

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 63 (1972)
Heft: 24

Artikel: Das elektrische Feld unter Hochspannungs-Freileitungen
Autor: Jakob, G. / Steinbigler, H. / Wiesinger, J.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-915771>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 16.03.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Das elektrische Feld unter Hochspannungs-Freileitungen

Von G. Jakob, H. Steinbigler und J. Wiesinger

621.315.1.027.8

Im Hinblick auf geplante Untersuchungen physiologischer Wirkungen auf den Menschen von elektrischen Feldern unter Hochspannungs-Freileitungen wurden für neun verschiedene Hochspannungsleitungen die am Boden auftretenden Feldstärken berechnet, die sich in der Mitte der Spannungsfelder ergeben. Betrachtet wurden 110-, 220-, 380- und 735-kV-Drehstromleitungen, 110-kV-Bahnstromleitungen und eine 800-kV-Gleichstromleitung. Hierbei ergaben sich maximale Feldstärken im Bereich zwischen etwa 1,5 und 13 kV/m. Diese Maximalfeldstärken steigen mit zunehmender Reihenspannung an. Die vorliegenden Rechenergebnisse können nunmehr einer labormässigen Nachbildung der Feldverhältnisse unter Freileitungen zugrunde gelegt werden.

En vue de recherches concernant les effets physiologiques sur les personnes par des champs électriques sous des lignes aériennes de haute tension, on a calculé pour neuf lignes différentes les intensités du champ qui en résultent au centre de la portée. Il s'agissait de lignes triphasées de 110, 220, 380 et 735 kV, de lignes de courant de traction de 110 kV, ainsi que d'une ligne à courant continu de 800 kV. Les intensités maximales des champs variaient entre 1,5 et 13 kV/m. Elles augmentent avec la tension. Les résultats obtenus peuvent maintenant servir de base pour une simulation en laboratoire des conditions du champ sous des lignes aériennes.

1. Einführung

In den letzten Jahren ist von verschiedenen Seiten die Frage aufgeworfen worden nach einer möglichen physiologischen Beeinflussung insbesondere des menschlichen Organismus infolge der Einwirkung niederfrequenter elektrischer Felder, wie sie unter Hochspannungs-Freileitungen und in Schaltanlagen gegeben sind. Um sich mit diesem Fragenkomplex beschäftigen

zu können, ist es zunächst notwendig, sich über die mögliche Höhe der Feldstärken zu orientieren. Deshalb sollen im vorliegenden Aufsatz die Bodenfeldstärken unter Freileitungen verschiedener Reihenspannungen und Konfigurationen berechnet werden. Vor allem interessieren hierbei die bisher ausgeführten 110-, 220- und 380-kV-Drehstromleitungen der Landesversorgung. Im Hinblick auf die für die Zukunft auch im europäischen Raum zu erwartende weitere

Erhöhung der Übertragungsspannung [1]¹⁾ wird eine in Kanada betriebene 735-kV-Leitung in die Berechnungen mit einbezogen. Darüber hinaus werden ergänzend 110-kV-Leitungen der Bahnstromversorgung und eine 800-kV-Gleichspannungsleitung betrachtet.

2. Berechnungsverfahren

Für die Berechnung der Bodenfeldstärke wird die auf der Leiteroberfläche befindliche Ladung ersetzt durch eine Linienladung im Zentrum des Leiters. Wie Kontrollrechnungen mit mehreren Ladungen je Leiter gezeigt haben, ist diese Annahme für die vorliegenden Berechnungen gerechtfertigt. Der Boden wird als unendlich leitfähige Ebene angenommen.

Die Grösse der Linienladungen wurde bestimmt durch Auflösung des linearen Gleichungssystems $\mathbf{P} \times \mathbf{q} = \vec{\Phi}$, wobei \mathbf{P} die Matrix der

