

Berechnung von Erdungswiderständen ringförmiger Erder

E. Hering, Dresden

Der Beitrag ermöglicht die einfache Vorausberechnung der Ausbreitungswiderstände ringförmiger Erder. Er berücksichtigt sowohl Fundamenteerder als auch erdbebettete Erder. Der Hauptanteil der erforderlichen Rechenarbeit ist schon durchgeführt und die Resultate sind angegeben. Die Berechnungsmethoden und Tafeln des Beitrags sind unter der Voraussetzung anwendbar, dass der spezifische Erdwiderstand zumindest unterhalb der Frostgrenze in allen Tiefen gleich („homogener Erdstoff“) und bekannt ist.

1 Ausbreitungs-, Erdungswiderstand und Erdungsimpedanz

Für die Wirksamkeit einer Erdungsanlage ist vor allem deren Scheinwiderstand (Erdungsimpedanz) Z_E maßgebend, der sich gemäß Bild 1 zusammensetzt. Unter „Ausbreitungswiderstand“ versteht man den Teil des Erdungswiderstands, der vom Erdstoff gebildet wird – beim Fundamenteerder zusätzlich vom Beton. Oftmals werden Ausbreitungswiderstand R_A , Erdungswiderstand R_E und Erdungsimpedanz Z_E nicht streng auseinander gehalten, weil sie sich in ihrem Betrag nur wenig voneinander unterscheiden, insbesondere bei Ringerdern.

2 Grundsätze der Berechnung

Der Ausbreitungswiderstand R_A ist dem spezifischen Erdwiderstand ρ (kleines Rho) proportional und ferner von den geometrischen Eigenschaften des Erders (Erderform, Erderabmessungen, Leiterform, Leiterabmessungen, Lage zur Geländeoberfläche) abhängig. Der Einfluss der geometrischen Eigenschaften des Erders kann durch die geometrische Konstante g ausgedrückt werden [1]. Es ist zweckmäßig, zunächst diese zu ermitteln, was noch näher beschrieben wird. Anschließend kann der Ausbreitungswiderstand R_A aus dem spezifischen Erdwiderstand ρ und der geometrischen Konstanten g errechnet werden:

$$R_A = \frac{\rho}{g} \quad (1)$$

Autor

Dipl.-Ing. (FH) Enno Hering ist Mitglied des AK „Starkstromanlagen bis 1000 V“ des VDE-Bezirksvereins Dresden.

Für die Berechnung benötigt man

- den wirksamen Durchmesser D des Ringerders,
- den wirksamen Durchmesser d des Leitermaterials und
- bei der Anordnung unterhalb der Frostgrenze, z. B. bei Fundamenteerdern, zusätzlich die wirksame Tiefe t .

Als **wirksamer Durchmesser D des Ringerders** gilt bei Kreisform der wahre Durchmesser. Für quadratische Ringerder wird dafür die Seitenlänge s eingesetzt [2][3]:

$$D = s \quad (2)$$

Für rechteckige Ringerder gilt:

$$D = 0,5 \cdot (0,85 \cdot l + 1,15 \cdot b) \quad (3)$$

D wirksamer Durchmesser des Ringerders
 s Seitenlänge des quadratischen Ringerders
 l Länge des rechteckigen Ringerders
 b Breite des rechteckigen Ringerders.

Der **wirksame Durchmesser d des Leitermaterials** wird wie die anderen Abmessungen in Meter eingesetzt. Er ist bei runden Leitern mit dem wirklichen Durchmesser identisch. Bei flachem Material kann dafür das 0,5-fache der Breite zuzüglich dem 0,6-fachen der Dicke eingesetzt werden, was bei 30 mm x 3,5 mm beispielsweise 0,015 m + 0,002 m = 0,017 m ergibt. Man liegt auf der sicheren Seite, wenn man einfach die halbe Breite einsetzt [2][3], z. B.

- 0,015 m bei 30 mm x 3,5 mm,
- 0,020 m bei 40 mm x 4 mm.

