

Zeitschrift:	Bulletin de l'Association suisse des électriciens
Herausgeber:	Association suisse des électriciens
Band:	47 (1956)
Heft:	19
Artikel:	Les portées particulières dans le calcul de la résistance de lignes aériennes d'inclinaison quelconque
Autor:	Kohler, K.
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-1058228

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: 09.01.2026

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

teurs triphasés de 2000 kVA, qui avaient été mis à notre disposition par les NOK depuis 1932; ces transformateurs avaient pourtant été réparés et améliorés les années précédentes. Dans ce cas également, les CKW mirent à notre disposition trois transformateurs monophasés du même type que ceux qui nous avaient été donnés à Däniken par Motor Columbus. Après changement des connexions internes de ces trois transformateurs en fabrique, nous avons ainsi pu reprendre les essais de parafoudres en automne.

Lors d'essais de déclenchements, un de ces transformateurs subit d'abord une avarie, qui n'est pas encore réparée. Tous ces incidents retardèrent l'aménagement de Däniken et entraînèrent considérablement l'exécution des essais commandés.

A la fin de l'exercice écoulé, on constata un commencement de pourriture dans la charpente en bois du générateur de chocs à câbles datant de 1937, bien qu'elle ait été passée chaque année au carbolinéum. Il faudra prochainement songer à la remplacer.

Par contre, notre demande de machines-outils usagées pour nos ateliers de Däniken a été couronnée de succès. Nous avons reçu un grand tour des Ateliers de Construction Oerlikon, une perceuse et une fraiseuse de Landis & Gyr, ainsi qu'une autre perceuse de Sprecher & Schuh, tout cela à titre de dons. D'autre part, l'Atel nous a fourni plusieurs câbles pour l'extension des lignes de commande.

5. Séances et publications

En 1955, la FKH n'a tenu qu'une seule assemblée, en octobre, à Lucerne, au cours de laquelle furent liquidés les ordres du jour qui figurent d'ordinaire aux assemblées de printemps et d'automne. Ce groupage avait été rendu nécessaire par suite des travaux considérables, exigés par l'aménagement et les réparations, ce qui n'avait pas permis de procéder à beaucoup de travail de recherche. A cette assemblée, M. R. Pichard fit un rapport général sur les résultats de mesures de mises à la terre accidentelles effectuées sur le réseau

à 50 kV du Service de l'électricité de Bâle. Les participants visiteront ensuite la plate-forme d'essais de Mettlen, sous la conduite de M. Schiller, ingénieur en chef de Motor Columbus S. A. Baden.

Le Comité d'action de la FKH a tenu deux séances durant l'exercice écoulé, pour traiter des affaires courantes, ainsi que des travaux d'extension et des résultats des recherches en cours. Il fut également décidé de poursuivre les mesures des pertes par effet de couronne, qui sont entreprises maintenant par la FKH elle-même, depuis que le Groupe d'Etudes spécial a été supprimé. On discuta en outre de questions relatives à la pénurie de personnel, ainsi qu'à la mise à la retraite de M. A. Kleiner, délégué de l'ASE et de l'UCS auprès de la FKH, atteint par la limite d'âge. Le président remercia chaleureusement M. A. Kleiner pour sa longue collaboration au sein du Comité d'action.

En 1955, l'ingénieur chargé des essais a publié dans le Bulletin de l'ASE¹⁾ un rapport détaillé sur les dispositifs et les résultats des mesures de la foudre au Monte San Salvatore. Au début de 1956, un tiré à part de cet article, mais nettement plus documenté, a paru à l'intention des membres de la FKH.

En matière de surtensions dues aux mises à la terre accidentelles des réseaux à neutre isolé, le rapport sur les mesures faites à Däniken, que M. R. Pichard a présenté à l'assemblée de la FKH en 1954 à Berne, a été remis au Bulletin de l'ASE pour publication²⁾.

MM. R. Rutz et E. Trümpy ont procédé à leurs travaux de doctorat au laboratoire à haute tension de l'EPF. Dès qu'elles seront publiées, ces dissertations seront également remises aux membres de la FKH.

L'ingénieur chargé des essais:
K. Berger

¹⁾ Bull. ASE t. 46(1955), n° 9, p. 405...424.

²⁾ Bull. ASE t. 47(1956), n° 11, p. 485...517.

Les portées particulières dans le calcul de la résistance de lignes aériennes d'inclinaison quelconque

Par K. Kohler, Carlsruhe

621.315.17.056.1.001.24

En se basant sur les suppositions habituelles concernant la charge, l'auteur justifie deux portées critiques, également avec points d'appui de hauteurs inégales, pour déterminer les valeurs initiales de l'équation d'état des conducteurs câblés de lignes aériennes. Il montre en outre quelles sont les portées maxima qui peuvent encore être réalisées.

Mit üblichen Lastannahmen werden zur Feststellung der Eingangswerte für die sog. Zustandsgleichung der Freileitungssäule zwei kritische Spannweiten auch bei ungleich hohen Aufhängepunkten begründet. Ferner werden die grössten Spannweiten, die überhaupt noch ausführbar sind, nachgewiesen.

Le calcul des flèches de conducteurs câblés de lignes aériennes comporte généralement deux cas de charge, pour lesquels les tensions admissibles ($\sigma_{adm.}$) ne doivent pas être dépassées pour la sécurité usuelle. Il est évident que le matériau ne doit pas être sollicité outre mesure par sa propre charge à la température la plus basse $\delta_{min.}$ Il faut toutefois tenir normalement compte de charges additionnelles (vent, glace, etc.) à une température intermédiaire δ_z , qui ne doivent pas non plus solliciter exagérément les conducteurs. Comme on le sait, c'est la première portée critique $a_{cr.1}$, définie pour des portées dont les appuis sont au même niveau, qui décide de celui des deux cas de charge donnant lieu à la plus forte contrainte du matériau.