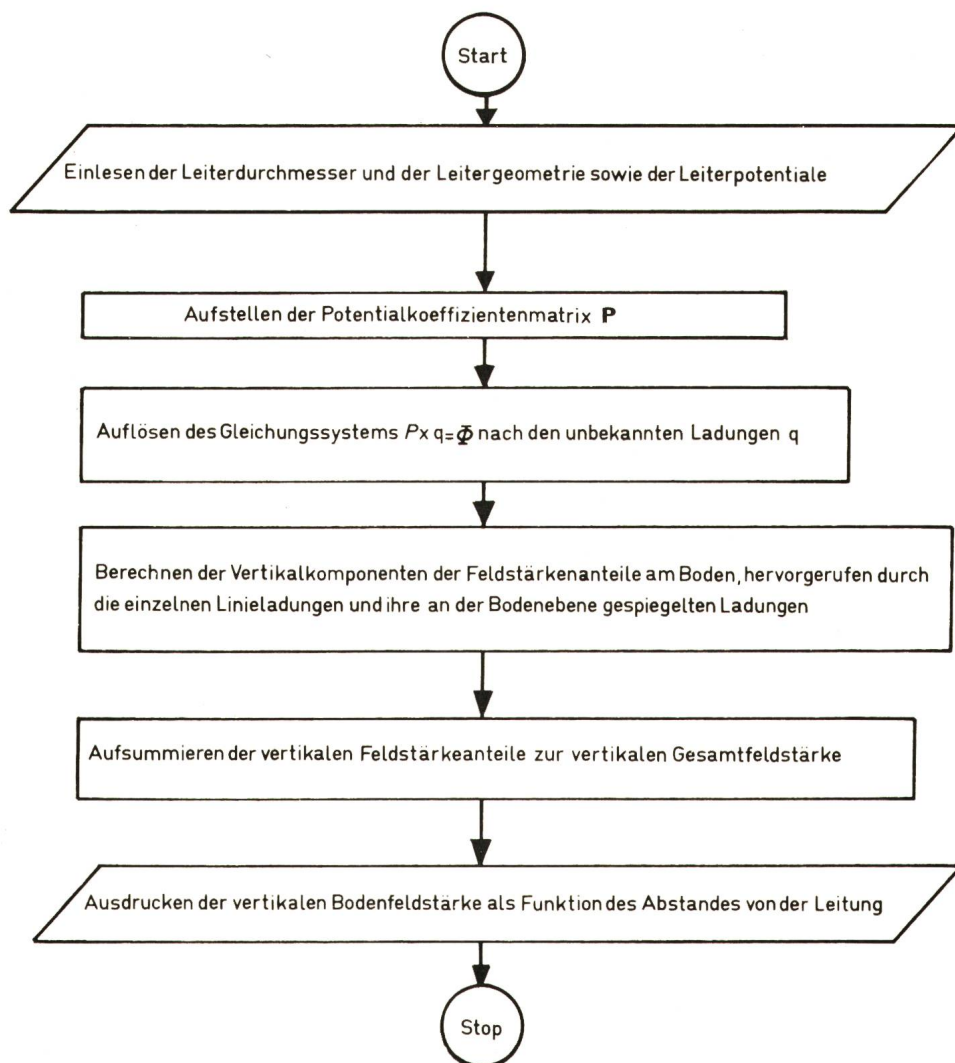
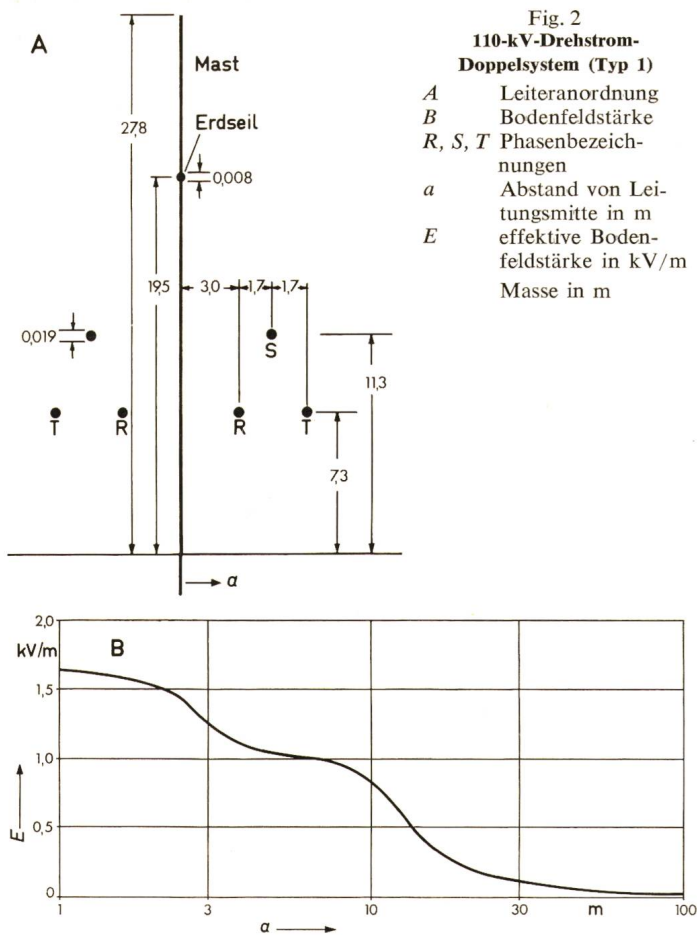


Fig. 1
Flussdiagramm

¹⁾ Siehe Literatur am Schluss des Aufsatzes.

