



Sicherheit elektronischer Geräte

Die meisten Elektrounfälle sind auf nicht eingehaltene Sicherheitsvorschriften zurückzuführen. Gravierende und teilweise lebensgefährliche Fehler sind in den typischen „fliegenden Verdrahtungen“ in Labor und Werkstatt genauso zu finden wie in vielen Geräten. Dieser Artikel gibt dem interessierten Leser einen kurzen Überblick über die wesentlichen Anforderungen in den einschlägigen Vorschriften und eröffnet ihm so die Möglichkeit, gravierende Sicherheitsmängel zu erkennen und ggf. zu beheben.

Allgemeines

Gezielte Elektroschocks sind zwar in der Medizin eine anerkannte Therapiemethode, Elektroniker lernen Elektroschocks aber meist unter anderen Voraussetzungen kennen. Es gibt wohl kaum einen Elektroniker, der nicht schon einmal einen elektrischen Schlag bekommen hat. In den meisten Fällen kommt der Betroffene mit einem Schrecken davon. Dies ist aber oftmals nur auf das Ansprechen diverser Schutzmaßnahmen zurückzuführen. Dass es zu solchen im Allgemeinen glimpflich ausgehenden Unfällen kommt, ist aber auch nur möglich, wenn andere grundlegende Schutzmaßnahmen nicht eingehalten wurden. Prinzipiell gibt es für jede nur erdenkliche Unfallursache eine wirksame Schutzmaßnahme.

Zusammengefasst sind diese Maßnahmen in den VDE-Normen, die von der

Sicherheit in Hochspannungs-Energieversorgungsnetzen bis hin zu der Sicherheit in Geräten alles erfassen. Hier gibt es Tausende von Normen und Vorschriften, die alle im Wesentlichen nur drei Schutzziele erfassen:

Die Sicherheit von Menschen, die Sicherheit von Nutztieren und die Erhaltung von Sachwerten.

Für den Elektroniker interessant sind im Allgemeinen nur die Vorschriften, welche die Sicherheit von Geräten betrachten. Aber auch bei der Gerätesicherheit gibt es unzählige Normen, da es für jede Gerätegruppe praktisch eine eigene Vorschrift gibt, die auf die speziellen Betriebsbedingungen eingeht. So werden beispielsweise PCs, HiFi-Anlagen und Bügeleisen von unterschiedlichen Normen erfasst. Hinzu kommt, dass zwar die Schutzziele für alle Produkte gleich sind, die Auslegung in den unterschiedlichen Normen aber aufgrund der unterschiedlichen Betriebsbedingungen

variieren kann. Daher lassen sich viele Schutzmaßnahmen leider nicht für alle Gerätegruppen verallgemeinern. Selbst für den Fachmann ist es so oftmals auf den ersten Blick nicht ganz einfach zu unterscheiden, ob ein Gerät die Sicherheitsnormen einhält oder nicht.

Dass Geräte den einschlägigen Sicherheitsvorschriften entsprechen und die allgemeinen Schutzziele erfüllen müssen, ist durch die Niederspannungsrichtlinie bzw. das Gerätesicherheitsgesetz gesetzlich festgelegt. Jeder Hersteller erklärt mit dem Anbringen des CE-Zeichens, dass sein Produkt auch diese Richtlinie erfüllt. Leider kommt es immer wieder vor, dass auch Geräte mit gravierenden Sicherheitsmängeln das CE-Zeichen tragen. Die Nichteinhaltung von grundlegenden Sicherheitsvorschriften ist bei Geräten besonders gefährlich. Diese werden im Allgemeinen vom elektrotechnischen Laien betrieben, der das Gerät ohne Gefährdung nutzen



Bild 1:
Symbole der verschiedenen Schutzklassen

will. Die elektrische Funktionsweise muss er dazu nicht kennen. Der Anwender verlässt sich darauf, dass bei der Konstruktion des Gerätes die erforderlichen Sicherheitsmaßnahmen beachtet worden sind und die Nutzung für ihn keine Gefahr darstellt.

