Zeitschrift: Wasser- und Energiewirtschaft = Cours d'eau et énergie

Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband

Band: 42 (1950)

Heft: 6-7

Artikel: Die wichtigsten Probleme der elektrischen Energieübertragung auf grosse Disanzen

Autor: O.E.G.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-922027

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: 10.07.2025

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

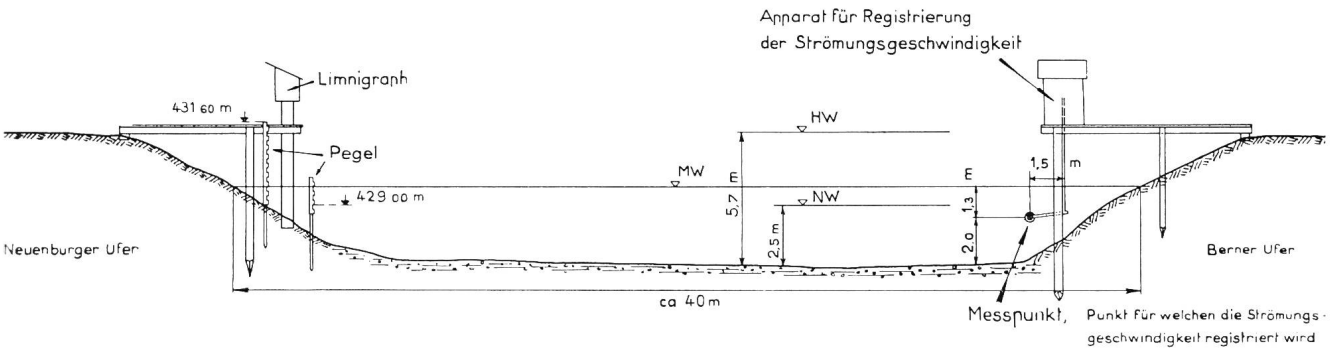

Abb. 7 Querprofil durch den Zihlkanal bei der Wassermeßstation Zihlbrück

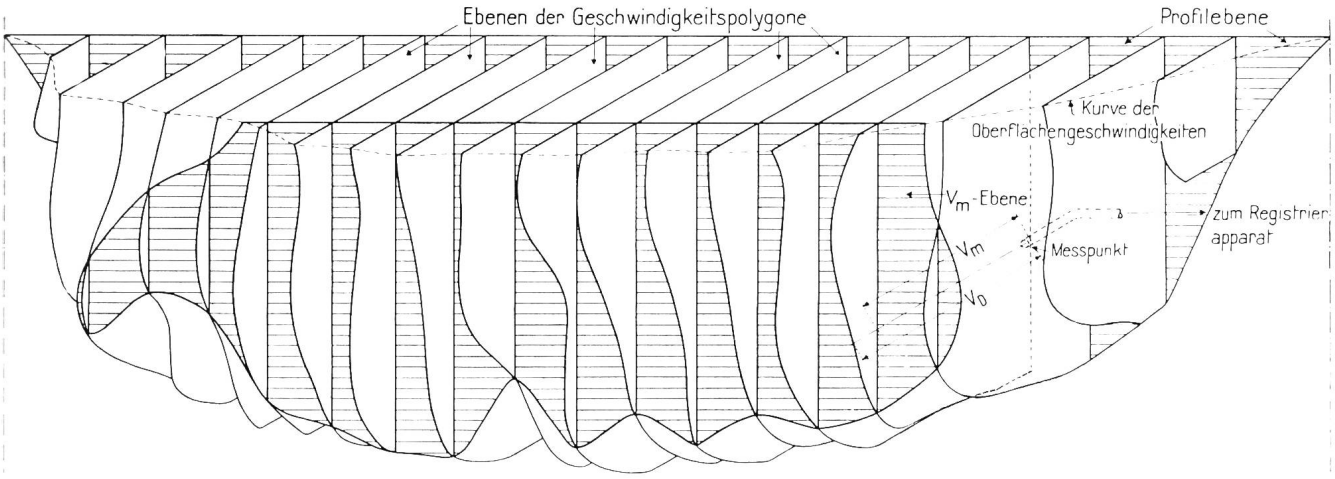

Abb. 8 Schematische Darstellung der Strömungsverteilung im Kanalquerschnitt auf Grund einer Flügelmessung

