

Um die volle Nutzung als Powerpoint-Präsentation zu erreichen und die Hyperlinks nutzen zu können muss auf Bildschirmpräsentation geschaltet werden.  
Es besteht die Möglichkeit, dass Hyperlinks nach dem Kopieren neu eingestellt werden müssen.

---

Die Gefahr für den Menschen besteht im berühren von elektrischer Spannung. Befindet er sich mit einem anderen Körperteil auf Nullpotential, so fließt elektrischer Strom durch den Körper.

Die Größe der Gefährdung liegt

- In der Stromstärke
  - In der Zeitdauer des Stromflusses
  - In der Strombahn
  - In der Übereinstimmung der Spitze des Wechselstroms mit der Tätigkeit des Sinusknotens (vulnerable Phase des Herzmuskels).
- 

Besondere Vorsicht ist in Nassräumen und Nassbereichen geboten:

- Schalter im Griffbereich
- Steckdosen
- Elektrische Geräte im Griffbereich

Sind gefährliche Stromfallen, da der Übergangswiderstand zwischen Mensch und „Umgebung“ auf Grund der Nässe sehr gering ist.

Schadhafte Geräte dürfen nicht geflickt werden, wenn dadurch die Isolation beeinträchtigt wird.

Offene Heizdrähte und „alte“ Steckverbindungen sind nicht gestattet.

Herausziehen von Geräten aus der Steckdose am Kabel ist gefährlich, da dadurch die Dose aus der Wand gerissen werden kann beziehungsweise blanke Drähte aus ihrer Isolation herausgezogen werden.

---

Biomagnetische Diagnostik.

Die elektrische Funktion des Körpers besteht aus einer Menge von intrakorporalen Strompulsen im Millisekundenbereich und wird aus dem Zeitverlauf der elektrischen Potentiale bestimmt, die entweder an der Körperoberfläche oder invasiv mit Kathetern oder Elektroden abgenommen werden. Die von den Strompulsen erzeugten Magnetfelder lassen die jeweilige Position und Stärke der Stromquelle bestimmen.

Stimuli, die durch Reize, Wahrnehmungen bzw. - krankhafte Prozesse ausgelöst werden, führen zu einer Synchronisation der neuronalen Ströme. Dann lassen sie sich als Stromdipol beschreiben. Ein Stromdipol im Körperinneren erzeugt Volumenströme, deren elektrisches Potential an der Körperoberfläche abgegriffen werden kann. Der Stromdipol ist ferner von einem Magnetfeld umgeben, das mit einer Induktionsspule außerhalb des Körpers gemessen werden kann.

Messungen ergaben im Magnetokardiogramm über dem Herzen (großflächige Spule) etwa 10 pT, Gehirnströme (Magnetoenzephalogramm) einen Faktor 20 darunter.

Optische und akustische Reize verursachen an der Körperoberfläche Felder von etwa 1 fT, womit diese biomagnetischen Felder ein- bis 100millionenfach schwächer als das erdmagnetische Feld sind.

Das Großstadtrauschen liegt bei einer Frequenz von 0,1 Hz bei  $10^7$  fT und sinkt linear mit der Frequenz auf den Wert  $10^3$  fT bei 100 Hz.

Magnetische Lungenverunreinigungen liegen bei etwa  $10^6$  fT, das Magnetokardiogramm liefert  $5 \cdot 10^4$  fT, das Magnetoenzephalogramm etwa  $10^3$  fT, die evozierte Hirnrindenaktivität liegt bei rund 90 fT und die geomagnetische Aktivität schwankt zwischen  $10^3$  und  $10^5$  fT. Das Erdfeld liegt in der Größenordnung  $5 \cdot 10^{10}$  fT.

Aus Fibi/Hantschk Intensivprogramm „EUROSAFE“  
Implementing Safety Measures in Schools  
29274-IC-1-1999-AT-ERASMUS-IP-8

---

The usage of electric energy is common for approximately 150 years, the degree of application increases continuously. Although the state of art is presently at a very high level, more accidents caused by electric current happen, often with fatal consequences, because out of habituation and the invisibility of the danger safety regulations are ignored. The special knowledge acquired on the basic level is sufficient in order to understand and also obey the reasonable danger warnings.

Even if in most cases when danger arises the contact with electric voltage is interrupted automatically and so the potential danger is switched off, still a residual risk remains since safety regulations granting a 100% protection, cause a decrease in the manifold usage of electric energy.

The most important preventive measurement is that only specialists, thus certified licensed electricians, install and repair electrical devices.

If electric current flows through a resistance – each wire, each device is a resistance – a part of the electrical energy is converted into heat energy and that is why the wire and the device get hot. The bigger the amperage and the larger the resistance, the hotter gets the wire. Too large amperage leads to an overheating of the wires and the bulb socket. In addition to that the bulb radiates too much warmth on a too high temperature level, so that the lamp shade can catch fire.

Since the resistance of a wire is the larger, the smaller the cross section is, a too thin wire overheats and smolders. Too thin wires unsuitable for the needed device power in Watts, conduct the electric current and put the device to function, but the wire overheats and gets in fact so hot that it can lead to the inflammation of e.g. insulating material, Then we talk about an electrically ignited fire. Copper which is used in wires is a very good conductor without large resistance. Other metals such as iron or also e.g. constantan have by far larger material dependent so called specific resistances, and serve for the heat production from electric current (“heating wires”, filaments). If such a material is used to “mend” a wire it inevitably causes fire, because the safety device (fuse) cannot switch off – the current which is conducted through the fuse is not too high, only the heat development is, due to the wrongly selected material too large.

Convolute wires get hot rapidly, because one loop of the wire warms up the other one. Therefore and because of the additionally arising accumulation of heat: unreel wires always completely from the wire drum, do not hide convolute wires under a carpet.

On the surface of a 100 W bulb temperatures of 200 °C can be easily reached. At this temperature also dry dust can easily ignite (excess of the ignition temperature). Spotlights have a very small filament and besides a concave casing. This combination focuses infrared radiation, that means heat radiation on near objects. During this process the ignition point of paper and drapery can be reached and exceeded. Therefore keep at least half a meter distance.

From the technical point of view it is matter of fact that all devices must be paralleled into an electric circuit, so that each device gets the rated voltage of usually 230 ACV. Due to parallel connection amperages and rating summate.