On peut en outre exiger la preuve que la tension du conducteur câblé, pour une charge additionnelle n fois plus grande, également pour δ_z , laisse une marge de sécurité moindre, mais encore suffisante, par exemple celle de la résistance à la traction permanente σ_p . Ce cas de charge est alors seul prépondérant lorsque la longueur d'une portée dépasse une grandeur déterminable individuellement. Cette

valeur particulière présente donc, en principe, la même propriété caractéristique que $a_{cr.1}$. Il est par conséquent plus correct de parler dans ce cas d'une deuxième portée critique $a_{cr.2}$ et non pas d'une portée limite, cette notion pouvant laisser entendre faussement que des portées encore plus grandes ne seraient pas réalisables.

La résistance du matériau et la charge déterminent toutefois effectivement une portée maximum a_{max} , qui ne doit évidemment pas être dépassée dans un cas particulier.

1. Signification de l'équation d'état pour une portée inclinée

G. Schmidt [1]¹⁾ a démontré que l'équation bien connue

$$\frac{a^2}{24} \left[\left(\frac{\gamma_1}{\sigma_{m1}} \right)^2 - \left(\frac{\gamma_0}{\sigma_{m0}} \right)^2 \right] = \alpha(\sigma_{m1} - \sigma_{m0}) + \varepsilon(\delta_1 - \delta_0) \quad (1)$$

¹⁾ Le chiffre entre crochets et ceux qui suivent se rapportent aux références de la bibliographie annexée à cet article.

(γ étant le poids rapporté du conducteur, α et ε le coefficient d'allongement élastique et thermique, respectivement) décrit correctement les modifications d'état, c'est-à-dire le passage des valeurs d'indice 0 (état initial) aux valeurs d'indice 1, ceci quelle que soit l'inclinaison de la portée, si l'on entend par a la distance horizontale entre les points d'appui et par σ_m des deux indices la tension existante au point de fléchissement maximum du conducteur câblé et agissant dans la direction de cette corde dans toute la portée (tension à la corde).

La tension maximum possible se présente toujours au plus élevé des points d'appui (σ_B). Si cette valeur doit être limitée à $\sigma_{adm.}$ ou à σ_P , il faut alors ramener tout d'abord ces grandeurs aux valeurs à la corde $\sigma_{m\,adm.}$ ou σ_{mP} à introduire dans l'équation (1). En ce qui concerne la relation entre σ_B et σ_m , nous avons démontré dans un autre article [2], à propos de la chaînette, qu'elle a la forme suivante:

$$\sigma_B = \sigma_m \cos \beta \cosh (\beta'' + \psi) \quad (2)$$

$$\text{ou } \psi = \frac{a' \gamma}{2 \sigma_m} = \frac{a \gamma}{2 \sigma_m \cos \beta} \quad (3)$$

$$\operatorname{tg} \beta' = \frac{\psi}{\sinh \psi} \quad (4)$$

$$\text{et } \beta'' = \operatorname{arsinh} (\operatorname{tg} \beta') \quad (5)$$

(a' étant la portée inclinée, ψ la grandeur caractéristique de la portée et $\operatorname{tg} \beta'$ l'inclinaison de la tangente au milieu de la portée). L'abaque de la fig. 1 permet de déterminer β'' lorsque l'on connaît ψ et $\operatorname{tg} \beta$ selon les équations (4) et (5).

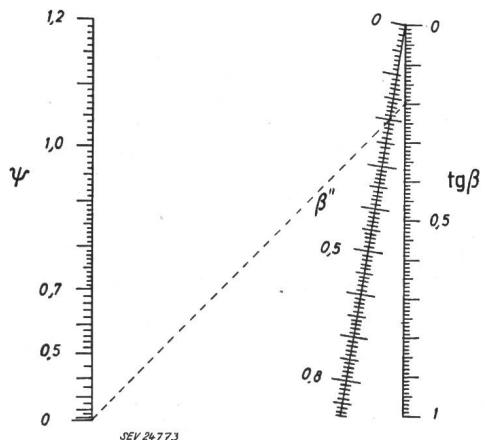


Fig. 1

Abaque pour la détermination de la valeur auxiliaire β''
 $\operatorname{tg} \beta$ Inclinaison de la portée; ψ Caractéristique de la portée;
 β'' valeur auxiliaire selon définition particulière

En introduisant les autres valeurs auxiliaires

$$\psi_B = \frac{a \gamma}{2 \sigma_B \cos \beta} \quad (6)$$

$$\text{et } \psi' = \psi + \beta'' \quad (7)$$

l'équation (2) devient:

$$\psi_B \cosh \psi' + \beta'' = \psi' \quad (8)$$

et peut être représentée sous forme d'abaque selon la fig. 2. La grandeur β'' ne dépend que très peu de la grandeur caractéristique ψ de la portée, de sorte qu'elle peut être déterminée en première approxima-

tion avec $\psi = \psi_B$ (ou avec $\psi = 0$) et avec l'inclinaison réelle de la portée, sur l'abaque de la fig. 1. Avec cette valeur, on obtient à l'aide de l'abaque de la fig. 2 la première approximation de ψ' ou,

