

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 84 (1993)

Heft: 19

Artikel: Konventionelle Grenzwerte für Fehlerspannung und Berührungsspannung : Grenzen für die Fehlerspannung und die Berührungsspannung bei Berücksichtigung des Widerstandes der Schuhe von Menschen und der Hufe von Nutztieren

Autor: Biegelmeier, G. / Brugère, H. / Gourbière, E.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-902731>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 01.04.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

In der Arbeit werden die Körperimpedanzen von Menschen mit denen von Nutztieren verglichen. Messungen von Tierkörpern haben ermöglicht, ein Ersatzschaltbild für die Widerstandsverteilung aufzustellen, das für die Berechnung der zulässigen Berührungsspannungen und Fehlerspannungen verwendet werden kann. Es wird gezeigt, dass einheitliche konventionelle Grenzen für die Berührungsspannung und die Fehlerspannung für Mensch und Tier vertretbar sind. Sie können bei normalen Umgebungsbedingungen für Haus- und Stallinstallationen mit 50 V für die Berührungsspannung und mit 65 V für die Fehlerspannung für die Normung vorgeschlagen werden. Damit vereinfachen sich die Errichtungsbestimmungen für Niederspannungsinstallationen wesentlich.

Konventionelle Grenzwerte für Fehlerspannung und Berührungsspannung

Grenzen für die Fehlerspannung und die Berührungsspannung bei Berücksichtigung des Widerstandes der Schuhe von Menschen und der Hufe von Nutztieren

■ G. Biegelmeier, H. Brugère, E. Gourbière, D. Kieback, J. Lambrozo, G. Rabitsch und R. Vidal

Die zweite Überschrift zu diesem Fachaufsatz mag eigentümlich anmuten, aber bei einiger Überlegung versteht man die Zusammenhänge. Elektrisch gesehen sind die Körper von Menschen und von Nutztieren nicht sehr verschieden, wenn man die Körperinnenwiderstände betrachtet. Der Rumpf hat in beiden Fällen, verglichen mit den Extremitäten, nur einen sehr kleinen Widerstand. Arme und Beine der Menschen besitzen Längen und Querschnitte, die in derselben Größenordnung liegen wie die Beine von Nutztieren. Der spezifische Widerstand der Knochen und des Gewebes ist etwa gleich gross, und damit kann man annehmen, dass die Körperinnenwiderstände von Mensch und Nutztier grössenordnungsmässig gleich sind.

Unterschiede bestehen aber in den Teilwiderständen, die als Zusatzwiderstände

beim Stromfluss durch die Körper wirksam werden. Das ist bei den meisten Nutztieren das Fell, das im trockenen Zustand und für Spannungen bis einigen hundert Volt einen hohen Isolationswert besitzt. Ebenso haben Hufe im trockenen Zustand in diesem Spannungsbereich Widerstände von einigen tausend bis zu einigen zehntausend Ohm, die bei Durchnässung mit leitenden Flüssigkeiten auf einige hundert Ohm absinken.

Beim Menschen werden durch die Haut Zusatzwiderstände gebildet, die allerdings bei Spannungen über etwa hundert Volt rasch kleiner werden und stark spannungsabhängig sind. Dafür trägt der Mensch in der Regel Schuhe, die sowohl bei Leder- als auch bei Gummi- oder Kunststoffsohlen im trockenen Zustand hohe Zusatzwiderstände im Kilo- bis Megaohmbereich bedeuten. Während aber die Hufwiderstände der Nutztiere immer vorhanden sind, wenn das Tier Berührungsspannungen ausgesetzt ist, ausser vielleicht beim Liegen, entstehen Elektronfälle im praktischen Unfallgeschehen des Menschen oft auch, wenn er barfuss unter Spannung stehende Teile berührt, wie zum Beispiel

Adresse der Autoren:

Prof. Dr. G. Biegelmeier, H. Brugère, E. Gourbière, D. Kieback, J. Lambrozo, G. Rabitsch und R. Vidal, c/o CTI-Cooperative Testing Institute, Greinergasse 30, A-1195 Wien.

im Badezimmer oder im Bereich von Schwimmbecken.

Die Umgebungsbedingungen der Gefährdung mögen für Nutztiere dadurch kritischer sein, dass das Nutztier, meist angekettet, nicht in der Lage ist, sich aus der Stromeinwirkung zu befreien. Bei Unfallereignissen im Stall wird deshalb oft die Vermutung geäußert, dass die Tiere bei Elektrisierungen durch Erwürgen mit den Befestigungsketten verendet sind. Sieht man unter den Standflächen der Tiere Potentialsteuergitter vor, dann scheidet diese Gefahr aus, und für das frei bewegliche Tier wird man sicher voraussetzen können, dass es durch den elektrischen Strom nicht mehr gefährdet ist als der Mensch.

Der elektrische Widerstand der Hufe von Nutztieren

Anlässlich der Ausarbeitung des Teiles 3 des IEC-Reports 479 über die Wirkungen elektrischer Ströme auf Nutztiere [1] wurden Untersuchungen an Rindern durchgeführt und das Wissen über den gesamten Fragen-

komplex zusammenfassend dargestellt [2]. Bei dieser Gelegenheit wurde auch an einzelnen Hufen von Rindern, einem Pferd (mit Hufeisen) und einem Schaf der elektrische Widerstand gemessen. Um ein allgemeingültiges Ersatzschaltbild für Rinder aufstellen zu können, waren jedoch die statistischen Werte für 5%, 50% und 95% einer grösseren Population von Rindern erforderlich, die jedoch nur für die Teilinnenwiderstände, zum Beispiel Maul-Hinterbein ohne Huf, bekannt waren. Da an einem Rinderhuf im nassen Zustand ein Wert von 500 Ohm gemessen worden war, wurde zunächst für das Ersatzschaltbild der 5%-Wert für Rinderhufe mit 400 Ohm geschätzt. Es war jedoch wünschenswert, für die statistische Berechnung eine grössere Anzahl von Rinderhufen zu messen, wofür mindestens 10 Messwerte erforderlich sind. Diese Messungen wurden nun mit Förderung der Electricité de France voriges Jahr in der Ecole nationale vétérinaire d'Alfort in Paris durchgeführt und werden in der Folge beschrieben. Verwendet wurden 10 Rinderhufe verschiedener Grösse und Gewichte, die von den Vorderbeinen oder Hinterbeinen toter Rinder in einer Höhe

von ungefähr 30 cm über der Hufauflagefläche abgetrennt worden waren. Zunächst waren die Hufe in trockenem Zustand. Die Messschaltung ist in Bild 1 dargestellt.

Die Messsonden bestanden aus zwei Prüfspitzen von 20 mm Länge und 2 mm Durchmesser, die in das organische Gewebe gesteckt wurden, wobei die Sonde für die Messung des Spannungsabfalls U_2 im Huf an ein und derselben Stelle verblieb und die Stromsonde in drei verschiedenen Lagen (I, II und III) eingesetzt wurde. Wie aus Bild 1 ersichtlich, erfasst die Spannungssonde den Spannungsabfall im Huf am besten, wenn sie möglichst weit von der Stromsonde entfernt angeordnet ist, also ausserhalb des Spannungstrichters, der durch den Engwiderstand der Stromsonde R_C entsteht. Dieser Engwiderstand verursacht den Spannungsabfall an der Stromsonde, der als Messfehler wirksam würde, wenn man für die Berechnung des Hufwiderstandes R_H die Messspannung U_1 verwenden würde. Der Hufwiderstand R_H ergibt sich mit $R_H = U_2/I$. Für die Berechnungen wurde sinngemäss nur die Messreihe verwendet, bei der die Stromsonde in der Lage II möglichst weit entfernt von der Spannungssonde eingesetzt war.

Die Messungen der zehn Hufe wurden zuerst im trockenen Zustand nach einer Stromflussdauer von 20 Millisekunden und nach 3 Sekunden mit den Messspannungen 10, 25, 50, 100 und 200 V durchgeführt. Danach wurde jeder Huf eine Minute lang 10 cm tief in eine 3%ige Kochsalzlösung (NaCl) getaucht und unmittelbar danach wieder mit den Stromflussdauern 20 Millisekunden und 3 Sekunden gemessen. Die nachfolgende Tabelle I enthält die Messwerte für die Lage II, wobei erwartungsgemäss die Lagen I und III höhere und damit unrichtige Werte ergeben haben. In der Tabelle I sind nur die Messwerte eines Hufes angegeben. Die übrigen neun Hufe ergaben ähnliche Resultate.

