

Ein aktuelles Thema:

Elektrische Sicherheit in Laboratorien

Von Peter Marx

Im Durchschnitt der letzten Jahre wurden den Trägern der gesetzlichen Unfallversicherung jährlich ca. 5 000 Elektro-Unfälle mit ernsten Folgen gemeldet, von denen etwa 150 zum Tode führten.

Im privaten Bereich ereignet sich jährlich etwa die gleiche Zahl tödlicher Unfälle, d. h. in der Bundesrepublik sterben rd. 300 Menschen pro Jahr durch den elektrischen Strom.

Die Unfallursache liegt häufig in der *Nichtbeachtung* der Sicherheitsbestimmungen.

Tabelle 1 gibt einen Überblick über die Wirkungen des elektrischen Stroms auf den menschlichen Körper.

Stromstärkebereiche	Gleichstrom	80 mA	80 mA	3 A	3 A	8 A
	Wechselstrom 50 Hz	25 mA	25	80 mA	180 mA	3 A
Wirkungen	Gleichstrom	Muskelverkrampfungen	Herzkammerflimmern	Irreversibles Herzkammerflimmern (Tod)		
	Wechselstrom 50 Hz					

Tabelle 1

Bild 1 stellt eine Gefahrensituation in einer fehlerhaften Anlage *ohne* Schutzmaßnahme dar.

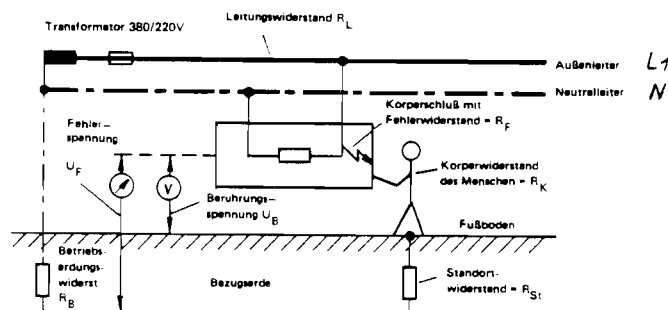


Bild 1

Elektrische Geräte werden hinsichtlich der Berührungssicherheit in Schutzklassen eingeteilt:

- Geräte der **Schutzklasse I** haben Metallgehäuse und Betriebsisolierung. Sie müssen eine Anschlußklemme für den Schutzleiter haben, die mit dem Zeichen \oplus gekennzeichnet sein muß.
- Geräte der **Schutzklasse II** haben zusätzlich zur Betriebsisolierung noch eine Schutzisolierung. Diese kann als Schutzisolierrumhüllung, Schutzzwischenisolierung oder als verstärkte Isolierung ausgeführt sein. Schutzisolierte Geräte dürfen keinen Schutzleiteranschluß haben und müssen mit dem Zeichen \square gekennzeichnet sein.
- Geräte der **Schutzklasse III** sind zum Betrieb mit Schutzkleinspannung bestimmt. Die Nennspannung darf dabei nicht höher als 42 V sein. Eine einheitliche Kennzeichnung existiert leider noch nicht, jedoch findet man häufig die Symbole \diamond oder \square vor.

Dr.-Ing. Peter Marx ist Professor im Fachbereich 12 (Elektrotechnik) für das Fachgebiet Elektrische Meßtechnik.

Schutzmaßnahmen gemäß VDE 0100

Man unterscheidet grundsätzlich zwischen

Schutzmaßnahmen *ohne* Schutzleiter:

- Schutzisolierung
- Schutzkleinspannung
- Schutztrennung

und Schutzmaßnahmen *mit* Schutzleiter:

- Schutzerdung
- Nullung
- Schutzleitungssystem
- Fehlerstrom (FI)-Schutzschaltung

Schutzisolierung

Sie soll die Überbrückung einer zu hohen Berührungsspannung durch eine zusätzliche Isolierung verhindern. (Bild 2)

