \cdot \cos \varphi \quad \text{in Watt [W]}$$

$$Q = S \cdot \sin \varphi \quad \text{in Var (Voltampere reaktiv) [var]}$$

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} \quad \tan \varphi = \frac{Q}{P}$$

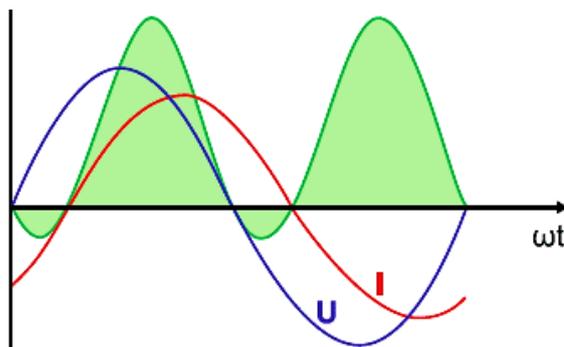
Abb. 6: Leistungsdreieck

Bei einem Netztransformator mit der Leistungsangabe 630 kVA handelt es sich um die Scheinleistung. In dieser Zahl sind Wirk- und Blindleistungsanteile enthalten, die sich geometrisch zur Scheinleistung addieren.

4.1 Scheinleistung

Unter der Scheinleistung S eines Verbrauchers versteht der Elektrotechniker das Produkt von Spannung und Stromstärke.

Im Liniendiagramm wird die Scheinleistung durch unterschiedlich grosse positive und negative Flächenanteile abgebildet [Europa Lehrmittel].



$$S = U \cdot I \quad \text{in Volt-Ampere [VA]}$$

Abb. 7: Scheinleistung im Liniendiagramm

Beim Dreiphasenwechselstrom (Drehstrom) – bestehend aus drei miteinander verketteten und um jeweils 120° verschobenen Phasen – kommt der Verkettungsfaktor $\sqrt{3}$ hinzu.

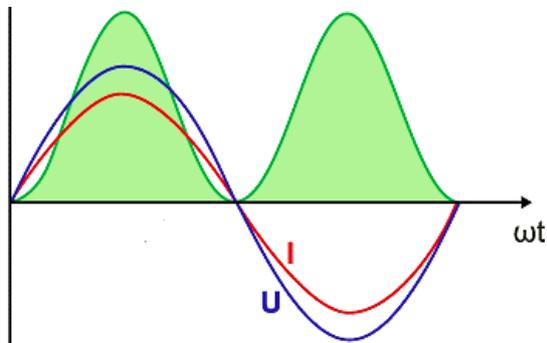
Für deiphasige Verbraucher gilt:

$$S = \sqrt{3} \cdot U \cdot I$$

4.2 Wirkleistung

Die Wirkleistung P eines Verbrauchers ist die in mechanische, optische oder kalorische Leistung (Motoren, Leuchten, Heizungen) umgesetzte Leistung.

Im Liniendiagramm wird die Wirkleistung durch positive Flächenanteile abgebildet [Europa Lehrmittel].



$$P = U \cdot I \cdot \cos \varphi \quad \text{in Watt [W]}$$

$$\cos \varphi = \frac{P}{S}$$

Abb. 8: Wirkleistung im Liniendiagramm

Der Leistungsfaktor (Wirkfaktor) wird als $\cos \varphi$ bezeichnet.

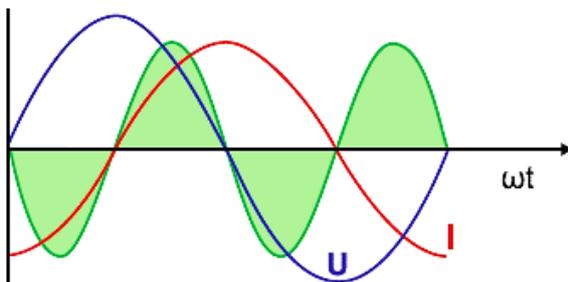
Für dreiphasige Verbraucher gilt:

$$P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi$$

Die Wirkleistung ist kleiner als die Scheinleistung, bildet sie doch in einem Leistungsdreieck eine der beiden Katheten, währenddem die Scheinleistung der Hypotenuse entspricht.

4.3 Blindleistung

Jeder induktive Verbraucher erzeugt Blindleistung. Die Blindleistung wird zum Aufbau des magnetischen Feldes benötigt und beim Feldabbau an die speisende Quelle zurückgegeben.



$$Q = U \cdot I \cdot \sin \varphi \quad \text{in Var [var]}$$

$$\sin \varphi = \frac{Q}{S}$$

Abb. 9: Blindleistung im Liniendiagramm

Im Liniendiagramm wird die Blindleistung durch gleich grosse positive und negative Flächenanteile abgebildet [Europa Lehrmittel], welche sich pro Periode zu Null kompensieren.

4.4 Leistungsfaktor

In Verteilnetzen mit gemischten Verbrauchern ist der Leistungsfaktor $\neq 1$, weil zwischen Spannungen und Strömen eine Phasenverschiebung vorhanden ist.

► Ein $\cos \varphi$ von 0 entspricht einer idealen Reaktanz und tritt deshalb in der praktischen Elektrotechnik nicht in Erscheinung.

- ▶ Ein $\cos\varphi$ von ≈ 1 kommt nur bei reinen Wirkleistungsverbrauchern (z.B. Heizwiderständen) vor.
- ▶ Bei realen Verhältnissen überwiegt bei der Blindleistung in der Regel der induktive Anteil, so dass der $\cos\varphi < 1$ ist.

Anm.: In modernen Installationen sind die Leistungsverhältnisse aufgrund der zahlreichen Oberschwingungen wesentlich komplizierter als im konventionellen Beispiel. An der Erzeugung der Oberschwingungen unmittelbar beteiligt sind nichtlineare Verbraucher wie z.B. getaktete Netzteile und Frequenzumrichter. Ein daraus resultierendes Leistungsdreieck verlässt die euklidische Ebene und muss im Ortsraum konstruiert werden. Eine ausführliche Beschreibung dieses Sachverhaltes erfolgt ggf. an anderer Stelle.

4.5 Blindleistungskompensation

Weil auch Blindwiderstände einen elektrischen Strom "ziehen" und dadurch das Verteilnetz belasten, legt das energieliefernde Unternehmen in den Werkvorschriften einen Grenzwert für den Leistungsfaktor fest, der nicht unterschritten werden darf. In industriellen Betrieben wird der Leistungsfaktor durch zentrale Kompensationsanlagen verbessert. Gelegentlich kommt auch dezentrale Gruppenkompensation vor.

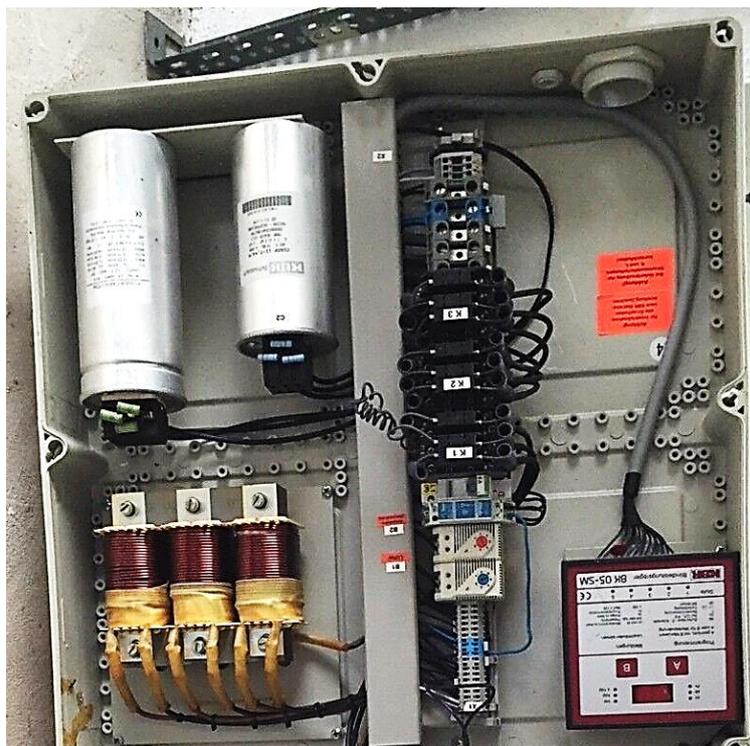
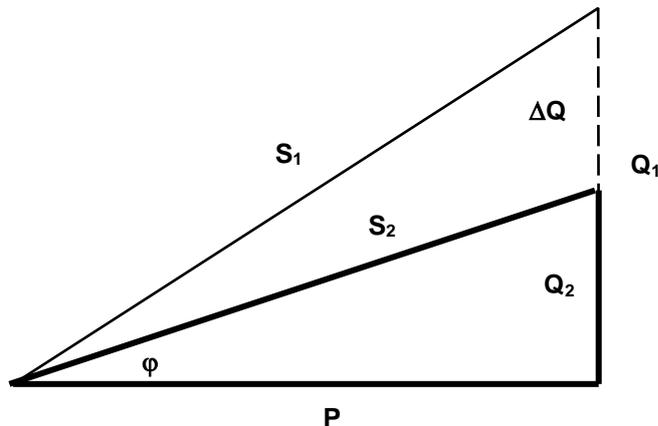


Abb. 10: Dezentrale Kompensationseinheit für 20 kvar

In der Regel überwiegt der Anteil der induktiven Verbraucher, so dass die überschüssige Blindleistung mit Kondensatoren kompensiert werden kann. Ein Blindleistungsregler sorgt bei wechselnden Lastverhältnissen für die Zu- und Wegschaltung der Kondensatoren.

Es ist darauf zu achten, dass keine Überkompensation erfolgt. Ansonsten wird er Leistungsfaktor kapazitiv und es besteht die Gefahr einer "Spannungsaufschaukelung" (Reihenresonanz)

oder einer unzulässigen "Stromerhöhung" (Parallelresonanz) mit meist zerstörerischen Auswirkungen.



$$Q_2 = Q_1 - \Delta Q$$

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} \quad \angle \varphi = \arccos \varphi$$

$$\tan \varphi = \frac{Q}{P} \quad \angle \varphi = \arctan \varphi$$

Der Winkel φ entspricht dem Arcus der trigonometrischen Funktion und lässt sich auf einfache Weise mit dem Taschenrechner bestimmen.

Abb. 11: Prinzip der Blindleistungskompensation

Praxisbeispiel:

Die gemessene Scheinleistung in einer Fertigungshalle beträgt bei Vollast der Maschinen 450 kVA. Die an einem Energiezähler abgelesene Wirkleistung beträgt 250 kW. Der Leistungsfaktor soll mittels einer Kompensationsanlage auf einen Wert von 0,92 verbessert werden.

a) Wie gross müssen die Kondensatoren der Kompensationsanlage bemessen werden, wenn sie im Dreieck geschaltet sind?

b) Wie gross muss die Spannungsfestigkeit der Kondensatoren sein?

Lösungsweg:

a) Wir gehen zunächst von der folgenden Formel aus:

$$\Delta Q = P(\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2)$$

Um den Tangens zu bestimmen, müssen wir zuerst den Cosinus berechnen.

$$\cos \varphi_1 = \frac{P}{S_1} = \frac{250 \text{ kW}}{450 \text{ kVA}} = 0,55 \quad \angle \varphi_1 = \arccos \varphi_1 = 56,6^\circ$$

$$\cos \varphi_2 = 0,92 \quad \angle \varphi_2 = \arccos \varphi_2 = 23^\circ$$

Danach berechnen wir den Tangens:

$$\begin{aligned} \angle \varphi_1 = 56,6^\circ &\rightarrow \tan \varphi_1 = 1,5 && \text{Gut dass es Taschenrechner gibt! Sonst hätten wir eine} \\ \angle \varphi_2 = 23^\circ &\rightarrow \tan \varphi_2 = 0,42 && \text{trigonometrische Tabelle benutzen müssen.} \end{aligned}$$

Die einschlägigen Größen in die Ausgangsgleichung eingesetzt, erhalten wir für die Kompensationsblindleistung den Wert:

$$\Delta Q = 250 \text{ kW}(1,5 - 0,42) = 270 \text{ kvar}$$

In Drehstromnetzen berechnet sich die Kapazität eines einzelnen Stranges mit der Formel:

$$C_{\text{Strang}} = 10^6 \cdot \frac{\Delta Q}{\omega \cdot U_c^2} = 10^6 \cdot \frac{270 \text{ kvar}}{2\pi f \cdot (400 \text{ V})^2} = 5,4 \mu\text{F}$$

Für U_C muss bei Dreieckschaltung der Kondensatoren die Polleiterspannung eingesetzt werden. Die Strangkapazität ergibt sich in μF .

Die Gesamtkapazität der Kompensation beträgt: $3 \cdot C_{\text{Strang}} = 16,2 \mu\text{F}$

Die Dreieckschaltung bietet gegenüber der Sternschaltung den Vorteil, dass Kondensatoren mit kleinerer Kapazität ($\left(\frac{1}{3} C_\lambda\right)$) verwendet werden können. Andererseits müssen Kondensatoren mit höherer Spannungsfestigkeit eingesetzt werden.

b) Die erforderliche Spannungsfestigkeit der Kondensatoren beträgt:

$$\hat{u} = \sqrt{2} \cdot U$$

U ist der Effektivwert der Betriebsspannung

$$U_{AC} = 1,5 \cdot \sqrt{2} \cdot 400 \text{ V} \approx 850 \text{ V}$$

Der Faktor 1,5 ist ein Sicherheitsfaktor

4.6 Lernzielkontrolle

A. Theorie-Aufgaben

a) Wie gross ist die Wirkleistung eines Widerstandes (470Ω), wenn an seinen Anschlüssen eine Spannung von 245 V gemessen wird?

b) Ein Steuertransformator mit einem Übersetzungsverhältnis von 14 wird sekundärseitig mit 2 A belastet. Primärseitig ist die Wicklung an 1 x 400 V angeschlossen. Der Wirkungsgrad ist 90 %. Wie gross ist die Scheinleistung?

c) Am Wechselstromnetz mit 230 V und 50 Hz wird ein Induktionsmotor von 7,5 kW Nennleistung betrieben. Wie gross ist der aufgenommene Strom bei einem $\cos \varphi$ von 0,86?

d) Ein einphasiger Verbraucher nimmt bei einem Leistungsfaktor von 0,45 eine Blindleistung von 2'100 var auf. Der $\cos \varphi$ soll durch Parallelschalten eines Kondensators auf 0,9 verbessert werden. Wie gross muss die Kapazität von C sein? Auf was ist sonst noch zu achten?

B. Praxis-Aufgaben

a) Erstelle eine Handskizze für eine Schaltung mit einer konventionellen Leuchtstofflampe (Drossel, Röhre, Glimmstarter). Verbessere den $\cos \varphi$ durch Verwendung eines Kondensators mit einer Kapazität von $2,2 \mu\text{F}$.

- Wie gross ist die Scheinleistung vor und nach der Kompensation?
- Konstruiere das entsprechende Leistungsdreieck.

b) In einer Laborinstallation werden drei Glühlampen (230 V) mit unterschiedlichen Leistungen von 100 W, 80 W und 150 W auf die drei Polleiter verteilt angeschlossen.

