

Zeitschrift: Technische Beilage zur Schweizerischen Post-, Zoll- & Telegraphen-Zeitung = Supplément technique du Journal suisse des postes, télégraphes et douanes

Band: 1 (1917)

Heft: 7

Artikel: Détermination et établissement du tracé d'une ligne

Autor: Pillonel, A.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-873028>

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: 13.01.2026

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

qualités il faut mentionner les défauts de ce socle. En premier lieu, sa forme demi-ronde n'est pas favorable à la pression des terres lorsqu'elle s'exerce dans la direction perpendiculaire à la ligne, car la poussée ne rencontre qu'un quart de cercle de faible hauteur (voir fig. No. 15). Il y a lieu, en outre, de faire remarquer que la forme en croissant n'est pas pratique pour les chargements, sur wagon ou sur char.

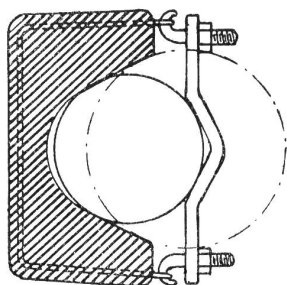


Fig. 13.

Le socle Siegwart se fabrique en trois grandeurs différentes, soit

No. du type	grandeur du poteau	poids du socle
I	18—23 cm	200 kg
II	22—28 "	280 "
III	24—30 "	350 "

Socle Hunziker. La maison Hunziker & Cie. à Brugg prit, le 11 juin 1915, une patente (No. 70684) pour un socle qui ressemblait beaucoup à celui de Déthiollaz et à celui de Meyer. Il se distinguait surtout du socle Déthiollaz par une meilleure disposition de la matière (comparez la fig. No. 16 ci-dessous au croquis No. 13) et par une fixation plus rationnelle.

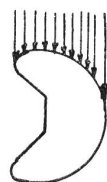


Fig. 15.



Fig. 16.

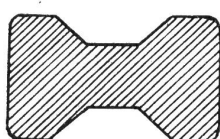


Fig. 17.

Ce pied ne tarda pas à être abandonné pour faire place à un nouveau socle Hunziker (patente No. 73141) ayant la forme d'un double T massif (fig. No. 17). Le nouveau socle Hunziker présente plusieurs avantages importants. Le poteau peut se monter des deux côtés du pied et la fixation est aussi en fer plat galvanisé. Des poteaux de diverses grandeurs ou de forme irrégulière ou elliptique s'adaptent facilement au socle. Celui-ci se prête mieux que le socle Siegwart à la pression des terres dans le sens perpendiculaire à la ligne. On peut monter deux poteaux sur un socle et les accoupler. Pour remédier à la massivité du prisme, la maison Hunziker a évidé celui-ci sur une partie de la hauteur enterrée (voir fig. No. 18).

Le socle Hunziker est fabriqué en quatre grosseurs dont voici les caractéristiques :

No. du type	Largeur du socle	Poids
0	18/30 cm	250 kg
I	22/35 "	300 "
II	22/35 "	300 "
III	26/38 "	360 "

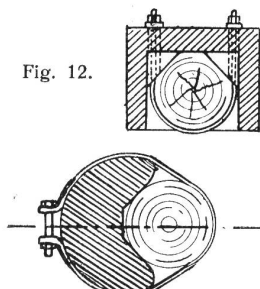


Fig. 12.

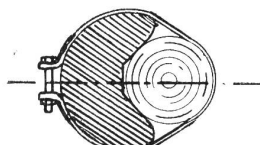


Fig. 14.

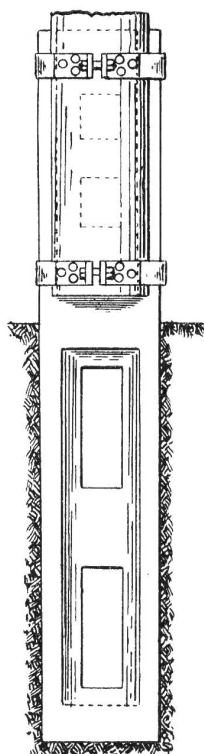


Fig. 18.