Erwartungsgemäss streuen die Messwerte bei den trockenen Hufen sehr stark und liegen sehr hoch. Im nassen Zustand, der im Stall vorausgesetzt werden muss, ergaben sich dann zuverlässige Messwerte, die reproduzierbar waren, in der Grössenordnung von einigen hundert Ohm. Sie hängen von der Messspannung nur wenig ab. Bei Stromflussdauern von 3 Sekunden und Messspannungen von 100 V und 200 V muss man bereits mit einer Erwärmung des Gewebes und der Gelenke rechnen, und damit ergeben sich etwas niedrigere Werte als bei einer Stromflussdauer von 20 Millisekunden. Rechnet man aus den Messwerten bei den verschiedenen Messspannungen den Mittelwert für eine Stromflussdauer von 20 Millisekunden im nassen Zustand, so können diese Mittelwerte für die zehn Versuchstiere gut für die statistische Auswertung verwendet werden. 20 Millisekunden entsprechen

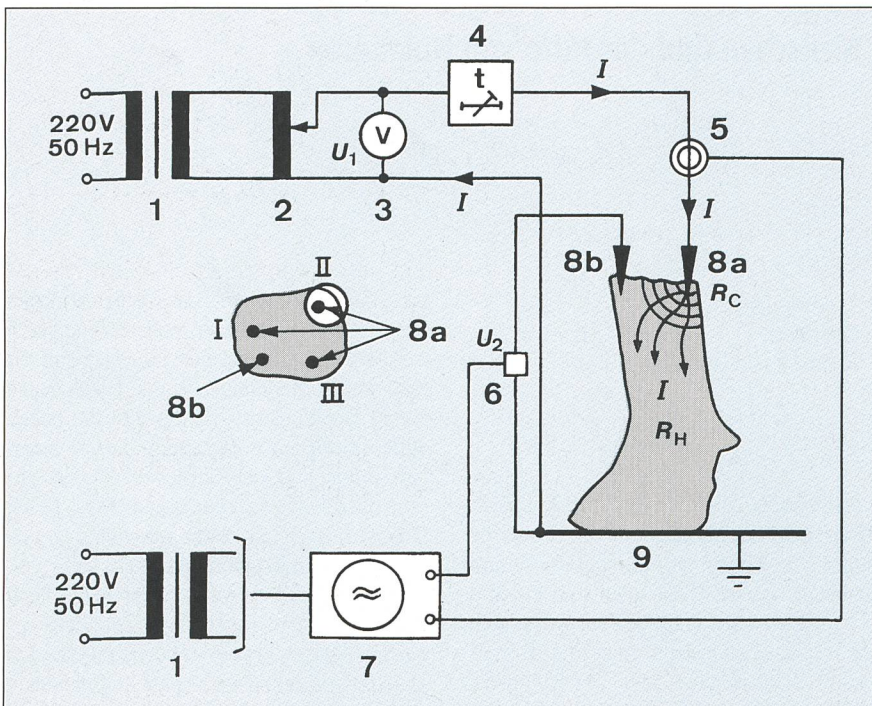


Bild 1 Schaltung zur Messung des elektrischen Widerstandes von Rinderhufen

- 1 Trenntransformator
- 2 Regeltransformator
- 3 Voltmeter für Messspannung U_1
- 4 Zeitrelais (Stromflussdauer 20 Millisekunden und 3 Sekunden, Einschaltzeitpunkt: Spannungsnulldurchgang)
- 5 Tastkopf für Strommessung Tektronix AM 509
- 6 Tastkopf für Messung des Spannungsabfalls U_2 in Huf, Tektronix P 6009 1/100
- 7 Speicheroszilloskop Tektronix 2430
- 8a Stromsonde (Prüfspitze, 20 mm Länge, 2 mm Durchmesser) eingesetzt in drei verschiedenen Lagen, I, II und III
- 8b Spannungssonde (Prüfspitze, 20 mm Länge, 2 mm Durchmesser) in nur einer Lage verwendet
- 9 Feinmaschige NiRo-Gewebematte

Versuchsbedingung und Stromflussdauer	U_1 [V] Effektivwert	U_2 [V] Scheitelwert	I [mA] Scheitelwert	$R_H = U_2/I$ [Ohm]
trocken, 20 ms	10	10,8	11,2	964,3
	25	26,4	30,4	868,4
	50	54	54	1000
	100	104	124	838,7
	200	212	240	883,3
Mittelwert				910,9
trocken, 3 s	10	10,2	11,4	894,7
	25	25,2	30	840
	50	52	61	852,5
	100	103	124	830,6
	200	210	266	789,5
Mittelwert				841,5
nass, 20 ms	10	8,8	29,6	297,3
	25	24	81	296,3
	50	48	164	292,7
	100	96	328	292,7
	200	192	620	309,7
Mittelwert				297,7
nass, 3 s	10	8,8	31	283,9
	25	22,2	80	277,5
	50	45	162	277,8
	100	93	310	300
	200	190	660	287,9
Mittelwert				285,4

Tabelle I Messwerte des elektrischen Widerstandes eines Rinderhufes

Stromsonde in Lage II nach Bild 1, Stromflussdauern 20 Millisekunden und 3 Sekunden, trockener und nasser Huf, Messspannungen 10, 25, 50, 100 und 200 V_{eff}

Prozentsatz der Messungen [%]	5	15	25	35	45	55	65	75	85	95
Mittelwerte der Hufwiderstände [Ohm]	221	290	298	325	366	377	382	409	434	512

Tabelle II Elektrischer Widerstand von Rinderhufen

Geordnete Mittelwerte (gerundet) der zehn gemessenen Hufe mit den zugeordneten Prozentsätzen der Wahrscheinlichkeiten (Stromflussdauer 20 ms, nass)

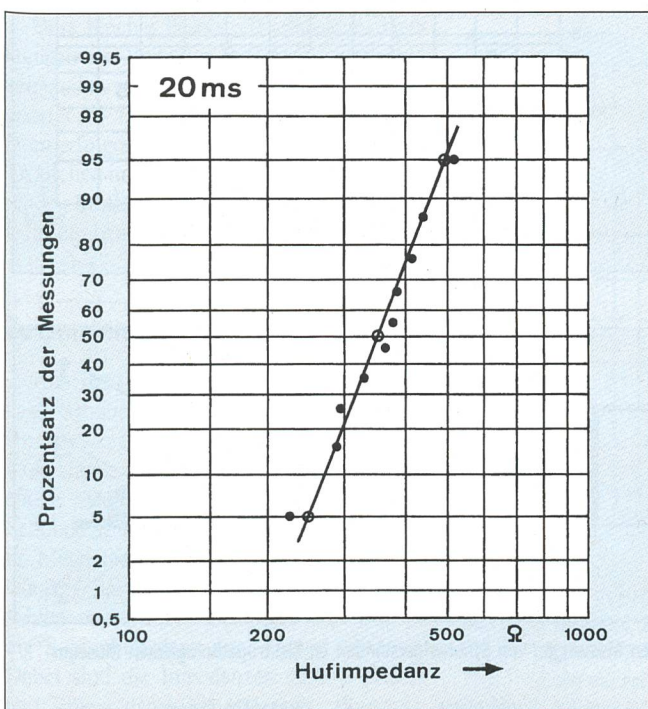


Bild 2 Statistische Auswertung der Messungen von Widerständen von zehn Rinderhufen

Ergebnisse für Stromflussdauer 20 Millisekunden, Hufe eine Minute in 3%ige NaCl-Lösung getaucht, Mittelwerte der Messungen mit 10, 25, 50, 100 und 200 V:
 5%-Wert der Population 245 Ohm (konventionell gerundet auf 250 Ohm);
 50%-Wert der Population 345 Ohm (konventionell gerundet auf 350 Ohm);
 95%-Wert der Population 495 Ohm (konventionell gerundet auf 500 Ohm)

etwa der Ausschaltzeit von Fehlerstromschutzeinrichtungen. Die Werte für eine Stromflussdauer von 3 Sekunden liegen ungefähr 10% unter den 20 Millisekundenwerten, doch ist dies für die Praxis des Elektroschutzes unwesentlich. Für die statistische Auswertung unter der Annahme einer logarithmisch normalen Verteilungsfunktion müssen die zehn Mittelwerte der gemessenen Hufwiderstände nach steigenden Widerstandswerten geordnet (Tabelle II) und danach grafisch auf Wahrscheinlichkeitspapier dargestellt werden (Bild 2).

