

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 82 (1991)

Heft: 22

Artikel: Das Energiesparen der Elektrizitätswirtschaft am Beispiel der Transformatorenverluste

Autor: Schwab, F.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-903034>

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: 30.01.2025

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

Das Energiesparen der Elektrizitätswirtschaft am Beispiel der Transformatorenverluste

F. Schwab

Die Leerlauf- und Lastverluste der Transformatoren konnten in den letzten 40 Jahren schrittweise soweit gesenkt werden, dass sie wohl kaum noch weiter vermindert werden können. Zudem ist ihr Anteil an den totalen Versorgungsverlusten relativ gering.

Il a été possible, au cours des 40 dernières années, d'obtenir peu à peu une diminution des pertes à vide et des pertes de charge des transformateurs telle qu'elle ne pourra être que difficilement améliorée à l'avenir. D'autre part la part de ces pertes inhérentes à l'approvisionnement en électricité est relativement faible.

Einleitung

Im Rahmen des Energienutzungsbeschlusses werden unter anderem auch Grundlagen zur Senkung des Energieverbrauchs von Elektromotoren, unterbrechungslosen Stromversorgungsanlagen (USV) und Transformatoren erarbeitet. Der vorliegende Bericht ist Teil des Auftrages «Erarbeitung von Grundlagen zur Beeinflussung des Energieverbrauchs von Geräten und seriell hergestellten Anlagenkomponenten», welcher vom Bundesamt für Energiewirtschaft finanziert wird.

Verlustkette des Stromflusses von der Produktion zum Verbraucher

Die Verluste der Energieverteiltransformatoren dürfen nicht isoliert betrachtet werden. Sie liegen innerhalb

der in Bild 1 dargestellten gesamten Verlustkette von der Produktion bis zum Verbrauch und entsprechen mit etwa 0,4% einem relativ kleinen Verlustanteil. Die gesamten Verluste ab Generator bis zum Hausanschluss liegen heute bei etwa 7% der Nettoerzeugung an elektrischem Strom. Einen ebenfalls kleinen Anteil dieser Gesamtverluste erbringen das Hoch- und Höchstspannungsnetz, inklusive den Netzkuppeltransformatoren von 400 auf 220 kV. Diese Verluste bewegen sich in der Grössenordnung von 0,7%. Die Verluste des Mittelspannungsnetzes mit den Transformatoren betragen etwas über 1,1%. Der grösste Teil der Verluste von gegen 4,8% liegt in der Detailversorgung, das heisst in der Feinverteilung. Darunter versteht man die Quartiersversorgung und die weit über 1 Million zählenden Haus- und Wohnungsanschlüsse.

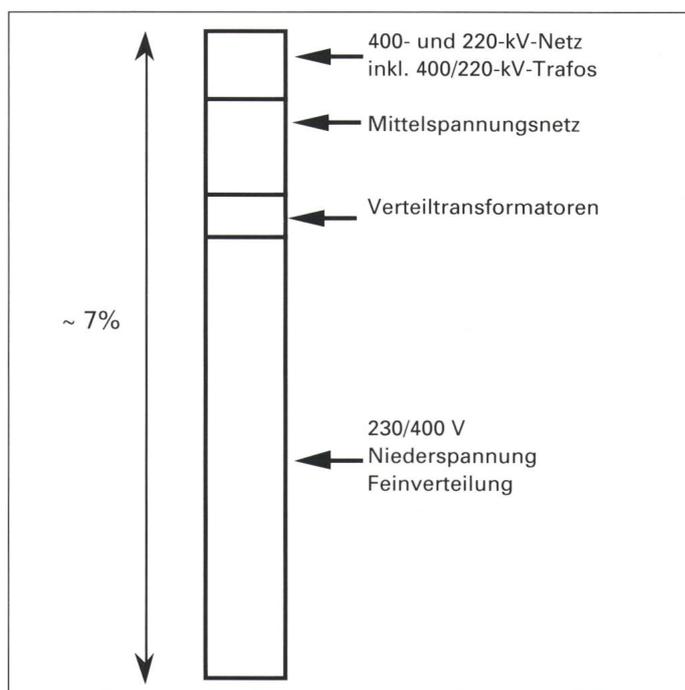


Bild 1
Aufteilung der Verluste in der elektrischen Energieversorgung

Adresse des Autors
Dr. F. Schwab, dipl. Ing. ETH, Vizedirektor,
Aare-Tessin AG für Elektrizität, 4600 Olten.

