

Nach Unfällen an unter Spannung stehenden Anlagen und Betriebsmitteln in der naturwissenschaftlichen Sektion haben wir es uns zum Ziel gesetzt, dazu beizutragen, das Unfallgeschehen zu minimieren und schwere Unfälle auch in Zukunft nach Möglichkeit auszuschließen.

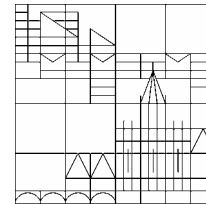
Dazu möchten wir ihnen

- Hilfestellungen geben und an Beispielen aus der Praxis aufzeigen wie Lösungen für experimentelle Aufbauten sicherheitsgerecht umgesetzt werden können.
(Ganz ohne Blick auf die Vorschriftenlage geht es dabei leider nicht)

Allgemeines:

Grundsatz beim Arbeiten an elektrischen Anlagen und Betriebsmitteln sind die fünf Sicherheitsregeln, die sicher bekannt – dennoch nicht immer beachtet werden. Deshalb sollen sie hier nochmals genannt werden.

- **Freischalten** Spannungsfreiheit aller Stromkreise im Arbeitsbereich herstellen. Dazu ist die Kenntnis **aller** Stromkreise im Arbeitsbereich dringend erforderlich. (z. B. Netzstecker ziehen).
- **Gegen Wiedereinschalten sichern.** Schaltorgane blockieren, Sicherungen entfernen, Warnschilder anbringen, Schaltstücke öffnen.
- **Spannungsfreiheit feststellen** (mit geeignetem Messgerät, z. B. Multimeter **DC / AC**). Spannungsmessungen an allen Stromkreisen die frei zu schalten waren (bei diesen Arbeiten ist mit Vorsichtsmaßnahmen zu verfahren, als wäre die Freischaltung nicht erfolgt!).
- **Erden und Kurzschließen** (insbesondere bei gefährlichen Hochspannungen). Reihenfolge (1. Erden, 2. Kurzschließen) unbedingt einhalten. In Anlagen unter 1000V kann auf diesen Schritt (nach Abwägung aller eventuellen Gefahren) verzichtet werden.
- **Benachbarte, unter Spannung stehende Teile abdecken oder abschränken.** Diese Maßnahmen müssen sicherstellen, dass an der Anlage arbeitende Personen (und auch andere anwesende Personen) und Gegenstände im Gefahrenbereich keinen direkten Kontakte zu spannungsführenden Teilen bekommen können.



Vor Beginn einer Arbeit ist eine Gefährdungsbeurteilung durchzuführen nach der sich dann alle Sicherheits- und Schutzmaßnahmen richten.

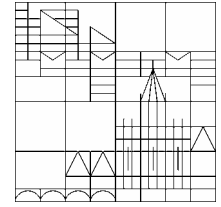
- Wenn die Spannung wieder aufgeschaltet wird muss eine zweite Person in unmittelbarer Nähe sein, die eine Notfallversorgung unverzüglich einleiten kann. (Dies gilt umso mehr wenn keine Elektrofachkräfte den Aufbau überwachen.)

- An Experimentierständen an denen eine gefährliche Körperdurchströmung nicht sicher ausgeschlossen werden kann ist **Alleinarbeit** gesetzlich **nicht gestattet** (generelles Verbot der gefährlichen Alleinarbeit).

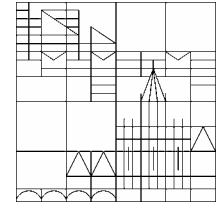
In bestimmten Fällen, z. B. Justieren von Lasern, lassen sich Arbeiten unter Spannung nicht vermeiden. In solchen Fällen muss eine zweite Person, die alle Abschaltpositionen (Notaus) kennt sowie gezielt Erste-Hilfe- Maßnahmen einleiten kann, anwesend sein.

Überlegen Sie sich wie Sie die Gefahren zusätzlich minimieren können (isolierende Schutzschuhe, Körperschürzen, Schutzhandschuhe).