- Wie gross ist der $\cos \varphi$?
- Wie gross ist der Strom im Neutralleiter?

5 Normmotoren

5.1 Asynchronmotoren

Zu den in der Industrie verbreitetsten Motoren gehören die **Drehstrom-Asynchronmotoren** (IEC-Normmotor). Es wird zwischen *Kurzschlussläufer* und *Schleifringläufer* unterschieden. Erstere sind funktstörfrei, preisgünstig und direkt an ein normiertes Verteilsystem (230/400 V) anschliessbar.

5.1.1 **Kurzschlussläufer** sind einfach im Aufbau und praktisch wartungsfrei. Sie werden standardmässig für Leistungen von 0,06 kW bis 630 kW gebaut (Schaltungsbuch Moeller). Der Stator besteht aus lamellierten Blechpaketen, in welche die Wicklung eingelassen ist. Der Rotor besteht ebenfalls aus dünnenschichtigen, isolierten Eisenblechen mit Nuten, in die stirnseitig kurzgeschlossene Aluminiumstäbe eingelegt sind. Die Energieübertragung zwischen Stator und Rotor erfolgt durch magnetische Kopplung des umlaufenden Drehfeldes.



Abb. 12: Kurzschlussläufer⁷

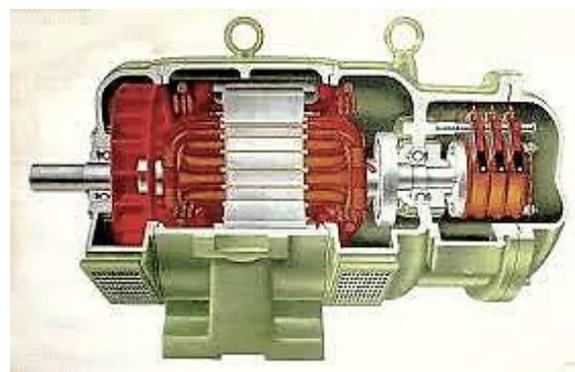


Abb. 13: Schleifringläufer

Kurzschlussläufer werden als *Einfachkäfigläufer*, *Doppelkäfigläufer* und *Strömverdrängungsläufer* konstruiert. Letztere werden als *Tiefnut-* und *Keilnutläufer* gebaut.

5.1.2 **Schleifringläufer** besitzen anstelle eines Käfigläufers einen in Stern gewickelten Rotor, dessen Wicklungsanfänge **K**, **L**, **M** auf Schleifringe geführt sind. Durch einen Bürstensatz werden die Schleifringe abgegriffen und auf einen Anlasserwiderstand geführt, welcher in Stufen abschaltbar ist. Am Ende des Hochlaufs werden auch die Schleifringe kurzgeschlossen, so dass der Motor wie ein üblicher Kurzschlussläufer funktioniert.

Anstelle von Anlasswiderständen werden in neueren Anlagen gesteuerte Gleichrichter (*Kaskadenschaltung*) eingesetzt. Durch Verändern der Rotormagnetisierung kann die Drehzahl beeinflusst werden (sog. *Schlupfsteuerung*). Anwendung finden solche Motoren dort, wo grosse Lasten aus dem Stand angefahren werden (Hebeanlagen, Kompressoren, Zentrifugen, Wasserwerkspumpen, Steinbrechmaschinen).

5.2 Anlaufverhalten

Das Diagramm enthält nebst der Kurve für das drehzahlabhängige Drehmoment (blau) eines Normmotors auch zwei Lastkurven (Wickelantrieb rot, Walzantrieb grün).

⁷ Bildquelle: <https://de.wikipedia.org/wiki/Drehstrom-Asynchronmaschine>

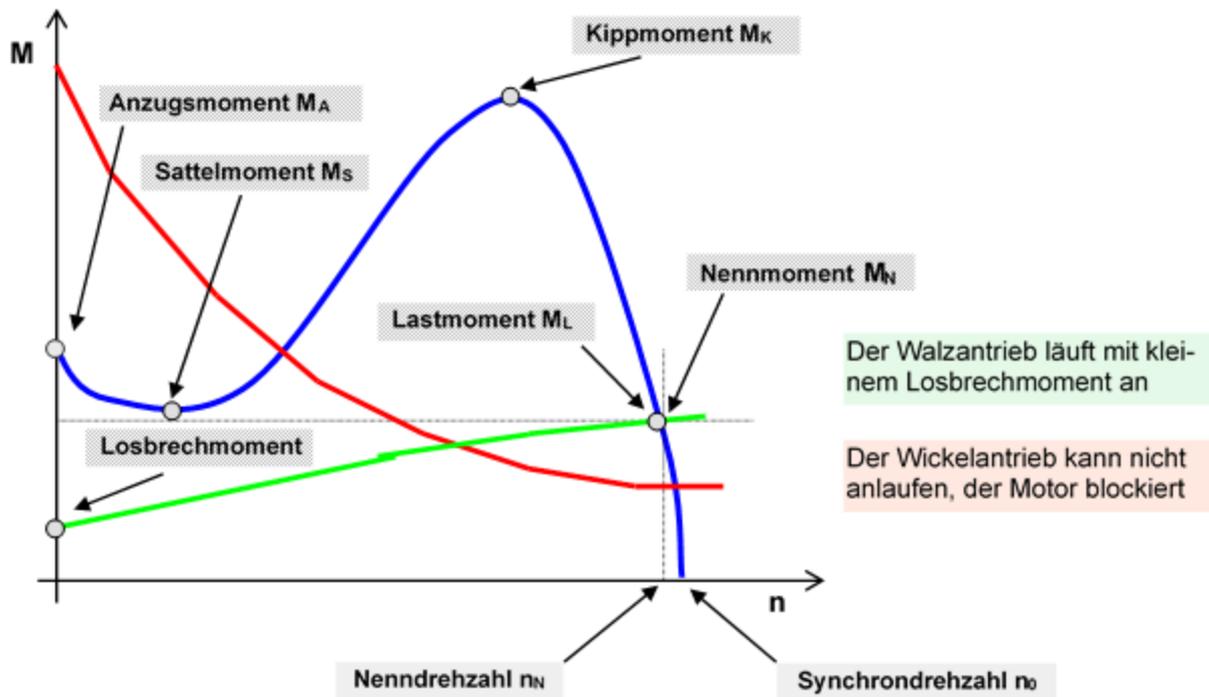


Abb. 14: Drehmoment-/Drehzahlkennlinie eines Asynchronmotors

Ein Standard-Asynchronmotor (Normmotor) hat ein relativ gutes *Anzugsmoment* M_A . Dieses muss immer grösser als das *Losbrechmoment* der Last sein. Auch während des gesamten Hochlaufs muss ein *Ueberschussmoment* für die Beschleunigungsarbeit vorhanden sein. Das grösste erreichbare Moment wird als *Kippmoment* M_K bezeichnet. Beim *Nennmoment* M_N erreicht der Antrieb seinen optimalen Arbeitspunkt. Im Leerlauf erfolgt Annäherung an die Synchronzahl n_0 . Bei Belastung fällt die Drehzahl, bis das Ueberschussmoment verbraucht ist. Danach kippt der Motor und blockiert.

5.2.2 Der Unterschied zwischen synchroner und realer Drehzahl heisst *Schlupf*. Bei Nennlast beträgt der Schlupf eines Drehstrommotors 3 % bis 8%.

$$s = \frac{n_0 - n}{n_0} \cdot 100 \%$$

n ist die effektive Drehzahl. Sie muss durch Messung (Tachometer) bestimmt werden. Die Differenz $n_0 - n$ heisst Schlupfdrehzahl n_s .

5.3 Anzugsstrom

Das Anlassen von Motoren erzeugt im Verteilsystem Stromstösse und damit unzulässige Spannungsabsenkungen. Die kontrollpflichtigen Unternehmungen legen deshalb für den Direktanlauf von Drehstrom-Normmotoren Grenzwerte fest [WV].

Der *Stromverdrängungsläufer* erbringt bereits eine Reduktion des Anzugsstromes bei gleichzeitig verbessertem Anzugsmoment. Durch geeignete Wahl des Anlassverfahrens kann der Anzugsstrom deutlich verringert werden.

Klassische Anlassarten sind: Stern-Dreieck-Starter und KUSA-Schaltung (**K**urzschlussläufer **S**anftanlauf).

Immer häufiger werden *elektronische Sanftanlasser* (Softstarter) verwendet. Dabei sinkt aber das Anzugsmoment, so dass sich dieses Verfahren nicht für jede Anwendung eignet. Beim Einsatz von *Frequenzumrichtern* (FU) kann ein *Spannungsboost* zur Erhöhung des Motormomentes während der Startphase erzeugt werden.

Um schwere Lasten bei niedrigerem Anzugsstrom und dennoch kräftigem Anzugsmoment anzufahren wie grosse Kompressoren, Krane oder Förderlifte in Bergwerken, benutzt man *Schleifringläufer*. Diese Motoren müssen aber infolge der unvermeidlichen Bürstenabnutzung periodisch gewartet werden.

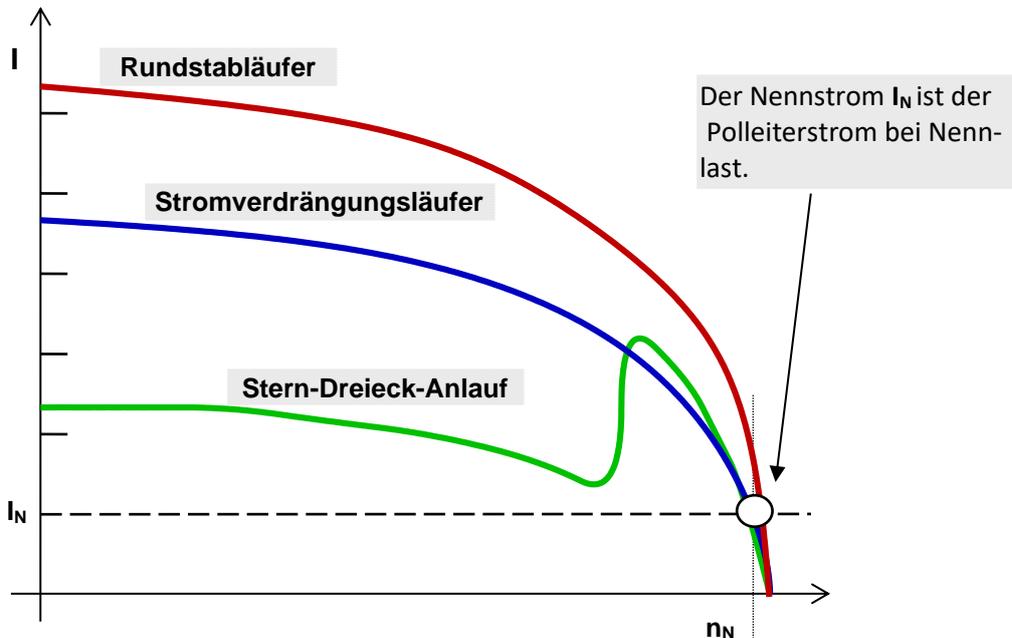


Abb. 15: Statorstrom-/Drehzahlkennlinien eines Asynchronmotors

Motorart	Anzugsstrom	Anzugsmoment	Eigenschaften	Hochlaufzeit
Kurschlussläufer (Direktanlauf)	$4 - 8 \times I_N$	$1,5 - 3 \times M_N$	hoher Anzugsstrom, gutes Anzugsmoment	0,2 - 5 s
Kurzschlussläufer (Sterndreieck-Anlauf)	$1,5 - 2,2 \times I_N$	$0,4 - 0,7 \times M_N$	tiefer Anzugsstrom, tiefes Anzugsmoment	2 - 20 s
Schleifringläufer	$1,8 - 2,8 \times I_N$	$0,5 - 2 \times M_N$	gute Anpassung an Netz und Last	4 - 60 s

5.4 Leistungsberechnung

5.4.1 Motoren besitzen ein Typenschild mit den Nenndaten. Die angegebene Leistung in kW bezieht sich auf die mechanische Nennleistung (P_2), welche an der Motorwelle abgegeben wird.

Die aufgenommene elektrische Leistung bei Nennlast berechnet sich:

$$P_1 = \frac{P_2}{\eta}$$

$$P_1 = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi$$

Die auf dem Leistungsschild eines Elektromotors angegebene Leistung (P_2) entspricht der mechanischen Leistung an der Motorwelle.

5.4.2 Der Wirkungsgrad η ist gleich dem Quotienten aus abgegebener und aufgenommener Leistung:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100 \%$$

In praxi kann für den Leistungsfaktor ein Wert von 0,86 und für den Wirkungsgrad ein Betrag von 92 % angenommen werden.

5.5 Schutzorgane

5.5.1 *Leitungsschutzschalter (LS)* schützen Leitungen elektrischer Installationen vor unzulässig grossen Strömen. Die Kategorien **B, C, D** (früher L, V, Z) und **G** besitzen unterschiedliche Kennlinien bzw. Auslösecharakteristiken.

Charakteristik	magnetische Auslösung (Kurzschlusschutz)	thermische Auslösung (Überlastschutz)
LS-B	3 ... 5 x I_N	1,13 ... 1,45 x I_N
LS-C	5 ... 10 x I_N	1,13 ... 1,45 x I_N
LS-D	10 ... 20 x I_N	1,13 ... 1,45 x I_N
LS-G	7 ... 12 x I_N	1,05 ... 1,35 x I_N

Leitungsschutzschalter der Kategorien B, C und D müssen einen Überstrom von **1,45 x I_N** bei einer Raumtemperatur von 30 °C innerhalb **1 Std.** abschalten. Die magnetische Auslösung spricht bei allen Kategorien in eine Zeitraum **< 5 s** an.

5.5.2 Beim *thermischen Überlastschutz* unterscheiden wir zwischen Thermorelais (mit Bimetallauslöser oder transformatorischem Prinzip) und elektronischem Motorschutzrelais (mit Kaltleitern).



Abb. 16: Elektronisches Überlastrelais 3-12 A

Elektronische Motorschutzrelais besitzen einen Phasenausfalldetektor, welcher beim Unterschreiten von 30 % des Motor-nennstromes innert **3 s** anspricht.

Durch die separate Nachbildung von Erwärmungs- und Abkühlungscharakteristik wird eine effiziente Motorschutzfunktion erzielt.

Konventionelle Thermorelais der Auslöseklasse 10 sprechen bei einem **7,2-fachen** Nennstrom

nach **10 s** an. Für Schweranlauferfordernisse (Zentrifugen, Mühlen etc.) müssen entsprechend dimensionierte Thermorelais anderer Klassen (20 oder 30) eingesetzt werden.

Bei häufigen Ein- bzw. Ausschaltvorgängen wird durch die ungenügende Motornachbildung der Bimetallcharakteristik eine frühzeitige und damit unerwünschte Auslösung bewirkt. Bei häufigem Vorkommen reduziert sich die Lebenserwartung des so geschützten Motors erheblich.

Bei Phasenausfall beträgt der durch die zwei übrigen Phasen fließende Strom das **1,73-fache** des Nennstromes. Ein konventionelles Thermorelais spricht erst nach **40 s** an.