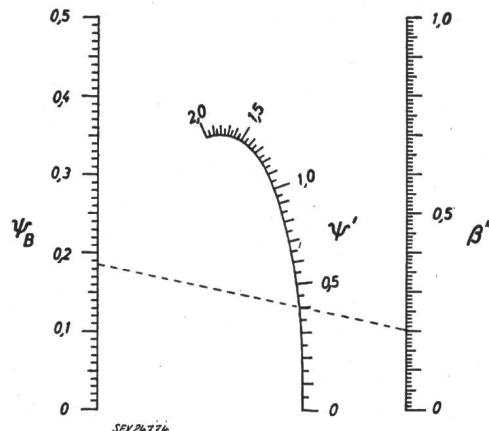


Fig. 2

Abaque pour la détermination de la valeur auxiliaire ψ'
 β'' , ψ' et ψ_B Valeurs auxiliaires selon définition particulières

selon l'équation (7), de $\psi_1 = \psi_1' - \beta''$. Connaissant ainsi ψ_1 , β'' peut être déterminé plus exactement et être ensuite utilisé pour améliorer ψ' ou ψ . Ce procédé itératif pourra être poursuivi si cela est nécessaire. En comparant les équations (3) et (6), on obtient pour la tension à la corde la relation:

$$\sigma_m = \frac{\psi_B}{\psi} \sigma_B \quad (9)$$

Considérons, à titre d'exemple, le cas d'un conducteur câblé en acier très résistant, avec $\gamma_L = 7,8 \cdot 10^{-3}$, $\gamma_z = 3 \cdot 10^{-3}$, ($\bar{\gamma} = 10,8 \cdot 10^{-3}$) kg/cm^3 , $\sigma_{adm.} = 60 \text{ kg/mm}^2$ pour les dimensions de la portée $a = 2000 \text{ m}$, $a' = 2040 \text{ m}$ et $\operatorname{tg} \beta = 0,2$. Nous avons $\beta'' = 0,2$ (fig. 1), $\psi_B = 2040 \cdot 10,8 \cdot 10^{-3} / 2,60 = 0,184$ [équation (6)], $\psi' = 0,4$ (fig. 2) et $\psi = 0,4 - 0,20 = 0,2$ [équation (7)]. Une correction de β'' avec cette valeur de ψ par la fig. 1 ne donne pas de modification; on a donc $\sigma_{m\,adm.} = 60 \cdot 0,184 / 0,2 = 55,2 \text{ kg/mm}^2$.

L'équation (2) peut également être mise sous la forme $\psi_B = \psi / \cosh (\beta'' + \psi)$, ce qui permet de constater une valeur maximum de ψ_B par la condition de valeur extrême $\beta'' = \operatorname{artgh} (1/\psi_{ex.}) - \psi_{ex.}$, en admettant que β'' est constant, ce qui est plus ou moins admissible. Dans la zone $0 \leq \operatorname{tg} \beta \leq 1$, les valeurs de $\psi_{ex.}$ varient entre 1,035 et 1,2; si nous adoptons une valeur moyenne de 1,15 nous obtenons $\psi_{ex.} / \sinh \psi_{ex.} = 0,82$ et par conséquent $\beta'' = \operatorname{arsinh} (0,82 \operatorname{tg} \beta)$. D'autre part, les valeurs effectivement déterminées de $\psi_{ex.}$ par l'équation pour ψ_B qui vient d'être indiquée, nous donnent les valeurs maxima correspondantes $\psi_{B\,max}$ en fonction de β'' . Ensemble, ces deux relations conduisent alors à la double échelle de la fig. 3. Ces valeurs de $\psi_{B\,max}$ ne peuvent pas du tout être dépassées; il s'ensuit la règle de dimensionnement suivante, qui est surtout importante pour les très grandes portées:

$$\frac{a' \gamma}{2 \sigma_B} \leq \psi_{B\,max} \quad (10)$$

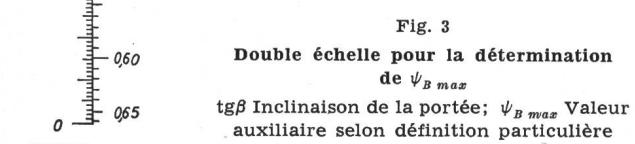
Suite de la page 864

Les portées particulières dans le calcul de la résistance de lignes aériennes d'inclinaison quelconque (Suite)

A l'aide de l'équation d'état (3) dérivée de la chaînette, on pourrait d'ailleurs montrer que l'équation

1,0
0,35
0,40
0,5
0,60
0,65
0
tg β
 $\psi_{B_{max}}$

l'équation (1) peut être appliquée avec une grande précision pour la détermination de portées critiques, à la condition que les quotients γ_0/σ_{m0} et γ_1/σ_{m1} décisifs dans ce cas n'aient pas approximativement la même valeur.



SEV 24775

2. La première portée critique

Pour l'établissement de tableaux des tensions de pose (flèche du conducteur chargé par son propre poids, en fonction de la température), il y a lieu d'utiliser dans l'équation (1) les valeurs initiales, $\sigma_0 = \sigma_{adm.}$ ou $\sigma_0 = \sigma_{m adm.}$ et soit $\gamma_0 = \gamma_L$ (poids propre rapporté du conducteur) et $\delta_0 = \delta_{min}$, soit $\gamma_0 = \bar{\gamma}$ (poids rapporté du conducteur avec charge additionnelle normale $= \gamma_L + \gamma_z$, γ_z étant la charge additionnelle rapportée). Si l'on introduit les deux états possibles dans l'équation (1), celle-ci peut être résolue pour $a_{cr.1}$

$$a_{cr.1} = \sigma_{adm.} \sqrt{\frac{24 \varepsilon (\delta_z - \delta_{min})}{\bar{\gamma}^2 - \gamma_L^2}} \quad (11)$$

(cf. [4]). Les courbes d'état correspondant à l'équation (1) étant, d'une façon tout à fait générale, d'autant plus raides par rapport à l'axe des températures que la portée est plus petite [5], il s'ensuit que le conducteur soumis à sa propre charge ou avec une charge additionnelle détermine l'introduction dans l'équation (1), selon que la portée est plus petite ou plus grande que $a_{cr.1}$.