- Verlegen Sie alle elektrischen Zuleitungen, wo möglich und sinnvoll auch Wasserleitungen, aus dem Deckenbereich zu ihren Experimentierständen. So können Stolperunfälle und Elektrounfälle die durch mechanische Einwirkung auf bodenverlegte Leitungen erfolgen minimiert werden. (Trennung Hochspannung / Niederspannung / Wasser nur in klimatisierten Räumen)
- Isolierung von unter Spannung stehenden Geräten / Geräteteilen (kein Schutzleiteranschluss).
- Geordnete und eindeutige Leitungsführung, Leitungskennzeichnung und Leitungszuordnung.
- Verwendung von ungefährlicher Niederspannung wo immer dies möglich ist.
- Planen Sie bei den Versuchsaufbauten eine ausreichende Arbeitsfläche ein.
- Führen Sie regelmäßig zusammen mit ihrem Sicherheitsbeauftragten Begehungen der Räume durch. Sprechen Sie Sicherheitsmängel an. (Der Standard des Lehrstuhlinhabers / Abteilungsleiters etc. ist Standard der Arbeitsgruppe)

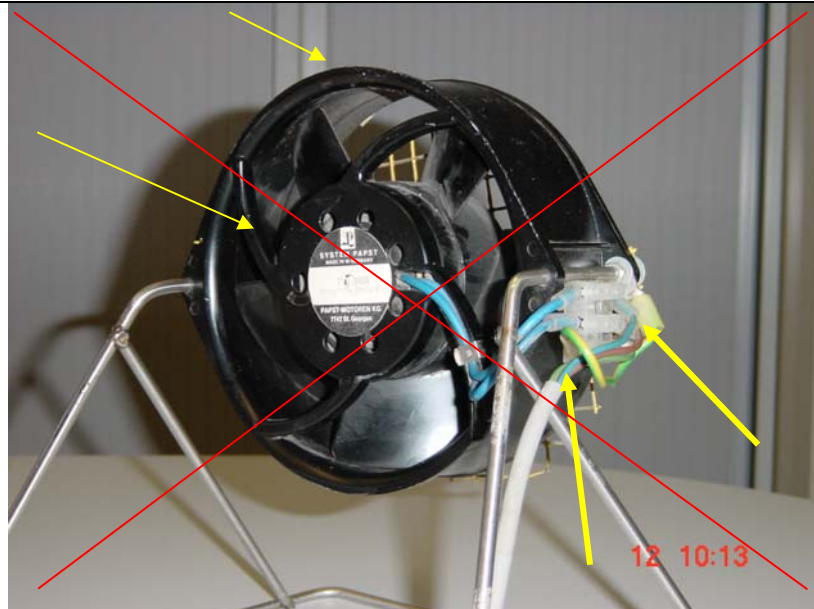


- Den Fachbereichen wird empfohlen Personen, die wiederum in den Arbeitsgruppen Unterweisungen durchführen, mind. einmal jährlich einen eintägigen Schulungskurs zu ermöglichen. Möglicherweise kann dieser Kurs als Dienstleistung durch die Wiss. Werkstätten angeboten werden.
(Initiative durch FB)



Ventilatoren

Unerwünscht

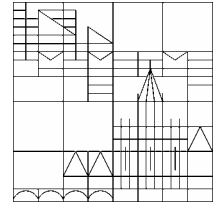


Mech. Gefährdung: Eingriff in das Ventilatorblatt möglich
Spitze Kanten der vorderen Abdeckung (verdeckt)
El. Gefährdung: Fehlende Zugentlastung
Anschluss nicht berührungssicher

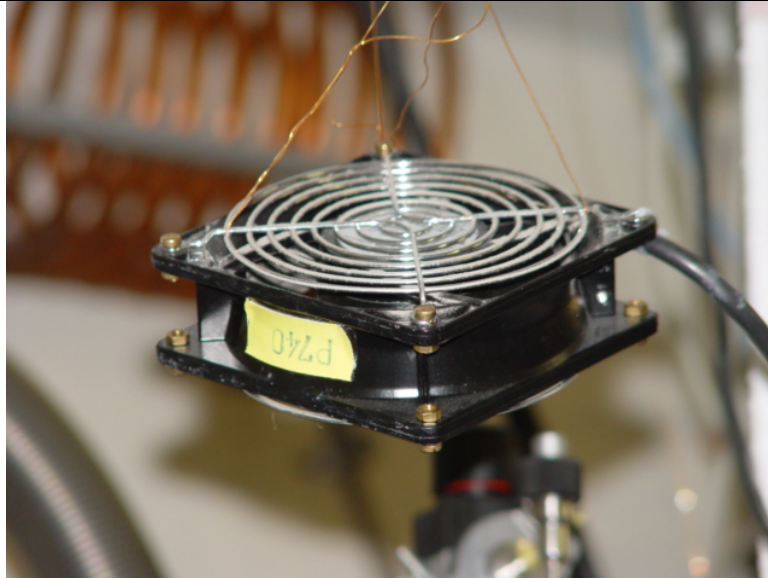
Vorbildlich



Keine mech. Gefährdung da beidseitiger Eingriffsschutz
Keine el. Gefährdung durch Einsatz von Niederspannung
Erheblich preiswerter im Verbrauch und Beschaffung