Mit diesen Ergebnissen ist es nun möglich, das in [2] angegebene Ersatzschaltbild der Körperwiderstände von Rindern zu verbes-

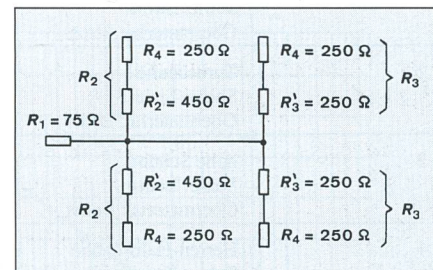


Bild 3 Ersatzschaltbild der Körperwiderstände R_T in einem Rind

Angegeben sind abgerundete 5%-Werte für die Berechnung der konventionellen Berührungsspannungsgrenze

- R1 Maul-Rumpf
- R'2 Rumpf-Vorderbeine ohne Huf
- R'3 Rumpf-Hinterbeine ohne Huf
- R4 Huf
- $R_2 = R'2 + R_4$ Rumpf-Vorderbeine mit Huf
- $R_3 = R'3 + R_4$ Rumpf-Hinterbeine mit Huf

sern, und zwar für Körperwiderstände, die von 5% der Population nicht überschritten werden. Das verbesserte Ersatzschaltbild wird in Bild 3 wiedergegeben.

Der elektrische Widerstand von Schuhen

Über den elektrischen Widerstand von Schuhen liegen einige Messergebnisse vor, die eine Beurteilung des Schutzwertes von Schuhwerk bei Elektrisierungen erlauben. Schuhe mit Ledersohlen und Kunststoffsohlen im trockenen und nassen Zustand wurden in einer Studie des British Electricity Council untersucht [3]. Es wurden mit Wechselstrom 50 Hz und auch bei höheren Frequenzen und bei Spannungen bis zu 70 V Menschen gemessen, die auf einer geerdeten Metallplatte standen und verschiedenes Schuhwerk trugen. In einer Hand hielten sie eine Zylinderelektrode mit ungefähr 25 mm Durchmesser, die mit dem aktiven Leiter verbunden war; die Metallplatte war geerdet. Als Schuhe wurden sowohl Schuhe mit Kunststoffsohlen als auch solche mit Leder-

U_T [V]	Körperwiderstand Z_T [Ohm]	
	Hand-Hand	Hand-beide Beine (x)
10	5500	4125
25	3250	2437
50	2625	1970
75	2200	1650

(x) Umrechnung Hand-Hand auf Hand-beide Beine mit dem Faktor 0,75

Tabelle III Körperwiderstände von Menschen
50%-Werte bei Wechselstrom 50 Hz, 10-70 V

Muster-Schuhwerk Nr.	Art der Fussbekleidung
1	Strohschuhe Sohle: Stroh Obermaterial: Stroh
2	Turnschuhe Sohle: Leder Obermaterial: Leder
3	hohe Schuhe Sohle: Leder Obermaterial: Leder
4	Herren-Halbschuhe Sohle: Kunststoff Obermaterial: Leder
5	Herren-Halbschuhe Sohle: Leder Obermaterial: Leder
6	Damen-Schuhe Sohle: Kunststoff Obermaterial: Kunststoff

Tabelle IV Art der für die Untersuchungen verwendeten Fussbekleidung

sohlen verwendet, und zwar sowohl im natürlich trockenen Zustand als auch nach einer fünfminütigen Lagerung in 35 mm tiefem, gewöhnlichem Leitungswasser.

Bild 4 zeigt die Ergebnisse der Messungen, und zwar die Gesamtimpedanz (Körperimpedanz Z_T plus Impedanz der Schuhsohlen Z_S) als Funktion der Spannung im Bereich von 10 bis 70 V. Man erkennt, dass die Messwerte nur wenig von der Spannung abhängen. Um grössenordnungsmässig einen Überblick zu bekommen wie sich die Messwerte auf Sohlenwiderstände und Körperwiderstände aufteilen, kann man für einen Stromweg Hand-beide Füße die 50%-Werte der Körperimpedanzen im Spannungsbereich 10-75 V aus dem IEC-Report 479 [4] entnehmen und erhält damit die Werte der Tabelle III.

Da die Messspannung auf die Serienschaltung Sohlenwiderstand-Körperwiderstand einwirkt, wird die Berührungsspannung am Körper stark abgesenkt, wobei der Verlauf der Körperimpedanz, die in Bild 4 eingezeichnet ist, naheliegt. Demnach besitzen Schuhe mit Ledersohlen auch im nassen Zu-

stand noch Isolationswiderstände von einigen Kiloohm. Dabei ist zu beachten, dass bei diesen Messungen die beiden Schuhwiderstände parallel im Stromweg liegen, also der Isolationswiderstand einer Schuhsohle doppelt so hoch ist als die Messwerte.

Um den grundsätzlichen Verlauf auch für Messspannungen bis 200 V, bei 50 Hz, festzustellen, wurden im Elektropathologischen Museum in Wien noch weitere Untersuchungen des elektrischen Widerstandes von Schuhsohlen durchgeführt. Es wurden sechs verschiedene Fussbekleidungen geprüft, und zwar entsprechend Tabelle IV.

Wie bei den früher genannten Messungen zeigte sich keine wesentliche Abhängigkeit des Isolationswiderstandes von der Mess-

spannung. Gross hingegen war der Einfluss des Anpressdruckes der Elektrode. Deshalb wurde bei den Prüfmustern 4-6 als Elektrode eine Aluminiumfolie verwendet, die den Fuss eines Menschen umhüllte, der frei auf einer Kupferplatte stand. Die Messanordnung ist aus Bild 5 ersichtlich.

Im trockenen Zustand ergaben sich Messwerte im Megaohm-Bereich. Im nassen Zustand ergaben sich bei den üblichen Leder- oder Kunststoffsohlen Isolationswiderstände im Kiloohm- bis Megaohm-Bereich. Bei den Turnschuhen mit dünnen Ledersohlen und bei den Strohschuhen betrug jedoch im nassen Zustand der Sohlenwiderstand nur wenige Ohm und hat daher keinen Schutzwert mehr. Die Messungen haben bestätigt, dass

Bild 4 Abhängigkeit der Gesamtimpedanz (Körperimpedanz Z_T und Impedanz der Schuhsohlen Z_S) von der Messspannung

- 1.1 Schuhe mit Kunststoffsohlen, normaler Gebrauchszustand
- 2.2 Schuhe mit Ledersohlen, normaler Gebrauchszustand
- 3.3 Sandalen mit Ledersohlen, normaler Gebrauchszustand
- 4.4 Schuhe mit Ledersohlen, nach Eintauchen in Leitungswasser
- 5.5 Körperimpedanz Stromweg Hand bis beide Beine, Berührungsspannung als Teilspannung der Messspannung geschätzt

