

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 73/74 (1919)
Heft: 19

Artikel: Unterirdische und oberirdische Wechselstrom-Höchstleistungskabel
Autor: Kummer, W.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-35619>

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: 16.05.2025

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

INHALT: Unterirdische und oberirdische Wechselstrom-Höchstleistungskabel. — Wettbewerb für eine Gartenstadt der Firma Piccard, Pictet & Cie. in Aire bei Genf. — Die schweizerischen Eisenbahnen im Jahre 1918. — Chemisch-physikalischer Kurs für Gasingenieure an der Eidg. Technischen Hochschule. — † Prof. Dr. Wilhelm Oechsli. — Schweizerische wirtschaftliche Studienreise nach Nordamerika. — Miscellanea: Elektrifizierung der Schweiz. Bundesbahnen. Neubau der Petribücke in Rostock.

Ausstellung der Bebauungspläne für Zürich, Biel und Le Châtelard-Montreux in Lausanne. Bebauungsplan der Stadt Genf. Eidgen. Kommission für Mass und Gewicht. Bernische Kraftwerke. — Nekrologie: H. Reese. A. Hodler. — Konkurrenzen: Spital in Siders. Bebauungsplan der Gemeinde Le Châtelard-Montreux. Erweiterung der Kantonalen Krankenanstalt in Aarau. Neubau der Schweizerischen Bankgesellschaft in Lausanne. — Literatur. — Vereinsnachrichten: G. e. P. — Tafel 19: Prof. Dr. Wilhelm Oechsli.

Band 73.

Nachdruck von Text oder Abbildungen ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit genauer Quellenangabe gestattet.

Nr. 19.

Unterirdische und oberirdische Wechselstrom-Höchstleistungskabel.

Von Professor Dr. W. Kummer, Ingenieur, Zürich.

Allmählich scheint die Voreingenommenheit der Starkstrom-Elektrotechniker für die zeitweise allein geschätzte Verlegungsart elektrischer Leitungen als Freileitungen ins Wanken zu kommen und einer gerechteren Beurteilung auch der unterirdisch verlegten Kabelanlagen Platz zu machen. Dass solche bis zu denselben Höchst-Spannungen und -Leistungen, wie die Freileitungen, technisch zuverlässig ausgebildet werden können, scheint kaum bekannt zu sein, obwohl die massgebenden technischen Daten durch Dr. Paul Humann schon vor vier Jahren¹⁾ veröffentlicht wurden; im vorliegenden Aufsatz wollen wir uns namentlich auch mit diesen Daten näher beschäftigen, nachdem vor kurzem das Interesse für Kabel-Fernübertragungen übrigens auch anderweitig²⁾ geweckt worden ist. Sowohl bei unterirdischen, als auch bei oberirdischen Fernleitungen für Betrieb mit Hochspannung spielt die Erscheinung der elektrischen Kapazität eine bedeutsame Rolle, die besonders im Falle des unterirdischen Wechselstrom-Kabels unangenehm empfunden wird; dafür entbehrt dann die unterirdische Kabelanlage des Nachteils des besonderen, störenden Isolationsmangels, der unter dem Namen der sog. „Korona“-Erscheinung geradezu zur obren technischen Spannungsgrenze bei oberirdischen Fernleitungen führt.

1. Die wichtigsten Beziehungen über die Arbeitsweise von Kabeln.

Für die praktische Beurteilung der Arbeitsweise unterirdischer und oberirdischer Wechselstrom-Kabel für Betrieb mit Hochspannung sind zwei Erscheinungen als wichtigste in Betracht zu ziehen:

1. der Spannungsunterschied zwischen Leitungsanfang und Leitungsende, und zwar sowohl bei unbelasteter, als auch bei belasteter Leitung,
2. der Leerlaufstrom der unbelasteten Leitung.

