

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:	83 (1992)
Heft:	3
Artikel:	Über den Schutz von Nutztieren gegen gefährliche Körperströme
Autor:	Bachl, Hubert / Biegelmeier, Gottfried / Evans, T. H.
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-902791

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 17.02.2026

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

Über den Schutz von Nutztieren gegen gefährliche Körperströme

Hubert Bachl, Gottfried Biegelmeier, T.H. Evans und Alfred Mörx

Neuere Messungen von Tierkörperwiderständen und die Erkenntnisse der Elektropathologie machen es möglich, den IEC-Bericht 479 durch einen Teil 3 über die Wirkungen elektrischer Ströme auf Nutztiere zu erweitern. Es wird vorgeschlagen, die konventionelle Berührungsspannungsgrenze für die internationale Normung von Schutzmassnahmen gegen gefährliche Körperströme einheitlich mit 50 V festzulegen. Die Errichtungsvorschriften für Niederspannungsanlagen würden damit wesentlich einfacher.

De récentes mesures de la résistance corporelle opérées sur les animaux et l'enseignement tiré de l'électropathologie permettent d'élargir le rapport CEI 479 d'une partie 3 traitant les effets des courants électriques sur les animaux de rapport. Il est proposé de fixer la limite conventionnelle de la tension de contact uniformément à 50 V pour la normalisation internationale des mesures de protection contre les courants de corps dangereux. Cela permet de simplifier notably les prescriptions régissant l'établissement des installations à basse tension.

Adressen der Autoren

Ing. Hubert Bachl und Prof. Dr. Gottfried Biegelmeier, CTI-Cooperative Testing Institute, Greiner-gasse 30, A-1195 Wien, T.H. Evans, Computerland Hamilton, Cnr Rostrevor & Tristram Streets, P.O. Box 9160 Hamilton, Neuseeland, und Dipl. Ing. Alfred Mörx, Schrack Components AG, Seybelgasse 13/1, A-1230 Wien.

Der IEC-Report 479

Der IEC-Report 479 über die Wirkungen elektrischer Ströme auf Menschen und Nutztiere und die konventionellen Berührungsspannungsgrenzen

Die Neuauflage des IEC-Reportes 479 [1] enthält nicht nur Angaben über Körperwiderstände und Wirkungsgrenzen elektrischer Ströme für den Menschen, sondern wird in einem neuen Teil 3 auch die Nutztiere behandeln, und zwar deren Körperwiderstände und Flimmerschwellen für Wechselstrom 50/60 Hz. Damit werden die Grundlagen geschaffen, die für die Dimensionierung von Schutzmassnahmen gegen tödliche Elektrounfälle bei Nutztieren notwendig sind. Vor allem soll auch die konventionelle Berührungsspannungsgrenze für den Schutz von Nutztieren näher untersucht werden.

Die Erfahrung bei elektrischen Unfällen von Menschen hat gezeigt, dass für den Menschen bei normalen Umgebungsbedingungen, auch bei ungünstigen Stromwegen, etwa wenn ein Elektrogerät mit beiden Händen gehalten wird und der Mensch auf dem Erdboden sitzt, bei Fehlerspannungen bis 50 V, 50 Hz, keine tödlichen Unfälle aufgetreten sind. Nur in enger, leitfähiger Umgebung, etwa in Metallkesseln, müsste man bei Teildurchströmungen, zum Beispiel Brust bis Rücken, auch bei Kleinspannung mit dem Auftreten von Herzkammerflimmern rechnen.

Das ist auch der Grund, warum bei der Schutzmassnahme «Schutzkleinspannung», die ja bei erschwerten Umgebungsbedingungen angewendet wird, immer der Basisschutz, also der Schutz gegen direktes Berühren aktiver Teile, durch isolierende Abdek-

kungen und Gehäuse vorgeschrieben wird.

Nimmt man bei normalen Umgebungsbedingungen für einen Stromweg Hand-beide Füsse den Körperwiderstand für Berührungsspannungen unter 65 V mit 1000–1300 Ohm und den zulässigen Körperstrom für lange Durchströmungsdauern mit 40–50 mA an, dann ergeben sich zulässige Berührungsspannungsgrenzen von 50 bis 65 V. Mit einem tödlichen Unfall durch Kammerflimmern ist dabei nicht mehr zu rechnen [2], wohl aber

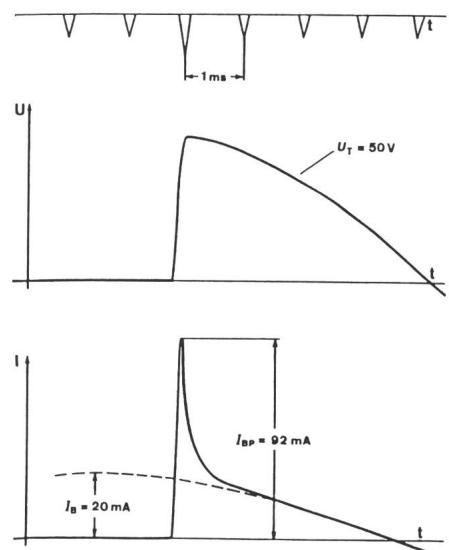


Bild 1 Elektrische Durchströmung eines Menschen

Oszillosgramm einer elektrischen Durchströmung für einen lebenden Menschen. Stromweg Hand–Hand, Elektroden grossflächig umfasst. Berührungsspannung $U_T = 50$ V (Effektivwert). Einschaltstromspitze $I_{BP} = 92$ mA, stationärer Körperstrom $I_B = 20$ mA. Bei Durchströmungsdauern unter 20 ms erfolgt elektrischer Schlag in Fingern und Handgelenken, bei längerer Einschaltzeit (0,1 s) starke Empfindungen in den Händen und Armen, nicht dauernd ertragbar.

mit starken Muskelreaktionen, die nicht dauernd ertragen werden können (Bild 1).

Für die Beurteilung der zulässigen Berührungsspannungsgrenzen bei kurzen Durchströmungsdauern ist folgende Überlegung wertvoll: Bei Elektrisierungen mit einer Durchströmungsdauer unter etwa einem Drittel der Herzperiode (0,2 s) liegt die Flimmerschwelle über 1 A, also bei Strömen, die beim Niederspannungsunfall nur sehr selten vorkommen. Flimmern tritt dann nur auf, wenn die Elektrisierung in der vulnerablen Phase beginnt. Andernfalls kommt es durch die hohen Stromstärken zur homogenen Erregung des gesamten Herzmuskelns und damit zum Herzstillstand, der sich nach der Elektrisierung oft als reversibel erweist.

Welche Ströme bei Niederspannungsunfällen beim Menschen unter ungünstigen Umständen auftreten können, zeigt Bild 2. Für die Körperimpedanzen wurden die untersten Grenzwerte (5%-Werte) gewählt [1]. Vergleicht man die Körperströme mit den Flimmerschwellen, dann erkennt man, dass in Niederspannungsnetzen ein tödlicher Elektrounfall durch Herzammerflimmern praktisch ausgeschlossen ist, wenn die Durchströmungsdauer kleiner ist als etwa 0,2 s.

