

**Zeitschrift:** Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins  
**Herausgeber:** Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke  
**Band:** 55 (1964)  
**Heft:** 14

**Artikel:** Rückwirkungen von Lichtbogenöfen auf die Betriebsverhältnisse von Verteilnetzen [Fortsetzung]  
**Autor:** Senn, P.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-916740>

### **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:** 03.04.2026

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

# Energie-Erzeugung und -Verteilung

## Die Seiten des VSE

### Rückwirkungen von Lichtbogenöfen auf die Betriebsverhältnisse von Verteilnetzen

von P. Senn, unter Mitarbeit der Herren Lemmenmeier, Schläpfer und Utz im Auftrag der Schweizerischen Kommission für Elektrowärm  
(Fortsetzung aus Nr. 13, Seite 654)

#### 10. Nachtrag: Ergebnisse vom V. Internat. Elektrowärme-Kongress in Wiesbaden 1963

10.1. Der vorstehende Bericht wurde dem V. Internat. Elektrowärme-Kongress in Wiesbaden 1963 vorgelegt, um aus seiner Behandlung in den dortigen Diskussionen neue Einsichten gewinnen und Verbesserungen vornehmen zu können. Der Bericht wird hier praktisch unverändert in der damaligen Fassung wiedergegeben; die in Wiesbaden aus andern Berichten und Diskussionen gewonnenen veränderten Erkenntnisse über das vorliegende Thema werden nachstehend zusammengefasst.

#### 10.2. Verhalten des Lichtbogenofens; Rückwirkungen auf das speisende Netz:

Die als Störgrenze zuzulassende Spannungsschwankung wird in den Berichten [143] und [144] wie im vorliegenden Bericht [146] unabhängig von der Spannungsebene des Speisernetzes angenommen, während [141] und [147] die für Grossbritannien ausgegebene Empfehlung enthalten:

Anschluss an Netz von:

$$\begin{aligned} &\leq 66 \text{ kV: } \Delta U_{zul.} = 1 \text{ } \% \text{ für Flimmern} \\ &132 \text{ kV: } \Delta U_{zul.} = 0,75 \text{ } \% \text{ für Flimmern} \\ &\geq 275 \text{ kV: } \Delta U_{zul.} = 0,5 \text{ } \% \text{ für Flimmern} \end{aligned}$$

(Flackern wird nicht berücksichtigt).

Als Gründe für diese differenzierten Grenzen werden genannt:

1. Im grösseren Netz (höhere Spannungsebene) ist die Störmöglichkeit durch benachbarte Öfen grösser (das genannte  $\Delta U$  ist anzuwenden für 1 Ofen!) (vergl. Abschnitt 6.1, Absatz 10).

2. Im grösseren Netz ist die Zahl der störanfälligen und auch der besonders empfindlichen Verbraucher grösser.

Die von der SKEW angenommene Störgrenze von 0,5 % entspricht der britischen Empfehlung für das Höchstspannungsnetz und ist deshalb als vorsichtig zu taxieren.

Als Mass für die zulässige Spannungsschwankung wird immer noch die subjektiv als Störung empfundene Lichtschwankung von Glühlampen anerkannt, obwohl z. B. Fernsehgeräte, Röntgenapparate und verschiedene Messgeräte ebenso empfindlich auf Spannungsschwankungen sind [144]. Fernsehstörungen konnten nach schwedischer Erfahrung bisher nicht als Maßstab beigezogen werden, da die Störfähigkeit je nach Fabrikat und Modell der Fernsehgeräte sehr unterschiedlich ist. Deswegen wird oft die Forderung nach objektiven Messmethoden zur Festlegung der subjektiven Störgrenze erhoben [141] [144].

Die Aussagen in Abschnitt 2.3, Absatz 4, werden durch die Feststellung bestätigt, dass die störenden Spannungsschwankungen vorwiegend durch *Blindlaststösse* des Lichtbogenofens verursacht werden [141, 2.3].

Auch wurde wieder bestätigt, dass die Strom- und Blindlastschwankungen bei grossen Öfen relativ kleiner werden wegen grösserer Eigenreaktanz und besseren Ionisationsbedingungen [141, 2.3] [144] (Abschnitt 4.2 hievor).

Dagegen ist die in Abschnitt 2.5 gemachte Feststellung, dass das Einhalten der Bedingungen zur Vermeidung des Flimmerns auch das Flackern verhüte, nach [141] eher nur für grosse Öfen zutreffend. Bei kleineren Öfen ist demnach das Einhalten der Flimmergrenze vielleicht noch keine Garantie dafür, dass kein Flackern auftritt.