Ist der Belastungszustand des, eine Leitungslänge λ aufweisenden Kabels an dessen Ende (Konsumseite) durch die Effektivwerte E_λ der Spannung, I_λ der Stromstärke und φ_λ des Phasenwinkels zwischen Spannung und Stromstärke gegeben, so gilt für den Effektivwert der Spannung E_0 am Leitungsanfang (Energieherkunftseite) die Beziehung:

$$E_0 = \frac{1}{V} \sqrt{E_\lambda^2 + 2 E_\lambda I_\lambda R^k \cdot \cos(\varphi_\lambda + \beta - \xi) + I_\lambda^2 \cdot R^{2k}} \quad (1)$$

deren Ableitung C. Breitfeld³⁾ nach der sog. symbolischen, der Verfasser⁴⁾ des vorliegenden Aufsatzes dagegen nach der sog. reellen Berechnungsart vorgenommen haben; in dieser Beziehung bedeuten V eine transzendente Funktion, β und ξ Hülfswinkel, und R^k den sog. Kurzschlusswiderstand der Leitung, alles Grössen, die die eigentlichen Leitungskonstanten, sowie die Periodenzahl des speisenden, sinusförmigen Wechselstromes enthalten; auf diese Grössen werden wir noch zurückkommen. Aus Formel (1) folgt für die unbelastete Leitung auch der Zusammenhang der sog. Leerlaufspannungen am Leitungsanfang (E_0^0) und am Leitungsende (E_λ^0), sobald $I_\lambda = 0$ gesetzt wird, und zwar gemäss:

$$E_0^0 = \frac{E_\lambda^0}{V}$$

Neben unserer Spannungsbeziehung (1) haben wir vor allem auch die Beziehung über den am Leitungsanfang in Betracht fallenden Leerlaufstrom I_0^0 aufzuführen, die diesen durch die Formel:

$$I_0^0 = \frac{E_0^0}{R^0} \quad (2)$$

mit dem Effektivwert E_0^0 der Spannung am Leitungsanfang bei Leerlauf und mit dem sog. Leerlaufwiderstande R^0 in Zusammenhang bringt.

Für die Widerstandsgrössen R^0 und R^k gilt nun:

$$\left. \begin{aligned} R^0 &= Z \cdot \frac{U}{V} \\ R^k &= Z \cdot \frac{V}{U} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

wodurch neben V die neue transzendente Grösse U , sowie die rein algebraische Grösse Z eingeführt werden. Für ideale Isolation und für die Leitungskonstanten des Widerstandes r pro Länge 1, der Selbstinduktion l pro Länge 1 und der Kapazität c pro Länge 1, und für die Periodenzahl ν gilt:

$$Z = \sqrt[4]{\frac{r^2 + (2\pi\nu l)^2}{(2\pi\nu c)^2}} \quad (4)$$

Zur Darstellung von U und V werden Hilfsgrössen a und b benötigt, die für ideale Isolation folgendermassen formuliert sind:

$$\left. \begin{aligned} a &= \sqrt{\frac{1}{2} \left\{ \sqrt{(cr2\pi\nu)^2 + [lc(2\pi\nu)^2]^2} - lc(2\pi\nu)^2 \right\}} \\ b &= \sqrt{\frac{1}{2} \left\{ \sqrt{(cr2\pi\nu)^2 + [lc(2\pi\nu)^2]^2} + lc(2\pi\nu)^2 \right\}} \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Bei Einführung der Basis e des natürlichen Logarithmen-Systems ergeben sich dann:

$$\left. \begin{aligned} V &= \frac{2}{\sqrt{e^{+2a\lambda} + e^{-2a\lambda} + 2 \cdot \cos(2b\lambda)}} \\ U &= \frac{2}{\sqrt{e^{+2a\lambda} + e^{-2a\lambda} - 2 \cdot \cos(2b\lambda)}} \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

Endlich folgt für die in Gleichung (1) vorkommenden Hülfswinkel:

$$\left. \begin{aligned} \beta &= \arctg\left(\frac{b}{a}\right) \\ \xi &= \arctg\left(\frac{2 \cdot \sin(2b\lambda)}{e^{+2a\lambda} - e^{-2a\lambda}}\right) \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