L'équation (11) est également valable pour des portées inclinées, si l'on remplace $\sigma_{adm.}$ par $\sigma_{m adm.}$ et si l'on tient compte que $a_{cr.1}$ est l'écartement horizontal critique des points d'appui. Le procédé de détermination de $\sigma_{m adm.}$ tiré de $\sigma_B = \sigma_{adm.}$ et motivé à la fois par les fig. 1 et 2, n'est pas directement applicable, car l'on ne connaît pas la grandeur de a ($a_{cr.1}!$) nécessaire pour pouvoir déterminer σ_B selon l'équation (7). On a toutefois une première approximation selon l'équation (10) avec $\sigma_{m adm.} = \sigma_{adm.}$, c'est-à-dire en admettant que la tension au point d'appui supérieur est égale à celle de la flèche. Cette valeur permet alors de déterminer les deux paramètres $\psi_B' = a_{cr.1} \gamma_L/2 \sigma_{adm.}$ et $\psi_B'' = a_{cr.1} \bar{\gamma}/2 \sigma_{adm.}$ selon l'équation (7) avec $\gamma = \gamma_L$ et $\gamma = \bar{\gamma} = \gamma_L + \gamma_z$. A l'aide des abaques des fig. 1 et 2, ces paramètres donnent, comme nous l'avons décrit, les deux valeurs à la corde $\sigma'_{adm.}$ et $\sigma''_{adm.}$ pour le conducteur avec charge propre et le conducteur avec charge additionnelle, respectivement. Selon

l'équation (1), la portée horizontale critique améliorée devient:

$$a_{cr.1} = \sigma'_{adm.} \sqrt{\frac{24 \varepsilon (\delta_z - \delta_{min})}{\left(\frac{\sigma''_{adm.}}{\sigma'_{adm.}} \bar{\gamma}\right)^2 - \gamma_L^2}} \quad (12)$$

Cette valeur permet d'obtenir au besoin une précision encore meilleure. Les valeurs initiales pour l'équation (1) sont alors:

Pour $a \leq a_{cr.1}$:

$$\begin{cases} \sigma_0 = \sigma'_{adm.} \\ \gamma_0 = \gamma_L \\ \delta_0 = \delta_{min} \end{cases} \quad (13a)$$

Pour $a > a_{cr.1}$:

$$\begin{cases} \sigma_0 = \sigma''_{adm.} \\ \gamma_0 = \bar{\gamma} \\ \delta_0 = \delta_z \end{cases} \quad (13b)$$

Il y aurait encore lieu de faire remarquer qu'une correction de $a_{cr.1}$ selon l'équation (12) ne modifierait guère les résultats de l'équation (11), dans les cas habituels, de sorte que l'on peut presque toujours introduire $\sigma_0 = \sigma_{m adm.} \approx \sigma_{adm.}$ dans les équations (13a) et (13b).

3. La deuxième portée critique

Si la tension pour une charge additionnelle n fois plus grande doit encore être limitée à σ_P ($\sigma_P > \sigma_{adm.}$), il existe également une portée pour laquelle, dans certaines conditions, la charge additionnelle normale et celle n fois plus grande sont déterminantes pour les tensions admissibles. Dans l'équation (1), il faut introduire pour celle-ci:

$$\begin{aligned} \sigma_0 &= \sigma_{m adm.}, \quad \gamma_0 = \bar{\gamma} = \gamma_L + \gamma_z, \\ \sigma_1 &= \sigma_{mP}, \quad \gamma_1 = \bar{\gamma}_n = \gamma_L + n \gamma_z \\ \text{et } \delta_0 &= \delta_1 = \delta_z \end{aligned}$$

La résolution de l'équation (1) donne alors pour la deuxième portée critique, l'équation

$$a_{cr.2} = \sqrt{\frac{24 \alpha (\sigma_{mP} - \sigma_{adm.})}{\left(\frac{\bar{\gamma}}{\sigma_{mP}}\right)^2 - \left(\frac{\bar{\gamma}}{\sigma_{adm.}}\right)^2}} \quad (14)$$

Si nous désignons par n' le rapport entre les poids du conducteur avec charge n fois plus grande et avec charge additionnelle simple, selon l'équation

$$n' = \frac{1 + n v}{1 + v} \quad (15)$$

(v étant le rapport entre la charge additionnelle normale et le poids propre du conducteur), selon l'abaque de la fig. 4, et si nous introduisons les autres notations abrégées

$$m = \frac{\sqrt{24 \alpha}}{\gamma_L} \quad (16)$$

$$\kappa_1 = \frac{\sigma_{m adm.}^{1/2}}{1 + v} \quad (17)$$

$$\kappa_2 = \sqrt{\frac{\sigma_{mP}}{\sigma_{adm.}}} - 1 \quad (18)$$

et

$$\kappa_3 = \sqrt{\frac{n'^2}{\left(\frac{\sigma_{mP}}{\sigma_{adm.}}\right)^2} - 1} = \sqrt{\left(\frac{n'}{1 + \kappa_2^2}\right)^2 - 1} \quad (19)$$

qui peuvent être tirées de la double échelle de la fig. 5 et des abaques des fig. 6, 7 et 8, nous aurons également

$$a_{kr.2} = m \frac{\kappa_1 \kappa_2}{\kappa_3} \quad (20)$$

Aussi bien pour les portées à points d'appui au même niveau, que pour celles à points d'appui de hauteurs différentes, il y a lieu de déterminer comme

