

# Sicher experimentieren mit elektrischer Energie in Schulen

Grundlagen – Gefährdungsbeurteilung – Experimentieren

Fotos:

- Abb. 8* Seite 14
- Abb. 11* Seite 18
- Abb. 12/13* Seite 19
- Abb. 14* Seite 21
- Abb. 15/16* Seite 22
- Abb. 17/18* Seite 23
- Abb. 19* Seite 25

beigestellt von

DGUV Information 202-039 „Sicher experimentieren mit elektrischer Energie in Schulen“ (bisher (BG/GUV-SI 8040) der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung e.V. (DGUV),  
Glinkastraße 40, 10117 Berlin  
Internet: [www.dguv.de](http://www.dguv.de)

# Inhalt

<b>1. Elektrotechnische Grundlagen</b>	<b>5</b>
1.1. Gefahren durch elektrischen Strom	5
1.2. Schutz gegen elektrischen Schlag	8
1.2.1. Basisschutz	9
1.2.2. Fehlerschutz	9
1.2.2.1. Schutz durch automatische Abschaltung der Stromversorgung	10
1.2.2.2. Schutz durch doppelte oder verstärkte Isolierung	11
1.2.2.3. Schutz durch Schutztrennung	11
1.2.2.4. Schutz durch Kleinspannung mittels SELV- oder PELV-System	12
1.2.3. Zusätzlicher Schutz	14
1.3. Prüfen elektrischer Anlagen und Geräte	15
<b>2. Experimentieren mit elektrischer Energie in Schulen</b>	<b>17</b>
2.1. Experimentieren mit nicht berührungsgefährlicher Spannung	17
2.2. Experimentieren mit Schutz durch SELV- oder PELV-System	19
2.2.1. Technische Voraussetzungen	19
2.2.2. Organisatorische Schutzmaßnahmen in SELV-/PELV-Systemen	20
2.3. Experimentieren mit gefährlicher Spannung größer 50 V AC/120 V DC	20
2.3.1. Technische Voraussetzungen bei Experimenten mit berührungsgefährlicher Spannung	21
2.3.2. Organisatorische Schutzmaßnahmen bei Experimenten mit berührungsgefährlicher Spannung	23
2.3.3. Verhaltensmaßnahmen bei Experimenten mit berührungsgefährlicher Spannung	24
<b>3. Erste Hilfe bei Elektrounfällen</b>	<b>26</b>
<b>4. Anhang A</b>	<b>28</b>
<b>5. Anhang B</b>	<b>29</b>
<b>6. Anhang C</b>	<b>30</b>

# Einleitung

Das Experimentieren mit elektrischer Energie in Schulen findet in Unterrichtsräumen statt, die gemäß der ÖVE EN1 Teil 4 § 54 „Unterrichtsräume mit Experimentiereinrichtungen“ errichtet sein sollen.

Grundsätzlich gilt für den Unterricht im Fachraum, dass Schülerinnen und Schüler in vorhandenen Gefahren sowie erforderlichen Schutzmaßnahmen (z. B. Not-Aus-Einrichtung, Erste Hilfe-Maßnahmen, Fluchtwege) zu unterweisen sind.

Die Unterweisung ist zu dokumentieren (z. B. im Kurs- oder Klassenbuch).

## Im Einzelnen soll diese Broschüre

- Lehrkräfte mit dem Umgang mit Strom und Spannung vertraut machen, bei der Einschätzung der Gefahren unterstützen und über Schutzmaßnahmen informieren;
- Vorschriften und Fachinformationen über notwendige Maßnahmen zur elektrischen Sicherheit bei Einrichtungen, Anlagen und Geräten vermitteln;
- Rahmenbedingungen für das sichere Experimentieren im Unterricht aufzeigen;
- Hinweise zur Vermittlung von Grundlagen der elektrischen Sicherheit anbieten;
- darüber hinaus Grundlagen der elektrischen Sicherheit selbst zum Unterrichtsinhalt machen;
- Unterstützung bei der Durchführung der Gefährdungsbeurteilung mit Ablaufschema und Checkliste zu deren Dokumentation geben.

# 1. Elektrotechnische Grundlagen

## 1.1. Gefahren durch elektrischen Strom

### Welche Wirkung hat der elektrische Strom auf den menschlichen Organismus?

Ohne vorab getroffene Schutzmaßnahmen kann elektrischer Strom für den Menschen gefährlich sein. Wenn über einen menschlichen Körper ein Stromkreis geschlossen wird, kommt es zu einer Körperdurchströmung.

Maßgeblich für eine schädigende Wirkung auf den menschlichen Körper sind Spannung und Stromstärke, Frequenz, Körperwiderstand, Dauer der Durchströmung, Weg des Stromes durch den Körper und Größe der Kontaktfläche.

Häufig ereignen sich Stromunfälle im Niederspannungsbereich mit 230 V bzw. 400 V, die in Haushalt, Gewerbe und Industrie üblich sind.

Bei Elektrounfällen wird unterschieden zwischen Niederspannungs- und Hochspannungsunfällen (Niederspannung 1000 V AC bzw. 1500 V DC, Hochspannung > 1000 V AC bzw. > 1500 V DC).

Bei schweren Niederspannungsunfällen steht das lebensbedrohliche Herzkammerflimmern im Vordergrund. Allerdings kann es durch Lichtbogeneinwirkung auch zu Verbrennungen kommen.

Bei Hochspannungsunfällen kommt es primär zu Schäden durch Verbrennungen von Gewebe, jedoch sind auch im Hochspannungsbereich Durchströmungen des Körpers möglich, die zum Herzkammerflimmern führen.

Bei größeren Stromstärken kann es an den Ein- und Austrittstellen beim Menschen zu starker Wärmeentwicklung kommen, die zu Verbrennungen in Form

von „**Strommarken**“ führt. Bei einem elektrischen Unfall spielen nicht nur Haut- und Körperinnenwiderstand eine Rolle, sondern auch die Leitfähigkeit von Gerätegehäuse, Kleidung, Schuhwerk, Bodenbelag etc.

Je nach Stärke des Stromes, der durch den Körper fließt, genügen Millisekunden bis Sekunden, um schwere Verletzungen zu verursachen bzw. den Tod herbeizuführen.

Bereits das Durchströmen mit geringen Stromstärken kann zu Krampfgefühlen in der Brust, Atemnot, Angstzuständen etc. führen. Stromstärken von 0,5 bis 2 mA werden vom Menschen in der Regel als Kribbeln wahrgenommen.