Weiter ist zu beachten, dass zwischen der Berührungsspannung und der Fehlerspannung ein grosser Unterschied besteht [4]. Die Berührungsspannung ist meist wesentlich niedriger als die Fehlerspannung. Der Potentialausgleich und der Standortwiderstand, auch Kleidungsstücke und vor allem das Schuhwerk verringern die Berührungsspannung. Messungen haben gezeigt, dass auch nach stundenlanger Lagerung von Schuhen in Wasser immer noch Tausende Ohm Zusatzwiderstand durch die Schuhsohlen vorhanden sind. Lediglich bei Salzlösungen oder bei Nägeln in den Sohlen kann der Schutzwiderstand der Schuhe unwirksam werden. All dies

wirkt sich dahingehend aus, dass selbst bei gefährlichen Fehlerspannungen Elektrisierungen meist vermieden werden. Dazu kommt die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Isolationsfehlern und der gleichzeitigen Berührung der fehlerhaften Geräte. Alle diese Umstände führen eben dazu, dass der Wert von 50 V oder 65 V für die zulässige Fehlerspannung bei der Dimensionierung von Schutzmassnahmen gegen gefährliche Körperströme durchaus annehmbar ist, obwohl er als Berührungsspannung bei ungünstigen Umständen (z.B. grossflächige Berührung) durchaus zu starken Elektrisierungen führen kann [3].

Für Nutztiere hat man bisher eine zulässige Fehlerspannungsgrenze von 25 V für die Schutzmassnahmen in landwirtschaftlichen Betriebsstätten gefordert. Man ist auf diesen Wert gekommen, weil einige Tierunfälle zur Besorgnis Anlass gaben und man bei Nutztieren die Körperimpedanz mit 100–300 Ohm angenommen hat.

In der Praxis kommen bei den Nutztieren drei Stromwege in Frage, und zwar vom Kopf zu den vier Beinen (metallene Kette oder Berühren der Tränkanlage), von den Vorderbeinen zu den Hinterbeinen, falls das Tier auf leitendem Erdboden Potentialdifferenzen überbrückt, und der dritte Stromweg geht beim Liegen des Tieres im Stall vom Kopf oder Hals zur Auflagefläche des Tierkörpers und entspricht beim Menschen etwa dem Extremfall einer Durchströmung Brust–Rücken. Ebenso wie die anderen genannten Stromwege kann er in neuen Anlagen wegen der metallischen Verbindungen (Potentialausgleich) zwischen dem Metallgitter unter der Standfläche, mit der Aufstellung und der Entmistungsanlage, nicht mehr zu Elektrisierungen führen.

In alten Anlagen ohne Potentialausgleich wird der Stromweg von den Vorderbeinen zu den Hinterbeinen die grösste Gefahr bilden, weil das

Tier nicht ausweichen kann. Die später beschriebenen Messungen habe ja gezeigt, dass die Halsketten infolge des Fells meist nur hochohmigen Kontakt mit dem Tierkörper haben und oft auch nichtleitende Stricke verwendet werden. Berührt das Tier mit dem Maul die Tränke oder Aufstellung, kann es zurückzucken, und damit kann man die Stromwege Kette oder Maul zu den Beinen oder das Liegen als geringes Risiko ansehen. Trotz dieser Überlegung wurde im vorletzten Abschnitt die konventionelle Berührungsspannungsgrenze mit dem Stromweg Maul zu den vier Beinen gerechnet, womit für das Nutztier eigentlich strengere Massstäbe angelegt werden als beim Menschen. Die 25-V-Grenze für Nutztiere wurde durch eine reine Schätzung gewonnen, wobei man eine Flimmerschwelle von 250 mA für längere Einwirkungsdauern angenommen hat.

Die folgenden Ausführungen behandeln zunächst Tierunfälle und die Ergebnisse von Messungen von Tierkörperwiderständen. Dadurch wird es möglich, zusammen mit den bekannten Flimmerschwellen von Nutztieren wichtige Erkenntnisse über die zulässigen Berührungsspannungsgrenzen abzuleiten.

Tierunfälle

Die elektrische Unfallgefahr in landwirtschaftlichen Betriebsstätten wurde schon des öfteren untersucht. So haben etwa *Oehms* und *Vogt* 7292 Anlagen überprüft, in denen als Schutzmaßnahme die FI-Schutzschaltung angewendet war [5]. In 6685 Anlagen war die FI-Schutzschaltung in Ordnung und in 607 Anlagen (8,32%) nicht in Ordnung. Von den 607 aufgeführten nicht wirksamen FI-Schutzschaltungen waren 246 (3,37%) auf einen defekten FI-Schutzschalter und 418 (5,73%) auf einen Fehler in der Installationsanlage, zum Beispiel Schutzleiterunterbrechung, zurückzuführen. Weitere Angaben finden sich in [6].

Die Frage, ob die Fehlerstromschutzschaltung oder die Nullung als Schutzmaßnahme in der Landwirtschaft für das Verhindern von Tierunfällen günstiger ist, wurde von den Oberösterreichischen Kraftwerken (OKA) untersucht. Es wurden die tödlichen Elektrisierungen von Rindern und Schweinen im Zeitraum von 1976 bis 1986 erfasst. Dabei ist zu bedenken, dass als Schutzmaßnahme im Versorgungsbereich der OKA die

U [V]	Stromweg Hand–Hand		Stromweg beide Hände–Rumpf	
	Z _M [Ω]	I _M [mA]	Z _M [Ω]	I _M [mA]
120	1100	110	275	430
220	1000	220	250	880

Bild 2 Körperimpedanzen und Körperströme beim Menschen

Charakteristische Werte für Körperimpedanzen und Körperströme bei Unfällen

in Niederspannungsnetzen mit 120 und 220 V gegen Erde

U = Netzspannung gegen Erde, Z_M = Körperimpedanz, I_M = Körperstrom

Nullung etwa mit 40% und die Fehlerstromschutzschaltung etwa mit 60% angewendet wird.

Im Berichtszeitraum wurden 50 Tierunfälle erfasst, durch die 160 Rinder und 80 Schweine durch den elektrischen Strom getötet wurden. Unfälle durch Blitzschläge sind in diesen Zahlen nicht enthalten. 27 Unfälle sind in genullten Anlagen aufgetreten, 23 Unfälle in Anlagen, in denen die FI-Schutzschaltung angewendet worden ist. Der Unterschied ist also statistisch nicht signifikant.

Die Ursachen des Versagens der FI-Schutzschaltung wurden, wie oben erwähnt, durch Oehms und Vogt gefunden. Sie liegen teils im Versagen der Schalter, teils in Fehlern der Installation. Bei der Nullung haben die Untersuchungen der OKA gezeigt, dass meist Unterbrechungen im PEN-Leiter im Verteilungsnetz oder in der Verbraucheranlage die Unfälle verursachen. In allen diesen Anlagen war im Stall kein Potentialsteuergitter unter der Standfläche der Tiere vorhanden. Da es sich bei den meisten Unfällen um alte Anlagen gehandelt hat, ist wohl damit zu rechnen, dass die Berührungsspannungen wesentlich höher waren als 100 V, besonders dann, wenn ein abgerissener PEN-Leiter anlagenseitig Aussenleiterberührung hatte. Einen typischen derartigen Unfall zeigt Bild 3.

