

Der Tod in der Badewanne (1)

Ereignisanalysen von Stromunfällen und neue Denkansätze

HUBERT BACHL, GOTTFRIED BIEGELMEIER, FRANZ TAUBENKORB **Immer wieder gibt es tödliche Unfälle durch in die Badewanne fallende Betriebsmittel. Analysen aktueller Stromunfälle und Selbstversuche eines Autors sollen die Grauzone dieses Bereichs der Elektrotechnik mit konkreten Zahlen belegen. Der erste Beitragsteil befasst sich mit den Unfallhergängen, der zweite Teil mit den Selbstversuchen und Bewertungen.**

Die meisten tödlichen Elektrounfälle im Haushalt geschehen im Badezimmer. Viele dieser Unfälle ereignen sich, während sich der Verunglückte in der Badewanne befindet. In der Literatur wurde über die technischen Hintergründe derartiger Unfälle schon häufiger berichtet [1].

Tödlicher Badewannenunfall wurde näher untersucht

Ein tragischer Unfall, der sich kürzlich in Österreich ereignete, soll im Folgenden beschrieben werden.

Während ein Schulmädchen in der Wanne ein Bad nahm, rutschte ein ausgeschalteter Haartrockner der Schutzklasse II, der aber noch in der Steckdose steckte, vom neben der Badewanne befindlichen Waschbecken in die Wanne und berührte im Wasser die Hand und seitlich den Körper des Mädchens. Die Steckdose war in einem Spiegelschrank, der über dem neben der Wanne angeordneten Waschbecken montiert war, eingebaut. Nachträgliche Messungen bestätigten, dass das Kind infolge der starken Elektrisierung wohl nicht in der Lage war, aus der Wanne zu steigen. Da sonst niemand im Haus war, kann davon ausgegangen werden, dass die Stromeinwirkung lange andauert hat. Das Mädchen wurde tot in der Wanne

Ing. Hubert Bachl, Geschäftsführer und technischer Leiter, Cooperative Testing Institute (CTI), Wien

Prof. Ing. Dr. phil. Gottfried Biegelmeier, staatlich bef. und beeid. Ingenieurkonsulent für Elektrotechnik, Wien

Dr. Franz Taubenkorb, Abteilungsleiter im österreichischen Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit, Wien

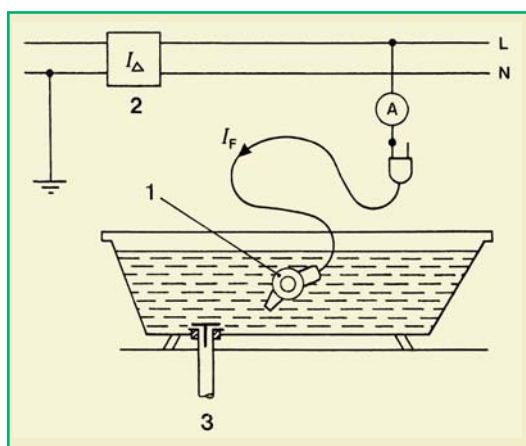


Bild 1: Am Unfallort verwendete Messschaltung zur Abschätzung des Körperstroms

1 – Haartrockner, der den Unfall verursacht hatte

2 – Fehlerstromschutzschalter der Anlage

3 – Metallener Abfluss/Brauseschlauch

Anmerkung: Die Erdungen sind im Bild nicht eingezeichnet, da deren Lage und Widerstand nicht festgestellt werden konnten. Eine Potentialausgleichsleitung war augenscheinlich nicht vorhanden. Der in das Badewasser hängende metallene und geerdete Brauseschlauch ist ebenfalls nicht eingezeichnet. Der Haartrockner wurde für die Messung ausgeschaltet, der einpolige Ausschalter lag im Neutralleiter (ungünstige Steckerposition)

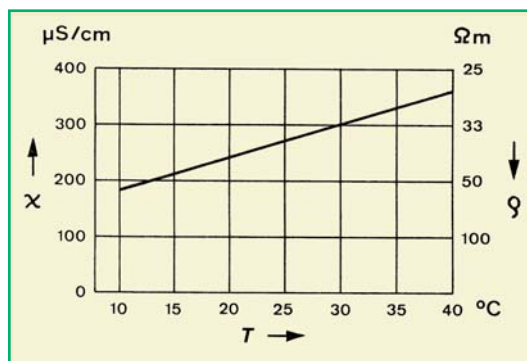


Bild 2: Elektrische Leitfähigkeit von Leitungswasser in Abhängigkeit von der Temperatur

aufgefunden und wies seitlich an der Handaußenseite und an beiden Füßen Strommarken auf.

