

**Zeitschrift:** Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

**Herausgeber:** Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

**Band:** 59 (1968)

**Heft:** 4

**Artikel:** Berechnung des elektrischen Feldes von Bündelleitern

**Autor:** Singer, H. / Bässler, H.

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-916024>

#### Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

#### 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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

#### 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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 23.01.2026

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

- [10] G. v. Békésy: Über die Resonanzkurve und die Abklingzeit der verschiedenen Stellen der Schneckenkennwand. *Akustische Zeitschrift* 8(1943), S. 66...76.
- [11] R. Öttinger und H. Hauser: Ein elektrischer Kettenleiter zur Untersuchung der mechanischen Schwingungsvorgänge im Innenrohr. *Acoustica* 11(1961), S. 161...177.
- [12] G. v. Békésy: Descriptions of some Mechanical Properties of the Organ of Corti. *J. Acoustical Society of America* 25(1953), S. 770...785.
- [13] E. Zwicker: Temporal Effects in Simultaneous Masking and Loudness. *J. Acoustical Society of America* 38(1965), S. 132...141.
- [14] Méthode de calcul du niveau d'isométrie. Recommandation ISO R 532-1966.
- [15] T. Pfeiffer: Ein Lautstärke-Messgerät für breitbandige und impulsartige Schalle. *Acustica* 17(1966), S. 322...334.
- [16] E. Zwicker: Die elementaren Grundlagen zur Bestimmung der Informationskapazität des Gehörs. *Acustica* 6(1956), S. 365...381.
- [17] D. Maiwald: Beziehungen zwischen Schallspektrum, Mithörschwelle und Erregung des Gehörs. *Acustica* 18(1967), S. 69...80.
- [18] E. Zwicker: Über ein einfaches Funktionsschema des Gehörs. *Acustica* 12(1962), S. 22...28.
- [19] E. Zwicker, W. Hess und E. Terhardt: Erkennung gesprochener Zahlwörter mit Funktionsmodell und elektronischer Rechenanlage. *Kybernetik* 3(1966/67), S. 267...272.
- [20] E. Zwicker: Möglichkeiten zur Spracherkennung über den Tastsinn mit Hilfe eines Funktionsmodells des Gehörs. Beihefte zur Zeitschrift «Elektronische Rechenanlagen» 7(1963), S. 239...244.
- [21] E. Zwicker: Temporal Effects in Simultaneous Masking by White-Noise Bursts. *J. acoustical Society of America* 37(1965), S. 653...663.
- [22] E. Zwicker: «Negative Afterimage» in Hearing. *J. Acoustical Society of America* 36(1964), S. 2413...2415.

#### Adresse des Autors:

Prof. Dr.-Ing. Eberhard Zwicker, Institut für Elektroakustik Technische Hochschule München, Franz-Josef-Strasse 38, D-8 München 13.

## Berechnung des elektrischen Feldes von Bündelleitern

Von H. Singer, München, und H. Bässler, Memmingen

621.315.145:537.212

meist nur auf die Anordnung Bündel gegen Hüllzylinder, oder es wurden Lösungswege angedeutet ohne analytische Darstellung, soweit es sich um den Ausnutzungsfaktor und den feldstärkegleichen Ersatzradius handelt.

Aufgabe des vorliegenden Beitrages soll es nun sein, mit Hilfe der konformen Abbildung das Feld der Anordnungen Bündel gegen Bündel und Bündel gegen Ebene zu berechnen.

### 2. Berechnung der Potentiallinien

Die Abbildung  $z = \sqrt[n]{\xi}$  faltet die gesamte  $\xi$ -Ebene auf den  $n$ -ten Teil der  $z$ -Ebene (Fig. 1) und bildet den Punkt A der

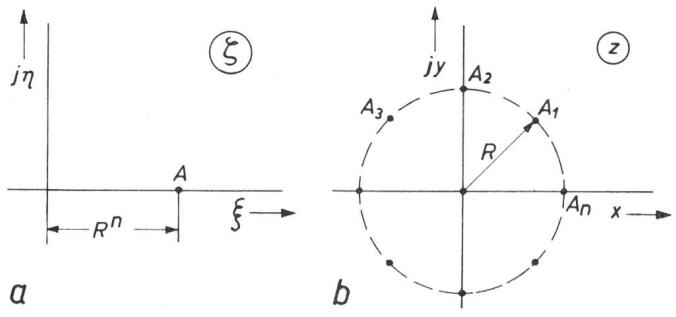


Fig. 2

Abbildung des Punktes A mit  $z = \sqrt[n]{\xi}$  auf  $A_1, A_2, \dots, A_n$   
a  $\xi$ -Ebene mit  $\xi = \xi + j\eta$ ; b  $z$ -Ebene mit  $z = x + jy$

