

1 Fachliche Qualifikationen für Arbeiten in elektrischen Anlagen

1.1 Anforderungen

Personen, welche für elektrische Anlagen Planungen vornehmen, oder Personen, welche in Bereichen mit elektrischen Anlagen tätig sind, sind für ihr Tun verantwortlich. Sie müssen daher qualifiziert ausgebildet sein. Die Tätigkeiten in und für elektrische Anlagen sind sehr vielfältig. Daher sind auch die Verantwortungen sowie die erforderlichen Qualifikationen bzw. Berufsausbildungen hierzu sehr verschiedenartig. Meist darf nicht jeder Beschäftigte im Umfeld einer elektrischen Anlage alle notwendigen Tätigkeiten ausführen.

Die gestellten Anforderungen, insbesondere an die Qualifikation, sind hoch. Unwissentlich unvorsichtiger Umgang mit dem elektrischen Strom bzw. der elektrischen Spannung kann gesundheitsschädigend oder sogar tödlich sein. Dies gilt einerseits für die in einer elektrischen Anlage tätigen Personen und andererseits für die Anwender der elektrischen Anlage. Gefahren müssen erkannt werden und mit Gefahren muss umgegangen werden können.

Elektrischer Strom kann tödlich sein.

Für planende und beschäftigte Personen im Bereich der Elektrotechnik ist neben dem elektrotechnischen Grundwissen auch das Wissen über einschlägige Normen, VDE-Vorschriften und Unfallverhütungsvorschriften notwendig (**Bild 1**). Von besonderem Interesse sind hierbei die Normenreihe DIN VDE 0100 Errichten von Niederspannungsanlagen, DIN VDE 0105-100 Betrieb von elektrischen Anlagen, VDE 0701 (DIN EN 50678) Prüfung nach Reparatur elektrischer Geräte, VDE 0702 (DIN EN 50699) Wiederholungsprüfung für elektrische Geräte, VDE 0113-1 (DIN 60204-1) Elektrische Ausrüstung von Maschinen, DIN EN 61140 Schutz gegen elektrischen Schlag, VDE 0185-305 (DIN EN 62305) Blitzschutz und die Unfallverhütungsvorschrift 3 DGUV V3 für elektrische Anlagen und Betriebsmittel.

Je nach *besonderem* elektrotechnischen Tätigkeitsfeld sind die hierfür existierenden Normen und Vorschriften zu beachten, z. B. für Bahnanwendungen, elektrische Anwendungen auf Schiffen, im Bergbau, in Flugzeugen.

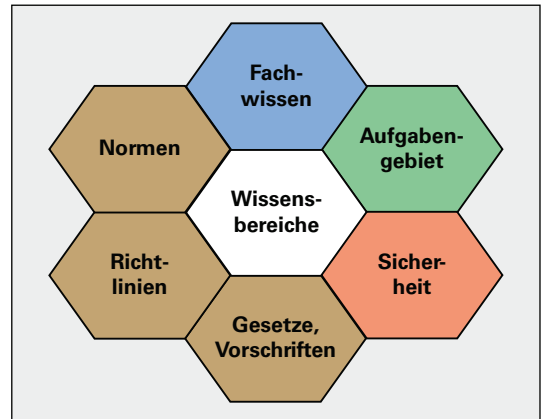


Bild 1: Elektrotechnische Wissensbereiche der Beschäftigten in elektrischen Anlagen

Anwendung von Niederspannungsanlagen

- Wohn-, Geschäfts- und Industriebau
- Beleuchtungsanlagen
- PV-Anlagen
- Produktionsmaschinen
- Elektrofahrzeuge, Ladestationen
- Landwirtschaftliche Anlagen
- Hafenanlagen
- Medizinische Einrichtungen
- Explosionsgeschützte Bereiche
- Blitzschutzanlagen

Bild 2: Beispiele für Bereiche elektrischer Installationen

Beschäftigte in elektrischen Anlagen müssen elektrotechnisches Grundwissen und Kenntnisse über Normen und Vorschriften besitzen, die ihren Tätigkeitsbereich betreffen.

Dieses Buch möchte grundsätzliches Wissen für das Planen von und Arbeiten in elektrischen **Niederspannungsanlagen** (Wechselspannung bis 1000 V (AC 1000 V, **A**lternating **C**urrent), Gleichspannung bis 1500 V (DC 1500 V, **D**irekt **C**urrent)) vermitteln. Dies betrifft hierbei elektrotechnische Installationsarbeiten z. B. in und an Gebäuden, an Produktionsmaschinen, Fotovoltaikanlagen oder Ladestationen für Elektrofahrzeuge (**Bild 2**). Betroffen sind auch Tätigkeiten bzgl. Inbetriebnahme, Instandhaltung und Instandsetzung. Vermittelt werden sollen Fachkenntnisse hinsichtlich Gefährdungen und Maßnahmen für das Gewährleisten bestmöglicher Sicherheit.

1.2 Betroffene Personen

Für den Betrieb der Anlage und für in der Anlage durchzuführende Arbeiten unterscheidet man nach DIN VDE 1000-10 sechs Arten von Personen (**Bild 1**). Zunächst sind alle natürlichen Personen, die juristisch handlungsfähig sind, **Laien**. Durch eine Berufsausbildung im elektrotechnischen Bereich mit anschließender Berufserfahrung entsteht die **Elektrofachkraft (EFK)**. Die Berufsausbildung kann durch einen Lehrberuf, z. B. als Elektroniker/in der Fachrichtung Energie- und Gebäudetechnik (früher Elektroinstallateur), oder durch ein abgeschlossenes elektrotechnisches Studium erfolgen. Die Qualifikation EFK kann auch durch mehrjährige Tätigkeit mit Ausbildung in Theorie und Praxis nach Überprüfung und Dokumentation durch eine Elektrofachkraft nachgewiesen werden. Bei irgendwann fehlender Berufspraxis kann diese Qualifikation aber auch wieder erlöschen.

Für den Betrieb und das Arbeiten in elektrischen Anlagen sind Elektrofachkräfte EFK erforderlich.

Für jede elektrotechnische Anlage in einem Betrieb muss eine **verantwortliche Elektrofachkraft (VEFK)** mit großer Erfahrung benannt sein, die auch die unternehmerische Verantwortung für den Betrieb der elektrischen Anlage trägt. Für in der elektrischen Anlage durchzuführende Arbeiten muss ebenfalls eine verantwortliche Person benannt sein. Ein **Unternehmer** hat dafür zu sorgen, dass seine elektrischen Anlagen nur unter Leitung und Aufsicht einer VEFK errichtet, geändert und instand gehalten werden. Schriftlich festzuhalten sind die Pflichten, Aufgaben, Kompetenzen und Verantwortung.

Leitung und Aufsicht (Fach- und Aufsichtsverantwortung) einer Elektrofachkraft bedeuten:

- Überwachen des Errichtens, Änderns und Instandhaltens elektrischer Anlagen und Betriebsmittel,
- Anordnen, Durchführen und Kontrollieren notwendiger Sicherheitsmaßnahmen,
- Unterrichten, Ausbilden von Laien zu elektrotechnisch unterwiesenen Personen,
- Unterweisen elektrotechnischer Laien über Sicherheitsregeln,
- Überwachen, Beaufsichtigen von Arbeiten auch nicht-elektrotechnischer Arbeiten in der Nähe von unter Spannung stehenden Teilen (**aktive Teile**).

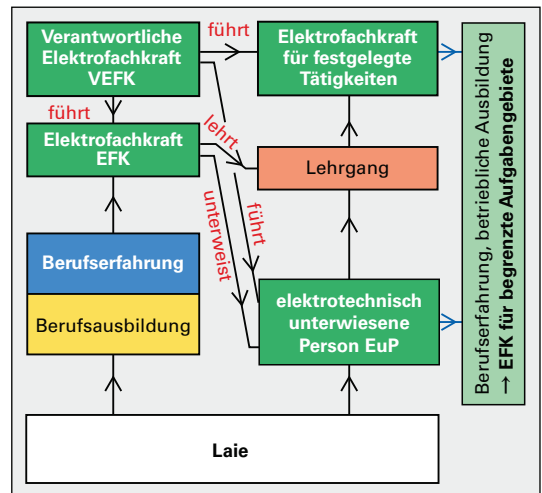


Bild 1: Personen in elektrischen Anlagen

Die für den gesamten Betrieb benannte verantwortliche Elektrofachkraft kann ein Meister, ein staatlich geprüfter Techniker oder ein Ingenieur/Bachelor/Master der Elektrotechnik sein.

Zur Aufsicht über einzelne Arbeiten und deren Ausführen kommt auch eine sonstige Elektrofachkraft in Betracht. Zu beachten ist, dass eine Elektrofachkraft nicht ohne Weiteres für jedes elektrotechnische Arbeitsgebiet einsetzbar ist. Unterschiedliche Arbeitsgebiete erfordern unterschiedliche Kenntnisse und Erfahrungen.

