

Inhalt

	Seite
Vorwort.....	2
Einleitung	6
1 Anwendungsbereich	7
2 Exposition gegenüber elektrischen Feldern	7
3 Allgemeines Verfahren	9
3.1 Formfaktor	9
3.2 Verfahren	10
4 Modelle des menschlichen Körpers.....	10
4.1 Allgemeines	10
4.2 Oberflächenbereich	11
4.3 Halbelliptisches räumliches Modell (halbes Sphäroid)	12
4.4 Achsensymmetrisches Körpermodell	13
5 Berechnung von induzierten Strömen	14
5.1 Allgemeines	14
5.2 Halbelliptisches räumliches Modell (halbes Sphäroid)	14
5.3 Achsensymmetrische Modelle	18
5.4 Vergleich der analytischen und numerischen Modelle	25
6 Einfluss von elektrischen Größen.....	26
6.1 Allgemeines	26
6.2 Einfluss der Permittivität	26
6.3 Einfluss der Leitfähigkeit.....	26
6.4 Inhomogene Leitfähigkeit	27
7 Messungen der durch elektrische Felder induzierten Ströme	27
7.1 Allgemeines	27
7.2 In den Boden fließender Strom.....	27
Anhang A (normativ) Analytische Lösung für ein Sphäroid in einem homogenen elektrischen Feld.....	29
Anhang B (normativ) Achsensymmetrisches Modell des menschlichen Körpers	32
B.1 Allgemeines	32
B.2 Entwicklung von achsensymmetrischen Modellen	32
B.3 Anwendung des achsensymmetrischen Modells	35
Anhang C (informativ) Modell für Kinderkörper	38
C.1 Referenzkind-Modell.....	38
C.2 Ergebnisse.....	39
Anhang D (informativ) Beispiel für die Verwendung dieser Norm	40
D.1 Allgemeines Flussdiagramm	40
D.2 Beispiel für eine Einzelperson	41
Anhang E (informativ) Numerische Berechnungsverfahren	45
E.1 Allgemeines	45

	Seite
E.2 Sphäroid-Modell [46]	45
E.3 Raumpotential-Verfahren [22]	46
E.4 Verfahren der simulierten Ladungen [14], [1], [55], [59], [40]	47
E.5 Verfahren der Integration der Oberflächenladungen [9], [5], [10].....	48
E.6 Finite-Elemente-Methode [10], [12], [13], [26].....	50
E.7 Impedanzverfahren [11].....	51
E.8 Hybridverfahren [50].....	51
E.9 FDTD [58], [53], [54]	52
Literaturhinweise	53
Bilder	
Bild 1 – Darstellung des Phänomens von in einem auf dem Boden stehenden menschlichen Körper durch ein elektrisches Feld induzierten Strömen.....	8
Bild 2 – Potentiallinien des elektrisches Feldes, das durch einen unter Spannung stehenden Leiter bei Abwesenheit irgendwelcher Gegenstände erzeugt wird.....	9
Bild 3 – Ein realistisches Körpermodell.....	11
Bild 4 – Schema des halben Sphäroids, das einen auf einer Fläche, deren Potential gleich null ist, stehenden menschlichen Körper nachbildet.....	12
Bild 5 – Äquivalenter Radius des Sphäroids, R , als Funktion der Höhe L für verschiedene Massen M	13
Bild 6 – Achsensymmetrisches Körpermodell für den Referenzmann (links) und die Referenzfrau (rechts).....	14
Bild 7 – Dem elektrischen Feld ausgesetztes leitendes Sphäroid.....	15
Bild 8 – Berechnung des Formfaktors des elektrischen Feldes, K_E , für ein Sphäroid, das einem ungestörten elektrischen Feld ausgesetzt wird	16
Bild 9 – Durch ein ungestörtes elektrisches Feld (1 kV/m, 50 Hz) in einem Sphäroid induzierte Stromdichte J_S als Funktion von L/R (Werte in $\mu\text{A}/\text{m}^2$)	16
Bild 10 – Abmessungen und Maschennetz des halben Sphäroids.....	17
Bild 11 – Verzerrung der Feldlinien des elektrischen Feldes mit energietechnischer Frequenz in der Nähe des leitenden halben Sphäroids.....	18
Bild 12 – Berechnete induzierte Stromdichte $J_A(h)$ im Körper, der in einem elektrischen Feld mit 50 Hz und 1 kV/m steht.....	20
Bild 13 – Rechnerisch erfasster Bereich.....	21
Bild 14 – Maschennetz des Referenzmann-Modells und Verzerrung der Feldlinien des netzfrequenten elektrischen Felds in der Nähe des Modells.....	22
Bild 15 – Verzerrung der Äquipotentiallinien und Feldstärke des elektrischen Felds mit 50 Hz (männliches Modell).....	22
Bild 16 – Rechnergestützte Berechnung der induzierten Ströme J_A entlang der vertikalen Achse und Verteilung der induzierten Ströme im männlichen Modell in einem elektrischen Feld mit 50 Hz.....	23
Bild 17 – Maschennetz des weiblichen Körpermodells und Verzerrung der Feldlinien des netzfrequenten elektrischen Felds in der Nähe des Modells.....	24
Bild 18 – Verzerrung der Äquipotentiallinien und Feldstärke des elektrischen Felds mit 50 Hz (weibliches Modell)	24
Bild 19 – Rechnergestützte Berechnung der induzierten Ströme J_A entlang der vertikalen Achse und Verteilung der induzierten Ströme im weiblichen Modell in einem elektrischen Feld mit 50 Hz	25

