

**Wirkungen des elektrischen Stromes auf Menschen und Nutztiere –  
Teil 1: Allgemeine Aspekte**

**Inhalt**

	Seite
Einleitung .....	9
1 Anwendungsbereich .....	11
2 Normative Verweisungen .....	11
3 Begriffe .....	11
3.1 Allgemeine Begriffe .....	12
3.2 Wirkungen von sinusförmigen Wechselströmen im Bereich 15 Hz bis 100 Hz .....	13
3.3 Wirkungen von Gleichstrom .....	13
4 Elektrische Impedanz des menschlichen Körpers .....	14
4.1 Körperinnenimpedanz ( $Z_i$ ) .....	14
4.2 Hautimpedanz ( $Z_S$ ) .....	14
4.3 Gesamtkörperimpedanz ( $Z_T$ ) .....	14
4.4 Bestimmende Faktoren für den Anfangswiderstand des menschlichen Körpers ( $R_0$ ) .....	15
4.5 Werte der Gesamtkörperimpedanz des menschlichen Körpers ( $Z_T$ ) .....	15
4.6 Wert des Anfangswiderstandes des menschlichen Körpers ( $R_0$ ) .....	24
5 Wirkungen von sinusförmigen Wechselströmen im Bereich von 15 Hz bis 100 Hz .....	24
5.1 Wahrnehmbarkeitsschwelle .....	24
5.2 Reaktionsschwelle .....	24
5.3 Immobilisierungsschwelle .....	24
5.4 Loslassschwelle .....	24
5.5 Schwelle des Herzkammerflimmerns .....	25
5.6 Weitere Wirkungen von elektrischen Schlägen .....	25
5.7 Wirkungen des Stromes auf die Haut .....	26
5.8 Beschreibung der Zeit/Stromstärke-Bereiche (siehe Bild 20) .....	27
5.9 Anwendung des Herzstromfaktors ( $F$ ) .....	27
6 Wirkungen von Gleichstrom .....	28
6.1 Wahrnehmbarkeitsschwelle und Reaktionsschwelle .....	28
6.2 Schwelle der Immobilisierung und Loslassschwelle .....	28
6.3 Schwelle des Herzkammerflimmerns .....	28
6.4 Andere Wirkungen des Stromes .....	29
6.5 Beschreibung der Zeit/Strom-Bereiche (siehe Bild 22) .....	30
6.6 Herzstromfaktor .....	30
Anhänge Einleitung .....	48
Anhang A (normativ) Messungen der Gesamtkörperimpedanzen $Z_T$ , durchgeführt an Personen und Leichen mit der statistischen Analyse der Ergebnisse .....	49