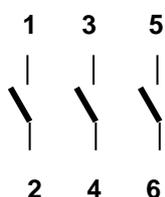
5.6 Schaltgeräte

Leistungsschütze zum Schalten von Motoren werden in folgende Gebrauchskategorien unterteilt:

AC-1	nichtinduktive Lasten	DC-1	nichtinduktive Lasten
AC-2	Schleifringläufermotoren: Anlassen u. Reversieren	DC-2	Nebenschlussmotoren: Anlassen u. Ausschalten
AC-3	Käfigläufermotoren: Anlassen u. Ausschalten	DC-3	Nebenschlussmotoren: Anlassen, Reversieren, Tippen
AC-4	Käfigläufermotoren: Anlassen, Reversieren, Tippen	DC-4	Reihenschlussmotoren: Anlassen u. Ausschalten
AC-11	Ventile, Hubmagnete	DC-5	Reihenschlussmotoren: Anlassen, Reversieren, Tippen
		DC-11	Ventile u. Hubmagnete

Kontaktbezeichnungen:

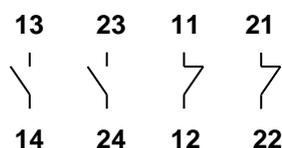
Hauptstromkontakte **1-2, 3-4, 5-6**



Hilfskontakte:

a) Öffner (NC⁸) **11-12, 21-22**

b) Schliesser (NO⁹) **13-14, 23-24**



5.7 Motorabgänge

Motorschutzschalter werden in Kombination mit Schützen als *Motorstarter* eingesetzt. Sicherungslose Motorabgänge müssen die nachfolgenden Anforderungen erfüllen:

⁸ **NC** = Normaly Closed (Ruhekontakt)

⁹ **NO** = Normaly Open (Arbeitskontakt)

- Trennen/Abschalten
- Kurzschlusschutz
- Überlastschutz
- Schalten

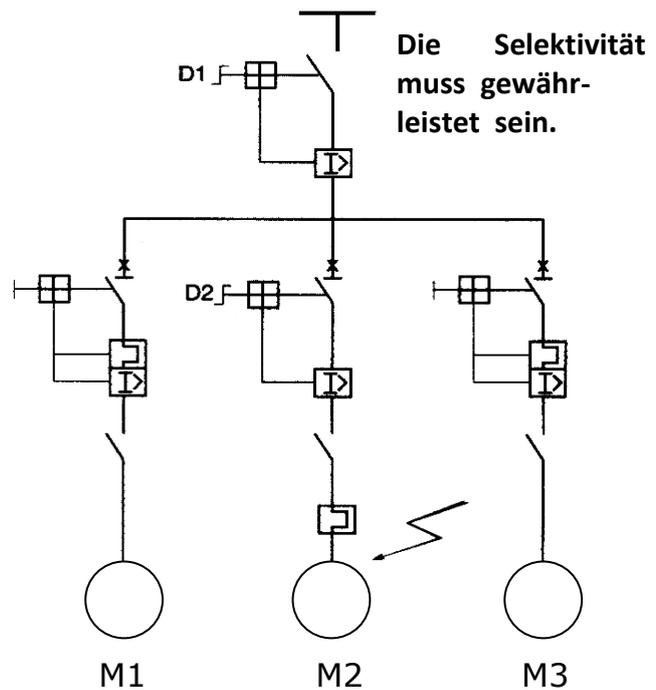


Abb. 17: Motorstarter

- ▶ **3-Komponenten-Starter** beinhalten ein vorgeschaltetes Überstromschutzorgan (Leistungsschalter) für den Kurzschlusschutz, ein Schütz als Schaltgerät und ein nachgeschaltetes Überlastschutzrelais.
- ▶ **2-Komponenten-Starter** beinhalten einen vorgeschalteten Motorschutzschalter mit Kurzschluss- und Überlastschutzfunktion (Leistungsschalter) und ein Schütz als Schaltgerät.
- ▶ **1-Komponenten-Starter** bestehen aus einem integralen System, das Motorschutzschalter und Schütz in einem Schaltgerät beinhaltet.

5.8 Lernzielkontrolle

A. Theorie-Aufgaben

- a) Ein Normmotor nimmt bei Nennlast 41 A auf. Wie gross ist die mechanische Leistung an der Motorwelle?
- b) Ein Asynchronmotor in Dreieckschaltung hat eine Leistung von 160 kW. Welche Leistung kann der Motor noch abgeben, wenn eine Polleitersicherung ausfällt?
- c) Ein Drehstrommotor mit Stern-Dreieck-Starter hat eine Nennleistung von 55 kW. Wie gross muss eine vorgeschaltete Schmelzsicherung NH00 (gL) bemessen werden?
- d) Ein Drehstrommotor läuft im Überlastbetrieb ins Kippmoment. Was ist die Folge?
- e) Erstelle eine Handskizze in einpoliger Darstellung für einen Stern-Dreieck-Starter. Der Motorabgang ist mit einem handelsüblichen Thermorelais ausgerüstet. Auf welchen Wert ist der Bereich des Überstromschutz-Relais einzustellen.

B. Praxis-Aufgaben

- a) An einem Frequenzumrichter mit einphasiger Einspeisung wird ein Drehstrommotor (3 x

230/400 V) betrieben. Beschalte das Klemmenbrett fachgerecht.

b) Verdrahte den Hauptstromkreis für einen Stern-Dreieck-Starter und schliesse einen Drehstrommotor an.

c) Bestimme den Schlupf eines gegebenen Normmotors im Leerlauf und unter Belastung.

6 Betriebsmesstechnik

6.1 Grundlagen

6.1.1 Bei einer **Prüfung** wird festgestellt, ob der Prüfling die geforderten Eigenschaften vorweist.

Bsp.1: Prüfung auf Spannungsfreiheit an einer HS-Verteilanlage. Ein Messwert wird dabei nicht gefordert.

Bsp.2: Durchgangsprüfung des Schutzleiters mit 200 mA Prüfstrom (Taschenlampe).

6.1.2 Bei einer **Messung** wird die Einheit der Messgrösse mit dem Messwert verglichen.

Messwert = Masszahl x Masseinheit

Bsp.1: An einer Steckdose wird zwischen Pol- und Neutralleiter eine elektrische Spannung von 232,4 Volt gemessen. Die Einheit ein Volt [1 V] ist folglich 232,4 mal in der Messgrösse enthalten.

Bsp.2: Mit einer Widerstandsmessbrücke wird die Ankerwicklung eines fremderregten Gleichstrommotors ausgemessen. Der ohmsche Widerstand beträgt 182 mΩ. Die Einheit ein Ohm [1 Ω] ist folglich 0,182 mal in der Messgrösse enthalten.

6.1.3 Unter **Eichen** versteht man das Prüfen von Messwertaufnehmern oder Messgeräten auf ihre richtige Anzeige von gesetzlich festgelegten Messgrössen (Eichgesetz) mittels sog. *Eichnormale*.

Bsp.1: Eine Waage in einer Landwirtschaftlichen Genossenschaft wird durch den Eichmeister mit einem "Eichgewicht" auf die korrekte Anzeige in kg überprüft.

Bsp.2 Ein Digitalmultimeter wird nach seiner Fertigstellung mit einem sog. *Arbeitsnormal* geeicht.

6.1.4 **Normalien** (Etalons) sind Verkörperungen von physikalischen Einheiten (z.B. Urmeter) und unterliegen staatlicher Kontrolle.

Für die in der Elektrotechnik u.a. vorkommenden Einheiten Ohm, Volt, Farad, Henry, Hertz sind "praktische Normalien" entwickelt worden, welche auf *Primärnormalien*, dh. Normalien erster Ordnung basieren, die vom "Internationalen Büro für Mass und Gewicht" durch Primärmessungen von den Basisgrössen des zugrundeliegenden Maßsystems abgeleitet wurden. Jedes Beitrittsland ist im Besitz solcher Primärnormalien.

Daraus abgeleitet existieren *Sekundärnormalien*, welche zur Eichung von Referenz- oder Arbeitsnormalien in dazu berechtigten Eichlabors eingesetzt werden.

Bsp.1: *Normalwiderstände*, dekadisch abgestuft oder einzeln zwischen $10^{-4} \Omega$ bis $10^5 \Omega$.

Bsp.2: *Normalelement* als hochpräzise Gleichspannungsquelle.

6.1.4 **Kalibrieren** bedeutet, den Output einer Messgrösse mit dem Input zu vergleichen. Bei signifikanten Abweichungen erfolgt ein Abgleich der Messkette.

Als Übertragungsglieder der Messgrösse kommen Sensoren, Leitungen und Meßsysteme in Frage. Der Abgleich gehört eigentlich nicht zur Kalibrierung und muss als separater Vorgang betrachtet werden.

In der Pharmabranche bspw. müssen Mess- und Prüfmittel, die für die Produktequalität massgebend sind, in periodischen Abständen kalibriert werden. Kalibrierte Messgeräte erhalten das Zertifikat einer akkreditierten Kalibrierstelle.

6.2 Analoge Messgeräte

6.2.1 Jede Messung ist fehlerbehaftet. Der Messfehler setzt sich immer aus mehreren Fehlerarten zusammen. Die *Genauigkeit* des verwendeten Gerätes hängt in grossem Masse von den Fertigungstoleranzen ab. Generell wird zwischen *Feinmess-* und *Betriebsmessinstrumenten* unterschieden.

Geräteart	Genauigkeitsklasse	Anzeigefehler, bezogen auf den Endwert des Messbereichs
Feinmessgeräte	0,1	+/- 0,1 %
	0,2	+/- 0,2 %
	0,5	+/- 0,5 %
Betriebsmessgeräte	1	+/- 1 %
	1,5	+/- 1,5 %
	2,5	+/- 2,5 %
	5	+/- 5 %

6.2.2 Anzeige- oder Gerätefehler werden vom Hersteller durch die *Genauigkeitsklasse* angegeben. Darunter wird der auf den Messbereichsendwert bezogene Anzeigefehler in Prozent verstanden.

Es muss zwischen *absolutem* und *relativem* Fehler unterschieden werden. Der absolute Fehler ist gleich der Differenz zwischen wirklichem Wert und gemessenem Wert der Messgrösse und hat dieselbe Einheit.

a) Absoluter Fehler:

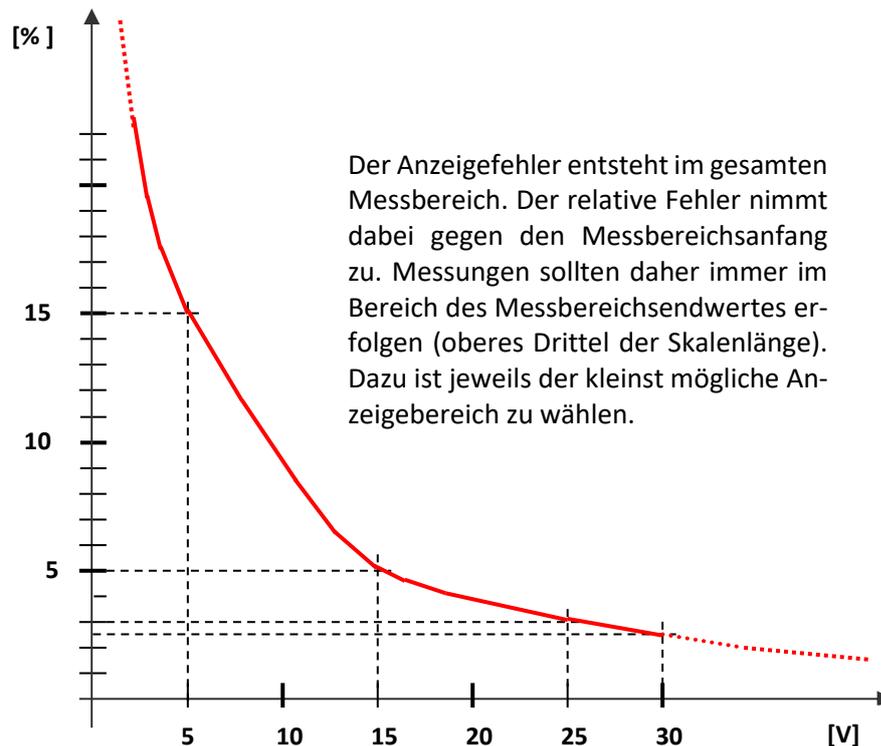
$$\frac{\text{Messbereichsendwert} \times \text{Genauigkeitsklasse} [\%]}{100 \%}$$

b) Relativer Fehler:

$$\frac{\text{Absoluter Fehler} \times 100 \%}{\text{Messwert}}$$

Für ein Betriebsmessinstrument der Genauigkeitsklasse **2,5** ergeben sich somit folgende Abweichungen:

Messbereich	Abs. Fehler	Rel. Fehler	Anzeigebereich
300 V	+/- 7,5 V	+/- 2,5 %	292,5 bis 307,5 V
250 V	+/- 7,5 V	+/- 3,0 %	242,5 bis 257,5 V
150 V	+/- 7,5 V	+/- 5,0 %	142,5 bis 157,5 V
50 V	+/- 7,5 V	+/- 5,0 %	42,5 bis 57,5 V
1 V	+/- 7,5 V	+/- 750,0 %	-6,5 bis 8,5 V



Positive Abweichung des Anzeigewertes vom wirklichen Messwert. (Für die negative Abweichung entsteht eine symmetrische Kurve, die nach unten verläuft.)

Abb. 18: Fehlerkurve eines Voltmeters

6.2.3 **Zufällige Fehler** (Einflussfehler) sind nicht immer vorhersehbar und können allein durch Vergleichs- oder Wiederholungsmessungen erkannt werden.

Zu derartigen Fehlern zählen u.a.:

- wechselnde Übergangswiderstände an den Messpunkten
- unterschiedliche Betriebslage des Messgerätes
- Umgebungstemperatur
- Eigenerwärmung des Messgerätes
- Lagerreibung
- Fremdfeldeinfluss durch statische elektrische und magnetische Felder
- Störsignaleinstreuung (Oberwellen, Transienten)

6.2.4 **Systematische Fehler** (Schaltungsfehler) werden durch das Messverfahren (Spannungs-

fehler- oder Stromfehlerschaltung), den Eigenverbrauch des Messgerätes, den ohmschen Widerstand der Messleitungen und die Messwertumformung verursacht. Sie sind in der Regel vorhersehbar und können korrigiert werden.

Um möglichst kleine Messfehler zu erhalten, sollte der Innenwiderstand R_i des Messgerätes min. 100 x grösser als der Widerstand des Messobjektes sein (Angabe in $k\Omega/V$). Messleitungen müssen einen möglichst kleinen Widerstand vorweisen (0,2 bis 0,5 Ω); ansonsten sind sie zu ersetzen.

Bei der Messung von Low-Ohm-Widerständen muss der Messleitungswiderstand vom Gesamtwiderstand der Messkette abgezogen werden.

6.2.5 **Ablesefehler** entstehen durch die *Parallaxe* und ungenaues Interpolieren des Messwertes. Mittels Spiegelskala kann der Parallaxenfehler weitgehend eliminiert werden. Die richtige Interpretation eines dynamischen Messsignals setzt einschlägige Erfahrung des Messenden voraus.