Die AIEE-Grenzkurven mit  $\Delta U_{zul.} = f(S_{OT})$  als Ausdruck der vorhin genannten relativ geringern Störungen der grossen Öfen (Abschnitt 2.4) [4] werden auch in [143] und [144] angewendet. [143] führt eine ungefähre entsprechende empirische Formel:

$$\Delta U_{max} = 0,3 \sqrt[2]{S_{OT}} \cdot Z_{Netz} \text{ an.}$$

Das Problem der Bestimmung der resultierenden Strom- oder Blindlastschwankung oder des zulässigen Leistungsverhältnisses in Anlagen mit *mehreren Öfen* (Abschnitt 2.7) wird in einem englischen [141] und einem österreichischen Bericht [147] behandelt. Der erstere vertritt auf Grund einer theoretischen Untersuchung, der zweite auf Grund von Messungen eine Summierung der im Spiel stehenden Ofenleistung nach der Formel  $S_{OT \text{ res.}} = \sqrt[2]{\sum S_{OT}^2}$ ; die Berichte [144] und [146] hingegen arbeiten, gestützt auf amerikanische Erfahrungen, mit dem Exponenten 4. Eine Klärung dieser bedeutungsvollen Frage durch koordinierte Messungen und Statistiken wäre sehr erwünscht.

Bisher war es nicht nötig gewesen, der *Vergrösserung des Oberwellengehalts der Spannung* durch den Lichtbogenofen-Betrieb besondere Beachtung zu schenken. Dieser Aspekt wird vielleicht künftig, mit grösserem Anteil der Ofenbelastung an der Netzlast, vermehrt beachtet werden müssen [141].

Die in Abschnitt 2.3 vertretene Ansicht, dass zur Bestimmung des Leistungsverhältnisses die transiente Netzreaktanz bzw. die Stoss-Kurzschluss-Wechselstrom-Leistung verwendet werden soll, wird durch die Autoren [144] und [147] bestätigt.

#### 10.3 Empfehlungen für den Anschluss und den Betrieb von Lichtbogenöfen:

##### 10.31 Anschlussverhältnisse:

Die Überzeugung ist Allgemeingut, dass das wirksamste Mittel, Störungen durch Lichtbogenöfen zu vermeiden, in

einer *genügend grossen Netzkurzschlussleistung* liegt. Investitionen für dieses Ziel, die also die Spannung des gesamten Netzes stabilisieren, sind gesamtwirtschaftlich betrachtet billiger als die Spannungsstabilisierung am einzelnen empfindlichen Verbrauchergerät [144], [141], [123].

Wo die genügende Erhöhung der Netzkurzschlussleistung nicht möglich ist, sind die übrigen unter 6.1 genannten Mittel anzuwenden.

Um den Nachteil der normalen Ofendrosselspule, durch die weichere Ofenspannung die mittlere Leistung und damit den Ofendurchsatz zu verringern, zu vermeiden, wird nach [142] eine *gegenmagnetisierte Drossel mit nichtlinearer UI-Charakteristik* dem Ofen vorgeschaltet. Unterhalb des gewünschten Grenzstroms besitzt diese Drossel deshalb eine kleine, darüber aber eine grosse Induktivität. Damit werden grosse Stromstösse beim Einschmelzen gedämpft, wodurch eine höhere mittlere Leistung, eine kürzere Einschmelzzeit und geringerer Energieverbrauch erzielt werden. Mit dieser Massnahme kann somit netzseitig auch das Flackern bekämpft werden, das Flimmern hingegen wohl kaum, da der Ofenstrom hier innerhalb des Bereichs kleiner Induktivität liegt.

[141] berichtet andererseits von Versuchen mit vorgesättigten Drosseln, die parallel zum Ofen mit einer Seriedrossel geschaltet sind. Die geknickte Kennlinie bewirkt im Sättigungsgebiet reduzierte Spannungsschwankungen. Die Erwartungen wurden jedoch nicht erfüllt, da für die entstehenden Oberwellen Saug-Kreise nötig werden, und durch diese zusätzlichen Glieder die Blindlast stark zunimmt.

Von der Anwendung von Seriekondensatoren werden positive Erfahrungen in den Berichten [116] und [143] gemeldet.

Die *Synchron-Kompensatoren* vermindern die Netzstörungen, indem sie anstelle des Netzes einen Teil der Blindlaststösse des Ofens decken. Diese Stösse teilen sich bei nicht spannungsgeregelter Maschine auf Netz und Generator im umgekehrten Verhältnis ihrer transienten Reaktanzen auf. Dieses Verhältnis könnte, um den Blindlaststoss-Beitrag des Netzes möglichst klein zu halten, zunächst durch eine grosse Synchronmaschine mit kleiner Reaktanz beeinflusst werden. Aus Kostengründen kommen aber eher die folgenden Hilfsmittel in Frage:

1. Die *Generatorreaktanz* wird zum Teil durch vorgeschaltete Serie-Kondensatoren kompensiert. Bei grösserer Flimmerfrequenz wird die Verbesserung allerdings durch Ausgleichsvorgänge in Frage gestellt, denen man mit sehr schneller Gleichrichter-Erregung begegnen will [145], [144].