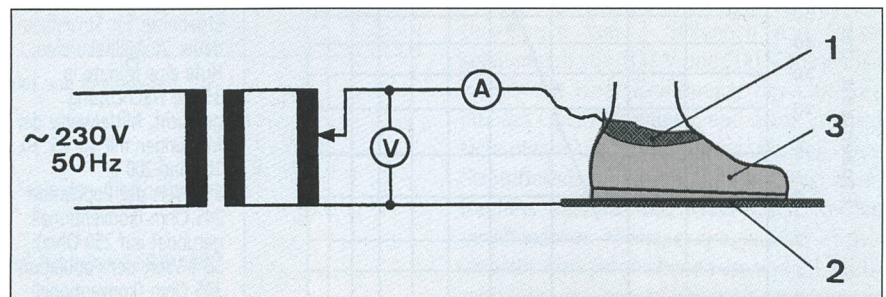
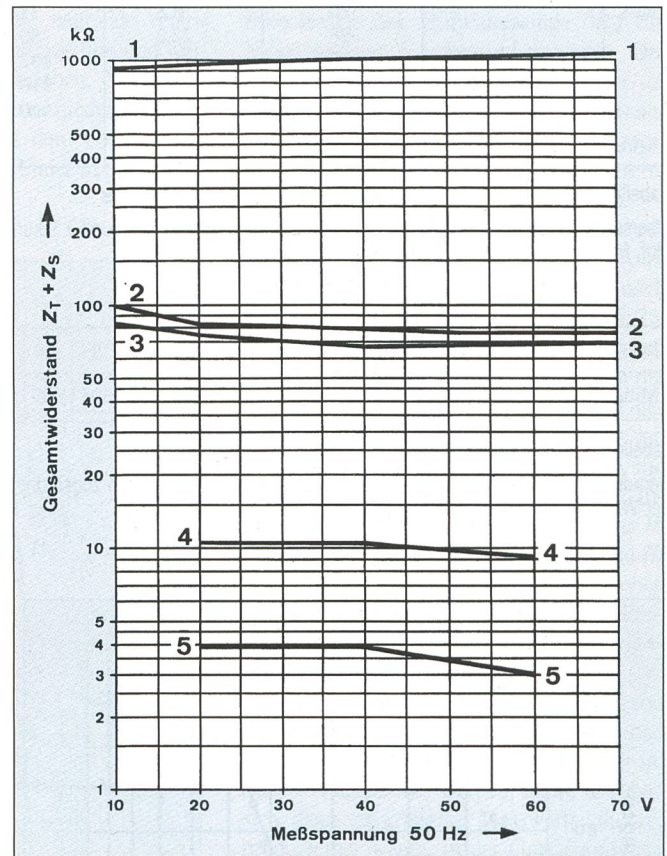


Bild 5 Messanordnung bei den Messungen von Schuhwiderständen im Elektropathologischen Museum in Wien

- 1 Aluminium-Folie
- 2 Kupferplatte
- 3 Muster-Schuhwerk

Frequenz [Hz]	Körperwiderstand Z_T [Ohm]	
	Hand-Hand	Hand-beide Beine
25	5500	4125
50	5500	4125
100	4200	3150
500	2100	1575
1000	1400	1050
2000	1200	900
5000	1000	750

Tabelle V Frequenzabhängigkeit des Körperwiderstandes von Menschen

Körperwiderstand in Abhängigkeit von der Frequenz; 50%-Werte für 25-20000 Hz bei 10 V Berührungsspannung

der Isolationswiderstand von Schuhen in einem sehr grossen Bereich schwanken kann.

Bei den englischen Messungen wurde auch die Frequenzabhängigkeit der Körperimpedanz von Menschen in Serie mit Schuhwerk bei einer Messspannung von 10 V im Frequenzbereich von 50 bis 10000 Hz untersucht. Bild 6 zeigt die Impedanzwerte in Abhängigkeit von der Frequenz bei Schuhen mit trockenen Ledersohlen im normalen Gebrauchszustand, wobei die Körperimpedanz mit rund 5000 Ohm bei 50 Hz fallend auf 700 Ohm bei 10000 Hz angenommen wurde. Genaue Angaben über den Frequenzverlauf der Körperimpedanzen finden sich ebenfalls in [4]. Sie sind für 10 V Berührungsspannung und den Frequenzbereich bei grossflächiger Berührung aus Tabelle V zu entnehmen.

Bild 7 zeigt die gleichen Messungen mit nassen Schuhen, wobei auch in diesem Fall der Isolationswiderstand der nassen Ledersohlen noch im Kiloohmbereich bleibt. In jedem Fall sinkt der Sohlenwiderstand stark mit steigender Frequenz.

Dass feuchte Faserstoffe ein eigenartiges kapazitives Verhalten bei Stromdurchgang zeigen, hat schon S. Evershed im Jahre 1913 gezeigt [5]. Die Stromleitung dürfte in Kapillaren erfolgen, wobei die einzelnen leitenden Tröpfchen in feinen Röhren aus höher isolierenden Stoffen unter Zwischenschaltung von Luftbläschen sitzen.

Zusammenfassende Betrachtungen

Aus dem vorher Gesagten geht hervor, dass Schuhe mit Ledersohlen im normalen, trockenen Gebrauchszustand Isolationswiderstände von einigen 0,1 Megaohm bis einige Megaohm besitzen, während bei Schuhen mit Kunststoffsohlen dieser Wert im Megaohm-Bereich liegt. Sogar nach Eintauchen der Schuhe mit üblichen Ledersohlen in normales Leitungswasser beträgt die Sohlenimpedanz noch einige Kiloohm. Dabei sind die Impedanzen stark kapazitiv und sinken daher bei steigender Frequenz.

Andererseits wurde gezeigt, dass dünne Ledersohlen, wie bei Turnschuhen oder Strohsohlen, im nassen Zustand einen Isolationswiderstand von nur wenigen Ohm besitzen.

Für die konventionelle Normung der maximal zulässigen Fehlerströmung I_F und Berührungsspannung U_T von Mensch und Nutztier kann man daher folgende Überlegungen anstellen:

Die Berührungsspannung U_T ist definitionsgemäss die Spannung, die am menschlichen Körper oder am Körper eines Nutztieres auftritt, wenn er vom Strom durchflossen wird. Nach Bild 8 ist aber die Berührungsspannung U_T immer nur ein Teil der Fehlerströmung I_F . Zunächst erkennt man in Bild 8, dass am Standort infolge des Verlaufes des Spannungstrichters überhaupt nur ein Teil der Fehlerströmung, die sogenannte prospektive Berührungsspannung U_{PT} als treibende Spannung wirksam wird. Beim Stromfluss durch den Körper und den Standort gilt:

$$U_{PT} = U_T + U_S + U_{ST}$$

wenn mit U_S der Spannungsabfall in den Schuhen und mit U_{ST} der Spannungsabfall

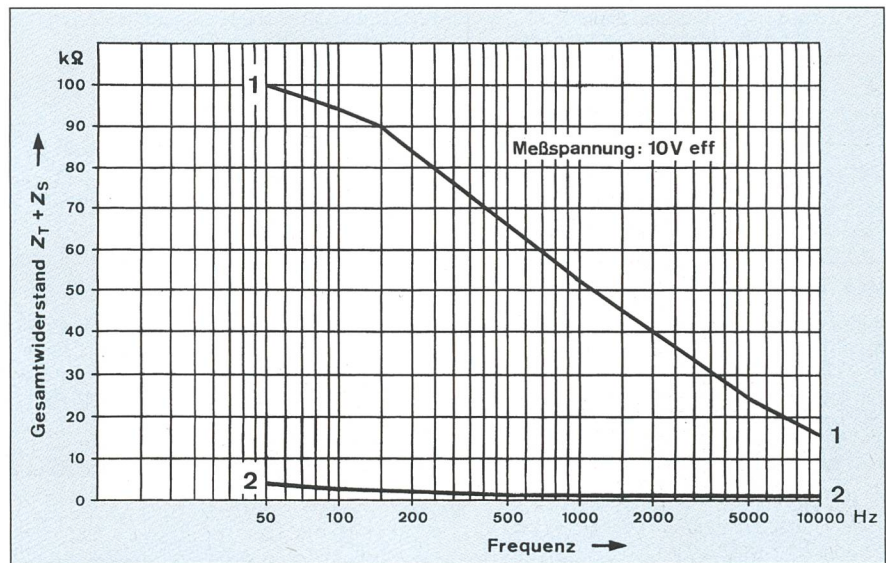


Bild 6 Abhängigkeit der Gesamtimpedanz (Körperimpedanz Z_T und Impedanz der Schuhsohlen Z_S) von der Frequenz bei einer Messspannung von 10 V_{eff}

- 1...1 Schuhe mit Ledersohlen, normaler Gebrauchszustand
- 2...2 Körperimpedanz Stromweg Hand-beide Beine, Berührungsspannung unter 10 V