Bild A.1 – Einem elektrischen Feld ausgesetztes leitendes Sphäroid.....	29
Bild B.1 – Normalisierte achsensymmetrische Modelle.....	35
Bild C.1 – Darstellung der rechnergestützten Berechnung der induzierten Ströme J_z entlang einer vertikalen Achse und Verteilung der induzierten Ströme im Referenzmodell für einen 10-jährigen Jugendlichen	39
Bild E.1 – Sphäroid-Modell	46
Bild E.2 – Raumpotential-Modell	47
Bild E.3 – Beispiel für das Verfahren der simulierten Ladungen unter Verwendung von Ringen	48
Bild E.4 – Verfahren der Integration der Oberflächenladungen, bei dem der Körper in N Elemente zerlegt wird	49
Bild E.5 – Unter Verwendung von finiten Elementen in Maschen unterteilter Körper	50
Bild E.6 – Impedanzverfahren	51
Bild E.7 – Verfahren nach Yee: Elektrische und magnetische Gitter für die räumliche Diskretisierung	52
Tabellen	
Tabelle 1 – Daten für den Referenzmann und die Referenzfrau.....	11
Tabelle 2 – Werte von $\arcsin(e)/e$ für verschiedene Werte von L/R	13
Tabelle 3 – Für ein Sphäroid für 50 Hz abgeleitete Daten	18
Tabelle 4 – Zur Erzeugung des Basisgrenzwertstroms J_{BG} im Hals erforderliches elektrisches Feld E_{BG} bei 50 Hz	21
Tabelle 5 – Vergleich der Werte des Formfaktors für das elektrische Feld, K_E , und korrespondierende Stromdichten für ein ungestörtes elektrisches Feld mit 50 Hz und 1 kV/m.....	26
Tabelle B.1 – Maße aus der anthropometrischen Übersichtsmessung, die verwendet wurden, um die vertikalen Abmessungen des achsensymmetrischen Modells zu ermitteln [56].....	33
Tabelle B.2 – Maße aus der anthropometrischen Übersichtsmessung, die verwendet wurden, um die radialen Abmessungen des achsensymmetrischen Modells zu ermitteln [56]	34
Tabelle B.3 – Normalisierte Maße des Modells	36
Tabelle B.4 – Maße des achsensymmetrischen Modells für den Referenzmann und die Referenzfrau, deren Masse und Größe durch ICRP [38] definiert wurden und in Tabelle 1 angegeben sind	37
Tabelle C.1 – Von ICRP zur Verfügung gestellte Bezugsdaten für männliche und weibliche Kinder und Jugendliche.....	38
Tabelle C.2 – Maße der Referenzkinder und -jugendliche (in m, außer OB_R in m^2).....	38
Tabelle C.3 – Ergebnisse des analytischen Verfahrens für Referenzkinder und -jugendliche	39
Tabelle D.1 – Normalisierte Maße des gewählten weiblichen Modells	42
Tabelle D.2 – Berechnung der Maße einer spezifischen Person	42