Laien können durch Unterrichtung zur **elektrotechnisch unterwiesenen Person (EuP)** aufsteigen. Dabei werden sie von einer Elektrofachkraft über ihre Aufgaben und die möglichen Gefahren unterrichtet bzw. angeleitet. Ebenso werden sie über die notwendigen Schutzmaßnahmen und Schutzeinrichtungen belehrt. Laien dürfen z. B. keinen Zugang zu offenen Schaltanlagen haben.

Elektrotechnisch unterwiesene Personen (EuP) sind nur für einen Teil der anfallenden Arbeiten in elektrischen Anlagen zugelassen.

Zwischen der Elektrofachkraft und der EuP liegt die **Elektrofachkraft für festgelegte Tätigkeiten (EFKffT)**. Dazu ist eine meist mehrmonatige Ausbildung in Theorie und Praxis erforderlich, auch unter Aufsicht einer Elektrofachkraft. Unter festgelegten Tätigkeiten sind **gleichartige, sich wiederholende Arbeiten** zu verstehen. Diese müssen in einer Arbeitsanweisung beschrieben sein.

Eine betriebsinterne Ausbildung und eine mehrjährige Tätigkeit als EuP oder EFKffT zur **Elektrofachkraft für begrenzte Aufgabengebiete (EFKfbA)** führen (Bild 1).

1.3 Fach- und Führungsverantwortung

Durch die Ausbildung zur **Elektrofachkraft für festgelegte Tätigkeiten** (EFKffT) soll eine Person befähigt werden, festgelegte Tätigkeiten weitgehend eigenverantwortlich durchzuführen, d.h. im Sinne der Fachverantwortung für diese Tätigkeiten. Eine verantwortliche Elektrofachkraft muss dabei die Fachverantwortung mittragen und besitzt die Aufsichts- und Führungsverantwortung (**Tabelle 1**). Dies gilt auch gegenüber der Elektrofachkraft für begrenzte Aufgabengebiete.

Die festgelegten Tätigkeiten dürfen nur in Anlagen mit Nennspannungen bis 1000 V AC bzw. 1500 V DC und grundsätzlich nur im freigeschalteten Zustand durchgeführt werden. **Unter Spannung** sind Fehlersuche und Feststellen der Spannungsfreiheit bei geeigneter Qualifizierung erlaubt. Meist qualifizieren sich Beschäftigte aus Nicht-Elektroberufen zur EFKffT.

Im Unterschied zur EFKffT darf eine **elektrotechnisch unterwiesene Person** (EuP) nur unter Leitung und Aufsicht einer Elektrofachkraft (EFK) arbeiten. Eine EuP ist nur für einfachste elektrotechnische Tätigkeiten einsetzbar. Sie besitzt keine Fachverantwortung. Diese obliegt der beauftragenden EFK. Allerdings haben gemäß **Arbeitsschutzgesetz (ArbSchG) § 15** Beschäftigte die Pflicht „nach ihren Möglichkeiten sowie gemäß der Unterweisung und Weisung des Arbeitgebers für ihre Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit Sorge zu tragen.“

Für alle Arbeiten in und an elektrischen Anlagen müssen die Beschäftigten in Theorie und Praxis ausreichende Kenntnisse besitzen, um relevante Bestimmungen, die als Regeln der Technik anerkannt sind, korrekt anzuwenden und um mögliche Gefahren zu erkennen.

Arbeiten gemäß allgemein anerkannten Regeln der Technik bedeutet das Anwenden von Normen, Vorschriften, Verordnungen, Gesetzen.

Eine **befähigte Person (bP)** darf gemäß § 14 BetrSichV (Betriebssicherheitsverordnung, **Abschnitt 2.4**) bzw. TRBS 1203 (Technische Regeln für Betriebssicherheit, **Abschnitt 2.5**) nur als Prüfer von Arbeitsmitteln und ggf. überwachungsbedürftigen Anlagen wirken.

Die zum selbstständigen Prüfen befähigte Person für das Prüfen der Maßnahmen zum Schutz vor elektrischen Gefährdungen muss eine elektrotechnische Berufsausbildung abgeschlossen haben

Tabelle 1: Aufgaben von Personen in und an elektrischen Anlagen

Person	Beispiele für Aufgaben
VEFK	Überwachen, Anordnen, Unterrichten, Kontrollieren, insbesondere das Einhalten von Sicherheitsmaßnahmen. Ferner Tätigkeiten einer EFK. Fachverantwortung, Aufsichtsverantwortung, Führungsverantwortung. Wahrnehmung von Unternehmerpflichten.
EFK	Planen, Errichten, Ändern, Instandsetzen elektrischer Anlagen gemäß Qualifikation. Fachverantwortung, Aufsichtsverantwortung, ggf. Führungsverantwortung.
EFKfbA	Siehe EFK, aber nur für ein Aufgabengebiet, keine Führungsverantwortung.
EFKffT	Montage, Anschluss von Geräteanschlussdosen, Anschließen z. B. eines Durchlauferhitzers. Instandhaltung, Änderung, Prüfung elektrischer Geräte und Betriebsmittel. Aufgaben-Fachverantwortung.
EuP	Einfache Wartungsarbeiten, Heranführen von Prüfgeräten, Werkzeugen, Abdeckungen an spannungsführende Teile; Arbeiten in der Nähe von unter Spannung stehenden Teilen, Sichtprüfungen; keine Fachverantwortung.
bP	Prüfen von Arbeitsmitteln, ggf. Prüfen von überwachungsbedürftigen Anlagen. Fachverantwortung für die Aufgabe.

Arbeiten in SELV-Stromkreisen (Safety Extra Low Voltage) dürfen von Laien ausgeführt werden.

oder über eine andere, für die vorgesehenen Prüfaufgaben ausreichende elektrotechnische Qualifikation verfügen. Oft wirken EFK auch als bP.

Die **arbeitsschutzrechtliche Verantwortung** der auszuführenden Tätigkeiten trägt gemäß § 13 ArbSchG der **Arbeitgeber**. Dieser kann eine zuverlässige, fachkundige Person schriftlich beauftragen, z.B. eine EFK, ihm obliegende Aufgaben nach diesem Gesetz verantwortlich wahrzunehmen.

Bei **Unfällen** mit Personen- und/oder Sachschaden aufgrund der Arbeit einer EFK wird leichte, mittlere und grobe **Fahrlässigkeit** unterschieden. Bei mittlerer Fahrlässigkeit *kann* die EFK anteilig haften, bei grober *haftet* sie mindestens anteilig. Elektroarbeiten im Privatbereich sind ohne eine elektrotechnische Qualifizierung rechtlich zulässig.

2 Gesetze, Verordnungen, Technische Regeln, Normen

2.1 Allgemeines

Es ist hilfreich, die Unterschiede zwischen Gesetzen, Verordnungen, Vorschriften, Technischen Regeln, Unfallverhütungsvorschriften, DIN-Normen und VDE-Normen (VDE-Bestimmungen, VDE-Vorschriften, Seiten 300, 301) zu kennen. Auch ist ihnen eine Rangfolge hinsichtlich der Verbindlichkeit gegeben (**Bild 1**).

Das **Grundgesetz** als Verfassung der Bundesrepublik Deutschland enthält die wichtigsten Regeln, also die Grundrechte der Bevölkerung, für das Zusammenleben im Staat und steht über allen anderen Regelungen. Alle anderen Gesetze, Verordnungen, Vorschriften und Regeln müssen also mit dem Grundgesetz vereinbar sein. Eine Verfeinerung der Grundrechte sowie die Rechte der Bürger untereinander sowie die Rechte der staatlichen Institutionen gegenüber den Bürgern, oder anders formuliert, die Pflichten der Bürger gegenüber diesen Institutionen, sind in **Gesetzen** beschrieben, deren Nichteinhalten strafbar ist.

Verordnungen sind Regeln, nach denen Gesetze zu befolgen sind. **Vorschriften** sind verbindliche Anweisungen, welche vorgeben, was in speziellen Fällen zu tun ist. **Regeln** sind Vorgaben für ein Verhalten oder Verfahren. So sind Technische Regeln Empfehlungen und Vorschläge, wie Gesetze und Verordnungen eingehalten werden können. Technische Regeln sind nicht rechtsverbindlich.

DIN-Normen sind Regeln, die keinen verbindlichen, sondern lediglich einen richtungsweisenden, freiwilligen Charakter haben, sofern nicht Gesetze, Verordnungen oder Vorschriften auf sie verweisen. **VDE-Normen** und VDE-Richtlinien gelten als allgemein anerkannte Regeln der Technik und haben einen quasi rechtsverbindlichen Status, da im Energiewirtschaftsgesetz **EnWG** auf sie Bezug genommen wird. Sie werden von der Deutschen Elektrotechnischen Kommission (DKE), deren Träger der Verband Deutscher Elektrotechniker (**VDE**) ist, im Deutschen Institut für Normung e. V. (DIN) definiert. Neue oder aktualisierte VDE-Normen und VDE-Richtlinien gelten nicht für Altanlagen.