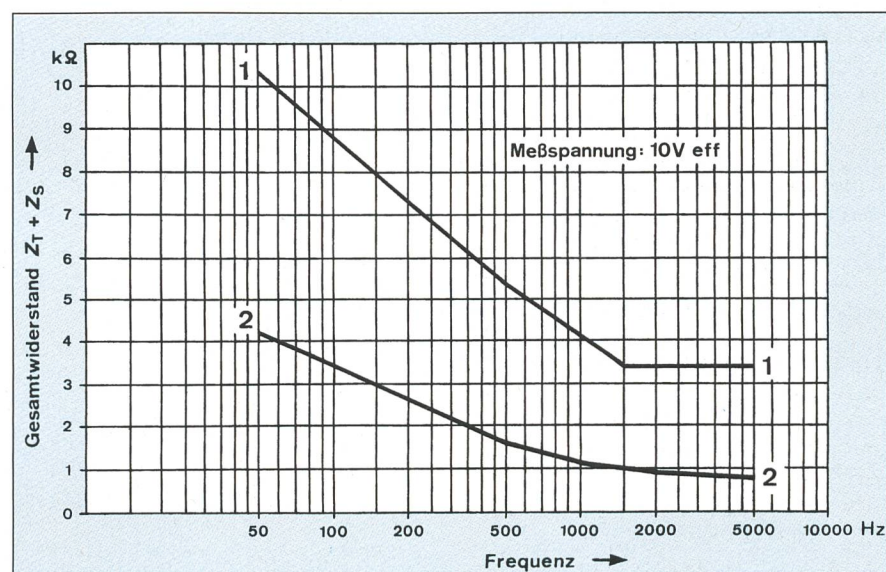


Bild 7 Abhängigkeit der Gesamtimpedanz (Körperimpedanz Z_T und Impedanz der Schuhsohlen Z_S) von der Frequenz bei einer Messspannung von 10 V_{eff}

- 1...1 Schuhe mit Ledersohlen, nach Eintauchen in Leitungswasser
- 2...2 Körperimpedanz Stromweg Hand-beide Beine, Berührungsspannung unter 10 V

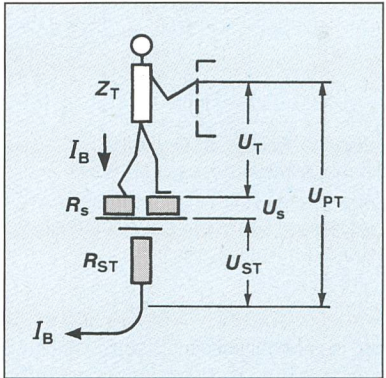
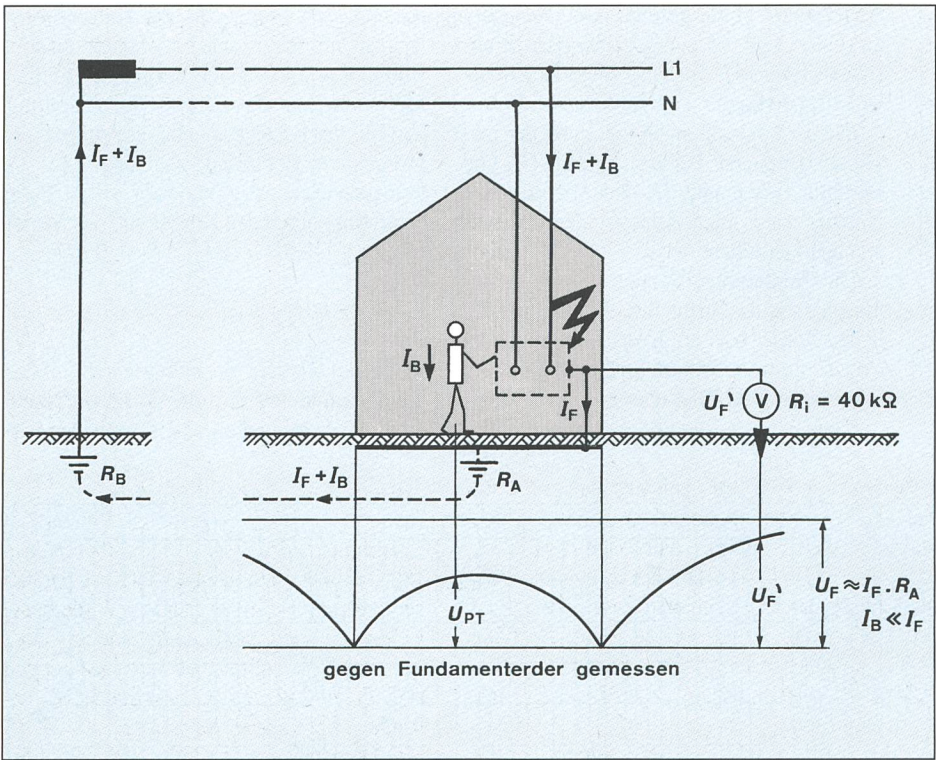


Bild 8 Fehlerspannung und Berührungsspannung

Fehlerspannung, prospektive Berührungsspannung und Berührungsspannung bei einem Körperschluss in einer Anlage, bezogen auf den Fundamenterder

- U_F Fehlerspannung
- $U_{F'}$ Teilfehlerspannung
- U_{PT} Prospektive Berührungsspannung
- U_T Berührungsspannung
- U_S Spannungsabfall im Schuhwerk
- U_{ST} Standortspannung

- I_F Fehlerstrom
- I_B Körperstrom
- R_A Erdungswiderstand der Verbraucheranlage
- R_{ST} Standortwiderstand
- R_S Widerstand der Schuhe
- R_B Gesamterdungswiderstand aller Betriebserdungen (Erdung des Nullpunktes)

durch den Standortwiderstand bezeichnet wird [7]. Für den Standortwiderstand gilt

$$R_{ST} = \rho [\Omega\text{m}] / 2d[\text{m}],$$

wenn d den Durchmesser eines Kreises bezeichnet, der den beiden Fusauf­flä­chen eines Menschen flächengleich ist. Es ergibt

sich etwa $R_{ST} = 1,6 - 2,2 \times \rho$, mit ρ als spezifischen Erdwiderstand in Ohmmeter. Für Humus oder feuchten Beton kann man ρ mit 100 Ohmmeter annehmen, womit R_{ST} in der Praxis kaum unter 200 Ohm betragen wird, wenn man von aussergewöhnlich gut leitenden Standflä­chen absieht.

Für die konventionelle Fehlerspannungsgrenze U_F ist also zu überlegen, welches Restrisiko man noch tolerieren kann, und damit kommt man zu Überlegungen betreffend den Stromweg, die Zusatzwiderstände (wie Schuhwerk usw.), Standortwiderstand, Wahrscheinlichkeit des Fehlers und des gleichzeitigen Berührens sowie wirtschaftliche Gesichtspunkte. Nimmt man eine konventionelle Berührungsspannungsgrenze von 50 V (Wechselstrom, 50 Hz) an, so ergeben sich mit einer Körperimpedanz Z_T (5%-Werte der Population) je nach Stromweg die Körperströme I_B nach Tabelle VI.

Nun liegt für Einwirkungsdauern von mehreren Sekunden für Längsdurchströmungen (z.B. Hand-Füße) der zulässige Körperstrom bei 50 mA, wenn man den Wert für eine statistische Flimmerwahrscheinlichkeit von 5% heranzieht, bei der Herzkammerflimmern praktisch ausgeschlossen ist. Man erkennt aus Tabelle VI, dass die im Unfallgeschehen zu erwartenden Ströme tolerierbar sind. Beim extremen Stromweg beide Hände-Rumpf (der Mensch sitzt am Boden und hält mit beiden Händen das fehlerhafte Elektrogerät) ist mit 80 mA das Auftreten von Herzkammerflimmern bei Längsdurchströmungen im IEC-Report 479 mit einer

Stromweg	Körperwiderstand Z_T [Ohm]	Körperstrom I_B [mA]
Hand-beide Beine	2000	25
beide Hände-beide Beine	1300	40
beide Hände-Rumpf	650	80

Tabelle VI Stromweg-Abhängigkeit der Körperwiderstände und -ströme bei Menschen

Körperwiderstände Z_T (gerundete 5%-Werte) und Körperströme I_B für verschiedene Stromwege bei einer Berührungsspannung von 50 V_{eff}

Stromweg	Körperwiderstand Z_T [Ohm]	Standortwiderstand R_{ST} [Ohm]	Körperstrom I_B [mA]
Vorderbeine-Hinterbeine	600	500	60
Maul-vier Beine	220	125	190

Tabelle VII Stromweg-Abhängigkeit der Körperwiderstände und -ströme bei Rindern

Körperwiderstände Z_T (gerundete 5%-Werte einschl. der Hufwiderstände), Standortwiderstände der Hufe ($\rho = 100$ Ohmmeter) und Körperströme für die verschiedenen Stromwege bei einer prospektiven Berührungsspannung U_{PT} (Teilfehlerspannung) von 65 V_{eff}

Wahrscheinlichkeit von 50% angegeben. Aber in diesen Angaben sind wieder grosse Sicherheitsreserven enthalten, so dass die von *Koeppe* und *Osycka* [8] genannte Gefahrgrenze von 80 mA durchaus praxisnah ist. Damit erklärt sich auch die Erfahrung, dass entsprechend einer internationalen Umfrage keine tödlichen Unfälle bei Spannungen unter 50 V bekanntgeworden sind.

