Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

Band: 40 (1949)

Heft: 4

Artikel: Drehstrom-Fernleitungen mit erhöhter Übertragungsfähigkeit : Beitrag zur Planung des europäischen Verbundnetzes

Autor: Markt, G.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-1060646

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: 02.10.2025

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

diesen sind die lawinengefährdeten Strecken ohnehin in Galerien verlegt.

Ganz anders wird die Betriebsweise der Schleuder, wenn es gilt, eine über den Winter stillgelegte Strecke im Frühling möglichst frühzeitig zu räumen, wie dies auf der Strecke Oberwald-Realp der Furka-Oberalpbahn der Fall ist, oder die Strecke nach ausserordentlichen, schweren Schneefällen freizumachen. Unter diesen Umständen wechseln apere und leichte Strecken mit schwer lawinenbedeckten ab. Besonders hier zeigt sich der Vorteil der elektrischen Schleudern, die die Schneemassen gleichsam spielend wegräumen und deren Motoren durch den Führer in kürzester Zeit auf die vorauszusehende Last geschaltet werden können, wobei die Abstufung des Kontrollers der Rauheit des Betriebes entsprechend ebenfalls ziemlich grob gewählt ist. Tritt bei schlechter Sicht nach schwerer Last plötzliche Entlastung ein, so sorgen die beschriebenen Schaltungen und Auslösungen dafür, dass die Motoren und mit ihnen die Schleuderräder keine zu hohen Drehzahlen annehmen. Anderseits werden die Motoren, wenn die Schleuderräder sich in zu hartem Schnee festfressen, durch die Überstromauslösung ausgeschaltet, bevor sie Schaden nehmen können.

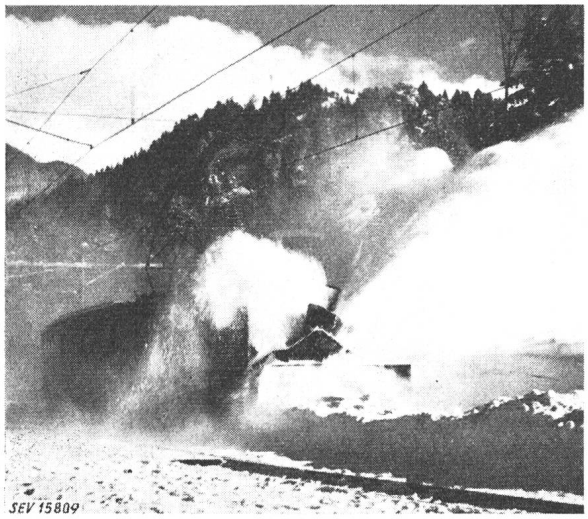


Fig. 9
Die Schneeschleuder der Brünigbahn in Tätigkeit auf der Station Brünig-Hasleberg

Wie die Tabelle II zeigt, sind die meisten schweizerischen, in Berggegenden verkehrenden Bahnen nun mit elektrischen Schneeschleudern versehen, so dass auch bei ausserordentlich ungünstigen Witterungsverhältnissen der durchgehende Betrieb auf den dazu vorgesehenen Strecken kaum noch einen längeren Unterbruch erleiden wird.

Adresse des Autors:
E. Anderegg, dipl. Ing., Regensbergstrasse 150, Zürich 50.

Drehstrom-Fernleitungen mit erhöhter Übertragungsfähigkeit

Beitrag zur Planung des europäischen Verbundnetzes

Von *G. Markt*, Innsbruck

621.315.1.025.3

Der für den Wiederaufbau Europas allgemein als nötig erkannte Ausbau neuer Energiequellen und leistungsfähiger Übertragungsanlagen führt zur Erhöhung der Übertragungsspannung von Drehstromleitungen bis 400 kV und darüber. Entwicklungsarbeiten hiefür sind in allen Staaten im Gange. Durch Verwendung von Bündelleitern an Stelle der bisherigen Einfachleiter wird es möglich, die Übertragungsfähigkeit von Drehstromhöchstspannungsleitungen bei gleicher Betriebsspannung zu erhöhen und gleichzeitig die Koronaverluste zu verringern. Diese Vorteile werden um so grösser, je höher die Übertragungsspannung ist. Es wird die Steigerung der Übertragungsfähigkeit bestehender 220-kV-Netze durch Bündelleiterleitungen an Hand von Vergleichszahlen nachgewiesen. Durch die bei Anwendung dieser Leiterbauart erreichte Leistungssteigerung werden in vielen Fällen die Kosten für die Erhöhung der Betriebsspannung erspart werden können. Berichte über Hochspannungsanlagen mit Bündelleitern im europäischen Ausland und Versuchsanlagen in Amerika werden angegeben.