Oberhalb der sogenannten Loslassgrenze reagiert die Muskulatur auf elektrischen Strom mit deutlichen Muskelverkrampfungen. Dies führt dazu, dass sich die bzw. der Betroffene aus dem Stromkreis selbst nicht befreien kann. Deshalb spricht man auch vom „**Klebenbleiben am Strom**“. Die Loslassgrenze liegt bei 6–15 mA.

In einer Größenordnung von 25–50 mA kann Wechselstrom zu Herzrhythmusstörungen und ab 50 mA, abhängig von der Durchströmungsdauer, zum sogenannten Herzkammerflimmern führen, wenn das Herz in den Stromkreis einbezogen ist.

Das Herz ist für Stromimpulse anfällig. Der normale Herzrhythmus kann durch einen Stromimpuls aus dem „**Takt**“ kommen und in „**Herzkammerflimmern**“ übergehen.

**In Abhängigkeit von der Dauer der Körperdurchströmung und dem Stromweg können folgende Wirkungen beobachtet werden:**

Körperstrom (mA) Wechselstrom	mögliche Wirkungen
0 bis 0,2	unmerklich
0,2 bis 2	Kribbeln
2 bis 6	Muskelkontraktionen, überwindbar
6 bis 15	Schmerzen, Erreichen der Loslassschwelle

15 bis 25	Loslassen meist überschritten, leichte Behinderung der Atmung, leichte Beeinflussung des Kreislaufes
25 bis 50	Loslassen unmöglich, Behinderung der Atmung, Herzrasen, Herzrhythmusstörung, Blutdruckanstieg
50 bis 80	steigende Gefahr von Herzkammerflimmern bei Durchströmung > 1 Herzperiode, Herzrhythmusstörung, Herzstillstand, Blutdruck stark erhöht, zunehmende Letalität (Todeswahrscheinlichkeit)
80 bis 120	Gefahr von Herzkammerflimmern zunehmend
120 bis 800	steigende Gefahr von Herzkammerflimmern bei Durchströmung < 1 Herzperiode, ansteigende Letalität
800 bis 2.000	Kammerflimmern häufig, thermische Wirkung bei Durchströmung > 10 s, Bewusstlosigkeit
> 2.000	Kammerflimmern, zunehmende thermische Gefährdung, Bewusstlosigkeit, Lungenschäden

## Was ist Herzkammerflimmern?

Normalerweise zeigt das Herz regelmäßige elektrische Aktionen (Abb. 1), die mit einer geordneten Pumpfunktion des Herzens und somit mit einem ausreichenden Blutdruck bzw. Blutkreislauf verbunden sind.

Beim Herzkammerflimmern ziehen sich die vielen Herzmuskelfasern völlig unabhängig voneinander zusammen: Das Herz „flimmert“ (Abb. 2). Die Pumpwirkung des Herzens ist aufgehoben. Dadurch bricht der Blutkreislauf zusammen. Man spricht von Herzkreislaufstillstand. Dieser führt zur Minderversorgung der Organe, einschließlich des Gehirns, mit Sauerstoff.



**Abb. 1** normaler Herzrhythmus



**Abb. 2** Herzkammerflimmern

Die einzigen Maßnahmen sind die Herz-Lungen-Wiederbelebung und die elektrische Defibrillation.

Die Chancen, ein Herzkammerflimmern zu überleben, nehmen mit jeder Minute rapide ab.

*Deshalb müssen alle Bemühungen darauf gerichtet sein, Verzögerungen zwischen dem Eintritt des Herzkammerflimmerns und der Defibrillation zu minimieren. Wir wissen heute, dass bei einem Herzkammerflimmern mit jeder verstrichenen Minute die Überlebenschancen ohne Defibrillation um 10 Prozent sinken. Je früher die Defibrillation erfolgt, desto größer ist die Wahrscheinlichkeit, ohne bleibende Schäden zu überleben (Kapitel 3: Erste Hilfe bei Elektrounfällen).*

## 1.2. Schutz gegen elektrischen Schlag

Personen müssen aufgrund der gefährlichen Wirkungen gegen elektrischen Schlag geschützt sein. Deshalb sind in den Fachhandel kommende elektrische Geräte und fachgerecht installierte elektrische Anlagen durch technische Schutzmaßnahmen abgesichert.

**Grundsätzlich ist davon auszugehen, dass**

- von CE-gekennzeichneten Geräten aus dem Handel,
- eine von einer Elektrofachkraft installierten elektrischen Anlage
- und von regelmäßig instand gehaltenen und geprüften Geräten und Anlagen

keine Gefahr ausgeht und die Sicherheit gewährleistet ist.

Zum Verständnis der Funktion von Schutzmaßnahmen werden die Netzelemente der öffentlichen Stromversorgung dargestellt.

Technische Schutzmaßnahmen gegen elektrischen Schlag (ÖVE/ÖNORM E 8001-1) müssen je nach Verwendungszweck der Geräte und Anlagen durch folgende Schutzstufen realisiert werden.

### 1.2.1. Basisschutz

Der Basisschutz wird auch als „Schutz gegen direktes Berühren“ oder als „1. Schutzebene“ bezeichnet.

Das Schutzziel heißt: Gefährliche aktive (im üblichen Betrieb unter Spannung stehende) Teile dürfen nicht berührbar sein.

Dies wird dadurch erreicht, dass aktive Teile

- vollständig mit einer Basisisolierung abgedeckt sind, die nicht zerstörungsfrei entfernt werden kann.

**Beispiel:** Die aktiven Teile eines vergossenen Steckernetzteiles sind gegen direktes Berühren geschützt.

- mit einer Abdeckung/Umhüllung versehen sind, die nicht unabsichtlich entfernbar ist.

**Beispiel:** Jede Steckdose besitzt eine Abdeckung, die entfernt werden kann. Das Gehäuse einer Mehrfachsteckdose (Tischverteilung) ist eine Umhüllung.

### 1.2.2. Fehlerschutz

Der Fehlerschutz wird auch als „Schutz bei indirektem Berühren“ bezeichnet. Er verhindert, dass beim Auftreten eines Defektes berührbare Teile eine gefährliche Spannung annehmen.

