

# Schutz gegen elektrischen Schlag

Autor(en): **Biegelmeier, Gottfried**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association Suisse des Electriciens, de l'Association des Entreprises électriques suisses**

Band (Jahr): **90 (1999)**

Heft 17

PDF erstellt am: **12.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-901967>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

# Schutz gegen elektrischen Schlag

## Grenzfehlerspannungen $U_{FL}$ und Wirkfehlerspannungen $U_{FA}$ beim modernen Fehlerschutz

Der IEC-Report 1200-413:1996-03 enthält Angaben über die Ableitung der «zulässigen Berührungsspannungen» und Ausschaltzeiten, die in IEC 364-4-41 für den Fehlerschutz durch automatisches Ausschalten verlangt werden. Die dafür herangezogenen Grundlagen aus dem IEC-Report 479 werden aus elektropathologischer Sicht einer Kritik unterworfen, die zu wesentlichen Erkenntnissen über die Wertigkeiten der verschiedenen Massnahmen des Fehlerschutzes führt.

Die guten Erfahrungen, die man nach dem Ersten Weltkrieg mit der Anwendung der Nullung gewonnen hatte, führten, wie in der Folge gezeigt wird, zu dem Versuch, eine höchstzulässige Grenze für Berührungsspannungen bei den Massnahmen zum Schutz gegen elektrischen Schlag festzulegen.

Das damals benützte Drehstromnetz 3N ~ 380/220 V führte nämlich beim Auftreten eines Kurzschlusses im Verteilungsnetz und symmetrischer Erdung des «Nulleiters» zu einer Fehlerspannung in der Verbraucheranlage, die infolge des Spannungsfalls im Aussenleiter etwa ein Viertel der Netzspannung, also 55 V, betrug. Mit einer Spannungstoleranz von 10% und einer gewissen zusätzlichen Sicherheitsmarge wurde daraus der höchste dauernd zulässige Grenzwert der «Berührungsspannung» von 65 V AC abgeleitet. Der Versuch, diesen Wert nachträglich elektropathologisch zu begründen, scheiterte.

Nach den Erfahrungen, die Weber in der Schweiz und Freiburger in Deutschland durch Versuche mit lebenden Menschen und Berührungsspannungen bis etwa 50 V gewonnen hatten, wusste man, dass bei der oberen Grenze von 50 V oder gar 65 V AC kaum von einer zulässigen Berührungsspannung geredet werden konnte. In der Schweiz einigte man sich schliesslich auf 50 V und in England auf 40 V als maximal zulässige Werte. Die Bedeutung dieser Werte für die menschli-

che Gesundheit waren zum damaligen Zeitpunkt allerdings noch nicht bekannt.

Alle diese Unsicherheiten sind entstanden, weil man sehr wenig über die Wirkungen elektrischer Ströme auf Menschen und Nutztiere und über deren Körperimpedanzen wusste. Heute besitzt man umfassende, auf umfangreichen Studien beruhende Kenntnisse, die in den IEC-Report 479 Eingang gefunden haben. [1, 2, 3, 4]

Man versuchte also zuerst, die konventionellen Berührungsspannungsgrenzen mit den Wirkungen des Stromes auf den Menschen zu begründen, und als man auf Grund des IEC-Reports 479 erkannte, dass dies nicht mit der Berührungsspannung, also der Spannung direkt am Körper, möglich war, wick man auf die «unbeeinflussten Berührungsspannungsgrenzen» aus, wodurch man vom Regen in die Traufe kam. Die Begriffe Berührungsspannung  $U_T$  sowie unbeeinflusste Berührungsspannung  $U_{TP}$  wurden in dieser Zeitschrift bereits ausführlich besprochen. [5, 6] Dazu kommen noch die neuen und wichtigen Begriffe «vereinbarte Grenzfehlerspannung  $U_{FL}$ » und «Wirkfehlerspannung  $U_{FA}$ ».

Zum besseren Verständnis sollen die Definitionen für Berührungsspannung  $U_T$ , Fehlerspannung  $U_F$ , Bezugserde, unbeeinflusste Berührungsspannung  $U_{TP}$ , vereinbarte Grenzfehlerspannung  $U_{FL}$  und Wirkfehlerspannung  $U_{FA}$  mit den zugehörigen Bildarstellungen in der Tabelle I wiedergegeben werden.

Für die Ableitung des Zusammenhangs zwischen den höchsten dauernd zulässigen Werten der Berührungsspannung und den Ausschaltzeiten wurden zunächst Werte für die Impedanzen des menschlichen Körpers bestimmt. Die IEC-Norm

364-4-41 unterscheidet hierfür normale und besondere Umgebungsbedingungen. Unter normalen Bedingungen versteht die Norm trockene Umgebungen mit hohem Standortwiderstand. Entsprechend sind besondere Umgebungsbedingungen durch Feuchtigkeit und niedrige Standortwiderstände gekennzeichnet (siehe auch IEC-Report 1200-413).

Für den Stromweg Hände-Beine und unter normalen Bedingungen gilt

$$Z_n = Z'_s + 0,5 Z_{T5\%}$$

Unter besonderen Bedingungen:

$$Z_p = Z'_s + 0,5 Z_{T5\%}$$

$Z_{T5\%}$  ist die Körperimpedanz, die von nur 5% der Bevölkerung unterschritten wird. Mit anderen Worten: 95% der Bevölkerung hat eine höhere Körperimpedanz. Der Faktor 0,5 ergibt sich aus dem Stromweg Hände-Beine (Hände und Beine als parallele Leiter).  $Z'_s$  und  $Z_s$  sind die Standortwiderstände für normale und besondere Bedingungen,  $Z_n$  und  $Z_p$  die entsprechenden Gesamtimpedanzen.