2. Die *Netzreaktanz* wird durch eine Pufferreaktanz zwischen Netzanschluss und Ofen mit Synchron-Kompensator vergrössert [145], [144]. Der Bericht [144] erachtet diese Kombination als die wirksamste Massnahme, wo nicht die Kurzschlussleistung erhöht werden kann.

#### 10.32 Betriebsführung der Ofenanlage:

Bericht [141] stellt nach Versuchen, die Stromschwankungen des Ofens zu verringern, resigniert fest, dass der Schmelzprozess wenig Möglichkeiten bietet für bessere elektrische Bedingungen. Die Berichte [141] und [123] nennen als neuere Massnahmen, die Einschmelzzeit vorerst aus wirtschaftlichen Gründen herabzusetzen, aber auch im Interesse kürzerer Störungszeiten: den Gebrauch der Sauerstoff-

Lanze, die zusätzliche Brennstoffheizung und die Flüssig-Einsatz-Praxis.

*Schwabe* [123] stellt die Anforderungen des Ofenbetriebes vor die Forderungen des Netzes. Vor allem vom wirtschaftlichen Standpunkt aus wird das Einschmelzen mit möglichst grosser Belastung für gute Wärmeausnutzung, kurze Chargenzeit, also grossen Ausstoss befürwortet. Hiefür wird auch eine hohe installierte spezifische Leistung kVA/to empfohlen [127], [112]. Da die Erosion der Ausmauerung («Zustellung»), deren Erneuerung entscheidend ist für die Totzeiten des Lichtbogenofens, maximal ist bei ca.  $3/4 I_{opt}$ , wird dringend ein Betrieb nicht unter dem Optimalstrom empfohlen. Ein langer Lichtbogen (mit hoher Spannung und grossem  $\cos \varphi$ ) ist wohl am Anfang des Einschmelzens noch anständig, solange der Lichtbogen noch vom Schrott eingehüllt wird, welcher die Strahlung nutzbringend absorbiert und so die Ausmauerung schützt. Sobald aber der Lichtbogen auf das niedergeschmolzene Bad brennt, muss er kürzer werden, um möglichst wenig Strahlungswärme an die Ausmauerung zu verlieren. Das fordert grossen, wenn möglich den optimalen Strom mit mässig hoher Sekundärspannung und entsprechend kleinerem  $\cos \varphi$  (0,7...0,8). Der so von der Betriebsseite geforderte Optimalstrom-Betrieb mit relativ tiefem  $\cos \varphi$  ergibt aber auch einen ruhigeren, stabileren Lichtbogen mit beachtlich weniger Flackern und Flimmern [123].

#### 10.4 Unsymmetrie des Lichtbogenofens:

Der Fragenkreis der elektrischen Unsymmetrie des Lichtbogenofens wurde in zahlreichen Berichten und Diskussionen berührt. Die Unsymmetrie hat auf das hier behandelte Problem der störenden Netzrückwirkungen keinen direkten Bezug, da die Stromschwankungen vom (ungleichen) Absolutwert des Ofenstromes in Auftreten und Grösse unbeeinflusst sein dürften [144]. Die elektrische und damit die thermische Unsymmetrie ist jedoch die Hauptursache für den vorzeitigen Verschleiss der Ofenausmauerung [112], [114], [127]. Die Vorschläge zur Symmetrierung des Ofens sind deshalb sehr zahlreich. Es seien erwähnt die sog. *Knapsack-Schaltung* nach Patent von Roll [123], die ungleiche Spannungseinstellung der einzelnen Phasen [136], [115], [123] etc.

## 11. Ausblick

Aus den Berichten und besonders aus den Diskussionen von Wiesbaden ist deutlich zu erkennen, dass der Fragenkomplex «*Störverhalten des Lichtbogenofens*» noch keineswegs so abgeklärt ist, dass die Überzeugungen über Wesen und Lösung des Problems gesichert und einheitlich wären. Als Beispiel sei nur auf das Thema Mehrofenanlagen hingewiesen. Der vorliegende Bericht ist deshalb nur als Bestandaufnahme der gegenwärtigen Kenntnisse und Meinungen zu betrachten.

Wie am Kongress in Wiesbaden von verschiedenen Seiten gefordert wurde, sollten praktische und theoretische Erkenntnisse auch weiterhin ausgetauscht werden, damit durch *koordiniertes Arbeiten* die noch offenen Fragen beantwortet werden könnten. Es wäre auch wünschbar, dass die in einigen Ländern bereits erarbeiteten oder in Arbeit stehenden Anschluss- und Mess-Empfehlungen aufeinander abgestimmt würden.