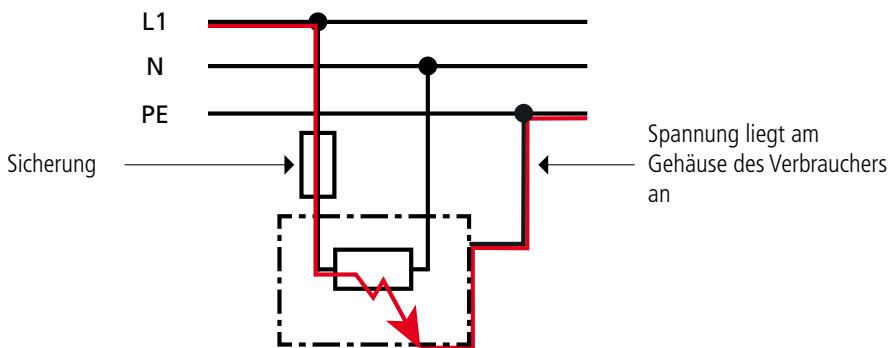
**Dieser Schutz wird dadurch gewährleistet, dass in der elektrischen Anlage eine oder mehrere der folgenden Schutzmaßnahmen angewendet werden:**

- Schutz durch automatische Abschaltung der Stromversorgung (siehe 1.2.2.1)
- Schutz durch doppelte oder verstärkte Isolierung (siehe 1.2.2.2)
- Schutz durch Schutztrennung für die Versorgung eines Verbrauchers (siehe 1.2.2.3)
- Schutz durch Kleinspannung mittels SELV- oder PELV-System (siehe 1.2.2.4)

### 1.2.2.1. Schutz durch automatische Abschaltung der Stromversorgung

In den fest installierten elektrischen Anlagen in Gebäuden wird der Schutz in der Regel durch automatische Abschaltung der Stromversorgung angewandt.

Steht bei einem Gerätedefekt das leitfähige Gehäuse unter Spannung, fließt Strom vom Leiter L1 über das Gehäuse und den Schutzleiter PE zur Spannungsquelle zurück. Dieser Strom entspricht faktisch dem Kurzschlussstrom und löst die Überstromschutzeinrichtung (Sicherung) aus; die Stromversorgung wird automatisch abgeschaltet.



**Abb. 3** Prinzip des Schutzes durch automatische Abschaltung der Stromversorgung im TN-S-System

Geräte mit Schutzleiter werden als Betriebsmittel der Schutzklasse I bezeichnet. Oft werden auch Geräte der Schutzklasse I mit diesem Symbol im Typenschild gekennzeichnet.



Symbol für Schutzleiter  
bei Schutzklasse I

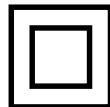
### 1.2.2.2. Schutz durch doppelte oder verstärkte Isolierung

**Doppelte oder verstärkte Isolierung (auch Schutzisolierung genannt) liegt vor, wenn**

- zusätzlich zur Basisisolierung eine weitere Isolierung oder
- eine verstärkte Isolierung vorhanden ist, die gleichzeitig Basis- und Fehler-schutz sicherstellt.

Diese Geräte besitzen in der Regel keinen Schutzleiter und werden als Betriebsmittel der Schutzklasse II bezeichnet.

Geräte der Schutzklasse II sind mit nebenstehendem Symbol gekennzeichnet.



Symbol für  
Schutzklasse II

### 1.2.2.3. Schutz durch Schutztrennung

Bei der Schutzmaßnahme „Schutztrennung“ wird der Verbraucher über einen eigenen, nicht geerdeten Stromkreis betrieben, der sicher (z. B. über einen Schutztrenntransformator) vom geerdeten öffentlichen Stromnetz abgetrennt ist.

Da elektrischer Strom nur in einem geschlossenen Stromkreis fließt, ist hierdurch sichergestellt, dass auch bei einem Geräte-fehler kein Strom über den Körper zur Erde abfließen kann. Der Basisschutz muss gewährleistet sein.

**Das Schutzprinzip ist im folgenden Bild dargestellt:**

**Hinweis:** Schutztrennung kann nur dann wirksam sein, wenn maximal ein Verbraucher je Steckdose am Trenntransformator angeschlossen wird.

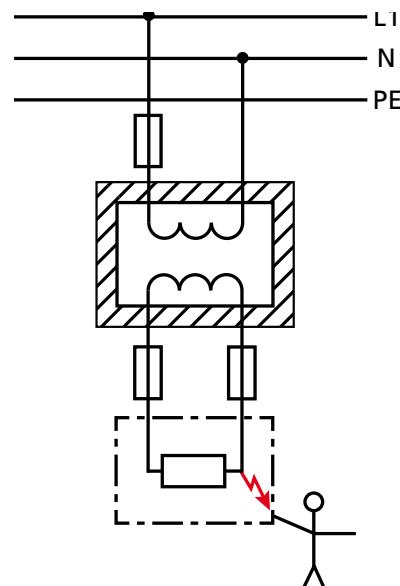


Abb. 4 Prinzip der Schutztrennung

Voraussetzung für die Schutz trennung ist die Gewährleistung einer sicheren Trennung vom (geerdeten) Versorgungsnetz.

**Einpolige Berührung** führt nicht zum elektrischen Schlag, weil die Spannungsquelle nicht mit der Erde verbunden ist.



Trenntransformator  
kurzschlussfest

#### 1.2.2.4. Schutz durch Kleinspannung mittels SELV- oder PELV-System

**Die Abkürzungen SELV und PELV bedeuten:**

- SELV Safety Extra-Low Voltage (Sicherheitskleinspannung)  
PELV Protective Extra-Low Voltage (Funktionskleinspannung)

**Die Schutzmaßnahme Kleinspannung mit sicherer Trennung mittels SELV- oder PELV-System umfasst drei Anforderungen, die gleichzeitig erfüllt sein müssen (ÖVE/ÖNORM E 8001-1):**

- Begrenzung der Spannung auf 50 V AC (Wechselspannung 50 Hz) oder 120 V DC (Gleichspannung)
- sichere Trennung von anderen Stromkreisen mittels Sicherheitstrenntransformator nach ÖVE EN 61558-1
- Basisisolierung

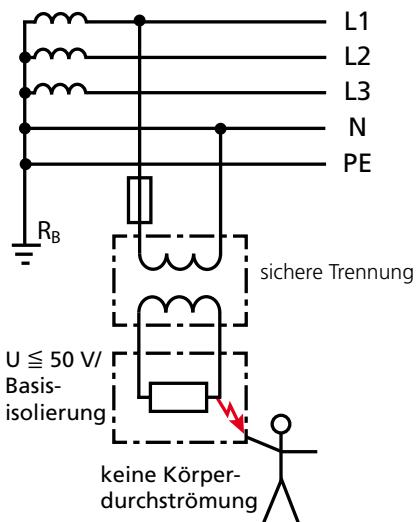


Abb. 5 Schutzwirkung von SELV

**Zur Bereitstellung einer Kleinspannung SELV oder PELV sind prinzipiell geeignet:**

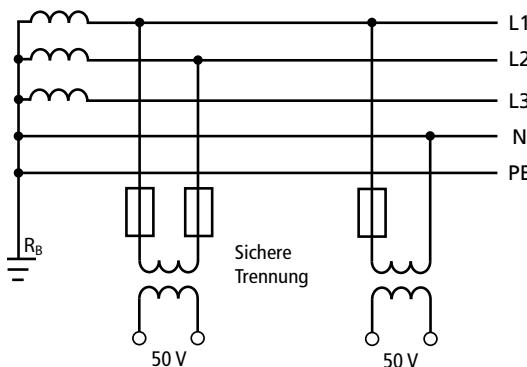
- Schutztrenntransformatoren
- Versorgung aus Akkus, Solarmodulen oder Batterien

Kleinspannungsnetzteile oder Ladegeräte, z. B. für Handys oder Laptops, erfüllen meist nicht den Anspruch an eine sichere Trennung und sind deshalb nicht geeignet.