Abgesehen davon, dass Tabelle I nur für trockene Berührungsflächen gilt und man wohl ein Berührungsmodell nicht ausschliessen kann, bei dem der Mensch am Boden sitzt und mit beiden Händen das fehlerhafte Gerät hält, müsste man mit diesen Festlegungen fast jede Installation für besondere Umgebungsbedingungen errichten, denn in jedem Haus kann zum Beispiel im Garten oder im Keller der Standortwiderstand herabgesetzt sein.

Ebenso willkürlich und unhaltbar ist die Ableitung der zulässigen Berührungstromstärken aus IEC-Report 479, Teil 1, die zunächst noch mit der alten Bereichseinteilung nach Figur 5 der zweiten Auflage (1984) durchgeführt wurde (Bild 1). Die Bedeutung der Zeit-Stromstärke-Bereiche in Bild 1 (AC-1 bis AC-4) für die Gesundheit des Menschen werden in Tabelle II gemäss IEC-Report 479 erklärt. Ohne Begründung wurde zur Festlegung des maximal zulässigen Berührungstroms in den Zeit-Stromstärke-Bereich AC-3 die Kurve  $L_c$  eingezeichnet, wobei lediglich gesagt wurde, dass diese Kurve einen gewissen Sicherheitsabstand zur oberen Bereichsgrenze  $c_1$  hat. Inzwischen ist gerade der Bereich AC-3 geändert worden (siehe Figur 14, IEC-Report

### Adresse des Autors

Prof. Ing. Dr. phil. *Gottfried Biegelmeier*  
Gemeinnützige Privatstiftung Elektroschutz  
Kahlenbergerstrasse 2b, A-1195 Wien

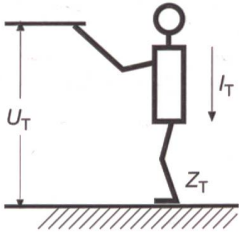
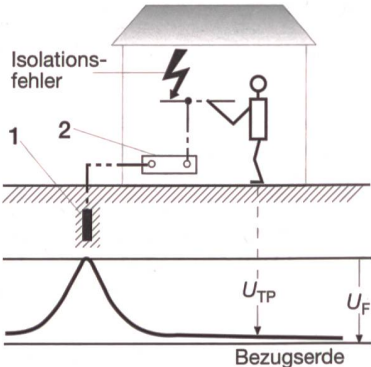
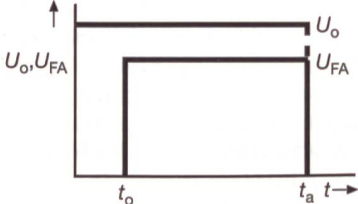
<p><b>Berührungsspannung <math>U_T</math></b> Messung mit Voltmeter <math>R_i = 1 \text{ k}\Omega</math> (Mensch) Messung mit Voltmeter <math>R_i = 500 \text{ k}\Omega</math> (Nutztier)</p> <p><b>Berührungsstrom <math>I_T</math></b> (IEV 195-02-21)</p>		<p><b>Berührungsspannung <math>U_T</math> (touch-voltage):</b> Spannung, die am menschlichen Körper oder am Körper eines Nutztieres auftritt, wenn leitfähige Teile gleichzeitig berührt werden, die ein unterschiedliches Potential (z.B. eine unbeeinflusste Berührungsspannung <math>U_{TP}</math>) aufweisen.</p> <p><b>Berührungsstrom <math>I_T</math></b> ist der elektrische Strom im Körper eines Menschen oder Tieres, der infolge einer Berührungsspannung zum Fließen kommt.</p>
<p><b>Fehlerspannung <math>U_F</math></b> Messung mit Voltmeter <math>R_i = 40 \text{ k}\Omega</math></p> <p><b>Bezugserde</b> (IEV 195-01-01)</p> <p><b>Unbeeinflusste Berührungsspannung <math>U_{TP}</math></b> Messung Voltmeter <math>R_i = 40 \text{ k}\Omega</math></p>	 <p>1 Fehlerspannung führendes Erdungssystem (z.B. Bänderder) 2 Schutzleiterschiene (Potentialausgleichsschiene) <math>U_F</math> Fehlerspannung <math>U_{TP}</math> unbeeinflusste Berührungsspannung</p>	<p><b>Fehlerspannung <math>U_F</math> (fault-voltage):</b> Spannung, die bei einem Isolationsfehler zwischen der Fehlerstelle und der Bezugserde auftritt, zum Beispiel bei Körperschluss oder Erdschluss</p> <p><b>Bezugserde:</b> als elektrisch leitfähig angesehener Teil der Erde, der ausserhalb des Einflussbereiches von Erdungsanlagen liegt und dessen elektrisches Potential vereinbarungsgemäss als null angenommen wird <i>Anmerkung:</i> Unter «Erde» ist hier der Planet mit seiner gesamten Substanz zu verstehen.</p> <p><b>Unbeeinflusste Berührungsspannung <math>U_{TP}</math> (prospective touch-voltage):</b> Teil der Fehlerspannung <math>U_F</math>, der zwischen zwei gleichzeitig berührbaren leitfähigen Teilen von einem Menschen oder von einem Nutztier überbrückt werden kann<sup>1</sup></p>
<p><b>Vereinbarer Grenzwert der Fehlerspannung <math>U_{FL}</math></b> (Grenzfehlerspannung)</p>		<p><b>Vereinbarer Grenzwert der Fehlerspannung (Grenzfehlerspannung) <math>U_{FL}</math> (conventional fault-voltage limit):</b> höchstzulässiger Wert einer dauernd auftretenden Fehlerspannung <math>U_F</math>, für den unter vereinbarten Bedingungen das Risiko eines schädlichen elektrischen Schlages vertretbar ist</p>
<p><b>Wirkfehlerspannung <math>U_{FA}</math></b> Messung mit Voltmeter <math>R_i = 40 \text{ k}\Omega</math></p>		<p><b>Wirkfehlerspannung <math>U_{FA}</math> (active fault-voltage):</b> Fehlerspannung <math>U_F</math>, die unter gegebenen Bedingungen auftritt, bis die Stromversorgung durch eine Schutzeinrichtung ausgeschaltet worden ist. Dabei ist das bis zum Ausschalten bestehende Risiko eines schädlichen elektrischen Schlages vertretbar.</p>
<p><sup>1</sup> Diskutiert wird eine bessere Benennung für den Begriff <math>U_{TP}</math> mit «berührbare Teilfehlerspannung <math>U_{FT}</math>» (accessible partial fault-voltage).</p>		