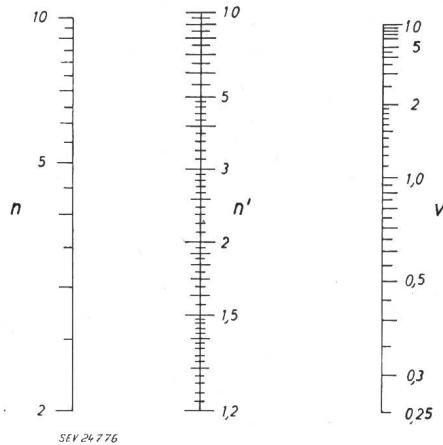


Fig. 4

Abaque pour la détermination du rapport des poids n' entre conducteur chargé n fois et conducteur avec charge additionnelle normale

v Rapport entre la charge additionnelle normale et le poids propre du conducteur

précédemment, ou au besoin itérativement, les valeurs à la corde $\sigma_{m \text{ adm.}}$ et σ_{mP} qui correspondent aux tensions maxima admissibles $\sigma_{adm.}$ et σ_P .

Pour l'établissement de tableaux des tensions de pose, il y aura alors lieu d'adopter, pour a plus grand que $a_{cr.2}$:

$$\sigma_0 = \sigma_{mP}, \gamma_0 = \bar{\gamma}_n = (1 + n v) \gamma_L, \quad (21)$$

$$\gamma_1 = \gamma_L \text{ et } \delta_0 = \delta_z$$

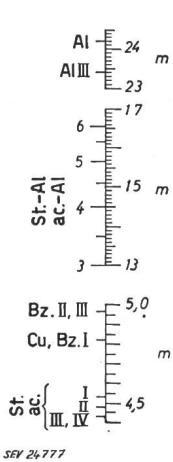


Fig. 5
Double échelle pour la détermination de la valeur du métal m
St = Acier Bz = Bronze

n'aurait plus d'importance sous la forme définie. Dans l'équation (12), charge additionnelle n fois plus grande pour σ_{mP} apparaît alors d'emblée avec la charge propre.

Pour un conducteur câblé en bronze, supposons que $\gamma_L = 8,65 \cdot 10^{-3} \text{ kg/cm}^3$, $\gamma_z = 24,25 \cdot 10^{-3} \text{ kg/cm}^3$ ($v = \gamma_z/\gamma_L = 2,8$), $\sigma_P = 50 \text{ kg/mm}^2$ et $\sigma_{adm.} = 30 \text{ kg/mm}^2$. Admettons en outre que $\operatorname{tg} \beta = 0,2$ et $n = 2$.

Nous obtenons la première approximation avec $\sigma_{m \text{ adm.}} = \sigma_{adm.}$ et $\sigma_{mP} = \sigma_P$, de sorte que $m = 4,97$ (fig. 5), $\kappa_1 = 43$ (fig. 6), $n' = 1,75$ (fig. 4), $\kappa_2 = 0,82$ (fig. 7), $\kappa_3 = 0,32$ [équation (19)] et par consé-

quent $a_{cr.2} = 4,97 \cdot 43 \cdot 0,82 / 0,32 = 550 \text{ m}$ ($a' = 560 \text{ m}$). A l'aide des abaques fig. 1 et 2, nous obtenons pour cette portée $\sigma_{m \text{ adm.}} = 26,5 \text{ kg/mm}^2$ et $\sigma_{mP} = 43,2 \text{ kg/mm}^2$. En répétant le calcul, nous

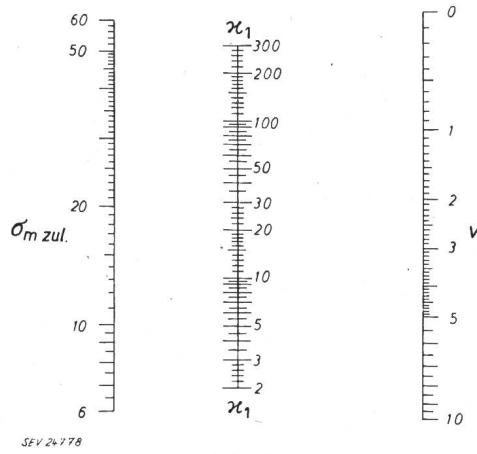


Fig. 6

Abaque pour la détermination de la valeur auxiliaire κ_1
 v Rapport entre la charge additionnelle normale et le poids propre du conducteur; $\sigma_{m \text{ adm.}}$ Tension admissible au point de fléchissement maximum, en kg/mm^2 , pour une sécurité normale; κ_1 Valeur auxiliaire selon définition particulière

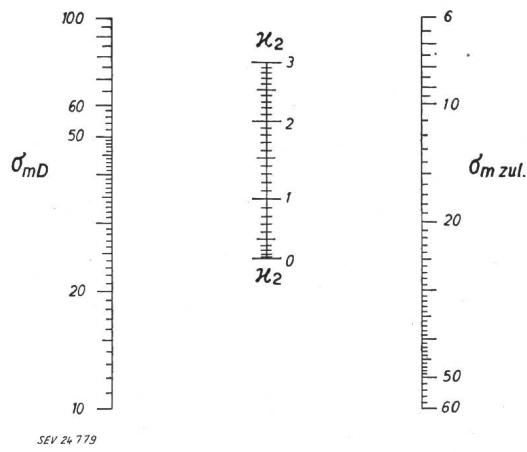


Fig. 7

Abaque pour la détermination de la valeur auxiliaire κ_2
 $\sigma_{m \text{ adm.}}$ et σ_{mP} Tensions admissibles au point de fléchissement maximum, en kg/mm^2 , pour une sécurité normale et pour une sécurité réduite, respectivement; κ_2 Valeur auxiliaire selon définition particulière