Für die besonders wichtigen Grössen R^0 und R^k sind in gewissen Fällen vereinfachte Ausdrücke, die keinerlei Exponentialgrössen mehr enthalten, möglich. So gilt einerseits:

$$\lambda = \infty: \quad R^0 = R^k = Z$$

Ferner gilt für verhältnismässig kurze Leitungen, deren λ einen kritischen Wert λ_c nicht überschreitet:

$$\lambda < \lambda_c: \quad R^0 = \frac{1}{2\pi\nu c \cdot \lambda} \quad R^k = \lambda \cdot \sqrt{r^2 + (2\pi\nu l)^2}$$

wie C. Breitfeld¹⁾ gezeigt hat. Für die Verhältnisse der uns hier hauptsächlich interessierenden Höchstleistungskabel ergeben sich für wesentlich grössere Leitungslängen als λ_c noch besondere Vereinfachungen der rechnerischen Beziehungen, auf die wir nach Kennzeichnung der bezüglichen Kabel eintreten werden. Mit Hilfe unserer Beziehungen sind übrigens die wesentlichen Verhältnisse der Arbeitsweise von Kabeln, soweit sie für den praktischen Betrieb von Bedeutung sind, bereits im Allgemeinen dargelegt.

¹⁾ Seite 20–25 des schon erwähnten Buches.

¹⁾ Elektrische Kraftbetriebe und Bahnen 1915, Seite 313.
²⁾ Vergleiche „Die Grenzen der Kraftübertragung mittels Wechselströmen“, Seite 38 (am 25. Januar 1919) und Seite 139 (am 22. März 1919) laufenden Bandes der „Schweiz. Bauzeitung“.
³⁾ Auf Seite 52 und 53 des 1912 im Verlage von Vieweg (Braunschweig) erschienenen Buches: „Die Berechnung der Wechselstrom-Fernleitungen“.
⁴⁾ Auf Seite 84 der E. T. Z. 1918.

2. Höchstspannungen und -Leistungen der unterirdischen Kabel.

Was nun die Höchstwerte der für unterirdische Wechselstrom-Kabel möglichen Spannungen angeht, so dienen uns als bezügliche Unterlagen die schon genannten, 1915 durch P. Humann¹⁾ mitgeteilten Daten. Ausgehend von der Erwägung, dass, mit Rücksicht auf bequemen Transport und Verlegung ohne Schwierigkeiten, der Kabeldurchmesser über der Isolation maximal 100 mm beträgt, berechnet Humann für eine Beanspruchung von 5000 V auf den innersten Millimeter der aus getränktem Papier von einer dielektrischen Festigkeit von 20 000 V/mm bestehenden Isolation für verschiedene Kupferdurchmesser den Spannungsunterschied zwischen dem kupfernen Leiter und dem, das Isoliermaterial umschliessenden Bleimantel. Das Ergebnis dieser, die jeweils höchstmöglichen Spannungen ergebenden Rechnung für Einleiterkabel geben wir in Abbildung 1 durch ein Kurvenbild wieder. Für Dreileiterkabel hat Humann zwecks Erlangung höchster Festigkeit vorgeschlagen, die einzelnen isolierten Adern mit einer dünnen Schicht aus gelochtem Metallband zu bewickeln, das in derselben Art wie Papierstreifen aufzuwickeln wäre; die einzelnen Adern müssten hierauf in gewöhnlicher Weise verseilt und durch Einlagen auf kreisrunde Form gebracht werden, wobei sich ein Zusammenhang zwischen höchstmöglicher Spannung und Aderkupfer-Durchmesser ergibt, den wir in Abbildung 2 durch ein Kurvenbild verdeutlichen.

Die absolut höchste Betriebsspannung von 92 000 V gegen Erde ergibt sich somit für ein Einleiterkabel von 36 mm Kupferdurchmesser und darüber liegender Isolation von 32 mm radialer Dicke. Bei geerdetem Nullpunkt der Transformatoren kann mittels solcher Kabel entweder Einphasenstrom von 184 000 V, bzw. Drehstrom von 159 000 V verketteter Spannung übertragen werden, wobei der Kupfer-Querschnitt der Kabel ohne weiteres mit 800 A dauernd belastet werden darf.

Das Gegenstück eines solchen unterirdischen Höchstleistungskabels bildet ein oberirdisches Höchstleistungskabel von gleichem Kupferquerschnitt. Es bietet nun ein erhebliches Interesse, diese zwei Ausführungsmöglichkeiten mit einander zu vergleichen.