Tabelle I Definitionen

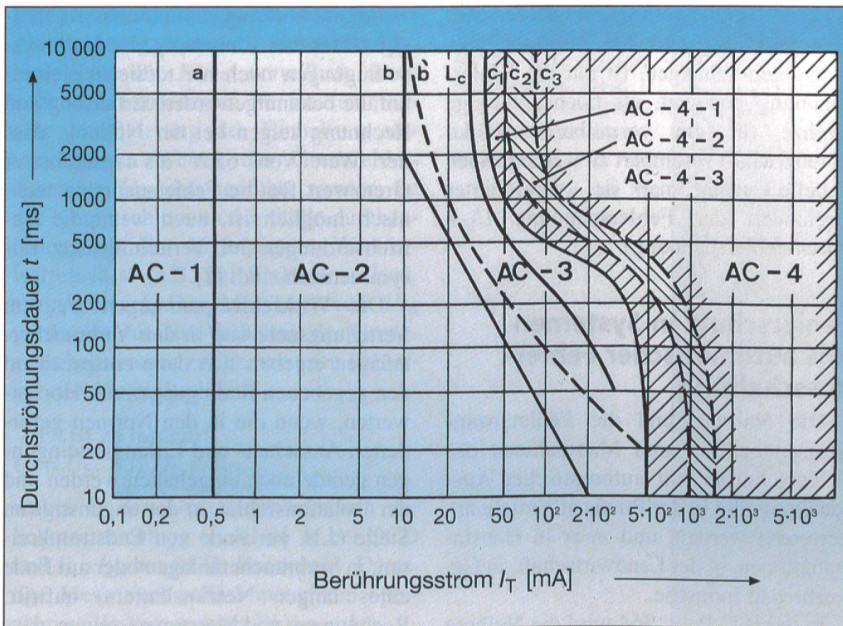


Bild 1 Zeit-Stromstärke-Bereiche für Wechselstrom 50/60 Hz nach IEC-Report 479, zweite und dritte Auflage (1984 und 1994), mit Kurve  $L_c$  als zulässige Körperstromstärken  
 Untere Grenzlinien für den Bereich AC-3: —b IEC 479, dritte Auflage 1994; --b' IEC 479, zweite Auflage 1984

479, Teil 1, dritte Auflage 1994). Die neuen Werte sind durch die Bereichsgrenze b in Bild 1 gekennzeichnet.

Man erkennt also, dass die Festlegungen sowohl für die Körperimpedanz als auch für die zulässigen Berührungsstromstärken in Abhängigkeit von der Durch-

strömungsdauer auf Annahmen beruhen, die in keiner Weise durch die Elektropathologie (z.B. durch den IEC-Report 479) gedeckt sind.

Daraus wurde nun als Grundlage für den Schutz gegen elektrischen Schlag ganz allgemein und unabhängig vom je-

weils eingesetzten Schutzsystem (z.B. Nullung, FI-Schutzschaltung) durch Multiplikation  $I_T \times Z_T$  die Abhängigkeit der maximal zulässigen «unbeeinflussten Berührungsspannung» von der Ausschaltzeit für «normale» und für «besondere» Umgebungsbedingungen abgeleitet. Dies ist in Tabelle III wiedergegeben. Bild 2 zeigt eine grafische Darstellung (Kurven  $L_p, L_n$ ) der Tabellenwerte.

Diese Überlegungen führten dann zu den beiden «konventionellen» Grenzen für die Berührungsspannung  $U_{Ln}$  und  $U_{Lp}$  von 50 V und 25 V, wobei  $U_{Ln}$  und  $U_{Lp}$  die Berührungsspannungsgrenzen für normale und besondere Bedingungen sind. Diese Werte ergeben sich als Grenzwerte der zulässigen Berührungsspannung für unendlich lange Ausschaltzeiten. Wie aus Tabelle I ersichtlich, wird die jetzt klar definierte unbeeinflusste Berührungsspannung mit  $U_{Tp}$  bezeichnet.

In Wirklichkeit erfolgte die Festlegung der Grenzen (Bild 2) nicht aus den zulässigen Gefahrenschwellen des IEC-Reports 479, sondern mit den Ausschaltzeiten, die damals mit FI-Schutzschaltern erreichbar waren. Für lange Durchströmungsdauern wählte man zunächst 25 V, und später, als man erkannte, dass damit die Nullung unmöglich wurde, legte man Werte von 50 V für normale und 25 V für besondere Umgebungsbedingungen als Grenzwerte fest. Auf Grund der Bei-

Zone Designation	Zone Limits	Physiological Effects
AC-1	up to 0.5 mA line a	usually no reaction
AC-2	0.5 mA up to line b <sup>1</sup>	usually no harmful physiological effects
AC-3	line b up to curve $c_1$	usually no organic damage to be expected. Likelihood of cramplike muscular contractions and difficulty in breathing for durations of current-flow longer than 2 seconds. Reversible disturbances of formation and conduction of impulses in the heart, including atrial fibrillation and transient cardiac arrest without ventricular fibrillation increasing with current magnitude and time
AC-4	above curve $c_1$	increasing with magnitude and time, dangerous pathophysiological effects such as cardiac arrest, breathing arrest and heavy burns may occur in addition to the effects of zone 3
AC-4-1	$c_1$ – $c_2$	probability of ventricular fibrillation increasing up to about 5%
AC-4-2	$c_2$ – $c_3$	probability of ventricular fibrillation up to about 50%
AC-4-3	beyond curve $c_3$	probability of ventricular fibrillation above 50%

<sup>1</sup> For durations of current-flow below 10 ms the limit for the body current for line b remains constant at a value of 200 mA.