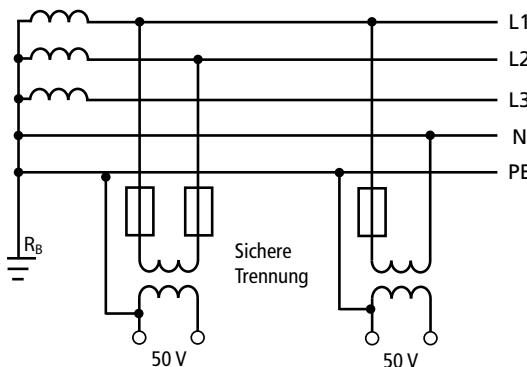
#### **Unterschied zwischen SELV und PELV:**

- SELV ist erdfrei.
- PELV darf einseitig geerdet werden.

Besonders in Bereichen der Informationstechnik kann es erforderlich sein, Kleinspannung einseitig zu erden.



**Abb. 6 SELV**



**Abb. 7 PELV**

**Geräte mit doppelter oder verstärkter Isolierung, die mit SELV oder PELV arbeiten, werden als Betriebsmittel der Schutzklasse III bezeichnet.**



Symbol für  
Schutzklasse III

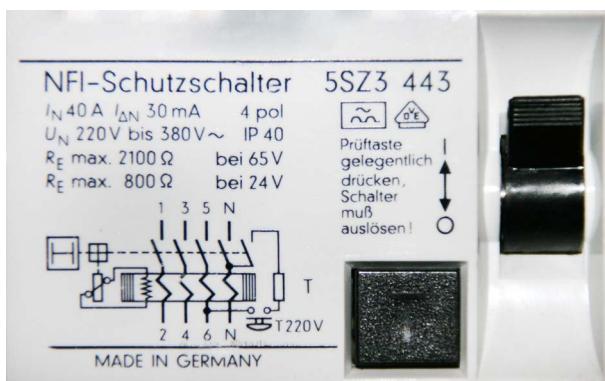
### 1.2.3. Zusätzlicher Schutz

Der Zusatzschutz wird realisiert durch einen zusätzlichen Fehlerstromschutzschalter (RCD = Residual-Current-Device) mit einem Fehlerstrom max. 30 mA.

Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen bestehen im Prinzip aus einem Stromwandler, in dem die hin- mit den rückfließenden Strömen verglichen werden.

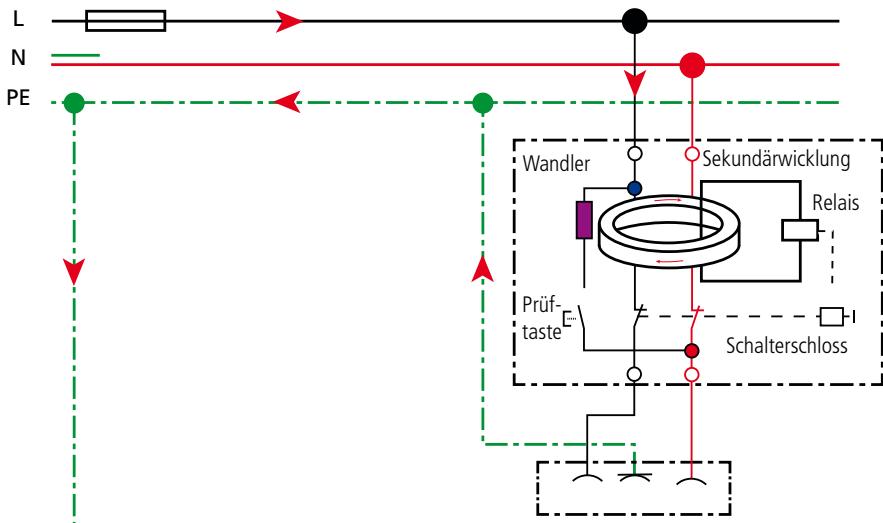
Beide Ströme verursachen im Stromwandler einen magnetischen Fluss. Sofern kein Fehler vorliegt, sind beide Ströme gleich und demzufolge auch die Beträge des von ihnen verursachten Magnetflusses. Da sich beide Magnetflüsse im Vorzeichen unterscheiden, heben sie sich gegenseitig auf.

Im Fehlerfall fließt ein Teil des hinfließenden Stromes über die Fehlerstelle zurück z. B. über eine Person, die ein defektes Gerät berührt. Der über die RCD zurückfließende Strom ist um den Betrag dieses Fehlerstromes geringer als der hinfließende. Aus dem Differenzstrom resultiert ein magnetischer Fluss, der in der Sekundärwicklung des Stromwandlers eine Spannung induziert, die den Stromkreis über ein Auslöse-Relais abschaltet.



**Abb. 8** Fehlerstrom-Schutzeinrichtung (RCD) mit Bemessungsdifferenzstrom  $I_{\Delta N} \leq 30 \text{ mA}$

**Sämtliche Schutzeinrichtungen gegen elektrischen Schlag sind in regelmäßigen Abständen entsprechend den geltenden Bestimmungen und Herstellerangaben zu überprüfen.**



**Abb. 9** Funktion einer Fehlerstrom-Schutzeinrichtung (RCD)

### 1.3. Prüfen elektrischer Anlagen und Geräte

Für die elektrische Sicherheit in Unterrichtsräumen mit Experimentierständen ist Voraussetzung, dass die elektrische Installation bestimmungsgemäß ausgeführt ist, sicher betrieben und nachweislich regelmäßig geprüft wird.