Diese sind auf den Berührungstrom zurückzuführen, der vom Haartrockner aus durch den Körper der Verunglückten zum geerdeten metallenen Brauseschlauch der Badewanne geflossen ist.

Die technischen Erhebungen nach dem Unfall zeigten Folgendes: Die Verbraucheranlage des Einfamilienhauses war genullt. Zusätzlich zu den Überstrom-Schutzeinrichtungen (LS-Schaltern) waren noch zwei Fehlerstrom-Schutzschalter für das Wohnhaus und für die Heizungsanlage, mit einem Nennstrom von 40 A und einem Nennfehlerstrom von 0,3 A, eingebaut.

Nach den zurzeit gültigen Errichtungsbestimmungen wären letztere nicht erforderlich, da die LS-Schalter für den Fehlerschutz ausreichen. Dagegen fehlte der Zusatzschutz für das Badezimmer durch einen Fehlerstrom-Schutzschalter mit einem Nennfehlerstrom $\leq 0,03$ A.

Eine Messung des Badewassers ergab eine Leitfähigkeit $\chi = 524 \mu\text{S}/\text{cm}$ (spezifischer Widerstand $\chi = 19 \Omega$) bei einem pH-Wert von 7,6.

Zusätzlich wurde bei einem etwa den Unfallbedingungen entsprechenden Wasserstand eine Strommessung bei eingetauchtem Haartrockner durchgeführt. Das Gerät wurde dabei über ein Amperemeter an die nächstgelegene 230-V-Steckdose angesteckt. Bild 1 zeigt die Messschaltung.

Das einpolig ausgeschaltete Gerät wurde in der ungünstigeren Steckerposition, bei im Wasser hängendem Brauseschlauch, einmal in der Mitte der Wanne und einmal am dem Abfluss und dem Brause-

Elektrisches Betriebsmittel	Anzahl der Unfälle	%
Haartrockner	57	60
Fernsehapparate	10	11
Anschlussleitungen und sonstige Leitungen	10	11
Leuchten	7	7
Heizkörper	3	3
Wassrerhitzer	1	1
Ventilatoren	1	1
Unbekannt	6	6
Summe	95	100

Tabelle 1: Tödliche Elektrounfälle in der Badewanne in den Vereinigten Staaten in den Jahren 1979 bis 1982, geordnet nach verursachenden elektrischen Betriebsmitteln [4]

	Stromaufnahme	
	in trockenem Zustand A	im Wasser A
Haartrockner (Fabrikat A)	1,3	2,9
Haartrockner (Fabrikat B)	4,8	5,9
Schutzkontaktsteckdose einer Verlängerungsleitung	0	0,175
Heizgerät	6,4	9,5
Warmgerätesteckdose	0	0,25

Tabelle 2 Stromaufnahme von Verbrauchsgeräten im Badewasser mit einem spezifischen Widerstand von 35 Ω m (entspricht $\chi = 285 \mu\text{s/cm}$)

schlauch gegenüberliegenden Ende der Wanne eingetaucht. Die Stromwerte betragen 530 mA am Ende und 1100 mA in der Mitte der Wanne. Die Messung wurde danach ohne Brauseschlauch wiederholt und die zugehörigen Stromwerte betragen 390 mA am Ende und 900 mA in der Mitte der Wanne. Trotzdem hat der vorgeschaltene Fehlerstrom-Schutzschalter mit einem Nennfehlerstrom von 300 mA nicht ausgeschaltet. Die Überprüfung ergab, dass beide Fehlerstrom-Schutzschalter **funktionsunfähig** waren.