Using too large amperage – there would be risk of fire – the fuse interrupts the electric circuit. In case too thin wires are used it cannot do this – the wires overheat prematurely.

If we have more than 1000 ACV we talk about high voltage. The special dangers of the high voltage are:

already proximity is enough to develop a spark which hits you and thus causes deadly surges as well as burns, cardiac arrest and respiratory paralysis which all mainly led to a quick death.

assistance can only be provided after switching off the high voltage, unless the concerned person is hurled from the electric circuit.

---

Elektrisch gezündete Brände entstehen dann, wenn höchstzulässige Stromdichten überschritten werden.

Dies geschieht hauptsächlich durch

- Verwendung zu dünner Leitungsquerschnitte bei flexiblen Leitungen (Verlängerungskabeln),
- verbotenes Ersetzen von Sicherungselementen durch höhere Nennwerte,
- Abquetschen von Leitungsenden bei der Montage,
- Abreißen von Litzen bei der Montage.

Die zweite Ursache liegt in der Wärmestrahlung oder im entstehenden Wärmestau:

- Nichtbeachtung von Mindestabständen (Wärmegeräte, Spotlichtlampen),
- Verwendung zu hoher Leistungswerte, zu kleine Kabelquerschnitte, vor allem bei Verlängerungskabeln
- aufgerollte Kabel bei Kabeltrommeln,
- Kabelgewirr,
- Verlegung eines Verlängerungskabels unter einem Teppich (oder hinter einer Kastenwand, usw.), Kabel bleiben zusammengerollt und werden zusätzlich mit z.B. einem Teppich abgedeckt (Wärmestau).

---

Im Ruhezustand ist die Konzentration der Kaliumionen in der Zelle dreißigmal höher als außerhalb, jene der Natriumionen außen zehnmals höher als innerhalb. Unter Energieaufwand (ATP) werden die Natriumionen dem Konzentrationsgefälle entgegen nach außen transportiert. Die lebende Zellmembran ist eine ionenselektiv-permeable Membran.

Das Ruhepotential ist nach der Nernstschen Gleichung berechenbar, es hängt vom  $\ln$  des Konzentrationsverhältnisses der Ionen innerhalb und außerhalb der Zelle ab, zusätzlich erscheint die Temperaturabhängigkeit in direkt proportionalem Verhältnis.

Wird ein bestimmtes negatives Ruhepotential überschritten, so öffnen die Natriumkanäle, die einströmenden Natriumionen führen von der Hyperpolarisation zur Depolarisation ( $-70 \text{ mV} \rightarrow +40 \text{ mV}$ ). In diesem Zustand öffnen die Transportkanäle für Kaliumionen, wodurch sich der Zustand des Potentials wieder umkehrt (Repolarisation). Ist der Ausgangszustand wieder hergestellt, so schließen die Natriumionen- wie auch Kaliumionentransportkanäle, der Carrier wird eingestellt.

Während dieser Zeitspanne („Totzeit“) kann die Zelle keinen Reiz wahrnehmen.

Die Steuerung des Natriumionenkanals:

Die positiven Ladungen der positiv geladenen Seitenketten von Aminosäuren lassen nur neutrale Teilchen wie Wassermoleküle durch. Ebenso werden hydratisierte Kaliumionen durchgelassen.

Natriumionen sind zu klein, um Wassermoleküle anlagern zu können und werden deshalb vom Eintritt in die Zelle ausgesperrt.

Wird die Zelle durch einen Reiz erregt, so dreht sich die positiv geladene Seitenkette ähnlich einem Schalter und lässt Natriumionen einströmen.

Bei Nervenerregung öffnen sich die Kanäle durch die Zellmembran und Natriumionen können einströmen. Das Herauspumpen der Natriumionen aus dem Zellinneren ist mit Energieaufwand verbunden. Die Natrium-Kalium-Pumpe benötigt einen sehr großen Teil der als ATP zur Verfügung gestellten Energie.

Herzschlag:

Signalauslöser sind Schrittmacherzellen im Sinusknoten. Im Innenraum der Zelle liegt ein Ruhepotential von  $-70$  mV (Hyperpolarisation) vor. Durch Öffnen der Natriumionenkanäle kommt es zum Ausströmen der Natriumionen zwecks Ausgleichs des Konzentrationsgradienten. Dadurch sinkt das Potential der Zelle, unter  $-50$  mV öffnen die Calciumionenkanäle, sie lösen das Aktionspotential, den eigentlichen elektrischen Puls (große Zacke rot) aus. Es kommt zur Depolarisation, das Vorzeichen des Potentials kehrt sich um. Während die Natriumionenkanäle schließen, öffnen sich die Kaliumionenkanäle. Die durch die Zellmembran strömenden Kaliumionen führen zum Anfangszustand der Zelle (Repolarisation).

Vom Sinusknoten ausgehend durchströmt der elektrische Impuls den linken Vorhof und löst dort die erste Reaktion aus. Die elektrischen Impulse laufen in der Folge durch die Herzscheidewand zur Herzspitze und entlang der Herzaußenwand zurück. Sie umfassen somit den Herzmuskel, der kontrahiert.

Die linke Kammer treibt das sauerstoffreiche Blut durch ein Hochdrucksystem in den Körper und hat daher eine dreimal so dicke Muskulatur wie die rechte Herzkammer, die das Blut in die Lunge fördert.

Die rechte Herzkammer muss gegen den Blutdruck in der Arteria pulmonalis ( $25/10$  mm Hg –

$3,3/1,3$  kPa) und die linke Kammer gegen den Blutdruck in der Aorta ( $120/80$  mm Hg –  $16/10,7$  kPa) Blut fördern. Pro Minute wird etwa die gesamte Blutmenge von 6 Liter gefördert. Bei Aufregung kann die geförderte Blutmenge auf das Doppelte, bei starker körperlicher Tätigkeit auf das Sechsfache gesteigert werden.

Besonders auffällig ist die geringe benötigte Herzarbeit verglichen mit der mittleren Energiemenge von 10 MJ, die je Tag aufgenommen wird.

Vergleichsweise sind in einem Liter Benzin etwa 30 MJ an Energie enthalten.

Aus dem Vergleich ist ersichtlich, wie rationell der menschliche lebenswichtige Antrieb arbeitet.

Der Vorteil liegt im Umstand, dass selbst bei geringem Energieumsatz bzw. Energieangebot der Herzbetrieb noch immer funktioniert und aus energetischen Gründen selbst bei Ausfall anderer Sinnesorgane noch immer aufrecht erhalten werden kann.