3. Verhalten des unterirdischen Höchstleistungskabels.

Das gekennzeichnete Einleiterkabel von 36 mm Kupferdurchmesser und 100 mm Durchmesser über der Isolation hat auf Grund synthetischer Nachrechnung folgende näherungsweise Werte der massgebenden Leistungskonstanten:

$$\begin{aligned} r &= \sim 0,02 \Omega/\text{km} \\ l &= \sim 0,0005 \text{ H}/\text{km} \\ c &= \sim 0,16 \mu\text{F}/\text{km} \end{aligned}$$

wobei angenommen wurde, dass zur Berechnung von l zwei bis drei einzelne, nebeneinanderliegende Einleiterkabel (zwei im Falle von Einphasen-, drei symmetrisch angeordnete im Falle von Drehstrom) einen Axenabstand von 200 mm aufweisen, und dass zur Berechnung von c eine Dielektrizitäts-Konstante von 2,8 in Betracht falle. Gegenüber den heute üblichen Höchstleistungskabeln erscheint hier besonders r als abnormal, bzw. als sehr klein, was sich dementsprechend auch in den Hilfsgrössen a und b geltend macht; während nämlich für die heute meist benutzten Kabel:

$$1 < \frac{b}{a} < 2$$

¹⁾ Elektrische Kraftbetriebe und Bahnen 1915, Seite 313.

gilt, wird dagegen für unser Höchstleistungskabel der Wert $\frac{b}{a}$ entsprechend höher, und zwar um so ausgeprägter, je grösser die Periodenzahl ist; gleichzeitig nähert sich der Wert a der Zahl Null, wie man aus der Beziehung (5) für den Grenzfall $r=0$ erkennt. Damit ergeben sich für die im praktischen Betrieb vorherrschenden Kabellängen λ wertvolle Vereinfachungen in den Beziehungen (3) und (6). Die Exponentialfunktion:

$$e^{-2a\lambda} + e^{-2a\lambda} = \cosh(2a\lambda)$$

ist nämlich für kleine Werte von $(2a\lambda)$ unveränderlich gleich $+2$. Dies gilt mit maximal 5 % Ungenauigkeit bei:

$$2a\lambda \leq 0,10$$

und mit maximal 10 % Ungenauigkeit bei:

$$2a\lambda \leq 0,14.$$

Nennen wir k den Grenzwert, den wir für:

$$2a\lambda \leq k$$

aus Genauigkeits-Gründen maximal zulassen, so folgt mit

$$\lambda = \frac{k}{2a} = \lambda_k$$

die kritische Leitungslänge λ_k , bis zu der die folgenden Vereinfachungen zulässig sind. Diese ergeben sich ohne weiteres mit:

$$V = \frac{2}{\sqrt{2 + 2 \cdot \cos(2b\lambda)}} = \frac{1}{\cos(b\lambda)}$$

$$U = \frac{2}{\sqrt{2 - 2 \cdot \cos(2b\lambda)}} = \frac{1}{\sin(b\lambda)}$$

$$R^0 = Z \cdot \frac{1}{\text{tg}(\beta\lambda)}; \quad R^k = Z \cdot \text{tg}(\beta\lambda)$$

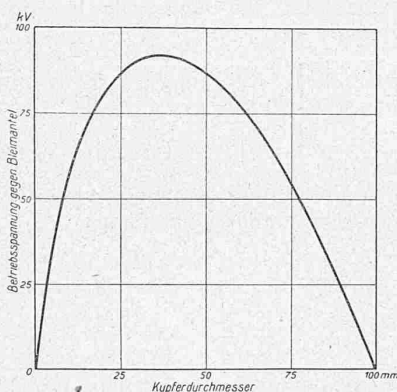


Abb. 1. Einleiterkabel mit 100 mm Durchmesser über der Isolationsschicht.

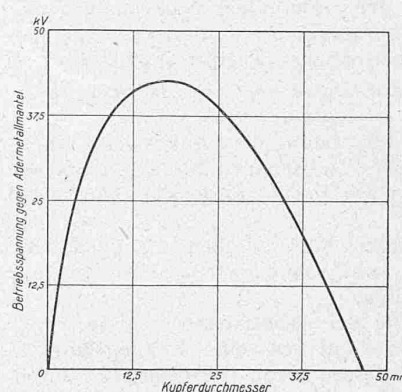


Abb. 2. Dreileiterkabel mit 100 mm Durchm. über der Isolationsschicht.

An anderer Stelle¹⁾ haben wir gezeigt, dass diese Vereinfachungen auch für künstliche Kabel, wie sie bei Laboratorien-Versuchen benutzt werden, zulässig sind.