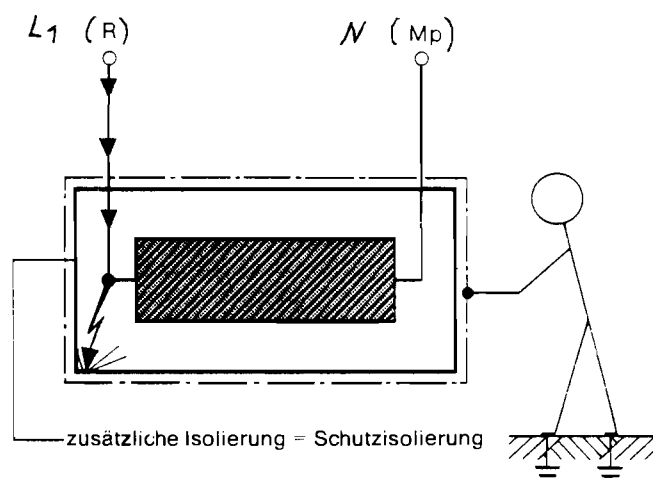


Bild 2

Schutzkleinspannung

Bei dieser Schutzmaßnahme darf die Nennspannung nicht höher als 42 Volt sein. (Bild 3)

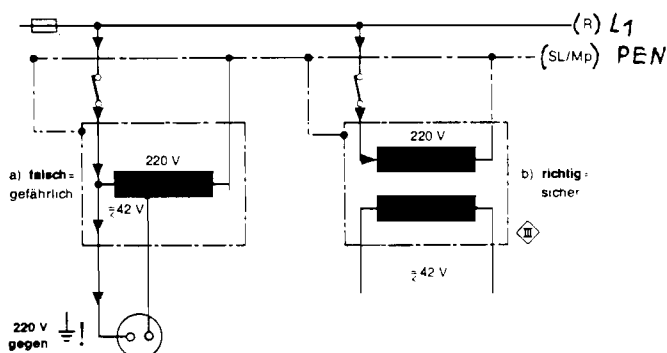


Bild 3

Schutztrennung

Der Stromkreis eines Verbrauchers wird durch einen Trenntransformator vom speisenden Netz galvanisch getrennt. (Bild 4)

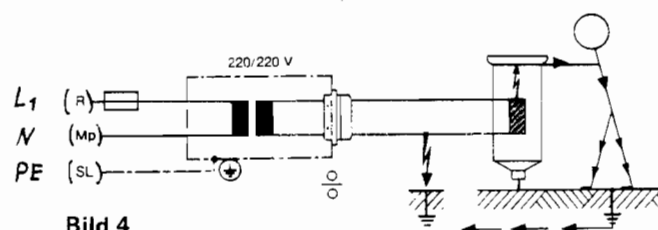


Bild 4

Die Sekundärseite des Trenntrafos darf *keinesfalls geerdet* werden! Weshalb, zeigt Bild 4. Weiterhin darf an *einen* Trenntrafo nur *ein* elektrischer Verbraucher mit höchstens 16A Nennstrom angeschlossen werden. Weshalb, erläutert Bild 5.

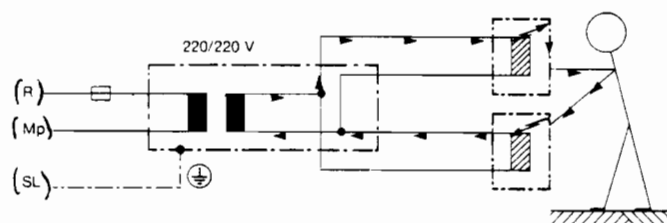


Bild 5

Schutzerdung

Die einwandfreie Durchführung dieser Maßnahme ist schwierig, da der Schutzerdungswiderstand R_s nicht größer sein darf als

$$R_s \leq \frac{65V}{I_A}$$

I_A ist der Abschaltstrom der vorgeschalteten Sicherung. Die niedrigen Werte von R_s ($\approx 1 \text{ Ohm}$) können nur durch Anschluß an ein sehr gut leitendes durchverbundenes Wasserrohrnetz – ohne Kunststoffzwischenstücke – erreicht werden (Bild 6).