Verluste der Energieverteiltransformatoren

Die Elektrizitätswerke hatten seit jeher grosses Interesse, die auf dem Gebiet der Elektrizitätsversorgung allgemein schon kleinen Verluste auf einem Minimum zu halten. Dies kommt besonders gut bei den Verteiltransformatoren zum Ausdruck, verlangten doch die Elektrizitätswerke von den Transformatorenherstellern schon immer die Verwendung des bestmöglichen auf dem Weltmarkt erhältlichen Transformatorbleches. Heute verwendet man fast ausschliesslich laserbehandelte, kornorientierte Bleche von Nippon Steel, die weltweit die tiefsten Verlustziffern aufweisen. Bild 2 zeigt die entsprechenden Eisenverluste in Promillen der Typenleistung eines Verteiltransformators von 630 kVA Leistung im Laufe der letzten 40 Jahre. Besonders markant ist das Absinken der Verluste in den 50er und 60er Jahren durch Anwendung verschiedener kornorientierter Bleche und die weitere Absenkung der Verluste in den 80er Jahren durch Anwendung des Lasers in der Blechbearbeitung, die jede Gratbildung ausschliesst und die Kornorientierung auch der Randzonen nicht tangiert. Ende der 80er, Anfang der 90er Jahre haben sich die Eisenverluste bei etwas über 1‰ stabilisiert.

Einen ähnlichen Effekt sieht man bei den Kupferverlusten, die heute bei den Verteiltransformatoren bei ungefähr 0,75% liegen. Bild 3 zeigt die Kupferverluste eines Verteiltransformators in Prozent der Typenleistung in Funktion des Fabrikationsjahres der letzten 40 Jahre. Obwohl in der Schweiz gesamthaft über 45 000 16/0,4-kV-Transformatoren im Einsatz stehen, wurde von den Schweizer Elektrizitätswerken nie eine Massenproduktion akzeptiert, sondern im Gegenteil, bei der Offertauswertung waren die Verlustangaben, das heisst die Wirkungsgrade, schon immer von zentraler Bedeutung für die Auswahl des Lieferanten. Die Fabrikanten hatten daher auch schon immer alles Interesse, möglichst verlustarme Transformatoren zu produzieren.

Bezüglich der Kapitalisierung der Verluste müssen die Kupferverluste in einem weiten Bereich betrachtet werden, da diese von Fall zu Fall unterschiedlich gerechnet werden. Da die Kupferverluste quadratisch mit der Strombelastung steigen, können in der Bewertung grosse Unterschiede auftreten. Sicher ist einzig, dass man nicht die Vollastverluste, wie sie von den Lieferanten offeriert und auch in den Bildern

Bild 2
Eisenverluste der Verteiltransformatoren in Funktion des Produktionsjahrganges

