

2 Wirkung des Stroms durch den menschlichen Körper

Der elektrische Strom durch den menschlichen Körper hat vielschichtige Auswirkungen. Dies beginnt mit einer Wahrnehmung von Kribbeln bei bereits sehr geringen Strömen über ungesteuerte Muskelverkrampfungen, bis hin zu sehr schmerzhaften Verkrampfungen, bei denen ein Loslassen nicht mehr möglich ist. Bei noch stärkerer Durchströmung können dann Gefahren für die Gesundheit, z. B. durch Verbrennungen und Herzkammerflimmern, auftreten. Gezielte und kontrollierte Anwendungen zu medizinischen Zwecken werden in diesem Buch nicht betrachtet.

Bei der Beurteilung der Wirkung des Stroms auf den menschlichen Körper müssen zahlreiche Randbedingungen berücksichtigt werden. Dies sind beispielsweise die Umgebungsbedingungen (trocken, feucht, nass), die Berührungsfläche (klein, mittel, groß), die Art der Berührungsspannung (AC, DC, nicht sinusförmige Spannungen, Frequenz) und der Weg und die Richtung der Körperdurchströmung im menschlichen Körper.

2.1 Impedanzen des menschlichen Körpers

Mit den vorher genannten „äußeren Einflüssen“ spielt die Impedanz des menschlichen Körpers eine wichtige Rolle. Die Körperimpedanz unterscheidet sich von Mensch zu Mensch erheblich, worauf noch in den folgenden Darstellungen im Detail eingegangen wird.

Es kann nicht pauschal behauptet werden, dass eine große, schlanke Person beispielsweise eine größere Impedanz hat als eine kleine, dicke Person – aber auch nicht umgekehrt. Dazu spielen noch zahlreiche pathophysiologische Effekte eine Rolle. Unterschiede zwischen den Körperimpedanzen von Mann und Frau sind ebenfalls nachgewiesen. Hinzu kommt, dass auch der augenblickliche gesundheitliche Zustand einer Person, sich auf die Stärke der Reaktion auf eine Körperdurchströmung auswirkt.

2.2 Ersatzschaltbild der Impedanzen

Die Impedanz Z_T des menschlichen Körpers setzt sich aus mehreren Komponenten zusammen (**Bild 2.1**): Dem inneren Widerstand des Körpers Z_i – mit ausreichender Genauigkeit kann man hier für 50/60 Hz tatsächlich einen ohmschen Widerstand ansetzen – sowie der Impedanz der Haut Z_{S1} und Z_{S2} an den Ein- und Austrittsstellen des Stroms bei einer Körperdurchströmung.

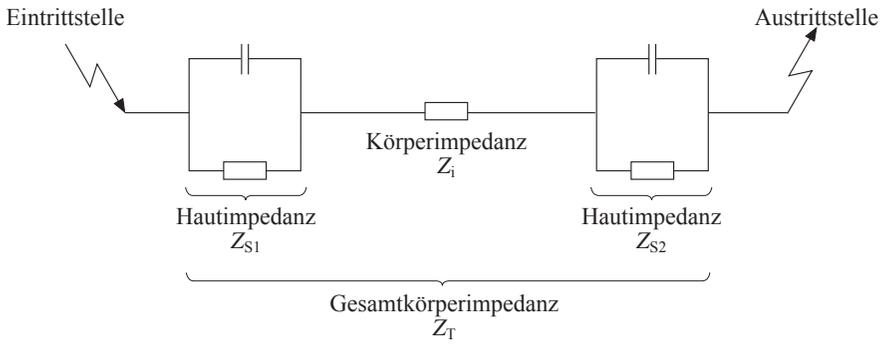


Bild 2.1 Impedanzen des menschlichen Körpers [2]

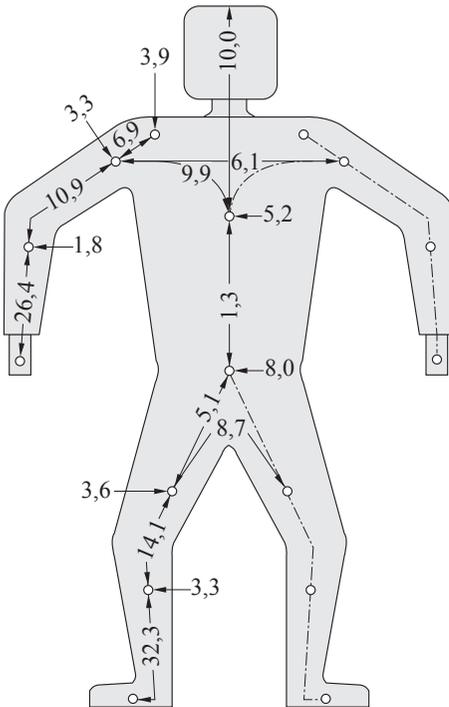


Bild 2.2 Teilimpedanzen des menschlichen Körpers [2]

Die Hautimpedanz kann als Parallelschaltung eines RC -Glieds betrachtet werden, wobei die Poren den ohmschen Teil darstellen und die homogene Hautfläche die Kapazität. Die Größe der Kapazität steigt mit der Berührungsfläche. Bild 2.2.1 zeigt das üblicherweise verwendete Ersatzschaltbild des menschlichen Körpers.

