

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 37 (1946)
Heft: 10

Artikel: Ueber Erwärmungsvorschriften und Ueberlastbarkeit
Autor: Waldvogel, P.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1061101>

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: 16.01.2026

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

ken. Dank der bei der Bauausführung angewendeten Massnahmen, unter anderem des Schliessens der Fugen unter Druck, wirkt die Sperre ausgesprochen als liegendes Gewölbe und ist demzufolge auf der untern Mauerhälfte auch für einen erhöhten Druck ohne weiteres stark genug. Eine Verstärkung ist erst oberhalb der Kote 1870 erforderlich.

Bei der Seeuferegg wird hingegen die Sperrverstärkung auf der ganzen Mauerhöhe ausgeführt werden müssen. Da die bestehende Mauer auf einem Sattel steht, wird der Fuss der Verstärkung tiefer als das jetzige Fundament, stellenweise bis zum Ufer des ehemaligen Grimselseeins, reichen müssen. Die Verstärkung wird auch in Lamellen entsprechend der Fugeneinteilung der bestehenden Mauer erfolgen.

Vorläufig ist eine See-Erhöhung um 14 m angenommen, was einer Vergrösserung des Seeinhaltes auf 145 Millionen m³ entspricht. Die für die Verstärkung der Staumauern erforderlichen Kubaturen sind relativ gering: 80 000 m³ für die Spitalamm-sperre und 140 000 m³ für die Seeufereggsperre.

Zur Erhöhung der Kapazität des Grimselsees gehört noch die Zuleitung des Bächlisbaches. Hiezu genügt ein einfacher unverkleideter Stollen unter dem Grat des Juchlistockes. Nach den aus dem Projekt Narutowicz übernommenen Unterlagen erreicht die Stollenlänge rund 1350 m.

Diese Reihenfolge der Ausführung der Etappen weist gegenüber den andern möglichen Kombinationen wesentliche Vorteile auf. Mit dem Kraftwerk Handeck II wird eine neue Energiequelle erschlossen, im Gegensatz zu den andern Etappen, deren Anlagen in erster Linie eine Verschiebung der Sommerproduktion auf den Winter gestatten. Nach Erstellung des Kraftwerkes Handeck II wird die Betriebssicherheit der KWO bedeutend grösser sein, indem das Wasser der Akkumulieranlage wahlweise

über zwei getrennte Anlagen links und rechts des Tales ausgenützt werden kann. Mit ihren 75 000 kW würde die Anlage Handeck II (I. Etappe: 2 Maschinen) nötigenfalls einen wirksamen Ersatz für die Anlage Handeck I bieten.

Die Ausführung der einzelnen Etappen kann unabhängig und ohne gegenseitige Beeinflussung erfolgen, so dass es auch möglich sein wird, die Zusammenlegung von zwei Etappen oder die Inangriffnahme einer Etappe vor der Fertigstellung der vorangehenden in Aussicht zu nehmen.

Die Projektierungsarbeiten für die Anlagen der I. Etappe sind bereits so weit fortgeschritten, dass das Konzessionsprojekt den zuständigen Behörden schon im Laufe dieses Jahres vorgelegt werden kann.

IV. Energieproduktion und Baukosten

Nach Fertigstellung der Anlagen wird die gesamte Energieproduktion der KWO in einem Durchschnittsjahr auf ca. 1 100 Millionen kWh ansteigen. Davon entfallen ca. 700 Millionen kWh auf den Winter. Mit dem Zuwachs gegenüber der bisherigen Produktion von 350 Millionen kWh Winterenergie kann zuverlässig gerechnet werden, indem diese Energiemenge zu 91 % von der gewählten Grösse der Akkumulierbecken und nur zu 9 % von dem in engen Grenzen variierenden Winterzufluss abhängt.

Die Baukosten sind auf insgesamt 114 000 000 Fr., Preisbasis 1939, veranschlagt. Wird für die Deckung der jährlichen Betriebskosten ein Ansatz von 7 % der Baukosten in Rechnung gesetzt, so stellt sich der durchschnittliche Preis der Winterenergie, Preisbasis 1939, auf 2,28 Rp./kWh loco Innertkirchen 150 kV. Bei Annahme einer Teuerung von 50 % betragen die Baukosten rund 170 000 000 Fr. und der Preis für die Winterenergie 3,4 Rp./kWh.

Adresse des Autors:

Dr. iur. W. T. Moll, Direktionssekretär der Bernischen Kraftwerke A.-G., Bern.