Für die beiden, durch dieselbe Einzelspannung E_0^0 gekennzeichneten Betriebsfälle: Einphasenstrom von $16\frac{2}{3}$ Perioden, sowie Drehstrom von 50 Perioden, erlangen die durch die Beziehungen (4) und (5) festgelegten Hilfs-

grössen (bei Berechnung mittels eines gewöhnlichen Rechenschiebers, wie eine solche übrigens auch allen folgenden Daten zu Grunde liegt) die folgenden Zahlenwerte:

Periodenzahl	$16\frac{2}{3}$	50,0
Z	59,7	57,9
a	0,000165	0,000165
b	0,000925	0,00273

Für eine maximale Ungenauigkeit von 10 % können die vereinfachten Ausdrücke für V , U , R^0 und R^k bis zu einer Leitungslänge von 425 km bei $16\frac{2}{3}$ Perioden und bei 50 Perioden Anwendung finden. Für die weitere Annahme der Einzelspannung:

$$E_0^0 = 92\,000 \text{ Volt}$$

ergeben sich dann die Grössen E_0^0 und I_0^0 , für deren Darstellung wir Relativmassstäbe benutzen wollen, nämlich:

$$100 \cdot \frac{E_0^0 - E_0^0}{E_0^0} = 100 \cdot (V - 1) =$$

= prozentuale Leerlaufs-Spannungszunahme nach dem Kabelende hin,

¹⁾ Bulletin des Schweiz. Elektrotechnischen Vereins 1916, Seite 70.

sowie, bei Einführung eines Normalstromes von 800 Ampère, der Verhältnisswert

$$100 \cdot \frac{I_0}{800} = \text{prozentualer Leerlaufstrom.}$$

Im weiteren soll die Bedeutung der Grösse R^k durch die sog. Kurzschlussspannung E_0^k für einen Normalstrom von 800 Ampère gemäss:

$$E_0^k = R^k \cdot 800$$

ebenfalls in einem Relativmasstabe, nämlich in der Form:

$$100 \cdot \frac{E_0^k}{92000} = \text{prozentuale Kurzschlussspannung}$$

zum Ausdruck kommen. Auf diese Weise erhalten wir für verschiedene Kabellängen und für die beiden Periodenzahlen von $16\frac{2}{3}$ und von 50 in der Sekunde, die nachstehende Tafel-Uebersicht über die den praktischen Betrieb bestimmenden Zustandsgrössen:

Länge λ in km	Bei $16\frac{2}{3}$ Perioden			Bei 50 Perioden		
	Prozentuale Zunahme der Leerlaufspannung nach dem Ende hin	Prozentuale Leerlaufstromstärke	Prozentuale Kurzschlussspannung	Prozentuale Zunahme der Leerlaufspannung nach dem Ende hin	Prozentuale Leerlaufstromstärke	Prozentuale Kurzschlussspannung
100	0,4	17,8	4,90	4,0	55	14
200	1,6	36,0	9,76	17,0	121	31
300	3,8	55,0	14,8	46,0	213	54
400	7,8	75,0	20,2	117,0	384	97

Man erkennt sofort, dass die Kabelanlage für $16\frac{2}{3}$ Perioden mindestens noch für $\lambda = 300$ km höchst befriedigend arbeitet, während sie für 50 Perioden schon bei $\lambda = 100$ km an dieser Grenze angelangt ist.

Für die Periodenzahl $\nu = 50$ lässt sich besonders deutlich eine bemerkenswerte Kurven-Darstellung von R^0 und R^k über V , gemäss unserer Abbildung 3, vorführen, wobei wir bemerken, dass wir uns schon an anderer Stelle¹⁾ über die praktische Bedeutung einer solchen Darstellungsart eingehend geäussert haben; es sei hier nur erwähnt, dass diese Darstellung bei den hier geltenden Vereinfachungen der Funktionen V und U für $V = U = \sqrt{2}$ ebenfalls den Punkt $R^0 = R^k = Z$ liefert.