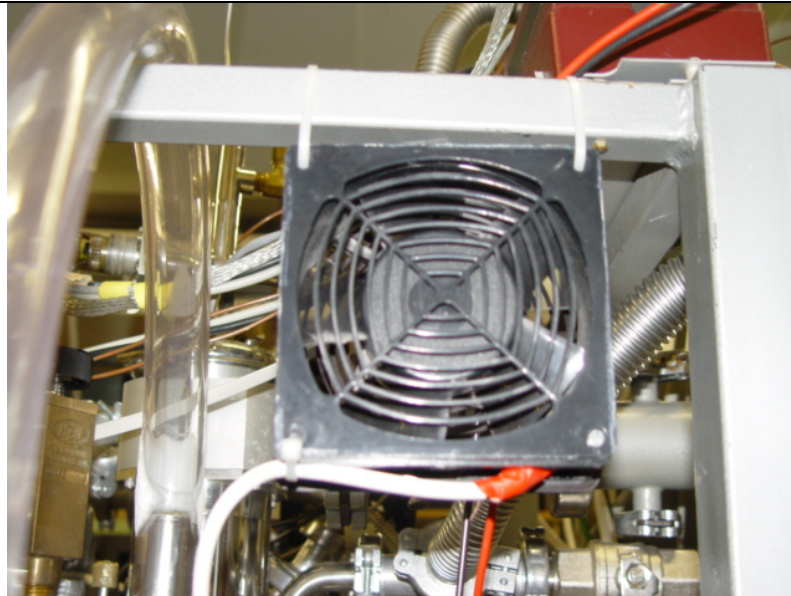


Unerwünscht

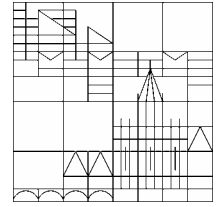


Aufhängung an el. leitenden Drähten.
Keine sichere Fixierung des Lüfters.

Vorbildlich



Sichere Befestigung des Lüfters mit Fixierung (Zugentlastung) des Anschlusskabels.