Ueber Erwärmungsvorschriften und Ueberlastbarkeit

Von P. Waldvogel, Baden

621.3.017.71

Die Begriffe Grenzerwärmung + Bezugstemperatur = Grenztemperatur sind nur ein allgemein anerkanntes, wenn auch willkürliches Mittel, um Offerten vergleichen zu können. Die Lebensdauer der Isolation ist jedoch nicht allein eine Funktion der Temperatur, sondern auch der Zeit (Lebensdauerkurven). Im praktischen Betrieb gibt es jedoch keine «Grenztemperatur» im konventionellen, engen Sinn. Der Betriebsleiter kann jede Maschine und jeden Transformator «überlasten»; aber er muss sich bewusst sein, dass jede «Ueberlastung» die Lebensdauer in einem schwer zu bestimmenden Mass in Funktion der Höhe der Belastung und der Belastungsdauer herabsetzt.

La limite de température, considérée comme la somme de la limite d'échauffement et de la température de référence, n'est qu'un moyen généralement employé, mais arbitraire, qui permet de comparer des offres entre elles. En réalité, la durée de vie de l'isolement ne dépend pas uniquement de la température, mais aussi du temps écoulé. En pratique, il n'y a pas de «température limite», au sens conventionnel et restreint de ce terme. L'exploitant peut surcharger n'importe quelle machine ou quel transformateur, mais il doit savoir que chaque surcharge diminue la durée de vie de la machine ou du transformateur, dans une mesure qui est fonction de la valeur et de la durée de la charge, mais qui est difficile à déterminer.

Die Regeln aller Länder für elektrische Maschinen legen eine Grenzerwärmung fest, die, wenn man sie mit dem konventionellen Grenzwert der Kühlmitteltemperatur (Bezugstemperatur) kombiniert, zum Begriff der Grenztemperatur führt. Es wird in weiten Kreisen die Meinung vertreten, dass das Ueberschreiten einer solchen Grenztemperatur im

Betrieb sicher zur Zerstörung des Isoliermaterials führen muss. Nichts ist aber falscher als eine solche Auffassung, und der Zweck dieser Ausführungen soll sein, sie zu bekämpfen.

Es muss zunächst betont werden, dass niemals die Wirkung der Temperatur allein für die Zerstörung einer Isolation verantwortlich gemacht werden

kann. Eine massgebende Rolle spielt dabei auch die Dauer der thermischen Ueberbeanspruchung. Mit andern Worten ist hier eine Kombination der beiden Faktoren Temperatur und Zeit in Betracht zu ziehen, wobei eine mässige Uebertemperatur, die sich während einer langen Zeit auswirkt, gefährlicher sein kann, als eine hohe Uebertemperatur kurzer Dauer. Es drängt sich also der Begriff einer Grenzkurve, Temperatur in Funktion der Zeit, auch Lebensdauerkurve genannt, auf. Ein Punkt oberhalb einer solchen Kurve entspricht einem Betrieb, der innerhalb der zu ihm gehörigen Zeit zur Zerstörung des Isoliermaterials führen würde, während ein Punkt unterhalb der Grenzkurve einen ungefährdeten Betrieb darstellt. Man würde nach dieser Vorstellung sozusagen jeder Temperatur eine zugehörige Lebensdauer zuordnen.

Diese Lebensdauerkurven folgen nun bei den eingebauten, meist zusammengesetzten Isolationen nicht einem einfachen Universal-Naturgesetz, sondern entziehen sich wohl auf immer jeder theoretischen Gesetzmässigkeit. Sie müssen daher experimentell ermittelt werden, weil die Anzahl mitsprechender Parameter sehr gross ist. Eindeutige Ergebnisse können höchstens durch Messungen an Mustern einfacher Isolierstoffe nach bestimmten Verfahren erzielt werden ¹⁾.

Es leuchtet ein, dass es äusserst heikel ist, aus den an Mustern gewonnenen Lebensdauerkurven das Altern einer elektrischen Maschine unter vorgeschriebenen Betriebsbedingungen vorauszubestimmen. Von den mannigfaltigen Schwierigkeiten seien nur einige erwähnt.