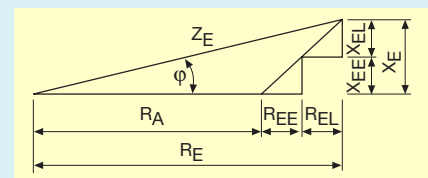
Die Auswirkung dieses kleinen Unterschieds ist gering, weil die Größe nur logarithmisch in die Rechnung eingeht.

Die Vorausberechnung des Ausbreitungswiderstands ist im Allgemeinen schon objektiv (d. h. ohne Einfluss des Ausführenden) mit Ungenauigkeiten behaftet, vor allem dadurch, dass der spezifische Erdwiderstand nicht genau ermittelt werden kann und Schwankungen unterliegt. Das muss man bei den Erwartungen, die man an die Genauigkeit der Berechnungsergebnisse stellt, berücksichtigen. Ungeachtet dessen hat der Autor vorzeitige Run-

Tafel 1 Korrekturgröße K_t in Abhängigkeit von p

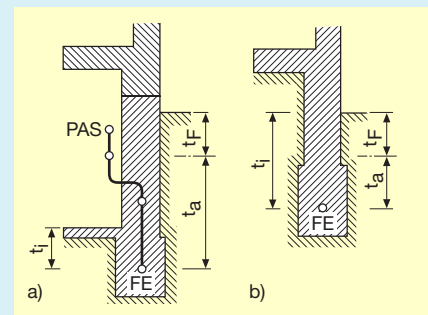
p	K_t	p	K_t	p	K_t
0,014	19,82	0,09	9,05	0,9	4,25
0,015	18,99	0,10	8,80	1,0	4,03
0,016	18,26	0,12	8,40	1,1	3,83
0,017	17,62	0,14	8,07	1,2	3,65
0,018	17,05	0,16	7,80	1,3	3,48
0,019	16,54	0,18	7,56	1,4	3,32
0,020	16,08	0,20	7,35	1,5	3,18
0,022	15,28	0,22	7,15	1,6	3,05
0,024	14,62	0,24	6,97	1,7	2,93
0,026	14,06	0,26	6,81	1,8	2,82
0,028	13,58	0,28	6,66	1,9	2,72
0,030	13,16	0,30	6,52	2,0	2,62
0,035	12,32	0,35	6,21	2,2	2,44
0,040	11,68	0,40	5,94	2,4	2,28
0,045	11,18	0,45	5,69	2,6	2,14
0,05	10,78	0,5	5,47	2,8	2,01
0,06	10,16	0,6	5,10	3,0	1,90
0,07	9,71	0,7	4,78	3,5	1,67
0,08	9,35	0,8	4,50	4,0	1,48

Die Werte wurden nach Angaben in [2] errechnet.



1 Widerstandsdiagramm einer Erdungsanlage

R_A Ausbreitungswiderstand; R_E Erdungswiderstand (Wirkwiderstand der Erdungsanlage); R_{EE} Wirkwiderstand des metallenen Leiters, der den Erder bildet; R_{EL} Wirkwiderstand des Erdungsleiters (z. B. Anschlussfahne, Kabel); X_E Erdungsreaktanz (Blindwiderstand der Erdungsanlage); X_{EE} Reaktanz des metallenen Leiters, der den Erder bildet; X_{EL} Reaktanz des Erdungsleiters; Z_E Erdungsimpedanz (Scheinwiderstand der Erdungsanlage); ϕ Impedanzwinkel



2 Erläuterung der Tiefen t_a , t_i und t_f

a) unterkellertes Gebäude
 b) nicht unterkellertes Gebäude
F Frostgrenze; **FE** Fundamenteerder;
PAS Potentialausgleichsschiene; t_a ab Frostgrenze gemessene Tiefe; t_i ab Kellerfußboden, bei nicht unterkellerten Gebäuden höchstens ab Geländeoberfläche gemessene Tiefe; t_f Frosttiefe