$\xi$ -Ebene nach Fig. 2 auf die Punkte  $A_1, A_2, \dots, A_n$  der  $z$ -Ebene ab. Die Abbildung

$$\zeta = z^n - R^n = \prod_{v=1}^n \left( z - R \cdot e^{j2\pi \frac{v}{n}} \right) \quad (1)$$

führt im Prinzip die gleiche Transformation durch; nur liegt hier der Punkt A im Ursprung der  $\xi$ -Ebene. Damit ist das Feld eines Bündels (Fig. 2b) auf das Feld eines einzelnen Punktes (Fig. 2a) zurückgeführt, dessen Potentiallinien bekanntlich konzentrische Kreise bilden. Diese Kreise lassen sich durch  $w = \log \zeta$  auf einen Plattenkondensator abbilden. Wird schliesslich das Bündel um  $jH$  verschoben und an der  $x$ -Achse gespiegelt, so entsteht die Anordnung Bündel-Bündel oder Bündel-Ebene.

Die Abbildung dieses Bildes vermittelt die Transformation:

$$w = \sum_{v=1}^n \frac{z - jH - R \cdot e^{j\phi_v}}{z + jH - R \cdot e^{-j\phi_v}} \quad (2)$$

mit  $R$  als Bündelradius,  $H$  als Höhe des Bündelmittelpunkts über der Ebene und  $n$  als Anzahl der Teilleiter;  $\phi_v$  ist Winkel

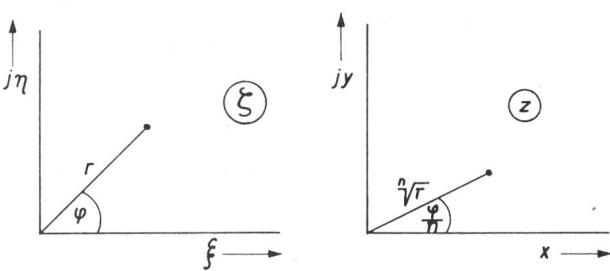


Fig. 1

Abbildung  $z = \sqrt[n]{\xi}$

$\xi$ -Ebene mit  $\xi = \xi + j\eta$ , Winkel  $\phi$  und Strecke  $r$ ;  $z$ -Ebene mit  $z = x + jy$ , Winkel  $\phi/n$  und Strecke  $\sqrt[n]{r}$

<sup>1)</sup> Siehe Literatur am Schluss des Aufsatzes.

zwischen der Parallelen zur  $x$ -Achse durch den Bündelmittelpunkt und der Verbindungslinie Bündelmittelpunkt— $v$ -ter Teilleiter (Fig. 3). Die Koordinaten werden dargestellt durch:

$$\begin{aligned} z &= x + jy \\ \zeta &= \xi + j\eta \\ w &= u + jv \end{aligned} \quad (3)$$

Da die Abbildung unabhängig von den absoluten Dimensionen ist, können alle Angaben über das Bündel auf den Teilleiterradius  $r$  bezogen werden. Damit ergeben sich folgende Abkürzungen:

$$\text{Bündelcharakteristik } b_z = \frac{s}{r} \quad (4)$$

und

$$\text{geometrische Charakteristik } p_z = \frac{a_z + r}{r} \quad (5)$$

mit Teilleiterabstand  $s = 2R \cdot \sin \pi/n$  und  $a_z$  als kürzestem Abstand zwischen Bündel und Ebene.

In der Abbildung nach Gl. (2) werden die Linien  $u = \text{konst}$ . Potentiallinien und  $v = \text{konst}$ . Feldlinien. Explizit ergibt sich für die Potentiallinien:

$$u = \sum_{v=1}^n \ln \sqrt{(x - R \cdot \cos \varphi_v)^2 + (y - H - R \cdot \sin \varphi_v)^2} - \sum_{v=1}^n \ln \sqrt{(x - R \cdot \cos \varphi_v)^2 + (y - H + R \cdot \sin \varphi_v)^2} \quad (6)$$

wobei

$$\varphi_v = \frac{2\pi}{n} \left( v - \frac{q}{4} \right) - \frac{\pi}{2} \quad (7)$$

und  $q$  die Lage des Bündels angibt (Fig. 4).