Wie verhält es sich mit dem Faktor λ? Denkt man an die bekannten Pulsationen des fließenden Wassers, so gelangt man zur Ansicht, daß λ zeitlich variabel sei. Bei diesen Variationen handelt es sich aber um rhythmische Schwankungen; der Schluß liegt deshalb nahe, daß Mittelwerte von λ um so weniger voneinander abweichen werden, je länger die Zeitabschnitte sind, für welche die Mittelwerte bestimmt werden. Es hat sich denn auch gezeigt, daß für Mittelwerte von der Dauer einer Wassermessung, also $1^1/_2$ St. — 3 Stunden, der Einfluß der Pulsationen ausgeschaltet ist.

(Fortsetzung folgt)

Die wichtigsten Probleme der elektrischen Energieübertragung auf große Distanzen

Unter diesem Titel ist im Januarheft 1950 der Wiener Zeitschrift «Elektrotechnik und Maschinenbau» eine Arbeit[1] erschienen, die in umfassender Weise die Fragen eines der wichtigsten Gebiete der zukünftigen Energiewirtschaft behandelt. Es ist dem Nichtfachmann nicht ohne weiteres klar, daß der elektrische Energietransport technische und wirtschaftliche Probleme größten Ausmaßes stellt, sobald es sich um größere als bisher übliche Distanzen und Energiemengen handelt. Der Verfasser, der sich neben Verwendung der vorhandenen Fachliteratur vor allem auf Versuche und theoretische Untersuchungen der Firma Brown-Boveri stützen kann, gibt in klarer und präziser Art einen Einblick in die Probleme und ihre möglichen Lösungen, die die Energieübertragung auf große Distanzen mit sich bringt.

Hochspannungsprobleme der Drehstromübertragung. Unter diesem Abschnitt werden die zwei Hauptprobleme, die die Anwendung sehr hoher Übertragungsspannungen mit sich bringt, eingehend erörtert: Das Koronaproblem und das Isolationsproblem.

Die Koronaverluste sind Übertragungsverluste, die nur von der Spannung abhängig und bei Vollast oder leerlaufender Leitung praktisch gleich groß sind. Es ist eine alte physikalische Tatsache, daß an der Oberfläche eines

[1] Die wichtigsten Probleme der elektrischen Energieübertragung auf große Distanzen, von Dr. W. Wanger, Baden, nach einem Vortrag, gehalten am 12. Mai 1949 im Außeninstitut der Technischen Hochschule Wien. E und M = Elektrotechnik und Maschinenbau, Heft 1, 1950, Springer-Verlag in Wien.

elektrischen Leiters, der unter Spannung gesetzt wird, die Umgebungsluft bei Erreichen eines Grenzwertes der elektrischen Oberflächenfeldstärke ionisiert wird, d. h. die Moleküle der Luft, die sonst ein vorzüglicher Isolator ist, werden in dieser Zone leitend. Wird die Spannung noch weiter gesteigert, so nimmt diese «Ableitung» durch die Lufthülle rasch zu, und es gehen auf diese Art längs der Leitung beträchtliche Energiemengen verloren. Dieses Phänomen wird bei den bis heute üblichen maximalen Übertragungsspannungen von 150 bis 220 kV noch ohne große Schwierigkeiten beherrscht, da die Oberflächenfeldstärken hier an den für minimale Ohmsche Verluste dimensionierten Leitern um wenig größer als dieser Grenzwert werden. Für Energieübertragung auf lange Distanzen von 400 bis 1000 km Länge, wie solche Leitungen heute verschiedentlich projektiert oder schon im Bau sind (Frankreich, England, Schweden), werden jedoch zur Kleinhaltung der lastabhängigen Übertragungsverluste sehr hohe Übertragungsspannungen nötig. Der Leiter muß deshalb zur Verminderung seiner Oberflächenfeldstärke einen großen Durchmesser aufweisen; bei massivem Leiter ergeben sich dabei aber unwirtschaftlich große Leiterquerschnitte. Die wirtschaftliche Lösung besteht in der Verwendung von Hohlleitern, die zwar den für niedrige (nur spannungsabhängige) Koronaverluste nötigen großen Außendurchmesser, jedoch gleichzeitig einen in bezug auf die übertragene Energie wirtschaftlichen Materialquerschnitt aufweisen. Eine weitere Lösung stellt der sogenannte Bündelleiter dar. Hier wird die Vergrößerung der Leiteroberfläche damit erreicht, daß zwei bis vier relativ dünne Leiter in 30 bis 40 cm Abstand voneinander parallel geführt werden auf gleichem Potential.