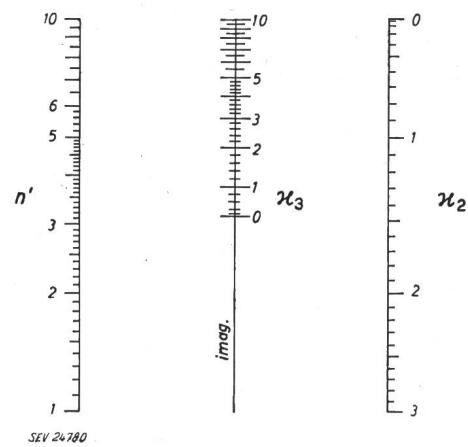


Fig. 8

Abaque pour la détermination de la valeur auxiliaire κ_3
 n' Rapport entre le poids du conducteur chargé n fois et celui du conducteur avec charge additionnelle normale; κ_2 et κ_3 Valeurs auxiliaires selon définitions particulières

obtenons avec ces valeurs $\kappa_1 = 35,9$, $\kappa_2 = 0,83$, $\kappa_3 = 0,388$ et ainsi, avec une meilleure approximation $a_{cr.2} = 382$ m. En poursuivant l'itération, le résultat ne changerait guère.

4. La portée maximum possible

De même qu'un conducteur câblé pendant verticalement ne peut prendre qu'une longueur de rupture limitée par la capacité de charge de sa section, un conducteur suspendu à deux points d'appui ne peut pas être tendu à volonté. Son poids total et sa résistance mécanique donnent lieu, dans ce cas également, à une limite naturelle.

Si nous considérons les équations (3), (6) et (7) et introduisons la rotation abrégée

$$\tau = \frac{\psi_B}{\psi} = \frac{\sigma_m}{\sigma_B} \quad (22)$$

l'équation (8) se transforme en $(a\gamma/2\sigma_m \cos\beta) = \operatorname{arcosh}(1/\tau) - \operatorname{arsinh}(\operatorname{tg}\beta')$ ou, après résolution selon a , en

$$a = 2 \frac{\sigma_B}{\gamma} \frac{\operatorname{arcosh} \frac{1}{\tau} - \operatorname{arsinh}(\operatorname{tg}\beta')}{\frac{1}{\tau}} \quad (23)$$

Bien que $\operatorname{tg}\beta'$ dans une portée inclinée dépende légèrement de ψ et par conséquent de τ , on peut admettre approximativement que cette inclinaison est constante (à peu près égale à $\operatorname{tg}\beta$!), puis tenir ensuite compte itérativement de l'influence de cette approximation. Si nous différentions l'équation (23) selon $1/\tau$ et posons que le quotient est nul, nous obtenons pour la grandeur τ_{ex} qui conditionne la valeur extrême de a la relation

$$\operatorname{arcosh} \frac{1}{\tau_{ex}} + \frac{1}{\sqrt{1 - \tau_{ex}^2}} = \operatorname{arsinh}(\operatorname{tg}\beta') \quad (24)$$

La deuxième dérivée de l'équation (23) confère à la valeur correspondante de a le caractère d'un maximum. L'équation (24) est représentée par la double échelle de l'abaque de la fig. 9. Si nous introduisons dans l'équation (23) la condition de

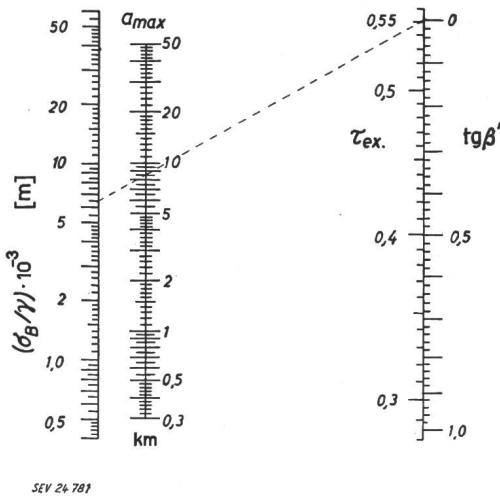


Fig. 9

Abaque pour la détermination de la portée maximum possible σ_B Tension maximum admissible au point d'appui supérieur, en kg/mm^2 ; γ Poids rapporté du conducteur avec charge additionnelle, en $\text{kg/m} \cdot \text{mm}^2$; $\operatorname{tg}\beta'$ Inclinaison de la tangente au milieu de la portée; τ_{ex} Valeur auxiliaire selon définition particulière

minimum, la valeur la plus grande de la portée horizontale est

$$a_{max} = 2 \frac{\sigma_B}{\gamma} \frac{\tau_{ex}}{\sqrt{1 - \tau_{ex}^2}} \quad (25)$$

d'après l'abaque de la fig. 9; dans ce cas, σ_B est la résistance limité (σ_B !) et γ le poids maximum rapporté du conducteur, compte tenu de toutes les charges additionnelles. De l'équation (25), par l'équation (22), il en résulte pour la grandeur caractéristique de la portée du conducteur tendu sur la portée de longueur extrême

$$\psi_{ex.} = \frac{1}{\sqrt{1 - \tau_{ex}^2}} \quad (26)$$

qui doit être tirée de la double échelle de l'abaque de la fig. 10. L'influence de la légère modification de $\operatorname{tg}\beta'$ de ψ peut encore être considérée ultérieurement par l'équation (4), représentée à nouveau sur la fig. 10 pour le domaine qui nous occupe. Il suffit