Unerfreulicherweise hat sich in Österreich wenige Monate nach dem oben beschriebenen Unfall ein weiterer tödlicher Unfall durch einen in eine Badewanne gefallenen Haartrockner ereignet, durch den ein Junge getötet wurde. In der Verbraucheranlage wurde die Fehlerstrom-Schutzschaltung (TT-System) mit einem ca. 40 Jahre alten Fehlerstrom-Schutzschalter, Nennfehlerstrom 1 A, angewandt. Ein Zusatzschutz war nicht vorhanden. Beim Unfall löste der Fehlerstrom-Schutzschalter wegen des hohen Nennfehlerstroms nicht aus.

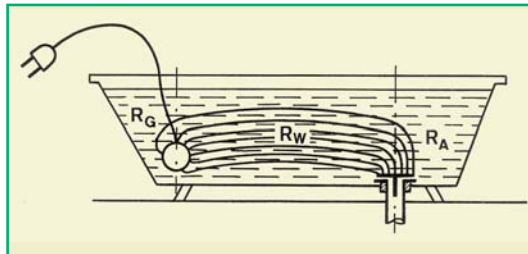


Bild 3: Widerstandsverhältnisse bei Stromfluss in der Badewanne
 R_G Ausbreitungswiderstand in der Umgebung des Gerätes

R_W Widerstand der Wassersäule

R_A Ausbreitungswiderstand in der Umgebung des geerdeten Abflusses

Das Unfallgeschehen im Badezimmer

Die Elektrizität ist prinzipiell eine sehr sichere Energieform. Dies ist keinesfalls darauf zurückzuführen, dass der Mensch für elektrische Reize unempfindlich ist. Wenige Milliampere Wechselstrom werden bereits als unangenehm empfunden und ein Zehntel Ampere kann schon tödlich wirken. Vielmehr erklärt sich dies mit dem hohen Sicherheits- und Schutzniveau der elektrischen Geräte und Anlagen. In der alltäglichen Umgebung des Menschen wirken zusätzlich eine Reihe von Faktoren gefahrmindernd.

So sind z. B. das Schuhwerk und die Kleidung des Menschen meist recht gut isolierend. Trockenes Mauerwerk, moderne Fußbodenbeläge aus Kunststoff oder Spannteppiche isolieren ebenfalls. Sogar ein Bodenbelag aus Fliesen im Badezimmer hat einen hohen Isolationswiderstand, selbst wenn er nass ist. Die Gefahren im Badezimmer ergeben sich primär aus dem direkten Berühren aktiver Teile und leitfähiger geerdeter Teile, also metallene Rohrleitungen und Armaturen für Wasser und Heizung.

Fällt ein Betriebsmittel in die Badewanne, so füllt es sich mit Wasser und damit kommen seine äußeren leitfähigen Teile – falls vorhanden – über den Wasserrwiderstand in Verbindung mit aktiven Teilen im Inneren des Geräts. Das hierbei entstehende Spannungsfeld kann auch in der Nähe des eingetauchten Gerätes im Wasser abgegriffen werden, worüber weiter unten noch berichtet wird.

Die Hauptursache von Unfällen im Badezimmer sind also einerseits Betriebsmittel, die in die Badewanne fallen, und andererseits

von der Badewanne aus berührte körperschlussbehaftete Geräte [2].

Interessante Angaben dazu sind auch in einem Forschungsbericht über Elektrounfälle in Deutschland [3] zu finden. Demnach ereigneten sich in den alten Bundesländern der BRD von 1968 bis 1990 707 tödliche

Elektrounfälle. Davon entfielen 406 (57,6 %) auf den Haushalt und davon wiederum 143 (21,2 %) auf das Badezimmer. D. h. nahezu 40 % der tödlichen Elektrounfälle im Haushalt ereigneten sich im Badezimmer und etwa die Hälfte davon entfiel auf Personen, die sich in der Badewanne befanden.

Interessant ist ein Bericht aus der USA [4], wonach in den Jahren 1979 bis 1982 mindestens 95 Personen einen tödlichen Elektrounfall in der Badewanne erlitten. Die Unfallursache, geordnet nach der Art der elektrischen Betriebsmittel, zeigt **Tabelle 1**.