Das Herz arbeitet im Pulsbetrieb, die Strömungsgeschwindigkeit ist gerade so groß, dass noch laminare Strömung besteht.

Stenosen bewirken Verwirbelungen und damit erhöhten Strömungswiderstand, der durch erhöhte Anstrengung des Herzmuskels ausgeglichen werden muss.

Den Pulsbetrieb mindert zu einer stetigeren Strömung einerseits die besonders dehnfähige Aorta, andererseits übernimmt das venöse System, das in der Regel nur zu 20% gefüllt ist, die Position des Ausgleichgefäßes am Ende des Transportwegs.

Leistung: von 3 Watt pro Herzschlag, dem energetischen Aufwand von 1 Joule innerhalb 1/3 Sekunde entsprechend bei einer Frequenz von 1 Hz.

Die Aorta ist dehnungsfähig und gleicht die diskontinuierlichen Pumpstöße zu einem etwas gleichmäßigeren Fließen aus.

Damit der Organismus auf magnetische bzw. elektrische Felder reagiert, muss eine bestimmte Signalthöhe das Rauschen überschreiten, es ist also ein definiertes Signal-Rausch - Verhältnis notwendig.

Das Rauschen des menschlichen Organismus wird durch Jonson's noise angegeben:

$$\langle v_n^2 \rangle = 4 \cdot k \cdot T \cdot B \cdot R$$

mit  $v_n^2$  als mittleres Quadrat des elektrischen Potentials, R als Widerstand und B als der Bandbreite.

Des weiteren gilt für die induzierte Stromdichte j:

$$j = \sigma \cdot E = \pi \cdot \sigma \cdot r \cdot f \cdot B_0 \cdot \sin \omega t$$

mit r als transversalen Radius des Menschen.

Die Kraft, welche ein Magnetfeld H (ident mit B in Luft) auf biomolekulare Dipole ausübt, ist proportional zu  $H^2$ , also  $F \sim H^2$ .

---

Der elektrische Widerstand des Menschen ist im Wesentlichen durch den Hautübergangswiderstand und die Isolation an den Fußsohlen (Schuhe, Boden) gegeben.

Am gefährlichsten da häufigsten ist der Strompfad Hand - Fuß, insbesondere wenn er durch den Bereich des Herzmuskels führt. Der Hand-Hand-Pfad ist beim unmittelbaren Umgang mit elektrischer Spannung gefährlich.

Die Wirkung des Stromes hängt zudem von der Frequenz ab: Hochfrequenzen sind weniger bis ungefährlich, weil sie die Herzmuskelfrequenz auf Grund der Massenträgheit nicht gefährden können, dazu kommt das Fehlen resonanter Einflüsse.

Der Hautwiderstand beträgt bei Spannungen im Voltbereich bis zu einigen 100 kOhm und sinkt mit steigender Spannung auf insgesamt weniger als 500 Ohm ab.

Das Diagramm zeigt die Auswirkungen der Körperstromstärken in mA der Einwirkungsdauer gegenübergestellt.

Die übliche Schwelle ist etwa 0,5 mA. Darüber liegt der Bereich, in welchem die einwirkende

Stromstärke zwar spürbar wird, aber keine Schädigungen zur Folge hat. Mit zunehmender Einwirkungsdauer sinkt dieser Wert für die Stromstärke ab.

Loslassgrenze und mit steigender Einwirkungsdauer die Wahrscheinlichkeit des Herzkammerflimmerns liegt bei  $I = 220$  mA. In einem engen Bereich treten zwar die Reizleitung betreffende Erscheinungen auf, sind jedoch dort reversibel.

Oberhalb von  $I = 500$  mA kann die kleinste Einwirkung bereits tödlich sein.

---

# **1 GEFAHREN DES ELEKTRISCHEN STROMES FÜR DEN MENSCHEN. SICHERHEITSMASSNAHMEN.**

## **1.1 Fachliche Grundlagen:**

Die elektrische Durchströmung verursacht Muskelreize. Die Größe der Gefährdung sowie die physiologischen Reaktionen werden für Wechselspannung mit  $f = 50$  Hz (Netzfrequenz) in der folgenden Tabelle wiedergegeben.

bis zu 1 mA	gerade noch wahrnehmbar
1 - 5 mA	schwache Versteifung von Arm und Unterarm
5 - 15 mA	Krampfgefühl in Hand und Arm, loslassen jedoch möglich
15 - 25 mA	Selbständiges Loslassen nicht mehr möglich
25 - 80 mA	Stromstärke i.A. noch ertragbar, mögliches Eintreten von Herzkammerflimmern und Bewusstlosigkeit schon ab 5 mA möglich
über 80 mA	Eintreten von Herzkammerflimmern in Anhängigkeit von der Stromeinwirkungsdauer.

Bei Gleichstrom treten die gleichen Körperreaktionen auf, jedoch sind die in der Tabelle angegebenen Stromstärken mit dem Faktor 3 zu multiplizieren.

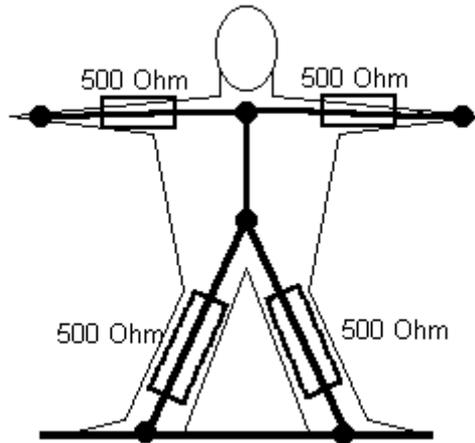
Hochfrequente Wechselströme sind demgegenüber als ungefährlich einzustufen, weil aufgrund der mechanischen Trägheit des Herzmuskels dieser einer hohen Frequenz nicht folgen kann.

Entscheidend für das Auftreten von Herzkammerflimmern ist, dass der Strom über den Rumpf fließt. Herzkammerflimmern ist ein ungeordnetes Zucken der einzelnen Muskelfasern des Herzens. Die geordnete Pumpfähigkeit wird dadurch unterbrochen. In der Folge stirbt der Mensch aufgrund der fehlenden Sauerstoffversorgung des Gehirns.