Tafel 2 Korrekturgröße K_d in Abhängigkeit von D und d

D in m	d in m		
	0,010	0,015	0,020
	K_d		
1,6	14,16	13,35	12,77
1,8	14,40	13,58	13,01
2,0	14,61	13,80	13,22
2,5	15,05	14,24	13,67
3,0	15,42	14,61	14,03
3,5	15,72	14,91	14,34
4,0	15,99	15,18	14,61
4,5	16,23	15,42	14,84
5	16,44	15,63	15,05
6	16,80	15,99	15,42
7	17,11	16,30	15,73
8	17,38	16,57	15,99
9	17,62	16,80	16,23
10	17,83	17,01	16,44
12	18,19	17,38	16,80
14	18,50	17,69	17,11
16	18,77	17,95	17,38
18	19,00	18,19	17,61
20	19,21	18,40	17,83
22	19,40	18,59	18,02
24	19,58	18,77	18,19
26	19,74	18,93	18,35
28	19,88	19,07	18,50
30	20,02	19,21	18,64
35	20,33	19,52	18,94
40	20,60	19,79	19,21
45	20,83	20,02	19,45
50	21,04	20,23	19,66
Die Werte wurden nach Gl. (6) errechnet.			

dungen vermieden sowie die Ausgabewerte in den Tafeln und die Zwischenergebnisse in den Rechenbeispielen mit zwei Stellen hinter dem Komma angegeben. Gerundet werden sollte ganz am Ende der Berechnung der Ausbreitungswiderstand R_A .

3 Fundamentender

Die **wirksame Tiefe t** wird nach Gleichung (4) und Bild 2 bestimmt.

$$t = 0,5 \cdot (t_a + t_i) \quad (4)$$

t wirksame Tiefe

t_a ab Frostgrenze gemessene Tiefe (Tiefe ab Geländeoberfläche abzüglich Frosttiefe t_F)

t_i ab Kellerfußboden (jedoch unterhalb isolierender Schichten),
bei nicht unterkellerten Gebäuden ab Geländeoberfläche gemessene Tiefe.

Die Frosttiefe t_F wird in Deutschland bei durchschnittlichen klimatischen Verhältnissen mit 0,7 m angenommen [3]. Sie wird berücksichtigt, weil gefrorener Erdstoff nicht leitend ist.

Liegen der wirksame Durchmesser des Ringerders D , der wirksame Leiterdurchmesser d und die wirksame Tiefe t im praxisüblichen Rahmen, so kann – unter Umgehung der Gleichungen (5) bis (7) und der Tafeln 1 bis 3 – die geometrische Konstante g direkt aus der Tafel 4 entnommen werden (siehe dazu 1. Rechenbeispiel). Sonst muss g nach Gleichung (5) mit den Werten der Tafeln 2 und 3 bestimmt werden (siehe dazu 2. Rechenbeispiel):

$$g = \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot D}{K_d \cdot K_t} \quad (5)$$

$$K_d = 4,6052 \cdot \lg(D/d) + 4,01 \quad (6)$$

K_d Korrekturgröße zur Berücksichtigung des wirksamen Leiterdurchmessers d nach der (aus einem Diagramm in [2] entwickelten) Gl. (6) oder der Tafel 2

K_t von der Größe p abhängige Korrekturgröße

zur Berücksichtigung der wirksamen Tiefe t nach einer der Tafeln 1 und 3

$\lg$ brigsscher Logarithmus (dekadischer, Basis 10).

Wenn eine extrem große wirksame Tiefe t vorliegt, die auch in der Tafel 3 nicht berücksichtigt ist, so muss p nach der Gl. (7) errechnet und in die Tafel 1 eingegeben werden. Dieser (statt der Tafel 3) kann man dann K_t entnehmen (siehe dazu 3. Rechenbeispiel).

$$p = \frac{4 \cdot t}{D} \quad (7)$$

p in die Tafel 1 einzusetzende Größe nach Gl. (7) [2][3]

D wirksamer Durchmesser des Ringerders
 t wirksame Tiefe.

Die Größen K_d , K_t und p sind dimensionslos. Zwischenwerte in den Tafeln lassen sich durch Interpolieren gewinnen. Man kann aber auch einfach von den Eingabewerten der betreffenden Tafel, zwischen denen der einzugebende Wert liegt, denjenigen zu Grunde legen, der den größeren Ausgabewert für K_d oder K_t (bei den Tafeln 1 bis 3) bzw. den kleineren Ausgabewert für g (bei der Tafel 4) ergibt, wenn man den daraus entstehenden Fehler toleriert. Mit diesem liegt man auf der sicheren Seite, d. h. er täuscht einen etwas größeren Ausbreitungswiderstand vor.