Dabei bedeutet bei allen Bündeln, dass das durch die Teilleiter gebildete Polygon bei  $q = 2$  mit einer Seite parallel zur

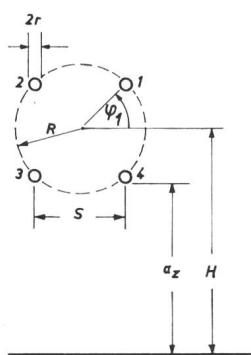


Fig. 3  
Daten eines Bündels  
erläutert am Beispiel eines Viererbündels mit Teilleitern 1...4  
 $r$  Teilleiterradius;  $R$  Bündelradius;  
 $S$  Teilleiterabstand;  $a_z$  Abstand zwischen Bündel und Ebene;  $H$  Bündelhöhe;  
 $\varphi$  Teilleiterwinkel

Ebene und bei  $q = 4$  auf der Spitze steht. Eine weitere mögliche Lage für das Dreierbündel gibt  $q = 3$  an.

Die Berechnung erfolgte mit Hilfe eines Digitalrechners.

Die Ergebnisse zeigen, dass keine Potentiallinie exakt mit dem angenommenen Teilleiter übereinstimmt. Die Potentiallinien werden zwar im technisch interessanten Bereich von  $b_z$  und  $p_z$  mit guter Genauigkeit kreisförmig, jedoch stimmen die Mittelpunkte der Potentiallinien nicht mit den Mittelpunkten  $a = jH + R \cdot e^{j\varphi}$  überein. Näherungsweise stellen die Potentiallinien in der Nähe der Leiter nichtkonzentrische Kreise dar, deren Mittelpunkte mit steigenden Radien immer mehr zum Bündelmittelpunkt rücken. Zum Vergleich dazu kann das elektrostatische Feld zweier gleichgeladener Zylinder dienen. Dort sind die Potentiallinien Cassinische Kurven, die ebenfalls um so kreisförmiger werden, je geringer ihr Durchmesser wird.

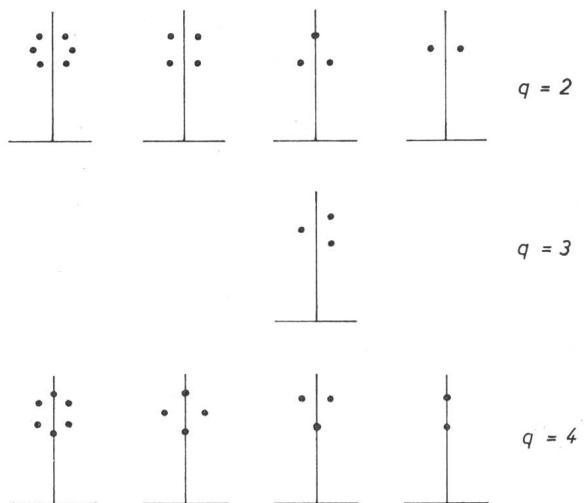


Fig. 4  
Lage  $q$  der Bündel

Für die Programmierung der Rechenmaschine erwies es sich als günstig, dass die Mittelpunkte der Potentiallinien auf der Verbindungslinie Bündelmittelpunkt—theoretischer Teilleiterradius nach innen zum Bündelmittelpunkt wandern; d.h. die Winkel zwischen den einzelnen Teilleitern bleiben konstant  $2\pi/n$ . Da die Potentiallinien zur Bündelmitte hin verschoben werden, ist der tatsächliche Bündelradius also immer kleiner als das angenommene  $R$ . Dieser Fehler bleibt jedoch im allgemeinen kleiner als 1%. Nur bei kleinen  $b_z$  kann dieser Fehler 3% erreichen. Weiter zeigt die Rechnung, dass der tatsächliche Bündelmittelpunkt praktisch nicht vom angenommenen Bündelmittelpunkt abweicht. Deshalb können die Werte von  $R$  und  $H$  mit den sich wirklich ergebenden Werten von Bündelradius und Bündelhöhe gleichgesetzt werden.