Die Stromstärke, welche den Menschen durchfließt, ergibt sich aus der am Körper anliegenden Spannung und dem Gesamtwiderstand des menschlichen Körpers. Der Widerstand des menschlichen Körpers sinkt sowohl bei größer werdender Berührungsfläche als auch bei steigender Spannung am Körper.

Während bei Kleinstspannungen bis zu 24 V der Widerstand in der Größenordnung von mehreren Kiloohm bis hin zu Megaohm liegt, sinkt er bei Netzspannung (220 V) auf etwa 1 bis 1,3 kOhm ab und erreicht sein Minimum bei Spannungen knapp unter 1 000 V mit etwa 700 Ohm.

Des Weiteren ist der Körperwiderstand im wesentlichen in den Extremitäten konzentriert. Wird eine Spannung von 220 Volt gewählt, gilt angenähert, dass der Gesamtwiderstand von 1 000 Ohm zwischen den Händen, zu je 500 Ohm für jeden Arm aufgeteilt ist. Der Innenwiderstand des Rumpfs ist praktisch vernachlässigbar (Elektrolyt). Entscheidend ist die Beschaffenheit der Hautoberfläche, also der Hautwiderstand. Feuchte Hände haben einen bedeutend geringeren Widerstand als trockene, schwielige Hautoberflächen.



Ein weiterer entscheidender Faktor ist die Dauer, während der Strom durch den Körper fließt. Bei Stromdauern unter 0,2 Sekunden liegt die Schwelle zum Herzkammerflimmern oberhalb der relativ hohen Stromstärke von 0,5 Ampere, hingegen tritt bei einer Stromflussdauer von über einer Sekunde Herzkammerflimmern bereits oberhalb von 40 mA ein. Sämtliche Aussagen sind Wahrscheinlichkeitsaussagen und beziehen sich auf den gesunden Menschen.

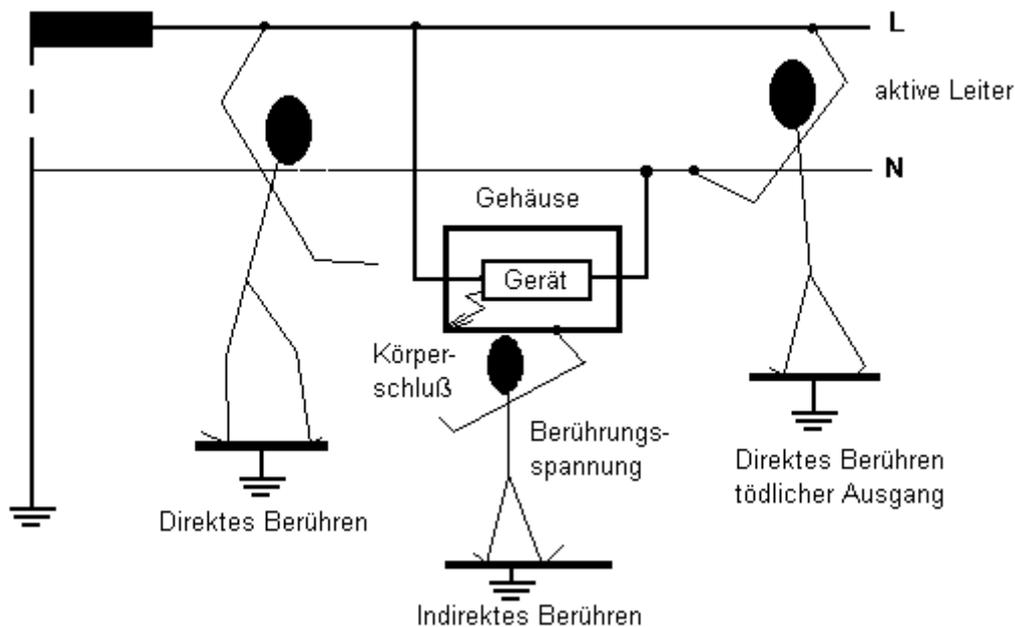
Unter der Annahme von  $R = 1 \text{ k}\Omega$  und Beachtung der Gefährdungswerte für elektrische Stromstärken ergeben sich nach dem Ohmschen Gesetz die folgenden Grenzspannungen:

Kleinstspannungsbereich (Spielzeuge, Kinder).....bis 24 Volt  
 Kleinspannungsbereich (ohne Schutzmaßnahmen).....bis 42 Volt  
 Niederspannungsbereich (Haushalt).....bis 1 000 Volt  
 Darüber Hoch- und Höchstspannungsbereich; übliche Isolationen reichen nicht aus, Funkenüberschlag möglich.

Grundsätzlich sind zum Zweck des Personenschutzes Schutzmaßnahmen gegen Berühren gefährlicher Spannungen notwendig:

Es gibt dabei zwei Arten des Berührens spannungsführender Teile:

- Direktes Berühren von aktiven Leitern.
- Indirektes Berühren. In diesem Fall werden Teile berührt, die betriebsmäßig keine Spannung führen, aber durch Schäden in der Betriebsisolierung unter Spannung gesetzt werden können.



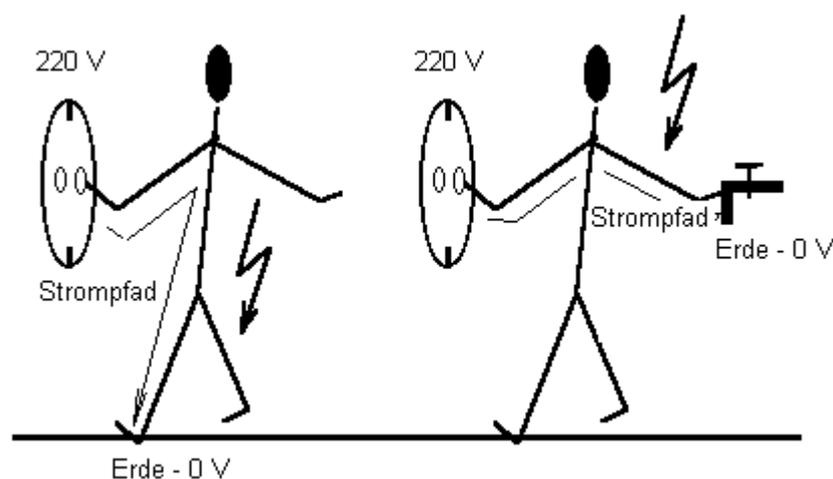
Die für den Menschen größte Gefährdung beim Umgang mit elektrischer Energie besteht im Berühren von Netzspannung.