L'aménagement de nouvelles sources d'énergie et la construction d'installations puissantes pour le transport d'énergie, travaux reconnus nécessaires pour la reconstruction de l'Europe, nécessiteront une augmentation jusqu'à 400 kV et plus de la tension de transmission des lignes de courant triphasé. Les travaux pour développer ces installations sont en cours dans tous les Etats. En employant des faisceaux de conducteurs à la place des conducteurs simples en usage jusqu'à ce jour, il devient possible d'augmenter la capacité de transport des systèmes triphasés, en diminuant en même temps les pertes par effet couronne. Ces avantages deviennent d'autant plus grands que la tension est plus élevée. L'augmentation de la capacité de transport de lignes existantes à 220 kV par l'utilisation de faisceaux de conducteurs est prouvée à l'aide de chiffres comparatifs. Il est fait mention de rapports sur des installations à haute tension avec faisceaux de conducteurs dans les Etats de l'Europe, et d'installations d'essai en USA.

Die bisherigen Konferenzen der *Economic Commission for Europe* haben den Energiemangel und die Notwendigkeit des Ausbaus von Grosskraftwerken und Einrichtungen für die Übertragung und Verteilung elektrischer Energie für den Wiederaufbau Mitteleuropas klar zutage treten lassen.

Die Zunahme der zu übertragenden Energiemengen und der Übertragungsentfernungen führt in gleichem Masse zu einer Erhöhung der Übertragungsspannung. Die europäische elektrotechnische Grossindustrie ist heute in der Lage, Übertragungseinrichtungen, d. h. Transformatoren, Apparate und Fernleitungen, bis zu etwa 250 kV, serienmässig herzustellen. Transformatoren und Schaltapparate für höhere Spannungen bis zu 400 kV sind in Entwicklung begriffen.

Die 220-kV-Drehstromübertragungssysteme haben in Amerika und in vielen Staaten Europas beträchtliche Ausdehnungen angenommen und sind in einzelnen Ländern bereits zu Verbundbetrieben zusammengeschlossen. Einzelne dieser Übertragungslinien, z. B. die Nord–Süd-Leitung Vorarlberg–Rheinland, sind bis zur Grenze ihrer Übertragungsfähigkeit belastet.

Durch die im Gang befindlichen Entwicklungsarbeiten zur Steigerung der Übertragungsmöglichkeiten durch Erhöhung der Übertragungsspannung auf 400 kV und darüber werden für die Errichtung neuer Anlagen zur Erzeugung und Übertragung grosser Energiemengen neue Chancen eröffnet. Die Entwicklung einer 400-kV-Übertragung aus einem vorhandenen 220-kV-System, d. h. ein Ersatz der vorhandenen 220-kV-Systeme durch ein übergeordnetes 400-kV-Netz ist aber nicht möglich. Man kann höchstens den vorhandenen 220-kV-Netzen eine 400-kV-Übertragung überlagern. Der hiefür notwendige finanzielle Aufwand wird aber nur in bestimmten Einzelfällen vertretbar sein. Vielfach, vor allem in Ländern mit bereits im Verbundbetrieb arbeitenden 220-kV-Übertragungen, wird es technisch richtig und vorteilhaft sein, neu zu errichtende Kraftwerke und Unterwerke zum Auftransformieren an dieses Übertragungssystem anzuschliessen und die Spannung von 220 kV beizubehalten, vorausgesetzt, dass es gelingt, die Leistungsfähigkeit der Übertragungsleitung zu erhöhen.