Tabelle 3:
Spezifischer
Widerstand
und spezifische
Leitfähigkeit
verschiedener
Wasser

Wasserart	spezifischer Widerstand ρ Ωm	spezifische Leitfähigkeit χ $\mu S/cm$
Reines Leitungswasser (13°C)	56	178
Reines Leitungswasser (39°C)	34	291
Reines Leitungswasser (42°C)	32,5	306
Schwimmbeckenwasser frisch, rein, weich	300	33
Schwimmbeckenwasser leichte Chemikalien	10 ... 30	1000 ... 333
Schwimmbeckenwasser starke Chemikalien	3	3300
Regenwasser in Stadt nach Regenpause	33	300
Regenwasser in Stadt nach langem Regen	333	30
Badewasser mit Schaum- zusatz (20°C)	44	223
Badewasser mit Schaum- zusatz (39°C)	27	366
Badewasser mit Badesalz- zusatz	10 ... 1,5	1000...7000
Meerwasser	0,22	45000

Fehlerströme in der Badeswanne

Stromaufnahme von Verbrauchsgeräten

Das Eindringen von Wasser in elektrische Geräte wie Haartrockner, kleine Heizgeräte, Steckdosen und dergleichen führt zwar zu einem Ansteigen des aufgenommenen Stroms, jedoch ist er aber in der Regel zu klein, um eine vorgeschaltete Leitungsschutzeinrichtung auszulösen [1].

Tauchen geerdete Teile in das Wasser, bilden sich Fehlerströme aus, deren Stromstärke von vielen Faktoren abhängt, z. B.:

- Aufbau und Erdung der Wanne, des Abflussventils, des Überlaufs sowie des Brauseschlauchs,
- Fläche der eingetauchten geerdeten Teile,
- Leitfähigkeit des Wassers,
- Lage eines Geräts in der Wanne (Entfernung vom Abfluss),

- Konstruktion des eingetauchten Geräts, d. h. Schutzklasse oder innere Anordnung der aktiven Teile)
- Betriebszustand des Geräts (Aus, Ein),
- Position des Steckers in der Steckdose und
- Zeitspanne zwischen dem Eintauchen, der Messung und etwaiger Dampfblasenbildung im Gerät.

Wanne, Abflussventil, Überlauf und Brauseschlauch

Viele handelsübliche Badewannen bestehen aus Stahlblech (früher auch Gusseisen) und sind emailliert. Es gibt aber seit geraumer Zeit auch Wannen aus Glas oder Kunststoff. Das Abflussventil ist meist aus

Metall und über den Potentialausgleich mit der oft noch metallenen Wasserverbrauchsleitung und der Schutzleitung verbunden. Besteht die Wanne aus Isolierstoff und ist der Abflussstutzen nicht leitend, so ist keine Potentialausgleichsleitung erforderlich. Der Anteil des Fehlerstroms, der bei einem Unfall über eine Isolierstoffwanne oder durch die Emailschiicht zur Erde fließt, kann gegenüber dem Strom, der über das leitfähige Abflussventil fließt, vernachlässigt werden.

Kalkulatorisch ergibt sich über die Wannenisolierung ein kapazitiver Strom in der Größenordnung von Mikroampere bis zu einigen wenigen Milliampere.

Der Isolationswiderstand zwischen der Wanne und dem Abflussventil liegt wegen der gut isolierenden Wannenemaillierung bzw. des Dichtungsmaterials oft im Megaohmbereich, kann aber bei Kondenswasserbildung an der Außenseite der Wanne beträchtlich absinken. Unter der Annahme, dass die Emailschiicht mit einem Lochfehler von 1 mm Durchmesser behaftet ist, kann der Übergangswiderstand vom Badewasser zu den leitenden Teilen der Wanne als Engwiderstand wie folgt abgeschätzt werden:

$$R = \rho / 2 \cdot D = 35 \Omega m / 2 \cdot 0,001 m = 17500 \Omega$$

– also rund 20 k Ω .