Beim Fundamentender muss gegenüber der Gl. (1) noch ein Korrekturfaktor f eingeführt werden, weil der Beton einen etwas größeren spezifischen Widerstand als der umgebende Erdstoff haben kann. Es wird vorgeschlagen, ihn bei einer Lage des Fundamentenders von mindestens 1 m unter der Geländeoberfläche mit 1,05 und sonst mit 1,1 einzusetzen. Somit errechnet sich der Ausbreitungswiderstand R_A wie folgt:

$$R_A = \frac{f \cdot \rho}{g} \quad (8)$$

Tafel 3 Korrekturgröße K_t in Abhängigkeit von D und t

D in m	t in m									
	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6
	K_t									
1,6	5,47	4,63	4,03	3,55	3,18	2,62	2,21	1,90	1,67	1,48
1,8	5,72	4,88	4,27	3,80	3,42	2,84	2,42	2,09	1,84	1,64
2,0	5,94	5,10	4,50	4,03	3,65	3,05	2,62	2,28	2,01	1,80
2,5	6,39	5,56	4,96	4,50	4,11	3,51	3,05	2,69	2,40	2,16
3,0	6,76	5,94	5,34	4,88	4,50	3,89	3,42	3,05	2,75	2,49
3,5	7,08	6,25	5,67	5,20	4,83	4,22	3,75	3,38	3,05	2,78
4,0	7,35	6,52	5,94	5,47	5,10	4,50	4,03	3,65	3,32	3,05
4,5	7,59	6,76	6,18	5,72	5,34	4,74	4,27	3,89	3,56	3,29
5	7,80	6,97	6,39	5,94	5,56	4,96	4,50	4,11	3,79	3,51
6	8,18	7,35	6,76	6,31	5,94	5,34	4,88	4,50	4,17	3,89
7	8,51	7,66	7,08	6,62	6,26	5,67	5,20	4,82	4,50	4,22
8	8,80	7,93	7,35	6,89	6,52	5,94	5,47	5,10	4,78	4,50
9	9,08	8,17	7,59	7,13	6,76	6,18	5,72	5,34	5,02	4,74
10	9,35	8,40	7,80	7,35	6,97	6,39	5,94	5,56	5,24	4,96
12	9,84	8,80	8,18	7,72	7,35	6,76	6,31	5,94	5,62	5,34
14	10,32	9,17	8,51	8,03	7,66	7,08	6,62	6,25	5,94	5,67
16	10,78	9,51	8,80	8,31	7,93	7,35	6,89	6,52	6,21	5,94
18	11,23	9,84	9,08	8,57	8,18	7,58	7,13	6,76	6,45	6,18
20	11,68	10,16	9,35	8,80	8,40	7,80	7,35	6,97	6,66	6,39
22	12,13	10,47	9,60	9,03	8,61	7,99	7,54	7,17	6,85	6,58
24	12,58	10,78	9,84	9,24	8,80	8,18	7,72	7,35	7,03	6,76
26	13,01	11,08	10,08	9,45	8,99	8,35	7,88	7,51	7,19	6,93
28	13,45	11,39	10,32	9,65	9,17	8,51	8,03	7,66	7,35	7,08
30	13,88	11,68	10,55	9,84	9,35	8,66	8,18	7,80	7,48	7,22
35	14,99	12,42	11,12	10,32	9,76	9,01	8,51	8,12	7,80	7,53
40	16,08	13,16	11,68	10,78	10,16	9,35	8,80	8,40	8,07	7,80
45	17,16	13,88	12,23	11,23	10,55	9,66	9,08	8,66	8,32	8,04
50	18,26	14,62	12,79	11,68	10,93	9,96	9,35	8,90	8,55	8,26

Die Werte wurden nach Gl. (7) (Ermittlung von ρ) und Angaben in [2] (Umrechnung von ρ auf K_t wie bei Tafel 1) errechnet.