Fig. 2
110-kV-Drehstrom-Doppelsystem (Typ 1)



3. Berechnete Bodenfeldstärken ausgewählter Freileitungen

Einen Überblick über die ausgewählten Leitungen und ihre Daten gibt die Tabelle I. Insbesondere ist der für die Berechnungen angenommene minimale Bodenabstand den nach VDE 0210/5.69 zulässigen Bodenabständen gegenübergestellt. Die Leiteranordnungen können aus den Fig. 2 bis 10 entnommen werden. Hier sind die Leiterkonfigurationen beim grössten Durchhang eingezeichnet; als Orientierungsgrösse ist die Masthöhe angegeben. Ausserdem ist die Anordnung der Phasen festgehalten.

In den Fig. 2 bis 10 sind für die einzelnen Leitungstypen 1 bis 9 die Effektivwerte der Bodenfeldstärken aufgezeichnet als Funktion des Abstandes a von der Leitungsmitte. Kontrollrechnungen für die Feldstärken in einer Höhe von 1,5 m über

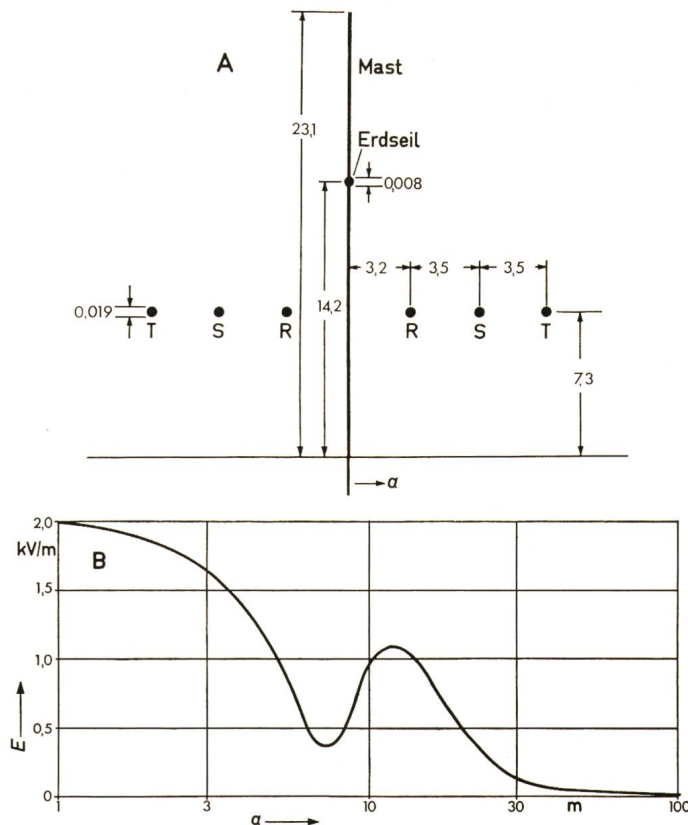


Fig. 3
110-kV-Drehstrom-Doppelsystem (Typ 2)
Bezeichnungen siehe Fig. 2

Potentialkoeffizienten ist, \vec{q} der Spaltenvektor der unbekannt, auf die Leitungslänge bezogenen Ladungen und $\vec{\Phi}$ der Spaltenvektor der vorgegebenen Leiterpotentiale. Die Feldstärke am Boden wird bestimmt durch die Superposition der Vertikalkomponenten der Feldstärkeanteile der einzelnen Ladungen.

Aufbauend auf diesem Rechenprinzip wurde ein Rechenprogramm für einen Digitalrechner erstellt, dessen Flussdiagramm in Fig. 1 wiedergegeben ist. Da bei der vorliegenden Aufgabenstellung die maximal unter den Leitungen auftretenden Feldstärken von Interesse sind, wurden die Berechnungen der Bodenfeldstärken für die Mitte des Spannungsfeldes, also an der Stelle des grössten Leiterdurchhanges, durchgeführt.