6.2.6 **Empfindlichkeit** wird das Verhältnis zwischen Anzeigeänderung ΔI (Längendifferenz auf der Anzeigeskala) und verursachender Änderung der Messgrösse ΔX genannt (z.B. 15 mm/V). Paradoxerweise sind sehr empfindliche Messgeräte weniger genau, weil kleine Fehler des Messgerätes bereits zu erheblichen Veränderungen der Anzeige führen.

6.3 Digitale Messgeräte

6.3.1 Digitale Multimeter (DMM) mit Grafikdisplay und Serieller Schnittstelle erfreuen sich zunehmender Beliebtheit. Um analoge Messsignale zu verarbeiten, wird im Eingangskreis des DMM nebst einem Impedanzwandler ein *Analog-Digital-Umsetzer* (ADU) benötigt, welcher die analoge Messgrösse in einen digitalen Wert verschlüsselt (Quantisierung der Messgrösse).

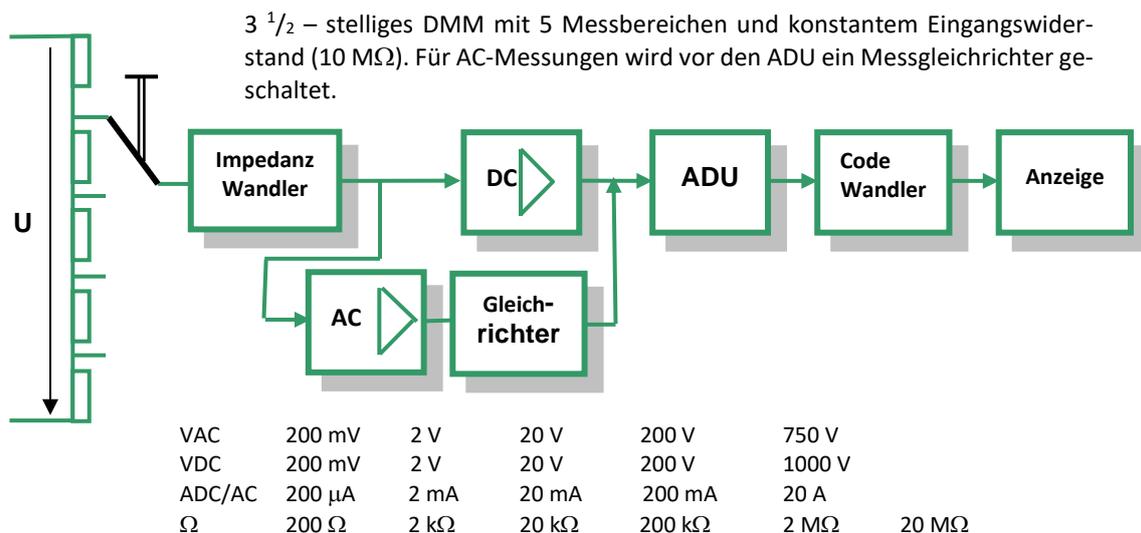


Abb. 19: Blockschaubild eines DMM

6.3.2 In der Praxis werden 10-Bit- (1024 Amplitudenwerte) und 12-Bit-Wandler (4096 Amplitudenwerte) verwendet. Mit der Bitbreite erhöht sich die Wandlerrauflösung des DMM, die Verschlüsselungszeit und der Schaltungsaufwand nehmen jedoch dadurch zu.

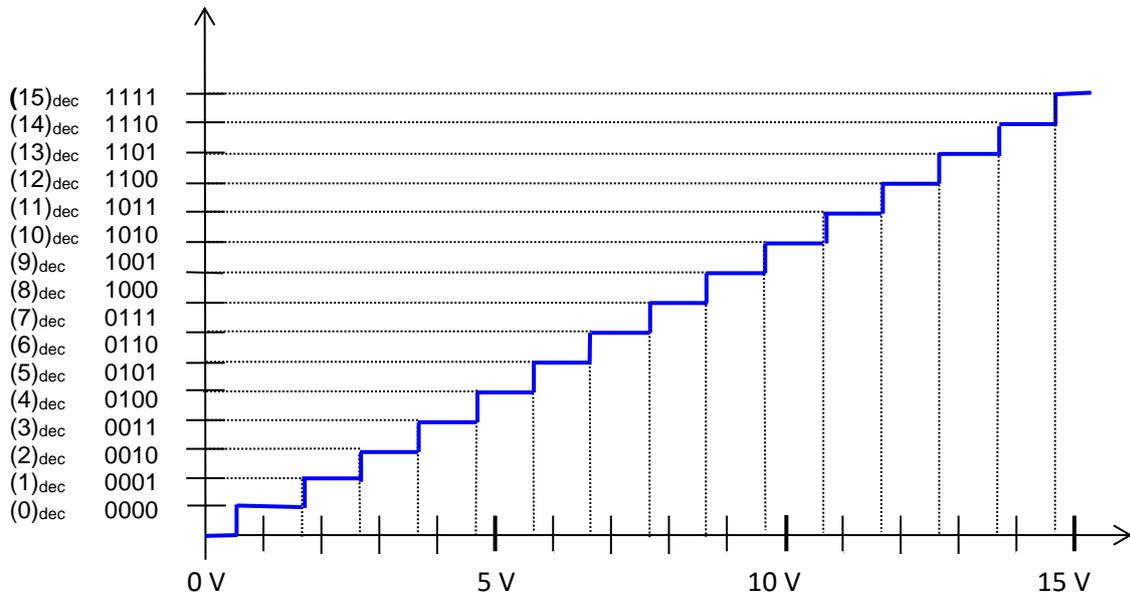


Abb. 20: 4-Bit-ADU mit einer Auflösung von $2^4 = 16$ Amplitudenwerten

6.3.3 Die Signalumsetzung selbst kann nach unterschiedlichen Verfahren erfolgen:

- Parallel-Umsetzer
- Treppenspannungs-Umsetzer
- Momentanwert-Umsetzer
- Dual-Slope-Umsetzer
- Spannungs-Frequenz-Umsetzer
- Umsetzer mit sukzessiver Approximation

6.3.4 In DMM wird oft der **Dual-Slope-ADU**, welcher nach dem *Zwei-Rampen-Verfahren* arbeitet, verwendet.

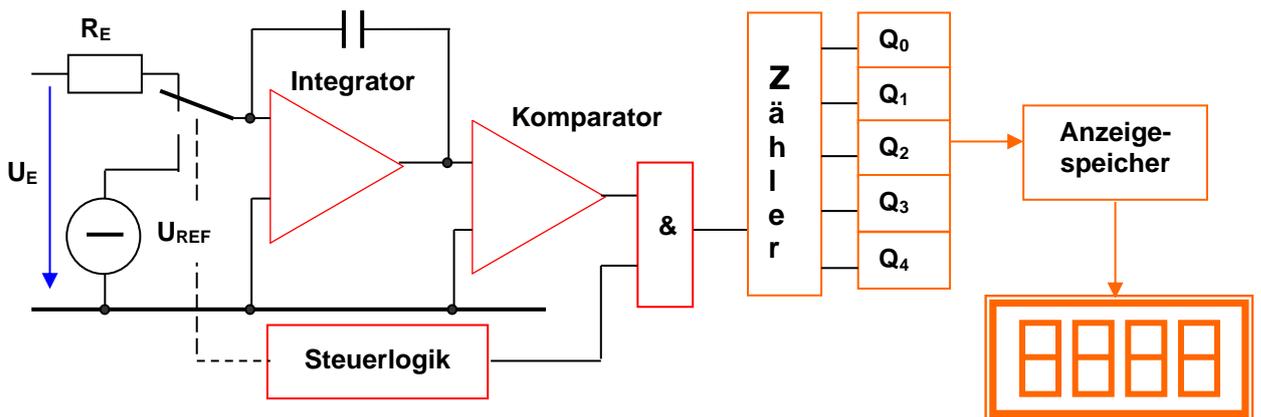


Abb. 21: Prinzipschaltung eines Dual-Slope-ADU

Die Aufintegration der Messgröße erfolgt über eine festeingestellte Zeit. Durch eine Steuerlogik wird der Integratoreingang nach Beendigung der Aufintegration auf eine negative Referenzspannung umgeschaltet. Die Dauer der Integration ist der Größe des Messsignals proportional und wird durch einen Zähler erfasst. Der Zählerstand entspricht dem exakten Messwert. Das Verfahren ist genau und wenig stör anfällig, benötigt aber eine Wandlungszeit im Millisekundenbereich.

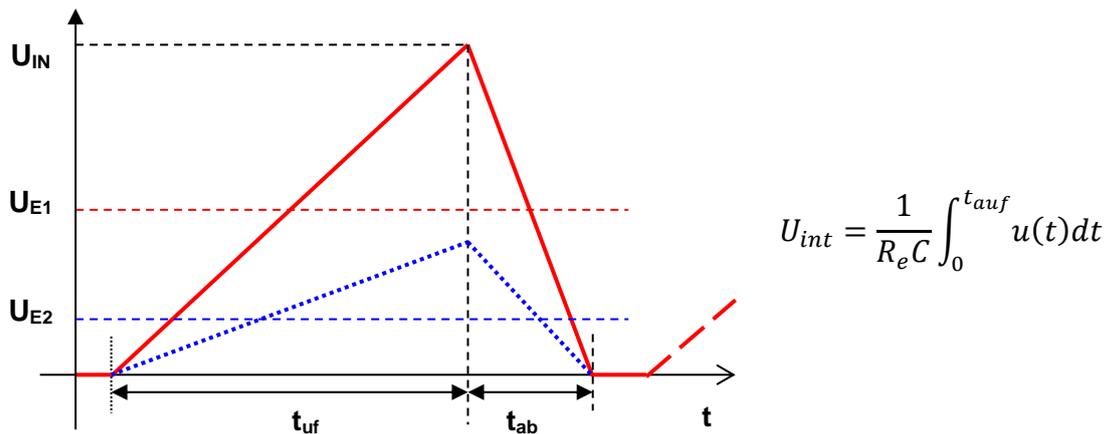


Abb. 22: Integration beim Zweirampenverfahren

6.3.5 Der **Anzeigefehler** eines DMM setzt sich aus dem *Quantisierungsfehler* und dem *Grundfehler* des verwendeten ADU zusammen.

a) Der *Grundfehler* ergibt sich aus den Fertigungstoleranzen der verwendeten Schaltungskomponenten und wird meist in [%] des Anzeigewertes angegeben.

b) Der *Quantisierungsfehler* ergibt sich aus der Amplitudenquantisierung des Meßsignals und beträgt min. 1 LSB¹⁰.

Beispiel: Ein 3½-stelliges DMM habe eine Genauigkeit von **± 1 % + 1 Digit**. Bei einem eingestellten Messbereich von 200 V beträgt die Auflösung der Anzeige 199,9 V. Ein Digit ist somit 0,1 V. Bei einem Anzeigewert von 50 V beträgt der prozentuale Fehler ± 0,5 V. Der wirkliche Messwert liegt somit zwischen 49,4 bis 50,6 V.

6.3.6 Die in DMM verwendeten Displays können technologisch in verschiedene Kategorien eingeordnet werden:

a) **LED-Anzeige**, meist Sieben-Segment-Ziffern mit rotem oder grünem Licht (Leuchtdioden) und hohem Kontrast bei schwachem Umgebungslichteinfall. Der Kontrast sinkt mit wachsendem Fremdlichtanteil. Wegen des höheren Stromverbrauchs sind solche Anzeigen nur für portable Messgeräte mit Akku oder integriertem Netzteil geeignet.

b) **LCD-Anzeige**, Flüssigkristalldisplay mit Sieben-Segment-Ziffern, geringem Stromverbrauch und hohem Kontrast bei Fremdlichteinfall. Oft ist eine Hintergrundbeleuchtung eingebaut, um auch bei schwierigen Lichtverhältnissen eine gute Ablesbarkeit zu ermöglichen; deshalb die gebräuchlichste Anzeige für DMM.

c) **Vakuum-Fluoreszenz-Anzeige**, flache Elektronenröhren mit relativ hoher Leuchtdichte. Das türkisfarbene, kontrastreiche Licht ist auch bei erhöhter Umgebungshelligkeit gut erkennbar. Diese Anzeige eignet sich wegen der höheren Röhrenspannung nur für Messgeräte mit Netzanschluss (Tischmultimeter).

¹⁰ **LSB** = Lost Significant Bit, das niederwertigste Bit einer Dualzahl

6.4 TRUE-RMS-Messung

6.4.1 Mittelwertbildende Digitalmultimeter (DMM) zeigen den *Effektivwert*¹¹ der Messgrösse nur bei reiner Sinusform (harmonische Schwingung) richtig an. Dazu wird der *Gleichrichtwert*¹² mit dem *Formfaktor* multipliziert.

$$\text{Formfaktor} = \frac{\text{Effektivwert}}{\text{Gleichrichtwert}}$$

Es ist evident, dass bei nicht sinusförmigen Signalen die Fläche unter der Kurve einen anderen Betrag aufweist. Dadurch wird der Crestfaktor $\neq \sqrt{2}$, so dass der Effektivwert nach oben oder unten verschoben wird. Ein mittelwertbildendes DMM zeigt deshalb meist einen zu kleinen Messwert an.

$$\text{Crestfaktor} = \frac{\text{Scheitelwert}}{\text{Effektivwert}}$$

Bei einem sinusförmigen Verlauf des Messsignals beträgt der *Crestfaktor* (Scheitelfaktor) $\sqrt{2} \approx 1,41$. Der Formfaktor beträgt 1,11. Hochwertige True-RMS-Messgeräte zeigen nichtsinusförmige Signale bis zu einem Crestfaktor von 3 (bezogen auf den Messbereichsendwert) richtig an.

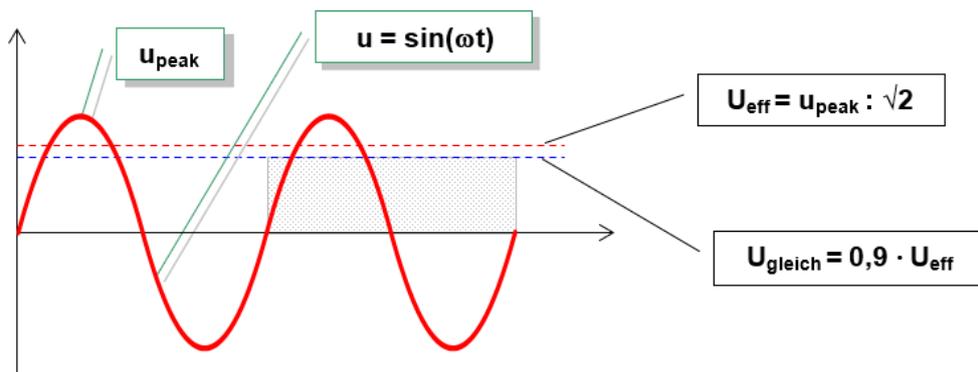


Abb. 23: Charakteristische Grössen einer sinusförmigen Spannung

6.4.3 Nur **True-RMS-DMM**¹³ sind aufgrund ihrer Konzeption in der Lage, den Echt-Effektivwert innerhalb eines definierten Frequenzbereichs und der Spezifikation des *Crestfactors* richtig anzuzeigen.