Die Berührungsspannung ist die Spannung zwischen der anliegenden Netzspannung und der Erde, also dem Erdpotential.

Berührt werden kann die an einem aktiven Teil des Stromkreises anliegende Spannung (Buchse einer Steckdose) genauso wie die nach Körperschluss an einem inaktiven Teil befindliche Berührungsspannung. Spannung gelangt meist durch Fehler an der Isolation an die elektrisch leitende Oberfläche von Geräten.

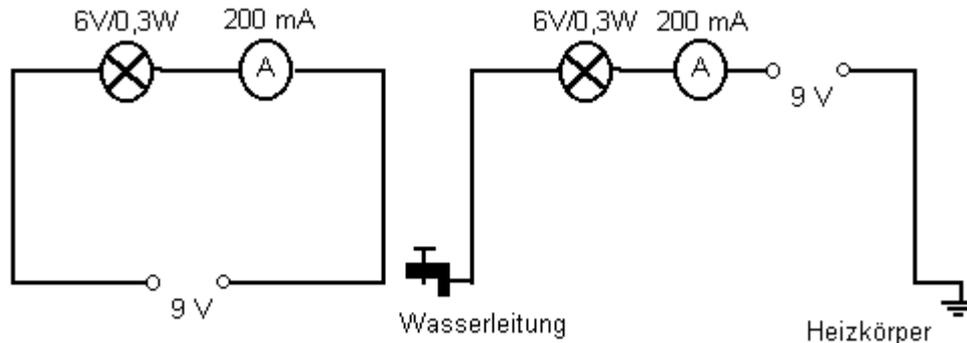
Überbrückt der Mensch z.B. 220 Volt, so stellt er für den elektrischen Strom einen Widerstand dar, an dem Spannung anliegt. Der Größe des Widerstands entsprechend fließt Strom einer bestimmten Stromstärke durch den Menschen.

Zu beachten ist der Übergangswiderstand zwischen der Fußsohle und dem Erdboden bzw. zwischen der Handfläche und z.B. einer Wasserleitung. Ist dieser Übergangswiderstand hoch, so fließt typischerweise eine Stromstärke von etwa 1 mA, was sich durch Kribbeln bemerkbar macht. Ist dieser Übergangswiderstand klein (Feuchträume !), so können sich letale Stromstärken ergeben.



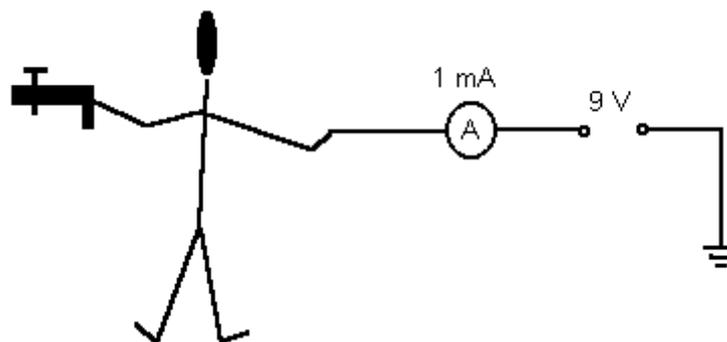
Zur Erlangung dieser Erkenntnis wird experimentell der Begriff der Schließung eines Stromkreises über die Erde wiederholt.

Mit Hilfe einer Glühlampe und eines Milliampereometers wird unter Verwendung einer gefahrlosen Kleinspannung von 9 Volt diese Art der Schließung eines Stromkreises erarbeitet.



In der Technik werden Stromkreise nicht durch "Rückleitung", sondern durch Erdung oder Massung (Masseanschluss des Autoakkumulators oder des Fahrraddynamos als Beispiele) geschlossen.

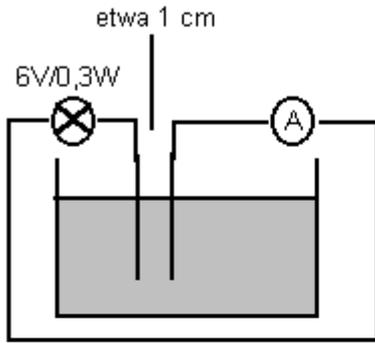
Wird statt des Widerstands "Glühlampe" der Widerstand "Mensch" verwendet, so ergibt sich unmittelbar das Gefahrenpotential bei Berührung einer Spannung.



Die den Menschen durchfließende Stromstärke ist bei Einsatz von Kleinspannungen ungefährlich, bei Netzspannung jedoch entsprechend höher und damit gefährlicher.

Als nächster Punkt wird die Leitfähigkeit von Flüssigkeiten erarbeitet. Dabei ist zu beachten, dass der Widerstand einer Flüssigkeitssäule mit zunehmender Länge (Abstand zwischen den Elektroden) ansteigt, mit zunehmendem Querschnitt, welcher der Fläche der einander gegenüberstehenden Elektroden gleich ist, abnimmt und mit zunehmender Ionenkonzentration ansteigt.

Zu diesem Zweck werden - auch gruppenteilig möglich, wobei die einzelnen Gruppen ihre gefundenen Resultate referieren und die Zusammenschau das Basiswissen ergibt - eine Spannung von 9 Volt (notfalls Blockbatterie), eine Glühlampe 6V/0,3W in Serie mit einem Amperemeter geschaltet und zwei Kupferplatten (oder sonstige Metall - ideal wären Kohleplatten) aus der Elektrolyse als Elektroden verwendet.



Flüssigkeit: Wasser  
 Glühlampe beobachten.  
 Stromstärke ablesen:  $I = \dots\dots\dots$  mA.

Entferne die Elektroden voneinander.

$I = \dots\dots\dots$  mA

Erkläre das Ergebnis !

Verwende statt Wasser:

Petroleum:  $I = \dots\dots\dots$  mA

Öl.....  $I = \dots\dots\dots$  mA

Wasser ist ein ....., Öl und Petroleum sind .....