Ausgewählte Freileitungen

Tabelle I

Leitungstyp	1 110-kV-Drehstrom-Doppelsystem	2 110-kV-Drehstrom-Doppelsystem	3 220-kV-Drehstrom-Doppelsystem	4 380-kV-Drehstrom-Einfachsystem	5 380-kV-Drehstrom-Doppelsystem	6 735-kV-Drehstrom-Einfachsystem	7 110-kV-Bahnstrom-Einfachsystem	8 110-kV-Bahnstrom-Doppelsystem	9 800-kV-Gleichstrom-Einfachsystem
Leiteranordnung nach Fig. ...	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Leistungsdaten in Anlehnung an Lit. ...	[2]	[2]	[3]	[4]	[4]	[5]	[2]	[2]	[6]
Minimaler Bodenabstand (m)	7,3	7,3	9,9	9,1	9,1	11,0	7,3	7,3	9,3
Minimaler nach VDE 0210/5.69 zulässiger Bodenabstand (m)	6,0	6,0	6,7	7,8	7,8	(10,3)	6,0	6,0	—

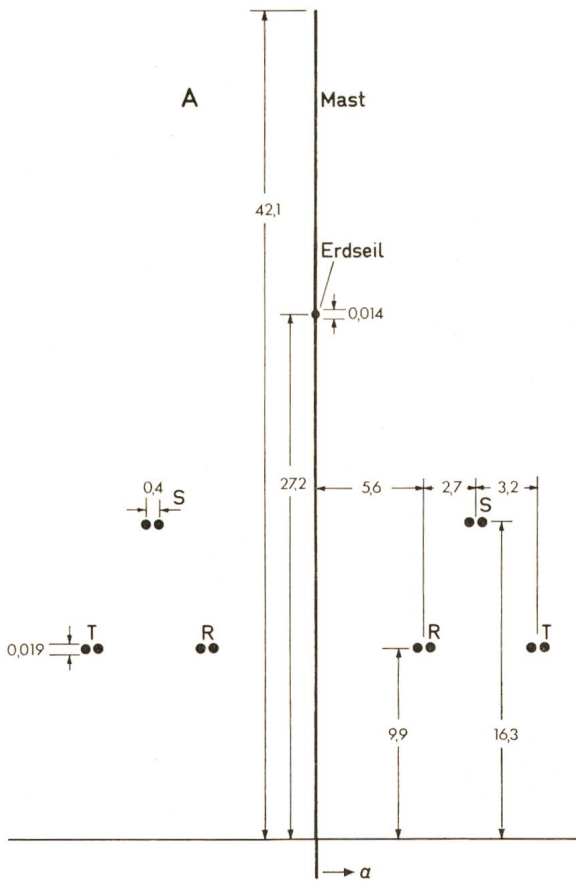


Fig. 4
220-kV-Drehstrom-Doppelsystem (Typ 3)
Bezeichnungen siehe Fig. 2

dem Boden ergaben annähernd die gleichen Werte, so dass in Bodennähe das Feld als weitgehend homogen angesehen werden kann. Die Feldstärken wurden in einem Bereich für a von 1 bis 100 m Abstand von der Leitungsmitte berechnet. Von besonderem Interesse sind sicherlich die Bodenfeldstärken etwa in der Leitungsmitte ($a = 1$ m), die Bodenfeldstärke unter dem äussersten Leiter sowie die maximal auftretende Feldstärke am Boden. Diese charakteristischen Werte sind in der Tabelle II zusammengestellt; in dieser Tabelle ist weiterhin vermerkt, bei welchem Abstand a die Feldstärke von 1 kV/m bzw. von 0,25 kV/m nicht mehr überschritten wird.

Man erkennt, dass auch bei Höchstspannungs-Freileitungen bei einem Abstand grösser als etwa 75 m die Bodenfeldstärken schon auf Werte von 250 V/m abgesunken sind.