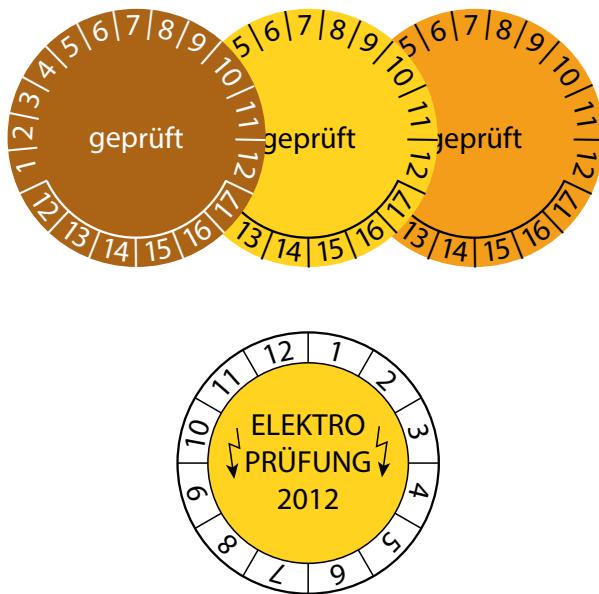
Die Arbeits- und Lehrmittel müssen ebenfalls regelmäßig wiederkehrend mit Nachweis geprüft werden. Diese Pflichten obliegen z. B. dem Schulbetreiber.

Grundsätzlich sollen nur Geräte mit ÖVS-, GS- oder VDE-Prüfzeichen beschafft und verwendet werden.

Unabhängig davon ist jede Lehrkraft verpflichtet, elektrische Geräte vor jeder Benützung auf sichtbare Mängel zu prüfen (Prüfliste Anhang B).

Damit die Lehrkraft erkennt, ob sie über ein innerhalb der festgelegten Prüfrist geprüftes Gerät verfügt, wird die Kennzeichnung mit einem Prüfsiegel empfohlen.

Bewährt haben sich farbige Plombenschnüre sowie Geräte- und Leitungsprüfplaketten mit Angabe des Prüftermins.



**Abb. 10** Beispiele für Prüfplaketten

## 2. Experimentieren mit elektrischer Energie in Schulen

Experimentieren mit elektrischer Energie ist das Vorführen, Üben und Betrachten von naturwissenschaftlichen und technischen Vorgängen der Elektrizität.

Vor dem Experimentieren erstellt die Lehrkraft eine Gefährdungsbeurteilung, aus der sie die technischen, organisatorischen und verhaltensorientierten Schutzmaßnahmen ableitet.

**Dazu ist eine entsprechende Fachkunde gefordert:**

Die Lehrkraft muss aufgrund ihrer Aus- und Fortbildung über die notwendigen Kenntnisse und Erfahrungen verfügen, um die von ihr geleiteten oder auszuführenden Experimente mit elektrischer Energie beurteilen und mögliche Gefahren erkennen zu können.

**Im Folgenden werden unterschiedliche Sicherheitsniveaus beim Experimentieren mit elektrischer Energie in der Schule beschrieben:**

### 2.1. Experimentieren mit nicht berührungsgefährlicher Spannung

**Nicht berührungsgefährliche Spannung liegt vor bei**

- Wechselspannung AC  $\leq 25\text{ V}$ ,
- Gleichspannung DC  $\leq 60\text{ V}$  oder
- möglichem Kurzschlussstrom  $\leq 3\text{ mA AC}$  oder  $\leq 12\text{ mA DC}$  oder
- elektrischer Entladungsenergie  $\leq 350\text{ mJ}$ .

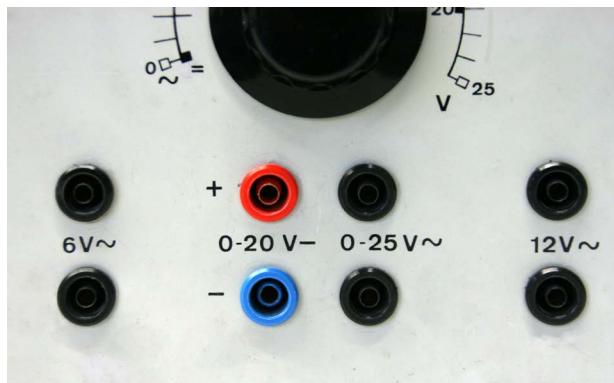
Bei diesen Voraussetzungen liegt keine elektrische Gefährdung vor. Ein Berührungsschutz nach Punkt 1.2.1 ist nicht erforderlich.

**Hinweis:** Kleinspannungsnetzteile oder Ladegeräte, z. B. für Handy oder Laptop, erfüllen diese Anforderungen nicht und sind deshalb zum Experimentieren nicht zugelassen.

## Die Bereitstellung der Spannung erfolgt

- netzunabhängig, z. B. durch Batterien, Solarzellen, oder
- netzabhängig durch Netzgeräte mit Sicherheitstrenntransformator mit begrenzter Ausgangsspannung 25 V AC/60 V DC (siehe 1.2.2.3).

**Beispiel:** Im Unterrichtsraum wird mit Elektrobaukästen experimentiert. Die Spannungsversorgung erfolgt aus Batterien oder Netzgeräten mit Sicherheitstrenntransformator bei einer Spannung von 9 V. In diesem Raum wird zwar experimentiert, aber die verwendete Spannung ist nicht berührungsgefährlich. Es sind keine weiteren elektrischen Schutzmaßnahmen erforderlich.



**Abb. 11** Netzgerät mit begrenzter Ausgangsspannung 25 V AC/DC

## 2.2. Experimentieren mit Schutz durch SELV- oder PELV-System

### 2.2.1. Technische Voraussetzungen

**SELV- und PELV-Systeme sind Schutzmaßnahmen gegen berührungsgefährliche Teile, die folgende Anforderungen erfüllen:**

- Begrenzung der Spannung auf Wechselspannung AC  $\leq 50$  V oder Gleichspannung DC  $\leq 120$  V
- sichere Trennung des SELV- oder PELV-Systems von anderen Stromkreisen
- Basisschutz nach Punkt 1.2.1

Zum sicheren Experimentieren im SELV- oder PELV-System müssen Sicherheits-Experimentierkabel verwendet werden, damit der Basisschutz sichergestellt wird.

**Einfache Experimentierkabel („Bananenstecker“) dürfen nicht verwendet werden, da der Schutz gegen direktes Berühren (Basisschutz) nicht gegeben ist.**



Abb. 12 Sicherheits-Experimentierkabel



Abb. 13 Experimentierkabel („Bananenstecker“)



## 2.2.2. Organisatorische Schutzmaßnahmen in SELV-/PELV-Systemen

- Auswahl eines geeigneten Versuches
- Auswahl geeigneter Geräte und geeigneten Zubehörs für SELV-/PELV-Systeme
- Unterweisung der Schülerinnen und Schüler in den Gefährdungen und Schutzmaßnahmen des Versuches

Bei der Einhaltung der technischen und organisatorischen Schutzmaßnahmen sind keine weiteren Verhaltensmaßnahmen erforderlich (siehe Beispiel).