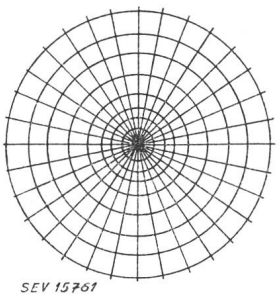
Eine solche *Steigerung der Übertragungsfähigkeit* von 220-kV-Drehstromfernleitungen bis etwa 50% kann *durch Verwendung von Bündelleitern* erreicht werden.

Der Bündelleiter entsteht durch Aufspaltung des Vollseiles in ein Bündel aus mehreren, in bestimmten gegenseitigen Abständen parallel geführten Teilleitern (Fig. 1). Durch entsprechende Bemessung und Distanzierung dieser Teilleiter gelingt es, den Wellenwiderstand $\sqrt{L/C}$ des ganzen Bündels bei 220 kV bis zu etwa 50% und bei 400 kV bis zu etwa 60% herabzusetzen, d. h. die Übertragungsfähigkeit im selben Verhältnis zu erhöhen.

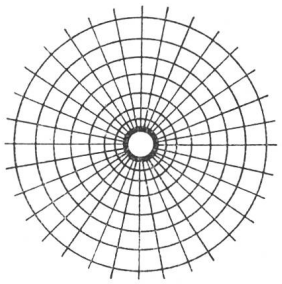
Solche Bündelleitungen haben gegenüber Vollseilen den weiteren Vorteil, dass ihre *kritische Spannung wesentlich höher* liegt und die *Verluste durch Abstrahlung* (*Korona*), insbesondere bei Erdschluss einer Phase, *bedeutend geringer* sind (Fig. 2).

Die Steigerung der Übertragungsfähigkeit und gleichzeitig die Herabsetzung der Koronaverluste erhöhen sich proportional zur Zunahme der Übertragungsspannung. Die Vorteile des Bündelleiters treten also um so mehr in Erscheinung, je höher die Übertragungsspannung ist.

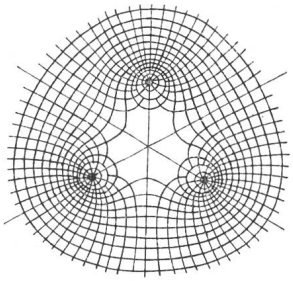
Die theoretischen Grundlagen und Gesetze für die Bemessung dieser Leitungsbauart sind in der Zeit-



Vollseil
Unzulässig grosse Feldstärke am Leiterumfang, starkes Sprühen (Korona)



Hohlseil
Verminderte Feldstärke am Leiterumfang, verringertes Sprühen



Bündelleiter
Optimale Feldgestaltung der Teilleiter-Kombination, minimales Glimmen bzw. hohe kritische Spannung

Fig. 1

Daten für Drehstromdoppelleitungen 220 und 400 kV mit Bündelleitern Tabelle I

Leitungsbauart		Drehstromdoppelleitung mit				
		Einzelleitern	Bündelleitern			
Höchste Betriebsspannung U_{max}	kV	230	230	230	230	400
Leiterzahl pro Phase und Seildurchmesser	mm	1 · 29,3	2 · 23,1	3 · 21,0	4 · 18,9	3 · 29,3
Baustoff . . . . . Stahl/Aluminium		1/4,5	1/4,3	1/4,3	1/4,3	1/4,5
Querschnitt: Total pro Seil	mm²	508,9	316,5	261,6	211,9	508,9
Querschnitt: Al pro Seil	mm²	415,6	256,6	212,1	171,8	415,6
Querschnitt: Al pro Doppelleitung	mm²	2494	3080	3818	4123	7481
Regelspannweite	m	350	350	350	350	350
Ohmscher Widerstand pro Kilometer und Phase, bei °C 20	Ω/km	$7{,}1 \cdot 10^{-2}$	$5{,}8 \cdot 10^{-2}$	$4{,}65 \cdot 10^{-2}$	$4{,}3 \cdot 10^{-2}$	$2{,}37 \cdot 10^{-2}$
Induktivität L pro Kilometer und Phase	H/km	$13{,}14 \cdot 10^{-4}$	$9{,}8 \cdot 10^{-4}$	$8{,}79 \cdot 10^{-4}$	$8{,}05 \cdot 10^{-4}$	$9{,}01 \cdot 10^{-4}$
Betriebskapazität C pro Kilometer und System	F/km	$9{,}2 \cdot 10^{-9}$	$12{,}1 \cdot 10^{-9}$	$13{,}6 \cdot 10^{-9}$	$14{,}7 \cdot 10^{-9}$	$13{,}2 \cdot 10^{-9}$
Wellenwiderstand $Z = \sqrt{L/C}$	Ω	378	284	253	235	260
Natürliche Leistung der Doppelleitung	MW	256	340	382	412	1110
Natürliche Stromdichte	A/mm²	0,81	0,88	0,79	0,78	0,68
Stromwärmeverluste bei natürlicher Leistung	%/100 km	1,88	2,04	1,85	1,82	0,91
Glimmspannung $\frac{U_g}{m}$ [1]	kV	323	368	433	472	610
Oberflächenzahl m						
Grösste Spannungsausnützung $\sigma_{max} = \frac{U_{max}}{U_{g2000}}$ [2]	%	106,2	94,4	79,4	72,7	99,0