Note: As regards ventricular fibrillation this figure relates to the effects of current which flows in the path «left hand to feet». The threshold values for durations of current flow below 0.2 s apply only to current flowing during the vulnerable period of the cardiac cycle.

Tabelle II Elektropathologische Wirkungen auf den Menschen, unterteilt in Zeit-Stromstärke-Bereiche nach Bild 1 mit zugehöriger Anmerkung (zur Vermeidung von Missverständnissen im englischen Originaltext)

Unbeeinflusste Berührungsspannung $U_{TP}$ [V]		Maximale Ausschaltzeit [s]
a	<50	$\infty$
	75	1,60
	100	0,40
	125	0,33
	220	0,18
	300	0,12
	400	0,07
500	0,04	

Unbeeinflusste Berührungsspannung $U_{TP}$ [V]		Maximale Ausschaltzeit [s]
b	$\leq 25$	
	50	0,48
	75	0,30
	100	0,22
	125	0,17
	220	0,05
	300	0,025

Tabelle III Zusammenhang zwischen unbeeinflusster Berührungsspannung  $U_{TP}$  und den höchstzulässigen Ausschaltzeiten

a normale Umweltbedingungen, b besondere Umweltbedingungen

behaltung des Wertes von 25 V für besondere Umgebungsbedingungen im Anhang von IEC-Report 1200-413 wurde die Nullung in vielen Ländern in der Landwirtschaft verboten.

Für kürzere Zeiten wurden die Werte aus der FI-Schutzschaltertechnik beibehalten, die in Tabelle IV wiedergegeben sind. Man hat also zunächst die Ausschaltung bei 200 V in 0,06 s und bei 100 V in 0,3 s verlangt. Das konnte man mit FI-Schutzschaltern erreichen, aber nicht bei der Nullung. Nach jahrelangen Diskussionen wurden dann die neuen Kurven  $L_n$  und  $L_p$  wie folgt festgelegt (Tabelle V).

Betrachtet man die Körperimpedanzen und Flimmerschwellen für die in der Praxis oft auftretenden Stromwege für Menschen und Nutztiere (siehe IEC-Report 479, Teil 3), so kommt man zu der überraschenden Erkenntnis, dass für Menschen und Nutztiere von der Elektrophysiologie her die gleichen Wirkungen zu erwarten sind, wenn etwa gleiche Berührungsspannungen auftreten. Man könnte also, wenn man wie bisher eine konventionelle Berührungsspannungsgrenze festlegen will – dies ist aber aus den oben erklärten Gründen nicht möglich –, für Menschen und Nutztiere den gleichen Wert annehmen. [7]

Da weder die Berührungsspannungen noch die unbeeinflussten Berührungsspannungen einer fehlerhaften Anlage eindeutig zugeordnet werden können, da

sie von den Überbrückungsbereichen, dem Stromweg und den Berührungsbedingungen abhängen, ist nur die Fehlerspannung geeignet, als höchstzulässige Grenze für ein vertretbares Risiko (Grenzrisiko) vereinbart zu werden. Nach Tabelle I nennt man sie «vereinbarter Grenzwert der Fehlerspannung  $U_{FL}$ » (Grenzfehlerspannung).

### Fehlerschutz in Systemen mit automatischer Fehlerausschaltung

Die Nullung und die Fehlerstrom-Schutzschaltung sind Massnahmen des Fehlerschutzes mit automatischer Ausschaltung, die in der Praxis allgemein angewendet werden, und zwar in Hausinstallationen, in der Landwirtschaft, in Gewerbe und Industrie.

In der IEC-Publ. 364 wird die Nullung als TN-System mit Fehlerausschaltung durch Überstrom-Schutzeinrichtungen und die Fehlerstrom-Schutzschaltung als TT-System mit Fehlerausschaltung durch Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen bezeichnet.

Bei dieser Gruppe des Fehlerschutzes mit Schutzleiter wird immer die Ausschaltung beim ersten Fehler verlangt, wenn die Gefahr eines gefährlichen elektrischen Schlages gegeben ist.

Wie aus der Definition für den Grenzwert der Fehlerspannung (Grenzfehlerspannung)  $U_{FL}$  ersichtlich ist, bestimmt er einen dauernd zulässigen Wert, von dem man durch eine jahrzehntelange Erfahrung mit der jeweiligen Massnahme des Fehlerschutzes weiss, dass dabei das Risiko eines gefährlichen elektrischen Schlages vertretbar ist.  $U_{FL}$  tritt auf, wenn die Schutzeinrichtungen gerade noch nicht ansprechen, das heisst bei Strömen unter ihren Auslösegrenzen. Das sind bei Überstrom-Schutzeinrichtungen (OCD) die Auslösegrenzströme  $I'_A = 1,45 I_n$  bei Schmelzsicherungen und LS-Schaltern und  $I'_A = I_{\Delta n}$  bei Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen (RCD).