1. Rechenbeispiel

Erderform:

Rechteck mit $l = 24$ m und $b = 17,04$ m

Leitermaterial:

Rundstahl mit $d = 0,010$ m;

Tiefe ab Frostgrenze:

 $t_a = 2,2$ m – $0,7$ m = $1,5$ m

Tiefe ab Kellerfußboden:

 $t_i = 0,5$ m

spezifischer Erdwiderstand:

 $\rho = 300 \Omega\text{m}$.

Nach Gleichung (3):

$$D = 0,5 \cdot (0,85 \cdot 24 \text{ m} + 1,15 \cdot 17,04 \text{ m})$$

$$D = 20 \text{ m}$$

Nach Gleichung (4):

$$t = 0,5 \cdot (1,5 \text{ m} + 0,5 \text{ m}) = 1,0 \text{ m}$$

Nach Tafel 4: $g = 29,73$ m

Nach Gleichung (8):

$$R_A = \frac{1,05 \cdot 300 \Omega\text{m}}{29,73 \text{ m}} = 10,6 \Omega$$

2. Rechenbeispiel

Wie 1. Rechenbeispiel, jedoch

 $t_a = 3,0$ m – $0,7$ m = $2,3$ m(statt $1,5$ m)Tafel 4 Geometrische Konstante g in Abhängigkeit von D , d und t

D in m	d in m															
	0,010								0,015							
	t in m															
	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1,0	1,2	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1,0	1,2
	g in m															
4,0	6,77	7,02	7,20	7,36	7,49	7,71	7,89	8,04	7,01	7,28	7,48	7,65	7,79	8,02	8,22	8,39
4,5	7,46	7,73	7,93	8,09	8,24	8,47	8,67	8,83	7,72	8,01	8,22	8,40	8,56	8,81	9,02	9,20
5	8,14	8,43	8,65	8,82	8,97	9,22	9,43	9,61	8,42	8,73	8,96	9,15	9,32	9,59	9,81	10,00
6	9,48	9,81	10,05	10,25	10,42	10,70	10,93	11,12	9,80	10,15	10,41	10,62	10,80	11,10	11,35	11,56
7	10,79	11,16	11,42	11,65	11,83	12,13	12,39	12,60	11,14	11,53	11,82	12,06	12,25	12,58	12,85	13,08
8	12,06	12,48	12,77	13,01	13,21	13,54	13,82	14,05	12,45	12,89	13,20	13,46	13,68	14,03	14,33	14,57
9	13,31	13,78	14,09	14,36	14,57	14,93	15,22	15,47	13,73	14,23	14,56	14,84	15,08	15,46	15,78	16,04
10	14,52	15,05	15,40	15,68	15,92	16,30	16,61	16,88	14,98	15,54	15,90	16,20	16,46	16,87	17,20	17,49
12	16,90	17,55	17,97	18,28	18,55	18,99	19,33	19,63	17,40	18,10	18,53	18,87	19,15	19,61	20,00	20,31
14	19,18	19,97	20,47	20,83	21,13	21,61	22,00	22,33	19,73	20,58	21,10	21,49	21,80	22,31	22,74	23,08
16	21,38	22,34	22,91	23,33	23,66	24,19	24,62	24,98	21,98	23,00	23,61	24,05	24,40	24,96	25,43	25,81
18	23,51	24,64	25,31	25,78	26,15	26,73	27,19	27,59	24,16	25,35	26,06	26,56	26,95	27,57	28,07	28,49
20	25,56	26,88	27,65	28,19	28,60	29,23	29,73	30,16	26,25	27,65	28,45	29,02	29,46	30,14	30,67	31,12
22	27,54	29,07	29,95	30,55	31,01	31,70	32,24	32,69	28,27	29,88	30,80	31,44	31,93	32,67	33,24	33,72
24	29,46	31,21	32,31	32,88	33,39	34,13	34,71	35,19	30,22	32,06	33,11	33,82	34,36	35,16	35,78	36,28
26	31,34	33,30	34,42	35,16	35,73	36,54	37,16	37,67	32,13	34,20	35,38	36,17	36,76	37,63	38,29	38,82
28	33,17	35,35	36,60	37,43	38,05	38,93	39,60	40,13	33,99	36,29	37,61	38,49	39,13	40,08	40,78	41,34
30	34,94	37,36	38,74	39,66	40,33	41,30	42,00	42,57	35,79	38,34	39,80	40,77	41,47	42,50	43,24	43,84
35	39,12	42,19	43,93	45,08	45,92	47,09	47,91	48,57	40,04	43,26	45,10	46,31	47,19	48,43	49,29	49,99
40	43,05	46,78	48,92	50,32	51,34	52,73	53,71	54,45	44,02	47,93	50,18	51,66	52,73	54,19	55,23	56,02
45	46,76	51,18	53,74	55,41	56,61	58,27	59,40	60,24	47,78	52,40	55,09	56,85	58,11	59,86	61,05	61,94
50	50,23	55,35	58,35	60,33	61,74	63,67	64,95	65,93	51,28	56,64	59,78	61,86	63,35	65,38	66,73	67,76
Die Werte wurden nach Gl. (5) mit den Werten der Tafeln 2 und 3 errechnet.																