Comme on le voit le socle Hunziker est un peu plus lourd que celui de Siegwart, mais il a une plus grande stabilité en terre et sa forme est aussi plus pratique pour les chargements. C'est à notre avis le socle le plus perfectionné de tous ceux que nous avons examinés jusqu'ici.

(Suite au prochain numéro.)

Détermination et établissement du tracé d'une ligne.

(Par A. Pillonel, Adjoint du 1er arr.)

A. Importance du choix du tracé.

La détermination du tracé rationnel d'une ligne est une opération aussi délicate qu'importante, qui ne doit être confiée qu'à un fonctionnaire très expérimenté. Il est divers principes essentiels régissant le choix d'un tracé, qui sont malheureusement trop vite oubliés ou souvent complètement méconnus par les fonctionnaires chargés de cette mission. Les erreurs commises dans ce domaine sont nombreuses et il vaut la peine de s'arrêter d'une manière plus détaillée sur ce sujet.

Chacun sait que le choix du tracé peut influencer sérieusement le prix de la construction de la ligne et la sécurité de son exploitation, comme aussi la dépense annuelle pour son entretien. Il est en outre indispensable de créer une ligne d'un fonctionnement sûr et répondant à toutes les exigences techniques. La ligne dont l'établissement a coûté le meilleur marché n'est pas toujours la moins onéreuse dans l'avenir.

Il est sans doute souvent difficile de concilier toutes les conditions. Aussi le fonctionnaire chargé de l'étude d'un tracé doit-il non seulement être au courant des règles techniques de la construction et savoir établir des devis exacts qu'on puisse comparer; non seulement il doit encore connaître en détail les lieux traversés par la ligne, être au courant des valeurs des propriétés, des exigences et des usages de la population, mais il doit être doué, ce qui est important, de clairvoyance, d'un excellent esprit de méthode et d'un grand bon sens dans l'appréciation.

Les quelques règles qui vont suivre mettront du reste bien en relief l'importance du choix du tracé.

B. Du tracé géométrique.

1. Entre deux points.

Quand on doit construire une ligne entre deux points donnés, la première idée qui vient à l'esprit est celle de consulter la carte topographique. On indique sur celle-ci les deux points extrêmes à relier et on les réunit au moyen d'une droite tracée au crayon finement taillé. Cette droite, suivant le premier théorème de géométrie qu'on apprend à l'école, est le plus court chemin entre les deux points. Cette ligne géométrique offre de grands avantages qu'il faut mettre en évidence :

Elle réalise, au moyen des mêmes matériaux et à égalité de risques le minimum de dépenses d'établissement et par conséquent le minimum de frais d'entretien du matériel posé sur la ligne.

Elle supprime, dans le plan horizontal, tous les angles, lesquels constituent toujours dans le tracé des points sensibles qu'il faut éviter autant que possible.

Ces avantages, si importants soient-ils, ne peuvent pas toujours prévaloir sur certains inconvénients de la ligne droite que nous énumérons ci-après : Le tracé géométrique traverse le plus souvent les propriétés privées et entraîne de notables dépenses en indemnités aux propriétaires des terrains et des arbres; l'accès d'une ligne en propriétés privées est plus difficile soit pour le personnel, soit surtout pour les matériaux de construction. La ligne droite traverse

indistinctement tous les obstacles: les montagnes, les lacs, étangs, forêts; les précipices, couloirs d'avalanches, pentes rapides exposées aux éboulements; les routes et chemins publics, les voies ferrées, fabriques, villes ou villages, les canaux, rivières et fleuves; les lignes électriques; les parcs somptueux des villas, les cultures intensives, etc., etc.

Tous ces obstacles n'offrent pas les mêmes difficultés. Il en est qu'on peut surmonter, d'autres qui sont infranchissables; tous doivent être notés et considérés au moment du choix définitif du tracé. Nous examinerons toutes ces difficultés au cours de cette étude, dans un chapitre spécial.