Der Crestfaktor verdoppelt sich bei einem Anzeigewert von 50 % des Messbereichsendwertes. Deshalb sollten impulsartige Signale nicht im Messbereich mit der grössten Auflösung gemessen werden. Allerdings nimmt das Rauschen unterhalb von 5 % des Messbereichsendwertes stark zu, so dass aus diesem Grund eine kleinerer Messbereich zu besseren Ergebnissen führt. Daraus folgt, dass Messungen an nichtsinusförmigen Signalen fallspezifisch durchgeführt werden müssen.

¹¹ **Effektivwert** ist der quadratische Mittelwert (Wärmeäquivalent eines Gleichstromes gleicher Grösse).

¹² **Gleichrichtwert** ist der arithmetische (lineare) Mittelwert.

¹³ **RMS** = Root Mean Square (quadratischer Mittelwert).

True-RMS = Echt-Effektivwert.

6.5 Oberschwingungen

6.5.1 Nichtlineare Lasten erzeugen Oberschwingungen, deren Frequenzen ein ganzzahliges Vielfaches der Grundschwingung (1. Harmonische) sind. Die Amplituden nehmen mit steigender Ordnungszahl der Harmonischen ab.

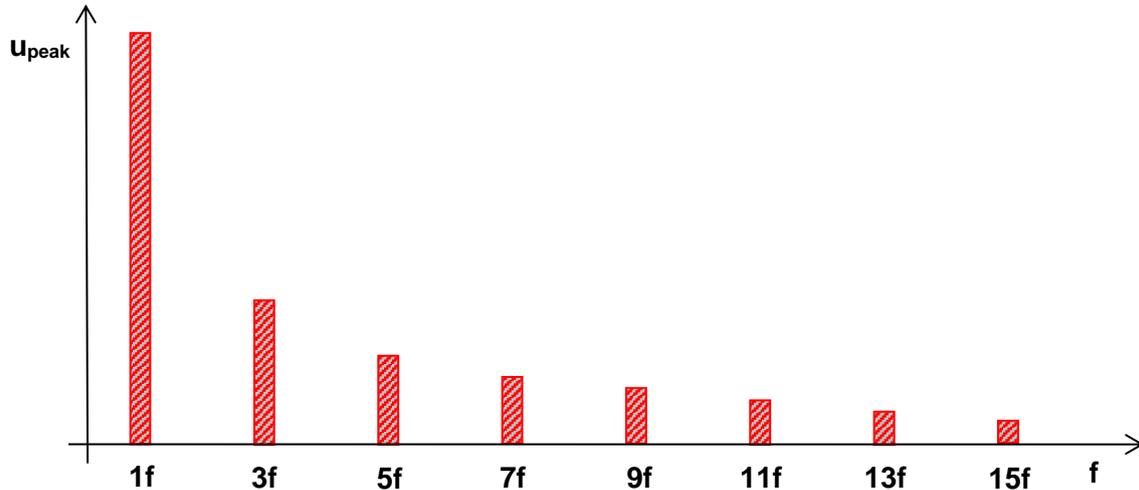


Abb. 24: Amplitudenspektrum

Das Amplitudenspektrum eines idealen Rechteckimpulses enthält alle ungeradzahlig Vielfachen der Grundfrequenz. Speziell die dritte, fünfte und siebte Harmonische fallen ins Gewicht.

Netzurückwirkungen durch blockartige Ströme erfolgen durch getaktete Stromversorgungen (PC, TV, EVG), gesteuerte Gleichrichter (USV), Stromrichter und Frequenzumrichter (drehzahl-geregelte Antriebe), Phasenanschnittsteuerungen (für Beleuchtungen, Heizungen) etc. Oberschwingungen in Verteilnetzen und Hausinstallationen führen zu erhöhten Strömen im Neutralleiter und zur übermäßigen Erwärmung von Netztransformatoren. Ebenso sind Fernmeldeeinrichtungen durch Oberschwingungen im Tonfrequenzbereich betroffen.

6.5.2 Ein einfaches Verfahren zur Beurteilung von Netzurückwirkungen durch Oberschwingungen ist die Vergleichsmessung mit einer mittelwertbildenden Strommesszange (A) und einer Echt-Effektivwert-Strommesszange (R).



Abb. 25: Strommessung mit einem Clammeter

Genauere Messungen können nur mit einem Oberschwingungsanalysator durchgeführt werden.

Bei einem A/R-Verhältnis von 1,0 sind keine Störeinflüsse durch Oberwellen vorhanden. Bei Werten $< 1,0$ machen sich Oberschwingungseinflüsse bemerkbar. Ein Wert von 0,5 weist bereits auf massive Verzerrungen des Netzsinus hin.

6.5.2 Ergeben Spannungsmessungen zwischen Neutralleiter und Schutzleiter Potentialunterschiede $> 2 \text{ V}$, ist ebenfalls mit dem Vorhandensein von Oberschwingungen, spezifisch der 3. Harmonischen (150 Hz), zu rechnen.

Durch Summierung der Oberschwingungsanteile im Neutralleiter kann der Ausgleichsstrom Werte erreichen, die erheblich grösser als die einzelnen Polleiterströme sind. Solches kann zum Abschmelzen von Neutralleitertrennern und zur unzulässigen Erwärmung von Neutralleiterverbindungen führen. Wirksame Abwehrmassnahmen beinhalten die Verlegung eines zusätzlichen Neutralleiters.

Auf die nach **NIN 41 225** mögliche Querschnittsreduktion des Neutral- bzw. PEN-Leiters sollte daher gänzlich verzichtet werden.

- ▶ Oft ist zur Lokalisation derartiger Wärmeherde eine thermografische Messung angezeigt.
- ▶ Störende Oberschwingungserzeuger müssen durch geeignete Netzfilter (Sperrdrosseln, Saugkreise, Aktivfilter) vom Netz entkoppelt werden.

6.5.3 Bei erhöhter Erwärmung von Transformatoren innerhalb ihres Nennleistungsbereichs ist ebenfalls mit dem Vorhandensein von Oberschwingungen zu rechnen.

Durch Messung der niederspannungsseitigen Polleiterströme und der vektoriellen Addition ihrer Werte wird der Ausgleichsstrom bestimmt und mit dem gemessenen, effektiven Neutralleiterstrom verglichen. Ergeben sich Oberschwingungsanteile 3. Ordnung, so muss durch Lastreduktion der Verbraucherstromkreise Abhilfe geschaffen werden.

Weil solches in der Praxis in den wenigsten Fällen realisierbar ist, sollte insbesondere bei Zweckbauten und industriellen Anlagen eine Überdimensionierung der Netztransformatoren in Betracht gezogen werden.

6.5.4 Der sog. *Lastreduktionsfaktor* THDF (Transformer Harmonic Derating Faktor) kann mittels folgender Gleichung bestimmt werden:

$$THDF = \frac{\sqrt{2} \cdot (I_{L1} + I_{L2} + I_{L3})}{\hat{I}_{L1} + \hat{I}_{L2} + \hat{I}_{L3}}$$

Die Nennleistung des Transformators (**kVA**) ist mit dem Lastreduktionsfaktor zu multiplizieren, um die unter Berücksichtigung des Oberschwingungsanteils reduzierte Nennleistung zu erhalten.

6.6 Sicherheitsnormen (IEC 1010-1)

Es gibt vier *Überspannungskategorien* mit zugehöriger Spannungsklassifikation. Daraus ergibt sich die max. Transientenfestigkeit eines Multimeters.

▶ **CAT IV** (primäres Versorgungsniveau) bezieht sich auf Starkstromanlagen des energieliefernden Werkes (Netzkabel, Freileitungen, Unterwerke, Verteilrkabinen), wo mit hohen Kurzschlussströmen und Transienten zu rechnen ist.

▶ **CAT III** (Verteilungsebene) bezieht sich auf Niederspannungsanlagen und ortsfeste Installationen, die durch einen Netztransformator von der Hochspannungsebene getrennt sind.

- CAT III 600 V ist gegen Stossspannungen bis **6 kV** geschützt.
- CAT III 1000 V ist gegen Stossspannungen bis **8 kV** geschützt.

▶ **CAT II** (lokale Ebene) bezieht sich auf portabele Verbraucher und Steckdosenstromkreise,

die min. 10 m von der CAT III entfernt sind (Hausinstallationen mit geringem Kurzschlussstrom).

- CAT II 600 V ist gegen Stossspannungen bis **4 kV** geschützt.
- CAT II 1000 V ist gegen Stossspannungen bis **6 kV** geschützt.

► **CAT I** (Signalebene) bezieht sich auf Kleinspannungsanlagen und Geräte (Telekommunikation, elektronische Komponenten).

Um die obigen Forderungen im Niederspannungsstarkstrombereich zu erfüllen, dürfen die durch Norm festgelegten Abstände zwischen den aktiven Leitern und Bauteilen (Kriech- und Luftstrecken) nicht unterschritten werden. Bei "Billiggeräten" ist die Einhaltung dieser Kriterien nicht gewährleistet.

6.7 IEC-Meßsystem

Mit dem **IEC-625-Bus** können komplexe Messplätze aufgebaut werden.

Das Bussystem umfasst folgende Einheiten:

- Controller, Steuergerät (PC)
- Listener, Datenempfänger
- Talker, Datensender



Abb. 26: IEC-Meßsystem

Gleichzeitig ist jeweils nur ein Talker aktiv. Es können aber mehrere Listener zugleich empfangen. Die Geräte werden über ein *Interface* an den Bus gekoppelt und erhalten eine Adresse zwischen **00** bis **30**. Die max. Geräteanzahl beträgt **15**.

Der Bus gliedert sich in den *Daten-Bus* (8 Leitungen), einen *Management-Bus* (5 Leitungen) und einen *Handshake-Bus* (3 Leitungen). Die max. Kabellänge des Bussystems beträgt **20 m** und sollte zwischen den einzelnen Teilnehmern **2 m** nicht überschreiten.

6.8 Lernzielkontrolle

A. Theorie-Aufgaben

a) Wie gross ist der Neutralleiterstrom bei folgenden Polleiterströmen?

$$L_1 = 3 \text{ A}, L_2 = 2 \text{ A}, L_3 = 4 \text{ A}$$

b) Das DMM Fluke 177 besitzt folgende Genauigkeit: $\pm (0,09 + 2)$. In welchem Bereich liegt der wirkliche Messwert, wenn der angezeigte Messwert 12,48 V beträgt?

c) Wie gross ist der Gleichrichtwert der Spannung am Ausgang eines unbelasteten Einweggleichrichters (M1), wenn die Sekundärspannung des speisenden Transformators 28 V

beträgt?

d) Ein Prozesskalibrator (4 ... 20 mA) wird an Kanal 1 eines Linienschreibers angeschlossen. Wie gross muss der Eingangswiderstand des Schreibers bemessen sein, damit ein internes Spannungssignal von 0 ... 10 V generiert wird?

e) Nenne 5 wichtige Mess- und Prüfgeräte des Betriebselektrikers bzw. Energieelektronikers.

B. Praxis-Aufgaben

a) Gegeben ist eine Phasenanschnittschaltung (Dimmer). Messe die Spannung an der gedimmten Lampe mit einem mittelwertbildenden DMM und einem Echteffektivwert-DMM.

Welche Unterschiede machen sich über den dimmbaren Bereich bemerkbar und welche Schlussfolgerungen sind daraus zu ziehen?

b) Messe mit einem Clammeter den Betriebsstrom eines gegebenen Normmotors, der an einen Frequenzumrichter angeschlossen ist. Vergleiche den Messwert mit der Screenanzeige eines Kathodenstrahl-Oszilloskops (KO), das über eine Stromzange den Polleiterstrom des Motors erfasst.

c) Beschreibe in Kurzform die beobachtbaren Unterschiede des Vergleichs. Welche verifizierbaren Aussagen können daraus abgeleitet werden?

e) Bestimme auf messtechnischem Wege den Leistungsfaktor einer FL-Leuchte (36 W) mit Standard-Vorschaltgerät.

7 Elektrokontrollen

7.1 Erstprüfung und Schlusskontrolle

7.1.1 Nach **NIV Art. 24** gilt für elektrischer Installationen (Hervorhebungen in Fettdruck durch den Schreibenden):

¹ Vor der Inbetriebnahme einer elektrischen Installation oder von Teilen davon ist eine baubegleitende **Erstprüfung** durchzuführen. Diese Erstprüfung ist zu protokollieren.

² Vor der Übergabe einer elektrischen Installation an den Eigentümer muss eine **Schlusskontrolle** durchgeführt werden. Diese Schlusskontrolle wird durchgeführt:

a. von einer **fachkundigen Person** nach Artikel 8 oder einer **kontrollberechtigten Person** nach Artikel 27 Absatz 1; oder

b. bei einer Installation, an der gemeinsam mehrere Betriebe mit je einem fachkundigen Leiter zusammengearbeitet haben: von der Person, die vom Eigentümer der Installation als für die Gesamtheit der Installation verantwortlich bestimmt wurde.

³ Als Übergabe gilt der Zeitpunkt ab dem ein Teil oder eine ganze elektrische Installation bestimmungsgemäss genutzt wird.

⁴ Die Personen, welche die Schlusskontrolle durchführen, haben die Ergebnisse dieser Kontrolle in einem **Sicherheitsnachweis** (Art. 37) festzuhalten.

Damit wird mittels einer Verordnung verlangt, dass vor der Inbetriebnahme einer Installation

(oder Teilen davon) eine *Erstprüfung* vorzunehmen ist, die sinnvollerweise vom ausführenden Elektroinstallateur oder Betriebselektriker vorgenommen wird.

Diese Erstprüfung beinhaltet nebst einer Sichtprüfung der elektrischen Betriebsmittel (Berührungsschutz, IP-Schutzgrad, Zugänglichkeit, Brandabschottung, Prüfzeichen etc.) eine *Funktionsprüfung* sicherheitstechnischer Organe (automatische Abschaltung im Fehlerfall, Notauschaltung etc.) und Messungen der sicherheitsrelevanten Parameter. Die Messresultate sind in einem *Protokoll* festzuhalten.

Betriebselektriker führen nach NIV Art. 25, Abs. 2 ein Journal, das vom Starkstrominspektorat (ESTI) eingesehen werden kann.

Vor der Übergabe der Installation an den Eigentümer muss zudem eine *Schlusskontrolle* durch eine autorisierte Elektrofachkraft erfolgen. Als autorisiert gilt im Kontext eine *fachkundige* Person (früher als Elektromeister bezeichnet) oder eine sonstige kontrollberechtigte Person (früher als Elektrokontrolleur bezeichnet). Prüf- und Messprotokoll werden als *Sicherheitsnachweis* (SINA) dem Eigentümer (Bauherr) übergeben.

Anm.: Im Zuge einer sich stetig wandelnden höheren Berufsbildung war auch der Elektrokontrolleur wiederholten Veränderungen ausgesetzt. Zu Beginn sprach man von einem Starkstromkontrolleur, dann von einem Elektrokontrolleur mit eidg. Fachausweis, später von einem Elektro-Sicherheitsberater mit eidg. Fachausweis und inzwischen wurde die diesbezügliche Ausbildung integriert in den Lehrgang für angehende Elektroprojektleiter (für) Installation und Sicherheit. Personen, welche die Berufsprüfung bestehen, erhalten einen eidg. Fachausweis, der sie zur Durchführung von Elektrokontrollen berechtigt. Elektrofachleute, die ihre Ausbildung vor der Bildungsreform abgeschlossen haben, behalten ihre Kontrollberechtigung.