**Beispiel:** In einer Physikübung erarbeiten die Schülerinnen und Schüler die Transformatorgesetze. Die Spulen sind schutzisoliert und es werden Sicherheits-Experimentierkabel verwendet. Die Spannungsversorgung erfolgt über einen Sicherheitstrenntransformator. Die Versuchsspannung beträgt auf der Primär- und Sekundärseite maximal 50 V. Es handelt sich um ein SELV-System. Zusätzliche technische Schutzmaßnahmen sind nicht notwendig. Die organisatorischen Maßnahmen nach 2.3.2 sind umzusetzen.

## 2.3. Experimentieren mit gefährlicher Spannung größer 50 V AC/120 V DC

Grundsätzlich soll in allen Jahrgangsstufen nur mit nicht berührungsgefährlicher Spannung oder mit einem SELV-/PELV-System experimentiert werden.

Bei der Auswahl und Vorbereitung der Experimente mit berührungsgefährlicher Spannung obliegt der Lehrkraft eine besondere Verantwortung, denn auch bei Einhaltung der nachgenannten Schutzmaßnahmen bleibt eine Gefährdung bestehen.

Dies gilt gleichermaßen für von der Lehrkraft angeleitete, wie auch für selbst ausgeführte Experimente.

### 2.3.1. Technische Voraussetzungen bei Experimenten mit berührungsgefährlicher Spannung

Für Unterrichtsräume, in denen mit berührungsgefährlicher Spannung experimentiert werden soll, müssen die Anforderungen der ÖVE EN 1

§ 54 Teil 4 „Unterrichtsräume mit Experimentiereinrichtungen“ erfüllt sein:

- Not-Aus-Einrichtung

Jede Experimentiereinrichtung, an der mit berührungsgefährlicher Spannung gearbeitet werden kann, muss mit einem Not-Aus-Schalter ausgerüstet sein, der alle Experimentiereinrichtungen von der Stromversorgung trennt. Alle vorhandenen Not-Aus-Schalter müssen in die Not-Aus-Kette eingebunden sein.

An Experimentiereinrichtungen ohne Not-Aus-Schalter dürfen keine Experimente mit berührungsgefährlicher Spannung durchgeführt werden.



„Schneider Electric“  
beigestellt von Schneider Electric

Zusätzlich muss mindestens an jedem Ausgang ein Not-Aus-Schalter vorhanden sein. Die Wiedereinschaltung nach einer Not-Aus-Betätigung darf nur durch eine befugte Person mittels einer übergeordneten Schalteinrichtung, z. B. eines Pilztasters mit Schlüssel, möglich sein.

- Fehlerstrom-Schutzeinrichtung (siehe 1.2.3)

Die Steckdosenstromkreise an den Experimentiereinrichtungen müssen mit Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen (RCDs) mit einem Fehlerstrom  $I_{\Delta} \leq 30 \text{ mA}$  versehen sein.

- Trenneinrichtung

Sämtliche Stromkreise an den Experimentiereinrichtungen eines Raumes müssen einzeln oder in Gruppen allpolig von der Stromversorgung getrennt werden können. Diese Trenneinrichtung muss gegen unbefugtes Einschalten gesichert sein (z. B. Schlüsselschalter).

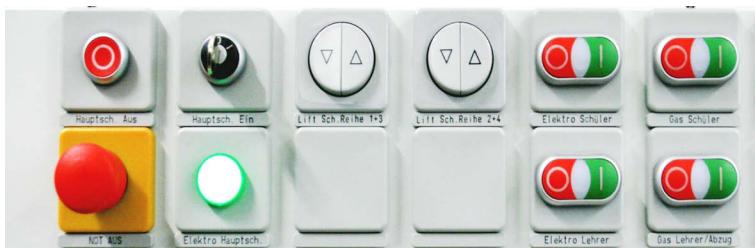


Abb. 15 Tableau mit Trenneinrichtung

- Zusätzlicher Potenzialausgleich

In Unterrichtsräumen mit Experimentiereinrichtungen müssen alle berührbaren, fremden, leitfähigen Teile (wie z. B. Wasser- und Gasleitungen) mit Potenzialausgleichsleitern (mind. mit  $4 \text{ mm}^2 \text{ Cu}$ ) untereinander und mit dem Schutzeleiter verbunden sein.

- Kennzeichnung von Steckdosen

Steckdosen außerhalb der Experimentiereinrichtungen, die die genannten Anforderungen erfüllen und deshalb zum Experimentieren geeignet sind, müssen als solche gekennzeichnet sein.

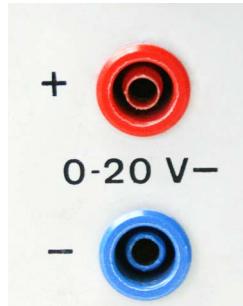


Abb. 16 gekennzeichnete Steckdose

Um Verwechslungen zu vermeiden, kann es erforderlich sein, andere Steckdosen im Raum zu kennzeichnen, siehe Abb. 16.

An solchermaßen gekennzeichneten Steckdosen sind die erforderlichen Schutzmaßnahmen in der Regel nicht oder nicht im notwendigen Maße vorhanden.

- Berührungssichere Steckbuchsen  
Einpolige Anschlussstellen an Experimentiereinrichtungen, die mit nicht berührungssicherer Spannung versorgt werden können, müssen vollständig berührungssichere Steckdosen sein (Laborsteckbuchsen, Sicherheitsbuchsen).
- Sicherheits-Experimenterkabel  
Für Experimente mit berührungsgefährlicher Spannung müssen Sicherheits-Experimenterkabel mit isolierten Kontakten verwendet werden.



**Abb. 17** Sicherheitsbuchsen



### 2.3.2. Organisatorische Schutzmaßnahmen bei Experimenten mit berührungsgefährlicher Spannung

Die Vorbereitung und Durchführung der Experimente liegen in der unmittelbaren Verantwortung der Lehrkraft.

**Für das Experimentieren mit berührungsgefährlicher Spannung in Unterrichtsräumen sind Maßnahmen festgelegt, die von der Lehrkraft umgesetzt werden müssen:**

- Die fehlerfreie Funktion von Not-Aus-Einrichtung und Fehlerstromschutzeinrichtung ist vor jedem Experimentieren mit berührungsgefährlicher Spannung zu prüfen.
- Die wiederkehrenden Prüfungen der elektrischen Geräte und Anlagen müssen durchgeführt und dokumentiert sein.