[1]) ohne Erdschluss (Oberflächenzahl $m = 0{,}83$)
[2]) für Leitungen auf 2000 m ü. M.

schrift Elektrotechnik und Maschinenbau, Bd. 50 (1932), Nr. 20, S. 293...298 [1]) und im Rapport 249 der CIGRE, Paris 1935, erstmalig abgeleitet.

In Tabelle I sind Daten für Bündelleitungen mit Betriebsspannungen von 220 und 400 kV angegeben; die ersten sind in Vergleich gestellt zu den entsprechenden Werten für eine gewöhnliche Einseil-

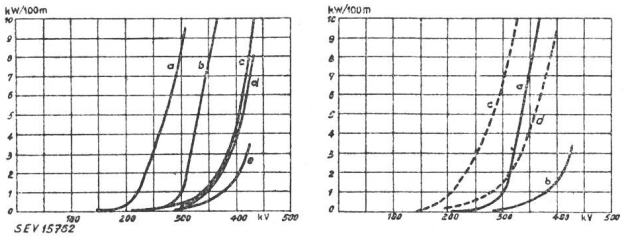


Fig. 2
Koronaverluste an Einfachseilen und Bündelleitern

a Einfachleiter ϕ 25 mm glatt
b Einfachleiter ϕ 42 mm glatt
c Bündel 3×25 mm/300 glatt
d Bündel 4×21 mm/400 rauh
e Bündel 4×25 mm/400 glatt

a Vollseil ϕ 42 mm Schönwetter
b Bündel 4×25 mm/400 Schönwetter
c Vollseil ϕ 42 mm Regenwetter
d Bündel 4×25 mm/400 Regenwetter

Die Zahlen 300 bzw. 400 geben den Abstand der Teilleiter in mm an.

leitung für 220 kV. Tabelle II enthält Angaben über Materialgewichte und Kosten für 220-kV-Fernleitungen mit Bündelleitern, ausgedrückt in Prozenten der entsprechenden Werte für gewöhnliche Vollseilleitungen, wobei diese mit 100% angenommen sind.

Materialgewicht und Kosten für 220-kV-Bündelleitungen verglichen mit Einseilleitungen in %

Tabelle II

Betriebsspannung . .	kV	220	220	220	220
Leiterzahl pro Phase und Seildurchmesser .	mm	1·29,3	2·23,1	3·21,0	4·18,9
Übertragungsfähigkeit (natürliche Leistung) .	%	100	133	149	161
Mastgewicht (t/km). .	%	100	131	156	172
Zement (t/km). . . .	%	100	133	148	160
Stahl (t/km).	%	100	122	155	169
Aluminium (t/km) . .	%	100	117	150	161
Spezifischer Stahlbedarf (kg/km · MW)	%	100	92	104	105
Spezifischer Aluminiumbedarf (kg/km · MW)	%	100	88	100,5	100,2
Spezifische Kosten (Schilling/km · MW) .	%	100	101	109	111