Von besonderer Bedeutung für das Arbeiten im elektrotechnischen Umfeld sind

- die Vorschrift 3 der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung **DGUV V3**,
- das Arbeitsschutzgesetz **ArbSchG**,
- die Betriebssicherheitsverordnung **BetrSichV**,
- die Technischen Regeln für Betriebssicherheit (**TRBS**) sowie
- die Vielzahl der VDE-Normen und VDE-Richtlinien, welche vielfach auch DIN-Normen sind.

Ferner sind von Bedeutung die **Technischen Anwendungsrichtlinien TAR**, welche die Grundlage für die **Technischen Anschlussbedingungen TAB** der Netzbetreiber sind. TAR und TAB orientieren sich an VDE-Normen oder VDE-Richtlinien.

Gesetze, Verordnungen, Vorschriften und VDE-Normen sowie VDE-Richtlinien sind verbindlich einzuhalten.

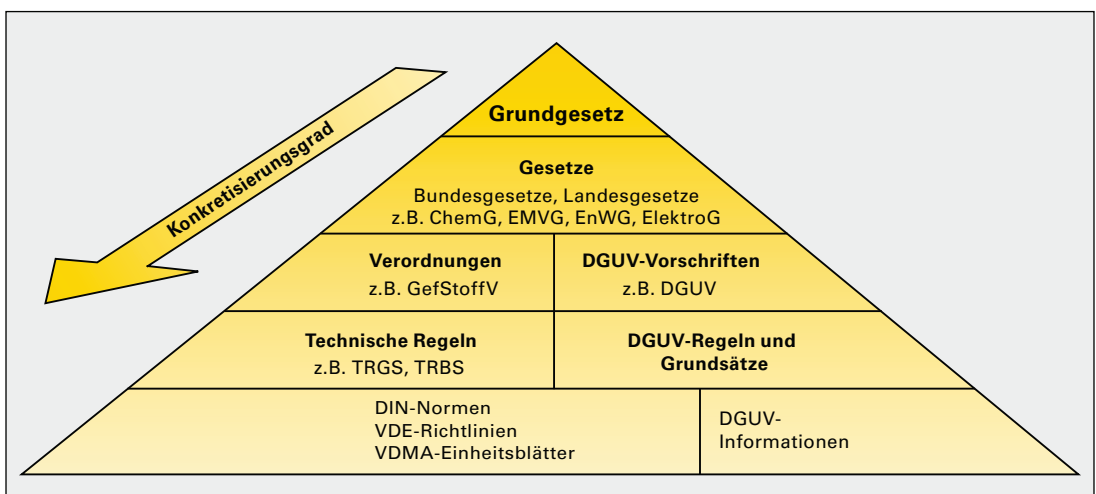


Bild 1: Rangfolge von Gesetzen, Verordnungen, Vorschriften, Richtlinien

2.2 DGUV-Vorschriften

DGUV-Vorschriften (Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung) sind verbindliche Rechtsnormen, die von den Unfallversicherungsträgern gemäß § 15 SGB VII (Sozialgesetzbuch) erlassen werden. Es gibt unterschiedliche DGUV-Vorschriften (**Tabelle 1**). Für **Elektrofachkräfte** ist die Unfallverhütungsvorschrift 3 (DGUV V3) von wesentlicher Bedeutung. Sie gilt für elektrische Anlagen und Betriebsmittel. Auch die Vorschrift 16 (DGUV V16, **Abschnitt 9.3**) Elektromagnetische Felder ist bei Bedarf zu beachten. Beide DGUV-Vorschriften orientieren sich u. a. an entsprechenden VDE-Normen und sind im Internet kostenfrei verfügbar.

In der **DGUV V3** sind Begriffsdefinitionen und Durchführungsanweisungen bzgl. Schutzmaßnahmen, Arbeiten an und in der Nähe von aktiven Teilen sowie Prüfungen festgelegt (**Kapitel 14, 15**). So sind z. B. darin definiert:

- **Elektrische Betriebsmittel** sind alle Gegenstände, die dem Anwenden elektrischer Energie oder dem Übertragen, Verteilen und Verarbeiten von Informationen dienen.
- **Elektrofachkraft** ist, wer auf Grund seiner fachlichen Ausbildung, Kenntnisse und Erfahrungen sowie der Kenntnis einschlägiger Bestimmungen die ihm übertragenen Arbeiten fachlich beurteilen und mögliche Gefahren erkennen kann (**Abschnitt 1.1**).
- **Festgelegte Tätigkeiten** sind gleichartige, sich wiederholende Arbeiten an Anlagen und Betriebsmitteln. Diese Arbeiten müssen vom Unternehmer in einer Arbeitsanweisung beschrieben sein. Durch eine Ausbildung kann eine Qualifikation als „Elektrofachkraft für festgelegte Tätigkeiten“ erreicht werden.
- **Aktive Teile** sind Leiter und leitfähige Teile der Betriebsmittel, die unter normalen Betriebsbedingungen unter Spannung stehen. Sie müssen entsprechend ihrer Spannung, Frequenz (**Abschnitt 3.1**), Verwendungsart und ihrem Betriebsort durch Isolierung, Lage, Anordnung oder festangebrachte Einrichtungen gegen direktes Berühren geschützt sein.
- **Ortsveränderliche elektrische Betriebsmittel** können während des Betriebs bewegt werden, während sie an den Versorgungsstromkreis angeschlossen sind.
- **Ortsfeste elektrische Betriebsmittel** können nicht leicht bewegt werden.
- **Stationäre Anlagen** sind mit ihrer Umgebung fest verbunden.

Tabelle 1: Auswahl von DGUV-Vorschriften

Vorschrift	Thema
1	Grundsätze der Prävention
2	Betriebsärzte und Fachkräfte für Arbeitssicherheit
3	Elektrische Anlagen und Betriebsmittel
12	Laserstrahlung
16	Elektromagnetische Felder
22	Abwassertechnische Anlagen
25	Unfallprävention
32	Kernkraftwerke
67	Flurförderfahrzeuge
80	Verwendung von Flüssiggas
81	Schulen

Tabelle 2: Zulässige Körperströme und Berührungsspannungen

Frequenz f in Hz	Körperstrom in mA	Berührungsspannung in V
0	10	60
$1 \leq f < 100$	3,5	25
$100 \leq f < 2 \text{ k}$	$1,75 \cdot (f/\text{kHz}) + 3,3$	25
$2 \text{ k} \leq f < 3,8 \text{ k}$	$1,4 \cdot (f/\text{kHz}) + 4,2$	25
$3,8 \text{ k} \leq f < 12 \text{ k}$	$1,4 \cdot (f/\text{kHz}) + 4,2$	$1,05 \cdot (f/\text{kHz}) + 20,5$
$12 \text{ k} \leq f < 28 \text{ k}$	$1,75 \cdot (f/\text{kHz})$	$1,05 \cdot (f/\text{kHz}) + 20,5$
$28 \text{ k} \leq f < 100 \text{ k}$	50	$1,05 \cdot (f/\text{kHz}) + 20,5$
$100 \text{ k} \leq f < 1 \text{ M}$	50	125

k Kilo, M Mega. Körperstrom siehe **Abschnitt 6.1**.

- **Nichtstationäre Anlagen** werden entsprechend ihrem bestimmungsgemäßen Gebrauch nach dem Einsatz wieder abgebaut und am neuen Einsatzort wieder aufgebaut.

Die **DGUV V 16** gibt zulässige Werte bzgl. des Ausgesetztseins (Exposition) von elektrischen, magnetischen und elektromagnetischen Feldern im Frequenzbereich bis 300 GHz an (**Abschnitt 9.3**). Ferner beschreibt sie Maßnahmen, z. B. Betriebsanweisungen, Schutzausrüstungen und Prüfungen, die ein Unternehmer treffen muss, damit die Beschäftigten an ihren Arbeitsplätzen geschützt sind. So sind je nach z. B. Frequenz von Strom und Spannung zulässige Körperströme und Berührungsspannungen zu beachten (**Tabelle 2**).

Grenzwerte gelten oft im Zusammenhang mit Zeitangaben ihres Ausgesetztseins.

2.3 Arbeitsschutzgesetz (ArbSchG)

Das ArbSchG (**Tabelle 1**) regelt für alle Tätigkeitsbereiche die grundlegenden Arbeitsschutzpflichten des **Arbeitgebers**, die Pflichten und die Rechte der **Beschäftigten** sowie das Überwachen des Arbeitsschutzes. Dazu gehört auch das Sicherstellen durch den Arbeitgeber, dass Beschäftigte für ihre Tätigkeit befähigt sind. Maßnahmen zum Arbeitsschutz sollen Unfälle bei der Arbeit verhindern und die Arbeit menschengerecht gestalten. Das ArbSchG kann wie alle Gesetze kostenfrei im Internet eingesehen werden.