Die Koronaverluste sind stark witterungsabhängig; wenn sie z. B. bei einer Leitung für 400 kV bei schönem Wetter fast null sind, können sie bei starkem Regen 90 bis 100 kW pro km und Leiter erreichen. Bei einer Dreiphasen-Leitung, die z. B. über eine Strecke von 300 km von Regen oder Schneefall benetzt ist, würde sich ein witterungsabhängiger Verlust von 80 000 bis 90 000 kW ergeben. An diesem Beispiel, das einen im Bereich des Möglichen stehenden Extremfall darstellt, mag ermessen werden, daß dem Koronaproblem besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden muß. *Löschspulen*, die noch in 220-kV-Netzen gute Dienste leisten zur Unterdrückung von Betriebsunterbrüchen bei einpoligen Erdschlüssen, bringen bei höheren Spannungen immer mehr Nachteile. Ihre Wirksamkeit wird bei Vorhandensein eines Koronareststromes sehr beschränkt. Höchstspannungsnetze sind deshalb vorteilhaft mit festgeerdetem Nullpunkt zu betreiben. Die Vorteile der Löschspulen können weitgehend durch Schnellwiedereinschaltung übernommen werden, indem ein «krankes» Leitungsstück ausgeschaltet und sofort wieder eingeschaltet wird, bevor der Synchronismus gestört werden kann.

Ein weiteres wichtiges Problem ist die *Spannungserhöhung* bei sehr langen Leitungen. Es ist bekannt, daß die Spannung am Ende einer leerlaufenden Leitung höher ist als am Anfang, wegen ihrer verteilten Induktivität. An einer 1000 km langen Leitung z. B. ist die Betriebsspannung am offenen Leitungsende theoretisch doppelt so groß wie am Anfang. Praktisch ist diese Erhöhung geringer, da die Sättigung des Transformators und die auftretenden Koronaverluste stark dämpfend wirken. Der Verfasser zeigt, wie dieser als Ferranti-Effekt bezeichneten Spannungserhöhung auf verschiedene Arten begegnet werden kann.

Es wird auch ein Überblick gegeben über die nötige Abstufung der *Isolationsfestigkeit* der Transformatoren und Apparate und die Möglichkeiten der Fabrikation von noch transportfähigen Höchstspannungstransformatoren.

Dem Stabilitätsproblem der Drehstromübertragung wird ein besonderer Abschnitt gewidmet. Zwischen Anfang und Ende einer langen Leitung tritt je nach Belastungsfall eine mehr oder weniger große Phasenverdrehung der Spannung auf. Bei wirtschaftlich vernünftiger Belastung kann man mit rund 6° pro 100 km rechnen. Diese Phasendrehung ist die Ursache des Stabilitätsproblems bei langen Leitungen. Auf Grund von Berechnungen wird angegeben, daß eine direkte Leitung ohne Abzweigungen und Zwischenstationen eine maximale Länge von 400 km aufweisen kann, um noch einen genügend stabilen Energietransport zu ermöglichen. Bei größeren Entfernungen könnte der Synchronismus zwischen den beiden Endpunkten der Leitung nicht aufrechterhalten werden und die beiden Zentren würden außer Tritt fallen. Sind jedoch Abzweigungen oder ein vermaschtes Netz vorhanden, so sind noch größere Übertragungsdistanzen ohne Leitungskompensation möglich.