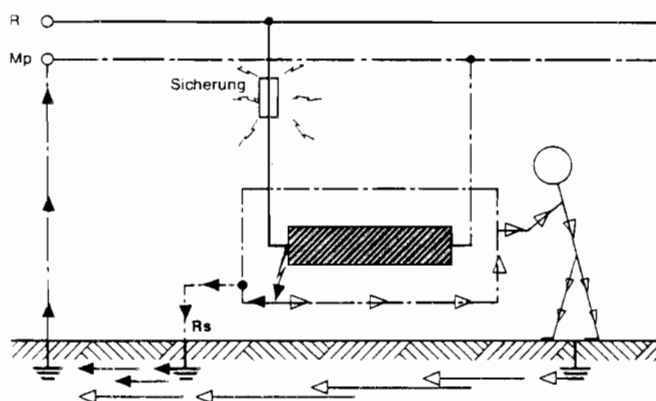


Bild 6

Nullung

Hier wird das zu schützende Betriebsmittel statt mit Erde mit dem Nulleiter N (M_p) verbunden. Auf ausreichenden Querschnitt des Nulleiters ist zu achten! Die „klassische“ heute jedoch nicht mehr zulässige Nullung zeigt Bild 7. Wenn der Nulleiter durch einen Fehler unterbrochen wird, setzt das Einschalten nur eines Gerätes alle anderen angeschlossenen Verbraucher unter Spannung (Lebensgefahr, obwohl alle angeschlossenen Geräte fehlerfrei sind!). (vgl. Bild 8)

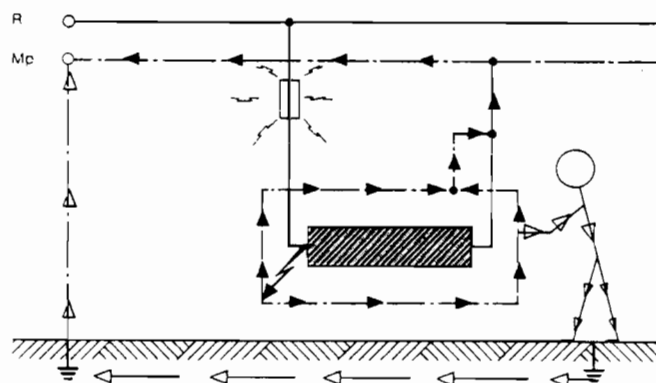


Bild 7

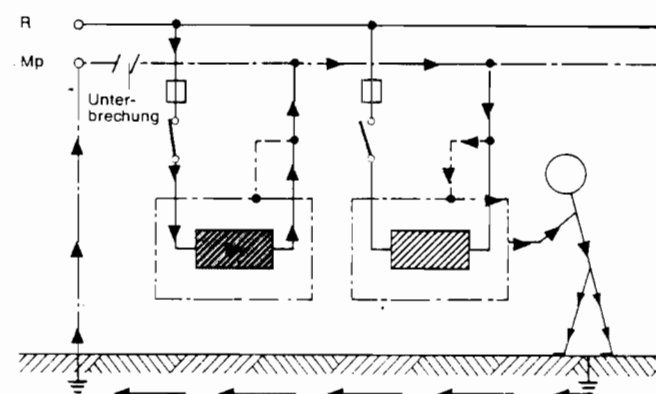


Bild 8

Häufig traten auch Fehler beim laienhaften Auswechseln von Schukosteckdosen auf. Deshalb wurde die moderne Nullung mit separatem – grün-gelbem – Schutzleiter PE (SL) eingeführt (Bild 9).

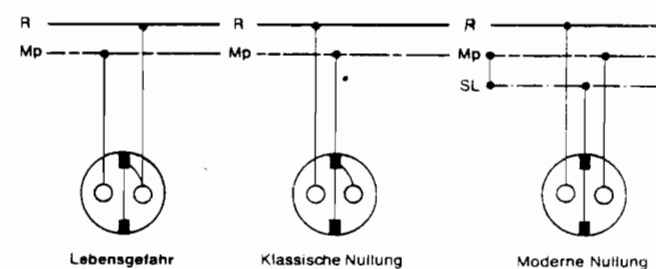


Bild 9

Schutzleitungssystem

Es werden alle nicht zum Betriebsstromkreis gehörenden leitfähigen Teile über einen Schutzleiter miteinander verbunden. Diese wirksame Schutzart ist z. B. in Narkoseräumen zwingend vorgeschrieben (Bild 10).