Der **Arbeitgeber** muss für die Sicherheit und Gesundheit der Beschäftigten sorgen. Gefährdungen muss er ermitteln und Maßnahmen zur Minimierung dieser einleiten, z. B. durch Arbeitsplatzgestaltung, Schulungen, Bereitstellung von geeigneten Arbeitsmitteln nach dem Stand der Technik. Dokumentationen hierüber sind zu erstellen. Die **Beschäftigten** müssen nach ihren Möglichkeiten für ihre Sicherheit und Gesundheit Sorge tragen. Zur Verfügung gestellte Betriebsmittel und Schutzausrüstungen sind zu verwenden. Beschäftigte dürfen dem Arbeitgeber Vorschläge bzgl. Sicherheit, Gesundheit machen, sich ggf. auch an zuständige Behörden wenden.

Die zuständigen Behörden, z. B. das Gewerbeaufsichtsamt, haben das Einhalten des ArbSchG zu überwachen und die Arbeitgeber bei der Pflichterfüllung ggf. zu beraten.

Verschiedene Verordnungen ergänzen mit ihren Vorgaben den Schutz und die Sicherheit der Beschäftigten in ihren unterschiedlichen Arbeitsgebieten (**Bild 1**).

Tabelle 1: Wesentliche Inhalte des ArbSchG

§	Thema
§ 3	Grundpflichten des Arbeitgebers
§ 5	Beurteilung der Arbeitsbedingungen
§ 6	Dokumentation
§ 7	Übertragung von Aufgaben
§ 8	Zusammenarbeit mehrerer Arbeitgeber
§ 9	Besondere Gefahren
§ 10	Erste Hilfe und sonstige Notfallmaßnahmen
§ 11	Arbeitsmedizinische Vorsorge
§ 12	Unterweisung
§ 13	Verantwortliche Personen
§ 14	Unterrichtung, Anhörung der Beschäftigten des öffentlichen Dienstes
§ 15	Pflichten der Beschäftigten
§ 16	Besondere Unterstützungspflichten
§ 17	Rechte der Beschäftigten
§ 18	Verordnungsermächtigungen
§ 19	Zwischenstaatliche Vereinbarungen
§ 20	Regelungen für den öffentlichen Dienst
§ 21	Behörden und Träger der gesetzlichen Unfallversicherung
§ 22	Befugnisse der zuständigen Behörden
§ 23	Betriebliche Daten
§ 24	Erlass allgemeiner Verwaltungsvorschriften
§ 25	Bußgeldvorschriften
§ 26	Strafvorschriften

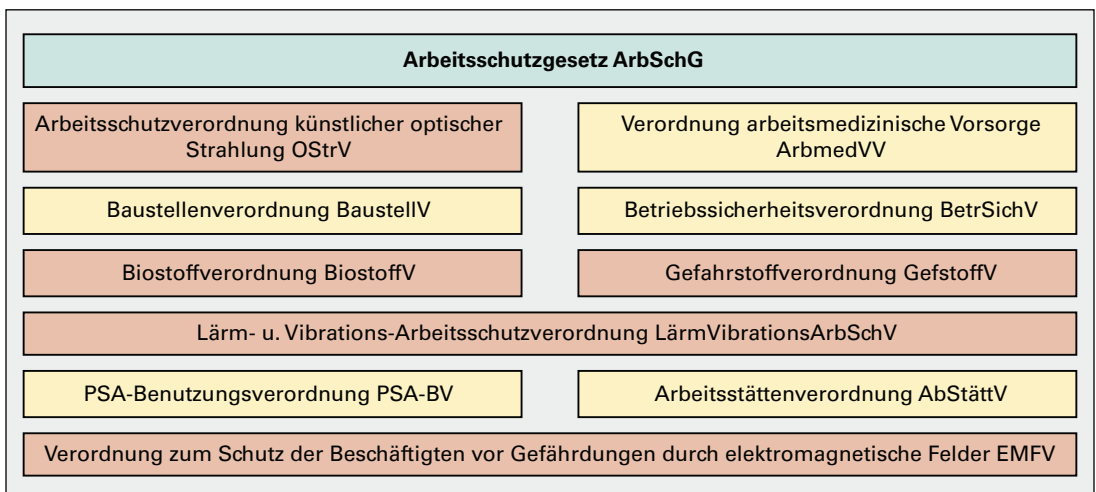


Bild 1: Arbeitsschutzgesetz und seine Verordnungen

2.4 Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV)

Die BetrSichV (**Tabelle 1**) gilt für das Verwenden von Arbeitsmitteln. Sie gilt auch für Überwachungsbedürftige Anlagen, Aufzugsanlagen und Anlagen in explosionsgefährdeten Bereichen. Überwachungsbedürftige Anlagen sind z. B. Dampfkesselanlagen, Füllanlagen, Rohrleitungen mit innerem Überdruck von entzündlichen, giftigen, ätzenden Gasen, Dämpfen, Flüssigkeiten. Die BetrSichV regelt die Maßnahmen für die Sicherheit und den Gesundheitsschutz beim Verwenden von Arbeitsmitteln (**Bild 1**) und regelt deren bestimmungsgemäßes Verwenden.

Der **Arbeitgeber** muss vor Verwendung der Arbeitsmittel eine Gefährdungsbeurteilung durchführen. Die vorgeschriebenen Prüfungen sind vorzunehmen. Die Arbeitsmittel müssen für die am Arbeitsplatz gegebenen Bedingungen geeignet sein. Beim Verwenden von Arbeitsmitteln in explosionsfähiger Atmosphäre sind die Schutzmaßnahmen mit der **Gefahrstoffverordnung** abzugleichen. Bei bestimmungsgemäßer Benutzung der Arbeitsmittel müssen Sicherheit und Gesundheitsschutz gewährleistet sein. Arbeitsmittel zum Heben von Lasten erfordern Standsicherheit und Festigkeit, auch die Lastaufnahmemittel. Mobile Arbeitsmittel erfordern für mitfahrende Beschäftigte die **geringstmögliche Gefährdung**.

Der Arbeitgeber muss seine Beschäftigten über die sie betreffenden Arbeitsmittel angemessen und regelmäßig informieren, z. B. über **Betriebsanweisungen**. Für Arbeitsmittel sind vor ihrem Einsatz Art, Umfang und Fristen erforderlicher Prüfungen durch **befähigte Personen** festzulegen. Sicherheitsprüfungen sind z. B. auch nach Instandsetzungsarbeiten erforderlich.

Die genannten befähigten Personen müssen infolge ihrer Berufsausbildung, ihrer Berufserfahrung und ihrer zeitnahen beruflichen Tätigkeit die erforderlichen Fachkenntnisse zur Prüfung der Arbeitsmittel besitzen.

Überwachungsbedürftige Anlagen dürfen nur in Betrieb genommen werden, wenn eine zugelassene Überwachungsstelle sie auf ordnungsgemäßen Zustand geprüft hat. Die Prüfungsergebnisse sind niederzuschreiben und mindestens bis zur nächsten Prüfung aufzubewahren. Unfälle und Schadensfälle sind der zuständigen Behörde anzuzeigen.

Arbeitsmittel dürfen nur absichtlich in Gang gesetzt werden. Befehleinrichtungen an Arbeitsmitteln müssen sichtbar angebracht sein. Sicheres Stillsetzen muss im Fehlerfall möglich sein.

Tabelle 1: Wesentliche Inhalte der BetrSichV

§	Thema
§ 3	Gefährdungsbeurteilung
§ 4	Grundpflichten des Arbeitgebers
§ 5	Anforderungen an die zur Verfügung gestellten Arbeitsmittel
§ 6	Grundlegende Schutzmaßnahmen bei der Verwendung von Arbeitsmitteln
§ 8	Schutzmaßnahmen bei Gefährdungen durch Energien, Ingangsetzen und Stillsetzen
§ 9	Weitere Schutzmaßnahmen bei der Verwendung von Arbeitsmitteln
§ 10	Instandhaltung und Änderung von Betriebsmitteln
§ 11	Besondere Betriebszustände, -störungen, Unfälle
§ 12	Unterweisung und besondere Beauftragung von Beschäftigten
§ 14	Prüfung von Arbeitsmitteln
§ 15	Prüfung vor Inbetriebnahme und vor Wiederinbetriebnahme nach prüfpflichtigen Änderungen
§ 16	Wiederkehrende Prüfungen
§ 17	Prüfaufzeichnungen und -bescheinigungen
§ 19	Mitteilungspflichten
§ 20	Sonderbestimmungen für überwachungsbedürftige Anlagen des Bundes
§ 22	Ordnungswidrigkeiten
§ 23	Straftaten

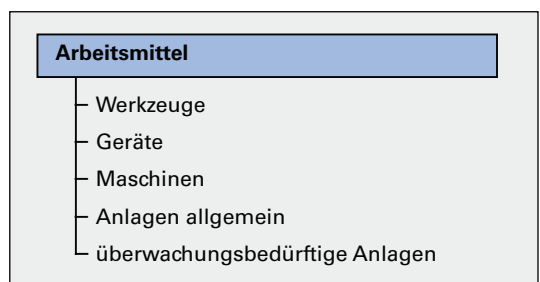


Bild 1: Klassifizierung von Arbeitsmitteln

Schutzeinrichtungen von Arbeitsmitteln dürfen nicht umgehbar sein.