In einer Maschine ist, im Gegensatz zum untersuchten Muster, die Temperatur innerhalb der Isolation keineswegs überall gleich, und die Isolationen sind meistens zusammengesetzt, mindestens imprägniert. Ferner ist der praktische Betrieb nicht ohne weiteres vergleichbar mit der Musterprüfung, weil die Temperatur während der ganzen Belastungsdauer im allgemeinen nicht konstant bleibt, und weil die Auswirkungen vieler nacheinander folgenden Belastungsschwankungen sich noch irgendwie summieren. Endlich, und dies ist bei weitem der wichtigste Faktor, «altern» und «sterben» die elektrischen Maschinen viel mehr wegen der mechanischen als wegen der thermischen Beanspruchungen; für eine Nutenumpressung z. B. sind die mechanischen Erschütterungen bei Kurzschlüssen oder Vibrationen und die Verschiebungen bei der Wärmeausdehnung der Stäbe viel gefährlicher, als die eigentliche thermische Beanspruchung. Uebrigens treten diese Beeinflussungen im allgemeinen kombiniert auf.

Diese Argumente scheinen nun gegen eine fest vorgeschriebene Grenztemperatur (Bezugstempera-

tur plus Grenzerwärmung) zu sprechen. Die Maschinenbauer sind jedoch, genau wie die Besteller, der Ansicht, dass diese Vorschriften dem allgemeinen Wohl der Technik dienen und ihren hohen Zweck erfüllen, wenn sie nur richtig aufgefasst werden. Diesen Standpunkt vertreten wir auf Grund von Ueberlegungen, welche dieses Problem von einer ganz andern Seite beleuchten, als wir es bis jetzt getan haben.

Der Betriebsmann, der eine Maschine oder einen Transformator anzuschaffen hat, will im allgemeinen mehrere Konstrukteure anfragen, und die Offerten unter sich technisch und preislich vergleichen können. Man darf aber nur Sachen vergleichen, die vergleichbar sind. Deswegen wird der Konstrukteur alle Hilfsmittel begrüssen, die dazu beitragen, im harten Konkurrenzkampf Klarheit zu schaffen. Zu diesen Hilfsmitteln gehört in erster Linie eine einfache, saubere Erwärmungsvorschrift, denn wie würde man sonst zwei Angebote bei verschiedenen Erwärmungsbedingungen miteinander vergleichen und sachlich beurteilen können? Aus diesem Grunde bildete die Erarbeitung einer international anerkannten Erwärmungsvorschrift mit der Definition des Nennbetriebes eine Hauptaufgabe der Commission Electrotechnique Internationale (CEI), die seit etwa 20 Jahren befriedigend gelöst ist.

Wir sind also feste Anhänger und entschlossene Verteidiger der konventionellen Erwärmungsvorschriften, solange die Besteller darin ein Mittel sehen, die gesamte Konkurrenz auf den gleichen Nenner zu bringen. Wir richten aber im allgemeinen Interesse der Technik einen dringenden Appell gegen die Anwendung des Begriffes der «Grenztemperatur» im praktischen Betrieb, denn dort gibt es keine «Grenztemperatur» im engen Sinn des Wortes.

Der Frage der thermischen Ueberlastbarkeit von Maschinen, Transformatoren und Apparaten im praktischen Betrieb wollen wir noch ein paar Worte widmen. Da wir den vorgeschriebenen Temperaturen jeden Charakter einer absoluten Grenze verweigern, ist schon gesagt, dass jede Maschine mehr oder weniger «überlastbar» ist. Während gewisse Ueberlastungen entschieden zu hoch sind und unzweifelhaft zur vorzeitigen Zerstörung der Maschine führen würden, gehören viele andere zur grossen Klasse der «Ueberlastungen ohne schädliche Erwärmung». Darunter versteht man, dass die Maschinen einer solchen Ueberlastung sicher standhalten. Der Betriebsmann muss sich aber bewusst sein, dass im Sinne unserer ersten Ueberlegungen über die Lebensdauer des Isolier-Werkstoffes und trotz jeder gewissenhaften Garantie seitens des Konstrukteurs eine Ueberlastung zwangsläufig eine frühzeitige Alterung seiner Maschine verursacht. Freilich ist eine quantitative Bewertung der Verkürzung der Lebensdauer meistens nicht möglich, aber sie ist qualitativ nicht zu verkennen. Und dies ist der Grund, warum davor gewarnt werden muss, die Maschinen und Apparate für eine zu kleine Nennleistung zu bestellen.

Adresse des Autors:

Dr. P. Waldivogel, Goldwand 27, Ennetbaden.

¹⁾ Montsinger, V. M.: J. Amer. Inst. Electr. Engrs., Trans. Bd. 49 (1930), S. 776; Electr. Engng., Trans. Bd. 58 (1939), S. 443.

Imhof, A.: Elektr. Isolierstoffe, S. 148. Zürich, Orell Füssli Verlag. 1946 (siehe Besprechung S. 285 in dieser Nr.).