Bei Doppel-Drehstromleitungen beeinflusst naturgemäss die Phasenordnung die Bodenfeldstärke. Eine weitere, sehr wesentliche Einflussgrösse ist das Verhältnis der Leiterabstände zu den Bodenabständen, da mit zunehmendem Bodenabstand die Symmetrierungswirkung der sich in jedem Zeitaugenblick

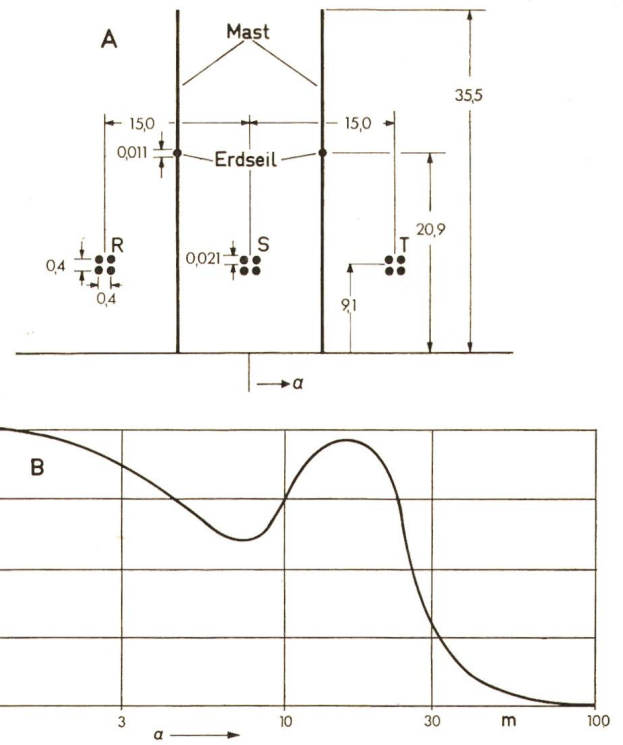


Fig. 5
380-kV-Drehstrom-Einfachsystem (Typ 4)
Bezeichnungen siehe Fig. 2

zu Null ergänzenden Leiterspannungen rasch an Bedeutung gewinnt. Betrachtet man beispielsweise bei der 735-kV-Leitung (Typ 6) einen mittleren Bodenabstand von etwa 20 m gegenüber einem Bodenabstand von 9,1 m, so reduziert sich die maximale Bodenfeldstärke von 12 auf etwa 3 kV/m. Der Ein-

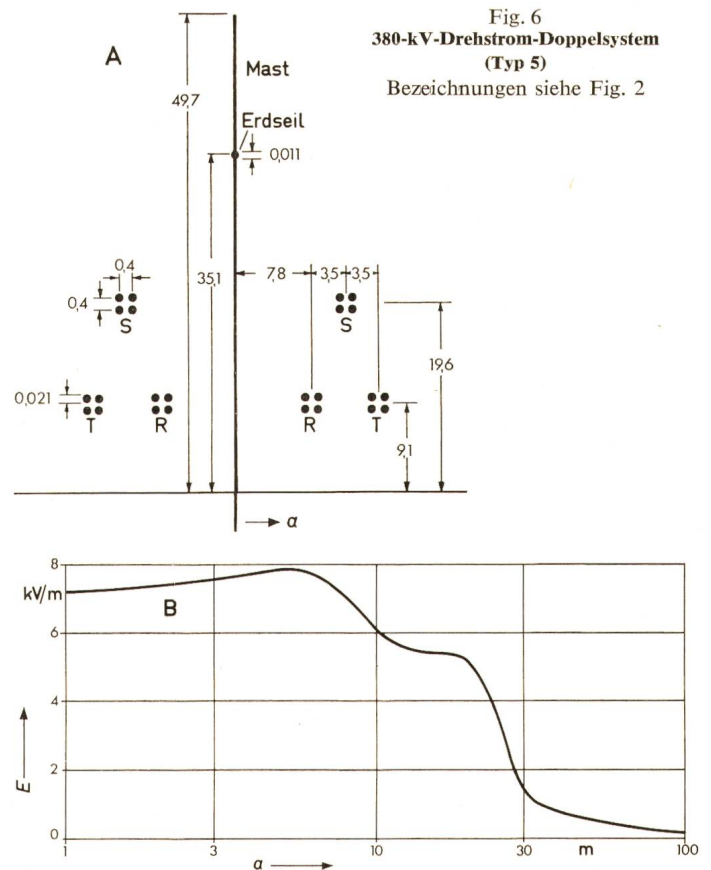


Fig. 6
380-kV-Drehstrom-Doppelsystem (Typ 5)
Bezeichnungen siehe Fig. 2

Leitungstyp	1	2	3	4	5	6	7	8	9
E (kV/m) bei $a = 1$ m	1,6	2,0	3,3	8,1	7,2	12,1	0,7	2,2	2,5
E (kV/m) unter dem äussersten Leiter	1,0	1,0	2,0	7,7	5,4	12,5	2,0	1,2	11,9
Maximales E (kV/m)	1,6	2,0	3,3	8,1	7,9	12,6	2,3	2,2	12,4
Abstand a (m) für $E = 1$ kV/m	6	13	22	38	35	49	12	13	34
Abstand a (m) für $E = 0,25$ kV/m	18	25	40	58	75	78	22	23	54