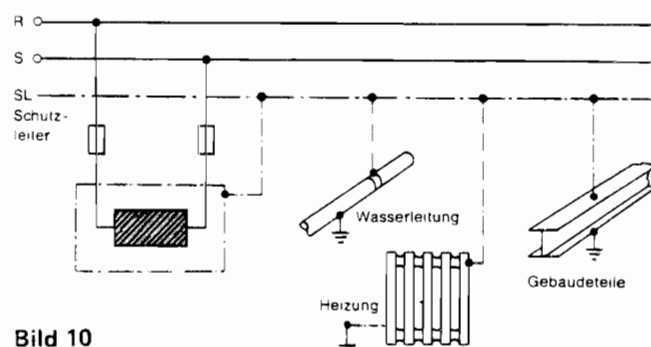


Bild 10

Fehlerstrom (FI)-Schutzschaltung

Ein Summenstromwandler überwacht hierbei, ob der in einen Verbraucher hineinfließende Strom auch wieder herausfließt (Stromwaage). Fließt ein Fehlerstrom von $I_F = 30 \text{ mA}$, wird innerhalb von $0,02 \text{ s}$ der Verbraucher abgeschaltet, wodurch Unfälle mit Sicherheit vermieden werden (Bilder 11 und 12).

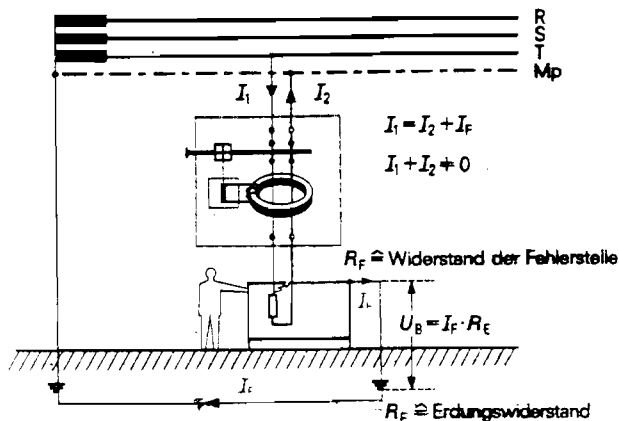


Bild 11

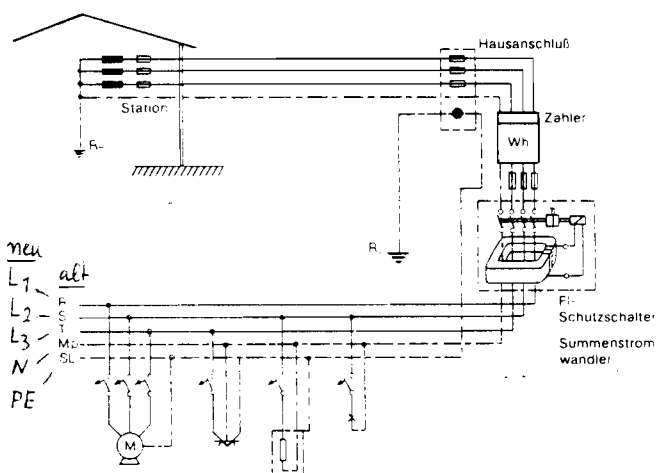


Bild 12

Bild 13 Verlauf des Belastungs- und Fehlerstroms bei verschiedenen Schaltungen

Prinzipschaltung mit Fehlerstelle	Form des Belastungsstroms	Form des Fehlerstroms
Einweggleichrichtung		
Gratzbrückenschaltung		
Gratzbrücke mit Glättung		
Symmetrische Phasenanschnittsteuerung		
Unsymmetrische Phasenanschnittsteuerung		
Schwingungspaketsteuerung		

Bild 13

FI-Schalter herkömmlicher Bauart reagieren nur auf reine Fehler-Wechselströme. Da heute bei vielen Geräten elektronische Steuer- und Regelschaltungen mit Dioden, Thyristoren, Triacs usw. verwendet werden, können Gleichstromanteile im Fehlerstrom auftreten, die die Auslösewerte des FI-Schalters zu höheren Werten verschieben können – bzw. ein Auslösen verhindern (Bild 13).

Die Industrie hat deshalb neue sog. *pulsstromsensitive* FI-Schalter entwickelt, die auch Fehlergleichströme beherrschen. Die VDE-Bestimmung 0664 wurde deshalb überarbeitet und sieht vor, daß nach einer Übergangsfrist von 9 Monaten nur noch solche FI-Schutzschalter das VDE-Zeichen tragen dürfen, die neben Wechselfehlerströmen auch pulsierende Gleichfehlerströme erfassen. Diese werden auch für Neuanlagen empfohlen, insbesondere auch im *Laborbereich*, wo die verschiedensten Formen des Fehlerstroms auftreten können. (Ein Verzeichnis über FI-Schutzschalter-Lieferanten kann beim Verfasser eingesehen werden).