Schutzklassen

Eine wichtige Voraussetzung für die Erfüllung der Gerätesicherheit ist die Einteilung des Gerätes in die richtige Schutzklasse. Hier unterscheidet man Geräte mit den Schutzklassen 0, I, II und III. Gekennzeichnet sind diese mit den in Abbildung 1 dargestellten Symbolen, wobei auf die Schutzklasse 0 nicht näher eingegangen wird, da sie bei Geräten nicht erlaubt ist. Abhängig von diesen Schutzklassen gibt es dann verschiedene Möglichkeiten zur Gewährleistung der Sicherheit.

Geräte der Schutzklasse I sind Einrichtungen, bei denen der Schutz gegen elektrischen Schlag (gefährliche Körperströme) durch folgende Maßnahmen erreicht wird:

- eine Basisisolierung und
- Anschluss solcher leitfähigen Teile an den Schutzleiter des Versorgungsstromkreises, die gefährliche Spannungen annehmen könnten, wenn die Basisisolierung versagt.

Diese Geräte enthalten also immer einen Schutzleiteranschluss und sind daher mit einem Schukostecker ausgerüstet. Die Wirksamkeit dieses Schutzes ist hier nur in Verbindung mit einer korrekt verdrahteten Hausinstallation gegeben. Ist beispielsweise in der benutzten Steckdose der Schutzleiterkontakt nicht angeschlossen, versagt diese Schutzmaßnahme.

Bei Geräten der Schutzklasse II handelt es sich um Einrichtungen, bei denen der Schutz gegen elektrischen Schlag nicht allein auf der Basisisolierung beruht, sondern in denen zusätzliche Schutzmaßnahmen wie doppelte oder verstärkte Isolierung vorgesehen sind. Es besteht so keine Abhängigkeit der Sicherheit vom Anschluss eines Schutzleiters und von der Beschaffenheit des Versorgungsstromkreises.

Geräte der Schutzklasse III sind Einrichtungen, deren Schutz gegen elektrischen Schlag auf der Versorgung durch spezielle Schutzkleinspannungen beruht. Bei diesen Geräten werden die Anforderungen der Sicherheit gegen elektrischen Schlag in das speisende Netzgerät, das die Schutzkleinspannung liefert, verlagert. Der Hersteller eines Gerätes mit Schutzklasse III braucht hinsichtlich der Berührbarkeit von

unter Spannung stehenden Teilen keine besonderen Maßnahmen ergreifen. Er muss nur sicherstellen, dass die Versorgungsspannung aus einem speziell für diese Anwendung konzipierten Netzteil gewonnen wird und dass die Betriebsspannung bzw. jede andere im Gerät erzeugte Spannung einen Wert von 42,5 V nicht übersteigt. Weitere Maßnahmen zum Schutz gegen elektrischen Schlag sind hier nicht notwendig.

Schutz gegen elektrischen Schlag

Geräte der Schutzklassen I und II besitzen zum Schutz von Personen gegen elektrischen Schlag verschiedene Maßnahmen. Im Wesentlichen sind dies zwei Arten von Berührungsschutz: Schutz gegen direktes und Schutz gegen indirektes Berühren.

Beim Schutz gegen direktes Berühren muss im Normalbetrieb sichergestellt sein, dass aktive Teile, d. h. Teile, die unter gefährlicher Spannung stehen können, nicht direkt vom Benutzer angefasst werden können. Hier muss mindestens eine Basisisolierung wirksam sein.

Beim Schutz gegen indirektes Berühren muss im Fehlerfall sichergestellt sein, dass berührbare Teile kein gefährliches Potential annehmen können.

Die Unterschiede zwischen der Schutzklasse I und II liegen prinzipiell nur in der Ausführung des Schutzes gegen indirektes Berühren.

Bei Schutzklasse-I-Geräten stellt dies der Anschluss des Schutzleiters an alle berührbaren Teile sicher. In einem Fehlerfall, d. h. wenn die Basisisolierung versagt, kann das berührbare Teil keine gefährliche Spannung annehmen, da es ja fest auf Schutzleiterpotential liegt. In diesem Fall wird normalerweise der FI-Schutzschalter der Hausinstallation ansprechen. Ist kein FI-Schutzschalter vorhanden, wird ein erhöhter Ableitstrom, der so genannte Fehlerstrom, über den Schutzleiter fließen, der für den Benutzer aber keine Gefahr darstellt.