2. Entre trois points.

Le cas se présente très souvent qu'il faille établir depuis un point A (fig. 1), station centrale ou point de dispersion,

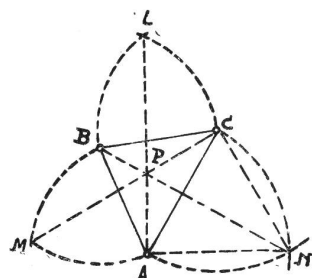
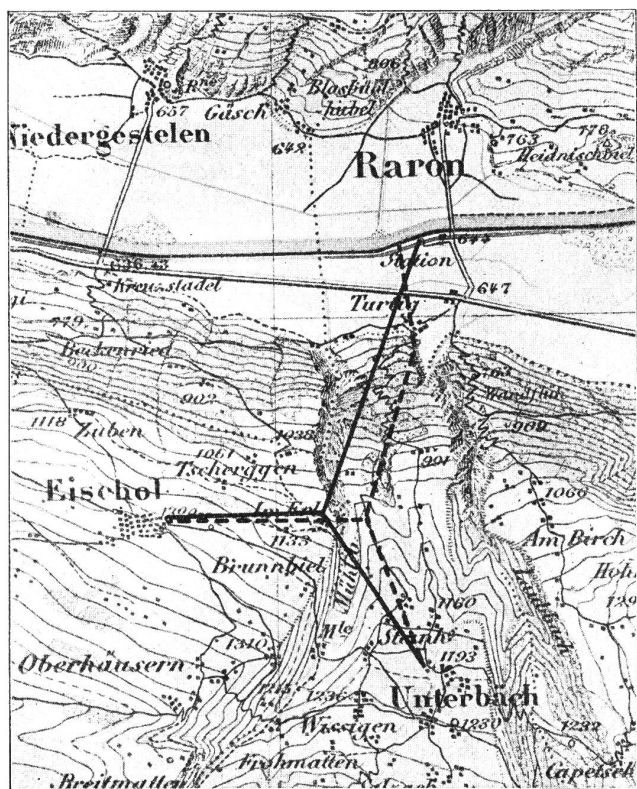


Fig. 1.

une ligne jusqu'à deux villages voisins B et C. La question se pose de savoir quel est le tracé géométrique le plus court. Il saute aux yeux qu'en reliant isolément chaque village avec le point A ou qu'en établissant une ligne de A en B et puis de B en C, on obtient un tracé qui peut être sensiblement raccourci. Il faut trouver à l'intérieur du triangle ABC un point qui ait la propriété de rendre minimum la somme des trois droites reliant le point P à chacun des sommets du triangle. Ce point, nous apprend la géométrie récente du triangle, est, pour les triangles dont aucun des trois angles n'excède 120 degrés, le *centre isogone* du triangle. La détermination du point P est très rapide. Il suffit de construire sur chaque côté du triangle, du côté extérieur, un triangle équilatéral ayant respectivement pour base AB, BC et CA. En joignant le sommet extérieur de chaque tri-



Publication autorisée par le Bureau topographique fédéral (13 XI 17).

Fig. 2.

angle équilatéral avec le sommet opposé du triangle de base, soit L avec A, M avec C et N avec B; l'intersection P, qui est le point de concours de ces trois droites, est le centre isogone du triangle. Le point P est le sommet de trois angles BPA, BPC et CPA qui sont égaux et qui valent par conséquent 120° chacun. Nous devons faire remarquer qu'il suffit pour déterminer la position du centre isogone de marquer deux sommets des triangles auxiliaires équilatéraux, par exemple L au moyen du rayon BC et M au moyen du rayon AB. Les droites LA et MC donnent déjà l'emplacement de P.

La démonstration des propriétés géométriques du centre isogone du triangle sort du cadre de cet article. Elle exigerait un exposé des principes de la géométrie récente du triangle qui nous entraînerait beaucoup trop loin. Pour ceux de nos lecteurs qui seraient avides de connaître la démonstration des propriétés du centre isogone, nous nous faisons un devoir de leur indiquer le traité de géométrie de Rouché et Comberousse (2 volumes, chez Gauthier-Villars Paris). Voir note sur la géométrie récente du triangle par Lemoine, l'illustre géomètre français qui a fondé cette nouvelle science.

Le temps employé à la détermination du centre isogone du triangle sera bien vite payé puisque le gain de quelques poteaux en sera la plupart du temps le prix.