Die Körperimpedanzen von Nutztieren

Die Körperimpedanz von Rindern

Auswertungsversuche erster Messungen und Widerstandsmodell: Die ersten Messungen der Körperimpedanz von Rindern wurden in den sechziger Jahren bekannt. Messungen in der ehemaligen DDR wurden vor allem hinsichtlich der Anforderungen an elektrische Weidezäune durchgeführt; amerikanische Messungen betraten die Beeinflussung der Milchproduktion beim Auftreten elektrischer Spannungsdifferenzen im Stall,

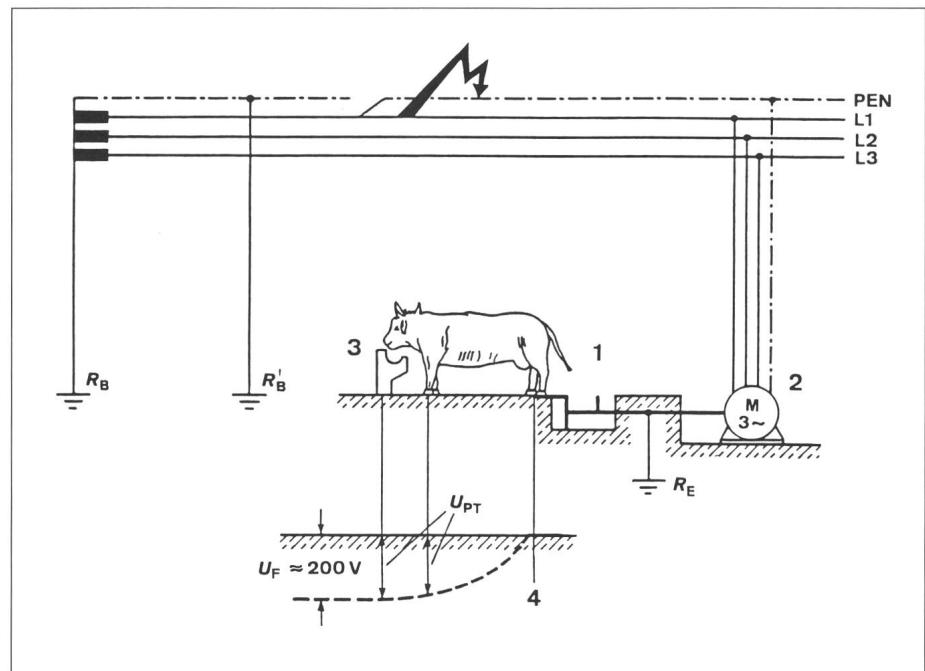


Bild 3 Tierunfall bei Schutzmaßnahme Nullung

Unfall erfolgte durch einen Seilriss des PEN-Leiters und Außenleiterberührung im Verteilungsnetz

- 1 Entmistungsanlage
- 2 Antriebsmotor für Entmistungsanlage
- 3 Tränkvorrichtung
- 4 Spannungstrichter im Stallboden
- U_F Fehlerspannung
- U_{PT} prospektive Berührungsspannungen
- R_E natürliche Erdung der Entmistungsanlage
- R_B, R'_B Betriebserdungen des PEN-Leiters

durch die im Tier Körperströme verursacht wurden.

In der DDR führte 1970 *W. Lange* mit Mitarbeitern Messungen an lebenden Milchkühen mit 10 V Gleichspannung und mit Kondensatorenentladungen durch [7, 8]. Je nach den Versuchsbedingungen hat Lange Innenwiderstände der Vorder- und Hinterbeine der Tiere von einigen Hundert Ohm gemessen. Von den amerikanischen Messungen seien die Arbeiten von *Craine* [9] sowie von *Appelman* und Mitarbeitern erwähnt [10, 11]. Die Ergebnisse der amerikanischen Autoren, die durch Messungen mit Wechselstrom 60 Hz gewonnen wurden, sind in Bild 4 enthalten.

Der prinzipielle Stromverlauf und die Impedanzaufteilung im Tierkörper ist in Bild 5 dargestellt, die zugehörigen Ersatzschaltbilder sind aus Bild 6 ersichtlich. Entsprechend den Ersatzschaltbildern ergeben sich für die drei Stromwege I nach einfachen elektrotechnischen Gesetzen die resultierenden Impedanzen mit

Stromweg I, A, (Maul–alle Hufe):

$$R_A = R_1 + R_2 \cdot R_3 / [2(R_2 + R_3)]$$

Stromweg I, B (Maul–vordere Hufe):

$$R_B = R_1 + R_2 / 2$$

Stromweg I, C (Maul–hintere Hufe):

$$R_C = R_1 + R_3 / 2,$$

wobei in zulässiger Näherung die Impedanzen den ohmschen Körperwiderständen gleichgesetzt wurden.

Berechnet man mit den Mittelwerten nach [10] aus Bild 4 die Teilkörperwiderstände, so erhält man mit $R_A = 359 \Omega$, $R_B = 624 \Omega$ und $R_C = 475 \Omega$ den Teilkörperwiderstand Maul bis Rumpf $R_1 = 109 \Omega$, Rumpf–Vorderbein $R_2 = 1030 \Omega$ und Rumpf bis Hinterbein $R_3 = 732 \Omega$. Dies stimmt

Stromweg und Literaturangabe []	Zahl der Tiere	Körperimpedanz $Z_T [\Omega]$	
		Bereich	Mittelwert
A Maul–alle Hufe [9]	70	324–393	350
A Maul–alle Hufe [10]	28	–	359
B Maul–vordere Hufe [10]	28	420–851 (*)	624
C Maul–hintere Hufe [10]	28	345–776 (*)	475

Bild 4 Körperimpedanzen von Rindern

Körperimpedanzen Z_T in Abhängigkeit vom Durchströmungsweg nach [9, 10].

(*) Bereich zwischen den 10%- und 90%-Grenzen

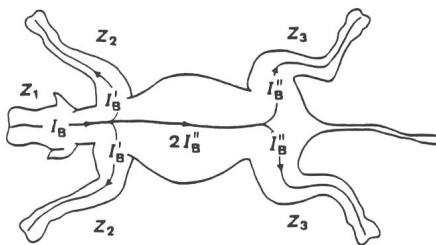


Bild 5 Stromverlauf im Rind

Prinzipieller Stromverlauf und Impedanzaufteilung im Rind für eine Durchströmung vom Kopf zu den Beinen

gut mit der Anschauung überein, da die Hinterbeine stärker gebaut sind als die Vorderbeine und damit einen kleineren Teilkörperwiderstand haben. Aus den in der Folge geschilderten Messungen hat sich der Widerstand der Hufe mit 400–500 Ω ergeben, so dass man mit den aus Bild 4 berechneten Teilkörperwiderständen folgende runde Mittelwerte angeben kann:

Mittelwerte der Teilkörperwiderstände nach [10]:

Maul-Rumpf	$R_1 = 100 \Omega$
Rumpf-Vorderbein mit Huf	$R_2 = 1000 \Omega$
Rumpf-Hinterbein mit Huf	$R_3 = 700 \Omega$

Steht das Tier also auf den vier Beinen und wird vom Kopf aus durch-

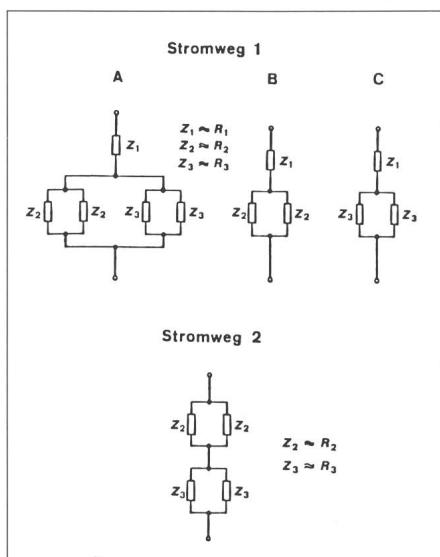


Bild 6 Ersatzschaltbilder für das Rind für Durchströmung

Stromweg 1: vom Kopf zu den Beinen

A Maul zu allen vier Hufen

B Maul zu den vorderen Hufen

C Maul zu den hinteren Hufen

Die Hufimpedanzen sind in den Impedanzen Z_2 und Z_3 enthalten.