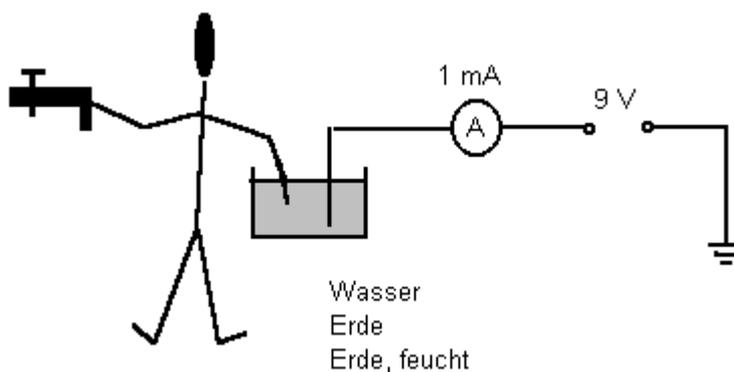
Im folgenden Versuch wird wieder Wasser verwendet, jedoch wird einmal Salz, sodann Zucker eingerührt, Essig (sauer) bzw. Seifenlösung zugegeben.

Die Schüler ermitteln, dass Salzlösungen, saure Lösungen und "Seifenlösungen" gute Stromleiter sind.

Im dritten Experiment füllt man die Wanne mit trockener Erde, die sich als Isolator erweist. Die Erde wird in zunehmend stärker werdendem Ausmaß mit Wasser getränkt. Die Leitfähigkeit steigt merkbar an. Der Grund liegt in der zunehmenden Konzentration gelöster Ionen im Wasser.

Die Schüler ermitteln durch Beobachtung der Stromstärke leicht, dass feuchte Erde ein guter Stromleiter ist.

Aus diesen Beobachtungen ergeben sich die besonderen Gefahren der Kombination Spannung - Feuchtigkeit und damit die besondere Vorsicht beim Umgang mit elektrischer Energie in so genannten Feuchträumen (u.A. Badezimmer als Beispiel).



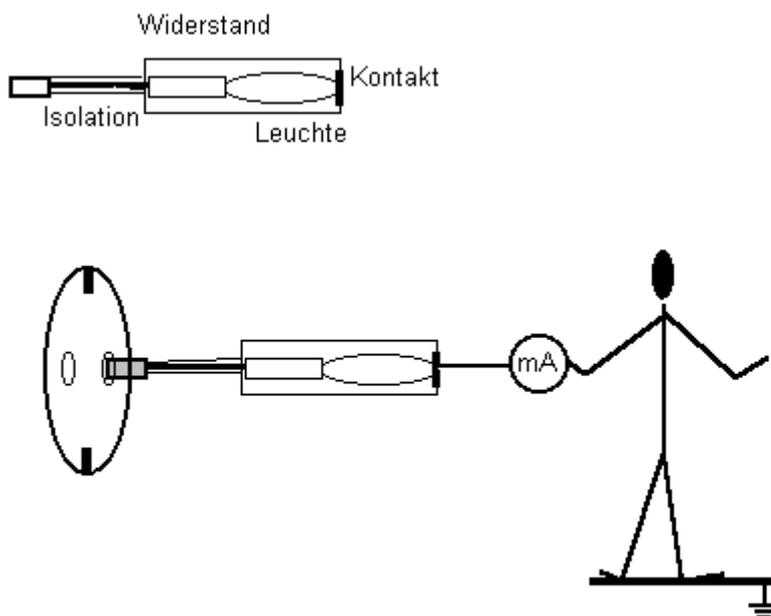
Zusammenfassend sollten die Schüler jetzt in der Lage sein, Gefahrenmomente beim Umgang mit elektrischer Energie aufzuzeigen, begründen und damit verstehen zu können.

Als Test wird die gruppenteilige Erstellung von Plakaten vorgeschlagen, welche die Grundlage für eine permanente Wiederholung des Lehrstoffs bieten können.

## ANLAGE

Mittels eines Spannungsprüfers kann additiv noch gezeigt werden, dass nur eine Buchse einer Steckdose spannungsführend ist wie dieser spannungsführende Leiter ermittelt werden kann und wie der Spannungsprüfer funktioniert.

Zu diesem Zweck wird der stromdurchflossene Mensch durch ein Milliampereometer ersetzt bzw. wird die Stromstärke mittels Milliampereometer gemessen.



Der Stromfluß beträgt lediglich Bruchteile eines Milliamperes und ist somit ungefährlich.

Es zeigt sich, dass nur eine Buchse - jene, an welcher der spannungsführende Außenleiter (früher Phase genannt) mündet, spannungsführend ist.

## 2 DIE SCHÜLER SOLLEN WISSEN:

***WASSER + STROM = LEBENSGEFAHR !***

Die meisten tödlichen Unfälle im Haushalt ereignen sich während des Badens oder im Nahbereich von Badewanne oder Wasserleitungen.

Keine Elektrogeräte wie z.B. den Fön beim Baden benutzen !

Keine Elektrogeräte an den Rand der Badewanne stellen oder von der Badewanne aus angreifen ! Auch keine Schalter !

***KEINE ELEKTROARBEITEN IN "DO - IT - YOURSELF" - MANIER !***

Störungen an Elektrogeräten, defekte Stecker, Steckdosen und Kabel darf nur der Fachmann reparieren !

### ***BESONDERE VORSICHT BEI SPIELZEUG !***

Sicherheitstransformator mit ÖVE - Prüfzeichen.

Solide ausgeführte Leitungen und Steckkontakte.

Transformator mit bruchsicherem Gehäuse.

Spielzeug nur bis 24 Volt Spannung betreiben.

### ***NIE FEHLERHAFT, BESCHÄDIGTE ODER VERALTETE GERÄTE BENÜTZEN !***

Alte Geräte sind oft nicht mehr betriebssicher - meist kaputte Isolationen.

Beschädigte Stecker, Anschlussleitungen und/oder Kabel gehören sofort repariert.

Stecker nie am Kabel aus der Steckdose herausziehen.

Niemals ein Kabel mit der Türe einklemmen !

### ***BESONDERE VORSICHT BEIM UMGANG MIT ELEKTRISCHEN HEIZGERÄTEN !***

Zweckentfremdung wie z.B. Wäschetrocknung mit dem Heizlüfter bedeutet Brandgefahr !

Zu starke Glühlampen rufen Überhitzung und Brandgefahr hervor !

Achtung ! Kochplatten dürfen ebenfalls nicht überhitzen !

### ***BEIM HANTIEREN MIT ELEKTRISCHEN GERÄTEN UNBEDINGT DEN NETZSTECKER ZIEHEN ODER DIE SICHERUNGEN HERAUSSCHRAUBEN !***

Ein elektrischer Schlag hat bereits viele Menschen von der Leiter geschleudert.