# – Vornorm –

DIN IEC/TS 60479-1 (VDE V 0140-479-1):2007-05

	Seite
Anhang B (normativ) Einfluss der Frequenz auf die Gesamtkörperimpedanz ( $Z_T$ ) .....	52
Anhang C (normativ) Gesamtkörperwiderstand ( $R_T$ ) bei Gleichstrom .....	53
Anhang D (informativ) Beispiele für Berechnungen von $Z_T$ .....	54
Literaturhinweise .....	58
Bild 1 – Impedanzen des menschlichen Körpers .....	31
Bild 2 – Innere Teilimpedanzen $Z_{ip}$ des menschlichen Körpers .....	31
Bild 3 – Vereinfachte Schaltung der Innenimpedanzen des menschlichen Körpers .....	32
Bild 4 – Gesamtkörperimpedanzen $Z_T$ (50 %), die bei 50 % der Population nicht überschritten wird, für einen Stromweg von Hand zu Hand bei großen Berührungsflächen im trockenen, wassernassen und salzwassernassen Zustand und Berührungsspannungen $U_T$ von AC 25 V bis 700 V, 50/60 Hz .....	33
Bild 5 – Abhängigkeit der Gesamtkörperimpedanz $Z_T$ einer Person von der Berührungsfläche im trockenen Zustand und von der Berührungsspannung (50 Hz) .....	34
Bild 6 – Abhängigkeit der Gesamtkörperimpedanz $Z_T$ von der Berührungsspannung $U_T$ für einen Stromweg von den Spitzen des rechten zum linken Zeigefinger, verglichen mit großen Berührungsflächen von der rechten zur linken Hand im trockenen Zustand, gemessen an einer Person, Berührungsspannungsbereich $U_T$ von AC 25 V bis 200 V, 50 Hz, Durchströmungsdauer höchstens 25 ms .....	35
Bild 7 – Abhängigkeit der Gesamtkörperimpedanz $Z_T$ , die bei 50 % der menschlichen Population nicht überschritten wird, für große, mittlere und kleine Berührungsflächen (Größenordnung 10 000 mm <sup>2</sup> , 1 000 mm <sup>2</sup> und 100 mm <sup>2</sup> ) im trockenen Zustand bei Berührungsspannungen $U_T$ von AC 25 V bis 200 V, 50/60 Hz .....	36
Bild 8 – Abhängigkeit der Gesamtkörperimpedanz $Z_T$ , die bei 50 % der menschlichen Population nicht überschritten wird, für große, mittlere und kleine Berührungsflächen (Größenordnung 10 000 mm <sup>2</sup> , 1 000 mm <sup>2</sup> und 100 mm <sup>2</sup> ) im wassernassen Zustand bei Berührungsspannungen $U_T$ von AC 25 V bis 200 V, 50/60 Hz .....	37
Bild 9 – Abhängigkeit der Gesamtkörperimpedanz $Z_T$ , die bei 50 % der menschlichen Population nicht überschritten wird, für große, mittlere und kleine Berührungsflächen (Größenordnung 10 000 mm <sup>2</sup> , 1 000 mm <sup>2</sup> und 100 mm <sup>2</sup> ) im salzwassernassen Zustand bei Berührungsspannungen $U_T$ von AC 25 V bis 200 V, 50/60 Hz .....	38
Bild 10 – Werte der Gesamtkörperimpedanz $Z_T$ , gemessen an zehn Personen mit einem Stromweg von Hand zu Hand und großen Berührungsflächen im trockenen Zustand bei einer Berührungsspannung von 10 V und Frequenzen von 25 Hz bis 20 kHz .....	39
Bild 11 – Werte der Gesamtkörperimpedanz $Z_T$ , gemessen an einer Personen mit einem Stromweg von Hand zu Hand und großen Berührungsflächen im trockenen Zustand bei einer Berührungsspannung von 25 V und Frequenzen von 25 Hz bis 2 kHz .....	39
Bild 12 – Frequenzabhängigkeit der Gesamtkörperimpedanz $Z_T$ , die bei 50 % der Population nicht überschritten wird, bei Berührungsspannungen $U_T$ von 10 V bis 1 000 V und einem Frequenzbereich von 50 Hz bis 2 kHz für einen Stromweg von Hand zu Hand oder von einer Hand zu einem Fuß, große Berührungsflächen im trockenen Zustand .....	40
Bild 13 – Statistischer Wert der Gesamtkörperimpedanzen $Z_T$ und der Gesamtkörperwiderstände $R_T$ , die bei 50 % der menschlichen Population nicht überschritten werden, für einen Stromweg von Hand zu Hand bei großen Berührungsflächen im trockenen Zustand und Berührungsspannungen bis 700 V für AC 50/60 Hz und für DC .....	40