4. Verhalten des oberirdischen Höchstleistungskabels.

Es werde nun das Kupferkabel von 36 mm Kupfer-Durchmesser in einer oberirdischen Leitungsführung für Einphasen- oder Drehstrom mit einem Axenabstand der einzelnen Kabel von 4,5 m geführt; es soll als zulässig betrachtet werden, nur dieselben drei Leitungskonstanten, wie im Falle des unterirdischen Kabels berücksichtigen zu müssen, indem zufolge Annahme günstiger atmosphärischer Verhältnisse, sowie auch wegen des grossen Axenabstandes der einzelnen Kabel, selbst bis zu maximal 184 000 V, bezw. 159 000 V verketteter Spannung, von der Berücksichtigung der Korona-Erscheinung abgesehen werden könne.²⁾ Dann gelten folgende näherungsweise Werte der massgebenden Leitungskonstanten:

$$\begin{aligned} r &= \sim 0,020 \Omega/\text{km} \\ l &= \sim 0,00115 \text{ H}/\text{km} \\ c &= \sim 0,010 \mu\text{F}/\text{km} \end{aligned}$$

Auch hier nehmen a und b für die praktisch wichtigen Periodenzahlen von $16\frac{2}{3}$ und von 50 Perioden solche Werte an, dass bis zu einer sehr erheblichen kritischen Leitungslänge λ_k die folgenden Vereinfachungen zulässig sind:

$$\begin{aligned} V &= \frac{1}{\cos(\beta\lambda)} & U &= \frac{1}{\sin(\beta\lambda)} \\ R^0 &= Z \cdot \frac{1}{\lg(\beta\lambda)} & R^k &= Z \cdot \lg(\beta\lambda) \end{aligned}$$

Unsere Hilfsgrössen ergeben nämlich:

¹⁾ Bulletin des Schweiz. Elektrotechnischen Vereins 1916, Seite 68.

²⁾ Eine solche Annahme ist als eine vollkommen ideale zu betrachten, obwohl immerhin in Kalifornien ähnliche, also sehr günstige Verhältnisse gelegentlich festgestellt werden konnten.

Periodenzahl	$16\frac{2}{3}$	50,0
Z	341,0	339,0
a	0,000030	0,000030
b	0,000356	0,001065

Für eine maximale Ungenauigkeit von $10\frac{0}{100}$ können die vereinfachten Ausdrücke für V , U , R^0 , R^k bis zu einer Leitungslänge von 2300 km bei $16\frac{2}{3}$ und bei 50 Perioden Anwendung finden. Für die weitere Annahme der Einzelspannung:

$$E_0^0 = 92000 \text{ Volt}$$

und bei Einführung des Normalstromes von 800 Ampère berechnen wir nun dieselben Relativgrössen, wie im Falle des unterirdischen Höchstleistungskabels, wobei wiederum verschiedene Kabellängen bei den zwei extrem gewählten Periodenzahlen zum Vergleich kommen sollen. Es ergibt sich dann die nachstehende Tafel-Uebersicht über die den praktischen Betrieb bestimmenden Zustandsgrössen:

Länge λ in km	Bei $16\frac{2}{3}$ Perioden			Bei 50 Perioden		
	Prozentuale Zunahme der Leerlaufspannung nach dem Ende hin	Prozentuale Leerlaufstromstärke	Prozentuale Kurzschlussspannung	Prozentuale Zunahme der Leerlaufspannung nach dem Ende hin	Prozentuale Leerlaufstromstärke	Prozentuale Kurzschlussspannung
100	0,1	1,2	10,6	0,6	3,6	31,6
300	0,6	3,6	31,7	5,1	11,3	98,0
600	3,4	7,3	64,6	24,5	25,3	219,0
1000	6,8	12,5	110,5	106,5	61,2	533,0

Man erkennt, dass für $16\frac{2}{3}$ Perioden zunächst nur die Kurzschlussspannung mit wachsender Länge unangenehme Werte annimmt; bei rund 600 km dürfte diese Spannung etwa den äusserst zulässigen Wert erreicht haben. Demgegenüber hat für 50 Perioden die Kurzschlussspannung schon bei etwa 200 km den äusserst zulässigen Wert erreicht, während dann gegen 1000 km auch noch die Zunahme der Leerlaufspannung nach dem Ende hin und die prozentuale Leerlaufstromstärke auf unannehmbare Werte steigen.

