

Gefahren des elektrischen Stroms

oder der Tod in der Badewanne

Stromfluß durch den Körper ist meist lebensgefährlich
Stromunfälle 100 (1950) ----> 40 (1985)
durch verbesserte Innstallation, Vorschriften, Prüfungen
Aber: neue Gefahren z.B Kran auf LKW

Für Stromfluß Berühren beider Leiter nötig (Vogel auf Draht nicht gefährdet)

Technischer Wechselstrom: Ein Pol der Spannungsquelle mit Erde verbunden (Neutralleiter). Der(die) andere(n) Pol(e) 230 V gegen Erde.

Geerdet weil besser definiert alsundefiniert geeredet (Erdiung hilft Defekte erkennen (z.B. FI).

Über die Füße fast immer Kontakt zur Erde gegeben ---> Berühren eines Pols ist schon gefährlich.

Körper ist guter leiter, da zu 70% aus Flüssigkeit.
Großer Widerstand nur am Übergang durch die Haut.
----> Großer Spannungsabfall in der Haut.
Da $U = R \cdot I$ und $P = U \cdot I$ ---> $P = R \cdot I^2$. "Strommarken"

Bei Stromleitung: Verschiebung der Ionen
----> Durchtritt durch die Zellwand
----> Fehlfunktion durch Aktionspotential

Sehr hohe Frequenzen: Ionen vibrieren um die Ruhelage
-----> geringe Verschiebung
-----> höhere Stromstärken möglich.

Wirkung auf erregbare Strukturen:
Ausbildung von Aktionspotential durch Na^+ Transport.
•Verkrampfung,

- Herzflimmern (unkoordinierte Kontraktion der Muskelfasern)
- ---> Häufigste Todesursache bei Elektrounfällen)

Normale Herzsteuerung:

Vom Sinusknoten (primärer Herzschrittmacher)
 durch rasche Erregungsleitung zur Vorkammerhofgrenze (0.04s)
 (Atrioventrikularknoten, sekundärer Herzschrittmacher)
 Von dort mit 0.1 s Verzögerung auf Herzmuskel.

----> koordinierte Kontraktion.

Nach der Kontraktion 0.8 s Ruhepause,
 -----> Muskel kann nicht stimuliert werden,
 dann bereit für nächste Kontraktion.

Falls Strom durch das Herz (μA genügen)

----> Aktionspotential, breitet sich auf Nachbarzelle aus

da nicht vom Schrittmacher ---->unkoordinierte Kontraktion
 (nicht die richtige Verzögerung -----> keine Pumpwirkung

----->keine Blutversorgung -----> keine weitere Funktion des Herzens

Wenn Stromfluß in der Ruhepause:

Keine Auslösung des Aktionspotentials, etwa 75% der Zeit

-----> 75% der vom Blitz getroffenen Personen überleben.

----- Herzperiode wichtig.

Strom, bei dem Flimmern auftritt nur durch Analogieexperimente
 ermittelbar oder Untersuchung von Stromunfällen rekonstruierbar.

Abb. 21.1 Biologische Physik

Flimmergrenze von
 Stromstärke und
 Einwirkungsdauer
 abhängig.

bei kurzen Stromstößen
 auch Herzperiode
 wichtig.

Wirkungen

I_{eff}	Einwirkungsdauer	Physiologische Wirkung
0 ... 1 mA	unkritisch	nicht oder kaum bemerkbar
1-15 mA	unkritisch	schmerzhafte Wirkung aus Muskel Finger und Arme. Bis zur Krampfschwelle. Lösen von umfaßten Objekten nicht möglich.
15-30 mA	Minuten	krampfhaftes Zusammenziehen der Arme/Hände/Finger, Atembeschwerden. Blutdrucksteigerung, Grenze der Erträglichkeit.
30-40mA	Sekunden ... Minuten	Unregelmäßiger Herzschlag, Steigerung des Blutdrucks, Starke Krampfwirkung, Bewußtlosigkeit Bei langer Einwirkung im oberen Bereich ---->Flimmern

I_{eff}	Einwirkungsdauer	Physiologische Wirkung
50-500mA	< 1 Herzperiode > 1 Herzperiode	Schock, kein Flimmern Flimmern, Strommarken, bewußtlos
0.5 A	< 1 Herzperiode > 1 Herzperiode	in vulnerablen Phase: Flimmern bewußtlos, Strommarken bewußtlos, Strommarken Verbrennungen, reversibler Herzstillstand Bereich der elektischen Defibrillation

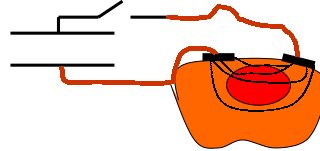
Defibrillator: Flimmern abstellbar, wenn $I > 10A$ über den Körper.