Bei der Nullung sind in mehr als fünfzig Jahren bei Einhaltung der Nullungsbedingungen noch nie tödliche Elektrounfälle bekanntgeworden. Erfahrung und Rechnung zeigen bei der Nullung, dass der Wert von 65 V als vereinbarter Grenzwert für die Fehlerspannung technisch möglich ist, auch wenn die Betriebsbedingungen im Verteilungsnetz unsymmetrisch sind. [8]

Die Wirkfehlerspannungen  $U_{FA}$  im Verteilungsnetz und in den Verbraucheranlagen ergeben sich dann entsprechend den gegebenen Bedingungen mit Höchstwerten, wenn die in den Normen geforderten Ausschalt- und Erdungsbedingungen gerade noch eingehalten werden und der Isolationsfehler an der ungünstigsten Stelle (z.B. am Ende von Endstromkreisen, in Verbraucheranlagen oder am Ende eines langen Netzausläufers) auftritt. Rechnungen und Messungen zeigen, dass im Netz 3N ~400/230 V die Wirkfehlerspannungen  $U_{FA}$  in der Regel unter 100 V liegen.

Für die Fehlerstrom-Schutzschaltung führen die gleichen Überlegungen mit der Bedingung

$$R_A \leq \frac{65 \text{ V}}{I_{\Delta n}}$$

(wobei  $I_{\Delta n}$  den Nennfehlerstrom des RCD bezeichnet) ebenfalls zu einem Grenzwert der Fehlerspannung  $U_{FL}$  von 65 V, wobei sich die Wirkfehlerspannung  $U_{FA}$  für ein Verhältnis von  $R_A/R_B \approx 9/1$ , das oft in der Praxis gefunden wird, mit rund 210 V ergibt.

Begriffe der Technik müssen sich, wenn sie eine praktische Bedeutung haben sollen, messen und überprüfen lassen. Dies gilt auch für die Wirkfehlerspannung  $U_{FA}$  und die Grenzfehlerspannung  $U_{FL}$ . Für die Messung von  $U_{FA}$  wird möglichst bei Nennspannung der Stromquelle entsprechend dem Zweck der Messung (z.B. Unfallerhebung) an einer geeigneten Stelle ein satter Körperschluss hergestellt und die Spannung des PE-Lei-

Bauart	Ausschaltzeit [s] bei			
	$0,5 \times I_{\Delta n}$	$1,0 \times I_{\Delta n}$	$2,0 \times I_{\Delta n}$	$5,0 \times I_{\Delta n}$
übliche	–	0,3	0,2	0,04
selektive (S)	–	0,5	0,2	0,15

Tabelle IV Vereinfachte Darstellung der Ausschaltzeiten von FI-Schutzschaltern der üblichen und der selektiven Bauart S mit einem Nennfehlerstrom  $I_{\Delta n}$

Unbeeinflusste Berührungsspannung $U_{TP}$ [V]	100		200	
	Ausschaltzeit [s]	$L_n$	0,4	$L_p$
		0,2		0,04

Tabelle V Kennwerte der Ausschaltgrenzen nach IEC-4-41 (364-4-41, dritte Auflage 1992) für normale und besondere Umgebungsbedingungen

ters gegen die Bezugs Erde während der Ausschaltung durch die Schutz einrichtung gemessen. Es ist vorteilhaft, dabei auch den Fehlerstrom zu messen. Soll eine Verifizierung der Einhaltung des vereinbarten Wertes der Grenzfehlerspannung  $U_{FL}$  durchgeführt werden, ist der Körperschluss an der Stelle durchzuführen, die den ungünstigsten Wert erwarten lässt (z.B. am Ende eines Endstromkreises). Der Messwert von  $U_{FA}$  wird dann mit dem Verhältnis des Grenzausschaltstromes zur gemessenen Fehlerstromstärke multipliziert.

Es ist zu fordern:

$$U_F = U_{FA} \times I'_A / I_F < U_{FL}$$

wobei  $I'_A$  den Grenzausschaltstrom der Schutz einrichtung ( $I'_A = 1,45 I_N$  bei OCD und  $I'_A = I_{AN}$  bei RCD) bezeichnet. Derartige Messungen sollten mit einem Speicheroszilloskop durchgeführt werden.

### Fehlerschutz in Systemen ohne automatische Fehlerausschaltung

Für diese Gruppe von Massnahmen des Fehlerschutzes ist die Wirkfehlerspannung nicht definiert, und die vereinbarten Grenzwerte der Fehlerspannung  $U_{FL}$ , die höchstens dauernd auftreten können, ergeben sich aus den jeweils durch die Normen vorgeschriebenen Bedingungen.

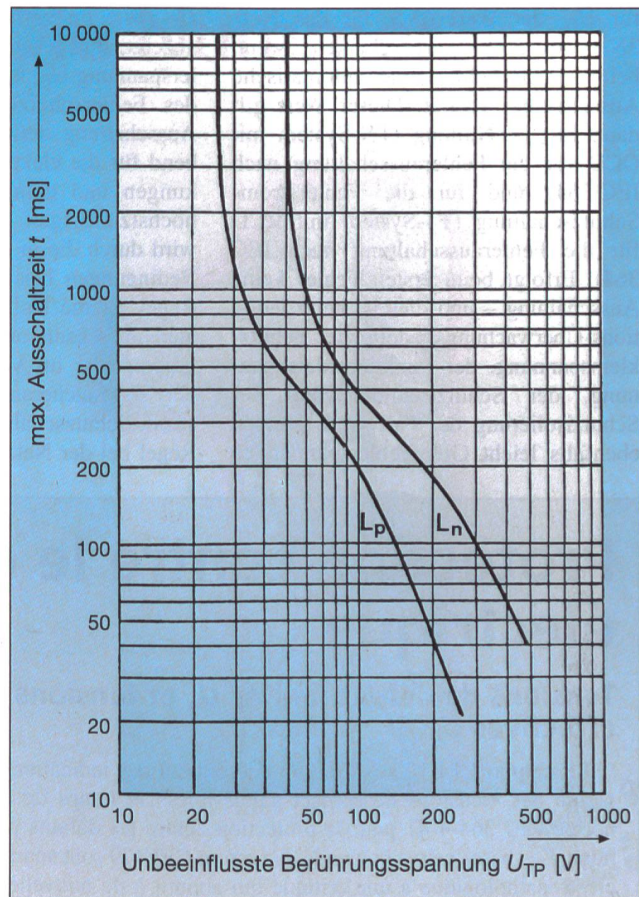
#### Grenzfehlerspannung $U_{FL}$ beim Isolations-Überwachungssystem (früher Schutzleitungssystem)