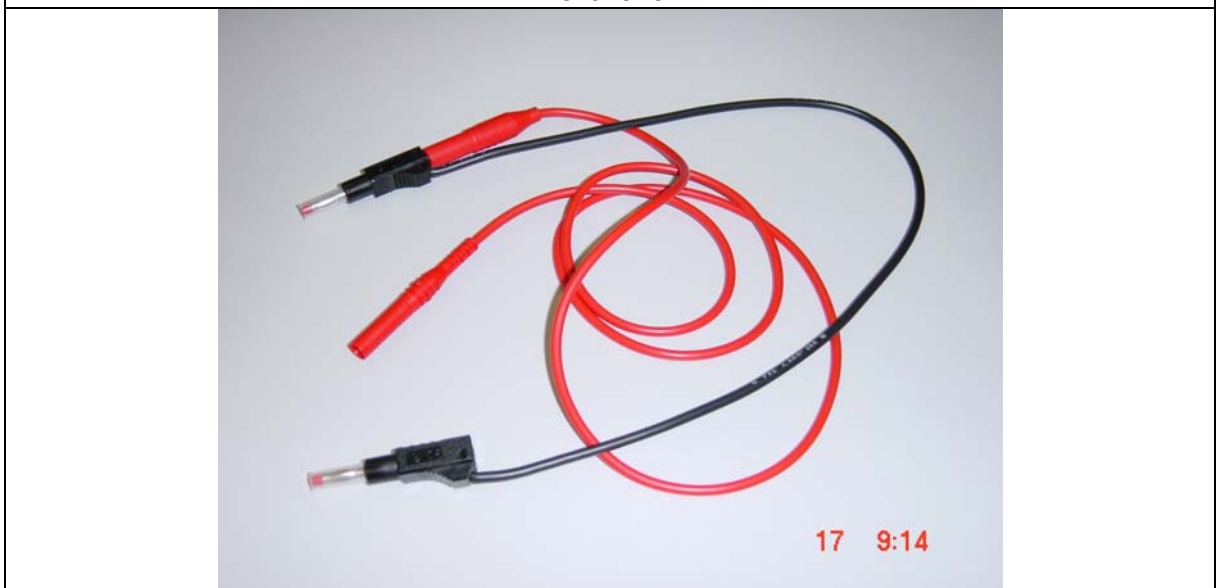
Steckverbindungen

Unerwünscht



Ungeschützte Steckverbindung

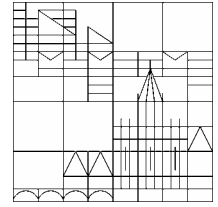
Vorbildlich



Mit Berührungsschutz

Im Ausbildungsbereich zwingend vorgeschrieben.

In allen anderen Bereichen dringend empfohlen



Leitungsverlegung

Unerwünscht

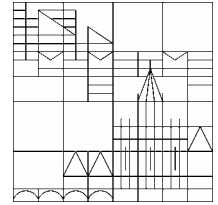


Ungeordnete Kabelverlegung mit hängender Steckdosenleiste

Vorbildlich



Geordnete Kabelverlegung mit Fixierung.
Oberhalb des Verkehrsbereiches – ohne Stolperstellen



Arbeiten an elektrischen Anlagen und Betriebsmitteln
Rechtliche Grundlagen

Arbeitsschutzgesetz

§ 5 Vor Aufnahme der Tätigkeit hat der Arbeitgeber durch eine Beurteilung der für die Beschäftigten mit ihrer Arbeit verbundenen Gefährdung zu ermitteln, welche Maßnahmen des Arbeitsschutzes erforderlich sind (Dokumentationspflicht).

§ 12 Alle beschäftigten Personen müssen über die Gefahren, Schutzmaßnahmen und Notfallmaßnahmen unterwiesen sein. Unterweisungen sind zu dokumentieren und jährlich zu wiederholen (Unfallverhütungsvorschrift GUV V A1)

Unfallverhütungsvorschrift GUV V A2

§ 36 Gefährliche Arbeiten dürfen durch Verantwortliche Personen (Lehrstuhlinhaber / Abteilungsleiter etc.) nur geeigneten Personen übertragen werden, denen die damit verbundenen Gefahren bekannt sind.

Gefährliche Arbeiten dürfen nicht alleine durchgeführt werden. (Zweite Person in Sichtweite, Kontrollgänge in kurzen Abständen, Personen-Notsignalanlagen).

Unfallverhütungsvorschrift GUV V A2

§ 3 Der Unternehmer hat dafür zu sorgen, dass elektrische Anlagen und Betriebsmittel nur von einer Elektrofachkraft oder unter Leitung und Aufsicht einer Elektrofachkraft den elektrotechnischen Regeln entsprechend errichtet, geändert und in Stand gehalten werden.

Der Unternehmer hat ferner dafür zu sorgen, dass die elektrischen Anlagen und Betriebsmittel den elektrotechnischen Regeln entsprechend betrieben werden.

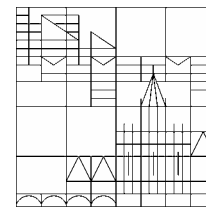
Anmerkung: Beschäftigte, Mitarbeiter etc. mit naturwissenschaftlicher Ausbildung (Physiker, Chemiker, Biologen) sind keine Elektrofachkräfte im Sinne der einschlägigen Normen und der UVV!

§§ 6, 7, 8 An oder in der Nähe spannungsführender Teile darf nur gearbeitet werden, wenn:

Keine Gefährdung durch Körperdurchströmung oder Lichtbogenwirkung auftreten kann
oder

Aus zwingenden Gründen der spannungsfreie Zustand nicht hergestellt werden kann (Lebensgefahr), produktionsbedingte Vorgänge soweit dabei:

- durch Hilfsmittel eine Körperdurchströmung ausgeschlossen ist
- durch den Unternehmer nur fachlich geeignete Personen beauftragt werden



- der Unternehmer technische, organisatorische Maßnahmen ergreift, die ausreichenden Schutz gewährleisten.