Nous donnons ci-dessous (fig. N° 2), à titre d'exemple le tracé géométrique le plus court qui relierait la station centrale de Raron aux villages de Eischol et Unterbach. Le sommet du triangle se trouve vers la station du chemin de fer de Raron, car depuis le village jusqu'à la gare il existe déjà une artère. La ligne pleine représente le tracé théorique, tandis que la ligne en tirets donne le tracé effectivement suivi.

Le tracé réel a été intentionnellement dévié du côté du chemin muletier qui va de Turtig sur la montagne, afin, d'une part, de faciliter les transports de matériaux et

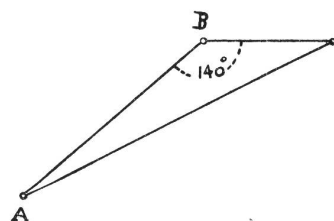


Fig. 3.

pour éviter, d'autre part, la traversée du torrent du Mühlebach qu'on voit sur la carte. Lorsque l'un des angles du triangle est supérieur à 120° (voir la fig. 3), la ligne la plus courte est celle qui relie A à B et B à C.

3. Entre quatre points.

Soient A la station centrale ou le point de départ, B, C et D les trois localités à relier par le plus court chemin géométrique (voir fig. No. 4).

On tire les rayons AB, AC et AD. On cherche le centre isogone du triangle ABC. Appelons ce point P₁. Déterminons

le centre isogone du triangle ACD et appelons ce deuxième point P₂. Les centres P₁ et P₂ forment avec le sommet A un nouveau triangle AP₁P₂. Cherchons enfin le centre isogone P₃ du triangle AP₁P₂. Les deux localités C et D, qui sont les plus rapprochées l'une de l'autre, forment avec P₃ un autre triangle, dont le centre isogone est P₄. Le tracé AP₃B, P₃P₄, P₄C et P₄D est le plus court chemin. Il est encore plus court que le tracé AM, BD et CN de

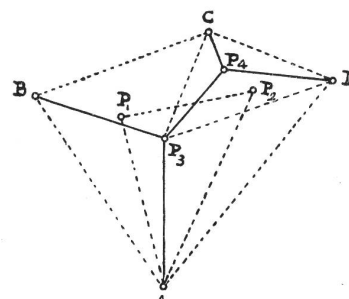


Fig. 4.

la figure No. 5, qui a également deux bifurcations, et à *fortiori* plus court que le tracé AC et BD, qui n'a qu'une bifurcation en O.

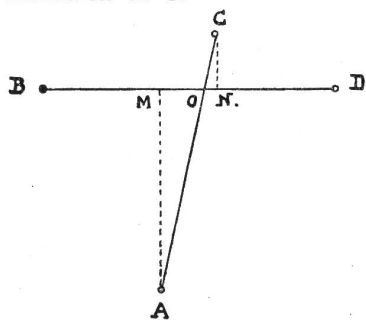


Fig. 5.

Quoique le principe que nous venons d'appliquer à la recherche du tracé le plus court, quand il s'agit de relier trois localités au même point, reste absolument le même pour le cas où il serait question de relier un plus grand nombre de localités à un bureau central, nous donnons encore, dans la figure No. 6, un exemple

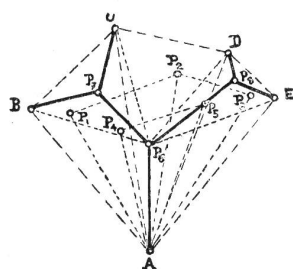


Fig. 6.

comprenant quatre localités. On établit aussi les rayons AB, AC et AD qui créent trois triangles, ayant respectivement comme centres isogones P_1 , P_2 , P_3 . Ceux-ci forment à leur tour avec A deux nouveaux triangles qui ont pour centres isogones P_4 et P_5 . Ces deux derniers créent enfin un seul triangle AP_4P_5 dont le centre isogone est P_6 . P_6BC est un

C. De la lecture des cartes.

Le tracé géométrique le plus court une fois dessiné soigneusement sur la carte topographique au $1/25\,000$ ou $1/50\,000$, il faut lire cette dernière et se rendre compte déjà par ce moyen des principales difficultés rencontrées. Notre carte topographique fédérale contient une foule de renseignements, à condition, bien entendu, qu'on sache l'analyser. Pour comprendre une carte, il faut avoir une idée de sa construction et connaître les principaux signes conventionnels employés.