Nach Gleichung (4):

$$t = 0,5 \cdot (2,3 \text{ m} + 0,5 \text{ m}) = 1,4 \text{ m}$$

Nach Tafel ②: $K_d = 19,21$

Nach Tafel ③: $K_t = 6,66$

Nach Gleichung (5):

$$g = \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot 20 \text{ m}}{19,21 + 6,66} = 30,52 \text{ m}$$

Nach Gleichung (8):

$$R_A = \frac{1,05 \cdot 300 \Omega \text{ m}}{30,52 \text{ m}} = 10,3 \Omega$$

3. Rechenbeispiel

Wie 2. Rechenbeispiel, jedoch

$$t_a = 4,2 \text{ m} - 0,7 \text{ m} = 3,5 \text{ m}$$

Nach Gleichung (4):

$$t = 0,5 \cdot (3,5 \text{ m} + 0,5 \text{ m}) = 2,0 \text{ m}$$

Nach Gleichung (7):

$$\rho = \frac{4 \cdot t}{D} = \frac{4 \cdot 2,0 \text{ m}}{20 \text{ m}} = 0,40$$

Aus Tafel ① ergibt sich: $K_t = 5,94$

Nach Gleichung (5):

$$g = \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot 20 \text{ m}}{19,21 + 5,94} = 31,39 \text{ m}$$

$$R_A = \frac{1,05 \cdot 300 \Omega \text{ m}}{31,39 \text{ m}} = 10,0 \Omega$$

Die Berechnungen gelten natürlich nur dann, wenn der Beton, in dem sich der Fundamente der befindet, nicht vom Erdstoff elektrisch isoliert ist, z. B. durch Kunststofffolien, Bitumenbahnen oder Wärmedämmplatten. Dazu ist folgendes anzumerken:

- Als Mittel, die verhindern sollen, dass der abbindende Beton Wasser an den Untergrund abgibt, dürfen keine isolierenden Folien verwendet werden.
- Die Perimeterdämmung (erdberührende Wärmedämmung) muss unter den mit dem Fundamente der versehenen Bereichen des Fundaments ausgespart werden, was ohnehin aus statischen Gründen meist erforderlich ist.
- Der Stahl in einer wasserdichten Fundamente wanne mit elektrisch isolierender Außenhaut (sog. „schwarze Wanne“) ist kein Fundamente der, weil die Erderwirkung fehlt. Der Fundamente der muss in Beton von mindestens B 15 (kein Magerbeton!) unter der Fundamente wanne angeordnet werden. Sein Anschluss erfolgt zweckmäßigerweise mit Kabel [1]. Der Bewehrungsstahl der Fundamente wanne sollte zwecks Potentialsteuerung wie der Fundamente der mit der Potentialausgleichsschiene verbunden werden.