Alle Muskelfasern kontrahieren bei Stromfluß gleichzeitig

----> erholen sich gleichzeitig

----> danach üblicherweise normale Kontraktion

Kondensator auf 3 kV aufgeladen, großflächige Elektroden,
Strompuls von ca 60A.
Schutz des Personals!!



Schutz vor Gefahren des elektrischen Stroms

(1) Übermäßige Erwärmung ---> Brandgefahr

$$U = R \cdot I, P = U \cdot I \text{ ---> } P = R \cdot I^2$$

Bei fixen Widerstand steigt Leistung und Erwärmung mit I^2

Draht hat Widerstand der sich aus Querschnitt ergibt
Begrenzung der Stromstärke durch Draht.

Dicker Draht hat größeren Widerstand

---> mehr Strom möglich bei gleicher Erwärmung

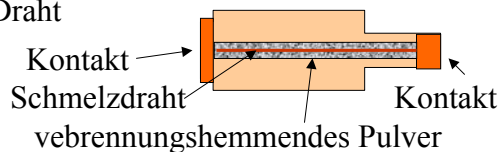
Maximal möglicher Strom durch Querschnitt und Wärmeabgabe bedingt

z.B. 1.5 mm^2 -----> 12 16A

Begrenzung des Stromflusses durch Sicherung.

Unterbricht den Stromkreis bei Überschreitung des maximal zulässigen Stroms.

Schmelzsicherung: dünner Draht



Sicherungsautomat:
(Leistungsschutzschalter)

Bimetall (löst bei geringen langanhaltenden Überströmen aus) und
Elektromagnet (bei kurzen hohen Überströmen)

Motorschutzschalter: Spricht auf langanhaltende
Stromüberschreitungen an, z.B. Überlastungen

Übliche Auslösestromstärken: 6A, 10A, (12A), 16A, 25A, 35A,

Stromfluß über Lebewesen: Maximal tolerabel 50, besser 30 mA
Mit Sicherung für 30 mA ergibt sich maximale Leistung bei 230V
----> geht nicht, da dann nur Leistungen < 6.9W möglich wären.

Bei Berührung: Strom ergibt sich aus Körperwiderstand und Spannung:
R ist ca 2 k Ω (trocken) bzw. 1k Ω (feucht)
----> bei $U = 230 V_{\text{eff}}$, ist $I_{\text{eff}} = 115 \text{ mA}$ (trocken), 230mA (feucht)

Widerstand von der Berührungsfläche abhängig, in Badewanne >1A
----> Übliche Sicherungen schützen Menschen nicht
----> Berührungsspannung von 100V (besser 60V) bzw 50 (30V)
wäre tolerabel

Im Körperinneren nur 0.1% durch das Herz, größte Barriere ist Haut

Bei Kontakt mit dem Körperinneren (z.B. Katheter aus Metall) auch
bei kleinen Spannungen hohe Ströme möglich. Strom geht durch die
Gefäße durch das Herz.

Offener Patient: Induktionsströme schon ausreichend.

----> Gute Erdung nötig

Schutz vor Stromfluß durch Lebewesen

Älteste und sicherste Methode: Nichtverwendung elektrischer Energie

Modernere Methoden:

(a) Schutz gegen Berührung spannungsführende Teile:

- Isolation von Drähten und Kontakten, die berührt werden könnten
 - > Kabel mit beschädigter Isolation **sofort** austauschen
 - > Kinderschutz bei Steckdosen
 - > Stecker und Steckdosenform