Bei Abweichung des Verbotes der §§ 6 und 7 ist eine schriftliche Begründung durch den Unternehmer notwendig weiterhin müssen durch eine **verantwortliche Elektrofachkraft** schriftlich Arbeitsanweisungen mit Sicherheits- und Schutzmaßnahmen festgelegt werden.

- **§ 5** Der Unternehmer hat dafür zu sorgen, dass die elektrischen Anlagen und Betriebsmittel auf ihren ordnungsgemäßen Zustand geprüft werden. (vor Inbetriebnahme, nach Änderungen / Instandsetzungen, wiederkehrend)

Die Prüfpflicht für ortsveränderliche elektrische Geräte ist in der Hausverfügung vom 10.12.2003 geregelt.

Die verantwortlichen Leiter von Arbeitsgruppen tragen für Ihren Arbeitsbereich die Unternehmerversantwortung (siehe allgemeine Verwaltungsvorschrift der Universität Konstanz über die Verantwortlichkeit zum Arbeits-, Gesundheits- und Umweltschutz). Sie tragen die Auswahlverantwortung, die Organisationsverantwortung und die Führungsverantwortung.

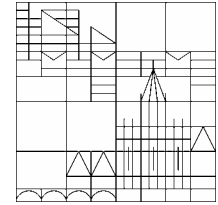
Grundsätze der Verantwortung:

- Eigenes Handeln (Tun und Unterlassen) hat jeder selbst zu verantworten, auch im juristischen Sinne.
- Bei Anwendung der DIN-VDE-Normen ist der *Beweis des ersten Anscheins* erbracht – das Gegenteil müsste erst bewiesen werden.
- Im Einzelfall kann für den Anwender die Rechtspflicht bestehen mehr zu tun, als in den Normen gefordert wird.
- Die Anwendbarkeit und Aktualität der Normen hat der Anwender selbst zu prüfen.

Es ist deshalb allen Arbeitsgruppen dringend anzuraten, Elektroarbeiten durch Elektrofachkräfte ausführen zu lassen, sie zumindest aber von Anfang an zu beteiligen (Leitung, Aufsicht, Abnahme, Prüfung) bzw. ein Teil der Mitarbeiter zumindest zu *Fachkräften für festgelegte Tätigkeiten (FFT)* fortbilden zu lassen.

Januar 2005

Dr. Boneberg, Bruno Erne, Jürgen Gans-Thomsen, Klaus Heck, Dr. Röhl



Anlage: Welche Wirkungen hat der elektrische Strom auf den menschlichen Körper?
Aus „Gefahren des elektrischen Stromes“ der Berufsgenossenschaft der Feinmechanik und Elektrotechnik.

WELCHE WIRKUNGEN HAT DER ELEKTRISCHE STROM AUF DEN MENSCHLICHEN KÖRPER?

1 Allgemeine Übersicht

Je nach Art des Zustandekommens des Stromunfalles können folgende direkt oder mittelbar schädigende Auswirkungen des elektrischen Stromes auftreten:

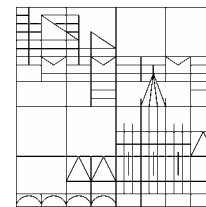
Beim Durchströmungsunfall sind - vor allem im Niederspannungsbereich - die schädigenden Auswirkungen des Stromes auf seine spezifische Reizwirkung auf erregbare Gewebe (Nerven, Muskeln, Herz) zurückzuführen. Bekanntlich sind alle Funktionsabläufe im menschlichen Körper (willkürliche und unwillkürliche) - beginnend mit der Aufnahme von Reizen bei der Sinneswahrnehmung über die Reizleitung und Reizverarbeitung in Erregungsabläufen bis hin zur Befehlsausführung in Muskeln physikalisch-chemische Vorgänge bioelektrischer Natur. Sie werden über das sehr komplizierte Nervensystem in voneinander abhängigen Regelmechanismen über körpereigene Stromimpulse gesteuert. Von außen aufgeprägte körperfremde Ströme sind, sofern sie gewisse Stromstärkewerte überschreiten, in der Lage, diese Funktionsabläufe zu stören.

Bei lang andauernder Stromeinwirkung und bei starken Strömen, wie sie insbesondere beim Hochspannungsunfall durch den Körper fließen können, kann es infolge der Stromwärme, die im Körper längs der Strombahnen entsteht (ähnlich wie in der Heizwendel eines Elektrowärmegerätes), auch zu thermischen Schädigungen des Körpers durch innere Verbrennungen kommen.