Wie leicht im Labor eine lebensgefährliche Situation entstehen kann, zeigt das folgende Beispiel:

Es soll mit einem Oszilloskop der Schutzklasse II (diese ist bei modernen Oszilloskopen sehr verbreitet) die Netzspannung (220 Volt / 50 Hz) gemessen werden. In Bild 14 ist eine Schaltung ohne Beachtung der Sicherheitsvorschriften – ohne Trenntransformator und ohne FI-Schutzschalter – dargestellt.

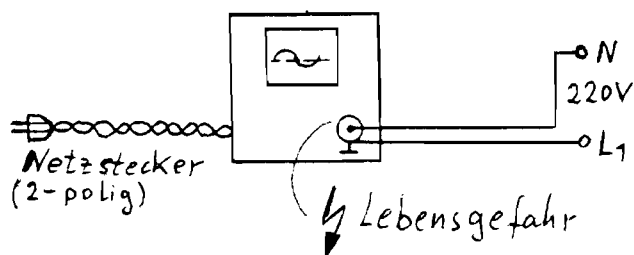


Bild 14

Je nach (zufälliger) Polung des Osz.-Eingangs liegen die Metallteile der Frontplatte incl. BNC-Eingangsbuchse auf 220 V – Potential oder Erdpotential (N). Infolge der Schutzklasse II löst die Sicherung nicht aus. Berührt z. B. ein Student eine Eingangsbuchse, kann ein lebensgefährlicher Strom durch seinen Körper fließen.

Abhilfe:

1. Dieser Versuch ist ohne Verwendung eines Trenn-Trafos zwischen der zu messenden Netzspannung und dem Oszilloskop-Eingang streng verboten.
2. Bei Gebrauch eines FI-Schutzschalters wird der Fehlerstrom innerhalb von $0,2 \text{ s}$ zur Abschaltung der Netzspannung führen.

Die richtige und vorschriftsmäßige Schaltung erläutert Bild 15.

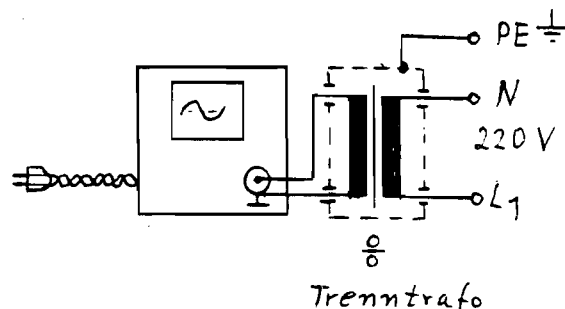


Bild 15

Sicherheitsvorschriften, Verantwortlichkeiten, Haftung

Um sicherzustellen, daß im direkten Verantwortungsbereich des Autors (Labor für elektr. Meßtechnik und Labor für Entwicklung und Konstruktion) die Sicherheitsmaßnahmen dem Stand der Technik entsprechen, richtete der Verfasser folgende Fragen an die zuständigen Stellen:

1. Welche elektrischen Sicherheitsvorkehrungen sind im Labor-Bereich erforderlich?
2. Müssen stationäre und mobile Laborgeräte in bestimmten Zeitabständen bzgl. ihrer elektrischen Sicherheit überprüft werden?
3. Wer ist für diese Prüfung zuständig?
4. Welche Versicherung leistet bei evtl. Unfällen Schadensersatz?

Da die diesbezüglichen Antwortschreiben von allgemeinem Interesse sein dürften — die TFH-Berlin hat ca. 80 Laboratorien — wird der Wortlaut im folgenden wiedergegeben.

Eigenunfallversicherung

Ausführungsbehörde für gesetzliche Unfallversicherung

Referat für psychologische und technische Unfallverhütung

Herrn Professor

Dr.-Ing. Peter Marx

Technische Fachhochschule

Berlin

— Fachbereich 12 —

Luxemburger Str. 10

1000 Berlin 65

27.1.1981

Betr.: Maßnahmen der Unfallverhütung
im Fachbereich 12
— Elektrotechnik —

Vorg.: Ihre Schreiben vom 3. Juni und 2. Dezember 1980

Sehr geehrter Herr Professor!