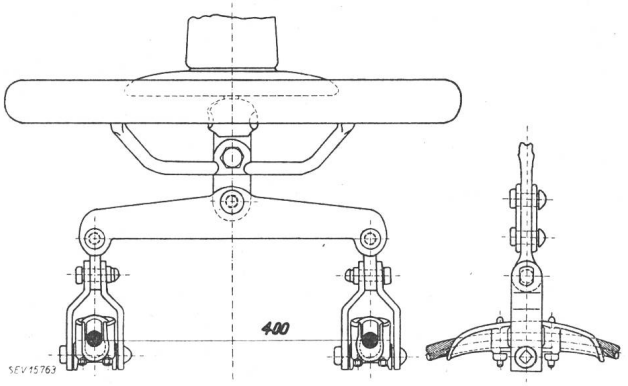


Fig. 3
Tragkonstruktion für Zweierbündel

[1]) *Markt, G.*, und *B. Mengele:* Drehstromfernübertragung mit Bündelleitern.

Aus den Tabellen geht hervor, dass z. B. die «natürliche Leistung» (Kennzeichen für die Übertragungsfähigkeit [2])) einer 220-kV-Doppelleitung mit 2er-Bündeln 33% und mit 3er-Bündeln 49% höher ist als die einer gewöhnlichen Einseilleitung, wobei aber die spezifischen Kosten, d. h. die Kosten pro km und übertragenes MW nur um 1% bzw. 9% höher liegen.

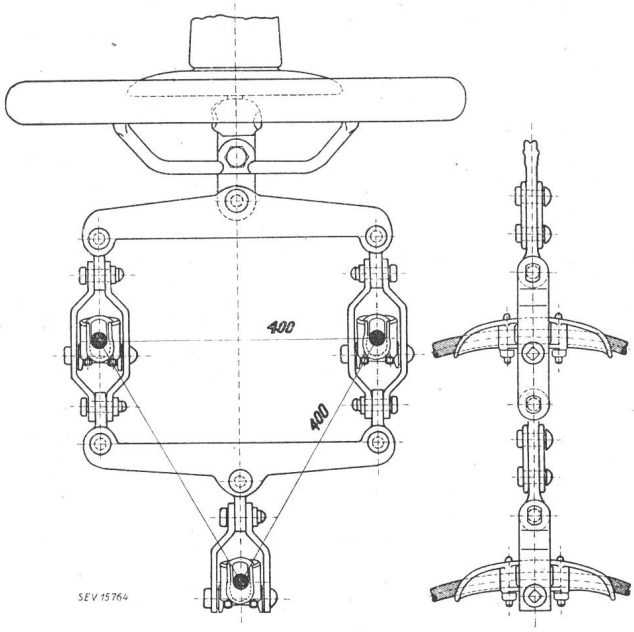


Fig. 4
Tragkonstruktion für Dreierbündel

In Fig. 3 und 4 sind als Beispiele die Tragkonstruktionen für ein 2er-Bündel und ein 3er-Bündel dargestellt. Die mechanische Tauglichkeit der Bündelleitungen wurde an Versuchsleitungen in Schlesien im Riesengebirge und in Österreich am Arlberg und am Erzberg während vieler Wintermonate unter Einwirkung extrem ungünstiger atmosphärischer Verhältnisse (Rauhreif) und künstlich erzwungener Schwingungsvorgänge erprobt.

Energieübertragungen mit Bündelleitern und erhöhter Übertragungsfähigkeit sind derzeit in folgenden Staaten in Bau:

[2]) Als «Natürliche Leistung» bezeichnen wir jene, bei der die kapazitive Blindleistung der Leitung $\omega C \frac{U^2}{3}$ durch die induktive Blindleistung $\omega L I^2$ kompensiert wird:

$$\omega C \frac{U^2}{3} = \omega L I^2,$$

d. h. wenn das Verhältnis von Spannung zu Strom $\frac{U}{\sqrt{3}\, I} = \sqrt{\frac{L}{C}} = Z$, dem Wellenwiderstand der Leitung ist. Die Leistungsübertragung erfolgt dann als reine Wirkleistung mit dem Leistungsfaktor 1 und mit einer vorwärtslaufenden Welle ohne Reflexion. Die natürliche Leistung P_n ist gegeben durch:

$$P_n = \sqrt{3}\, U\, I = \frac{U^2}{Z}.$$

U verkettete Betriebsspannung, I Leitungsstrom, C Betriebskapazität der Leitung pro km und System, L Induktivität der Leitung pro km und Phase.