Eine andere Eigenschaft der verwendeten Abbildung besteht darin, dass die einzelnen Teilleiter des Bündels verschiedene Grösse erhalten. Die Differenz beträgt im Durchschnitt 3 bis 5 %. Durch Annahme von unterschiedlichen Ladungen auf den Teilleitern könnten alle Leiter auf gleiche Grösse gebracht werden. Da aber die Grösse der oberen Leiter nicht allzu grossen Einfluss auf die Feldstärke am unteren Leiter hat, wurde, um Rechenzeit zu sparen, diese Differenz vernachlässigt.

Würden nun allerdings nach Fig. 5a die Koordinaten des Punktes A in die Rechnung für den Ausnutzungsfaktor und den Ersatzradius eingesetzt werden, so erhielte die dazugehörige Potentiallinie einen 5 bis 20 % grösseren Durchmesser als vorgegeben, was natürlich in der Rechnung zu berücksichtigen wäre. Statt dessen wurde nach Fig. 5b der Punkt B ermittelt, dessen Potentiallinie den festgelegten Durchmesser besitzt. Das hat den Vorteil, dass  $p_z$  und  $b_z$  glatte Werte erhalten.

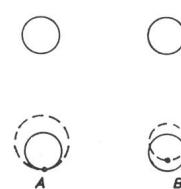


Fig. 5  
Bestimmung der Potentiallinien  
a Punkt A auf Potentiallinie mit unbekanntem Durchmesser; b Punkt B auf Potentiallinie mit festgelegtem Durchmesser

### 3. Berechnung der Feldstärke, des Ausnutzungsfaktors und des Ersatzradius

Aus den Potentialwerten errechnet sich die Feldstärke durch Bildung des Gradienten:

$$E_z = -\frac{\partial u}{\partial x} - j \frac{\partial u}{\partial y} \quad (8)$$

Für eine zahlenmässige Ermittlung der Feldstärke ist noch eine Eichung mit:

$$E_w = \frac{U}{u_{II} - u_I} \quad (9)$$

vorzunehmen [9], so dass sich der Betrag der Feldstärke aus

$$|E_z| [\text{kV/cm}] = |E_z| \cdot |E_w| \quad (10)$$

ergibt. Der Ausnutzungsfaktor wird schliesslich:

$$\eta = \frac{U}{|E_z| [\text{kV/cm}] \cdot a_z} \quad (11)$$

Aus  $\eta$  lässt sich nun der gesuchte Ersatzradius  $r_e$  ermitteln als Radius eines fiktiven Einzelleiters, der bei gleicher Höhe  $H$  über der Ebene denselben Ausnutzungsfaktor wie der gegebene Bündelleiter hat. Bekanntlich gilt für den Ausnutzungsfaktor der Anordnung Zylinder gegen Ebene (Fig. 6):

$$\eta = \frac{2p \cdot \ln p}{p^2 - 1} \quad (12)$$

mit

$$p = \frac{a + r}{r} \quad (13)$$

Aus der transzententen Gleichung (12) wird  $p$  ermittelt, und mit diesem Wert ergibt sich  $r_e$  aus:

$$r_e = \frac{2H}{p + 1/p} \quad (14)$$

Für alle Bündel mit der Lage  $q = 2$  oder  $q = 3$  muss berücksichtigt werden, dass der tiefste Punkt des Bündels nicht gleichzeitig der Punkt mit der grössten Feldstärke an der Oberfläche des Leiters ist. Wie jedoch die Rechnung zeigt, verändert sich die Grösse der Feldstärke rund um die Oberfläche eines Leiters nur sehr wenig (max. 0,7 %), so dass darauf verzichtet wurde, den Punkt der grössten Feldstärke zu suchen.

#### 4. Ergebnisse

Die Ergebnisse der Berechnung für die Anordnung Bündel gegen Ebene sind in den Fig. 8 und 9 graphisch dargestellt. Die Werte für die Anordnung Bündel-Bündel können durch einfache Umrechnung der geometrischen Charakteristiken  $p_z$  daraus gewonnen werden. Erwartungsgemäss liegen die Werte der Ausnutzungsfaktoren bei wenigen Prozenten und steigen mit zunehmender Anzahl der Teilleiter.