Die BetrSichV schützt Beschäftigte vor Gefahren beim Benutzen von Arbeitsmitteln.

2.5 Technischen Regeln für Betriebssicherheit (TRBS)

Die Technischen Regeln für Betriebssicherheit (TRBS) geben den Stand der Technik, der Arbeitsmedizin und Arbeitshygiene sowie sonstige gesicherte arbeitswissenschaftliche Erkenntnisse für die Verwendung von Arbeitsmitteln und den Betrieb von überwachungsbedürftigen Anlagen wieder. Die TRBS sind gemäß drei *Reihen* strukturiert (**Tabelle 1**).

Die TRBS werden vom Bundesministerium für Arbeit und Soziales (BMAS) bekannt gegeben und sollten vom Arbeitgeber eingehalten werden. Andernfalls muss er auf anderem Wege für die gleiche Sicherheit und den gleichen Gesundheitsschutz seiner Beschäftigten sorgen. Die Technischen Regeln konkretisieren die Betriebssicherheitsverordnung (**BetrSichV**) hinsichtlich der Ermittlung und Bewertung von Gefährdungen sowie der Ableitung von geeigneten Maßnahmen.

Die bei der Benutzung von Arbeitsmitteln entstehenden Gefahren muss der Unternehmer ermitteln, z. B. anhand von Bedienungsanleitungen oder Hinweisen in den TRBS. Geeignete Maßnahmen sind zu dokumentieren und den Beschäftigten zu kommunizieren. Das Vorgehen zur Gefährdungsbeurteilung und Überprüfung der Wirksamkeit von Schutzmaßnahmen ist in der TRBS 1111 wiedergegeben.

Hinsichtlich Prüfungen, Prüfpflichten, Prüffristen und Kontrollen ergänzt die TRBS 1201 die BetrSichV §14. Ferner sind in der TRBS 1201 **Arbeitgeberpflichten** bzgl. der Wahrnehmung von Gefährdungsbeurteilungen und Prüfungen der Schutzmaßnahmen beschrieben.

Bei den Prüfungen unterscheidet die TRBS 1201 zwischen Ordnungsprüfungen und technischen Prüfungen. Bei den **Ordnungsprüfungen** wird z. B. festgestellt, ob alle notwendigen Unterlagen für das Arbeitsmittel oder die Anlage vorliegen, ob Änderungen seit der letzten Prüfung vorgenommen wurden, ob behördliche Auflagen eingehalten sind, ob der Prüfumfang festgelegt ist.

Die **technischen Prüfungen** umfassen z. B. Sichtprüfungen, Funktionsprüfungen, Prüfungen mit Prüfmitteln und Messmitteln (**Kapitel 15**).

Die technischen Regeln für Betriebssicherheit TRBS ergänzen die Betriebssicherheitsverordnung BetrSichV.

Tabelle 1: Technische Regeln für Betriebssicherheit (Auswahl)

TRBS	Erklärung
Reihe 1000: Allgemeines und Grundlagen	
1111	Gefährdungsbeurteilung
1112	Instandhaltung
1115	Sicherheitsrelevante Mess-, Steuer-, Regeleinrichtungen
1151	Gefährdungen Mensch-Arbeitsmittel
1201	Prüfungen, Kontrollen von Arbeitsmitteln, Schutzsystemen
1203	Zur Prüfung befähigte Personen
Reihe 2000: Gefährdungsbezogene Regeln	
2111	Mechanische Gefährdungen
2121	Gefährdung Beschäftigter durch Absturz
2141	Gefährdung durch Dampf und Druck
2181	Gefährdung beim Eingeschlossensein
Reihe 3000: Regeln für Arbeitsmittel, überwachungsbedürftige Anlagen oder Tätigkeiten	
3121	Betrieb von Aufzugsanlagen
3145	Ortsbewegliche Druckgasbehälter
3146	Ortsfeste Druckgasbehälter
Für explosionsgefährdete Bereiche und Atmosphären gibt es weitere Technische Regeln.	

Wiederholung und Vertiefung

1. Welche Normenreihe ist beim Errichten von Niederspannungsanlagen zu beachten?
2. Welche Voraussetzung muss ein Unternehmer erfüllen, um in seinem Betrieb elektrische Anlagen instand setzen zu lassen?
3. Unter welcher Voraussetzung können Laien zur elektrotechnisch unterwiesenen Person aufsteigen?
4. Welche Aufgabe darf eine befähigte Person wahrnehmen?
5. Haftet eine Elektrofachkraft bei grober Fahrlässigkeit?
6. Erfordern Elektroarbeiten im privaten Eigenheim von einer Privatperson eine anerkannte elektrotechnische Qualifizierung?
7. Sind DIN-Normen verbindlich einzuhalten?
8. Sind VDE-Normen einzuhalten?
9. Sind die DGUV-Vorschriften einzuhalten?
10. Die VDE-Normen werden häufig geändert. Gelten Sie dann auch für Altanlagen?

3 Grundlagen der Elektrotechnik

3.1 Stromstärke, Widerstand, Spannung

Zum Verständnis elektrotechnischer Arbeiten sind Kenntnisse über den elektrischen Strom erforderlich.

Der elektrische Strom kann nur in einem geschlossenen Stromkreis fließen (**Bild 1**).

Die Stromrichtung ist festgelegt vom Pluspol des Erzeugers durch den Verbraucher zum Minuspol des Erzeugers und von dort zum Pluspol des Erzeugers zurück.

Die Stromstärke hat die Einheit Ampere (A), benannt nach Ampère (sprich: Ampähr), franz. Physiker, 1775 bis 1836. Sie wird durch einen Strommesser gemessen, der in den Stromweg geschaltet wird (**Bild 1**). Die Stromstärke hat das Formelzeichen I .

Kurzschreibweise: $[I] = A$

Sprich: Einheit der Stromstärke I ist das Ampere A.

Man unterscheidet mehrere **Stromarten**. **Gleichstrom** (Kurzform DC, von **D**irect **C**urrent) ist ein Strom, der dauernd in gleicher Richtung und mit gleicher Stärke fließt (**Bild 2**). **Wechselstrom** (Kurzform AC, von **A**lternating **C**urrent) ist ein elektrischer Strom, der periodisch seine Richtung und seine Stärke ändert (**Bild 3**).

Mischstrom (Kurzform UC, von **U**niversal **C**urrent) ist ein Strom mit einem Gleichstromanteil und einem Wechselstromanteil (**Bild 4**).

Oft wird auch dann von Gleichstrom gesprochen, wenn ein Mischstrom mit einem *kleinen* Wechselstromanteil vorliegt, z. B. bei einem Gleichstromgenerator.

In der **Elektroinstallation** ist vor allem ein Wechselstrom von Bedeutung, bei dem die zeitabhängige Darstellung der Stromstärke eine Sinuslinie ist (**Bild 3**). Man spricht daher auch von einem *Sinusstrom*.

Einphasenwechselstrom ist die genaue Bezeichnung für einen einzigen Sinusstrom, z. B. aus der Steckdose eines Beleuchtungsstromkreises in einer Wohnung. **Dreiphasenwechselstrom** (Drehstrom) besteht aus drei solchen Einphasenwechselströmen (Kurzform 3 AC, **Abschnitt 4.3.2**).

Beim Wechselstrom nennt man die Zeit von einem Nulldurchgang bis zum nächsten gleichartigen Nulldurchgang *Periodendauer*. Das ist die Zeit für eine vollständige Schwingung (**Bild 3**).

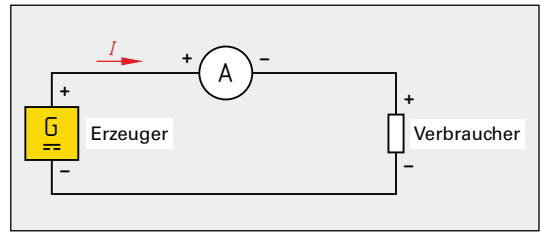


Bild 1: Strommessung in einem Stromkreis

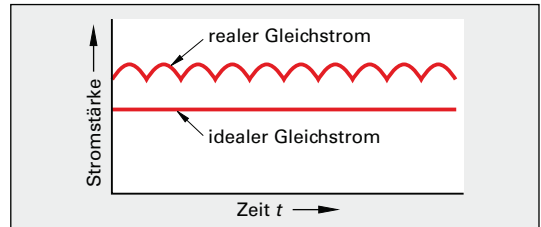


Bild 2: Gleichstrom DC

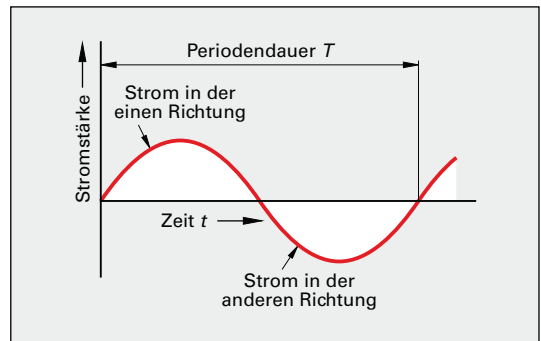


Bild 3: Wechselstrom AC (Sinusstrom)

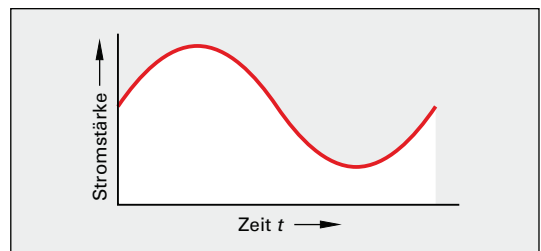


Bild 4: Mischstrom UC

Der Kehrwert der Periodendauer heißt **Frequenz**.

f Frequenz
 T Periodendauer

$$[f] = \text{Hz}$$

Frequenz

$$f = \frac{1}{T}$$

Die Einheit der Frequenz ist das Hertz (Hz), benannt nach Hertz, deutscher Physiker, 1857 bis 1894. Diese Einheit gilt jedoch nur im deutschen Sprachraum. Sonst wird c/s bzw. cps (cycles per second = Umdrehungen je Sekunde) verwendet.