Die Stabilitätsschwierigkeiten können durch ganze oder teilweise Kompensation der Leitung mit Serie-Kapazitäten und Querdrosseln überwunden werden. Solche Kompensationseinrichtungen sind jedoch mit großen Anschaffungskosten verbunden. Eine weitere Möglichkeit, die Stabilitätsgrenze hinaufzusetzen, besteht in einer gewissen Überdimensionierung der Generatoren oder in Verwendung von Asynchron-Maschinen. Es werden auch Mittel gezeigt, die eine Stabilitätsverbesserung durch passende Beeinflussung des Generatorfeldes ermöglichen. Eine wichtige Forderung für eine Übertragungsleitung besteht darin, daß die Stabilität auch im Kurzschlußfalle weitmöglichst erhalten bleibt. Dies kann in einem großen Teil der Störungsfälle mit sehr schnell arbeitenden Schaltern, die mit automatischer Wiedereinschaltung ausgerüstet sind, erreicht werden. Bei einem Kurzschluß wird die betroffene Phase aus- und sofort wieder eingeschaltet. Auf diese Art kann bei voller Übertragungsleistung und 500 km Leitungslänge oder bei ca. 80 % der Leistung und 800 km Leitungslänge eine Störung «fortgeschaltet» werden ohne Stabilitätsverlust.

Am Schluß seiner Ausführungen gibt der Verfasser eine Darstellung über die Vor- und Nachteile der *Gleichstrom-Hochspannungsübertragung* und das Ergebnis einer wirtschaftlichen Untersuchung. Die unverkennbaren Vorteile einer Gleichstromübertragung lassen sich kurz wie folgt zusammenfassen: Wegfall des Stabilitätsproblems beim Parallelbetrieb; nur zwei Leiter statt drei beim Drehstrom; keine zusätzlichen Verluste aus Blindstrom, da ein solcher nicht existiert; geringere Isolation bei gleicher Leistungsübertragung und vor allem auch viel geringere Koronaverluste als bei Wechselstrom, was keine besonders teuren Leiter erfordert. Der große Nachteil der Gleichstromübertragung besteht jedoch darin, daß am Anfang und Ende der Leitung der hochgespannte Wechselstrom in Gleichstrom und dieser wieder rückwärts in Wechselstrom umgeformt werden muß. Außerdem muß die vom Verbrauchernetz und den Wechselrichtern benötigte große Blindleistung an Ort und Stelle erzeugt werden, da sie ja nicht von den Ge-

neratoren über die Leitung geliefert werden kann. Die Kosten dieser Umformeranlagen haben zur Folge, daß die Gleichstromübertragung über Freileitungen erst bei sehr großen Entfernungen wirtschaftlich günstiger wird als die Drehstromübertragung.

Für eine Leitung von gegebener Länge und zu übertragender Leistung läßt sich für jedes System, Gleich- und Wechselstrom, eine wirtschaftlichste Spannung berechnen. Die Kapitalkosten von Leitung und Endstationen (Verzinsung, Amortisation und Unterhalt) nehmen mit steigender Spannung zu, während die Kosten für die lastabhängigen Energieverluste auf der Leitung rapid abnehmen, woraus sich eine optimale Spannung mit minimalen Kosten ergibt. Ein wirtschaftlicher Vergleich zwischen Drehstrom und Gleichstrom ergibt, daß für Leitungslängen bis ca. 400 km der Drehstrombetrieb billiger ist, für länger werdende Distanzen überwiegen die Betriebskosten der Drehstromleitung diejenigen einer Gleichstromleitung jedoch immer mehr.

Neben diesen rein wirtschaftlichen Erwägungen ist jedoch zu erwähnen, daß die Technik gegenwärtig noch nicht ohne allzu großes Risiko den Bau einer genügend betriebssicheren Großenergieübertragung mit Gleichstrom erlaubt. O. E. G.