fluss der Erdseile auf die Bodenfeldstärken ist bei den hier betrachteten Anordnungen in erster Näherung vernachlässigbar.

Mit den berechneten Bodenfeldstärken ist nunmehr die Voraussetzung für eine Simulation der Feldverhältnisse unter Freileitungen gegeben, um dann unter definierten Umgebungsbedingungen die physiologischen Wirkungen untersuchen zu können. Die labormässige Feldnachbildung sollte von dem ungestörten, weitgehend homogenen Bodenfeld ausgehen. Tritt nun eine Person in dieses Feld, so bricht es infolge der relativ hohen Körperleitfähigkeit an der Person zusammen. Durch die hieraus resultierende Feldverzerrung kommt es ein-

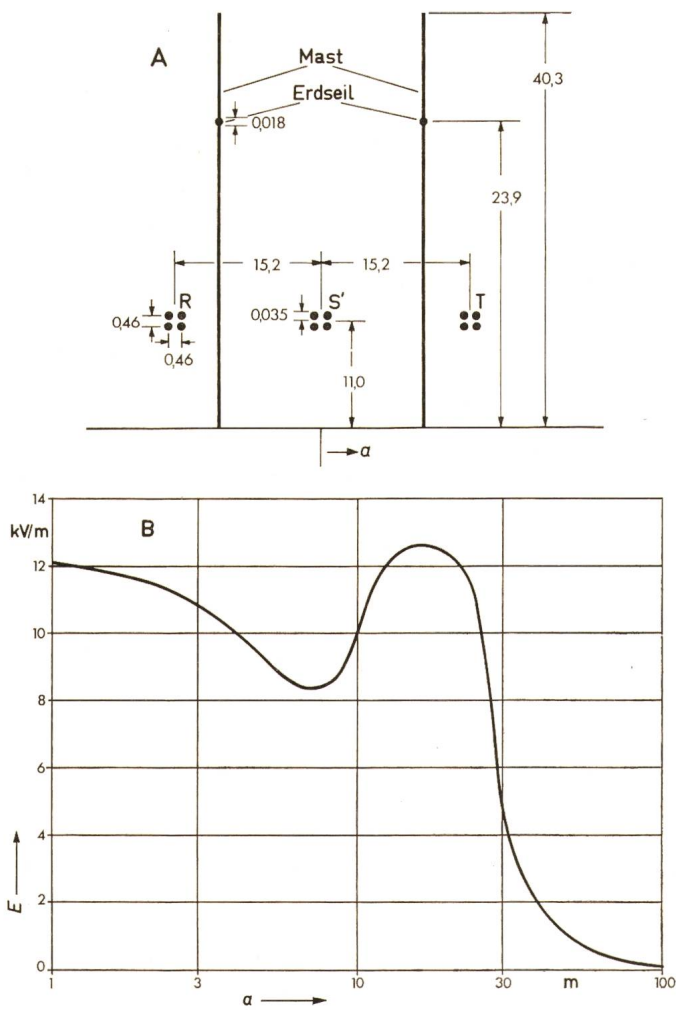


Fig. 7
735-kV-Drehstrom-Einfachsystem (Typ 6)
Bezeichnungen siehe Fig. 2

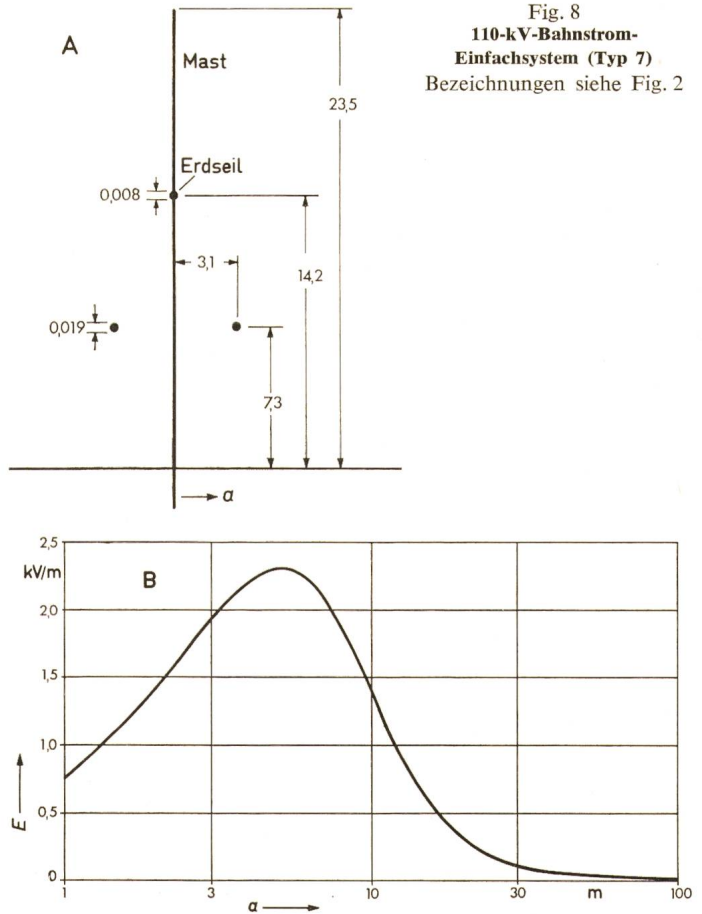


Fig. 8
110-kV-Bahnstrom-Einfachsystem (Typ 7)
Bezeichnungen siehe Fig. 2