Wie früher erklärt liegen aber die Fehlerspannungen immer höher als die Berührungsspannungen. Welche Fehlerspannungen man zulassen kann, hängt von den Umständen ab. In der Regel liegen die Berührungsspannungen weit unter der Hälfte der Fehlerspannung. Im Verteilungsnetz wird man daher wegen der Spannungstrichter und der Seltenheit der Fehler sicher 100 V Fehlerspannung zulassen können. In den Verbraucheranlagen sind bei Einhaltung der Nullungsbedingungen noch keine tödlichen Unfälle von Menschen bekanntgeworden. Dabei liegen die Fehlerspannungen in der Regel unter einem Viertel der Netzspannung gegen Erde, das waren bisher $220\text{ V}/4 = 55\text{ V}$. Berücksichtigt man Spannungsschwankungen und die neue Netzspannung von 230 V gegen Erde, so kommt man zu zulässigen Fehlerspannungen bei Netzstörungen oder Isolationsfehlern in den Verbraucheranlagen bis etwa 65 V. Man könnte also 65 V konventionell als zulässige Grenze der Fehlerspannung in Verbraucheranlagen zulassen.

Es soll noch einmal darauf hingewiesen werden, dass mit dieser Festlegung, wegen

Art	Mittlere Gewichte		Niedrigste Flimmerschwelle	
	Körper [kg]	Herz [g]	Mittelwert [A]	Bereich [A]
Schwein	79	300	0,24	0,17–0,27
Schaf	56	270	0,25	0,16–0,39
Kalb	70	420	0,31	0,21–0,47
Jungpferd	115	–	0,3	0,16–0,41

Tabelle VIII Niedrigste Werte für Flimmerschwellen für verschiedene Nutztiere für Elektrisierungsdauern von 3 Sekunden [1]

der niedrigeren prospektiven Berührungsspannung U_{PT} und der Zusatzwiderstände (Standort, Schuhe), die konventionelle Berührungsspannungsgrenze von 50 V für Längsdurchströmungen praktisch immer eingehalten wird. Für den Stromweg Hand-Hand ist die Berührungsspannung meist gleich der Fehlerspannung, jedoch gilt für diesen Stromweg der Herzstromfaktor 0,4, und demnach sind Querdurchströmungen nur etwa halb so gefährlich wie Längsdurchströmungen.

Beim Nutztier gelten hinsichtlich des Unterschiedes Fehlerspannung-Berührungsspannung folgende Überlegungen, wobei das Rind als repräsentativ für alle Nutztiere angenommen wird. Auch hier teilt sich die prospektive Berührungsspannung U_{PT} entsprechend dem Körperwiderstand und dem Standortwiderstand auf, wobei für die Durchströmung Vorderbeine-Hinterbeine folgendes gilt: Ersetzt man eine Hufauflage-

fläche durch einen Kreis mit 0,1 m Durchmesser, so gilt für seinen Standortwiderstand

$$R_{ST} = \rho/2d = \rho/0,2 = 5\text{ m}^{-1} \times \rho.$$

Nimmt man ρ (auch im Stall) mit etwa 100 Ohmmeter an, dann ergeben die parallel geschalteten Hufe der beiden Vorderbeine in Serie mit den parallel geschalteten Hufen der Hinterbeine einen Zusatzwiderstand von 500 Ohm. Da der Körperwiderstand des Rindes für diesen Stromweg (5%-Wert) 600 Ohm beträgt, ist also die Berührungsspannung etwa die Hälfte der prospektiven Fehlerspannung. Ähnliches gilt auch für den Stromweg Maul-vier Beine (Körperwiderstand $Z_T = 220\text{ Ohm}$, Standortwiderstand 125 Ohm). Für die Tabelle VII werden diese Werte benutzt, um die Körperströme I_B bei einer prospektiven Berührungsspannung U_{PT} (Teilfehlerspannung) von 65 V zu berechnen.

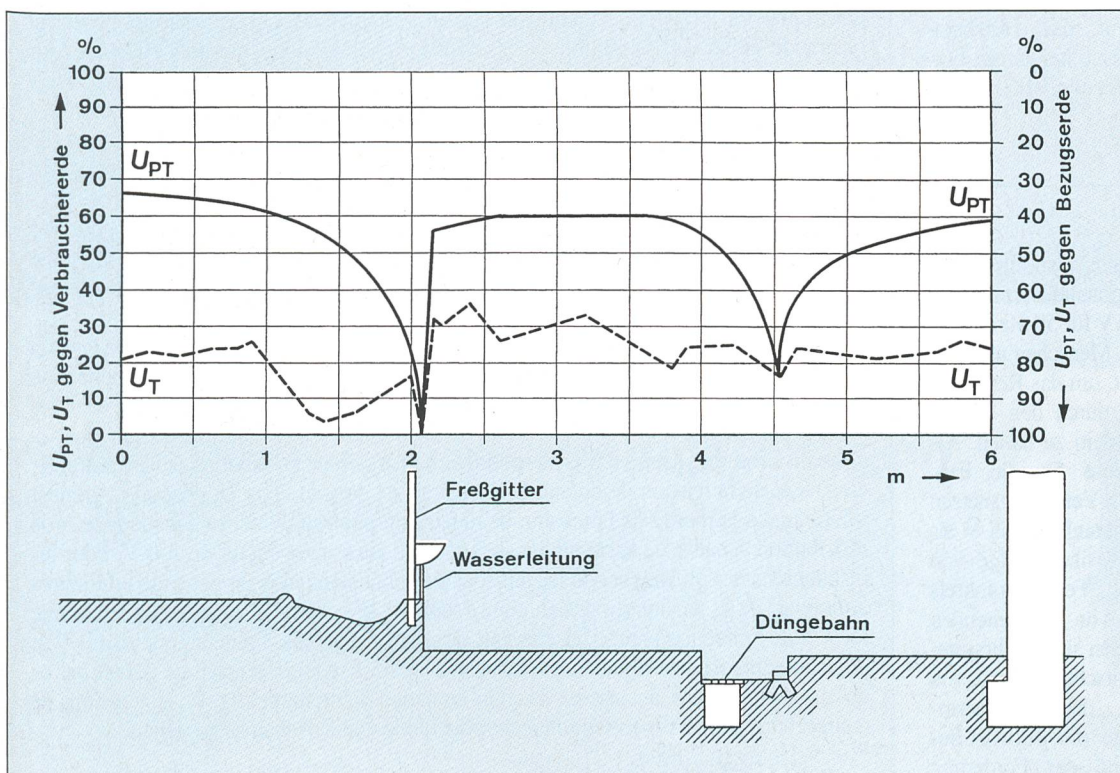


Bild 9 Verlauf des Spannungstrichters in einem Stall ohne Potentialsteuergitter

Verlauf der prospektiven Berührungsspannung U_{PT} (Voltmeterinnenwiderstand 1,8 MOhm) und der Berührungsspannung U_T in Prozent der Fehlerspannung U_F bezogen auf das Potential der Erdungsanlage des Stalls (z.B. den Fundamentender)

Die Flimmerschwellen von Nutztieren für Elektrisierungen, die länger sind als die Dauer einer Herzperiode, liegen aber wesentlich höher als beim Menschen [1]. Sie sind aus der Tabelle VIII zu ersehen.