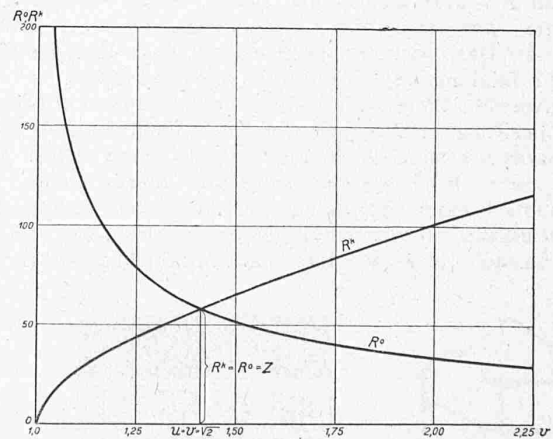


Abb. 3. Charakteristische Kurven des unterirdischen Einleiterkabels 36/100 mm bei 50 Perioden, zwischen $\lambda = 0$ und $\lambda = 407$ km.

5. Vergleichende Beurteilung des unterirdischen und des oberirdischen Höchstleistungskabels.

Auf Grund derselben Annahmen, auf denen unsere vergleichende Berechnung beruht, lässt sich mit etwelcher Vorsicht auch eine vergleichende Beurteilung der betrachteten Typen des unterirdischen und des oberirdischen Höchstleistungskabels durchführen. Dabei fällt in erster Linie die grössere Leitungslänge der oberirdischen Anlagen auf, für die noch ein befriedigendes Arbeiten möglich ist. Weiter fällt auch der Vorteil der kleinern Periodenzahl auf, der sowohl für die

oberirdische als auch für die unterirdische Anlage in ausgesprochenem Masse festgestellt werden kann.

Zu beachten ist jedoch, dass die behandelten Kabel-Typen Kupferquerschnitte (rund 1000 mm²) aufweisen, die weit über dem gegenwärtigen Bedürfnis liegen. Reduzieren wir diese Querschnitte auf die heute üblichen Masse, so wird eigentlich nur die Konstante r wesentlich geändert, während dabei die Konstanten l und c jeweils nur unwesentliche Änderungen erfahren, wodurch aber die Grössen a und b im allgemeinen doch wesentlich beeinflusst werden, sodass das Verhalten der geänderten Kabeltypen nicht ohne weiteres erraten werden kann. Wir haben über verschiedene der heute üblichen Typen ober- und unterirdischer Leitungen Rechnungen angestellt, um uns über ihre Verwendbarkeit für das Uebertragungsproblem ganz grosser Leistungen ein Bild zu machen. Sie ergeben, dass für ganz grosse Entfernungen die oberirdischen Anlagen immer im Vorsprung sind, solange man keine künstliche Kompensation der Kapazität durch Selbstinduktion und keine sehr weit auseinanderliegenden Periodenzahlen zu Grunde legt.

Inwieweit für ganz grosse Entfernungen überhaupt ein Bedürfnis für die Anwendung unterirdischer Leitungen besteht, scheint noch kaum genügend abgeklärt zu sein. Demgegenüber besteht ein solches Bedürfnis unzweifelhaft in einem kleinen, dicht bevölkerten und mit Leitungen schon mächtig überzogenen Lande, wie in dem unsrigen, wobei übrigens die für die Uebertragung in Betracht fallenden Leitungslängen weder für die oberirdische, noch auch für die unterirdische Linienführung zu sehr erheblichen Schwierigkeiten führen.

Dass etwa die zukünftige Entwicklung des Problems der Fernübertragung nochmals eine „Systemfrage“ (bzw. nochmals einen Erfolg des hochgespannten Gleichstroms) bewirken werde, halten wir für ausserordentlich unwahrscheinlich. Dagegen scheint uns das Problem der Kompensierung der Leitungs-Kapazität einen dringlichen Charakter zu besitzen. Die Lösung dieses Problems wird ganz besonders der Förderung der unterirdischen Leitung zu gute kommen; diese wird dabei zwar des Vorteils der verhältnismässig kleineren Kurzschlussspannungen verlustig gehen, dafür aber den Vorteil verkleinerter Leerlaufstromstärken eintauschen. Die Wirkung der Kompensation liegt vornehmlich in der Vergrösserung von Z und damit auch von R^0 und R_k , aber wegen des Einflusses der ebenfalls geänderten Grössen V und U ohne Bestehen einer Proportionalität. Das „wie“ und das „wieviel“ dieser Kompensation müssen Studium und Praxis erst noch abklären.