Beim ersten Isolationsfehler nimmt der Schutzleiter das Potential der lokalen Erde an, das heisst  $U_{FL} = 0$  V. Bei dieser Massnahme des Fehlerschutzes wird oft der Fehler gemacht, die Verhältnisse beim zweiten Fehler zu untersuchen, bei dem dann ein geerdetes Netz vorliegt und die Ausschaltung unter Bedingungen erfolgt, die ähnlich der Nullung sind. Ein zweiter Fehler darf aber nicht angenommen werden, weil der Sinn dieser Schutzmassnahme darin liegt, den zweiten Fehler zu verhindern. Ein zweiter Fehler würde ja zu viel grösseren Gefahren führen als ein elektrischer Schlag. Die Belüftung von Stollen in Bergwerken könnte ausfallen oder die Stromversorgung in Operationssälen.

#### Grenzfehlerspannung $U_{FL}$ bei der Schutzkleinspannung (Nennspannung $U_N = 24$ V bzw. 42 V)

Die Schutzkleinspannung als Massnahme des Fehlerschutzes wird hier im ursprünglichen Sinne behandelt, d.h. für Betriebsmittel der Schutzklasse III und

Bild 2 Höchstzulässige Dauer der unbeeinflussten Berührungsspannung  $U_{TP}$  für normale (Kurve  $L_n$ ) und besondere (Kurve  $L_p$ ) Umgebungsbedingungen



den Schutz bei besonders gefährlichen Umgebungsbedingungen. Beim ersten Isolationsfehler (Erdschluss oder Körperschluss bei Betriebsmitteln der Schutzklasse III) beträgt die Fehlerspannung berührbarer leitfähiger Teile 0 V, das heisst  $U_{FL} = 0$  V.

#### Grenzfehlerspannung $U_{FL}$ bei der Funktionskleinspannung ( $U_N = 24$ V bzw. 42 V)

Dabei sind entweder die Sekundärstromkreise geerdet, oder es fehlt der Basisschutz. Beim ersten Isolationsfehler (Körperschluss oder Erdschluss) muss als Fehlerspannung die Leerlaufspannung der Stromquelle angenommen werden, d.h.  $U_{FL} = 30$  V (für  $U_N = 24$  V) oder  $U_{FL} = 50$  V (für  $U_N = 42$  V).

#### Grenzfehlerspannung $U_{FL}$ bei der Schutztrennung

Beim ersten Isolationsfehler ist die Fehlerspannung berührbarer leitfähiger Teile 0 V, d.h.  $U_{FL} = 0$  V.

#### Grenzfehlerspannung $U_{FL}$ bei der Schutzisolierung

Beim ersten Isolationsfehler (Basisisolierung oder zusätzliche Isolierung) ist die Fehlerspannung berührbarer leitfähiger Teile 0 V, d.h.  $U_{FL} = 0$  V.

### Zusammenfassung

Jahrzehntlang ist man von der irrigen Vorstellung ausgegangen, dass es möglich ist, eine Berührungsspannung zu vereinbaren, unterhalb der kein gefährlicher elektrischer Schlag zu erwarten ist. Erst durch den IEC-Report 479 wurde klar, dass dies wegen der entscheidenden Abhängigkeit des Berührungstromes von der Körperimpedanz von Mensch oder Nutztier nicht möglich ist.

50 V Berührungsspannung, ja sogar 25 V können unter ungünstigen Bedingungen (z.B. Stromweg beide Hände-Rumpf) zu gefährlichen elektrischen Schlägen führen. Diese Überlegungen führen zu den neuen Begriffen «zu vereinbarenden Grenzwert der Fehlerspannung  $U_{FL}$ » und «Wirkfehlerspannung  $U_{FA}$ », die als Grundlage für die Bemessung und Beurteilung der Massnahmen zum Schutz gegen elektrischen Schlag geeignet sind. Wesentlich für die Einführung dieser Begriffe war die Erkenntnis, dass die Einhaltung der Normen keinen absoluten Schutz gegen die Gefahren der Technik bieten kann, sondern lediglich die Risiken auf ein vertretbares Mass reduziert. Auf Grund der Erfahrungen, die in den vergangenen Jahrzehnten mit der Nullung gemacht worden sind, wird

für  $U_{FL}$  der Wert 65 V für das Netz 3N ~ 400/230 V vorgeschlagen, wenn beim ersten Fehler eine automatische Ausschaltung erfolgt. Dieser Wert gilt dann für die Nullung (TN-System mit OCD für die Fehlerausschaltung nach IEC 364) und für die Fehlerstrom-Schutzschaltung (TT-System mit RCD für die Fehlerausschaltung nach IEC 364). Erfolgt beim ersten Fehler keine Ausschaltung – und dies ist beim Isolations-Überwachungssystem, der Schutzkleinspannung, der Funktionskleinspannung, der Schutztrennung und der Schutzisolierung der Fall –, so können ebenfalls leicht Grenzfählerspannungen

$U_{FL}$ , wie im vorhergehenden Abschnitt gezeigt, angegeben werden. Die Wirkfehlerspannung  $U_{FA}$  ist nur für Massnahmen des Fehlerschutzes mit automatischer Ausschaltung definiert. Sie ist massgebend für die elektropathologischen Wirkungen und damit wesentlich für die höchstzulässigen Ausschaltzeiten. Sie wird durch die in der Anlage gegebenen Bedingungen bestimmt, wobei man als Regel für die Nullung  $U_{FA}$  unter 100 V annehmen kann, und zwar bei einem Isolationsfehler im Verteilungsnetz oder in der Verbraucheranlage. Bei der Fehlerstrom-Schutzschaltung liegt  $U_{FA}$  in der Regel bei der Netzspannung gegen Erde

mit einem Richtwert von  $U_{FA} = 210$  V. All dies gilt für das Netz 3N ~ 400/230 V. Die Nullung ist also aus elektropathologischer Sicht wesentlich günstiger zu beurteilen als die Fehlerstrom-Schutzschaltung.