Bild 2.2 zeigt den prozentualen Anteil der jeweiligen Pfade an der Gesamtkörperimpedanz, siehe Tabelle 2.1 für AC und Tabelle 2.2 für DC. Dies hilft bei der Analyse der kritischsten Strompfade durch den menschlichen Körper.

Wie bereits erwähnt, variieren die Körperimpedanzen der Menschen erheblich. **Tabelle 2.1** zeigt die Impedanzen des menschlichen Körpers in Abhängigkeit der Berührungsspannung, gestaffelt nach einem Anteil von 5 %, 50 % und 95 % der erwachsenen Bevölkerung, bezogen auf großflächiges Berühren und dem Stromweg Hand zu Hand bei einer Frequenz von 50/60 Hz.

Es fällt auf, dass sich mit zunehmender Berührungsspannung, (innerhalb der Prozentspalten) die Werte in immer kleineren Schritten ändern. Auch nähern sich die Werte für die 5 %-, 50 %- und 95 %-Bevölkerungsgruppen einander an (knapp Faktor 2 bei 1 000 V zwischen dem 5 %- und 95 %-Wert und mehr als Faktor 3 bei 25 V).

Offenbar spielt die Hautimpedanz bei größer werdender Berührungsspannung eine immer geringere Rolle, was auf eine schnelle Zerstörung der Haut bei höheren Spannungen zurückgeführt werden kann.

Berührungsspannung U_B in V (AC)	Gesamtkörperimpedanz Z_T in Ω		
	5 % der Bevölkerung	50 % der Bevölkerung	95 % der Bevölkerung
25	1 750	3 250	6 100
50	1 375	2 500	4 600
75	1 125	2 000	3 600
100	990	1 725	3 125
125	900	1 550	2 675
150	850	1 400	2 350
175	825	1 325	2 175
200	800	1 275	2 050
225	775	1 225	1 900
400	700	950	1 275
500	625	850	1 150
700	575	775	1 050
1 000	575	775	1 050

Tabelle 2.1 Gesamtkörperimpedanzen in Abhängigkeit der Spannung bei 50/60 Hz

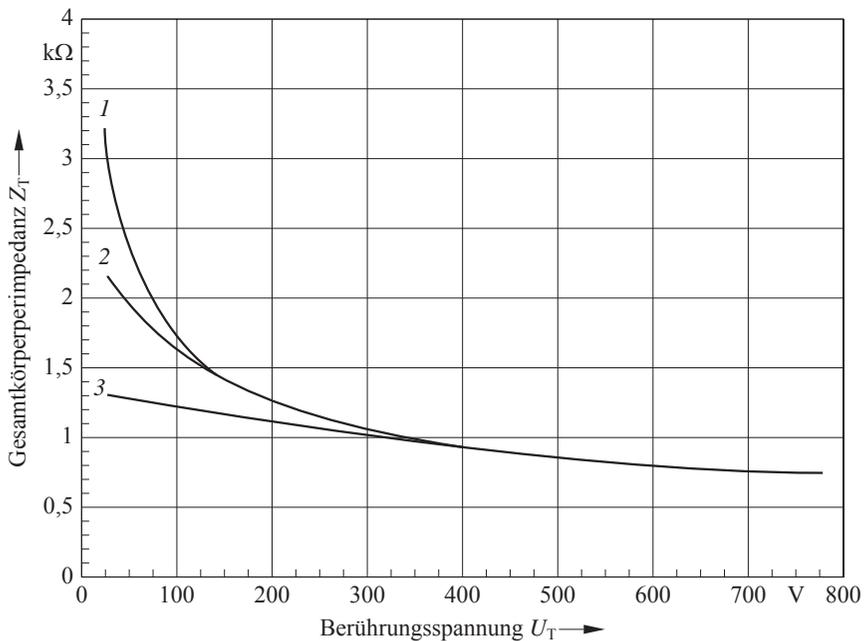


Bild 2.3 Gesamtkörperimpedanz bei 50 % der Bevölkerung beim Stromweg Hand – Hand [2]
 Zustand Kontaktfläche:
 1 trocken,
 2 wassernass,
 3 salzwassernass

Die Körperimpedanzen variieren auch bei unterschiedlichen Umgebungsbedingungen (trocken, wassernass, salznass), die natürlich auch noch einen erheblichen Einfluss auf die Körperimpedanz haben. Bei salznasser Umgebung ist die Körperimpedanz am niedrigsten. Wobei sich auch hier die Werte mit zunehmender Berührungsspannung asymptotisch annähern, wie **Bild 2.3** verdeutlicht.

In diesem Buch wird bewusst nicht auf alle Details der einschlägigen Normen eingegangen. Es werden lediglich die Prinzipien beschrieben, die bei der Festlegung von Grenzwerten bei der Körperdurchströmung und die daraus resultierenden Abschaltzeiten von Schutzeinrichtungen zu beachten sind.