Mitunter taucht der metallene Schlauch einer Handbrause in das Badewasser ein. Dieser mit der Wasserarmatur elektrisch leitend verbundene Teil ist über die meist metallene Wasserleitung geerdet und ermöglicht dadurch auch bei nicht geerdetem Abfluss-

Abstand vom Abflussventil in cm	100	60	25	5
Fehlerstrom mA	150	175	185	210

Tabelle 4: Fehlerstrom eines Haartrockners in der Badewanne, U = 220 V, $\chi = 35 \Omega m$, Schalterstellung »Ein«

	Lage des Gerätes zum Abfluss		
	nah	mittel	fern
	Fehlerstrom, mA		
Brauseschlauch eingetaucht	454	570 *)	320
Brauseschlauch entfernt	300	220	170

*) Brauseschlauch in der Mitte der Wanne

Tabelle 5: Veränderung des Fehlerstroms eines Haartrockners in der Badewanne durch einen geerdeten Brauseschlauch ($\chi = 35 \Omega m$, Schalterstellung »Ein«)

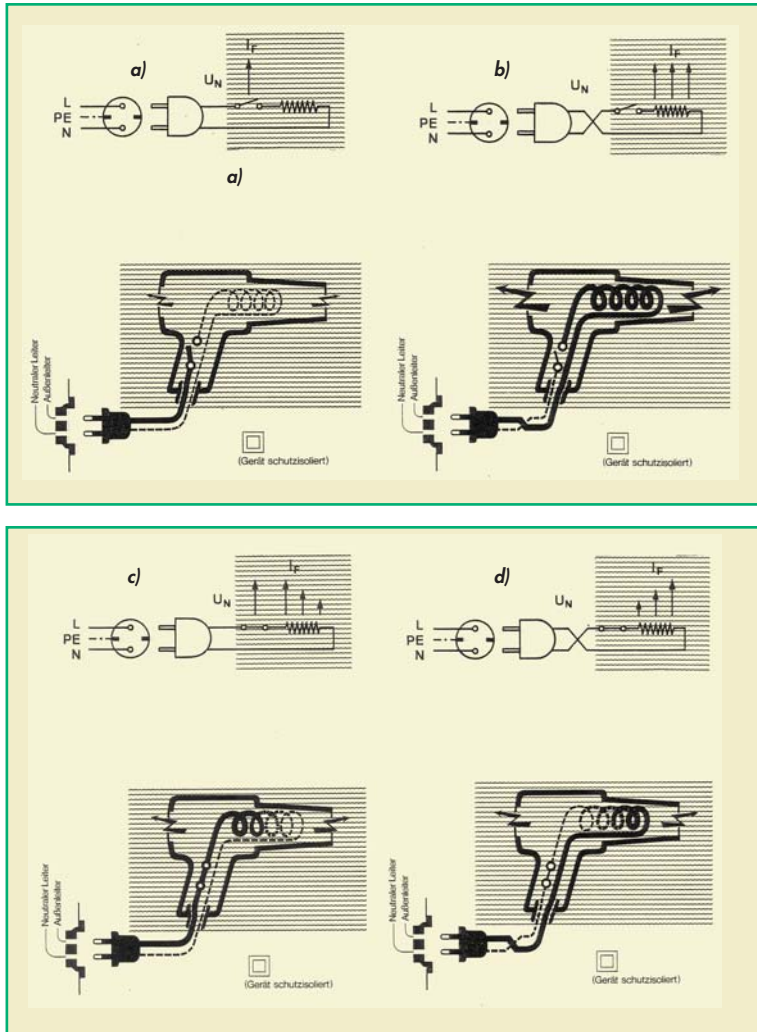


Bild 4: Ausbildung von Fehlerströmen in der Badewanne:

- a) Gerät ausgeschaltet, Schalter im Außenleiter, I_f – Fehlerstrom von aktiven Teilen vor dem offenen Schalter
- b) Gerät ausgeschaltet, Schalter im Neutralleiter; für den Fehlerstrom wirksame Spannung U , I_f – konstruktionsbedingte Fehlerströme von praktisch allen aktiven Teilen des Geräts, die mit dem Wasser in Berührung kommen, bis zum offenen Schalter
- c) Gerät eingeschaltet, Schalter im Außenleiter; für den Fehlerstrom wirksame Spannung im Mittel $U/2$, I_f – konstruktionsbedingte und von der sinkenden Fehlerspannung beeinflusste Fehlerströme, schalternahe aktive Teile an hoher Fehlerspannung
- d) Gerät eingeschaltet, Schalter im Neutralleiter, für den Fehlerstrom wirksame Spannung im Mittel $U/2$, I_f – konstruktionsbedingte und von der sinkenden Fehlerspannung beeinflusste Fehlerströme, schalternahe aktive Teile an niedriger Fehlerspannung

der Steckdose abhängt. Aus Bild 4 sind die technischen Gegebenheiten ersichtlich. Die Bilder 4a) und 4b) zeigen die konstruktionsbedingte Ausbildung der Fehlerströme bei ausgeschaltetem Gerät. Hier ist der Unterschied der auftretenden Fehlerströme zwischen den Steckerpositionen besonders groß.

Die treibende Spannung bei den genannten Messungen war immer 220 V, wobei die Verhältnisse immer dann am ungünstigsten sind, wenn der einpolige Ausschalter im Neutralleiter liegt.

Aus den Bildern 4c) und 4d) ist zu erkennen, dass bei eingeschaltetem Gerät die treibende Spannung im Mittel 110 V beträgt, die Fehlerströme sind daher immer kleiner als im Falle 4b).

Literatur dieser Folge

- [1] Biegelmeier, G. und Rabitsch, G.: Körperströme und Berührungsspannungen in der Badewanne, E.u.M. 103/1986, H3, S. 50 ff.
- [2] Irresberger G.: Stromunfälle im Badezimmer, Der Elektromeister (1980), H.17, S. 1177 ff.
- [3] Altmann, S., Jühling, J., Kiebach, K. und Zürneck, H.: Elektrounfälle in Deutschland, Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin – Forschung Fb 941 – Dortmund/Berlin 2002
- [4] Budnik, L. D.: Bathtube-related electrocutions in the United States, 1979 to 1982, JAMA, Vol.252 (1984), No. 7, p. 918

(Fortsetzung folgt)

ventil (Wanne und Abflussleitung aus Kunststoff) die Ausbildung von Fehlerströmen und damit eines gefährlichen Spannungsgefälles im Wasser.

Leitfähigkeit des Wassers

Die Leitfähigkeit von Brauchwasser in der Bundesrepublik Deutschland liegt nach Angaben des Institutes für Wasserbau der TH Darmstadt zwischen 50 und 10 Ωm , d. h. zwischen 200 und 1000 $\mu\text{S/cm}$.

Die Leitfähigkeit hängt aber auch stark von der Temperatur ab, wie aus Bild 2 zu ersehen ist. Weitere Werte sind in Tabelle 3 zusammengestellt.

Lage eines Geräts in der Wanne

Der den Fehlerstrom begrenzen- de Widerstand setzt sich aus dem Ausbreitungswiderstand R_G in der Umgebung des Gerätes, dem Widerstand der Wassersäule R_W und dem Ausbreitungswiderstand R_A in der Umgebung der ge-

erdeten Teile wie Abflussventil, Überlauf und gegebenenfalls eines eintauchenden Brauseschlauches zusammen. Die Messwerte zeigen, dass der Gesamtwiderstand stark von der Lage des Geräts in der Wanne abhängt, was durch die Feldveränderungen gut verständlich ist. Tabelle 4 stellt die Abhängigkeit des Fehlerstroms von der Lage eines Haartrockners gegenüber einem geerdeten Abflussventil dar. Tabelle 5 zeigt den Einfluss eines Brauseschlauchs auf den auftretenden Fehlerstrom. Er hat seinen Höchstwert, wenn sich das Gerät in der Nähe des Brauseschlauchs befindet.

Betriebszustand und Steckerposition

Es ist leicht verständlich, dass der Strom, der aus dem mit Wasser gefüllten Gerät zum Wannena-bfluss fließt, sowohl vom Betriebszustand des Gerätes als auch von der Lage des Steckers in