Bei Unfällen durch Lichtbogeneinwirkung treten vor allem äußere thermische Schädigungen auf. Hier handelt es sich - sofern nicht gleichzeitig auch eine Durchströmung stattfindet - um ganz ähnliche Schädigungen des Körpers, wie Sie bei einem Verbrennungsunfall durch offenes Feuer entstehen.

Bei einer Durchströmung mit einem für den Körper physiologisch an sich noch ungefährlichen Stromfluss kommt es häufig zu Reflexen und unkontrollierten Bewegungen des Verunglückenden, die dann einen Sekundärunfall (Sturz von der Leiter, Abrutschen der Hand und Hineingreifen in sich bewegende Maschinenteile oder Prellungen durch heftige Reflexbewegungen) nach sich ziehen können.

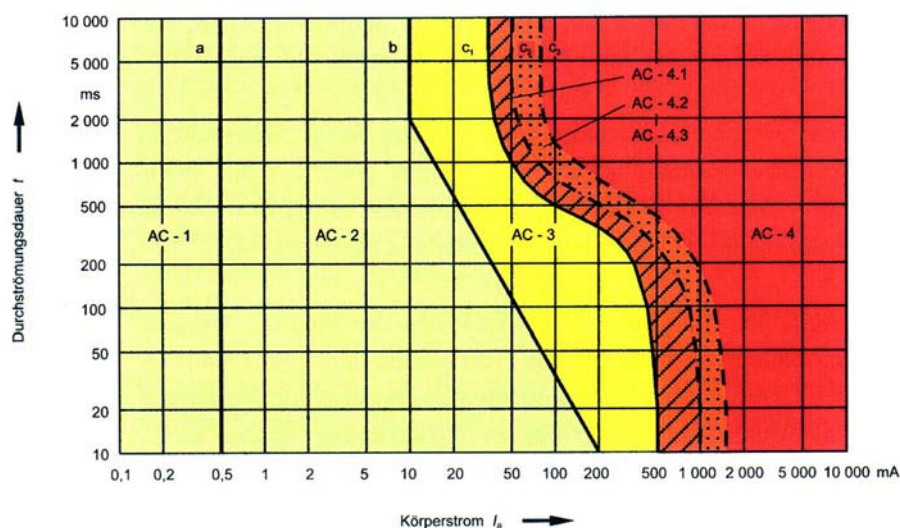
Wesentlich für die Folgen des Stromunfalles ist die Stromstärke des durch den Körper des Verunglückenden fließenden Stromes.



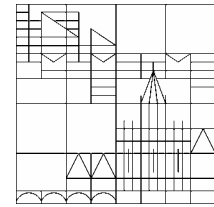
Zu einer pessimal überschlägigen Ermittlung dieses Stromes kann der Körperwiderstand - gemessen jeweils zwischen den Extremitäten - mit etwa 1.000 Ohm angesetzt werden (z.B. bei einer Durchströmung von Hand zu Hand oder von Hand zu Fuß).

Dies bedeutet, dass bei der Überbrückung der üblichen Verbraucherspannung von 230 V gegen Erde gemäß dem Ohmschen Gesetz $I = U/R$ bei den oben genannten Stromwegen ein Strom von 230 mA durch den Körper des Verunglückten fließen kann. Meist wird sich durch die im Unfallstromkreis noch wirkenden Widerstände des Fußbodens und der Schuhe des Verunglückten und durch den anfänglich sehr hohen Hautwiderstand sich - zumindest anfangs - ein kleinerer Strom einstellen, der diesen pessimalen Wert noch weit unterschreitet. Trotzdem sollte dem Leser dieser Wert von 230 mA als Richtwert der Stromstärke für die mögliche Gefährdung beim Niederspannungsunfall zur Risikoeinschätzung bewusst bleiben.

Die physiologischen Wirkungen des Stromes auf den menschlichen Körper sind nun aber nicht nur von der Größe der Stromstärke, sondern u. a. auch wesentlich von der Dauer der Stromeinwirkung abhängig. Zwischen der Größe des für den menschlichen Körper noch ungefährlichen Stromes und der Dauer seiner Einwirkung besteht eine nichtlineare Beziehung. Bei kurzen Einwirkzeiten bleiben vergleichsweise größere Stromstärken ohne schädliche Auswirkung als bei längerer Einwirkdauer. Die Zeit-Stromstärke-Abhängigkeit für Wechselströme im Frequenzbereich von 15 Hz bis 100 Hz ist in den abgebildeten Diagrammen dargestellt, die der DIN V VDE V 0140-479 entnommen sind, die derzeit in der Ausgabe Februar 1996 vorliegt.