La carte topographique fédérale est établie à $1/25\,000$, sauf pour quelques régions montagneuses pour lesquelles il n'existe encore que l'échelle $1/50\,000$. La carte est divisée en feuilles numérotées au sommet de droite, chaque feuille représentant une petite région du pays. Une échelle est portée au bas de chaque feuille.

On sait que la situation d'un lieu quelconque est déterminée par sa longitude et par la latitude, c'est-à-dire par l'écart angulaire de ce lieu au méridien de départ et à l'équateur. Le méridien original de notre carte topographique fédérale est celui de *Paris*. Comme il est impossible d'indiquer pour chaque endroit sa longitude et sa latitude chaque feuille porte sur son cadre les degrés, minutes et demi-minutes pour l'échelle $1/50\,000$ et les degrés, minutes et 10 secondes pour l'échelle $1/25\,000$. On peut évidemment déterminer par interpolation la situation géographique de tout endroit. Chaque feuille porte en outre au milieu de chaque côté les coordonnées de l'observatoire de Berne, c'est-à-dire la distance aux axes passant par l'origine de Berne (voir fig. 7).

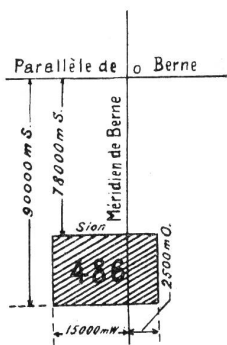


Fig. 7.

Chaque feuille est divisée en quadrilatères par des lignes verticales et horizontales qui sont autant de coordonnées par rapport aux axes originaux. Un quadrilatère est suffisamment petit pour qu'on puisse sans erreur sensible considérer son côté comme une ligne droite; celui-ci mesure 6 centimètres et représente à l'échelle $1/50\,000$ une longueur de 3 kilomètres et à l'échelle $1/25\,000$ une longueur de 1,5 kilomètre.

Relief du sol. Le terrain, en topographie, désigne toute la surface rapportée à sa configuration, y-compris les constructions. Le *relief* du sol est formé de *hauteurs* et de *dépressions*. Les hauteurs, en première ligne, sont des *montagnes*. Celles qui ont de 500—700 m de hauteur sont dites basses; de 700—1400 m, moyennes; de 1400 à 2000 m, alpines; au-dessus de 2000, hautes. Parmi les hauteurs, on classe aussi les *collines* (hauteur inférieure à 50 m), puis les *monticules*, les *éminences* de hauteur moindre, enfin les *buttes* et les *terres* aux accidents de moins de 30 m.

Un *plateau* est un terrain plat ou peu ondulé situé plus haut que la contrée avoisinante, tandis que la *plaine* est à une faible altitude.

Parmi les dépressions, citons la *vallée*, dont les pentes sont les *versants* ou flancs. Les deux versants se réunissent suivant une ligne de moindre pente où aboutissent toutes les eaux et qu'on appelle le *thalweg*. Souvent un tout petit vallon, à pentes raides vient couper le versant d'une vallée, c'est une *combe*.

On reconnaît facilement le relief du sol sur la carte par la disposition des cours d'eau, c'est-à-dire par la direction des fleuves, rivières et ruisseaux et par les *lignes de niveau* équidistantes. La ligne de niveau est la ligne d'intersection d'un plan horizontal avec le terrain en pente. Sur la carte topographique fédérale la ligne ou courbe de niveau est de couleur terre de Sienne brûlée pour les terrains fermes et de couleur bleue sur les glaciers.

L'équidistance entre deux courbes de niveau indique la *différence de niveau* ou la distance verticale entre deux plans horizontaux consécutifs. Dans la carte $1/50\,000$, l'équidistance entre les courbes est de 30 mètres et dans la carte $1/25\,000$ de 10 mètres. L'équidistance est indiquée au bas de chaque feuille.

Certaines courbes de niveau portent l'indication des *cotes*. Ce sont les courbes maîtresses, elles sont pointillées.