mal zu einer wesentlichen Feldstärkeüberhöhung am Kopf und zum anderen zu einem Verschiebungsstrom im Körper, der jedoch bei den unter Freileitungen gegebenen Feldstärken keine Werte erreicht, die pathologische Wirkungen zur Folge haben können.

Literatur

- [1] H. Prinz: Warum Höchstspannungsprüffelder? ETZ-B 21(1969)4, S. 73...78.
- [2] H. Rieger: Der Freileitungsbau. Berlin/Göttingen/Heidelberg, Julius Springer Verlag, 1960.
- [3] E. Kuhnert und G. Latzel: Die Verteilung des Fehlerstromes auf Erdseil und Masterdungen bei stationsnahe Fehler in Hochspannungsnetzen mit Sternpunktterdung. Elektrizitätswirtschaft. 67(1968)23, S. 681...685.
- [4] Die Planung des 380 kV-Netzes in der Deutschen Verbundgesellschaft. Heidelberg, Deutsche Verbundgesellschaft e. V., 1957.
- [5] J. Aubin, D. T. McGillis and J. Parent: Composite insulation strength of Hydro-Quebec 735-kV towers. Trans. IEEE PAS 85(1966)6, p. 633...648.
- [6] R. F. Stevens: Design of the Celilo-Sylmar 800-kV DC line - BPA section. Trans. IEEE PAS 86(1967)7, S. 916...922.