Bei Schutzklasse-II-Geräten muss der Schutz gegen indirektes Berühren, d. h. bei

Versagen der Basisisolation, durch eine weitere Isolation sichergestellt sein. Diese Zusatzisolierung kann auf verschiedenste Weise sichergestellt werden. Möglich ist es beispielsweise, diese durch eine isolierende Umhüllung, im einfachsten Falle in Form eines isolierenden Gehäuses, ohne berührbare Metallteile oder anderen Isolierschichten herzustellen. Weiterhin lässt sich die Zusatzisolierung auch durch die Einhaltung definierter Abstände, d. h. mit ausreichenden Luft- und Kriechstrecken, zu berührbaren Teilen sicherstellen.

Bei Geräten der Schutzklasse II dürfen die beiden Teilisolierungen, bestehend aus Basis- und Zusatzisolierung (doppelte Isolierung), aber auch durch eine einzige gemeinsame ersetzt werden, die dann als verstärkte Isolierung bezeichnet wird.

Somit müssen Geräte der Schutzklasse I über Basisisolierung in Verbindung mit dem Schutzleiteranschluss und Schutzklasse-II-Geräte über Basis- und Zusatzisolierung verfügen, um dem Schutz von Personen gegen elektrischen Schlag zu gewährleisten.

Basis- und Zusatzisolierung

Basis- und Zusatzisolierung können prinzipiell mit den gleichen Maßnahmen realisiert werden. Die einfachste Möglichkeit ist die Einhaltung von in den Sicherheitsnormen definierten Luft- und Kriechstrecken zwischen den gegeneinander zu isolierenden Teilen.

Dabei ist eine Luftstrecke definiert als kürzester durch die Luft gemessener Abstand zwischen zwei leitfähigen Teilen oder einem leitfähigen Teil und der begrenzenden Oberfläche der Einrichtung.

Die Kriechstrecke ist der kürzeste entlang der Oberfläche der Isolierung gemessene Weg zwischen zwei leitfähigen Teilen oder einem leitfähigen Teil und der begrenzenden Oberfläche der Einrichtung.

Wie groß diese Luft- und Kriechstrecken letztlich sein müssen, lässt sich nicht pauschal festlegen. Zum einen gibt es von Sicherheitsnorm zu Sicherheitsnorm unterschiedliche Festlegungen, zum anderen ist die Länge der Strecke noch von der Höhe der Betriebsspannung, der Isolierstoffklasse, dem Verschmutzungsgrad, dem die Schaltung ausgesetzt sein kann, der

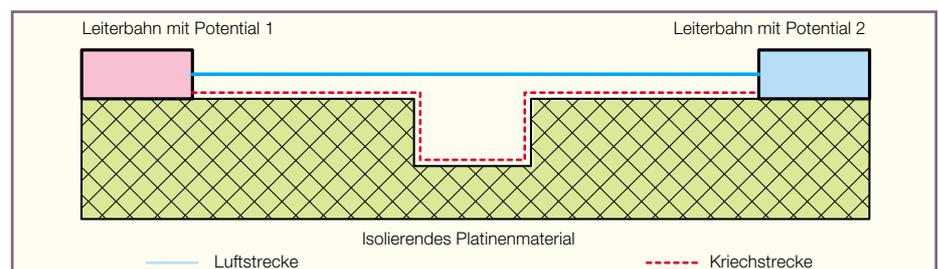


Bild 2: Messung von Luft- und Kriechstrecken

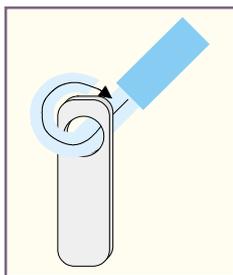


Bild 3: Anschluss einer Leitung mit doppelter Sicherheit

Überspannungskategorie usw. abhängig. In der VDE 0700, die die Sicherheit elektrischer Geräte für den Hausgebrauch regelt, sind beispielsweise folgende Werte gefordert:

Bei 230 V Arbeitsspannung muss die Kriechstrecke der Basisisolierung 4 mm betragen. Die entsprechende Luftstrecke muss mindestens 3 mm betragen. Dies bedeutet in der Praxis beispielsweise, dass der Abstand zwischen 230 V führenden Leiterbahnen und einem mit dem Schutzleiter verbundenen Teil diesen Wert besitzen muss.