Auf alle Fälle ist in der Projektierung unterirdischer und oberirdischer Wechselstrom-Kabel noch ein weites und dankbares Arbeitsgebiet der Ingenieur-Tätigkeit zu erblicken; wenn unser Aufsatz den Erfolg hat, dieses Gebiet den vielen, nach einer „Spezialität“ verlangenden Fachkollegen einigermaßen interessant erscheinen zu lassen, so halten wir auch die auf ihn verwendete Mühe für reichlich belohnt.

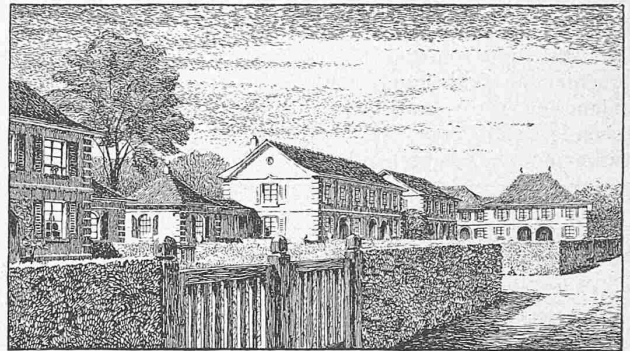


IV. Preis, Entwurf Nr. 16. — Arch. Georges Epitoux, Lausanne. — Mehrfamilien-Reihenhaus, 1:400.

Wettbewerb für eine Gartenstadt der Firma Piccard, Pictet & Cie. in Genf.

(Fortsetzung von Seite 209.)

No. 16. *Les Squares*. Ce projet exprime une idée générale intéressante dont la caractéristique réside dans un système de squares ou places de jeux répartis sur la propriété. Cependant ces espaces libres absorbent une grande surface de terrain et ils



IV. Preis, Entwurf Nr. 16. — Ansicht einer Wohnstrasse.

obligent à construire beaucoup de maisons en bordure des voies publiques, auxquelles elles donnent un aspect trop urbain. Les maisons sont très dispersées sur le plateau et trop condensées sur la pente qui domine le Rhône. L'auteur semble n'avoir pas compris la belle situation de cette partie du terrain, puisqu'il a négligé le meilleur point de vue; d'une manière générale, les espaces libres sont considérables.

Les circulations principales sont heureusement comprises, mais le système des chemins d'accès secondaires est médiocre. Le carrefour situé à la rencontre de l'avenue d'Aire et du chemin des Sports est bien composé, de même que la place en retraite, sur la parcelle A, dont le fond est formé par la salle de réunion. Les bâtiments publics n'ont pas une importance exagérée.

Le morcellement, compliqué sur certains points, sacrifie un certain nombre de jardins; beaucoup d'habitations en séries présentent une face au nord. Les plans des maisons familiales de quatre pièces, bien étudiés et traités avec une certaine ampleur, ont une surface construite un peu élevée par suite de la place occupée par le porche et l'escalier; la distribution des petites maisons collectives de quatre appartements à rez-de-chaussée et un étage est également bien comprise. L'architecture des façades est d'une bonne qualité, mais d'un caractère un peu bourgeois.

La maison des ouvriers retraités, au centre de la composition, n'est pas bien placée; elle devrait être reléguée dans un autre endroit plus retiré, l'esplanade publique devant être réservée à la collectivité des habitants. Par contre le home pour jeunes filles est bien situé, avec un emploi judicieux de la maison B. L'aspect général présente un certain manque d'harmonie par suite de l'éparpillement des maisons.

No. 63. *Soleil et Jardin*. Ce parti franc, absolu et rectiligne, en damier, purement schématique, qui emploie exclusivement des maisons contiguës sur le plateau et quelques maisons isolées et jumelles sur le versant Sud, est conçu avec une idée dominante d'orienter toutes les maisons et les jardins au sud. Toutefois toutes les faces postérieures des maisons, sans exception, sont orientées au nord, en pleine bise. La subordination de l'orientation des maisons à celle des jardins est une erreur. Il y a une quantité excessive de maisons sur le versant au sud. Avec une seule lignée de maisons sur chaque rue, cette disposition de maisons en séries qui manque de lien organique, est pauvre, implacable et uniforme. — Au point de vue de la commodité, le morcellement