- Alle für das Experimentieren erforderlichen Betriebsmittel (Leitungen, Bauteile) sind vor der Benutzung auf offensichtlich erkennbare Beschädigungen zu überprüfen. Beschädigte Betriebsmittel dürfen nicht verwendet werden.
- Vor jedem Schüler- oder Lehrerexperiment mit berührungsgefährlicher Spannung sind die Schülerinnen und Schüler über die versuchsspezifischen Gefährdungen und Schutzmaßnahmen zu unterrichten.  
In diesem Zusammenhang wird der Hinweis auf ein Verbot häuslicher Experimente mit berührungsgefährlicher Spannung dringend empfohlen.
- Vor dem Zuschalten der elektrischen Energie hat sich die Lehrkraft vom sicheren und ordnungsgemäßen Versuchsaufbau zu überzeugen.

**Beispiel:** Im Physikraum werden sowohl am Lehrerexperimentiertisch als auch an den Schülerarbeitstischen elektrische Experimente durchgeführt. Für die Schülerinnen und Schüler werden Stromversorgungsgeräte bereitgestellt, deren maximale Ausgangsspannung AC 12 V und DC 12 V nicht überschreitet. Am Lehrertisch werden Experimente mit Spannungen DC > 150 V an Elektronenröhren vorgeführt.

**Die** Experimente am Lehrertisch mit berührungsgefährlicher Spannung erfordern besondere Sicherheitsmaßnahmen.

### **2.3.3. Verhaltensmaßnahmen bei Experimenten mit berührungsgefährlicher Spannung**

- Jeder Aufbau, Umbau und Abbau von Versuchsanordnungen darf nur im spannungsfreien Zustand erfolgen.
- Die Lehrkraft muss vor Spannungsfreigabe jeden Versuchsaufbau der Schülerinnen und Schüler prüfen. Die Spannungsfreigabe muss angekündigt werden.
- Die Lehrkraft muss während der Versuchsdurchführung im Unterrichtsraum anwesend sein.
- Sicherheitseinrichtungen dürfen auch zu Experimentierzwecken nicht außer Kraft gesetzt werden.

- Für Messungen müssen geeignete und sichere Messgeräte verwendet werden.



Abb. 19 ein- und mehrpolige Spannungsprüfer

**Wichtiger Hinweis:** Einpolige Spannungsprüfer („Phasenprüfer“) dürfen nicht verwendet werden, da eine zuverlässige Aussage über das Anliegen einer Spannung nicht möglich ist.

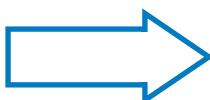
- In jedem Experimentieraufbau ist eine Ein-Aus-Schalteinrichtung vorzusehen.
- Akkumulatoren dürfen an Experimentiereinrichtungen nur an- oder abgeklemmt werden, wenn zu diesem Zeitpunkt kein Strom fließen kann.
- Sicherheits-Experimenterkabel sind vor jeder Nutzung auf erkennbare Schäden zu prüfen.

### 3. Erste Hilfe bei Elektrounfällen

Bei Experimenten mit elektrischer Energie ist trotz Einhaltung der notwendigen Schutzmaßnahmen bei einem technischen, organisatorischen oder verhaltensbedingten Fehler ein Stromfluss über den Körper nicht vollständig auszuschließen. In den meisten Fällen ist Fehlverhalten Ursache von Stromunfällen.

Schnelle und fachgerechte Erste Hilfe bewahrt die Verunglückte/den Verunglückten vor weiteren Schäden und kann lebensrettend sein.

**Bei einem Stromunfall müssen folgende Maßnahmen unverzüglich eingeleitet werden:**



**Stromkreis sofort unterbrechen:  
z. B. Not-Aus-Einrichtung betätigen**

Bei einem Elektrounfall ist die erste Maßnahme, die Verunglückte/den Verunglückten vom Stromnetz oder der Stromquelle zu trennen (Not-Aus-Einrichtung betätigen, Sicherung herausnehmen, Netzstecker ziehen).

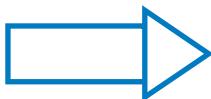
Ist das Freischalten der Spannung nicht möglich, muss die/der Verletzte mit einem isolierenden Gegenstand (z. B. Holzbesen) von der spannungsführenden Quelle weggezogen werden. Das Berühren der/des Verletzten ist für die Helferin/den Helfer lebensgefährlich, solange noch Strom fließt.

**Eigenschutz geht vor!**



**Notarzt rufen**

Da bei Stromunfällen der Grad der Verletzung durch die Ersthelferin/den Ersthelfer in der Regel nicht beurteilt werden kann und Spätfolgen nie auszuschließen sind, ist grundsätzlich eine Notärztin/ein Notarzt zu rufen. In der Regel wird die verunfallte Person zur Beobachtung in eine Klinik gebracht.



Sofortmaßnahmen entsprechend ÖVE/ÖNORM E 8351



Wundversorgung

Strommarken sind wie Brandverletzungen zu versorgen:



- mit Wasser kühlen
- anschließend Wunden keimfrei abdecken

**Ebenso wichtig wie die Wundversorgung ist die psychische Betreuung der verunfallten Person:**

- Sprechen Sie die verletzte Person an und erklären Sie, was geschieht.
- Suchen Sie vorsichtig Körperkontakt und halten Sie Blickkontakt.
- Sprechen Sie ruhig und hören Sie zu.
- Halten Sie Schaulustige fern.

## 4. Anhang A

### Zehn elektrotechnische Sicherheitsregeln für Schulen

Der Umgang mit elektrischer Energie in der Schule unterscheidet sich nicht von der Handhabung elektrischer Geräte im täglichen Leben.

Zur Sicherheit der Benutzer müssen technische, organisatorische und verhaltensbezogene Vorgaben und Regeln eingehalten werden.