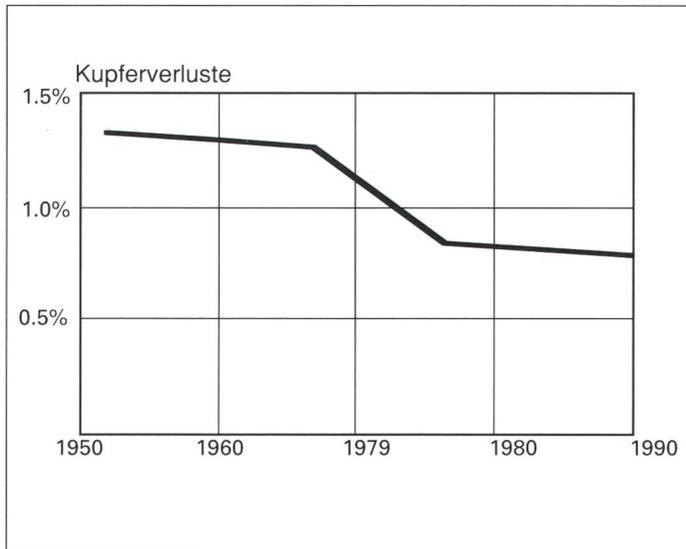
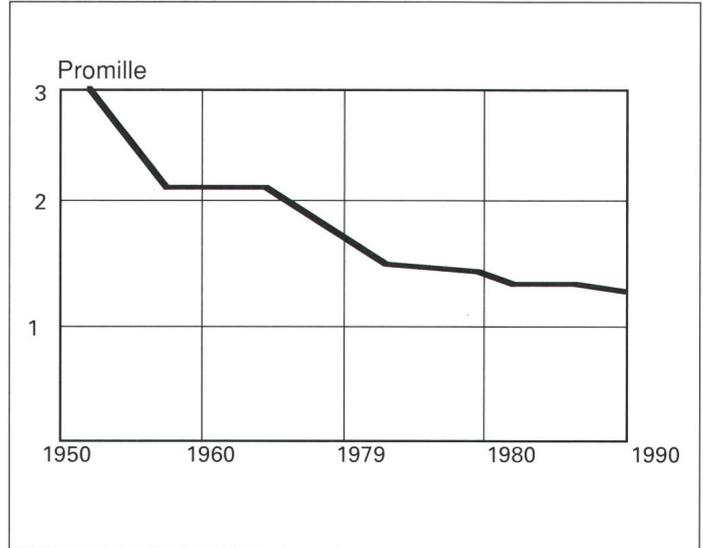
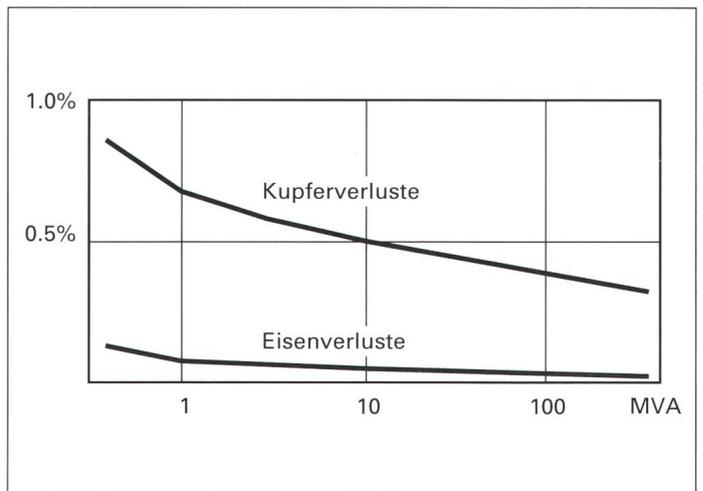


Bild 3
Kupferverluste der Verteiltransformatoren bei Vollast in Funktion des Produktionsjahrganges

Bild 4
Kupferverluste und Eisenverluste aller Transformatoren in Funktion der Typenleistung



3 und 4 dargestellt sind, berücksichtigen darf, da aus Versorgungssicherheitsgründen kein Verteiltransformator auf Vollast läuft. Je nach Anzahl Transformatoren pro Unterwerk und entspre-

chend der mehr oder weniger dichten Vermaschung der Netze rechnet man für die einzelnen Transformatoren mit Belastungen zwischen 30 und 80%, wodurch die Kupferverluste um den Faktor

7 variieren, so dass keine generellen Angaben gemacht werden können. In Bild 1 wurde die mittlere Belastung der Verteiltransformatoren mit 70% angenommen.

Im Gegensatz dazu sind die Eisenverluste konstant, das heisst unabhängig von der Belastung, so dass es sich lohnt, die besten Bleche einzusetzen, wie das in der Praxis auch gemacht wird.

Grosstransformatoren

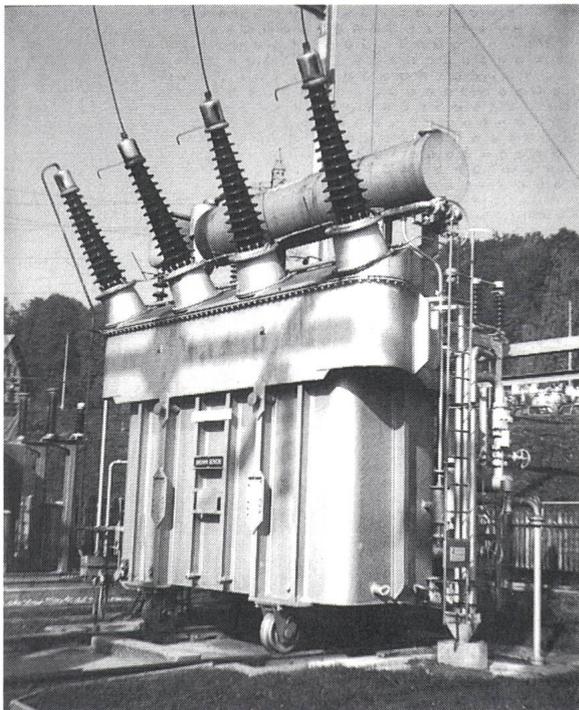
Grosstransformatoren sind wie Grossgeneratoren spezielle Einzelan-