Tafel ⑤ Geometrische Konstante g erdgelegter ringförmiger Erder in Abhängigkeit von D und d

D in m	d in m		
	0,010	0,015	0,020
	g in m		
4	4,937	5,201	5,406
4,5	5,473	5,761	5,985
5	6,004	6,315	6,557
6	7,048	7,405	7,682
7	8,075	8,476	8,784
8	9,086	9,531	9,874
9	10,08	10,57	10,95
10	11,07	11,60	12,01
11	12,05	12,62	13,06
12	13,02	13,63	14,10
13	13,98	14,63	15,13
14	14,94	15,62	16,15
15	15,89	16,61	17,16
16	16,83	17,59	18,17
17	17,77	18,56	19,17
18	18,70	19,53	20,17
19	19,63	20,50	21,16
20	20,55	21,45	22,14
22	22,38	23,36	24,10
24	24,20	25,24	26,04
26	26,00	27,11	27,97
28	27,79	28,98	29,88
30	29,58	30,82	31,78
32	31,34	32,66	33,66
34	33,10	34,48	35,53
36	34,86	36,30	37,40
38	36,60	38,11	39,25
40	38,33	39,90	41,10
42	40,06	41,69	42,93
44	41,78	43,47	44,76
46	43,49	45,25	46,58
48	45,20	47,02	48,40
50	46,90	48,78	50,21
55	51,12	53,16	54,70
60	55,32	57,50	59,15
65	59,48	61,81	63,57

Die Werte wurden mit den Gln. (6) und (9) errechnet. Sie gelten bei Lage des Erders in der Ebene der Frostgrenze.

- In einer Fundamente wanne aus wasserundurchlässigem Beton (sogenannte „weiße Wanne“) ist dagegen ein Fundamente der möglich. Bei einer Prüfung dieses Betons nach DIN 1045 darf nach drei Tage dauernder Wassereinwirkung auf drei Probestücke die durchschnittliche Wassereindringtiefe höchstens 5 cm betragen. Das bedeutet nicht, dass die Feuchtigkeit für längere Zeit nicht weiter vordringt. Die Fundamente wanne sollte so ausgeführt und der Fundamente der so angeordnet werden, dass das Wasser aus mindestens zwei Richtungen zu diesem vordringt. Weil konkrete Erkenntnisse noch nicht vorliegen, hält es der Verfasser für angebracht, vorsorglich den Korrekturfaktor f in der Gl. (8) mit 1,15 einzusetzen.

4. Rechenbeispiel

Erderform:

Rechteck mit $l = 26 \text{ m}$ und $b = 19,04 \text{ m}$

Leiterdurchmesser:

$$d = 0,010 \text{ m}$$

Legetiefe:

Entsprechend Frostgrenze

spezifischer Erdwiderstand:

$$\rho = 300 \Omega \text{ m.}$$

Nach Gleichung (3):

$$D = 0,5 \cdot (0,85 \cdot 26 \text{ m} + 1,15 \cdot 19,04 \text{ m})$$

$$D = 22 \text{ m}$$

Nach Tafel ② oder Gleichung (6):

$$K_d = 19,4$$

Nach Gleichung (9):

$$g = \frac{2 \cdot \pi^2 \cdot 22 \text{ m}}{19,4} = 22,38 \text{ m}$$

Alternativ nach Tafel ⑤: $g = 22,38 \text{ m}$

Nach Gleichung (1):

$$R_A = \frac{300 \Omega \text{ m}}{22,38 \text{ m}} = 13,4 \Omega$$

4 Erdgebettete Erder

Zumindest in Deutschland werden die Banderder üblicherweise in einer Tiefe entsprechend der Ebene der Frostgrenze verlegt. Bei dieser Anordnung wird die geometrische Konstante g nach Gl. (9) berechnet (siehe dazu 4. Rechenbeispiel):

$$g = \frac{2 \cdot \pi^2 \cdot D}{K_d} \quad (9)$$

Auf die Ermittlung von K_d gemäß Abschn. 3 und die Berechnung von g nach Gl. (9) kann verzichtet werden, wenn g aus der Tafel ⑤ entnommen wird.

Literatur

- [1] Hering, E.: Fundamente der. Berlin: Verlag Technik 1996.
- [2] Koch, W.: Erdungen in Wechselstromanlagen über 1 kV. 3. Auflage. Berlin/Göttingen/Heidelberg: Springer-Verlag 1961.
- [3] Müller, R.: Schutzmaßnahmen gegen zu hohe Berührungsspannung in Niederspannungsanlagen. 7. und 8. Auflage. Berlin: Verlag Technik 1981 und 1987.