Stromweg 2: von den vorderen Hufen zu den hinteren Hufen

strömt, dann ergibt sich ein mittlerer Widerstand für den Stromweg 1, A

$$R_{T1} = R_1 + R_2/2 \parallel R_3/2 = 300 \Omega$$

Bei einer Durchströmung Vorderbeine-Hinterbeine ergibt sich dagegen der mittlere Widerstand für den Stromweg 2

$$R_{T2} = R_2/2 + R_3/2 = 850 \Omega$$

Eine von Evans in Neuseeland 1985 durchgeführte Messung mit 83 Rindern soll näher besprochen werden, weil sie nicht veröffentlicht worden ist, aber mit den oben genannten Werten recht gut übereinstimmt. In den genannten Literaturstellen finden sich wenige Detailhinweise auf den Messaufbau oder Hinweise auf die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse mit der jeweils eingesetzten Messanordnung. Von besonderer Bedeutung für die im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Untersuchungen war die Tatsache, dass versucht wurde, von möglichst natürlichen Stallbedingungen auszugehen. Versuchsanordnungen, die die Hufe der Tiere nicht in den Stromweg einschliessen oder die Kontaktstellen besonderen Behandlungen unterwerfen (Fell abrasiert, Stechelektroden, Anwendung spezieller Kontaktpasten zur Minimierung des Übergangswiderstandes Elektrode/Tierkörper), stellen ja unrealistische Voraussetzungen für die Verhältnisse im Stall dar.

Neuere Messungen der Körperteilimpedanzen durch Evans: Die Versuche wurden mit 83 lebenden Rindern durchgeführt, mit einem Stromweg vom Maul zu einem Hinterbein, wobei die Elektrode oberhalb des Hufes am Schienbein befestigt war. Die Impedanz des Hufes lag also nicht im Stromweg. Es wurde mit sinusförmigen Halbwellenimpulsen 50 Hz, 10 ms, gemessen, wobei die Messspannung 56 V (Effektivwert) betrug.

N [%]	$Z_{TG} [\Omega]$
5	325
50	450
95	650

Bild 8 Statistik der Körperimpedanzen von Rindern

Statistische Auswertung der Messung der Körperimpedanzen von Rindern durch Evans, Stromweg Maul zu einem Hinterbein ohne Huf

N Prozentsatz der Population

Z_{TG} Werte der Körperimpedanz, die vom angegebenen Prozentsatz nicht überschritten wird

NR	$Z_T [\Omega]$	NR	$Z_T [\Omega]$
1	292	43	466
2	333	44	477
3	333	45	477
4	340	46	477
5	350	47	488
6	350	48	500
7	355	49	512
8	362	50	513
9	362	51	525
10	368	52	525
11	375	53	525
12	375	54	538
13	381	55	538
14	388	56	538
15	388	57	552
16	396	58	552
17	396	59	552
18	396	60	552
19	400	61	552
20	403	62	567
21	411	63	567
22	411	64	583
23	411	65	583
24	420	66	583
25	420	67	600
26	428	68	600
27	428	69	600
28	437	70	600
29	437	71	600
30	437	72	600
31	437	73	617
32	446	74	617
33	446	75	617
34	446	76	636
35	456	77	636
36	456	78	636
37	456	79	656
38	456	80	656
39	456	81	700
40	456	82	700
41	466	83	724
42	466		

Bild 7 Körperimpedanzen von Rindern, nach Evans

Stromweg Maul zu einem Hinterbein ohne Huf. Messspannung 56 V, AC, 50 Hz, sinusförmige Halbwellenimpulse (10 ms Stromflussdauer)

NR Versuchstier Nr.

Z_T Körperimpedanz

Die Messwerte sind aus Bild 7 ersichtlich. Als Versuchstiere wurden sowohl grosse Stiere mit einer Körperimpedanz von rund 400 Ω verwendet als auch kleine Milchkühe, an denen bis zu 600 Ω gemessen wurden. Die gerundete statistische Auswertung der Versuche findet sich in Bild 8.

Aufgrund der in der Folge beschriebenen Messungen an einem Rinderhuf kann man die verschiedenen Widerstandswerte schätzen. Für den Teilwiderstand Rinderhuf ergeben sich die folgenden Werte: 5%-Wert: 400 Ω ; 50%-Wert: 500 Ω ; 95%-Wert: 600 Ω . Der 5%-Wert des Widerstandes Kopf

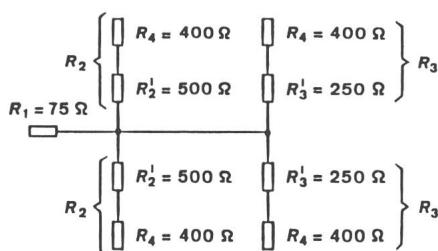


Bild 9 Ersatzschaltbild für Körperströme in einem Rind

In einem Rind Körperimpedanzen Z_T eines Rindes (abgerundete 5%-Werte) für die Berechnung der konventionellen Berührungsstromspannungsgrenze, wobei sie in erster Annäherung den Körperwiderständen R_T gleichgesetzt werden.

R_T gleichgesetzt werden	
R_1	Maul-Rumpf
R_2'	Rumpf-Vorderbeine ohne Huf
R_3'	Rumpf-Hinterbeine ohne Huf
R_4	Huf
$R_2 = R_2' + R_4$	Rumpf-Vorderbeine mit Huf
$R_3 = R_3' + R_4$	Rumpf-Hinterbeine mit Huf

bis Rumpf kann mit $R_1 = 75 \Omega$ angenommen werden (50%-Wert $R_1 = 100 \Omega$). Mit diesen Werten ergibt sich das in Bild 9 dargestellte einfache Ersatzschaltbild für die 5%-Werte der Teilkörperwiderstände von Rindern. Der Teilwiderstand $R_2' = 500 \Omega$ (Vorderbein ohne Huf) wurde aus $R_3' = 250 \Omega$ (Hinterbein ohne Huf) abgerundet und aus Bild 4 mit dem Verhältnis 2,2 berechnet, das sich aus den Teilwiderständen der Stromwege I , B und I , C ergibt, wenn man die Widerstände des Stromweges Maul–Rumpf $R_1 = 100 \Omega$ und eines Hufes $R_4 = 500 \Omega$ (Mittelwerte) abzieht und die Parallelschaltung berücksichtigt.

Mit diesen Werten ergibt sich der Körperwiderstand für den Stromweg vom Maul über die vier parallelgeschalteten Beine mit Hufen zu rund $250\ \Omega$ (Stromweg 1) und von den Vorderbeinen zu den Hinterbeinen (Stromweg 2) zu rund $800\ \Omega$.