In Abhängigkeit von  $b_z$  betrachtet zeigt  $\eta$  im allgemeinen folgenden Verlauf:

Für  $b_z = 0$  (Bündelradius  $R = 0$ ) nimmt der Ausnutzungsfaktor denselben Wert an wie bei einem Einzelleiter. Mit grösser werdendem  $R$  steigt  $\eta$  an, durchläuft ein Maximum und fällt dann leicht ab. In diesem Bereich ändern sich die Ausnutzungsfaktoren mit steigendem  $b_z$  verhältnismässig wenig, insofern, wie technisch üblich,  $p_z/b_z \gg 1$  ist. Das lässt sich dadurch erklären, dass eine Änderung des Bündelradius  $R$  gleichbedeutend ist mit einer Änderung des Abstandes  $a_z$ . Diese bleibt aber relativ klein, solange eben  $H/R \gg 1$  und damit  $p_z/b_z \gg 1$ . Für grosse Werte von  $b_z$

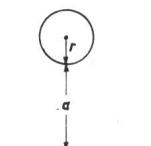


Fig. 6  
Kreiszylinder-Ebene  
 $a$  Abstand;  $r$  Radius

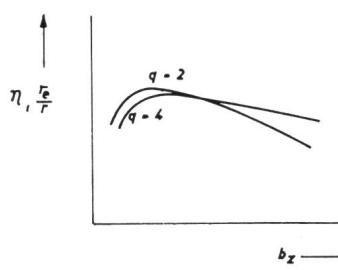


Fig. 7  
Abhängigkeit des Feldes von der Lage  $q$  des Bündels  
 $\eta$  Ausnutzungsfaktor;  $r_e$  Ersatzradius;  $b_z$  Bündelcharakteristik

liefert die Abbildung genauere Ergebnisse als für kleine Bündelcharakteristiken (vgl.

Bemerkung unter Abschnitt 2). Käme  $R$  schliesslich in die Grössenordnung von  $H$ , würde der Ausnutzungsfaktor wieder grösser werden, um schliesslich im Grenzfall den Wert 100 % zu erreichen. Dieser Bereich ist freilich technisch nicht mehr interessant.

Die Kurven für den Ersatzradius zeigen einen ähnlichen Verlauf und machen deutlich, dass ein Bündelleiter das Feld gegenüber einem Einzelleiter im Durchschnitt um 100 bis 200 % verbessert. Bei  $R = 0$  wird  $r_e = r$ . Der obere Grenzfall (grosses  $R$  und grosses  $b_z$ ) bringt  $r_e = R$ .

Eine Ausnahme in beiden Kurvenscharen bildet das Zweierbündel, dessen Leiter parallel zur Erde liegen. Hier bleibt der Abstand  $a_z$  bei steigendem  $b_z$  konstant. Wird nun  $b_z$  grösser, so bleiben die Leiter zwar in gleicher Höhe, aber ihre gegenseitige Beeinflussung wird immer geringer. Das bedeutet, dass für sehr grosse  $b_z$  der Ausnutzungsfaktor dieser Anordnung derjenigen eines Einzelleiters mit dem Radius  $r$  und der Höhe  $H$  identisch wird. Die Kurven  $r_e/r$  streben schliesslich dem Wert 1 zu, und der Ersatzradius nimmt den Wert  $r$  an.

Somit wird deutlich, dass das elektrische Feld bei konstanter Höhe  $H$  im allgemeinen nur durch Vermehrung der Anzahl  $n$  der Teilleiter verbessert werden kann. Eine Verdopplung der Teilleiterzahl bringt im Mittel eine relative Vergrösserung des Ausnutzungsfaktors um 55 %. Dagegen hat der Teilleiterabstand  $s$  oder der Bündelradius  $R$  im Bereich der technischen Abmessungen kaum Einfluss auf den Ausnutzungsfaktor. Durch eine Vergrösserung des Teilleiterabstandes wird also nichts gewonnen. Diese Eigenschaften sollen durch einige Zahlenwerte unterstrichen werden. Für konstanten Teilleiterradius ergeben sich folgende Ausnutzungsfaktoren ( $q = 2$ ,  $H/r_1 = 500$ ):