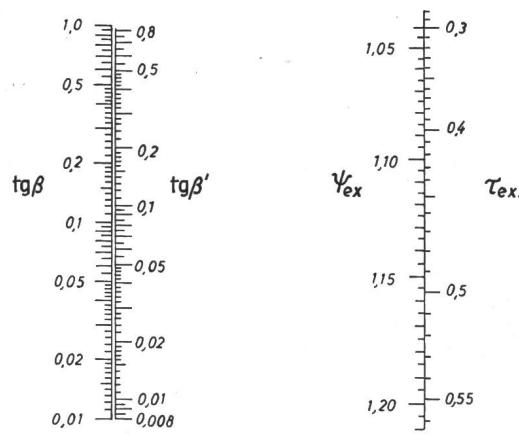


Fig. 10

Abaque pour la détermination de l'inclinaison de la tangente $\operatorname{tg}\beta'$ au milieu de la portée
 $\operatorname{tg}\beta'$ Inclinaison de la portée; $\tau_{ex.}$ et $\psi_{ex.}$ Valeurs auxiliaires selon définition particulières

d'introduire dans la fig. 10 la valeur de $\tau_{ex.}$ pour $\operatorname{tg}\beta' = \operatorname{tg}\beta$ dans la fig. 9 et de procéder à une nouvelle détermination avec la valeur plus précise de $\operatorname{tg}\beta' a_{max}$ à l'aide de la fig. 9.

Pour des points d'appui au même niveau, on obtient la portée maximum possible pour un genre de conducteur câblé donné. Dans ce cas, selon les fig. 9 et 10, on a $\tau_{ex.} = 0,553$ et $\psi_{ex.} = 1,2$, puis selon l'équation (25).

$$a_{max} = 1,325 \frac{\sigma_B}{\gamma} \quad (27)$$

La flèche rapportée de cette disposition est alors, selon la chaînette,

$$\frac{f}{a} = \frac{\sinh^2 \left(\frac{\psi_{ex.}}{2} \right)}{\psi_{ex.}} = 0,337 = 33,7\% \quad (28)$$

Cette pose vraiment très lâche d'un conducteur câblé ne sera généralement pas réalisable économiquement, voire impossible.

Supposons que nous ayons, pour un conducteur câblé en acier de haute qualité, $\sigma_{adm.} = 60 \text{ kg/mm}^2$, $\sigma_B = 120 \text{ kg/mm}^2$, $\gamma = 9,3 \cdot 10^{-3} \text{ kg/m} \cdot \text{mm}^2$ et $\gamma_n = 10,8 \cdot 10^{-3} \text{ kg/m} \cdot \text{mm}^2$. Etant donné que selon

l'équation (19) κ_3 est imaginaire avec $n' = 10,8/9,3 = 1,16$ et $\sigma_{mP}/\sigma_m \text{ adm.} \approx 2$, c'est la charge additionnelle normale qui détermine la sollicitation maximum admissible du matériau, pour toutes les portées. Il faut par conséquent introduire $\gamma = \bar{\gamma}$ et $\sigma_B = \sigma_{\text{adm.}}$ dans l'équation (27). Nous obtiendrons alors $a_{\text{max}} = 1,325 \cdot 60 \cdot 10^3/9,3 = 8550 \text{ m}$ (fig. 9).

Bibliographie

- [1] Schmidt, G.: Die Berechnung des Durchhangs und der Beanspruchung von Freileitungen an ungleich hohen Aufhängepunkten. ETZ t. 49(1928), n° 6, p. 208...214.

- [2] Kohler, K.: Fluchtentafeln zur Berechnung von Kettenlinien beliebig geneigter Spannfelder von Freileitungen. E u. M t. 68(1951), n° 14, p. 333...336.
 [3] Kohler, K.: Einfluss der Kettenlinie auf die Zustandsänderung beliebig geneigter Spannfelder von Freileitungen. E u. M t. 68(1951), n° 19, p. 468...470.
 [4] Kohler, K.: Neue Fluchtentafeln zur Durchhangsbestimmung von Freileitungen beliebig geneigter Spannfelder. ETZ t. 71 (1950), n° 10, p. 243...245.
 [5] Kohler, K.: Der Einfluss ungleicher Spannweiten auf Zugspannungen und Durchhang von Freileitungen mit Stützenisolatoren. E u. M t. 53(1935), n° 48, p. 565...568.

Adresse de l'auteur:

Dr. K. Kohler, privat-docent, 8, Putlitzstrasse, Carlsruhe (Allemagne).

Technische Mitteilungen — Communications de nature technique

Verfärbung farbiger Objekte durch Licht

535.21 : 620.193.6

[Nach J. J. Balder: Verfärbung farbiger Objekte durch die Einwirkung von Tageslicht, Glühlampenlicht und Leuchtstofflampenlicht. Lichttechnik Bd. 8(1956), Nr. 2, S. 57...61]

Es ist hinlänglich bekannt, dass sich farbige Oberflächen von Gegenständen mehr oder weniger verfärbten. Handwerker und Künstler verwenden deshalb Farbstoffe, von denen sie auf Grund von Erfahrungen wissen, dass sie möglichst wenig verschwinden, Farbchemiker versuchen Farben hoher Lichtbeständigkeit herzustellen, und Museumskonservatoren suchen die Kunstgegenstände vor nachteiligen Wirkungen durch das Licht zu schützen und sind darauf bedacht, die geeignete Lichtart für die Beleuchtung zu finden. Die nachteilige Wirkung farbiger Gegenstände besteht zur Hauptsache in der Verfärbung, die von Lichtart zu Lichtart und von Objekt zu Objekt verschieden sein kann und vornehmlich von der Wellenlänge des auffallenden Lichtes abhängt. Im grossen und ganzen bewirkt der kurzwellige Teil des Spektrums die stärkste Verfärbung.