L'équidistance est dite *naturelle*, quand elle désigne la différence de niveau de deux plans consécutifs. Lorsqu'on multiplie l'équidistance naturelle (qui est de 30 m pour la carte $1/50\,000$ et 10 m pour celle de $1/25\,000$) par le rapport de l'échelle admise, on obtient l'équidistance graphique. En appelant E l'équidistance naturelle, e l'équidistance

graphique et $\frac{1}{n}$ l'échelle, on a donc $e = E \times \frac{1}{n}$.

La *déclivité* p de la droite reliant les deux points vaut

$p = \frac{E}{D}$ ou, puisque E et D sont portés à la même échelle,

$p = \frac{e}{d}$. Cette relation montre, e étant une constante, que

lorsque la distance horizontale, c'est-à-dire la projection de deux courbes de niveau est constante, la déclivité moyenne est constante. La carte ne donne naturellement pas les irrégularités du terrain entre deux courbes de niveau.

D'après ce qui précède, on voit que la déclivité d'un terrain est d'autant plus forte que les courbes de niveau sont serrées et qu'une plaine n'est pas sillonnée de courbes de niveau.

Voici un tableau des principaux signes conventionnels de la carte topographique fédérale:

Désignations	Signes employés
1. <i>Limites</i> : nationales . . .	+++++++ }
cantonales . . .	----- } en noir
de district . . .	----- }
communales }
2. <i>Lacs et cours d'eau</i> , étangs, bassins d'accumulation, fleuves, rivières . . .	surface bleutée représentée à l'échelle de la carte.
canaux	deux traits parallèles bleus dont l'un plus fort.
marais	hâchures brisées bleues.
3. <i>Cultures</i> :	
bois	points et petits cercles noirs
vignobles	petits traits verticaux de 0,6 mm disposés comme des échelas.
vergers	points noirs disposés régulièrement.
4. <i>Voies de communication</i> :	
voie de chemin de fer normale, double	=====
voie de chemin de fer normale, simple	=====
voie de chemin de fer étroite route cantonale	=====
chemin de 3 m, régulièrement entretenu	-----
Sentier muletier	-----
„ à piétons	-----
pont, passerelle	><
5. <i>Ecritures</i> :	
Localités: capitales cantonales	capitale droite.
chef-lieu de district	„ penchée.
commune	romaine droite.
hameaux	italique.

Le lecteur fera bien de s'exercer à lire la carte au moyen d'une loupe. Son œil acquerra rapidement une sorte d'éducation qui lui sera précieuse en maintes circonstances. Par ce moyen on distingue mieux la superposition des signes conventionnels noirs sur le figuré du terrain donné surtout par les lignes de niveau et la direction des cours d'eau. Cet exercice constitue la lecture de la *planimétrie*.

S'orienter d'après la carte. Il est indispensable, quand on étudie un tracé, de savoir s'orienter à l'aide de la carte et de pouvoir marquer un point où l'on se trouve. Pour y parvenir, il faut se repérer en cherchant sur le terrain les lignes les plus apparentes de la carte (routes, chemins de fer, ruisseaux, lisières de bois ou de cultures, etc.) voisines de l'endroit où l'on stationne. On tourne sa carte de façon à ce que ces lignes soient parallèles à celles qu'elles figurent. En s'avancant dans une direction choisie sur la carte, on doit découvrir sur le terrain le premier relief qu'on se proposait d'atteindre.

Mesure des distances. Sur la carte, on ne peut mesurer à l'aide du compas ou du double-décimètre que la distance à vol d'oiseau entre deux points. Si l'on se sert du compas, on reporte la longueur obtenue sur l'échelle graphique qui est imprimée au bas de chaque carte; quand on emploie le double-décimètre, on multiplie la distance mesurée par l'échelle (25,000 ou 50,000) pour obtenir la distance effective.

Très souvent on veut connaître la distance *routièrè* entre deux points ou deux localités. Il s'agit alors de tenir compte de toutes les sinuosités du chemin. On fait avantageusement usage pour cette mesure d'un petit instrument très pratique: le curvimètre à cadran, outil de poche peu encombrant et d'un prix réduit.

(La fin au prochain numéro).

Allgemeine Schwachstromtechnik.

Ueber Parallelschaltungen.

Von E. Nußbaum, Bern.