Bild 14 – Abhängigkeit der Veränderungen der menschlichen Haut von der Stromdichte $i_T$ und der Durchströmungsdauer (weitere spezielle Beschreibungen der Bereiche siehe 5.7) .....	41
Bild 15 – Elektrodenformen bei den Messungen zur Ermittlung der Abhängigkeit der Gesamtkörperimpedanz $Z_T$ von der Berührungsfläche .....	42
Bild 16 – Oszillogramme aus Messungen von Berührungsspannungen $U_T$ und Körperströmen $I_T$ für Wechselstrom, Stromweg von Hand zu Hand, große Berührungsflächen im trockenen Zustand .....	43
Bild 17 – Auftreten der vulnerablen Phase der Herzkammern während eines Herzzyklus .....	44
Bild 18 – Auslösen von Herzkammerflimmern in der vulnerablen Phase – Auswirkungen im Elektrokardiogramm (EKG) und beim Blutdruck .....	44
Bild 19 – Flimmerdaten für Hunde, Schweine und Schafe aus Tierversuchen und für Personen errechnet aus der Statistik von Elektrounfällen bei Querdurchströmungen von Hand zu Hand und Berührungsspannungen $U_T$ von AC 220 V und 380 V mit Gesamtkörperimpedanzen $Z_T$ (5 % und 50 %) .....	45
Bild 20 – Konventionelle Zeit/Stromstärke-Bereiche mit Wirkungen von Wechselströmen (15 Hz bis 100 Hz) auf Personen bei einem Stromweg von der linken Hand zu den Füßen (weitere Erklärungen siehe Tabelle 11) .....	46
Bild 21 – Oszillogramm von Berührungsspannung $U_T$ und Berührungsstrom $I_T$ für Gleichstrom, Stromweg von Hand zu Hand, große Berührungsflächen im trockenen Zustand .....	46
Bild 22 – Konventionelle Zeit/Stromstärke-Bereiche mit Wirkungen von Gleichströmen auf Personen bei Längsdurchströmung mit aufsteigendem Strom (weitere Erklärungen siehe Tabelle 13) .....	47
Bild 23 – Loslassströme für sinusförmigen Wechselstrom mit 60 Hz .....	47
Tabelle 1 – Gesamtkörperimpedanzen $Z_T$ bei einem Stromweg von Hand zu Hand für Wechselstrom mit 50/60 Hz und großen Berührungsflächen im trockenen Zustand .....	16
Tabelle 2 – Gesamtkörperimpedanzen $Z_T$ bei einem Stromweg von Hand zu Hand für Wechselstrom mit 50/60 Hz und großen Berührungsflächen im wassernassen Zustand .....	17
Tabelle 3 – Gesamtkörperimpedanzen $Z_T$ bei einem Stromweg von Hand zu Hand für Wechselstrom mit 50/60 Hz und großen Berührungsflächen im salzwassernassen Zustand .....	18
Tabelle 4 – Gesamtkörperimpedanzen $Z_T$ für den Stromweg von Hand zu Hand, mittlere Berührungsflächen, trocken, in Abhängigkeit von der Berührungsspannung $U_T$ von AC 25 V bis 200 V, 50/60 Hz (Werte auf 25 $\Omega$ gerundet) .....	20
Tabelle 5 – Gesamtkörperimpedanzen $Z_T$ für den Stromweg von Hand zu Hand, mittlere Berührungsflächen, wassernass, in Abhängigkeit von der Berührungsspannung $U_T$ von AC 25 V bis 200 V, 50/60 Hz (Werte auf 25 $\Omega$ gerundet) .....	20
Tabelle 6 – Gesamtkörperimpedanzen $Z_T$ für den Stromweg von Hand zu Hand, mittlere Berührungsflächen, salzwassernass, in Abhängigkeit von der Berührungsspannung $U_T$ von AC 25 V bis 200 V 50/60 Hz (Werte auf 5 $\Omega$ gerundet) .....	21
Tabelle 7 – Gesamtkörperimpedanzen $Z_T$ für den Stromweg von Hand zu Hand, kleine Berührungsflächen, trocken, in Abhängigkeit von der Berührungsspannung $U_T$ von AC 25 V bis 200 V, 50/60 Hz (Werte auf 25 $\Omega$ gerundet) .....	21
Tabelle 8 – Gesamtkörperimpedanzen $Z_T$ für den Stromweg von Hand zu Hand, kleine Berührungsflächen, wassernass, in Abhängigkeit von der Berührungsspannung $U_T$ von AC 25 V bis 200 V, 50/60 Hz (Werte auf 25 $\Omega$ gerundet) .....	22
Tabelle 9 – Gesamtkörperimpedanzen $Z_T$ für den Stromweg von Hand zu Hand, kleine Berührungsflächen, salzwassernass, in Abhängigkeit von der Berührungsspannung $U_T$ von AC 25 V bis 200 V, 50/60 Hz (Werte auf 5 $\Omega$ gerundet) .....	22

# – Vornorm –

DIN IEC/TS 60479-1 (VDE V 0140-479-1):2007-05

	Seite
Tabelle 10 – Gesamtkörperwiderstände $R_T$ bei einem Stromweg von Hand zu Hand, für große Berührungsflächen im trockenen Zustand bei Gleichstrom.....	23
Tabelle 11 – Zeit/Stromstärke-Bereiche für Wechselstrom von 50 Hz bis 100 Hz, für den Stromweg von einer Hand zu beiden Füßen – Zusammenfassung der Bereiche von Bild 20 .....	27
Tabelle 12 – Herzstromfaktoren $F$ für verschiedene Stromwege .....	28
Tabelle 13 – Zeit/Strom-Bereiche für Gleichstrom für den Stromweg von einer Hand zu den Füßen – Zusammenfassung der Bereiche von Bild 22.....	30
Tabelle A.1 – Gesamtkörperimpedanzen $Z_T$ , Elektroden Typ A, für trockenen Zustand und Streufaktoren $F_D$ (5 %) und $F_D$ (95 %) .....	49
Tabelle A.2 – Gesamtkörperimpedanzen $Z_T$ , Elektroden Typ B, für trockenen, wassernassen und salzwassernassen Zustand und Streufaktoren $F_D$ (5 %) und $F_D$ (95 %).....	49
Tabelle A.3 – Gesamtkörperimpedanzen $Z_T$ für den trockenen, wassernassen und salzwassernassen Zustand und Streufaktoren $F_D$ (5 %) und $F_D$ (95 %).....	50
Tabelle A.4 – Streufaktoren $F_D$ (5 %) und $F_D$ (95 %) für trockenen und wassernassen Zustand im Berührungsspannungsbereich $U_T = 25$ V bis 400 V, für große, mittlere und kleine Berührungsflächen.....	51
Tabelle D.1 – 50%-Werte der Körperimpedanz für einen Stromweg von den Händen zu den Füßen, mittlere Berührungsflächen für die Hände, große für die Füße, Abminderungsfaktor 0,8, trockener Zustand, Berührungsströme $I_T$ und Wirkungen der Elektrisierung.....	56