In einer systematischen Untersuchungsreihe wurde die verfärbende Wirkung von vier Lichtarten, die wegen ihrer Farbwiedergabeigenschaften oft in Betracht fallen, an verschiedenartigen Farbmustern, wie sie in der Praxis zur Verwendung gelangen, untersucht. Die Lichtarten waren:

1. Natürliches, vorwiegend diffuses Tageslicht, das durch 4 mm dickes Fensterglas gefiltert wurde;
2. Glühlampenlicht von normalen 100-W-Lampen mit einer Farbtemperatur von etwa 2750 °K;
3. Licht von Fluoreszenzlampen «warmton de Luxe»;
4. Licht von Fluoreszenzlampen «weiss de Luxe».

Die 80 verwendeten Farbmuster 5 verschiedener Gruppen bestanden aus flachen Proben, meist in Streifen von 4 x 10 cm, die z. T. zugedeckt, z. T. der Strahlung ausgesetzt wurden und zwar:

- a) 30 Ölfarben, auf Malerleinwand aufgetragen;
- b) 13 Wasserfarben, auf Zeichenpapier aufgespritzt;
- c) 20 Garnproben, die einzeln auf Zellonstreifen aufgewickelt waren, so dass 10...15 Fäden direkt nebeneinander lagen;
- d) 12 Stoffproben;
- e) 5 Wasserfarben, auf Zeichenpapier aufgestrichen.

Die Proben wurden senkrecht, nach Nordosten gerichtet, aufgestellt und von April bis August dem natürlichen Licht ausgesetzt. Die höchste Beleuchtungsstärke erreichte bei diffusem Licht je nach Jahreszeit 8000...13 000 lx, bei direkter Sonnenbestrahlung bis 20 000 lx und die Tagesdosen je nach Jahreszeit und Witterung 40 000...150 000 lxh. Die gesamte Belichtung während des Versuches betrug 8 Mlxh (8 Millionen Luxstunden). Die Temperatur entsprach der Zimmertemperatur.

Die Proben, die den übrigen 3 Lichtarten ausgesetzt waren, erhielten dieselbe Lichtdosis. Die Dauerbeleuchtungsstärke war bei Glühlampenlicht ca. 5500 lx; die Temperatur der Objekte lag 12...19 °C über der Zimmertemperatur. Bei den beiden Fluoreszenzlichtarten betrug die Dauerbeleuch-

tungsstärke ca. 7500 lx, und die Temperatur 15 °C über Zimmertemperatur.

Die Verfärbung farbiger Objekte wird von vielen Faktoren bestimmt. Unter diesen sind die folgenden von besonderer Bedeutung:

Spektrale Zusammensetzung der auffallenden Strahlung; Sprektrales Reflexionsvermögen des Objektes; Chemische und photochemische Eigenschaften der Körperfärbungen, des Anstriches oder Lackes sowie Dicke und Temperatur der Farbschicht; Feuchtigkeitsgehalt und chemische Bestandteile der Atmosphäre, die auf die Objekte wirkt; Beleuchtungs- bzw. Bestrahlungsstärke und Bestrahlungsdauer.

Es ist kompliziert und zeitlich praktisch unmöglich, die Verfärbungseinflüsse unter genau den Bedingungen experimentell zu prüfen, wie sie in der Praxis tatsächlich vorkommen, aber der Wunsch, bald zu Ergebnissen zu gelangen, zwingt geraffte Versuche durchzuführen und Ungenauigkeiten in Kauf zu nehmen.

Die bestrahlten Farbmuster wurden von einigen Personen mit normalem Farbunterscheidungsvermögen visuell mit den entsprechenden unbestrahlten Mustern verglichen und nach folgender Skala bewertet:

0 = nicht verschossen	3 = ziemlich stark verschossen
1 = nur wenig verschossen, knapp feststellbar	4 = stark verschossen
2 = deutlich verschossen	5 = sehr stark verschossen

Objektive Farbmessungen wurden mit einem Donaldson-Kalorimeter an einigen Proben vorgenommen. Die Faränderungen bestanden in einer Veränderung von Farbton und Sättigung und in einer Veränderung des Reflexionsgrades. Die Verschiebungen wurden in «Einheiten» nach einem besonderen Verfahren errechnet, und es zeigte sich, dass es zu keinen genaueren Resultaten als die subjektive Bewertung führt, jedoch viel Mühe und Zeit erfordert.

Der Mittelwert der 4 Verfärbungen einer Farbprobe unter den 4 Lichtarten kann als Maßstab für die Lichtbeständigkeit einer Probe dienen. Zusammenfassend lässt sich nun feststellen, dass bei den Ölanstrichen und den aufgespritzten Wasserfarben die mittleren Verfärbungen der verschiedenen Proben mehr voneinander abweichen als die Verfärbungen einer Probe unter den verschiedenen Lichtarten. Somit sind die besonderen Eigenschaften einer Probe von grösserer Bedeutung als die Unterschiede der verschiedenen Lichtarten. Bei den Garnen und Stoffen ist die Verfärbung bei Tageslicht weitaus stärker als bei den übrigen Lichtarten.

Beurteilt man auch den Einfluss der 4 Lichtarten, dann lässt sich im Mittel für alle 5 Farbgruppen hinsichtlich der verfärbenden Wirkung folgende Reihenfolge (von der geringsten zur stärksten Verfärbung fortschreitend) der Lichtarten feststellen:

- Fluoreszenzlampen «warmton de Luxe»;
- Glühlampen;
- Fluoreszenzlampen «weiss de Luxe»;
- Natürliches Tageslicht.

J. Guanter