Beispiel 1:

Die Periodendauer eines Sinusstroms beträgt 20 ms. Wie groß ist die Frequenz in Hz und in c/s?

Lösung:

$$f = 1/T = 1/20 \text{ ms} = 0,05 \text{ kHz} = \mathbf{50 \text{ Hz}} = \mathbf{50 \text{ c/s}}$$

Stromdichte ist der Quotient Stromstärke durch Querschnittsfläche. Man verwendet für die Stromdichte die Einheit A/mm².

- J Stromdichte
- I Stromstärke [J] = A/mm²
- A Querschnittsfläche

Stromdichte

$$J = \frac{I}{A}$$

Beispiel 2:

Bei einem elektrischen Leiterdraht beträgt die Stromstärke 25 A. Die zulässige Stromdichte beträgt 2,5 A/mm². Wie groß muss der Leiterquerschnitt sein?

Lösung:

$$J = I/A \Rightarrow A = I/J = 25 \text{ A}/(2,5 \text{ A/mm}^2) = \mathbf{10 \text{ mm}^2}$$

Jedes Material setzt dem elektrischen Strom einen **Widerstand** entgegen. Dieser Widerstand ist umso größer, je kleiner der Leitwert des Materials ist. Die Eigenschaft des großen oder kleinen Leitvermögens kann also durch den Widerstand oder den Leitwert ausgedrückt werden. Die Einheit des Widerstandes ist das Ohm (Ω , sprich: Ohm), benannt nach Ohm, deutscher Physiker, 1787 bis 1854. Die Einheit des Leitwerts ist das Siemens (S), benannt nach Siemens, deutscher Ingenieur, 1816 bis 1892. Das Wort Widerstand kann die physikalische Größe „Widerstand“ bedeuten, aber auch das Bauelement Widerstand. Für die physikalische Größe „Widerstand“ sagen wir im Zweifelsfall *Resistanz* oder *Widerstandswert*. Die Resistanz hat das Formelzeichen *R*, der Leitwert hat das Formelzeichen *G*.

- R Widerstand (Resistanz [R] = Ω)
- G Leitwert [G] = S

Widerstand

$$R = \frac{1}{G}$$

Beispiel 3:

Ein elektrischer Leiterdraht hat einen Widerstand von 0,5 Ω . Wie groß ist der Leitwert?

Lösung:

$$R = 1/G \Rightarrow G = 1/R = 1/0,5 \Omega = \mathbf{2 \text{ S}}$$

Der Widerstand eines Drahtes, z. B. von einem Leiter, kann berechnet werden, wenn Material und Abmessungen des Drahtes bekannt sind. Dazu müssen die **Leitfähigkeit** oder der **spezifische Widerstand** des Materials aus einer Tabelle entnommen werden (**Tabelle 1**).

Tabelle 1: Leitfähigkeit und spezifischer Widerstand

Werkstoff	Leitfähigkeit γ in $\frac{\text{m}}{\Omega \cdot \text{mm}^2}$	spezifischer Widerstand ρ in $\frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$
Silber	60	0,0167
Kupfer	56	0,0178
Aluminium	36	0,0278
Nickelin (CuNi30Mn)	2,5	0,4
Konstantan (CuNi44)	2,04	0,49
Kohle	0,015	65

Die Werte sind gerundet und gelten für 20 °C

Leiterwiderstand

$$R = \frac{l}{\gamma \cdot A}$$

$$\rho = \frac{1}{\gamma}$$

$$R = \frac{\rho \cdot l}{A}$$

- R Widerstand l Leiterlänge A Querschnitt
- γ Leitfähigkeit (γ griech. Kleinbuchstabe Gamma)
- ρ spezifischer Widerstand (ρ griech. Kleinbuchstabe Rho)

An Stelle von γ wird auch das κ (griech Kleinbuchstabe Kappa) verwendet.

Beispiel 4:

Für eine Transformwicklung sind 30 m Kupferdraht mit 0,5 mm² erforderlich. Wie groß ist der Wicklungswiderstand?

Lösung:

$$R = \frac{l}{\gamma \cdot A} = \frac{30 \text{ m}}{56 \text{ m}/(\Omega \cdot \text{mm}^2) \cdot 0,5 \text{ mm}^2} = \mathbf{1,07 \Omega}$$

Der Widerstand hängt von der Temperatur ab. Der mit den Werten von Tabelle 1 errechnete Widerstand gilt für eine Temperatur vom 20 °C. Bei Abweichungen von dieser Temperatur erhält man die Widerstandsänderung mithilfe des **Temperaturkoeffizienten α** des betreffenden Materials.

Bei Kupfer ist $\alpha_{\text{Cu}} = 0,0039 \text{ 1/K}$ und bei Aluminium $\alpha_{\text{Al}} = 0,0038 \text{ 1/K}$.

- ΔR Widerstandsänderung (Δ griech. Großbuchstabe Delta)
- α Temperaturkoeffizient
- R_1 Kaltwiderstand bei 20 °C
- $\Delta \vartheta$ Übertemperatur über 20 °C (ϑ griech. Kleinbuchstabe Theta)
- R_2 Warmwiderstand

$$\Delta R = \alpha \cdot R_1 \cdot \Delta \vartheta$$

$$R_2 = R_1 + \Delta R$$

$$R_2 = R_1(1 + \alpha \cdot \Delta \vartheta)$$

Unterschiede von Temperaturen, z. B. bei $\Delta \vartheta$ der Übertemperatur, besitzen an Stelle der berechneten Einheit nach Norm die Einheit Kelvin (K), z. B. 25 °C – 20 °C = 5 °C = 5 K. Deshalb hat der Temperaturkoeffizient die Einheit 1/K.

Beispiel:

Eine Kupferwicklung (Temperaturkoeffizient $\alpha = 0,0039 \text{ 1/K}$) hat bei Raumtemperatur von 20°C einen Widerstand von $0,5 \Omega$. Im Betrieb erreicht die Wicklung eine Temperatur von 110°C . Wie groß ist nun der Widerstand?

Lösung:

$$\Delta\vartheta = 110^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C} = 90 \text{ K}$$

$$\Delta R = \alpha \cdot R_1 \cdot \Delta\vartheta = 0,0039 \text{ 1/K} \cdot 0,5 \Omega \cdot 90 \text{ K} = \mathbf{0,176 \Omega}$$

$$R_2 = R_1 + \Delta R = 0,5 \Omega + 0,176 \Omega \approx \mathbf{0,68 \Omega}$$

Die elektrische Spannung bewirkt, dass durch einen Widerstand ein elektrischer Strom fließt. Die Spannung hat das Formelzeichen U und die Einheit Volt (V), benannt nach Volta, italienischer Physiker, 1745 bis 1827. Die Spannung wird mit einem Spannungsmesser gemessen. Dieser wird zwischen die Punkte der Schaltung geschaltet, zwischen denen die zu messende Spannung liegt (**Bild 1**).

Entsprechend zu den Stromarten unterscheidet man **Gleichspannung**, **Wechselspannung** und **Mischspannung**. Bei der Wechselspannung ist die **Sinusspannung** besonders verbreitet.

Das **Ohm'sche Gesetz** gibt den Zusammenhang zwischen Stromstärke, Spannung und Widerstand an. Dabei ist wichtig, dass es nur für zusammengehörige Größen gilt, z. B. nur für die Stromstärke, die Spannung und den Widerstand desselben Wicklungsteils oder Bauelements.

Ohm'sches Gesetz

Merkformel:

$$I = \frac{U}{R} \quad \mathbf{1}$$

$$U = R \cdot I \quad \mathbf{2}$$

I Stromdichte	$[I] = \text{A}$
U Spannung	$[U] = \text{V}$
R Widerstand (Resistanz)	$[R] = \Omega$

Bei konstantem Widerstand besteht zwischen Stromstärke und Spannung ein linearer Zusammenhang (**Bild 2**). Widerstände mit dieser linearen $I(U)$ -Kennlinie nennt man **Ohm'sche Widerstände**.