Die Reinigung von Elektrogeräten nur bei gezogenem Stecker durchführen. Elektrogeräte reinigen, nicht baden !

Beim Austausch von zerbrochenen Glühlampen: Sicherungen abschalten ! Der Schalter sollte, muss aber nicht unbedingt im spannungsführenden Außenleiter liegen.

Niemals in Steckdosen herumbohren ! Vermeidet das Anbohren von Leitungen !

### ***VORSICHT IN DER NÄHE VON FREILEITUNGEN !***

Abstand von Leitungen halten. Leitern waagrecht tragen.

Niemals Freileitungsmaste besteigen.

Nie Umspannanlagen oder Transformatorstationen betreten !

In der Nähe von Freileitungen keine Drachen steigen lassen.

Niemals herabhängende Drähte berühren. Mindestens 20 m Abstand halten. Hilfe herbeiholen.

Hände weg von Oberleitungen ! Bahnanlagen sind kein Spielplatz !

***Drei wesentliche Gründe sind die Verursacher von Stromunfällen:***

***1. Unkenntnis der Gefahr.***

***2. Leichtsinn und Unachtsamkeit.***

***3. Schlechte Installation und defekte Geräte.***

***STROM SIEHT MAN NICHT !***

***STROM HÖRT MAN NICHT !***

***STROM RIECHT MAN NICHT !***

***NUR SEINE WIRKUNG SPÜRT MAN !***

---

Der elektrische Widerstand des Menschen ist im Wesentlichen durch den Hautübergangswiderstand und die Isolation an den Fußsohlen (Schuhe, Boden) gegeben.

Am gefährlichsten da häufigsten ist der Strompfad Hand - Fuß, insbesondere wenn er durch den Bereich des Herzmuskels führt. Der Hand-Hand-Pfad ist beim unmittelbaren Umgang mit elektrischer Spannung gefährlich.

Die Wirkung des Stromes hängt zudem von der Frequenz ab: Hochfrequenzen sind weniger bis ungefährlich, weil sie die Herzmuskelfrequenz auf Grund der Massenträgheit nicht gefährden können, dazu kommt das Fehlen resonanter Einflüsse.

Der Hautwiderstand beträgt bei Spannungen im Voltbereich bis zu einigen 100 kOhm und sinkt mit steigender Spannung auf insgesamt weniger als 500 Ohm ab.

Bei der Netzfrequenz von 230 ACV wird der menschliche Widerstand mit 1,3 kOhm angenommen.

Die folgende Tabelle gibt die spezifischen Widerstände  $\rho$  in  $\Omega\text{m}$  für den Menschen an:

Frequenz in Hz	Muskel	Herz	Lunge	Gehirn	Fettgewebe	Blut	Plasma
10	9,6	9,6	11				
100	8,9	9,2	11			1,6	
1.000	8,0-9,8	7,0-13	10 - 19	4,5-8,0	6 - 25	1,2-1,8	0,6
10.000	7,6-8,8	6	9,7			1,5	

Für elektrische Belange wird der menschliche Körper als zweischaliges Rotationsellipsoid in einem Achsenverhältnis von 1:5 dargestellt. Im folgenden bedeutet „iS“ Innere Schicht, also Außenschale“ und „iK“ Innere Kernschicht, also Innenschale. Grundsätzlich bewirkt die

Einwirkung eines äußeren elektrischen Feldes der Felddichte  $S$  im Körperinneren durch Polarisation und Ladungsverschiebung die Ausbildung eines elektrischen Feldes  $E$  nach

$$\vec{E} = \rho \cdot \vec{S}$$

Für die „spezifischen Körperwerte“  $\sigma = 50 \text{ mS/m}$  ( $\sigma$  - spezifische Leitfähigkeit in Millisiemens pro Meter) und für die Feldfrequenz  $f = 50 \text{ Hz}$  ergeben sich die Näherungsformeln:

$$\frac{E_{\text{is}}}{E_{\text{a}}} = 10^{-6} \quad (\text{Außenschicht}) \quad \text{und} \quad \frac{E_{\text{ik}}}{E_{\text{a}}} = 0,2 \cdot 10^{-6} \quad \text{für die Kernschicht.}$$

Personenschäden entstehen durch Berühren von Spannungen und dem anschließenden Stromfluss durch den Menschen.

Bei Körperschluss wird Berührungsspannung durch Unterbrechen des Stromkreises im Bereich der Sicherung nach Kurzschlussstrom durch den Schutzleiter vermieden. Nur mit Doppelquadrat gekennzeichnete schutzisolierte Geräte benötigen keine Schutzerdung, also keinen SCHUKO-Stecker, sie weisen einen Konturstecker auf.

Gegen einpoliges Berühren hilft auf jeden Fall der Fehlerstromschutzschalter (FI), der den zufließenden mit dem abfließenden Strom vergleicht. Fließt Fehlerstrom durch den Menschen (deshalb fehlt dieser Stromanteil in der Rückleitung), löst der FI aus.

Beidpoliges Berühren weist den Menschen als elektrischen, von Strom durchflossenen Widerstand aus. Gegen diese Gefährdung gibt es keine Vorkehrungsmöglichkeit.

Körperschluss ist eine Verbindung von aktivem Teil des Stromkreises zu einem inaktiven Teil, z.B. Gehäuse eines Geräts. Durch diesen Körperschluss gelangt elektrische Spannung auf metallische, berührbare Oberflächen.

Man spricht von einer Berührungsspannung, die der Mensch berühren kann. Gelingt ihm dies, so fließt elektrischer Strom durch ihn zum Boden ab.

Gegen die Existenz von Berührungsspannung helfen die folgenden, möglichen Maßnahmen:  
Schutzisolieren

Standortisolieren

Isolationshandschuhe, isolierendes Schuhwerk

Erdleitung und Sicherung - bei Berührungsspannung fließt sofort Strom zur Erde und löst die Sicherung aus, der Stromkreis ist unterbrochen.