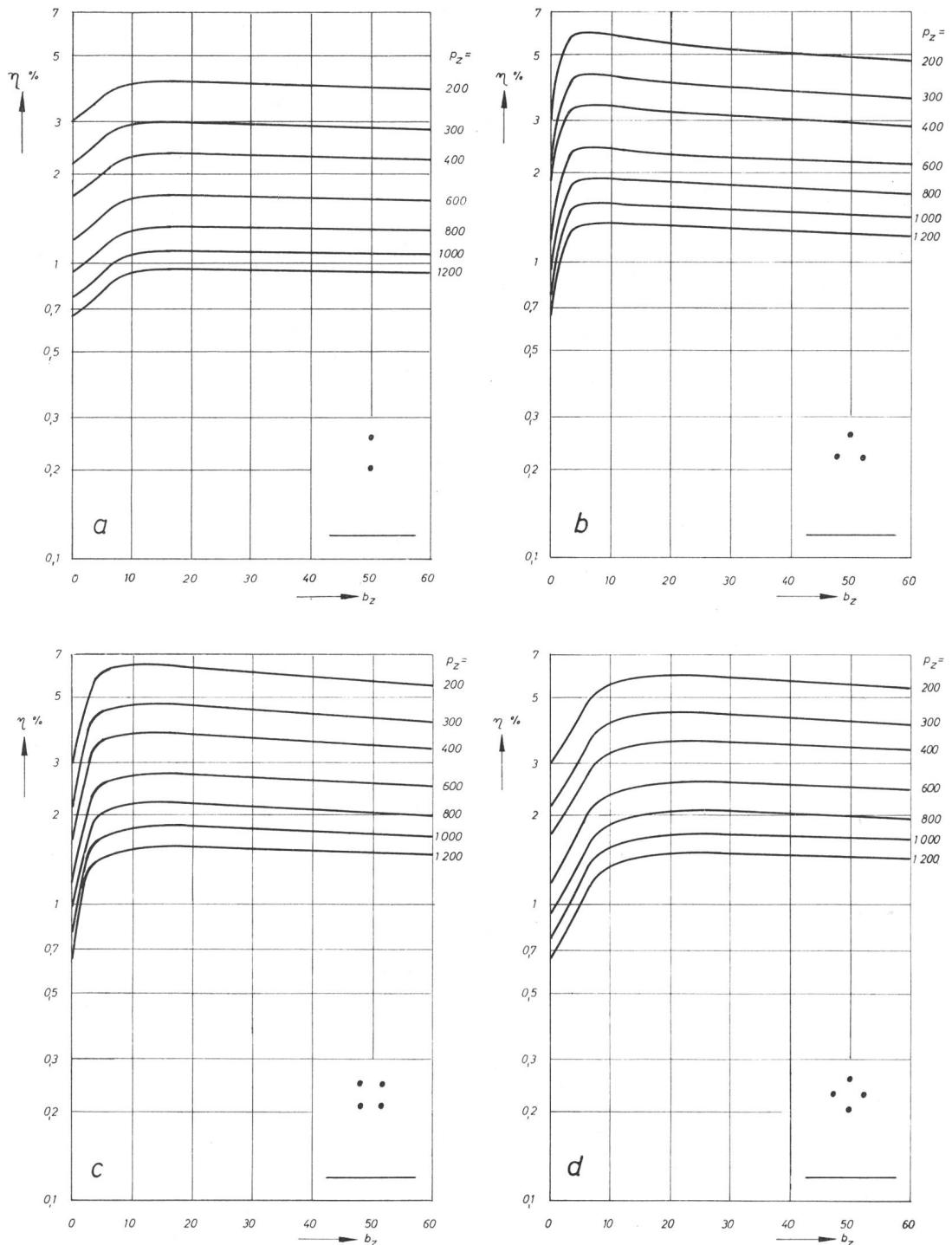
$n$	$R/r = 20\%$	$R/r = 50\%$
2	2,03	1,84
3	2,64	2,42
4	3,19	2,96
6	4,13	3,96
8	4,90	4,88

Mit  $q = 2$  und  $H/r_1 = 500$  errechnen sich unter Berücksichtigung konstanter Querschnittssumme die im Folgenden dargestellten Werte der Ausnutzungsfaktoren ( $r_1$  ist der Radius eines Einzelleiters, der denselben Querschnitt wie ein Bündel besitzt):

$n$	$R/r_1 = 20\%$	$R/r_1 = 50\%$
2	1,50	1,34
3	1,61	1,48
4	1,75	1,60
6	1,96	1,78
8	2,07	1,95

Diese Werte liegen niedriger als die oben aufgezeigten, da ja die Teilleiterradien kleiner sind, zeigen aber im übrigen ein ähnliches Verhalten.