Leiterabzweige kommen in elektrischen Schaltplänen sehr häufig vor. In Bild 1 sind die Leiter zum Spannungsmesser von den Leitern zum Widerstand abgezweigt. Nach DIN EN 61082 können Leiterabzweige verschiedenartig gezeichnet werden, obwohl sie elektrisch das Gleiche aussagen (**Bild 3**). Im Buch werden zur Gewöhnung, wie in der beruflichen Praxis, alle Arten angewendet, vor allem die Formen mit und ohne Punkt.

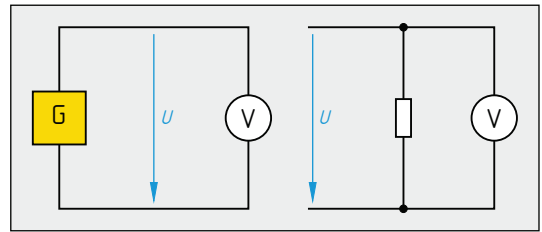


Bild 1: Messung der Spannung

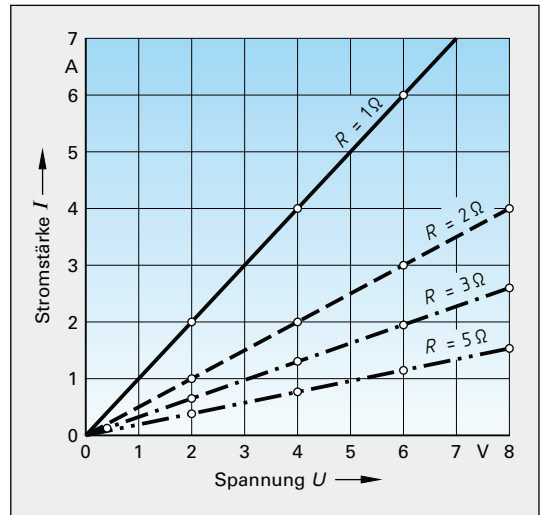


Bild 2: $I(U)$ -Kennlinie von Ohm'schen Widerständen

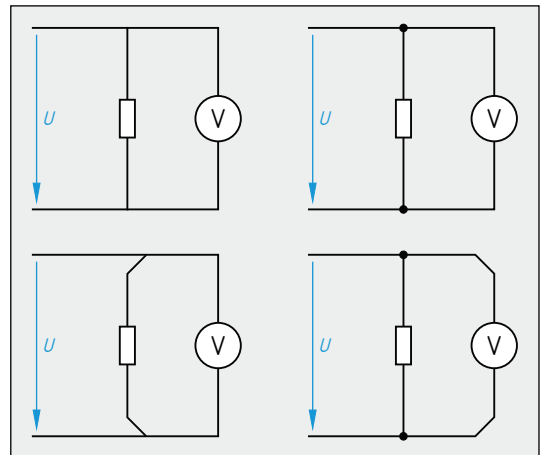


Bild 3: Darstellungen von Abzweigungen nach DIN EN 61082

Wiederholung und Vertiefung

1. Welche Einheit hat die elektrische Stromstärke?
2. Was versteht man unter Einphasenwechselstrom?
3. Erklären Sie den Begriff Sinusstrom.
4. Welche Einheiten hat die Frequenz?
5. Was versteht man unter der Stromdichte?
6. Wie hängen Leitwert und Widerstand voneinander ab?

3.2 Schaltungen von Zweipolen

Als Zweipole bezeichnen wir Betriebsmittel mit zwei Anschlüssen für den Betriebsstromkreis. Derartige Zweipole sind z. B. LED-Lampen, Spulen oder Spannungsmesser. Zweipole können Erzeuger oder Verbraucher sein.

Für Zweipole als Erzeuger gelten dieselben Gesetze wie für Zweipole als Verbraucher.

Eine **Reihenschaltung** liegt vor, wenn der Strom nacheinander durch die Zweipole fließt, wenn also das Ende des vorhergehenden Zweipols mit dem Anfang des folgenden verbunden ist (**Bild 1**).

In der Reihenschaltung ist die Stromstärke an jeder Stelle gleich.

Wegen $U = R \cdot I$ und wegen der gleichen Stromstärke I liegt am Zweipol mit dem größten Widerstand in der Reihenschaltung auch die größte Spannung.

In der Reihenschaltung verhalten sich die Spannungen wie die Widerstände.

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1}{R_2}$$

1

In der Reihenschaltung ist die Gesamtspannung so groß wie die Summe der Teilspannungen (**Bild 1**).

U Gesamtspannung
 U_1, U_2, \dots Teilspannungen

$$U = U_1 + U_2 + \dots$$

2

Den Widerstand, der dieselbe Stromstärke aufnimmt wie eine Schaltung, nennt man Ersatzwiderstand der Schaltung. Wegen $R = U/I$ folgt für den Ersatzwiderstand der Reihenschaltung:

R Ersatzwiderstand
 R_1, R_2, \dots Teilwiderstände

$$R = R_1 + R_2 + \dots$$

3

Eine **Parallelschaltung** liegt vor, wenn alle Zweipole an dieselbe Spannung angeschlossen sind, wenn also alle gleich liegenden Anschlüsse der Zweipole miteinander verbunden sind (**Bild 2**).

In der Parallelschaltung liegt an jedem Zweipol dieselbe Spannung.

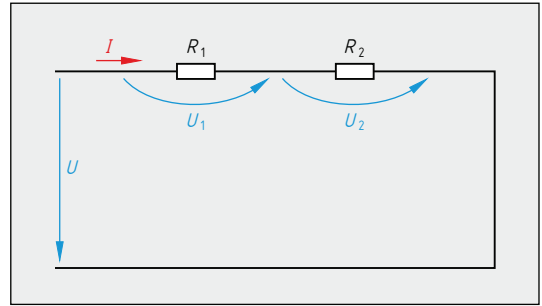


Bild 1: Reihenschaltung

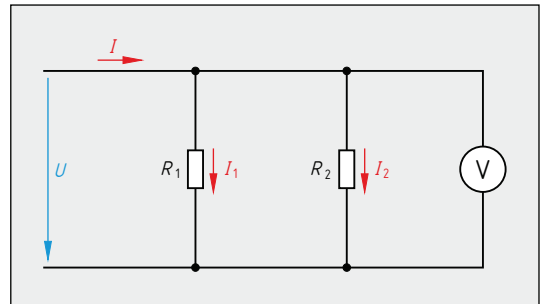


Bild 2: Parallelschaltung

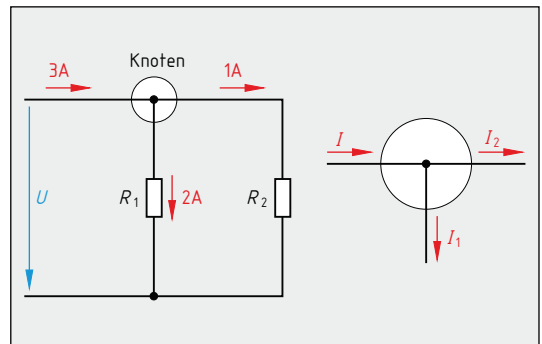


Bild 3: Knotenregel

Wegen $I = U/R$ folgt für die Parallelschaltung:

In der Parallelschaltung verhalten sich die Stromstärken umgekehrt wie die Widerstände.

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1}$$

4

Bei der Parallelschaltung tritt mindestens eine Stromverzweigung auf (**Bild 3**). Da an der Stromverzweigung kein Stau der Elektronen eintreten kann, gilt folgender wichtiger Satz, übrigens auch dann, wenn keine Parallelschaltung vorliegt (Knotenregel):

Bei einem Knoten fließt so viel Strom zu, wie ab.

Aus der **Knotenregel** (1. Kirchhoff'sche Regel) folgt, dass bei der Parallelschaltung die Gesamtstromstärke so groß ist, wie die Summe der Teilstromstärken.

Knotenregel

I Gesamtstromstärke
 I_1, I_2, \dots Teilstromstärken

$$I = I_1 + I_2 + \dots \quad 1$$

Wegen der gleichen Spannungen erhalten wir für den Ersatzwiderstand der Parallelschaltung aus

$$I = U/R = U/R_1 + U/R_2 + \dots \text{ Formel 2.}$$

Ersatzwiderstand

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots \quad 2$$

Ersatzleitwert

$$G = G_1 + G_2 + \dots \quad 3$$

Bei 2 Widerständen:

$$R = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} \quad 4$$

R Ersatzwiderstand
 R_1, R_2, \dots Teilwiderstände

G Ersatzleitwert
 G_1, G_2 Einzeleitwerte

Die meisten Verbraucher sind zueinander parallel geschaltet, da sie dann dieselbe Spannung erhalten. Reicht die Stromstärke eines Erzeugers nicht aus, so wird ein weiterer Erzeuger parallel geschaltet. In dieser Weise sind die Generatoren eines Kraftwerks parallel geschaltet.