7.1.2 Mit NIV-Mess- und Prüfgeräten werden die relevanten Parameter erfasst.

- ▶ Low-Ohm-Verbindungen (Schutzleiter, Potentialausgleichsleiter)
- ▶ Isolationswiderstand
- ▶ Netzzinnen- und Schleifenimpedanz (Kurzschlussstrom)
- ▶ Fehlerspannung
- ▶ Auslösestrom und Auslösezeit von FI-Schutzschaltern
- ▶ Drehfeld von Steckvorrichtungen



Abb. 27: NIV-Prüfgerät

7.2 Low-Ohm-Prüfung

7.2.1 Die Leitfähigkeit von Schutz- und Potentialausgleichsleiter werden mit einem Leitungsprüfer (Taschenlampe) geprüft. Die Leerlaufspannung der Quelle muss **4 - 24 V** betragen. Der Prüfstrom muss mindestens **0,2 A** gross sein.

Beim UNITEST (Testfix) von BEHA erfolgt die Durchgangsprüfung bei optischer Anzeige im Bereich von 0 - 10 Ω (4,5 V/200 mA). Damit ist die Low-Ohm-Prüfung sichergestellt. Im Falle einer

Fehlervspannung $> 10\text{ V}$ wird das Glühlämpchen zerstört.



Abb. 28: Testfix

7.2.2 Elektronische Durchgangsprüfer sind wegen des grösseren Prüfbereichs (mehrere $\text{k}\Omega$) nicht geeignet! Universal-NIV-Messgeräte besitzen einen Low-Ohm-Messkreis. Damit ist eine genaue Ermittlung des Schutz- oder PEN-Leiterwiderstandes möglich. Vorgängig sind dazu die Messleitungen abzugleichen.

7.3 Isolationsfestigkeit und Isolationszustand

7.3.1 Ein genügend hoher Isolationswiderstand ist Basis für Personensicherheit, Sachschutz (Brandverhütung) und Betriebssicherheit. Der Isolationswiderstand muss zwischen allen aktiven Leitern und Erde gemessen werden. Als *aktive Leiter* gelten die Polleiter und der Neutralleiter. Der PEN-Leiter wird als geerdet betrachtet. Es gelten folgende Werte:

Stromkreis-Nennspannung [V]	Prüfgleichspannung [V]	Isolationswiderstand [$\text{M}\Omega$]	
		Neuanlagen	Bestehende Anlagen
SELV und PELV	50 V	0,25	
50 V - 500 V	500 V	0,50	0,25 / 0,05
$> 500\text{ V}$	1000 V	1,00	0,50 / 0,25

7.3.2 Der Isolationswiderstand ist ausreichend, wenn jeder Stromkreis¹⁴ bei nicht angeschlossenen Geräten einen Isolationswiderstand aufweist, welcher die angegebenen Grenzwerte nicht unterschreitet. Für Isolationsmessgeräte gelten nach DIN 57412 folgende Randbedingungen:

U_{mess}	$\geq U_{\text{Nenn}}$	$[I_{\text{mess}} = 1\text{ mA}]$
U_{Leerlauf}	$\leq 1,5 U_{\text{nenn}}$	
$I_{\text{kurzschluss}}$		$\leq 12\text{ mA DC}$

7.3.3 Methodisch empfiehlt sich, zuerst den Isolationswiderstand zwischen Neutralleiter und Schutzleiter zu messen. Bei gutem Messresultat sind nacheinander die Polleiter gegen Erde zu messen. Ansonsten sind die Polleiter L_1 , L_2 , L_3 mit N zu verbinden, um der unbeabsichtigten Zerstörung elektronischer Komponenten vorzubeugen.

Bei mechanischen Zählern kann bei der Zählersicherung gemessen werden (die Polleiter sind

¹⁴ Als **Stromkreis** gelten alle elektrischen Betriebsmittel einer elektrischen Anlage, die von demselben Speisepunkt versorgt und durch dieselbe Überstromschutzeinrichtung geschützt werden.

über die Spannungsspulen relativ niederohmig miteinander verbunden).

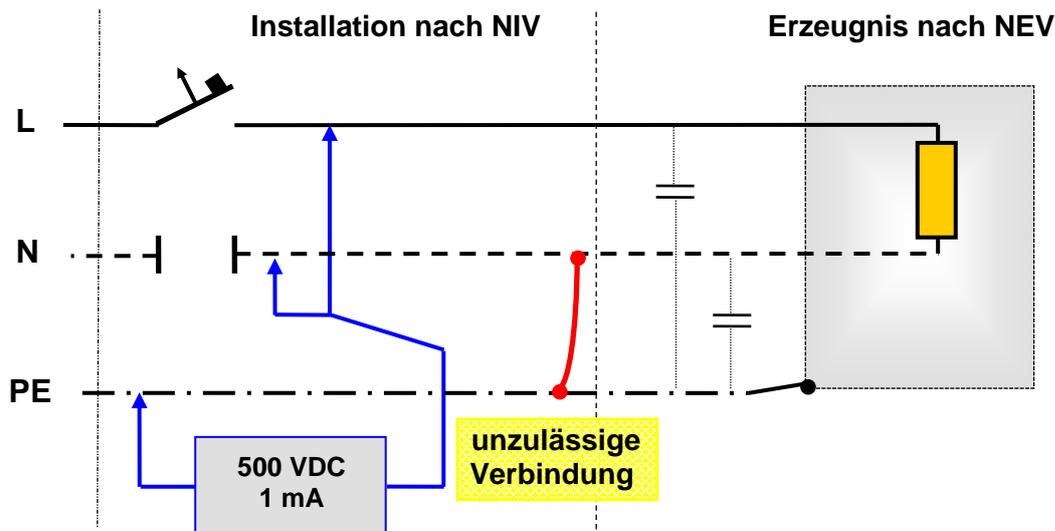


Abb. 29: Messung des Isolationswiderstandes

Im Fehlerfall (Brücke N-PE) wird der Prüfling mit 500 VDC beaufschlagt, was zu seiner Zerstörung führen kann. Aus diesem Grund sind **L** und **N** nach Möglichkeit zu verbinden (gleiches Potential am Prüfling). Profi-Isolationsmessgeräte führen nach dem Messvorgang eine automatische Entladung der Installationsleiter durch!

7.3.4 Ein systematische Vorgehen ist bei der Isolationsmessung unbedingt einzuhalten:

Schritt 1 → Hauptgruppe abtrennen (Pol- und Neutralleiter).

Schritt 2 → Spannungsfreiheit feststellen (insbesondere bei vertauschten Neutralleitern liegt nach dem Öffnen des Neutralleitertrenners eine Retourspannung an)!

Schritt 3 → Überstromunterbrecher, Neutralleitertrenner, FI-Schutzschalter und MS-Schalter aller nachfolgenden Gruppen müssen eingeschaltet sein.

Schritt 4 → In der Hauptgruppe zuerst die Messung N-PE durchführen. Bei zu tiefem Widerstand oder Kurzschluss die Messung L-PE nicht ausführen! Hauptgruppe wieder schliessen. Es soll immer nur die Gruppe, an der gemessen wird, abgetrennt sein!

Schritt 5 → Fehler N-PE durch Einzelmessungen an den Gruppenüberstromunterbrechern eingrenzen und lokalisieren. Fehler beheben und entsprechende Gruppe schliessen.

Schritt 6 → Hauptgruppe erneut trennen und Kontrollmessung N-PE durchführen. Bei gutem Messwert L-PE ausmessen. Bei ungenügendem Wert die restlichen Gruppen der Reihe nach trennen und ausmessen.

Schritt 7 → Fehler beheben und entsprechende Gruppe schliessen

Schritt 8 → Erneute Kontrollmessung an der Hauptgruppe. Bei genügendem Messwert ist der zu dieser Hauptgruppe zugehörige Installationsteil in Ordnung

Enthält eine Gruppe elektronische Schaltkreise, dürfen keine Messungen zwischen N-PE oder L-L durchgeführt werden. L und N sind zu verbinden und gemeinsam gegen Erde

durchzumessen.

Entstehen zu tiefe Werte durch eingebaute Überspannungsschutzorgane (Ventilableiter, Suppressordioden, VDR etc.), sind die elektronischen Komponenten abzutrennen, bevor weitere Messungen durchgeführt werden.

Bei Schaltgerätekombinationen mit elektromechanischen oder elektronischen Schützen ist der Isolationwiderstand vor und nach den Schützen zu messen.

7.4 Personenschutz

7.4.1 Nach **NIN 23 210** gelten folgende Bedingungen, um den Personenschutz zu gewährleisten:

- ▶ Der **Berührungsstrom** darf (bei 50 Hz) **0,5 mA** nicht übersteigen.
- ▶ Die **Fehlerspannung** darf **50 V** nicht übersteigen. Ansonsten muss innert **5 s** eine automatische Abschaltung erfolgen.
- ▶ Steckdosenkreise müssen im Fehlerfall innert **0,4 s** abgeschaltet werden.

7.4.2 Als verbreitetste Massnahme, um den Personenschutz zu realisieren, hat sich die **Nullung** (TN-Netz) erwiesen. Dabei wird der PEN-Leiter am Eingang des Anschlussüberstromunterbrechers geerdet (Gebäudearmierung).

Durch den Potentialausgleich lässt sich eine weitere Verbesserung erzielen, so dass die Fehler- bzw. Berührungsspannung auf ungefährliche Werte abgesenkt wird.

7.4.3 In **NIN 23 500** wird verlangt, dass allfällige Überströme keine Schäden verursachen dürfen. Solches muss durch eine rechtzeitige Abschaltung des fehlerhaften Anlageteils erfolgen.

Um die Nullungsbedingungen zu überprüfen, muss bei der Schlusskontrolle die **Impedanz** des speisenden Netzes Z_{PN} (bzw. Z_{PP}) zwischen Polleiter und Neutralleiter (bzw. zwischen zwei Polleitern) gemessen werden.

Ebenso muss die **Schleifenimpedanz** Z_{PE} zwischen Polleiter und Schutzleiter gemessen werden.

$$Z = \frac{U_1 - U_2}{I_{Mess}}$$

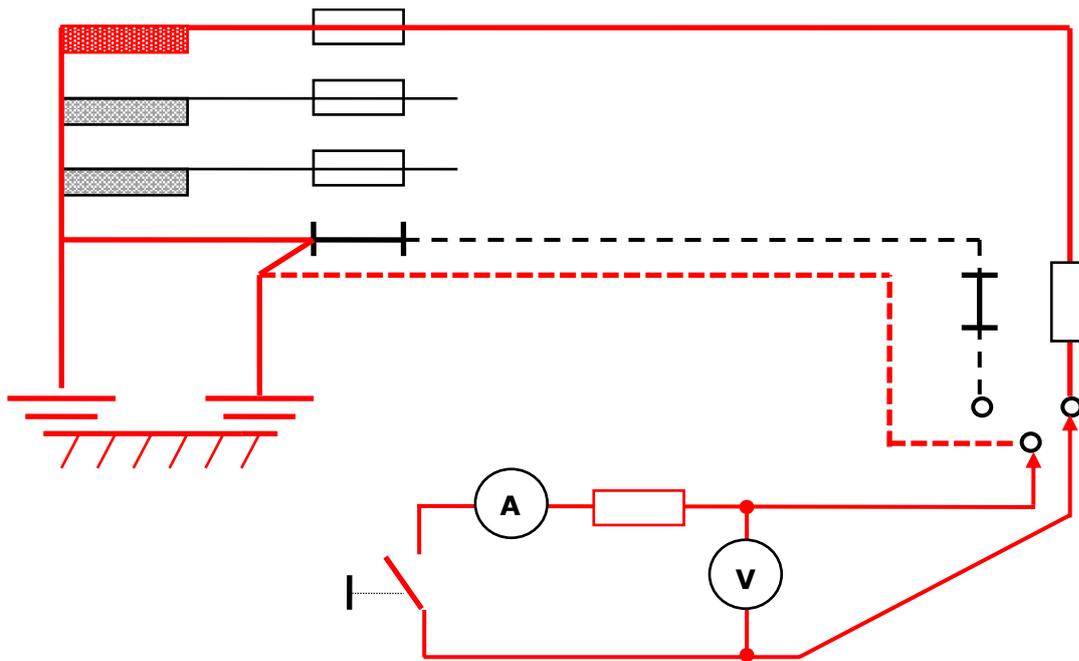
Daraus lässt sich der (einpolige) Kurzschlussstrom I_K berechnen.

$$I_K \approx \frac{U_1}{Z}$$

Als Meßstellen dienen Anschlussklemmen und Steckdosen.

7.4.4 Prinzipiell erfolgt die Schleifenimpedanz-Messung nach folgenden Gesichtspunkten:

- a) Zunächst wird die Netzspannung bei offenem Messgeräteschalter bestimmt. Danach erfolgt eine Netzspannungsmessung unter Belastung der Schleife.
- b) Die Spannungsdifferenz entspricht dem Spannungsabfall auf dem Schleifenwiderstand. Daraus berechnet sich Impedanz und Kurzschlussstrom.



- Z Schleifenimpedanz
- U_1 Netzspannung (Schalter offen)
- U_2 Netzspannung (Schalter geschlossen)
- I_{mess} Messstrom
- I_k Kurzschlussstrom

Abb. 30: Messung der Schleifenimpedanz bzw. des Kurzschlußstromes

7.4.5 Um die Berührungsspannung bei einem Erdschluss zu bestimmen, dient folgende Betrachtung:

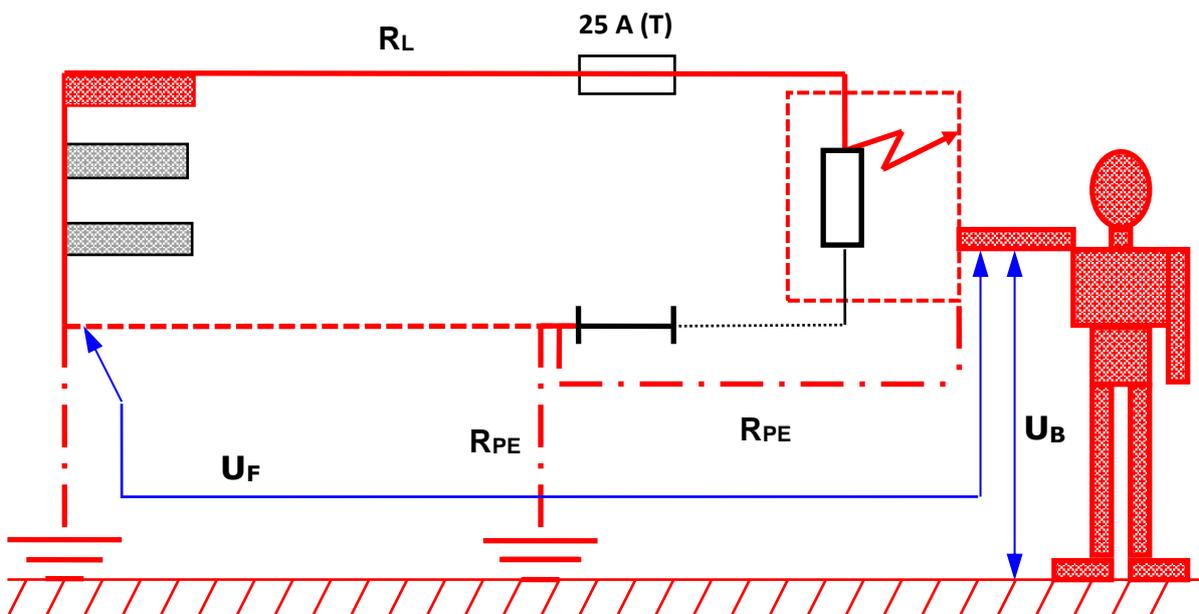


Abb. 31: Bestimmung der Berührungsspannung

Die Berührungsspannung U_B kann wie folgt berechnet werden:

$$U_B = U_{Netz} \cdot \frac{R_{PE}}{R_L + R_{PE}}$$

7.4.6 Bei einem satten Erdschluss fliesst ein hoher Fehlerstrom, welcher am Ersatzwiderstand R_{PE} einen Spannungsabfall verursacht, welcher die eigentliche *Fehlervspannung* U_F bildet. Die Berührungsspannung ist dadurch etwas geringer, entspricht aber immer noch rund 110 V.