Messungen der Körperimpedanz mit dem Stromweg Maul zu den vier Hufen unter Stallbedingungen: Im Mittelpunkt der Untersuchungen stand die Ermittlung der Körperimpedanz eines ungefähr vier Jahre alten Rindes (Braunvieh) in Abhängigkeit von der Berührungsspannung unter natürlichen Stallbedingungen. Eine schematische Darstellung des Stallbodenbaues ist aus Bild 10 ersichtlich.

Ausgehend von der Forderung, alle Messungen unter möglichst natürlichen Stallbedingungen durchzuführen, wurde eine Messanordnung nach Bild 11 gewählt. Die Spannungsversorgung für die Messungen erfolgte über einen Trenntransformator T_1 und

einen Regeltransformator 2. Darauf folgte ein Fehlerstrom-Schutzschalter 3 mit einem Nennfehlerstrom von 30 mA, stossstromfeste Bauform «G», der bei einem Versagen der Synchronschalteinheit 5 schützen sollte. Das Voltmeter 4 diente zur Spannungseinstellung. Die Strommessung erfolgte über einen Shunt 8 mit einem Digitalspeicheroszilloskop 10, das auch die Spannung über einen Isolierverstärker 9 aufzeichnete. Das Ampermeter 7 diente nur zu Eichmessungen; der Synchronschalter 5 hatte die Aufgabe, bei Wechselspannung exakt im Spannungsnulldurchgang einzuschalten und die Stromflussdauer auf 20 ms oder 200 ms zu begrenzen.

Für die ersten Untersuchungen wurde das Tier über eine stallübliche Kette aus Stahl um den Hals herum kontaktiert. Bei den weiteren Untersuchungen wurde die Kette durch eine blanke, feinstdrähtige Kupferlitze mit einem Querschnitt von 16 mm^2 ersetzt. Um in der gesamten Standbox des Tieres eine gleichmässige Kontaktierung zu gewährleisten, wurde über die aus Bild 11 ersichtliche wärmedämmende und isolierende Gummiauflage eine feine NiRo-Gewebe-matte gespannt. Das Versuchstier konnte sich dabei im Rahmen des ihm gewohnten Freiraumes bewegen; bei der Messung selbst wurde bestmöglich darauf geachtet, dass das Tier mit allen vier Extremitäten auf der Matte verharrte. Die Positionierung des Tieres auf der NiRo-Matte ist aus Bild 12 ersichtlich.

Bild 10 Körperimpedanz-Messplatz
Aufbau des Prüfplatzes, auf dem die Messungen durchgeführt wurden

Für einen Messdurchgang wurde eine Messelektrode am oberen Schwanzende des Versuchstieres angebracht. Die Elektrode bestand aus einer blanken, feinstdrähtigen Cu-Litze mit einem Querschnitt von 16 mm^2 . Alle Messungen wurden am stehenden Tier durchgeführt. Mit zwei Messserien und Berührungsspannungen bis 50 V wurden offenkundig infolge der Isolierung durch das Fell Körperimpedanzen im 100-kOhm-Bereich gemessen. Demzufolge zeigte das Versuchstier auch keine Reaktionen.

Im Rahmen eines dritten Durchganges wurde das Tier am Hals und am Schwanzende mittels einer Cu-Litze kontaktiert. Der Stromweg wurde dabei auf die Durchströmung Hals–oberes Schwanzende geändert. Auch dabei blieben die Körperimpedanzen bei Berührungsspannungen bis 150 V im 100-kOhm-Bereich. Erst bei 200 V erfolgte ein plötzlicher Sprung auf 2,2 kOhm, dessen Ursache

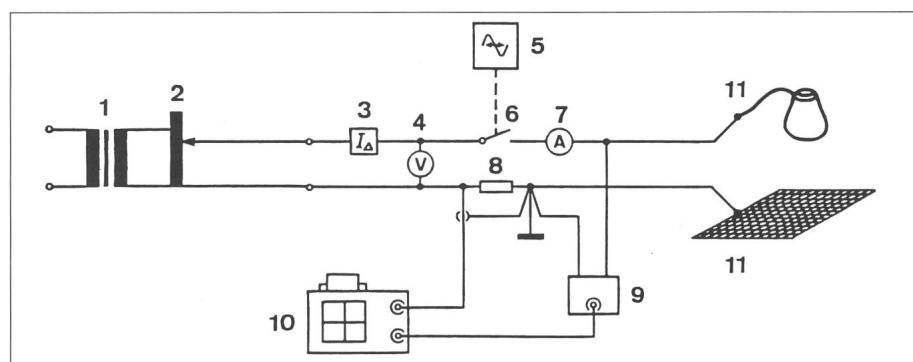


Bild 11 Messschaltung und verwendete Geräte

- Bild 11** Messschaltung und verwendete Geräte

 - 1 Trenntransformator 220/220V, 1000 VA
 - 2 Regeltransformator 220/0–260 V, 1000 VA
 - 3 Fehlerstrom-Schutzschalter ($I_{\Delta N} = 30 \text{ mA}$, stossstromfest «G»)
 - 4, 7 Analogmultimeter (BBC Goerz, Unigor 6eP)
 - 5 Synchronschalter
 - 6 prellfreies Relais (Hg-Kontakte)
 - 8 Shunt 100 Ω oder 10 Ω (Erb, 0,1%)
 - 9 Isolierverstärker (Kolbinger, DA 1000 VS)
 - 10 Digitalspeicheroszilloskop mit integriertem Bildschirmplotter und Cursormesseinrichtung (Gould 4072, 400 Ms/s)
 - 11 Elektroden (Stahlkette, Cu-Litze 16 mm², NiRo-Gewebematte, Prüfspitze)

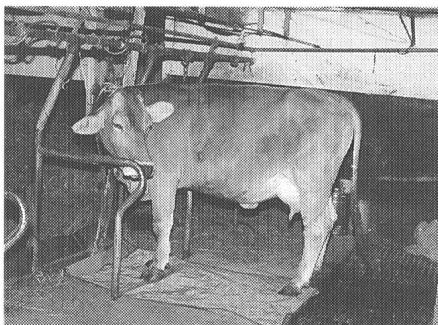


Bild 12 Messanordnung

Positionierung des Tieres auf der NiRo-Matte während der Messungen

nicht eindeutig geklärt werden konnte. Die Ursache dürften aber die trotz aller Bemühungen stark schwankenden Übergangswiderstände bilden. Die Stromflussdauer betrug immer 20 ms, und bei über 150 V traten beim Versuchstier die ersten leichten Muskelreaktionen (Zucken) auf. Auch bei einer Erhöhung der Durchströmungsdauer auf 200 ms ergaben sich keine neuen Erkenntnisse.

N [%]	Z _T [Ω]
5	220
50	450
95	870

Bild 13 Körperwiderstand von Schafen

N Prozentsatz der Population
Z_T Werte der Körperimpedanz
Vorderbein-Hinterbein ohne
Hufe, die vom angegebenen
Prozentsatz nicht überschritten
werden

Messungen im Labor an einem Rinderhuf: Zur Klärung der oben besprochenen experimentellen Unsicherheiten wurden Messungen an einem abgehackten Rinderhuf (hintere Extremität, Messobjekt gewonnen aus einer Nutzterschlachtung) im Labor durchgeführt. Der Huf war stark durchnässt, und es wurde nach rund 24 Stunden kühler Lagerung gemessen. Als Elektroden dienten eine Prüfspitze mit etwa 2 mm Durchmesser und 20 mm Länge, die lose in das offene Fleisch gestossen wurde, oder eine Cu-Litze (16 mm^2), die zweifach um den befallenen Fuss gelegt wurde, sowie die schon bei den Messungen unter natürlichen Stallbedingungen eingesetzte NiRo-Matte.