Bezug nehmend auf die Ergebnisse der Gesprächsrunde am 14. Januar 1981 in Ihrem Hause, teilen wir mit, daß folgende sicherheitstechnische und organisatorische Maßnahmen zur Optimierung der Unfallverhütung erforderlich sind:

1. Für die in Ihrem Schreiben genannten Laborbereiche ist die Einhaltung der „Richtlinien Bau und Ausrüstung von Schulen“ der Eigenunfallversicherung Berlin erforderlich. Wir verweisen insbesondere auf die Punkte 3.2.5.1.3 (Fehlerstromschutzschaltung) und 3.2.5.2.2 (zentrale Energieschalter).

Bei dem Gespräch ergab sich, daß der Einsatz mobiler FI-Schalter aus wirtschaftlichen und didaktischen Gründen als sinnvoll anzusehen ist.

Die zentralen Energieschalter sind an mehreren geeigneten Stellen in den einzelnen Laboratorien zu installieren.

2. Bezüglich der Überprüfung von stationären und mobilen Laborgeräten, verweisen wir auf die Unfallverhütungsvorschrift GUV 2.10 — Elektrische Anlagen und Betriebsmittel —. Hier ist aus dem § 5 und der betreffenden Durchführungsanweisung eine eindeutige Regelung der durchzuführenden Prüfungen getroffen.

3. Bei der Durchführung von praktischen Arbeiten im Rahmen der Ingenieur-Arbeit der Abschlußsemester ist darauf zu achten, daß in keinem Fall Studenten ohne Aufsicht arbeiten.

Einzelarbeitsplätze bei der Ausführung gefährlicher Arbeiten sind nicht zulässig.

4. Für Reparaturarbeiten in den vorgenannten Laborbereichen ist es erforderlich, die technischen Voraussetzungen für die Einhaltung der bekannten fünf Sicherheitsregeln zu schaffen.

Die fünf Sicherheitsregeln für alle Fälle, in denen abgeschaltet werden kann oder abgeschaltet werden muß lauten:

- I Freischalten
- II Gegen Wiedereinschalten sichern
- III Spannungsfreiheit feststellen
- IV Erden und Kurzschließen
- V Benachbarte, unter Spannung stehende Teile abdecken oder abschränken.

In der Anlage erhalten Sie Informationsmaterial zu den angesprochenen Themen.

Hochachtungsvoll

Im Auftrag

gezeichnet: Berger

T F H

Berlin 65, den 15.1.1979

— VerwDir —

Herrn

Prof. Dr.-Ing. P. Marx

über den

Sprecher des FBR im FB 12

Herrn Prof. Hecht

Betr.: Sicherheitsvorkehrungen bei der Durchführung von Lehrveranstaltungen, insbes. von Laborübungen

Vorg.: Ihr Schreiben vom 15.11.1978

Sehr geehrter Herr Dr. Marx!

In obiger Angelegenheit möchte ich mich zu Ihren Fragen wie folgt äußern:

1. Die Entscheidung, welche Sicherheitsmaßnahmen getroffen werden und welche Unterweisungen Studenten erhalten müssen, obliegt ausschließlich dem für die Lehrveranstaltung verantwortlichen Hochschullehrer. Ausgangspunkt seiner Überlegungen über im Einzelfall zu treffende Maßnahmen ist der zivilrechtliche Grundsatz, daß bei der Verursachung von Schäden für Vorsatz und Fahrlässigkeit gehaftet wird. Der Hochschullehrer muß daher seine Sicherheitsvorkehrungen so einrichten, daß ihm im konkreten Schadensfall — von der vorsätzlichen Schadensverursachung abgesehen — auch ein Vorwurf der fahrlässigen Verursachung nicht gemacht werden kann.

Fahrlässig handelt nach § 276 Satz 2 BGB, „wer die im Verkehr erforderliche Sorgfalt außer acht läßt“; mit anderen Worten: Demjenigen, der es unterlassen hat, die Sorgfalt aufzuwenden, zu der er nach seiner fachlichen Einsicht in der Lage war oder hätte sein müssen, wird der Vorwurf fahrlässiger Schadensverursachung gemacht. D. h. im konkreten Falle wird abgestellt auf das Fachwissen und die darauf beruhende Fähigkeit zur Einschätzung der jeweiligen Gefahrenlage durch den Hochschullehrer.