Beispiel: Bei einem angenommenen Kurzschlussstrom von 170 A und einer Schmelzsicherung 25 AT erfolgt eine rechtzeitige Abschaltung nach $\approx 0,05$ s Schmelzzeit (Lichtbogenzeit nicht berücksichtigt). Somit ist der Personenschutz voll gewährleistet.

7.4.7 Auslösecharakteristiken (Strom-/Zeit-Kennlinien) von Schmelzsicherungen, Leitungsschutzschaltern und Motorschutzschaltern sind den einschlägigen Datenblättern der Hersteller zu entnehmen.

7.5 FI-Schutzschaltung

7.5.1 Nach **NIN 41 25** ist die *Fehlerstromschutzschaltung* als zusätzliche Schutzmassnahme anzuwenden, sofern die Rückführung des Fehlerstromes gewährleistet ist und in den zu schützenden Stromkreisen die Neutralleiter ordnungsgemäss von Erde isoliert sind.

Wenn am Einbauort die Nullungsbedingungen nicht erfüllt sind, ist der Schutzleiter an einen separaten Erder anzuschliessen. Die Funktion des Schutzschalters muss überprüft werden durch:

- ▶ Betätigen der Prüfvorrichtung. Die Auslösung muss innerhalb von **0,3 s** erfolgen.
- ▶ Durch Erzeugen eines Fehlerstromes in der an einen FI-Schutzschalter angeschlossenen Installation. Bei einem Prüfstrom von **0,5 x $I_{\Delta N}$** darf noch keine Auslösung erfolgen. Bei einem Fehlerstrom, welcher der Nennauslösestromstärke $I_{\Delta N}$ des FI-Schutzschalters entspricht, muss die Auslösung innert **0,3 s** erfolgen (NIN 41 252.8).

7.5.2 Die messtechnische Funktionsprüfung der FI-Schutzschaltung soll anhand des folgenden Beispiels veranschaulicht werden:

In einem Stromkreis mit 10 UP-Steckdosen (3 x T13 10 A/250 V) wird an e i n e r Steckdose eine Auslösung des FI-Schutzschalters durch den simulierten Fehlerstrom erzeugt.

Dabei wird die *Auslösezeit* $t_{\Delta N}$ und die anstehende *Berührungsspannung* U_B berechnet. Übersteigt die Berührungsspannung während dem Messvorgang 50 V, erfolgt der sofortige Abbruch der Messung. Die Messung kann mit steigendem Prüfstrom oder mit dem Nennauslösestrom erfolgen.

Bei allen weiteren Steckdosen muss keine Auslösung des FI-Schutzschalters erfolgen. Es genügt dann die Berechnung der Berührungsspannung und des *Erderwiderstandes* R_E .

7.6 Drehfeldrichtungs-Prüfung

7.6.1 Drehstrom-Netzsteckdosen sind nach **NIN 43 440.8** so aufzuschalten, dass die Phasenreihenfolge im Uhrzeigersinn erhalten bleibt (d.h. rechtsdrehend).

Für rechteckige CH-Netzsteckdosen (nicht mehr erlaubt) gilt diese Forderung adäquat in Richtung zum Schutzleiterkontakt.

7.7 Instandsetzungsprüfung

7.7.1 Nach **VDE 0701** (Instandsetzung, Änderung und Prüfung elektrischer Geräte) müssen ortsveränderliche Betriebsmittel (Elektrowerkzeuge, transportable Maschinen etc.) nach erfolgter Instandsetzung zuerst einer Sicherheitsprüfung unterzogen werden, bevor sie zur allgemeinen Nutzung freigegeben werden.

Folgende Kriterien müssen dazu erfasst werden:

- ▶ **Sichtkontrolle** → Äusserlich erkennbare Mängel sind unverzüglich zu beheben.
- ▶ **Schutzleiterkontrolle** → Es muss eine durchgehende, niederohmige Verbindung (Low-Ohm) vorhanden sein (300 mΩ bis 500 mΩ). Der Durchgangswiderstand soll 1 Ohm nicht übersteigen.
- ▶ **Isolationswiderstand** → Der Isolationswiderstand ist zwischen den aktiven und den berührbaren, leitfähigen Teilen eines Betriebsmittels zu bestimmen.

Es gelten folgende, untere Grenzwerte:

- Betriebsmittel der Schutzklasse I (PE-Leiter): $\geq 0,5 \text{ M}\Omega$
- Betriebsmittel der Schutzklasse II (Sonderisolation): $\geq 2 \text{ M}\Omega$
- Betriebsmittel der Schutzklasse III (SELV/PELV): $\geq 250 \text{ k}\Omega$

Kann der geforderte Isolationswiderstand bei Geräten der Schutzklasse I nicht eingehalten werden, ist aufgrund des *Ersatzableitstromes* zu ermessen, ob das Produkt den Sicherheitsanforderungen genügt.

- ▶ **Ersatzableitstrom** → Gemessen wird der Strom, der von den aktiven Leitern eines elektrischen Betriebsmittels über die Isolation und den Schutzleiter abfließt.

Folgende Grenzwerte sind festgelegt:

- Ersatzableitstrom $< 7 \text{ mA}$ (P_N bis 6 kW)
- Ersatzableitstrom $< 15 \text{ mA}$ (P_N über 6 kW)
- ▶ **Kontrolle der Aufschriften** → Nach erfolgter Instandsetzung müssen Angaben über den Hersteller des Erzeugnisses, die Nennspannung, den Nennstrom und die Nennleistung sowie die Schutzklasse noch erkennbar sein. Allfällige Gefahrenhinweise sind zu ergänzen.
- ▶ **Funktionskontrolle** → Im Rahmen einer Funktionskontrolle, die dem bestimmungsgemässen Gebrauch des Objektes entspricht, ist abschliessend festzustellen, dass keine offensichtlichen Sicherheitsmängel existieren.

7.7.2 Für die Durchführung der Instandsetzungsprüfung kann im einfachsten Fall auf Einzelgeräte wie Ohmmeter, Isolationsmesser und mA-Meter zurückgegriffen werden. Für die Messung des Ersatzableitstromes ist eine galvanisch vom Netz getrennte Spannungsquelle erforderlich (Trenntransformator).

Für die effiziente Überprüfung der genannten Sicherheitsaspekte bietet der Handel tragbare Prüfgeräte nach VDE 0701 an. In Werkstätten des Elektrogrosshandels finden auch ortsfeste Prüftafeln Verwendung.

7.7.3 Durch Anbringen einer **Prüfplakette** ist der nächste Prüftermin ersichtlich.

7.8 Lernzielkontrolle

A. Theorie-Aufgaben

a) Welche Kriterien müssen eingehalten werden, damit die Nullungsbedingungen als erfüllt betrachtet werden.

b) Welches sind die Unterschiede zwischen

- Schlusskontrolle
- Abnahmekontrolle
- Periodischer Kontrolle

Weshalb wird nach der Instandsetzung eines ortsveränderlichen, elektrischen Betriebsmittels eine Sicherheitskontrolle gefordert?

B. Praxisaufgaben

a) Erstelle ein Schlussprotokoll nach Art. 24 NIV. Führe dazu alle relevanten Messungen an der Installation einer gegebenen Produktionsanlage durch.

b) Überprüfe, ob sich auf der Abschirmung eines Signalkabels eine gefährliche Fehlerspannung oder lediglich eine Phantomspannung befindet.

c) Führe eine Wiederholungsprüfung an einer elektrischen Handbohrmaschine durch. Erstelle dazu einen handschriftlichen Prüfbericht.

8 Gesetze, Verordnungen, Normen

8.1 Gesetzespyramide

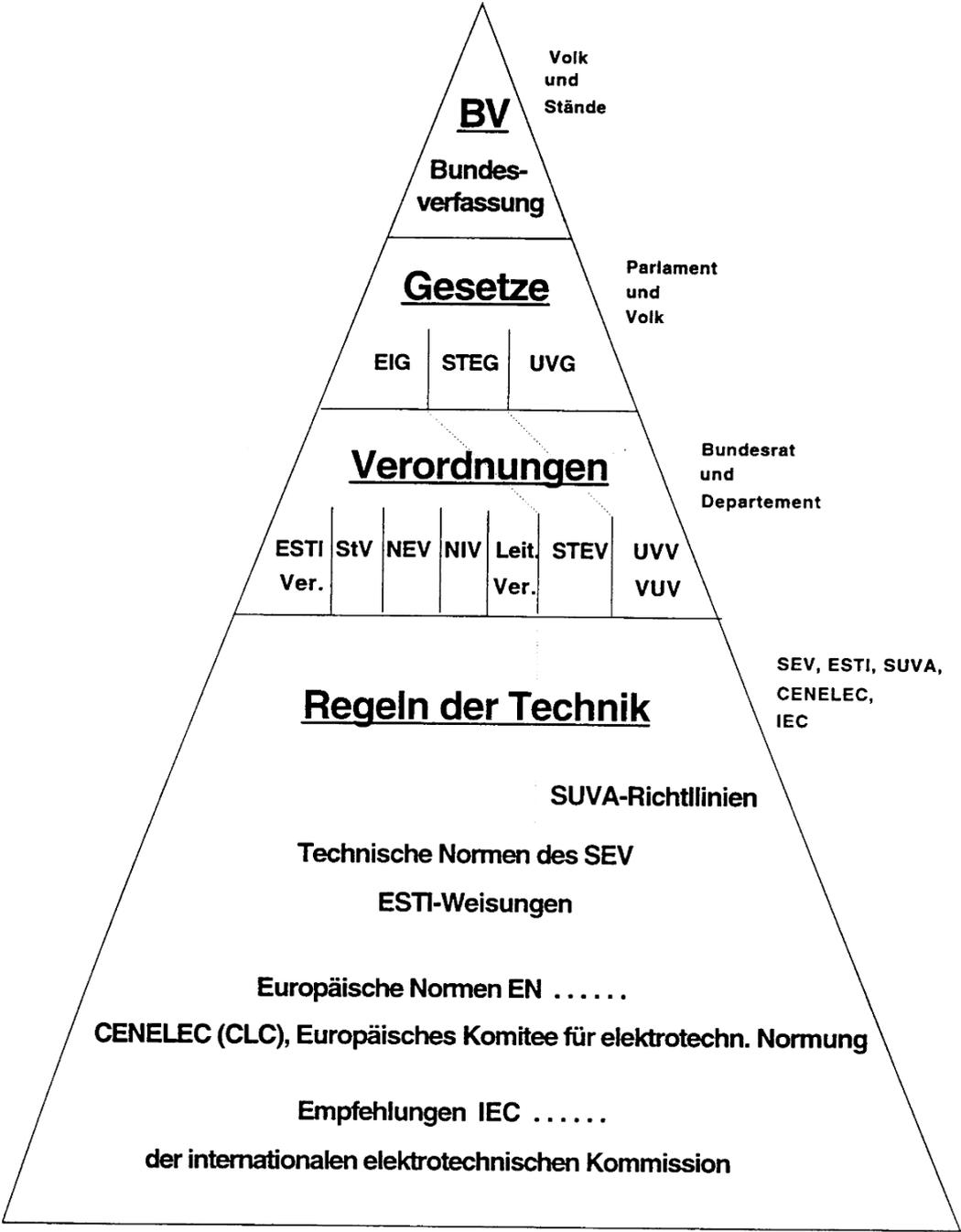


Abb. 32: Aufbau der Gesetze, Verordnungen und technischen Normen

8.2 Entstehung eines Gesetzes

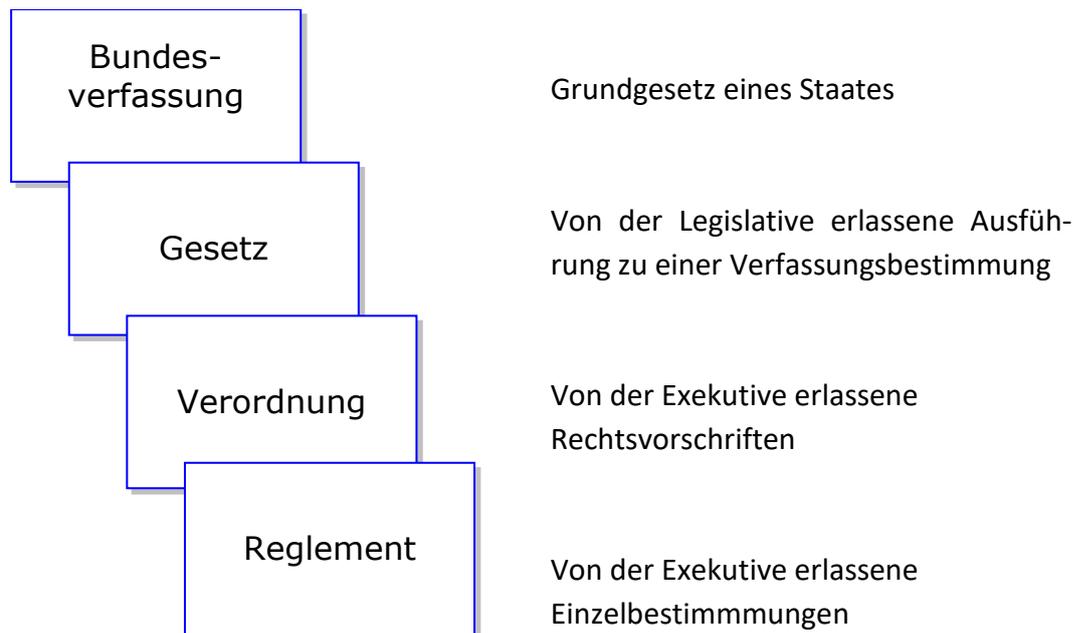


Abb. 33: Entstehungskaskade eines Gesetzes

Bsp. 1: Aus dem Parlament wird eine *Motion* eingereicht. National- und Ständerat müssen ihre Zustimmung erteilen, um den Bundesrat zur Ausarbeitung eines Gesetzesentwurfes zu verpflichten.