Bei der Messung mit Berührungs- spannungen zwischen 25 V und 220 V und einer Durchströmungsdauer von 20 ms wurden Impedanzwerte von rund 400 bis 450 Ohm gemessen. Nach Trocknung des Hufes lagen die Impedanzwerte rund 100 Ohm höher.

Messung der Körperimpedanz mit dem Stromweg Vorderbeine gegen Hinterbeine unter Stallbedingungen: Um die Ersatzschaltung nach Bild 9 zu verifizieren, wurde die Körperimpedanz eines Rindes mit einem Stromweg Vorderbeine gegen Hinterbeine gemessen. Im Prinzip wurde die Messschaltung nach Bild 11 verwendet, nur wurden die Vorderbeine und die Hinterbeine auf je eine NiRo-Gewebe- matte gestellt, wobei die beiden Mat- ten gegeneinander und gegen Erde durch einen Kunststoffbelag isoliert waren.

Beim langsamen Steigern der Spannung traten die ersten Reaktionen des Versuchstieres ab einer Stromstärke von ungefähr 6,5 mA und 5 V Berührungs- spannung auf. Daraus errechnet sich die Körperimpedanz mit 770 Ω. Mit diesen Ergebnissen kann man die Wahrnehmbarkeitsschwelle mit ungefähr 3 mA für 50 Hz AC für eine Extremität abschätzen. Die Reaktion war ein abwechselndes, tanzartiges Heben der Vorderbeine.

Es wurde auch ein Versuch durchgeführt, bei dem plötzlich im Spannungsnulldurchgang eine Berührungs- spannung von 25 V eingeschaltet wurde. Die Reaktion des Tieres war bereits heftig (bockartiger Sprung), was sicher auch auf eine Schreckreaktion zurückzuführen ist. Die Strom- stärke betrug dabei 22 mA und damit der Wert der Körperimpedanz rund 1100 Ohm. Dieser Versuch wurde jedoch bei einem Stromweg von einem Vorderbein gegen beide Hinterbeine durchgeführt, da das Rind mit dem zweiten Vorderbein neben der Kontaktmatte stand. Strom und Spannung waren in Phase, was zu erwarten war, weil keine Hautkapazitäten im Strom- weg lagen.

Diese Versuche stellen eine Bestäti- gung der abgeleiteten Ersatzschaltung dar, wobei wegen der wenigen Ver- suchstiere vielleicht die wahren 5%- Werte noch um 10–20% unter den in Bild 9 angegebenen Werten liegen könnten. Weitere Messungen von an- deren Forschern wären hier wün- schenswert. Wesentliche Ergebnisse dieser Versuche sind der relativ nied- rige Widerstand der Hufe und der durch das Fell bedingte hohe Über- gangswiderstand der Halskette gegen den Tierkörper.

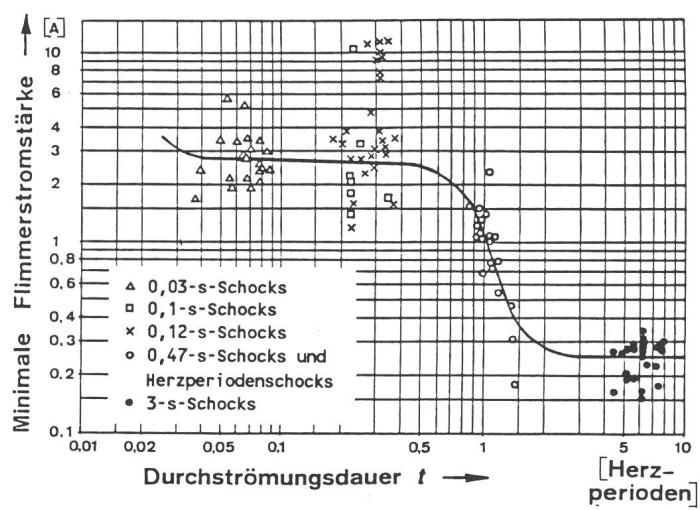
Die Körperimpedanzen anderer Nutztiere

Obwohl zahlreiche Arten von Nutz- tieren hinsichtlich der Schwel- len für das Herz- kammerflimmern elektri- schen Durchströmungen unterworfen worden sind, finden sich kaum Anga- ben über Körperwiderstände, die für die Theorie des Schutzes gegen gefährliche Körperströme verwendet werden können. Die bei den Labor- versuchen verwendeten Durchströ- mungswege treten in landwirtschaftli- chen Betriebsstätten nie auf, wie zum Beispiel vom Ohr zur Kniefalte.

Brauchbare Werte für Schafe fin- den sich bei Evans, der in Neuseeland die Wirkungen von Weidezaungeräten untersucht hat. Dabei wurden Schafe mit einem mittleren Körpergewicht von 32 kg verwendet. Am linken Vor- der- und rechten Hinterbein zwischen dem Huf und dem ersten Gelenk wa- ren die Elektroden mittels Federklem- men befestigt. Die Haut wurde dabei nicht beschädigt oder rasiert, und nur eine geringe Menge von Salzwasser wurde zur Verbesserung der Kontakt- gabe verwendet. Es wurden zum Teil handelsübliche Weidezaungeräte ein- gesetzt, zum Teil aber auch Sonderge-

Bild 14 Flimmerschwelle bei Schafen

Erste Angabe der Flimmerschwelle (Effektivwerte) von Schafen in Abhängigkeit von der Dauer der Herzperiode von Ferris et al. [12] für Stromweg rechtes Vorderbein-linkes Hinterbein; Wechselstrom 60 Hz



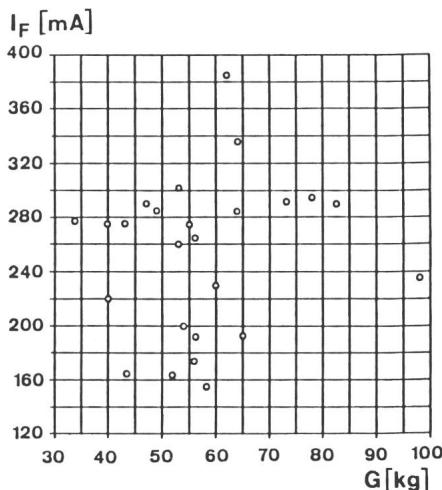


Bild 15 Flimmerstromstärke bei Schafen

Messergebnisse von Ferris et al. [12] an Schafen für eine Schockdauer von 3 s.

I_F minimale Flimmerstromstärke (Effektivwerte)

G Gewicht der Versuchstiere

räte mit bis zu 40 Joule Impulsenergie. Die Spitzenspannungen reichten von 3,6 bis 14 kV, die Scheitelwerte der Körperströme von 4 bis 26 A mit spezifischen Impulsenergien von 0,007 bis 0,073 A²s. Der Körperwiderstand wurde aus den Oszillogrammen mit den Scheitelwerten von Strom und Spannung am Versuchstier berechnet. Die statistische Auswertung der Messungen an zehn Tieren ergab die Körperwiderstände nach Bild 13.