**Fig. 8**  
**Ausnutzungsfaktoren  $\eta$  als Funktion der Bündelcharakteristik  $b_z$  mit geometrischer Charakteristik  $p_z$  als Parameter**  
*a Zweierbündel; b Dreierbündel; c Viererbündel (Lage  $q=2$ ); d Viererbündel (Lage  $q=4$ )*



Allgemein lässt sich sagen, dass auch die Lage der Bündel (Fig. 4) Einfluss auf die Ausnutzungsfaktoren und die Ersatzradien hat. Während ihre Werte bei kleiner Bündelcharakteristik  $b_z$  für  $q = 2$  höher liegen als für  $q = 4$ , ändern sich diese Verhältnisse bei grossem  $b_z$ . Prinzipiell ist dieses Ergebnis in Fig. 7 aufgezeichnet. Der Schnittpunkt verschiebt sich mit steigendem  $p_z$ , also grösser werdendem Abstand zur Ebene, zu grösseren  $b_z$  hin. Deshalb wird bei hohen Übertragungsspannungen vorteilhaft die Lage  $q = 2$  eingesetzt, während bei kleinen Abständen und wenigen Teilleitern die Lage  $q = 4$  nützlich sein kann.

Im Vergleich zur Anordnung Bündel gegen Hüllzyylinder [6; 7] haben die hier errechneten Ausnutzungsfaktoren und Ersatzradien im Durchschnitt 10 % höhere Werte. Dieses Verhalten wird verständlich, wenn die Ergebnisse der Figuren

Kreiszylinder gegen Ebene und konzentrische Kreise miteinander verglichen werden; denn die Ausnutzungsfaktoren der Anordnung Kreiszylinder—Ebene liegen ebenfalls etwa 10 % höher als die von konzentrischen Kreisen.