fertigungsprodukte, die gezielt und gekonnt auf minimale Verluste gerechnet und gebaut werden. Bild 4 zeigt, dass die prozentualen Verluste daher mit Zunahme der Leistung abnehmen. Dies liegt zu einem grossen Teil in rein physikalischen Gründen, da mit den grösseren Dimensionen die Zusatz-, Joch- und Streuverluste relativ zur Typenleistung kleiner werden. Die Verluste werden ebenfalls dank der zwangsweisen Kühlung, bei den Grosstransformatoren mit Wasser oder Luft, bei den Grossgeneratoren mit Wasser oder Wasserstoff, auf einem minimalen Niveau gehalten.

Schlussfolgerung

Da die Transformatoren heute schon auf dem bestmöglichen Stand der technischen Entwicklung stehen und sie nur einen kleinen Anteil an der Verlustkette tragen, deren Schwerpunkt in erster Linie bei der Feinverteilung liegt, sind bei Transformatoren keine erheblichen Verlustverminderungen mehr möglich. Hingegen dürfte der Einsatz bester Transformatorbleche als Minimalanforderung anzusehen sein. Ferner könnte als Deklarationsvorschrift eine Lastverlustangabe auf dem Typenschild bei zum Beispiel 70% Teillast den Vergleich verschiedener Fabrikate erleichtern.

1944



1991

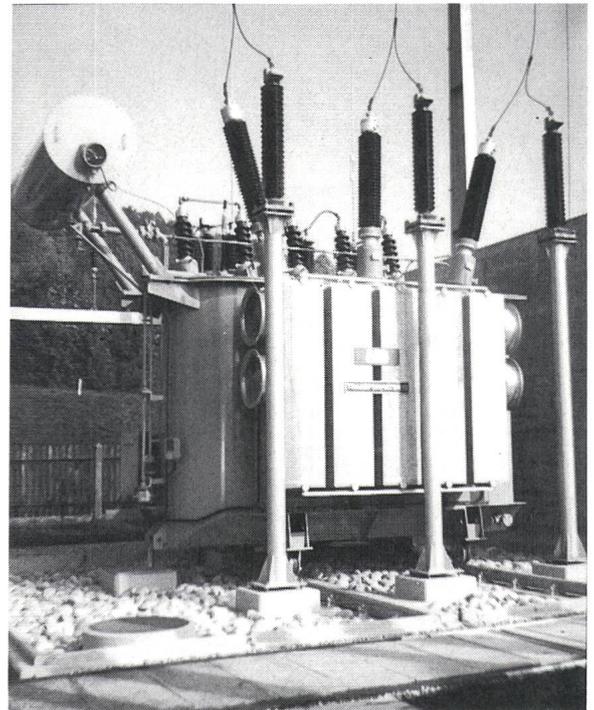


Bild 5 Vergleich von zwei 150/50-kV-Transformatoren ungefähr gleichen Volumens und Platzbedarfs

Foto links: Jahrgang 1944, Leistung 35 MVA, Kupferverluste 300 kW, Eisenverluste 60 kW
rechts: Jahrgang 1991, Leistung 50 MVA, Kupferverluste 188 kW, Eisenverluste 20 kW



Für Unternehmer mit Wachstumspotential. Ascoline.

Denken Sie kurz einmal 5 oder 10 Jahre weiter. Die Unternehmen wachsen und wachsen, und damit steigt auch die Zahl der Telefonanschlüsse. Nun, glücklicherweise sind wir dank dem modularen Konzept von Ascoline darauf vorbereitet. Genauso wie auf die digitale Zukunft der Telekommunikation, sprich ISDN. Denn speziell dafür haben wir unsere neueste Teilnehmervermittlungsanlage entwickelt. Also zu einem grossen Teil auch für die Kinder Ihrer Kunden. Dabei erfüllt Ascoline selbstverständlich bereits heute alle wichtigen Bedürfnisse, wie zum Beispiel optimale Erreichbarkeit, einfache Bedienung oder hohe Flexibilität. Und darum sollten Sie sich auch bereits heute über Ascoline informieren. Senden Sie Ihre Visitenkarte an: Ascom Gfeller AG, Ascoline, Schwarztorstrasse 50,  3000 Bern 14. Oder kontaktieren Sie Ihre zuständige Fernmeldedirektion, Tel. 113.

*Teilnehmervermittlungsanlagen: **ascom** denkt weiter.*