Beim Vergleich dieser Resultate mit jenen von Bild 8 ist zu bedenken, dass in den Rinderwerten nach Bild 8 der Wert R_1 (Maul–Rumpf) enthalten ist (100Ω oder vielleicht sogar bis zu 150Ω), womit sich ein Wert (Mittelwert) von R_3 (Hinterbein ohne Huf) beim Rind mit ungefähr 300Ω etwas höher (längere Extremität) als beim Schaf mit 225Ω ergäbe. Für die Errichtung landwirtschaftlicher Betriebsstätten dürfte es jedoch genügen, die Gefährdung von Rindern durch den elektrischen Strom zu untersuchen und für die Dimensionierung der Schutzmassnahmen bei indirektem Berühren (Fehlerschutz) als Grundlage zu nehmen.

Die Schwellenwerte für das Herzkammerflimmern von Nutztieren

Die Flimmerschwellen von Nutztieren sind recht genau bekannt, da sie für die Ableitung der Gefahrengrenzen für den Menschen benutzt worden sind. Die ersten klassischen Experimente wurden von Ferris und Mitarbeitern [12] schon Anfang der dreissi-

ger Jahre durchgeführt, und eine zusammenfassende Darstellung findet sich in [13]. Das Bild 14 zeigt das Ergebnis der Messungen bei Schafen nach [12], wobei sich innerhalb einer Tierart keine Gewichtsabhängigkeit der Flimmerschwelle nachweisen lässt (Bild 15).

Für die verschiedenen Arten von Nutztieren wurden von Ferris [12] die folgenden Flimmerschwellen gemessen, wobei sich bei Geddes [14] auch noch eine Angabe für Jungpferde findet (Bild 16). Die Gewichtsabhängigkeit vom Körpergewicht der verschiedenen Tierarten ist in Bild 17 dargestellt.

Man wird nicht viel fehlgehen, wenn man allgemein die 5%-Werte der Flimmerschwellen mit dem Faktor 0,6 aus den 50%-Werten, die statistisch am gesichertsten sind, berechnet. Nimmt man im Mittel für Nutztiere die 50%-Flimmerschwelle für Elektrisierungen im Sekundenbereich mit 300 mA an, dann kommt man zu einer Körperstromstärke von 200 mA für den 5%-Wert, der zusammen mit dem 5%-Wert der Körperimpedanz für die Berechnung der konventionellen Berührungsstromspannungsgrenze verwendet werden kann.

Wird der Stromweg vom Kopf gegen die vier Beine mit einem 5%-Wert des Körperwiderstandes von 250Ω festgelegt, dann ergibt sich interessanterweise mit 200 mA die Berührungsstromspannungsgrenze mit 50 V, also der gleiche Wert, der bisher für den Schutz des Menschen gegen gefährliche Körperströme verwendet wurde. Da für die Berechnung der kritischen Stromweg Maul–vier Beine herangezogen wurde, ist der Wert von 50 V für den Tierschutz konservativer als beim Menschen, denn wie erwähnt ist ja zu bedenken, dass die tatsächlich auftretende Berührungsstromspannung meist kleiner ist als die halbe Fehlerstromspannung (die konventionelle Berührungsstromspannungsgrenze ist technisch eine Fehlerstromspannung) [4]. Die bisher

geforderte konventionelle Berührungsstromspannungsgrenze von 25 V beim Nutztier ist daher weder technisch noch physiologisch gerechtfertigt.

Die Folgerungen für den Schutz gegen gefährliche Körperströme

Die Erkenntnis, dass im Prinzip für Nutztiere die gleiche konventionelle Berührungsstromspannungsgrenze von 50 V festgelegt werden kann wie für Menschen, hat eine sehr grosse Bedeutung für die Vereinfachung der Errichtungsvorschriften für Niederspannungsanlagen.

Das Vorurteil, dass für den Schutz von Nutztieren 25 V vorgeschrieben werden müssen, ist aus der Erfahrung gewonnen worden, dass trotz Schutzmassnahmen, zum Beispiel der Nullung, in Ställen tödliche Tierunfälle auftreten, die oft auch mehrere Opfer gleichzeitig fordern. Schon vor Jahrzehnten schrieb Schrank in seinem klassischen Lehrbuch über Schutzmassnahmen: «Die VDE-mässigen Schutzmassnahmen sind grundsätzlich nur auf den Schutz von Menschenleben und somit auf eine zulässige Berührungsstromspannung von 65 V abgestellt. Sie können deshalb nicht ohne weiteres für Schutzmassnahmen gegen elektrische Viehunfälle angewendet werden.»

Dann heisst es allerdings weiter: «Es besteht aber der Verdacht, dass in den fraglichen Anlagen, in denen sich elektrische Viehunfälle ereigneten, nicht einmal die zum Schutz von Menschenleben in den VDE-Vorschriften festgelegten Schutzmassnahmen in vorschriftsmässiger Form angewandt wurden.» Schrank weist dann in konsequenter Weise darauf hin, dass man, wenn wirklich für den Schutz von Nutztieren eine Berührungsstromspannungsgrenze von 25 V gefordert werden muss, die Einhaltung dieser Bedingung eine Umstellung der Nullungsbedingungen erfordern würde,

Art	Mittlere Gewichte		Flimmerbereich	
	Körper [kg]	Herz [g]	Mittelwert [A]	Bereich [A]
Hund	22	170	0,11	0,07–0,22
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

Bild 16 Flimmerschwellen für verschiedene Nutztiere

Fimmerschwellen bei Nutztieren für 3-s-Schocks nach [12] und für Jungpferde [14] für 5-s-Schocks

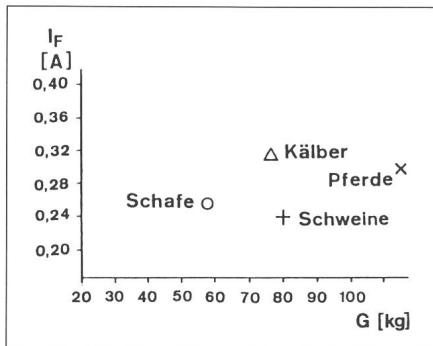


Bild 17 Flimmerschwelle und Körpergewicht

Abhängigkeit der Flimmerschwelle vom Körpergewicht für verschiedene Arten von Nutztieren. Mittelwerte für eine Durchströmungsdauer von 3 bis 5 s bei Längsdurchströmung, nach [12] und [14].

I_F minimale Flimmerstromstärke (Effektivwerte)
 G Gewicht der Versuchstiere

und dies sei mehr als schwierig. Bei der Nullung wird ja die im Fehlerfall auftretende Berührungsspannung durch die Impedanzen von Außenleiter und PEN-Leiter und die Verteilung der Betriebs- und Verbrauchererdungen bestimmt (siehe Bild 18). Im Störungsfall des Verteilungsnetzes können die Fehlerspannungen in ungünstigen Fällen bis zu 70 V und sogar mehr betragen. In neuen Anlagen wird aber immer der Potentialausgleich und die Potentialsteuerung unter der Standfläche der Tiere gefährliche Körperströme verhindern, und damit fällt dieses Argument gegen die Nullung weg.

Die unbegründete Forderung nach einer konventionellen Berührungsspannungsgrenze von 25 V für den Tierschutz hat sich dann über internationale Diskussionen sogar mit der Forderung nach einer konventionellen Berührungsspannungsgrenze von 25 V beim Menschen für Anwendungen besonderer Art, zum Beispiel auf Baustellen, übertragen. Bei der Nullung verlangt man dann so kurze Ausschaltzeiten, dass sie nicht mehr angewendet werden kann, ja man hat sie sogar in landwirtschaftlichen Betriebsstätten durch überzüchtete Forderungen unmöglich gemacht. Dadurch sind die Errichtungsvorschriften immer unübersichtlicher geworden.