### Literatur

- [1] IEC-Report 479: Effects of current on human beings and livestock, Part 1: General aspects, third edition 1994; Part 2: Special aspects, second edition 1987, Part 3: Effects of current passing through the body of livestock.
- [2] G. Biegelmeier, F. Brandl, A. Forsthofer, K. Resch: Tierunfälle durch gefährliche Berührungsströme. VEÖ-Journal, Zeitschrift des Verbandes der Österr. Elektrizitätswerke (1996)11, S. 63–72.
- [3] H. Bachl, G. Biegelmeier, T. H. Evans, A. Mörx: Über den Schutz von Nutztieren gegen gefährliche Körperströme. Bulletin SEV/VSE 83(1992)3, S. 65–72.
- [4] G. Biegelmeier, H. Brugere, E. Gourbiere, D. Kieback, J. Lambrozo, G. Rabisch, R. Vidal: Konventionelle Grenzwerte für Fehlerspannung und Berührungsspannung. Bulletin SEV/VSE 84(1993)19, S. 41–48.
- [5] G. Biegelmeier: Praxisnahe Niederspannungsinstallationen; Bulletin SEV/VSE 86(1995)15, S. 37–46.
- [6] M. Chatelain, E. Homberger: Revisionsbedürftige Niederspannungs-Installationsnormen. Bulletin SEV/VSE 86(1995)15, S. 47–49.
- [7] G. Biegelmeier, J. Groiss, A. Mörx, D. Kieback: Neues Wissen über die Wirkungen des elektrischen Stroms auf Menschen und Nutztiere. VEÖ-Journal (1995)11.
- [8] G. Biegelmeier, J. Groiss, A. Mörx, S. Wiborny: Normen für die Anwendung der Neutralleiter-Schutzerdung (Nullung) als Fehlerschutz in Niederspannungsanlagen. VEÖ-Journal (1996)11, S. 50–62.

## Protection contre le choc électrique

### Tensions de défaut limites $U_{FL}$ et tensions de défaut effectives $U_{FA}$

Le rapport CEI 1200-413:1996-03 contient des indications relatives à la dérivation des «tensions de contact admissibles» et temps de coupure exigés à la norme CEI 364-4-41 pour la protection contre les défauts par coupure automatique. Les bases prises pour cela au rapport CEI 479 sont soumises du point de vue électropathologique à une critique qui aboutit à de nouvelles connaissances sur l'importance respective des diverses mesures de protection contre les défauts.



**Das A und O  
für sichere  
Stromversorgung:  
USV von CTA.**

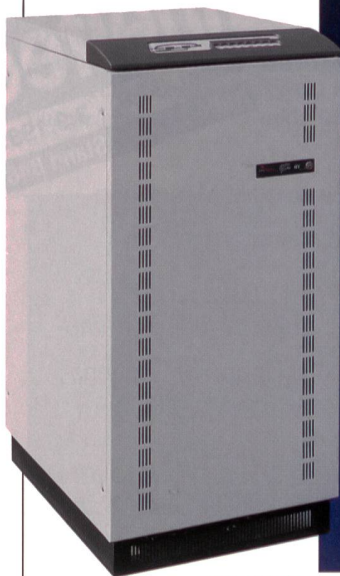
**ineltec 99**  
31.8. – 3.9.99  
Halle 1.0, Stand D42

USV-Anlagen schützen EDV-Netzwerke, Telekommunikations-Geräte, Industrieanlagen, etc. vor Stromausfall, Unter- und Überspannungen sowie möglichen Verunreinigungen im Netz. Das verhindert unliebsame Folgen.

CTA führt das komplette Programm der USV-Anlagen von 300 VA bis 2400 kVA, alle Online-Geräte mit Doppelwandler-Technik. Und bietet Kommunikations-Software für alle Betriebssysteme – auch zur Einbindung in Netzwerke (SNMP). Schweizweiter Service und Support selbstverständlich!

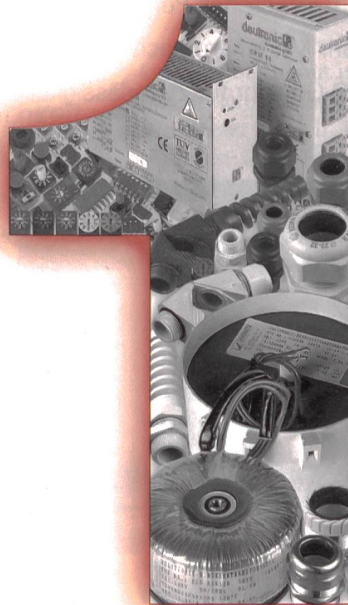
**CTA – ununterbrochen  
«full power»!**

**CTA**  
— Energie — Sicherheit



**CTA AG in • Bern • Zürich • Basel • Lausanne**  
CTA AG, Albisriederstrasse 232, 8047 Zürich  
Telefon 01 405 40 00, Fax 01 405 40 50  
Internet [www.cta.ch](http://www.cta.ch)

## Die Nummer



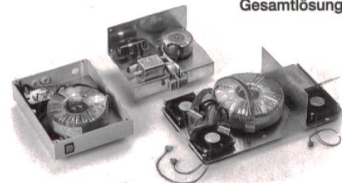
**ineltec 99**  
Basel 31.8. – 3.9.1999  
Halle 2.1  
Stand E90