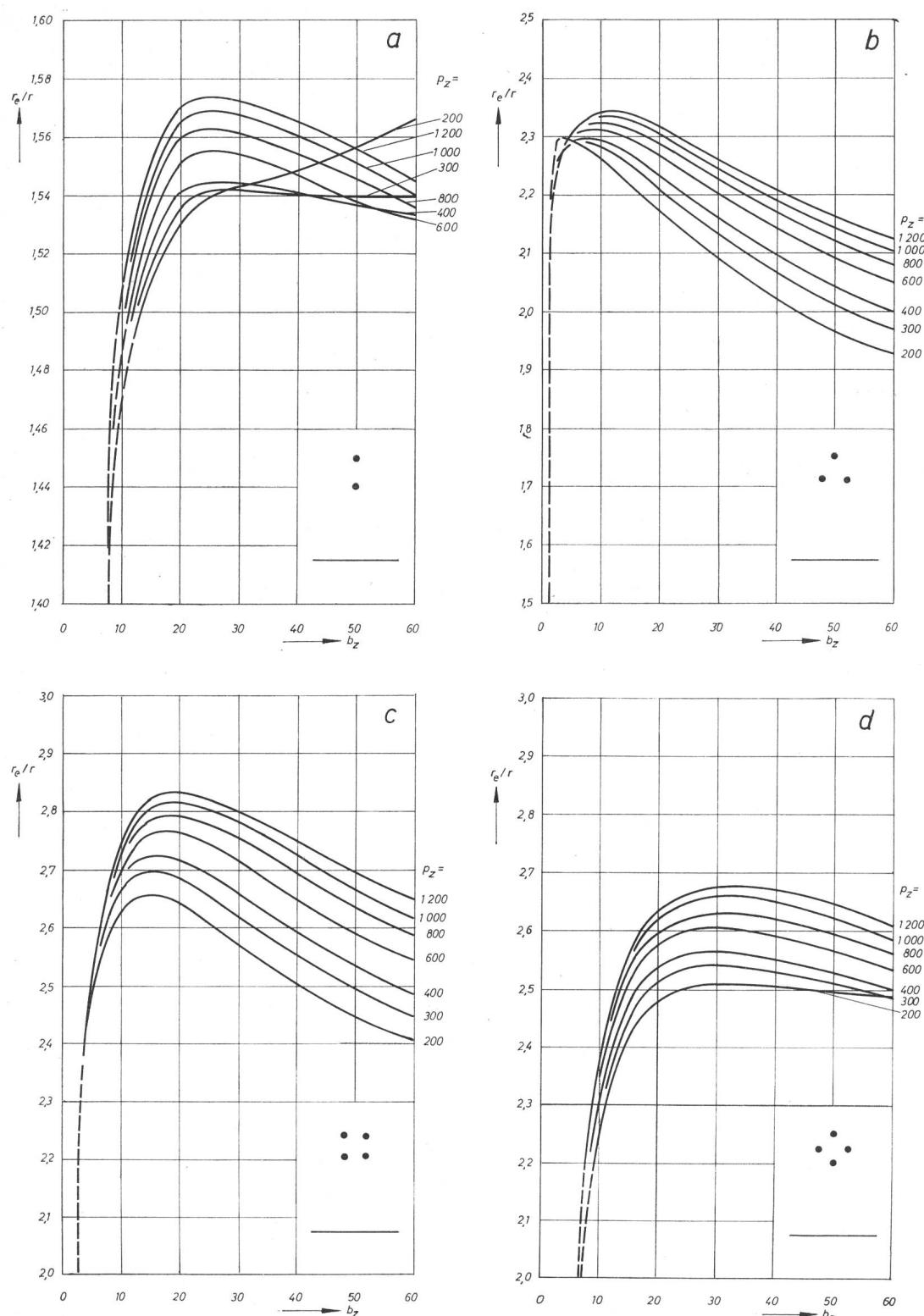
## 5. Zusammenfassung

Es ist erfreulich, dass das elektrostatische Feld des Bündelleiters mit verhältnismässig einfachen Mitteln der konformen Abbildung bestimmt werden kann. Durch die hier verwendete Transformation (2) lassen sich der Ausnutzungsfaktor und der feldstärkegleiche Ersatzradius eines Bündels ermitteln. Vorliegende Ausführungen zeigen damit einmal mehr die Bedeutung des Bündelleiters vom feldtheoretischen Gesichtspunkt aus. Weiteren Arbeiten bleibt es vorbehalten, mit Hilfe einer ähnlichen Abbildung die Felder von Gleichstrom- und Drehstrombündeln zu berechnen.

Fig. 9

Ersatzradien  $r_e$  als Funktion der  
Bündelcharakteristik  $b_z$  mit  
geometrischer Charakteristik  $p_z$   
als Parameter

a Zweierbündel; b Dreierbündel;  
c Viererbündel (Lage  $q=2$ ); d Viererbündel (Lage  
 $q=4$ )



### Literatur

- [1] G. Markt und B. Mengele: Drehstromfernübertragung mit Bündelleitern. E und M 50(1932)20, S. 293...298.
- [2] G. Markt: Bündelleiter und Hohlseil. In: Fortschritte der Hochspannungstechnik. Herausgegeben von W.O. Schumann und H. Prinz. Leipzig, Akademische Verlagsgesellschaft Geest und Portig, 1954, Bd. II, S. 28...45.
- [3] J. Reichmann: Bundled Conductor Voltage Gradient Calculations. Trans. AIEE Power Apparatus and Systems 78(1959), S. 598...607.
- [4] P. A. Abetti, C. B. Lindh and H. O. Simmons: Economics of Single and Bundle Conductors for Extra-High-Voltage Transmission. Trans. AIEE Power Apparatus and Systems 79(1960), S. 138...153.
- [5] H. Engelhardt: Einfluss der Beseilung auf die Höchstspannungsübertragung mit Freileitungen. Elektr.-Wirtsch. 60(1961)24, S. 911...918.
- [6] A. S. Timascheff: Field Patterns of Bundle Conductors and their Electrostatic Properties. Trans. AIEE Power Apparatus and Systems 80(1961)-, S. 590...597.
- [7] E. Rix, Gleichspannungskorona an Bündelleitern. Dissertation Technische Hochschule München, 1962.
- [8] A. S. Timascheff: Equigradient Lines in the Vicinity of Bundle Conductors. Trans. IEEE. Power Apparatus and Systems 82(1963)65, S. 104...110.
- [9] H. Prinz: Zur Feldberechnung von Höchstspannungs-Übertragungsanlagen. Bull. SEV 57(1966)26, S. 1199...1211.

### Adressen der Autoren:

Dipl.-Ing. H. Singer, wissenschaftlicher Assistent am Institut für Hochspannungs- und Anlagentechnik der Technischen Hochschule München, Arcisstrasse 21, D-8 München 2, und Dipl.-Ing. H. Bässler, Ebertring 1, D-894 Memmingen.