Schweden: 220-kV-Übertragung vom Indalsälven (Nordschweden) nach Malmö, 380-kV-Übertragung Harsprånget-Hallsberg (von Nordschweden nach Süden); siehe Tekn. T. vom 29. März 1947 und Rapport 211 der CIGRE, Paris 1948.

Frankreich: 500-kV-Versuchsanlage in Chevilly bei Paris; siehe Bull. Soc. franç. Electr". Bd. 8(1948), Nr. 79, Seite 111...159 und Rapport 410 der CIGRE, Paris 1948.

Grossbritannien: 264-kV-Leitung des Central Electricity Board; siehe Rapport 226 der CIGRE, Paris 1948.

USA: 500-kV-Test-Line der Gas & Electric Co., Brilliant, Ohio; siehe Electr. Wld. Bd. 128(1947), Nr. 15, S. 84...86 und Nr. 20, S. 12...14.

Adresse des Autors:
Dipl. Ing. Dr. *G. Markt*, Westtiroler Kraftwerke, Museumstr. 28/III., Innsbruck (Österreich).

Technische Mitteilungen — Communications de nature technique

Die Zuleitung des Triège in den Barberinesee

Mitgeteilt von der Abteilung Kraftwerke der Generaldirektion der SBB

621.311.21 (494.442.2)

Wie Pressemitteilungen zu entnehmen war, hat der Verwaltungsrat der Schweizerischen Bundesbahnen in seiner Sitzung vom 29. November 1948 dem von der Generaldirektion vorgelegten Projekt über die Zuleitung des Triège in den Barberinesee zugestimmt und hiefür einen Kredit von Fr. 3 540 000.— bewilligt. Das Projekt sieht vor, den Triège auf Kote 1902.80 in der Alp Emaney zu fassen und durch einen 3,82 km langen Stollen dem Barberinesee zuzuführen. Dadurch wird ein Einzugsgebiet von 5,5 km² mit einer jährlichen Wassermenge, bei Annahme minimaler Zuflüsse, von 8,3 Millionen m³ an den Barberinesee angeschlossen. Das bestehende Einzugsgebiet des Barberinesees von 18,6 km² wird damit auf 24,1 km², d. h. um 29,6 % erhöht.

Die Hauptwasserfassung des Triège ist 600 m westlich der Alphütten von Emaney vorgesehen. Die Sohle der Fassung liegt auf Kote 1902.80 und der Überfall der Staumauer auf Kote 1903.80. Die Einlauf- und Grundablaßschützen sind in einem lawinensicheren Schutzhäuschen eingebaut.

Von der Hauptwasserfassung bis zum Stolleneingang ist ein gedeckter, gemauerter Kanal mit 2 ‰ Gefälle vorgesehen, von wo ein 3820 m langer Stollen in gerader Richtung zum Barberinesee führt. Das Stollenende befindet sich auf Kote 1889 am Ostufer des Barberinesees, rund 1 km nördlich der Staumauer. Das Stollengefälle beträgt auf der ganzen Länge 3,15 ‰. Der Stollen besitzt Trogprofil mit einer minimalen Ausbruchfläche von 3,3 m² und wird, soweit er im guten Gestein verläuft, nicht ausgekleidet. Aus dem geologischen Gutachten geht hervor, dass der Stollen auf seiner ganzen Länge in standfestem Gneis liegt.