Die prospektive Berührungsspannung U_{PT} (Teilfehlerspannung) hat dabei die gleiche Bedeutung wie beim Menschen. Bild 9 zeigt die Potentialverteilung in einem Stall ohne Potentialsteuergitter. Man erkennt zunächst, dass die Teilfehlerspannungen, die als prospektive Berührungsspannungen wirksam werden können, nur etwa 60% der Fehlerspannung betragen. Die Berührungsspannungen wurden bei dieser Messreihe mit einem Voltmeter mit 300 Ohm Innenwiderstand und einer Metallplatte auf dem Stallboden gemessen. Das Tier überbrückt von den Vorderbeinen zu den Hinterbeinen rund 10% der Fehlerspannung, also 20 V, wenn diese 200 V beträgt. Das ergibt mit 1100 Ohm einen Körperstrom von 18 mA, und dies bedeutet bereits eine heftige Elekrisierung. Sie führt sicher nicht zum Kammerflimmern, kann aber ohne weiteres durch die Reaktionen des Tieres zum Erwürgen durch die Ketten oder Stricke führen, an denen das Tier befestigt ist.

Nach unserem derzeitigen Wissen entstehen Unfälle von Nutztieren über den Stromweg Vorderbeine-Hinterbeine in Ställen ohne Potentialsteuergitter oder bei frei herumlaufenden Tieren in Spannungstrichtern. In Ställen mit Potentialsteuergittern ist ein Tierunfall praktisch ausgeschlossen. Aber selbst beim Stromweg vom Maul zu den vier Beinen, der zu einem sofortigen Zurückweichen des Tieres führt, liegt der Körperstrom mit 190 mA an der unteren Grenze der Schwellenwerte für das Herzkammerflimmern von Nutztieren bei langen Einwirkungsdauern (siehe Tabelle VIII).

Schlussfolgerung

Zusammenfassend kann man also feststellen, dass die konventionelle Berührungsspannungsgrenze von 50 V für 50-Hz-Wechselstrom sowohl für den Menschen als auch für Nutztiere geeignet ist, um das Restrisiko von tödlichen Unfällen durch den elektrischen Strom genügend klein zu halten. Als konventionelle Grenzwerte für die Fehlerspannung erscheinen in Verteilungsnetzen 100 V und in Verbraucheranlagen 65 V als tragbar, wobei das Restrisiko infolge von Zusatzwiderständen im Fehlerstromkreis (steigende Verwendung von nichtleitenden Werkstoffen bei Gebäuden und Rohrsystemen), der geringen Wahrscheinlichkeit von extremen Stromwegen, der Fehlerspannungsverteilung (niedrige prospektive Berührungsspannungen) und der Forderung

nach vernünftigem wirtschaftlichem Aufwand beim Schutz gegen gefährliche Körperströme, vertretbar ist.

Literatur

- [1] International Electrotechnical Commission, IEC-Report 479, Part 3: 'Effects of current passing through the body of livestock', Chapter 7: Electrical impedance of the body of livestock, Chapter 8: Effects of sinusoidal alternating current in the frequency range of 15 to 100 Hz, Document 64/WG 4 (Secretariat) 120.
- [2] Bachl, H., Biegelmeier, G., Evans, T.H. und Mörx, A.: Über den Schutz von Nutztieren gegen gefährliche Körperströme. Bull. SEV/VSE 83 (1992)3, S. 65-72.
- [3] British Electricity Council: Communications and Systems Control Consultancy Group: Report on protection of post office lines against power system

induction and rise of earth potential, Project CS 4, 1982.

[4] International Electrotechnical Commission, IEC-Report 479, Part 1 (under revision): Effects of current passing through the human body, General Aspects, Chapter 1: Impedance of the human body, Document 64 (Central Office) 211.

[5] Evershed, S.: Der Isolationswiderstand feuchtigkeitshaltiger Körper mit Faserstruktur. IEEE Bd. 52 (1913), S. 51. Auszug: etz (1914) H.31, S. 887.

[6] Biegelmeier, G.: Schwere Unfälle, schlechte Normen, falsche Schalter - Alte Kragensteckvorrichtungen. de 6/89, S. 357-360.

[7] Biegelmeier, G.: Fehlerspannungen, Berührungsspannungen und Potentialausgleich. etz 109 (1988), H.10, S. 460-464.

[8] Osypcka, P.: Messtechnische Untersuchungen über Stromstärke, Einwirkungsdauer und Stromweg bei elektrischen Wechselstromunfällen an Mensch und Tier, Bedeutung und Auswertung für Starkstromanlage. Elektromedizin, Bd. 8 (1963), H. 3 und 4.

Les valeurs limites conventionnelles pour la tension de défaut et la tension de contact

Limites pour la tension de défaut et la tension de contact en prenant en compte la résistance des chaussures des hommes et des sabots des animaux de rapport

Lors de l'élaboration de la partie 3 du rapport CEI 479 sur les effets des courants électriques sur les animaux de rapport [1], on a effectué des examens sur des bovins et résumé le savoir sur l'ensemble de ces questions [2]. D'autres mesures effectuées sur des sabots de bovins à l'Ecole nationale vétérinaire d'Alfort à Paris (figures 1 et 2) permettent à présent d'améliorer le schéma indiqué sous [2] des résistances corporelles des bovins (fig. 3). On dispose aussi de nouveaux résultats de mesure sur le facteur de protection de chaussures en cas d'électrisation. Ils confirment que la résistance d'isolement des chaussures peut très fortement varier - de la plage des mégaohms pour des souliers à l'état sec, à une résistance de la semelle de quelques ohms pour des souliers de gymnastique avec semelle mince et des souliers de paille exempts de toute protection, en passant par la plage des kiloohms aux mégaohms pour des semelles en cuir ou en matière plastique à l'état mouillé (fig. 4-7).

Considérant le fait que la tension de contact n'est toujours qu'une partie de la tension de défaut (fig. 8), l'auteur justifie l'opinion selon laquelle il est possible, en admettant un risque résiduel justifiable, et compte tenu des conditions ambiantes régnant dans les installations intérieures y compris dans les exploitations agricoles, de définir pour la normalisation une limite uniforme pour les valeurs conventionnelles de la tension de contact et de la tension de défaut. Les tensions de contact étant en général largement inférieures à la moitié de la tension de défaut, on pourrait admettre dans le réseau de distribution, à cause de la rareté des défauts, une tension de défaut de 100 V. Pour les installations des utilisateurs où les tensions de défaut sont en règle générale inférieures à un quart de la tension du réseau contre terre, si le système TN est appliqué comme mesure de protection contre des courants de corps dangereux, l'auteur conclut que l'on pourrait admettre une limite conventionnelle de 65 V pour la tension de défaut, parce qu'aussi dans ce cas, à cause de tensions en forme d'entonnoir (fig. 9), les tensions de contact sont toujours considérablement plus faible que les tensions de défaut.



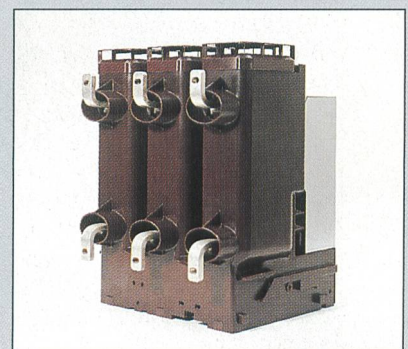
Leisten Sie sich metallgeschottete Mittelspannungsanlagen von Sprecher Energie

Die neue kompakte metallgeschottete PID 100 Mittelspannungs-Schaltanlage mit Vakuum-Leistungsschalter HVEW 400 in Einschubtechnik für 12 kV und 24 kV erfüllt höchste Qualitätsansprüche.

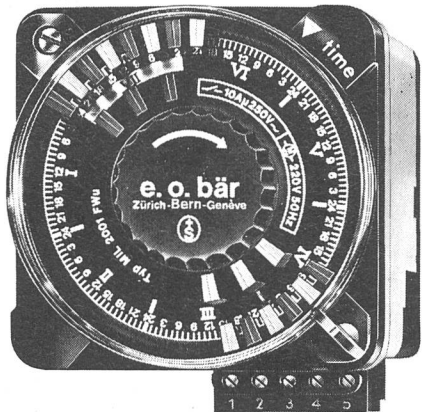
Ausgezeichnet ist die einfache und sichere Bedienung. Die hohe Verfügbarkeit und die lange Lebensdauer sind weitere wichtige Merkmale.

Verlangen Sie unverbindlich Unterlagen.