*Zeit-Stromstärke-Abhängigkeit der Auswirkungen von Wechselstrom im
Frequenzbereich von 15 Hz bis 100 Hz (DIN V VDE V 0140-479 [02/96])*



2 Zeit-Stromstärke-Bereiche

2.1 Wirkungsbereiche für Wechselstrom

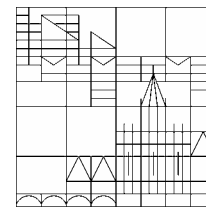
In dem Zeit-Stromstärke-Diagramm für Wechselstrom sind in doppelt-logarithmischem Maßstab vier Bereiche unterschiedlicher Auswirkungen gekennzeichnet.

Bis zu einer Stromstärke von 0,5 mA (Bereich AC-1) sind auch bei beliebig langer Einwirkdauer des Stromes keinerlei Auswirkungen und Reaktionen bis hin zur Wahrnehmbarkeitsschwelle (oder Empfindungsschwelle) zu erwarten. Die Empfindungsschwelle hängt von mehreren Parametern ab, so z.B. von dem Bereich der Körperoberfläche, die mit unter Spannung stehenden Teilen in Kontakt gerät, von der Art des Kontaktes und dem Zustand der Stromübergangsstelle (Feuchtigkeit, Temperatur) und auch von individuellen physiologischen Eigenschaften der berührenden Person.

Bei Stromstärkewerten bis zu etwa 10 mA unterhalb der Loslassgrenze können Schreckreaktionen zu Sekundärunfällen infolge Sturz oder Fall führen, denn bereits Ströme mit Stromstärken ab 2 mA werden von jedem Menschen mit mehr oder weniger unangenehmen Empfindungen wahrgenommen. In diesem Bereich AC-2, der sich bei kurzen Einwirkzeiten des Stromes zu größeren Stromstärkewerten aufweitet, wäre theoretisch eine beliebig lange Einwirkdauer noch ungefährlich. Oberhalb der so genannten Loslassgrenze, die im Mittelwert bei etwa 10 mA liegt, führen die Ströme jedoch zu einer Muskelverkrampfung, wobei - wenn auch die Brustmuskulatur davon betroffen ist - bei längerer Einwirkung des Stromes Atemlähmung und als Folge davon Bewusstlosigkeit auftritt. Wenn nach elektrischen Unfällen vielfach vom „Hängenbleiben oder Klebenbleiben am Strom“ gesprochen wird, so hat diese Erscheinung in der Muskelverkrampfung bei Überschreitung der Loslassgrenze ihre Ursache.

Im Bereich AC-2 sind also normalerweise keine schädlichen physiologischen Auswirkungen bis zur Loslassgrenze zu erwarten. Auch die Loslassgrenze hängt im Wesentlichen von den gleichen Parametern wie die Empfindungsschwelle ab, zusätzlich jedoch auch von der Größe und der Konfiguration der berührten unter Spannung stehenden Teile.