Für ein Schutzklasse-II-Gerät ist die gleiche Basisisolierung vorgeschrieben, als Zusatzisolierung sind 4 mm einzuhalten. In einem solchen Gerät muss der Abstand zwischen den berührungsgefährlichen Teilen und einem Metallteil, das hier ja nicht an den Schutzleiter angeschlossen sein kann, auch 3 mm bzw. 4 mm betragen. Der Abstand zwischen diesem Metallteil, das ja beim Versagen dieser Basisisolierung unter Spannung stehen kann, und einem berührbaren Teil muss dann 4 mm (Zusatzisolierung) betragen. Kann keine Trennung zwischen Basis- und Zusatzisolierung gemacht werden, sind 8 mm Abstand (sowohl Luft- als auch Kriechstrecke) zwischen Netzspannung führenden Teilen und berührbaren Teilen als verstärkte Isolierung notwendig.

Neben der Möglichkeit, die Basis- und Zusatzisolierung mittels der Einhaltung von Luft- und Kriechstrecken zu gewährleisten, können auch isolierende Gehäuse, Isolierfolien etc. eingesetzt werden. Hier muss die Isolierung dann eine ausreichende Spannungsfestigkeit besitzen, um für den Einsatz zugelassen zu werden. So fordert die VDE 0700 beispielsweise bei Isolierungen die Basisisolierung entsprechend 1000 V und bei verstärkter Isolierung 3750 V Spannungsfestigkeit.

Funktionell ist es aber oftmals notwendig, dass der Benutzer unter Spannung stehende Teile berührt. Dies ist allerdings nur zugelassen, wenn es sich dabei um Schutzkleinspannungen handelt, wie sie bei Geräten der Schutzklasse III zum Einsatz kommen. Praktisch ist dies nur mit der galvanischen Trennung vom Netz durch einen Transformator möglich. Dieser muss dann ebenfalls in seinem inneren Aufbau u. a. die Schutzanforderungen gemäß Ba-

sis- und Zusatzisolierung erfüllen. Ist die Ausgangsspannung eines Transformators (in welcher Form auch immer) berührbar, wie beispielsweise bei Labornetzgeräten, muss der Transformator die Anforderungen der Schutzklasse II erfüllen. Dies bedeutet, dass die Trennung zwischen Primär- und Sekundärwicklung entsprechend ausgeführt sein muss. Jeder, der seinen Transformator nicht selber wickelt, ist dabei auf die Angaben des Herstellers angewiesen.

Neben dem Transformator gilt allen Bauteilen, die in Geräten direkt an der Netzspannung angeschlossen sind, erhöhte Aufmerksamkeit. Alle diese Bauteile müssen bestimmte Anforderungen erfüllen, die oftmals nur durch sehr aufwändige Tests prüfbar sind. Daher empfiehlt es sich, bereits VDE geprüfte Komponenten zu verwenden. So lässt sich zum Beispiel eine Gefährdung durch einen unsicheren Netzschalter vermeiden.

Neben dem Schutz gegen elektrischen Schlag wird der Benutzer eines Gerätes durch die Gerätesicherheitsnormen auch gegen andere Gefahren geschützt. So ist beispielsweise die maximale Temperatur an Bedienelementen und Tragegriffen genau festgelegt, der Schutz gegen die Verletzung durch sich bewegende Teile vorgeschrieben usw. Hierbei lassen sich die meisten Anforderungen aber bereits durch den Einsatz des „gesunden Menschenverstandes“ ableiten.