Das in den Nervenzellen entstandene Aktionspotential wird über die lang gezogenen Anhängsel der Nervenzellen, Dendriten und Axonen, weitergegeben. Das Axon ist der von der Zelle wegführende Ast, er verläuft zur Synapse. Auf dem Weg dort hin erfolgt die Weiterleitung als elektrischer Impuls. In der Synapse werden Botenstoffe freigesetzt, die den angrenzenden Dendriten der nächstliegenden Nervenzelle aktivieren. Der Dendrit ist sozusagen die Zuleitung des Nervenimpulses zum nächsten Neuron.

Das synaptische System erhöht die Transferrate, ist aber auch das Angriffsziel fast aller auf Lahmlegung des Nervensystems abzielender Maßnahmen (militärisch Kampfstoffe, welche auf das Nervensystem einwirken).

Der Mensch erkennt Gefahren relativ langsam, da die Übertragungsfrequenz der Nervenimpulse relativ gering ist und zudem eine ebenfalls relativ hohe Detailerkennungsrate zur Gewinnung eines sicheren Eindrucks notwendig ist.

Grundsätzlich speichert der Mensch Bilder und Abfolgen und vergleicht sie mit den real einkommenden Signalen.

Der Mensch lernt also aus gespeicherter Erfahrung und hat im Gegensatz zum Tier die Fähigkeit, abstrakte Verknüpfungen vornehmen zu können.

Um Gefahren (z.B. ist jede Giftschlange reaktionsschneller als der Mensch) begegnen zu können, hat der Mensch eine Art Bypass im Erkennungssystem. Geben die ersten Informationen die Möglichkeit einer Bedrohung (das Gebilde sieht schlangenähnlich aus), so reagiert der Mensch reflexartig, erst dann vergleicht er weiter gespeichertes Bild und Realität (er erkennt aus der Verarbeitung weiterer Informationen, dass eine harmlose Wurzel vorliegt).

---

Schrittspannung tritt dann auf, wenn Hochspannung (Blitz, Überlandleitung, kaputt und herabhängend den Boden berührend) auf den Boden gelangt.

Es entsteht ein Spannungstrichter, der sein Maximum im Aufpunkt hat und in einiger Entfernung (Regeln beachten) gegen das Erdpotential Null abfällt.

Ein Schritt in diesem Bereich bewirkt, dass zwischen den Boden berührenden Beinen eine Potentialdifferenz, also Spannung besteht, die elektrischen Stromfluss durch den Körper auslöst. Je größer die Schrittweite, desto größer ist die elektrische Spannung.

Tiere mit besonders weitem Abstand zwischen Vorder- und Hinterbeinen sind deshalb bei Blitzschlag besonders stark gefährdet.

Bei Unfällen mit herabhängenden und bodenberührenden Teilen einer Hochspannungsleitung muss sich der Mensch im Potentialtrichter mit möglichst geschlossenen Beinen bewegen.

---

Rasiersteckdosen in Badezimmern liegen nicht direkt an der Netzspannung: ein Trenntransformator wird zwischen Netz und Steckdose geschaltet. Wird keine Leitung der Sekundärspule geerdet, so haben die beiden Pole dieser Steckdose eine Spannung von 230 Volt nur gegeneinander, nicht jedoch gegen Erde. Der Sekundärstromkreis des Trenntransformators ist vom übrigen Netz und von der Erde getrennt. Eine Gefährdung ist nur dann möglich, wenn man beide Pole der mit dem Trenntransformator verbundenen Steckdose gleichzeitig berührt.

---

Leistungsschutzautomat oder Leistungsschutzschalter genannt.

Bei Überlastung krümmt sich das eingebaute Bimetall und bewegt einen Hebel, wodurch eine Sperrklinke geöffnet wird, die Feder trennt den Stromkontakt.

Bei kleinen Überstromstärken reicht die Magnetkraft der Spule nicht aus, um eine Wirkung auf den Hebel zu erzielen.

Bei Kurzschlussstromstärken reagiert das Magnetfeld der Spule wesentlich rascher als das träg reagierende Bimetall. Die Spule zieht den Hebel in die Spule hinein, die Sperrklinke wird dadurch geöffnet.

---

Kurzschluss ist gegeben, wenn meist durch Isolationsfehler bedingt ein Gerät aus dem Stromkreis herausfällt und der Widerstand im Leiterkreis drastisch sinkt. Die Stromstärke schnell extrem stark hoch. Kurzschluss bedeutet, dass das Gerät und damit der Widerstand des Geräts überbrückt wird.

Überlastung geschieht durch Zuschalten von Geräten in einem Stromkreis. Durch die Parallelschaltung bedingt steigt die Stromstärke additiv an und überschreitet jenen Höchstwert, oberhalb dessen wegen der Stromwärme Brandgefahr existiert.

Überstromschutzorgane unterbrechen den Stromkreis bei Überschreitung der maximalen Nennstromstärke durch magnetische Wirkung oder durch die Wirkung eines Bimetalls, Schmelzsicherungen durch Durchschmelzen eines dünnen Drahtes.

Jeder abgesicherte Stromkreis mit Nennstromstärke ist auch durch den Mindestquerschnitt der Stromleiter charakterisiert. Werden zu dünne Querschnitte verwendet, kommt es zu übergroßer Erwärmung und zur Entstehung eines elektrisch gezündeten Brandes. Weiters führen Lampen mit einer Leistung, welche die in der Fassung angegebene Maximalleistung übersteigt, zur Brandentstehung.

---

Das Vierleitersystem bietet den Vorteil zweier existenter Spannungsebenen: Einerseits ergeben sich  $U = 230 \text{ ACV}$  zwischen Außenleiter („Phase“) und Neutralleiter, andererseits  $U = 400 \text{ ACV}$  zwischen je zwei Außenleitern.

Zudem werden nur die Außenleiter geführt.

Die Stärke der Zuleitungen (gemessen in Ampere oder Kiloampere, die transportiert werden können, bzw. in Kilowatt) richtet sich nach den Stromleistungen, die entnommen werden müssen.

Nicht nur die direkte Berührung einer aktiv spannungsführenden Buchse kann zu einem Stromschluss führen. Nach Körperschluss, d.i. ein spannungsführender Teil, dessen Isolation defekt ist, berührt einen nicht spannungsführenden, kann dort die Netzspannung berührt werden - man spricht von Berührungsspannung.

Bei intakten Schutzmaßnahmen fällt bei Körperschluss sofort die Sicherung.

Der Neutralleiter ist nicht spannungsführend und wird geerdet. Somit liegt er konstant auf dem Potential Null. Deshalb wird der Neutralleiter auch nicht geführt.

---