Die Erkenntnisse dieser Arbeit führen nun zu einer wesentlichen Vereinfachung. Es ist gerechtfertigt, für Menschen und Nutztiere die konventionelle Berührungsspannungsgrenze einheitlich mit 50 V festzulegen. Die Nullung kann damit auch in landwirtschaftlichen Betriebsstätten beden-

kenlos angewendet werden, wenn der Potentialausgleich und die Potentialsteuerung vorschriftsmäig ausgeführt sind.

Es ist auch unsinnig, wie in IEC 64 (Central Office) 201 vorgeschlagen, in besonderen Räumen, die in IEC-Publ. 364, Teil 7, erfasst sind, für den Menschen eine konventionelle Berührungsspannungsgrenze von 25 V im TT-System (FI-Schutzschaltung) oder besonders kurze Ausschaltzeiten im TN-System (Nullung) zu verlangen. So liegt zum Beispiel im TT-System beim Körperschluss die Fehlerspannung fast immer bei der Netzspannung gegen Erde, also etwa bei 200 V, und die Annahme, dass ein Unfall gerade dadurch entsteht, dass die Berührungsspannung zwischen 25 und 50 V liegt, ist praxisfremd.

Zusammenfassend kann also gesagt werden, dass die Erkenntnisse der Elektropathologie ausreichen, um den IEC-Bericht 479 durch einen Teil 3 über die Wirkungen elektrischer Ströme auf den Körper von Nutztieren zu erweitern. Es können sowohl Tierkörperimpedanzen, vor allem für Rinder, angegeben werden, als auch die Gefahrenschwellen für das Herzkammerflimmern. Damit kann man dann konventionelle Berührungsspannungsgrenzen für Nutztiere berechnen, wobei sich herausstellt, dass bei etwa gleichem, als vernachlässigbar

angesehenem Risiko, für Menschen und Nutztiere die konventionelle Berührungsspannungsgrenze für die internationale Normung von Schutzmassnahmen gegen gefährliche Körperströme einheitlich mit 50 V festgelegt werden kann. Dadurch ergibt sich die Möglichkeit einer wesentlichen Vereinfachung bei den Errichtungsvorschriften für Niederspannungsanlagen.

Literatur

- [1] International Electrotechnical Commission: IEC-Report 479 «Effects of current passing through the human body and through the body of domestic animals.» – Part 1: General aspects, second edition, 1984 (under revision). Chapter 1: Electrical impedance of the human body. Chapter 2: Effects of alternating current in the range of 15–100 Hz. Chapter 3: Effects of direct current. – Part 2: Special aspects, second edition, 1987. Chapter 4: Effects of alternating currents with frequencies above 100 Hz. Chapter 5: Effects of special wave forms of current. Chapter 6: Unidirectional single impulsion currents of short duration. – Part 3: General aspects for domestic animals (under consideration). Chapter 7: Electrical impedances of domestic animals. Chapter 8: Effects of alternating current 50/60 Hz.
- [2] G. Biegelmeier: Wirkungen des elektrischen Stromes auf Menschen und Nutztiere. Lehrbuch der Elektropathologie. VDE-Verlag, Berlin und Offenbach, 1986.
- [3] G. Biegelmeier: Die konventionellen Berührungsspannungsgrenzen. ÖZE 41(1988)6, S.135–138.
- [4] G. Biegelmeier: Fehlerspannungen, Berührungsspannungen und Potentialausgleich. etz 109(1988)10, S.460–464.
- [5] K.J. Oehms und D. Vogt: Betriebssicherheit von FI-Schutzschaltern und FI-Schutzschaltung. etz-b 30(1989)10, S.348–350.
- [6] G. Biegelmeier und D. Kieback: Das Problem der Zuverlässigkeit der Fehlerstromschutzschaltung. Bulletin IVSS 11/1990, Berufsgenosenschaft der Feinmechanik und Elektrotechnik, Köln.
- [7] W. Lange und W. Decker: Über das elektrische Widerstandsverhalten des Tierkörpers; Mitteilung: Untersuchungen über den Hautwiderstand und den Tierkörper-Innenwiderstand beim Rind. Sonderdruck aus dem Archiv für experimentelle Veterinärmedizin 21(1967)5, S.1273–1283 und S.1286–1293.
- [8] W. Lange, H.U. Matthäus und H.J. Radtke: Untersuchungen zum elektrischen Körper-Innenwiderstand beim Rind. Arch.exper.Vet.med. (1973), S.653–659.
- [9] L.B. Craine: Effects of mammals of grounded neutral voltages from distribution power lines. Inst.Elect.Eng.75-303-3-IA, 1975.
- [10] R.J. Norell, R.J. Gustafson, R.D. Appleman und J.B. Overmier: Behavioral studies of dairy cattle sensitivity to electrical currents. Transactions of the American Society of Agricultural Engineers, 1983, S.1506–1511.
- [11] R.D. Appleman und R.J. Gustafson: Behavioral experiments quantifying animal sensitivity to AC and DC currents. Publ. Agricultural Engineering Dept. Univ. Minnesota, 1985.
- [12] L.P. Ferris, B.G. King, P.W. Spence und H.B. Williams: Effect of electric shock on the heart. Electr.Engineering,55(1936), S. 498; Ref. in etz Elektrotech.Z. 58(1937), S. 181.
- [13] G. Biegelmeier: Quantitative und qualitative Bemerkungen zum Stand des Wissens über das Herzkammerflimmern nach elektrischen Durchströmungen mit Wechselstrom 50/60 Hz. E.u.M. 97(1980)5, S. 207–216.
- [14] L.A. Geddes, B. Cabler, A.G. Moore, J. Rosborough und W.A. Tacker: Threshold 60 Hz current required for ventricular fibrillation in subjects of various body weights. IEEE-transactions on biomedical engineering BME-20(1973)6, S. 465–468.

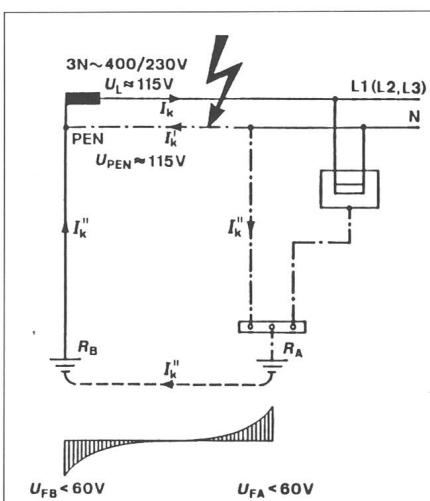


Bild 18 Fehlerspannung im Verteilungsnetz

Die Fehlerspannungen, welche bei einem Kurzschluss Außenleiter – PEN-Leiter in die Anlage verschleppt werden, bleiben in der Regel unter 60 V, und infolge des Potentialausgleiches und der Potentialsteuerung werden Gefahren für Nutztiere vermieden.

- $I_{k\dots k''}$ Kurzschlussströme
 R_A Anlagenerdung
 R_B Betriebserdung
 U_{FA} Fehlerspannung bei R_A
 U_{FB} Fehlerspannung bei R_B