Schutz von Sachwerten

Unter dem Schutz von Sachwerten versteht man im Allgemeinen die Vermeidung von Gefahren wie Ausbreitung von Feuer, Beschädigung von extern angeschlossenen Geräten, Überlastung der Netzversorgung usw. Auch hier ist die Einhaltung der Basisisolierung eine wesentliche Schutzmaßnahme. So ist zwischen den beiden Netzspannung führenden Leitungen stets Basisisolierung einzuhalten.

Auch die Maßnahmen, die zum Schutz von Sachwerten dienen, sind so ausgelegt, dass von dem Gerät in einem Fehlerfall keine Gefahr ausgeht. Besonders kritisch werden dabei die innere Verdrahtung und der Anschluss an der Netzleitung betrachtet. So gilt hier immer der Grundsatz, dass Leitungen doppelt gesichert sein müssen. In der Praxis reicht daher das Anschrauben der Netzleitung in eine zugelassene Netzklemme nicht aus, wenn nicht zusätzlich die einzelnen Leitungen gegen das Herausrutschen aus der nicht festgezogenen Klemme gesichert sind. Wie diese doppelte Sicherheit gewährleistet wird, steht jedem Entwickler frei.

Auch das einfache Anlöten von Leitungen an eine Lötöse ist nicht zulässig. Hier

muss eine zusätzliche Sicherungsmaßnahme die Leitung unabhängig vom Lot in ihrer Lage halten. Im einfachsten Fall geschieht dies durch das Durchstecken und Umbiegen, d. h. durch das Einhängen der Leitung in die Öse vor dem Verlöten. Eine weitere Maßnahme ist hier das Einschrumpfen der Lötstelle mit geeignetem Schrumpfschlauch.

Auch die Festlegung von maximal zulässigen Temperaturen an äußeren Umhüllungen oder im Inneren des Gerätes geht auf die Verhinderung von Bränden zurück. Auch hier kann man leider keine allgemein gültigen Temperaturwerte vorgeben. Im Wesentlichen gelten in Geräten aber die Werte, die durch die technischen Daten von Transformatoren, Elektrolyt-Kondensatoren etc. vorgegeben werden.

Ein wichtiger Aspekt, um die Sicherheit eines Gerätes auch in einem Fehlerfall garantieren zu können, ist der Einsatz von Sicherungselementen. So lassen sich Schaltungsteile im Fehlerfall durch Schmelzsicherungen „abschalten“, Transformatoren durch Temperatursicherungen vor Über-temperatur schützen usw. Die Wirksamkeit dieser Schutzschaltungen ist aber immer von der richtigen Dimensionierung abhängig. Bei Temperatursicherungen in Transformatoren hat der Entwickler meist keine Einflussmöglichkeit mehr, da die Sicherung bereits während des Herstellungsprozesses mit eingebaut wird.

Die korrekte Dimensionierung einer Schmelzsicherung ist oftmals nicht ganz einfach. Ein Stromkreis gilt nur dann als durch die Sicherung geschützt, wenn der im Fehlerfall fließende Strom um den Faktor 2,75 größer ist als der angegebene Nennauslösestrom. So kann ein Schaltungsteil, das im Fehlerfall einen Strom von 275 mA aufnimmt, nur von einer 100-mA-Sicherung (oder kleiner) sicher getrennt werden.

Um die gesamte elektrische Sicherheit eines Gerätes konkret beurteilen zu können, ist es in jedem Falle notwendig, die gerätespezifische Norm durchzuarbeiten. Hilfestellung bei der Auswahl der richtigen Norm findet man z. B. im Internet beim VDE. Da Normen manchmal nicht ganz so einfach zu verstehen sind, gibt es verschiedene Bücher und Schriftenreihen, die Unterstützung bieten. Der WEKA-Verlag bietet hierzu diverse Veröffentlichungen an. Dieser Artikel spiegelt bezüglich der elektrischen Sicherheit von Geräten zwar einige wichtige, aber mit Blick auf den gesamten Umfang einer Sicherheitsprüfung, nur einen kleinen Teilbereich aus der breiten Palette der Schutzmaßnahmen wieder. 

Internet-Adressen:

<http://www.vde.de>

<http://www.vde-verlag.de>

<http://www.weka.de>