Von ihm allein kann und muß erwartet werden, daß er in der Lage ist, die für die konkrete Gefahrensituation (Laboreinrichtung, Versuchsanordnung, Maschine) fachlich einzuschätzen, daß er die einschlägigen Sicherheitsvorschriften kennt und danach die notwendigen Schlüsse in sicherheitsmäßiger Hinsicht zieht. Der Hochschullehrer muß insbesondere auch einschätzen, ob und wann er welchen resp. welche Studenten, ggf. wie lange, unbeaufsichtigt sich selbst überlassen kann.

2. Zuständig für den sicherheitstechnisch einwandfreien Zustand der Laboreinrichtungen, Laborgeräte, Maschinen usw. ist der jeweilige Laborleiter, der seinerseits durch die gem. §§ 5 und 6 Arbeitssicherheitsgesetz bestellten Fachkräfte für Arbeitssicherheit (Sicherheits-Ingenieur, Sicherheits-Techniker), sowie die gem. § 719 RVO bestellten Sicherheitsbeauftragten bei der Durchführung des Unfallschutzes beraten wird. Im Zweifelsfall werden Sicherheits-Ingenieur/Sicherheits-Techniker das Landesamt für Arbeitsschutz und technische Sicherheit einschalten.
3. Versicherungsschutz wird im Einzelfall ggf. geleistet durch die Eigenunfallversicherung des Landes Berlin.
4. Der Ordnung halber soll abschließend darauf hingewiesen werden, daß die Verantwortung des Hochschullehrers sich auch auf die Gefahrenlage erstreckt, die u. U. bei der Durchführung von ihm betreuter Ingenieurarbeiten ent- oder besteht.

Mit freundlichen Grüßen

gezeichnet: Schilf

TFH Berlin 65, den 6. August 1979

VerwDir –

Herrn

Hr. Prof. Kurt Klatt
Fachbereich 12 –

Str.: Haftung und Unfallversicherung

Brg.: Ihr Schreiben vom 16.2.1979

Ihr geehrter Herr Klatt!

zur Sache bemerke ich:

Angehörige des öffentlichen Dienstes – dies gilt nicht nur für den Hochschulbereich – erhalten gegenüber Haftpflichtansprüchen Dritter in der Form zunächst „Rechtsschutz“, daß ein angeblich geschädigter Dritter gem. Art. 34 des Grundgesetzes zunächst gehalten ist, sich an den Staat oder die Behörde zu wenden, in deren Dienst der angebliche Schädiger steht. Mit anderen Worten, eine – evtl. gerichtliche – Auseinandersetzung mit dem Geschädigten wird von Staat oder Behörde geführt.

2. Staat oder Behörde können sich allerdings gem § 41 des Landesbeamtengesetzes bei dem Schädiger im Regreßwege schadlos halten; dies kommt, soweit das Schadensereignis in Zusammenhang mit der Ausübung eines dem Bediensteten anvertrauten öffentlichen Amtes steht – dies ist bei der Ausübung einer Lehrtätigkeit regelmäßig der Fall – jedoch nur in Betracht, soweit dem Bediensteten Vorsatz oder grobe Fahrlässigkeit zur Last fällt.

3. Eine Freizeichnung hiervon gibt es im öffentlichen Dienst ebenso wenig wie eine durch den Dienstherrn ggf. abzuschließende „Korporativ-Versicherung“.

Der Abschluß einer privaten Berufshaftpflichtversicherung steht natürlich jedem einzelnen frei; die Eigenunfallversicherung des Landes Berlin tritt in jedem Falle nur für Geschädigte, nicht aber für tatsächliche oder angebliche Schädiger ein, die wegen Haftpflicht in Anspruch genommen werden.

Mit freundlichen Grüßen

gezeichnet: Schilf

Die im Schreiben der Eigenunfallversicherung genannten Verordnungen können beim Autor (Haus Gauß, Zimmer 140, Tel. 310) eingesehen werden. Dort sind detaillierte Angaben über Ausgestaltung von Labortischen, Not-Aus-Schalter, FI-Schutzschalter, zentraler Energieschalter usw. zu finden.

Literatur:

Hörnig/Schneider: Schutz durch VDE 0100. VDE-Verlag Berlin 1976

Kalmbach/Otto: Wann wird Elektrizität gefährlich? SIS-Schriftenreihe, Verlag Wilhelm Kluge Berlin 1978