Bsp. 2: Ein Mitglied des Bundesrates lässt ein Gesetz ausarbeiten.

8.3 Vorparlamentarische Phase

8.3.1 Zuerst erfolgt ein **Vorentwurf** durch das zuständige Departement. Der Departementenchef kann folgende Gremien einsetzen:

- a) Arbeitsgruppe: Verwaltungsinterne Abklärung der Durchführbarkeit
- b) Studienkommission: Verwaltungsinterne und externe Fachleute
- c) Expertenkommission: Externe Experten

8.3.2 Danach kommt es zur **Vernehmlassung**. Kantone, Parteien, Interessenverbände und Einzelpersonen werden zur Stellungnahme eingeladen (Weichenstellung für das zukünftige Gesetz).

8.3.3 Es erfolgt eine **Botschaft** des Bundesrates an das Parlament mit folgenden Inhalten:

- dem definitiven Gesetzesentwurf
- der Erklärungen zu diesem Entwurf
- dem Antrag des Bundesrates zuhanden des Parlaments

8.4 Parlamentarische Phase

8.4.1 Es erfolgt eine **Beratung** in den Kommissionen. National- und Ständerat bilden je eine *vorberatende Kommission*.

8.4.2 Danach wird die **Beschlussfassung** im National- und Ständerat über die Gesetzesvorlage durchgeführt, bestehend aus:

- Eintretensdebatte
- Detailberatung
- Schlussabstimmung

8.5 Nachparlamentarische Phase

8.5.1 Es erfolgt die **Veröffentlichung** (Bundesblatt) mit 100tägiger *Referendumsfrist*.

8.5.2 Danach geschieht die **Inkraftsetzung**.

a) Ohne Referendum durch Volk und Kantone (stillschweigende Zustimmung) wird das neue Gesetz durch den Bundesrat in Kraft gesetzt.

b) Mit Referendum muss das Volk darüber bestimmen (Abstimmung). Bei einer Ablehnung durch die Volksmehrheit bleibt die gesetzgeberische Arbeit wirkungslos.

8.6 Gesetze für Elektrofachkräfte

Grundlage und Voraussetzung aller nachfolgenden Verordnungen und Normen betreffend Erstellung und Instandhaltung von elektrischen Anlagen ist das "Elektrizitätsgesetz".

- ▶ Bundesgesetz betreffend die elektrischen Schwach- und Starkstromanlagen ("Elektrizitätsgesetz", ElG 1902)
- ▶ Bundesgesetz über die Sicherheit von technischen Einrichtungen und Geräten (STEG 1976/1993): Richtet sich an Hersteller/Lieferant.
- ▶ Bundesgesetz über die Produkthaftpflicht (PrHG 1993): Richtet sich an den Hersteller/Inverkehrbringer.
- ▶ Bundesgesetz über die Unfallversicherung (UVG 1981): Richtet sich an Arbeitgeber und Arbeitnehmer.

8.7 Verordnungen für Elektrofachkräfte

Verordnungen werden durch das zuständige Departement des Bundesrates erlassen. Für den Elektroinstandhalter wesentliche Verordnungen sind u.a.:

- ▶ Verordnung über elektrische Schwachstromanlagen (Schwachstromverordnung 1994)
- ▶ Verordnung über elektrische Starkstromanlagen (Starkstromverordnung 1933/1994)
- ▶ Niederspannungs-Installationsverordnung (NIV 1989)
- ▶ Verordnung über die Prüfung für Betriebselektriker und für Ersteller besonderer Niederspannungsinstallationen (1989)

- ▶ Verordnung über elektrische Niederspannungserzeugnisse (NEV 1992/1997)
- ▶ Verordnung über die elektromagnetische Verträglichkeit (VEMV 1997)

Verordnung über die Sicherheit von Technischen Erzeugnissen (STEV)

8.8 Normen und Regeln der Technik

8.8.1 Die Errichtung elektrischer Anlagen und deren Instandhaltung erfolgt nach den *anerkannten Regeln der Technik* (d.h. was sich schon lange bewährt hat und von allen so gehandhabt wird). Wichtigstes Regelwerk für den Elektroinstandhalter sind dabei die *Technischen Normen* des SEV (Electrosuisse)¹⁵, insbesondere die Niederspannungs-Installations-Norm (**NIN**).

Wichtige Normen und Auszüge:

- ▶ SIA¹⁶-Norm 118: Leistungen Technische Projektbearbeitung, Garantiefrist etc.
- ▶ VSM¹⁷-Normenbüro: Normen-Auszug für Technische Schulen
- ▶ ISO 9001 ff.: QS¹⁸, TQM¹⁹, TSM²⁰

8.8.2 Anerkannte Regeln der Technik welche nicht explizit durch eine Technische Norm des SEV (Electrosuisse) erläutert sind, werden vom ESTI in Anlehnung an DIN²¹ VDE²² gehandhabt.

8.8.3 Instandsetzung elektrischer Betriebsmittel

a) Gesetzliche Grundlagen nach nationalem Recht entstammen dem UVG Art. 83 (Sicherheit der Arbeitnehmer), dem STEG (mechanische Sicherheit) und der NEV Art.3 (elektrische Sicherheit) und Art.4 (Vermeidung von Störungen).

b) Das Mess- und Prüfprozedere entstammt DIN VDE 0701.

8.9 Werkvorschriften

Im Versorgungsgebiet des Kantons Zürich gelten bspw. die WV ZH 96-10. Zusätze und Ausnahmebestimmungen einzelner, angeschlossener Elektrizitätswerke sind im Anhang unter "Speziellen Bestimmungen" aufgeführt. Inzwischen gibt es eine für die gesamte Schweiz verbindliche Ausgabe (Werkvorschriften CH).²³

8.10 Richtlinien

8.10.1 Als Zertifizierungsstelle für die sicherheitstechnische Beurteilung von Werkzeugmaschinen, Industrierobotern, Hebebühnen, Sicherheitssteuerungen und sicherheitsrelevanten

¹⁵ **SEV** Schweizerischer Elektrotechnischer Verein

¹⁶ **SIA** Schweizerischer Ingenieur- und Architekten Verein

¹⁷ **VSM** Verein Schweizerischer Maschinen-Industrieller

¹⁸ **QS** Qualitäts Sicherung

¹⁹ **TQM** Total Quality Management

²⁰ **TSM** Total Security Management

²¹ **DIN** Deutsches Institut für Normung e.V.

²² **VDE** Verband Deutscher Elektrotechniker

²³ <https://www.strom.ch/de/media/8188/download>

Baukomponenten erlässt die **SUVA** (Sektion Maschinen II)²⁴ *Sicherheitsrichtlinien*, bspw.:

▶ **Sicherheitsschalter** → Sicherheitsabschalteneinrichtung für die Instandhaltung (elektromechanische Trennung von der Energiezufuhr sowie Energieabbau zur Verhinderung von unerwartetem Anlauf).

▶ **Risikoreduktion** → Zwangsführung von Hilfsschaltern (Not-Aus, Türüberwachung etc.) und Sicherheit durch *Redundanz* in Schützenschaltungen.

8.10.2 Im Zusammenhang des freien Warenverkehrs in dem durch die Europäische Union (EU) gebildeten Europäischen Wirtschaftsraum (EWR), ist auch die Schweiz mit den *EG²⁵-Richtlinien* konfrontiert.

Diese Richtlinien besitzen (im Unterschied zu SUVA-Richtlinien) Gesetzescharakter und müssen ins nationale Recht der Mitgliedsstaaten überführt werden.

8.10.3 Relevant für den Elektrofachmann sind u.a.:

▶ Niederspannungsrichtlinie (StV, NIV)

▶ Richtlinie über Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV-V)

▶ Maschinenrichtlinie (STEG/STEV)

▶ Sicherheit von Maschinen – Elektrische Ausrüstung von Maschinen (1994), Anlehnung an EN²⁶ 60204-1

▶ EG-Baumusterprüfungen durch die SUVA

8.11 Kennzeichnung

8.11.1 Das aufgrund der Liberalisierung und allgemeinen Produkthaftung (PrHG) freiwillige **Sicherheitszeichen** (präventive Nachweispflicht des Anbieters, NEV Art.5) wird vom ESTI für sicherheitskonforme elektrische Erzeugnisse abgegeben²⁷ und bietet für Unternehmer und Konsumenten Gewähr, dass das in Verkehr gebrachte Produkt mit dem Stand der anerkannten Regeln der Technik konform ist. Gegenüber Aufsichtsbehörden (SUVA, Arbeitsinspektorat, Versicherern etc.) beweist der Hersteller damit die Erfüllung seiner Sorgfaltspflicht.

8.11.2 Das **CE-Zeichen**²⁸ ist ein Handels- und kein Qualitätszeichen! Als Verwaltungszeichen für die zuständigen Marktaufsichtsbehörden dient es dem Abbau technischer Handelshemmnisse und damit dem freien Warenverkehr im EWR. Es wird durch den Hersteller oder Importeur eines Produktes angebracht, sofern dieses unter eine oder mehrere EG-Richtlinien fällt und der Hersteller alle in den einschlägigen Richtlinien enthaltenen Bedingungen als erfüllt betrachtet. Die CE-Kennzeichnung bestätigt somit die Konformität eines Erzeugnisses mit den

²⁴ **SUVA** Schweizerische Unfallversicherungsanstalt. Die Sektion **Maschinen II** der SUVA ist seit 1993 als Schweizerische Zertifizierungsstelle **SCES 008** akkreditiert (SN EN 45011).

²⁵ **EG** Europäische Gemeinschaft

²⁶ **EN** Europäische Norm

²⁷ Das **ESTI** ist seit 1996 als Zertifizierungsstelle **SCES 033** akkreditiert (Qualifikation nach EN 45011). Es besitzt dadurch denselben Status wie ausländische Zertifizierungsstellen. Somit ist die gegenseitige Anerkennung von Zertifikaten gewährleistet.

²⁸ **CE** Conformité Européenne

grundlegenden Anforderungen aller auf ein bestimmtes Erzeugnis anwendbaren Richtlinien. Für Importe in die Schweiz (Nichtmitglied) ist das CE-Zeichen im rechtlichen Sinne nicht relevant.



Abb. 34: CE-Zeichen an einem elektr. Betriebsmittel



Abb. 35: CH-Sicherheitszeichen

8.12 Organe und Institutionen

SEV	Schweizerischer Elektrotechnischer Verein	
TK 64	Technisches Komitee (NIN)	
ESTI	Eidgenössisches Starkstrominspektorat	
VKF	Vereinigung Kantonaler Feuerversicherungen	
VSE	Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke	
VSEI	Verband Schweizerischer Elektroinstallationsfirmen	
SUVA	Schweizerische Unfallversicherungsanstalt	
GD	Generaldirektion PTT/Telecom	
CES	Schweizerisches Elektrotechnisches Komitee ²⁹	
SNV	Schweizerische Normen-Vereinigung	
DIN	Deutsches Institut für Normung	
VDE	Verband Deutscher Elektrotechniker	
CENELEC	Europäisches Komitee für Elektrotechnische Normung ³⁰	
CEE	Internationale Commission für Regeln zur Begutachtung Elektrotechnischer Erzeugnisse	
CEI/IEC	Internationale Elektrotechnische Kommission ³¹	
ISO	Internationale Organisation für Normung ³²	

²⁹ **CES** Comité Electrotechnique Suisse

³⁰ **CENELEC** Comité Européen de Normalisation Electrotechnique

³¹ **IEC** International Electrotechnical Commission

³² **ISO** International Standardization Organization

8.13 Zertifizierungsstellen

- ISO** International Standard Organization
- UL** Underwriters Laboratories
- CSA** Canadian Standard Association
- TÜV** Technischer Überwachungs Verein
- VDE** Verband Deutscher Elektrotechniker
- SEV** Schweizerischer Elektrotechnischer Verein

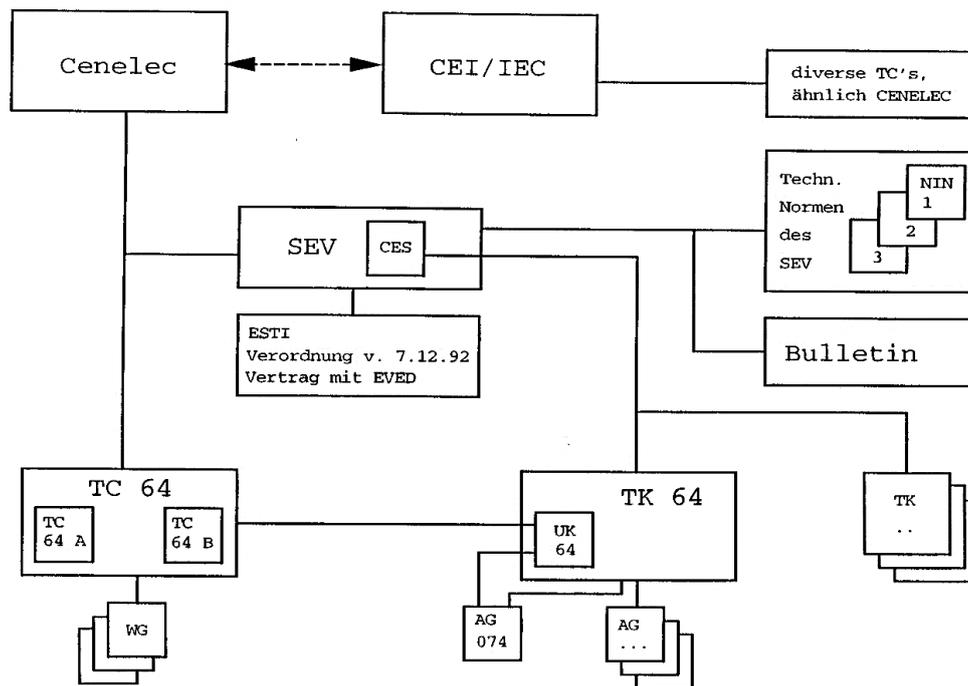


Abb. 36: Organigramm Normengremien

9 Lehrmittel

9.1 Fachliteratur

- Fachkunde Elektrotechnik (Europa Lehrmittel)
- Hans Rudolf Ries: Elektrotechnik für Praktiker (Electrosuisse)
- Ernst Feldmann, Michael Knabe: NIN Know-How (Electrosuisse)
- Peter Bryner, Josef Schmucki: Sicherheit in elektrischen Anlagen (Electrosuisse)
- Werner Berchtold: Elektrische Anlagen gem. Starkstromverordnung (Electrosuisse)
- Heinrich Brandenberger: Formeln und Tabellen Elektroberufe (Vebra)
- Friedrich: Tabellenbuch Elektrotechnik/Elektronik (Bildungsverlag EINS)

9.2 Verordnungen und Normen

- EleG (Elektrizitätsgesetz)³³
- StV (Starkstromverordnung)³⁴
- NIV (Niederspannungs-Installationsverordnung)³⁵
- NIN (Niederspannungs-Installationsnorm)³⁶

³³ <https://www.admin.ch/opc/de/classified-compilation/19020010/index.html>

³⁴ <https://www.admin.ch/opc/de/classified-compilation/19940082/index.html>

³⁵ <https://www.admin.ch/opc/de/classified-compilation/20012238/index.html>

³⁶ <https://www.electrosuisse.ch/de/shop/>