## für elektronische



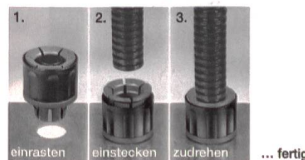
**Miniaturschalter**  
– Tast-, Rast- und Schiebeschalter  
– BCD- und Drehschalter  
– Schlüsselschalter

**Ringkerntransformatoren und Stromversorgungen**  
– Sicherheits- und Trenntrafos SEV 1113 / EN 60742  
– bis 1000 VA  
– auch als kundenspezifische Gesamtlösung



## Komponenten und

**Kabelverschraubungen und Schutzschlauchanschlüsse**  
– auch als metrische Versionen nach NIN 2000 verfügbar



**Snapfix – das patentierte Stecksystem**

**S+K**

Schärer + Kunz AG  
Postfach 757  
CH-8010 Zürich  
Tel. 01-434 80 80  
Fax 01-434 80 90

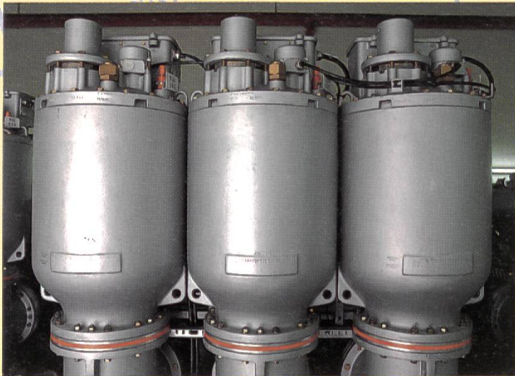
Bureau romand:  
rue des Rochettes 2  
CH-2017 Boudry  
Tél. 032-842 57 64

## Kabelverschraubungen

[admin@suk.ch](mailto:admin@suk.ch) [www.suk.ch](http://www.suk.ch)



**MGC Moser-Glaser & Co. AG** ist als traditionsreiches Familienunternehmen seit 1914 in der Energietechnik tätig. Langjährige Erfahrung zeichnen MGC als kompetenten Hersteller und Anbieter qualitativ hochstehender Produkte und Leistungen aus. In eigenen Labors werden Prüfungen nach internationalen Normen durchgeführt. Das MGC Engineering umfasst Anlagenkonzeptionen, Optimierungsstudien sowie Montage- und Betriebsanleitungen. Erfahrenes Personal garantiert zuverlässige Montage-, Inbetriebsetzungs-, Prüfungs- und Inspektionsarbeiten. Mit einem nach ISO 9001 zertifizierten Qualitätsmanagementsystem bietet **MGC Moser-Glaser & Co. AG** Gewähr für Zuverlässigkeit.



**Epoxidharzisierte Strom- und Spannungswandler**

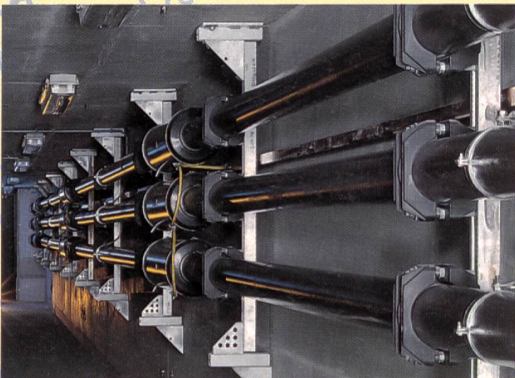
bis 72.5 kV

**SF6-isolierte Messwandler GASCOIL®**

bis 245 kV zum Anbau an kompakte Schaltanlagen (GIS) sowie für autonome Anwendung

**Feststoffisierte Hochspannungswandler**

für Schutz- und Messzwecke



**Giessharzisierte Durchführungen und Schienensysteme DURESCA®**

bis 245 kV und 8 kA

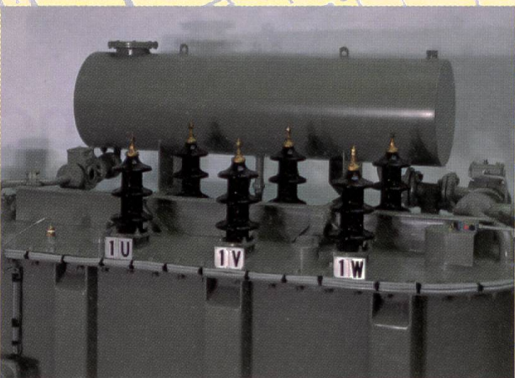
**Teilisierte Stromschienen TIRESCA®**

für Innenraum- und Freiluftaufstellung

bis 36 kV und 3150 A

**SF6-isolierte Stromschienensysteme GASLINK®**

bis 40.5 kV und 3150 A



**Epoxidharzisierte Transformatoren**

bis 36 kV und 5000 kVA

**Ölisierte Transformatoren**

bis 170 kV und 50 MVA für den Einsatz als Maschinen-, Eigenbedarfs-, Regulier- und Verteiltransformatoren

**Spezialtransformatoren**

SF6-isolierte Prüftransformatoren bis 500 kV, Transformatoren zur Speisung von Resonanz-Prüfanlagen, Tonfrequenz-, Erdungs- & "Pulse Step Modulator"-Transformatoren.

Besuchen Sie uns an der  
**ineltec**  
 Basel, 31.8. - 3.9.1999  
 Halle 1  
 Stand B48



MGC Moser-Glaser & Co. AG  
 Energie- und Plasmatechnik  
 Hofackerstrasse 24  
 CH - 4132 Muttenz / Schweiz

Telefon ++ 41 61 - 467 61 11  
 Telefax ++ 41 61 - 467 63 11  
 Internet: www.mgc.ch  
 Email: 101660.3151@compuserve.com