Niederschlag und Temperatur im Monat April 1950

Mitgeteilt von der Schweizerischen Meteorologischen Zentralanstalt

Station	Höhe ü. M.	Niederschlagsmenge				Zahl der Tage mit		Temperatur	
		Monatsmenge		Maximum		Nieder-schlag	Schnee	Monats-mittel	Abw.[1]
	m	mm	Abw.[1] mm	mm	Tag			°C	°C
Basel	317	84	19	12	15.	17	3	7,3	—1,4
La Chaux-de-Fonds	990	116	—10	24	2.	21	15	3,5	—1,5
St. Gallen	679	167	60	34	23.	21	9	5,7	—0,5
Zürich	493	124	38	26	23.	18	5	7,6	—1,0
Luzern	498	128	39	25	23.	18	4	7,9	—0,6
Bern	572	117	41	20	12.	15	7	7,0	—1,0
Genf	405	52	—17	11	2.	12	1	8,4	—0,8
Montreux	412	109	29	16	12.	14	2	8,3	—0,9
Sitten	549	38	—1	11	12.	7	1	9,0	—1,1
Chur	633	90	36	17	24.	15	2	7,4	—0,6
Engelberg	1018	151	27	29	14.	18	13	4,0	—0,7
Davos-Platz	1561	102	42	18	14.	17	16	1,1	—1,0
Rigi-Staffel	1596	178	—1	30	14.	16	15	0,0	—
Säntis	2500	220	—31	35	9.	20	20	—5,9	—1,1
St. Gotthard	2095	151	—56	28	14.	19	19	—3,3	—0,9
Lugano	276	228	66	60	14.	13	—	10,5	—0,6

[1] Abweichung von den Mittelwerten 1864—1940.

Wasserversorgung, Grundwasser, Gewässerschutz, Fischerei

Verband zum Schutze der Gewässer in der Nordwestschweiz

Am 15. April 1950 wurde in Basel ein «Verband zum Schutze der Gewässer in der Nordwestschweiz» gegründet; als Präsident des provisorischen Vorstandes wurde Oberförster *Ch. Brodbeck* gewählt.

Kläranlage in Hombrechtikon

Die Gemeinde Hombrechtikon hat eine Kläranlage erstellt, in der alle Abwässer der Gemeinde mit freiem Gefälle gesammelt und gereinigt werden können. Vorläufig findet nur eine mechanische Reinigung des Abwassers statt, das Projekt ist aber so gestaltet worden, daß eine biologische Nachreinigungsanlage jederzeit erstellt werden kann. Projektverfasser und Bauleiter der Anlage war dipl. ing. *M. Wegenstein*, Küsnacht. Dipl. ing. *Schneiter* von der kantonalen Baudirektion gab an einer Besichtigung bekannt, daß der Kanton Zürich an die Kosten der Anlage von ca. Fr. 80 000.— einen Beitrag von 40 % ausrichte. Im Zürcher Oberland haben die Gemeinden Wetzikon, Hinwil, Wald und nun auch Hombrechtikon zentrale Kläranlagen erstellt. Sie sind ein Vorbild für die großen Gemeinde-Kläranlagen am Zürichsee selbst.

Gewässerkorrektionen, Natur- und Heimatschutz

Unter diesem Titel hat Wasserbauingenieur *Hans Herzog* in Aarau im «Aargauer Tagblatt» vom 16. Dezember 1949 Abschied von seinem Amte genommen, das er während vielen Jahren inne hatte. Prägnant und begleitet von sehr guten Bildern schildert Herzog die Maßnahmen, die bei Gewässerkorrektionen zum Schutze des Landschaftsbildes und der Fischerei getroffen werden; es ist erfreulich und sehr verdankenswert, daß im Aargau die maßgebenden Fachleute neben den technischen Gesichtspunkten auch den ideellen Belangen ihre ganze Aufmerksamkeit geschenkt haben.