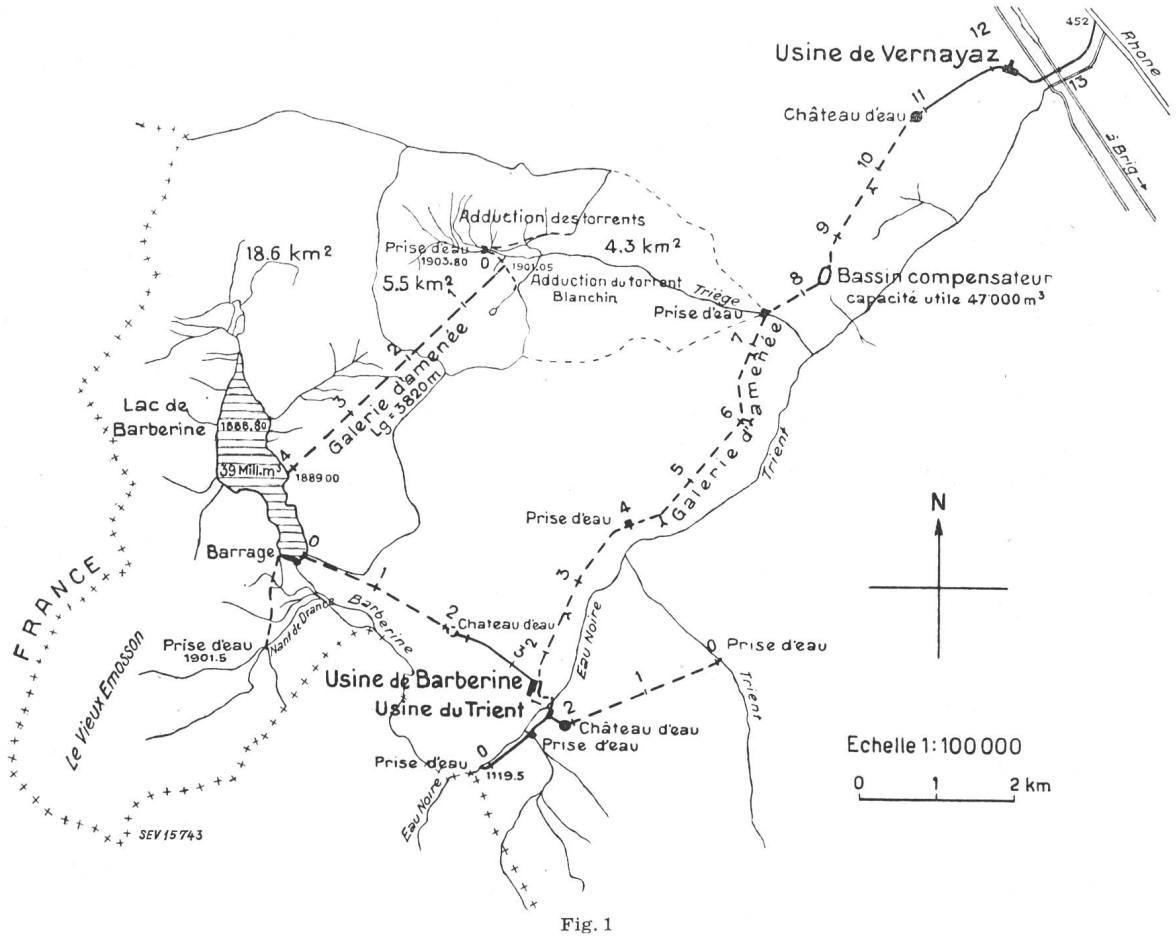


Fig. 1
Zuleitung des Triège in den Barberinesee
Übersicht

Zur Erweiterung des Einzugsgebietes werden am linken Talhang in Emaney 4 Bäche gefasst und durch Beton- oder Eternitröhren zur Hauptwasserfassung geleitet. Das mittlere Gefälle dieser Leitung beträgt 10 ‰.

Am rechten Talhang in Emaney wird der dem Lac du Blanchin entspringende Bach auf Kote 2087.75 gefasst und in einem offenen Kanal bzw. einer natürlichen Rinne in den Zuleitungsstollen geführt.

Der Beginn der Arbeiten ist für das Frühjahr 1949 und der Abschluss für das Frühjahr 1951 vorgesehen. Die Arbeit wird aufgeteilt in das Baulos 1, umfassend die Wasserfassun-