I. Berechnung der Ausgleichwiderstände bei Gruppenanschlüssen mit Selectorbetrieb.

Zum Betrieb der W. E. C.-Selectoren *) ist eine Stromstärke von etwa 10 mA bei einer Spannung von 38 Volt an den Klemmen des Apparates erforderlich. Es liegt in der Natur der G. A., daß die Stationen sich selten in der nämlichen Ortschaft befinden, sondern meistens auf die ganze Länge der Gemeinschaftsleitung verteilt sind. Sollen dabei alle Selectoren beim Aufruf von der Zentrale aus einen annähernd gleich starken Betriebsstrom erhalten, so muß bei einem gegebenen Widerstand der Selectoren entweder die Leitung eine genügende Leitfähigkeit besitzen, damit der Spannungsabfall von Station zu Station unmerklich bleibt, oder es müssen die Widerstände der Selectorbrücken durch Zusatzwiderstände ausgeglichen werden. Der ersten Bedingung wird im allgemeinen Genüge geleistet durch die Verwendung von 2 mm Bronze-Draht. Weiter zu gehen, verbietet die Rücksicht auf die Wirtschaftlichkeit der Anlage, da ja das Ausgleichen der Widerstände bedeutend billiger ist.

Nun ist aber, wie die Erfahrung zeigt, ein gewisser Unterschied zwischen der Stromstärke des ersten und derjenigen des letzten (des entferntesten) Selectors zulässig, und daher die Anbringung von Ausgleichwiderständen entbehrlich, so lange dieser Unterschied nicht überschritten wird. Man bemißt dann einfach die Batteriespannung so, daß die entfernteste Station eben noch genug Strom, also etwa 10 mA, erhält. Das hat den Vorteil, daß die Zahl der Stationen vermehrt werden kann, ohne daß mit jeder weiteren Station ein neuer Ausgleich der Widerstände vorgenommen werden muß.

Wir wollen nunmehr die Stromverteilung einer idealen, mit Selectoren ausgerüsteten Telefonleitung näher untersuchen, um uns Rechenschaft zu geben über die Grenzen, innerhalb welcher eine solche Leitung ohne Ausgleichswiderstände betrieben werden kann. Die n Stationen seien in gleichmäßigen Abständen l auf die ganze Leitungslänge L verteilt (Fig. 1). Der Widerstand eines Leitungsabschnittes zwischen zwei benachbarten Stationen sei r und derjenige der Selectoren R . Die Spannung zwischen den Abzweigpunkten einer Selectorbrücke sei e , die entsprechende Stromstärke im Selector i und die Stromstärken in den einzelnen Leitungsabschnitten J_1, J_2, J_3 usw.

Zunächst soll jetzt eine allgemeine Formel ermittelt werden für die Berechnung der Stromstärken i_1, i_2, \dots, i_n der einzelnen Selectoren, und zwar wollen wir die Werte dieser Stromstärken durch den Wert von i_1 des entferntesten Selectors ausdrücken. Da die Entwicklung dieser Formeln (für Lernende eine gute Übungsaufgabe!) ziemlich umständlich und zeitraubend ist, sei dieselbe hier nur angedeutet.

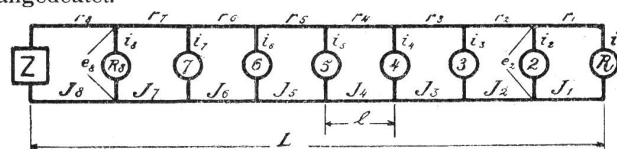


Fig. 1.

Aus der Figur 1 ergibt sich, daß

$$\begin{aligned}
 e_1 &= i_1 R & (1) & & J_1 &= i_1 & (5) & & i_1 &= e_1 R & (9) \\
 e_2 &= e_1 + J_1 r & (2) & & J_2 &= J_1 + i_2 & (6) & & i_2 &= e_2 R & (10) \\
 e_3 &= e_2 + J_2 r & (3) & & J_3 &= J_2 + i_3 & (7) & & i_3 &= e_3 R & (11) \\
 e_4 &= e_3 + J_3 r & (4) & & J_4 &= J_3 + i_4 & (8) & & i_4 &= e_4 R & (12) \\
 & \text{usw.} & & & & \text{usw.} & & & & \text{usw.} &
 \end{aligned}$$

*) Siehe «Technische Beilage» Nr. 1.