Gemischte Schaltungen enthalten Reihenschaltungen und Parallelschaltungen (**Bild 1**). Zur Berechnung des Ersatzwiderstandes einer gemischten Schaltung wandelt man nacheinander die Reihenschaltungen und Parallelschaltungen in ihre Ersatzschaltungen um und fasst diese zusammen (**Bild 1**).

Außer der Knotenregel gilt bei gemischten Schaltungen die **Maschenregel** (**Bild 2**).

Bei den gemischten Schaltungen gibt es zwischen zwei Knoten mehrere Wege für den Strom. Ähnlich wie bei einem Netz sind Maschen vorhanden. Fährt man in einem derartigen Netzwerk von einem beliebigen Knoten auf beliebigem Weg zum selben Knoten zurück, so durchfährt man eine größere oder kleinere Zahl von Spannungen. Die Spannungen können dabei positiv oder negativ sein. Positiv sind die Spannungen, wenn der Umfahrungssinn die gleiche Richtung hat wie der Spannungspfeil. Negativ sind die Spannungen, wenn der Umfahrungssinn gegen den Spannungspfeil (Bezugspfeil, **Abschnitt 3.3**) gerichtet ist. Die Summe dieser Spannungen ist in einer Masche gleich Null.

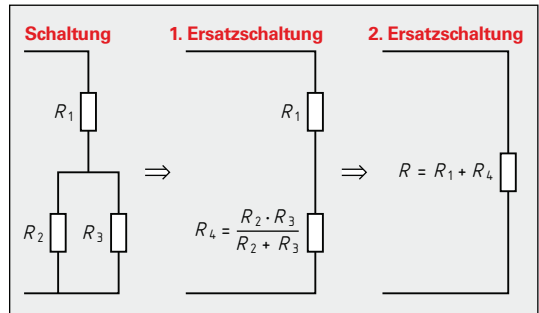


Bild 1: Reduzierung einer gemischten Schaltung

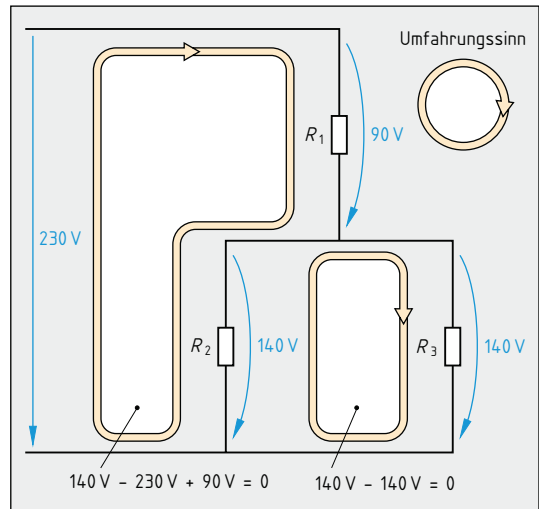


Bild 2: Maschenregel (2. Kirchhoff'sche Regel)

Maschenregel: Bei einem elektrischen Netzwerk ist die Summe der Spannungen gleich Null, wenn man von einem Knoten auf beliebigem Weg zu ihm selbst zurückfährt.

Maschenregel

$$U_1 + U_2 + \dots = 0 \quad 5$$

Gemischte Schaltungen treten innerhalb von elektrischen Maschinen häufig auf.

Wiederholung und Vertiefung

1. Was versteht man unter Zweipolen?
2. Geben Sie das Merkmal einer Reihenschaltung an.
3. Wie verhalten sich in der Parallelschaltung die Stromstärken zu den Widerständen?
4. Wie lautet die Knotenregel?
5. Wie lautet die Maschenregel?

3.3 Bezugspeile

In den Bildern des Buches werden Spannungen und Ströme oft durch Pfeile angegeben. Diese *Bezugspeile* (Zählpfeile) geben nicht in jedem Fall die tatsächliche Richtung von Spannung und Strom an.

Die in Schaltungen oft mit Pfeilen angegebenen Spannungen U bzw. u sowie Ströme I bzw. i können oft eine andere Richtung als der Pfeil haben.

Spannungsbezugspeile

Bei Gleichspannungserzeugern unterscheidet man bekanntlich den Pluspol und den Minuspol (**Bild 1**). Hier wird der *Spannungsbezugspeil* vom Pluspol zum Minuspol gezeichnet. Man hat vereinbart, von einer **positiven Spannung** zu sprechen, wenn die Richtung der Spannung (Plus nach Minus) gleich dieser Bezugspeilrichtung ist. Der Pluspol liegt also dann dort, wo der Spannungsbezugspeil beginnt, und der Minuspol ist dort, wo die Pfeilspitze des Bezugspeils hinzeigt (Bild 1). Umgekehrt ist das bei einer *negativen* Spannungsangabe, z. B. -12 V (**Bild 2**). Der Minuspol liegt dann dort, wo der Bezugspeil beginnt, und der Pluspol dort, wohin die Pfeilspitze des Bezugspeils zeigt.

Bei einer positiven Spannungsangabe ist der Pluspol dort, wo der Bezugspeil der Spannung beginnt. Bei einer negativen Spannungsangabe ist der Pluspol dort, wohin der Spannungsbezugspeil zeigt.

Spannungsbezugspeile werden mit geraden oder gebogenen Pfeilen gezeichnet (Bild 2). Man muss dabei beachten, dass aus dem Bezugspeil der Anfangspunkt und der Endpunkt des Stromkreises erkennbar sein müssen, zwischen denen die angegebene Spannung besteht.

Bei Wechselspannungserzeugern kann eigentlich keine eindeutige Spannungsrichtung festgelegt werden. Deshalb werden die Anschlüsse eines Wechselspannungserzeugers auch nicht mit Plus und Minus bezeichnet (**Bild 3**). Bei einem Wechselspannungsnetz werden die Anschlüsse meistens mit L (Außenleiter) und N (Neutralleiter) bezeichnet. Eine Halberiode lang ist bekanntlich dann L gegenüber N positiv. In der nächsten Halberiode dagegen N gegenüber L. Eine Spannungsrichtung kann deshalb eigentlich nicht angegeben werden. Trotzdem ist die Angabe eines Spannungsbezugspeils üblich. Der Bezugspeil von Bild 3 bedeutet, dass von einer positiven

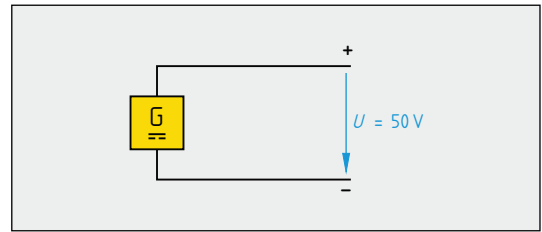


Bild 1: Spannungsbezugspeil bei einem Gleichspannungserzeuger

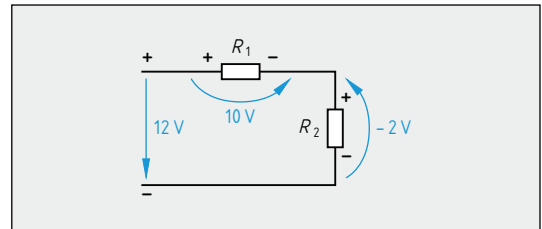


Bild 2: Spannungsbezugspeile bei einer Reihenschaltung

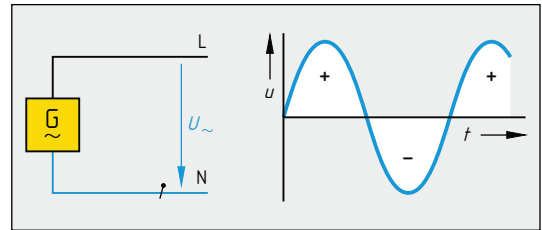


Bild 3: Spannungsbezugspeil bei einem Wechselspannungserzeuger

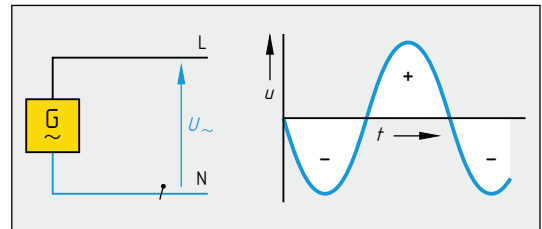


Bild 4: Wechselspannungserzeuger wie in Bild 3, aber mit anderem Spannungsbezugspeil

Spannung gesprochen werden soll, wenn L gegenüber N positiv ist, von einer negativen Spannung aber dann, wenn N gegenüber L positiv ist.

Die Kennzeichnung der Spannung mit positiv oder negativ ist bei Wechselspannung nur dann sinnvoll, wenn Spannungsbezugspeile gesetzt sind.

Derselbe Sachverhalt wie in Bild 3 wird in **Bild 4** beschrieben. Infolge der Umkehrung des Spannungsbezugspeils muss jetzt (Bild 4) in der ersten Halberiode von einer negativen Spannung gesprochen werden, während vorher (Bild 3) in derselben Halberiode die Spannung positiv war.