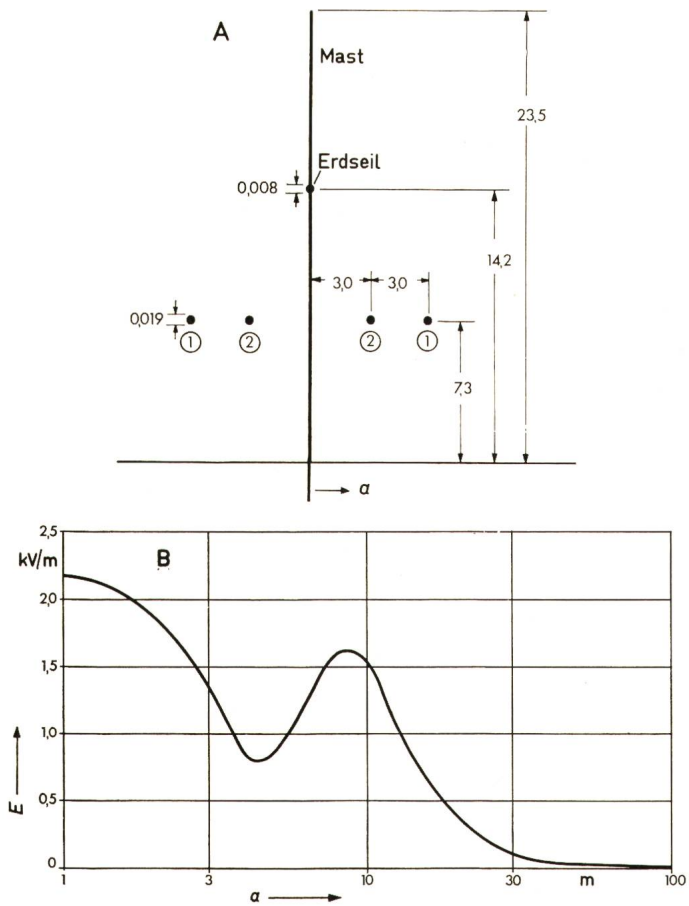


Fig. 9
 110-kV-Bahnstrom-Doppelsystem (Typ 8)
 Bezeichnungen siehe Fig. 2

Adresse der Autoren:

Dipl.-Ing. *Günter Jakob*, Diplomand am Institut für Hochspannungs- und Anlagentechnik der TU München; Dr.-Ing. *Hans Steinbigler*, Akademischer Oberrat; Priv. Doz. Dr.-Ing. *Johannes Wiesinger*, Wissenschaftlicher Rat am Institut für Hochspannungs- und Anlagentechnik der TU München, Arcisstrasse 21, D-8000 München.

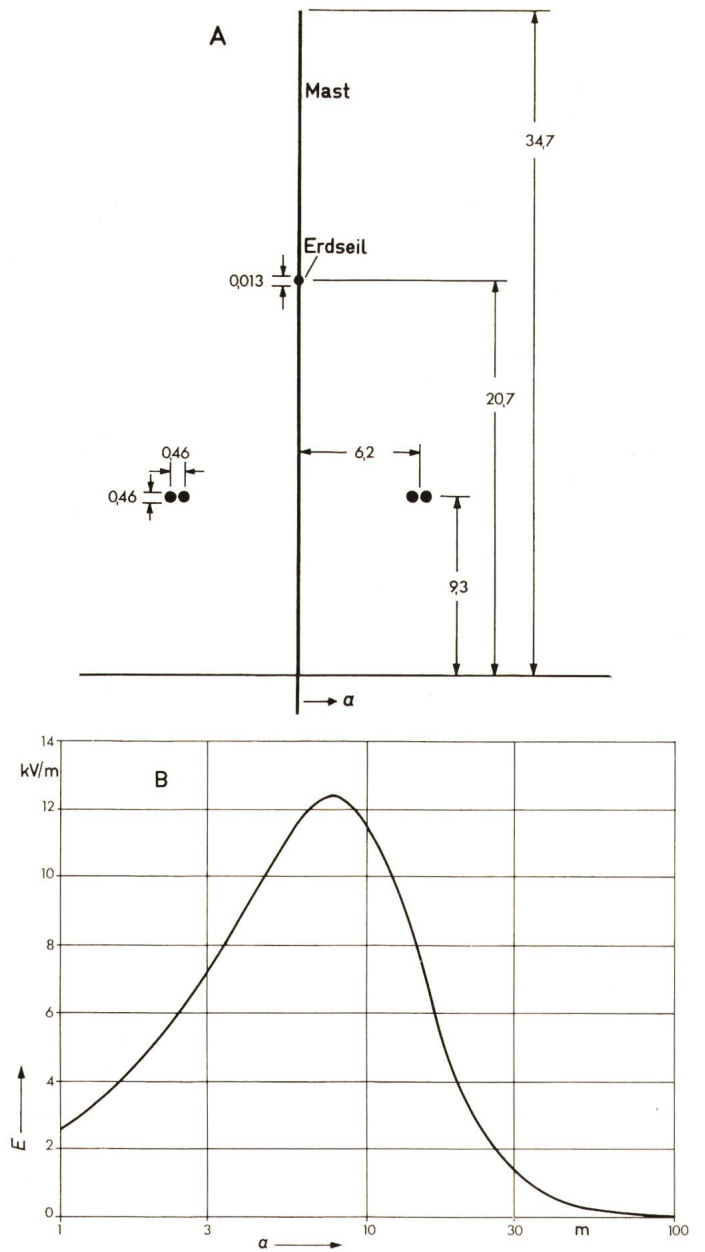


Fig. 10
 800-kV-Gleichstrom-Einfachsystem (Typ 9)
 Bezeichnungen siehe Fig. 2