Berührungs- Schutz beim Schuko-Stecker

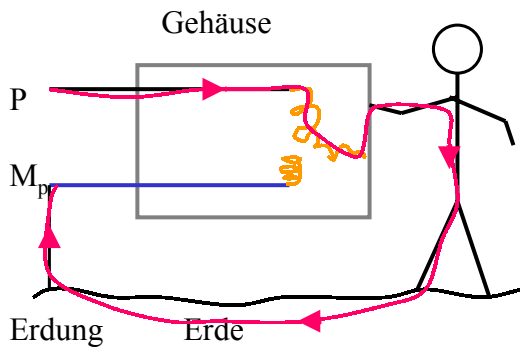
Abb. 21.2 Biologische Physik



Berührungsschutz bei Flachstecker

Abb. 21.2 Biologische Physik

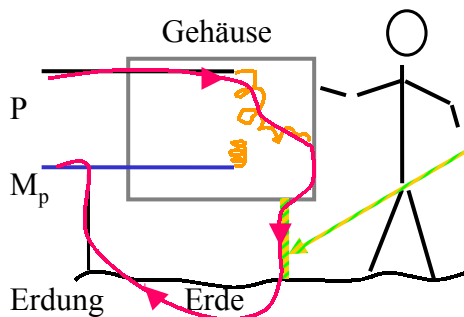
(b) **Schutzerdung:** Falls Elektrogerät beschädigt wird (z.B. fällt auf den Boden), kann das Metallgehäuse mit im Inneren mit spannungsführenden Teil in Berührung kommen. Falls gehäuse berührt wird Strom über Menschen zur Erde



beschädigtes Gerät.
Draht berührt Gehäuse

Mensch berührt Gehäuse

Strom zwischen P und M_p
fließt über Mensch und Erde



Abhilfe: Gehäuse wird mit
Erde verbunden. ---->

Schutzerden: Gehäuse hat
selbes Potential wie Erde

Strom fließt über die Erde statt
über den Menschen



Steckdose hat Schutzleiterkontakt
Farbe für Schutzleiter: Grün-gelb

Problem mit Erdungswiderstand

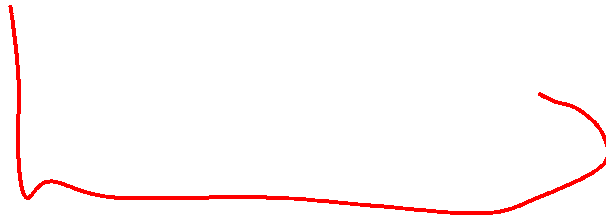
Falls Erdungswiderstand 10Ω ist bei
16A die Berührungsspannung 160V

(c) Schutzisolation. Gerät hat zusätzlich zur Betriebsisolation
zweite Isolation (z.B. Kunststoffgehäuse), die im
Beschädigungsfall wirkt. Dann kein Schutzleiter, Stecker fix am
Kabel. Symbol am Gerät:



(d) Fehlstromschutzschaltung

Abb. 21.3 Biologische Physik



Gerät A (in Ordnung): Zufließender und abfließender Strom gleich
Gerät B (defekt): Abfließender Strom kleiner, da ein Teil über Menschen abfließt. $I_1 + I_3 < I_1 + I_4$, es fehlt etwas: **Fehlstrom** I_F

Fehlstrom ist sicheres Zeichen für defektes Gerät, bzw. Stromfluß über Person.

Fehlstrom erkennbar mit Summentransformator

$\rightarrow I_1$	Falls $I_1 = I_2$, Magnetfelder heben sich auf, $U_{\text{sek}} = 0$
U_{sek}	Bei Fehlstrom $I_1 \neq I_2$ ----> $U_{\text{sek}} \neq 0$, Abschaltmechanismus trennt Verbindung
$\leftarrow I_2$	

Abb. 21.4 Biologische Physik

(d) Schutztrennung: Ungeerdete Stromversorgung über
1:1 Transformator direkt beim Verbraucher (z.B. Rasiersteckdose)
----> einseitiges Berühren ungefährlich

(e) Kleinspannungen. Stromfluß auch bei Berühren zweier Pole
ungefährlich: 42 V, 24V (Kinderspielzeug)

(f) Sonderregelungen:

- Badezimmer: kein Steckdosen im Gefahrenbereich
- Potentialausgleich (alle leitenden Teile miteinander verbunden)
- Stall: Gitter im Boden.