Sprecher Energie AG
Mittelspannungsanlagen
CH-5034 Suhr
Telefon: 064/33 77 33
Fax: 064/33 77 35



SPRECHER
ENERGIE



Schaltuhren

(und Stundenzähler)

sind unsere Spezialität

e.o.bär

3000 Bern 13
Postfach 11
Wasserwerksgasse 2
Telefon 031/22 76 11

Elektromagnetische Verträglichkeit – EMV

Wirkungen auf biologische Systeme

Fundierte, fachkompetente Schulungsseminare zum Thema «Biologische Elektrotechnik». Grundlagenarbeit der Wirkungen von elektromagnetischen und Elektrowechselfeld-Strahlungen auf biologische Systeme – Symbiose zwischen technischer Wissenschaft und täglicher Praxis – Elektrfelder im Alltag – Nutzen und Risiko der Elektrizität – Biologische Richtwerte – Technische Grenzwerte.

Ein anerkannt fachkompetentes Weiterbildungsangebot des Verbandes: SABE – Schweizer Arbeitskreis Biologische Elektrotechnik.

SABE – Schulungsseminare 1993

9321 MO	25.10.93	GS	(EMV)	9325 MI	24.11.93	WBM	(EMV)
9322 DI	26.10.93	WBM	(EMV)	9326 DO	25.11.93	WBM	(EMV)
9323 MI	3.11.93	GS	(EMV)	9327 MI	1.12.93	WBP	(EMV)
9324 FR	19.11.93	GS	(EMV)				

Seminare: GS Grundsulungs-Seminar für alle Interessierten (Installateure, Planer, Fachpersonen) = Basis für weitere SABE-Kurse.

WBM/WBP Weiterbildungs-Seminar für Absolventen des GS oder für SABE-Mitglieder; (WBM = Messpraktiker/Installateure; WBP = Elektroplaner).

Kosten: Pro Person inkl. Schulungsunterlagen und Verpflegung Fr. 490.–, SABE-Mitglieder Fr. 390.–.

Kursort: Ausbildungszentrum des SRK (Schweiz. Rotes Kreuz) in Nottwil LU.
SBB-Schnellzugsverbindung Sursee mit Abholdienst.

Kursleitung: SABE – Schweizer Arbeitskreis Biologische Elektrotechnik
Angelus Wismer, Präsident – Kari Fischer, Vizepräsident

Informations-Talon

Schicken Sie mir bitte Seminar-Unterlagen.

Name/Vorname _____
Adresse _____
PLZ/Ort _____
Tel.-Nr./Fax _____

Bitte senden an: SABE, Schulungssekretariat
Eybachstrasse, 6207 Nottwil
Tel. 045 54 16 54, Fax 045 54 22 21



60% unserer Leser sind an Entscheidungen über
Hard- und Software-Investitionen beteiligt.



Inserieren Sie im BULLETIN SEV/VSE. Wir beraten Sie kompetent. Tel. 01/207 86 34

Beispielhaft in der Beständigkeit



GFK-Kanäle – für Sicherheit und hohen Kundennutzen

Kabel- und Bodenkanäle aus glasfaserverstärktem Polyester-Kunststoff (GFK) bieten Sicherheit für Elektro-, Kommunikations- und Datenleitungen, in Geschäfts- und Industriebauten, in Bahn- und Strassentunnels sowie in Freiluftanlagen. Das Material hat sich in Raumfahrt und anderen Hochtechnologien bewährt - und die daraus gefertigten Ebo-Kanäle sind international bekannt.

Eigenschaften

Kabel- und Bodenkanäle widerstehen hohen mechanischen Belastungen. Verstärkungsrippen ergeben eine gute Stabilität und einen geringen Gleitwiderstand beim Einziehen der Kabel.

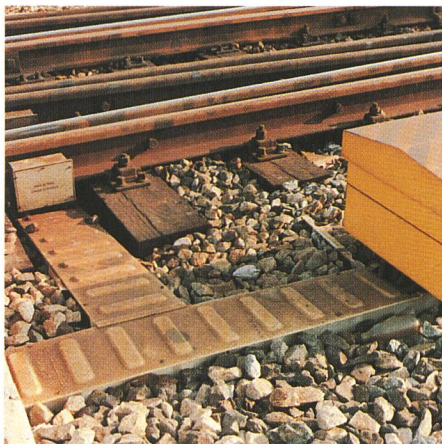
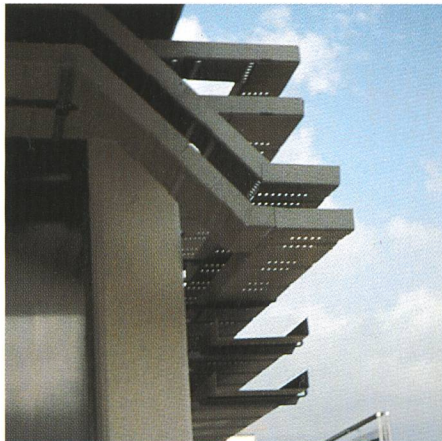
Ebo-Kanäle korrodieren nicht; sie sind beständig gegen Säuren, Laugen und die meisten Chemikalien. Das Material ist lebensmittelunbedenklich und ausserdem isolierend, schwerentflammbar, hitzebeständig, selbstverlöschend und absolut halogenfrei. Im Brandfall bietet das Material mit dem kleinen Wärmeleitwert den Kabeln länger Schutz.

GFK unterliegt im Temperaturbereich von -80 bis +130 °C keinerlei Verformungen. Ein 8-mm-Dilatationsspalt in den Muffenverbindungen gleicht Längenveränderungen aus. Die Kanäle sind dauerhaft beständig gegen intensive UV-Strahlung, Witterungseinflüsse, Abgase und Flugrost. Ebo-Kanäle sind alterungsbeständig weil sie nicht verspröden.

Vielfältige Basis- und Formteile

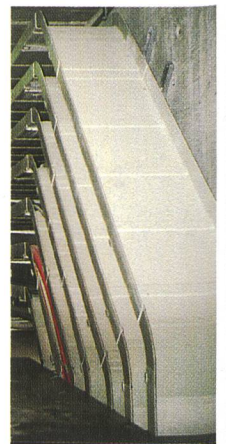
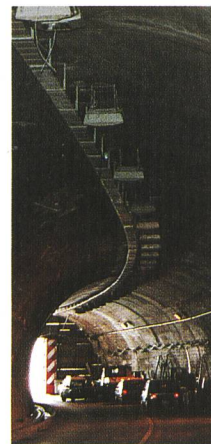
Auf Wunsch sind Stanzungen im Boden der Kabelkanäle erhältlich; sie dienen der Belüftung, lassen allfälliges Wasser abfliessen und nehmen die Ordnungs-Trennbolzen auf. Für eine schnelle, perfekte und wirtschaftliche Montage stehen Formteile für Richtungsänderungen, Deckel, umfassendes Zubehör sowie ein patentiertes Befestigungssystem zur Verfügung.

Je nach Anwendung und Belastung werden Bodenkanäle mit Polyesterdeckel oder mit Riffelblech abgedeckt. 12 Abmessungen, mit einem grossen Zubehörsortiment, lassen keine Installationswünsche offen.



Nutzen für alle

Das geringe Gewicht der Kanäle, die schraubenlosen Verbindungen durch das Muffensystem sowie die einfache Bearbeitung mit üblichen Handwerkzeugen wie Stichsäge und Bohrer, verkürzen die Montagezeiten erheblich. Entgraten entfällt und es besteht weder für die Arbeitenden noch für die Kabel eine Verletzungsgefahr. Der Langzeitnutzen ist der «Zusatzbonus».



Und ausserdem ...

... ist das Material vollständig recyclingfähig, ein Prozess, den Ebo AG in der eigenen Produktionsstätte durchführt.

... ist für die Ebo AG das Qualitäts-Zertifikat ISO 9001 nicht nur ein Stück Papier - es ist eine Herausforderung für alle unsere Mitarbeiter und Zulieferer, um noch stärker beispielhaft zu sein.

Der Vertrieb über den Elektro-Grosshandel garantiert, dass Ebo-Produkte immer in der Nähe zu finden sind.



Ebo AG
 Zürichstrasse 103
 CH-8134 Adliswil
 Tel. 01/483 86 86
 Fax 01/482 86 25