#### **Die folgenden zehn Sicherheitsregeln sind beim Umgang mit elektrischer Energie zu beachten:**

1. Überzeugen Sie sich vor der Benützung elektrischer Geräte durch eine Sichtprüfung von ihrem einwandfreien Zustand. Verwenden Sie keine beschädigten Leitungen und Steckvorrichtungen und keine Geräte mit defekter Abdeckung.
2. Bei Störungen und Funktionsfehlern schalten Sie sofort die Spannung ab und ziehen Sie den Stecker. Führen Sie zur Störungsbeseitigung nur Handhabungen durch, die in der Bedienungsanleitung für den Benutzer vorgesehen sind.
3. Melden Sie Schäden oder ungewöhnliches Verhalten von elektrischen Geräten oder Anlagen sofort der Schulleitung. Entziehen Sie das Gerät oder die Anlage bis zur Instandsetzung einer weiteren Nutzung.
4. Reparaturen an elektrischen Geräten (z. B. Projektoren, Abspielgeräten, Fernsehgeräten, Spannungsversorgungsgeräten zum Experimentieren) oder Anlagenteilen (Leitungen, Steckdosen, Schaltern) dürfen nur von einer Elektrofachkraft durchgeführt werden. Führen Sie keine Reparaturen und „Bastelarbeiten“ – auch noch so einfacher Art – an elektrischen Geräten und Anlagen selbst durch.
5. Verlegen Sie Leitungen stets so, dass Knick- und Seherstellen vermieden werden und keine Stolperstelle entsteht. Ziehen Sie niemals einen Stecker an der Leitung aus der Steckdose heraus.
6. Benützen Sie grundsätzlich keine nassen elektrischen Geräte und schützen Sie elektrische Geräte vor Nässe und Feuchtigkeit.
7. Nehmen Sie Sicherheitseinrichtungen niemals außer Betrieb; manipulieren Sie Sicherheitseinrichtungen niemals.
8. Führen Sie Experimente mit Stromversorgung aus der Steckdose nur in den dazu vorgesehenen Fachräumen mit den vorgeschriebenen Schutzeinrichtungen durch (z. B. Fehlerstrom-Schutzeinrichtung, Not-Aus-Einrichtung).

9. Verwenden Sie zum Anschluss an die Stromversorgung nur Geräte mit ÖVE-, GS- oder VDE-Kennzeichen.
10. Verwenden Sie elektrische Anlagen und Geräte nur gemäß ihrem Bestimmungszweck und bedienen Sie Geräte nur entsprechend der Bedienungsanleitung.

## 5. Anhang B

### Prüfliste für die Sichtprüfung an Elektrogeräten

#### Sichtbare Mängel an Elektrogeräten betreffen typischerweise an Steckern, Kupplungen und Buchsen:

- gelockerte, verbogene oder verschmorte Steckkontakte
- gerissene, verformte oder abgeplatzte Gehäuse bzw. Gehäuseteile
- abgelöster bzw. beschädigter Knickschutz
- gelockerte bzw. gelöste Zugentlastung
- unsachgemäß ausgeführte Reparaturen

#### Sichtbare Mängel an Elektrogeräten betreffen typischerweise an den Leitungen:

- Flickstellen
- schadhafte Leitungsisolierungen
- Versprödungen (z. B. durch UV-Einstrahlung oder Wärmewirkungen)
- fühlbare Deformationen, die auf Leitungsbrüche oder Knickstellen im Inneren der Leitungen hinweisen

#### Sichtbare Mängel an Elektrogeräten betreffen typischerweise am Gerätgehäuse:

- gebrochene oder abgeplatzte Gehäuseteile
- Schmorstellen
- leitfähiger Schmutz oder Feuchtigkeit
- unsachgemäß ausgeführte Reparaturen
- Deformationen
- verstopfte oder verschmutzte Lüftungsöffnungen

## 6. Anhang C

### Vorschriften, Regeln und Informationen

Nachstehend sind die insbesondere zu beachtenden einschlägigen Vorschriften, Regeln und Informationen zusammengestellt.

### Gesetze, Verordnungen

#### Bezugsquelle:

- ÖVE EN 1 § 54 Teil 4 „Unterrichtsräume mit Experimentiereinrichtungen“  
ÖVE/ÖNORM E 8001-1 „Errichtung von elektrischen Anlagen mit Nennspannungen bis AC 1000 V und DC 1500 V“ –  
1: Begriffe und Schutz gegen elektrischen Schlag (Schutzmaßnahmen)
- ÖVE-Richtlinie R3: „Sicherheitsanforderungen an elektrotechnische Labors in Schulen“
- ÖVE/ÖNORM E 8351 „Erste Hilfe bei Unfällen durch Elektrizität“

#### Buchhandel und Internet:

[www.gesetze-im-internet.de](http://www.gesetze-im-internet.de)

Gesetz über die Durchführung von Maßnahmen des Arbeitsschutzes zur Verbesserung der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes der Beschäftigten bei der Arbeit vom 7. August 1996 (Arbeitsschutzgesetz – ArbSchG).

## Vorschriften, Regeln und Informationen für Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit

### Bezugsquelle:

bei Ihrem zuständigen Unfallversicherungsträger und unter  
[www.dguv.de/publikationen](http://www.dguv.de/publikationen)

### Unfallverhütungsvorschriften:

- „Grundsätze der Prävention“ (BGV/GUV-V A1)
- „Schulen“ (GUV-V S1)
- „Elektrische Anlagen und Betriebsmittel“ (BGV/GUV-V A3)

### Informationen:

- „Anleitung zur Ersten Hilfe“ (BGI/GUV-1 503)
- „Erste Hilfe“ (BGI/GUV-1 510-1)
- „Prüfung ortsveränderlicher elektrischer Betriebsmittel“ (BGI/GUV-1 8524)
- „Beurteilung von Gefährdungen und Belastungen am Arbeitsplatz“ (BGI/GUV-1 8700)
- „Richtlinien zur Sicherheit im Unterricht“ (GUV-SI 8070)

### DIN-VDE-Normen:

DIN VDE 0100- 410	Errichten von Starkstromanlagen mit Nennspannungen bis 1000 V; Schutzmaßnahmen; Schutz gegen gefährliche Körperströme
DIN VDE 0100 -723	Errichten von Niederspannungsanlagen – Anforderungen für Betriebsstätten, Räume und Anlagen besonderer Art – Teil 723: Unterrichtsräume mit Experimentiereinrichtungen
DIN VDE 0105 -112	Betrieb von elektrischen Anlagen – Teil 112: Besondere Festlegungen für das Experimentieren mit elektrischer Energie in Unterrichtsräumen oder in dafür vorgesehenen Bereichen

# Sicher experimentieren mit elektrischer Energie in Schulen

Grundlagen  
Gefährdungsbeurteilung  
Experimentieren

Medieninhaber und Hersteller:  
Allgemeine Unfallversicherungsanstalt, Adalbert-Stifter-Straße 65, 1200 Wien

**in Zusammenarbeit mit**  
Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV)  
Spitzenverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften und  
der Unfallversicherungsträger der öffentlichen Hand  
10117 Berlin, Deutschland

Verlags- und Herstellungsort: Wien  
Alle Grafiken: AUVA