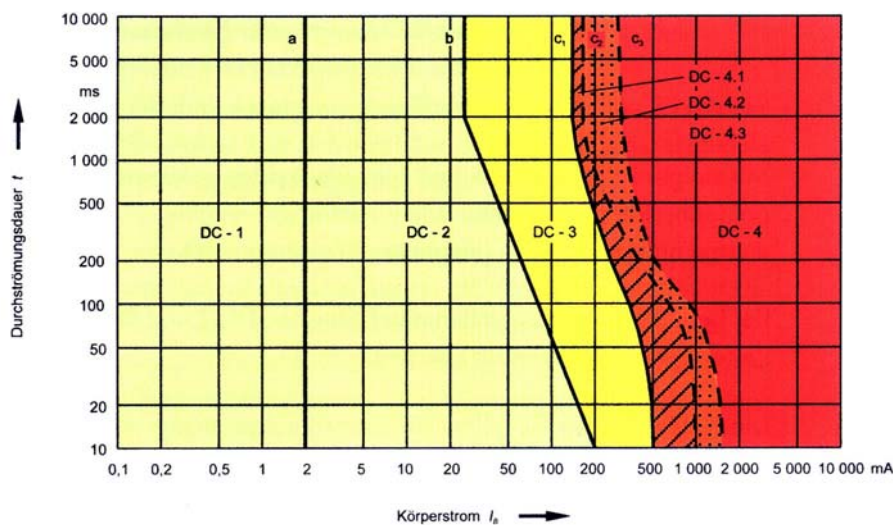
Im Bereich AC-3, der durch die einfach und die doppelt gekrümmte Kurve eingeschlossen wird, sind normalerweise keine organischen Schäden zu erwarten. Mit zunehmender Stromstärke und Zeitdauer der Einwirkung werden jedoch reversible Störungen der Reizbildung und Reizleitung des Herzens möglich, die auch das so genannte Vorhofflimmern und den vorübergehenden Herzstillstand beinhalten; sie führen im Allgemeinen jedoch noch nicht zum Herzkammerflimmern. Im Bereich lang andauernder Stromeinwirkung bei Stromstärken oberhalb der Loslassgrenze kommt es jedoch zu Muskelkontraktionen und zu Atemschwierigkeiten.



Im Bereich AC-4, der sich von der doppelt gekrümmten Kurve links begrenzt nach rechts zu großen Stromstärkewerten hin ausdehnt, tritt mit großer Wahrscheinlichkeit Herzkammerflimmern auf. Mit zunehmender Stromstärke und Dauer der Einwirkung des Stromes treten pathophysiologische Auswirkungen wie Herzstillstand, Atemstillstand und schwere (innere) Verbrennungen auf, zusätzlich zu den für den Bereich 3 beschriebenen Auswirkungen.

Für die Ströme mit Frequenzen oberhalb der Netzfrequenz von 50 Hz nehmen die Wahrnehmbarkeitsschwelle, die Loslassgrenze und die Grenze für das Auftreten von Kammerflimmern relativ stark zu. Für die Schwellen der Wahrnehmbarkeit und der Loslassstromstärke liegen Untersuchungsergebnisse bis zu Frequenzen von 10 kHz vor, für die flimmerauslösenden Stromstärken sind Untersuchungsergebnisse nur bis zu einer Frequenz von 1 kHz bekannt.

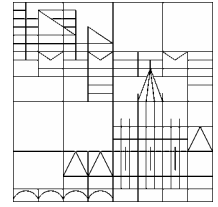
Für Frequenzen oberhalb von 10 kHz entfällt die spezifische Reizwirkung der Ströme auf erregbare Gewebe, und die rein thermische Wirkung tritt in den Vordergrund.



*Zeit-Stromstärke-Abhängigkeit der Auswirkungen von Gleichstrom
(DIN V VDE V 0140-479 [02/96])*

2.2 Wirkungsbereiche für Gleichstrom

Bei Gleichstrom entspricht die Grenze für das Auftreten von Herzkammerflimmern bei kurzzeitiger Durchströmung (bis zu 200 ms) etwa der des Wechselstroms. Bei länger dauernder Durchströmung wird die Gefährdungsgrenze bei Gleichstrom etwa erst beim dreifachen Wert der Grenze des Wechselstroms erreicht (diese Angabe sollte jedoch nicht zum Leichtsinne beim Umgang mit Gleichspannungsanlagen verleiten, da die thermische Wirkungen bei der Auslösung von Lichtbogen bei Gleichstrom wesentlich stärker sind).



Bereich DC-1 in der Regel keine Reaktion

Bereich DC-2 in der Regel keine pathophysiologisch gefährliche Wirkung

Bereich DC-3 in der Regel keine organischen Schäden Mit steigender Stromstärke und Einwirkungsdauer sind reversible Störungen der Reizleitung im Herzen möglich.

Bereich DC-4 Herzkammerflimmern wahrscheinlich

Mit steigender Stromstärke und Einwirkungsdauer können weitere pathophysiologische Effekte wie schwere Verbrennungen zusätzlich zu den in Bereich DC-3 genannten Wirkungen auftreten.

Bei Bereichsgrenze zwischen den Bereichen DC-2 und DC-3 ist für Zeiten unter 500 ms nicht bekannt.

Die Kurven C₁ bis C₄ gelten für Längsdurchströmung und aufsteigenden Strom (Füße positiv).