Um in dieser internationalen Diskussion auch die schweizerischen Erfahrungen und Anforderungen berücksichtigen

zu können, was im gemeinsamen Interesse unserer Ofenbesitzer, Ofenbauer und Energielieferanten liegen dürfte, werden diese Kreise eingeladen, zum vorliegenden Bericht schriftlich Stellung zu nehmen.

Die Schweiz. Kommission für Elektrowärme hofft, durch dieses Zusammenspannen aller Anstrengungen ihren Beitrag zur Lösung des Problems der Netzstörungen durch Lichtbogenöfen leisten zu können.

## 12. Literaturverzeichnis (Nachtrag)

Berichte an den V. Intern. Elektrowärme-Kongress Wiesbaden 1963.  
[ ] Nummer des Berichtes

- [148 - G] *G. Hennicke*: Generalbericht: Lichtbogen-Stahlschmelzöfen. Durch den Ofenbetrieb verursachte Netzstörungen.
- [141] *H. J. Sheppard* and *E. R. Freeman*: Electricity supply and control for large arc furnaces.
- [142] *S. Hazumi* and *M. Yoshino*: Reduction of Current Fluctuations and Efficiency Improvements by Power Saturable Reactor in Steel Melting Arc Furnace Operation.
- [143] *T. Zinguzi*: Problems of Lamp Flicker caused by large Electric Arc Furnaces for Steel Production in Japan.
- [144] *V. Lanner* und *P. E. Torseke*: Das Betriebsverhalten von Lichtbogen-Stahlschmelzöfen und ihr Einfluss auf Drehstrom-Hochspannungsnetze.
- [145] *R. Keller*: Massnahmen zur Verringerung der von Lichtbogenöfen bewirkten Spannungsschwankungen.
- [146] *P. Senn*, *J. Lemmenmeier*, *A. Schlaepfer* und *H. P. Utz*: Beitrag zum Problem der Rückwirkungen von Lichtbogenöfen auf die Betriebsverhältnisse der Verteilnetze.

- [147] *L. Werner*: Untersuchungen über resultierende Spannungsschwankungen durch gleichzeitigen Betrieb mehrerer Lichtbogenöfen, welche am gleichen Netzpunkt angeschlossen sind.
- [118 - G] *M. C. Barbazanges*: Generalbericht: Fours de fusion d'acier à arcs.
- [112] *F. Harms*: Der heutige Stand der Stahlerzeugung im Elektro-Lichtbogenöfen.
- [113] *F. S. Leigh* and *P. R. Harrison*: Recent developments and investigations in arc furnaces.
- [114] *H. Lünig*: Beeinflussung der Ausmauerungshaltbarkeit von Lichtbogen-Stahlschmelzöfen durch die Wahl von Ofenstrom und Ofenspannung.
- [115] *N. Hermont*: Usure dissymétrique du garnissage des fours à arcs. Etude de ses causes et solution proposée.
- [116] *R. Rova*: Une application de condensateurs en série sur des lignes destinées à l'alimentation des fours à arcs.
- [128 - G] *J. Borstner*: Generalbericht: Lichtbogen-Stahlschmelzöfen-Betriebserfahrungen.
- [123] *W. E. Schwabe*: Principles of high-production electric steel furnace operation.
- [127] *B. Marincek*: Beitrag zur Wärmewirtschaft des Elektrolichtbogenofens.
- [136] *J. Schiffarth*: Ein Beitrag zur Bekämpfung der scharfen Phase bei Lichtbogenöfen unter Berücksichtigung der nicht sinusförmigen Lichtbogenleistung.
- [132] *A. Driller* und *O. Zander*: Neuerungen auf dem Gebiete grosser Lichtbogen-Stahlöfen und der Elektrodenregulierung.

### Adresse des Autors:

*P. Senn*, Prokurist, Nordostschweizerische Kraftwerke AG, Baden.

### Adresse der SKEW:

Schweiz. Kommission für Elektrowärme, c/o Elektrowirtschaft, Bahnhofplatz 9, Zürich.

## Einführung zur Arbeitssitzung des Studienkomitees für Kernenergie<sup>1)</sup>

von *Pierre Ailleret*, Paris

### Beurteilung der Wettbewerbsfähigkeit von Kernkraftwerken

Die Verbilligung von Kernenergieanlagen lässt den Schluss zu, dass es nur noch einige wenige Jahre dauern kann, bis diese Anlagen mit den konventionellen thermischen Kraftwerken in Konkurrenz treten können. Einige mehrfach gehörte, verfrühte Äusserungen haben in weiten Kreisen eine Reaktion entstehen lassen, die etwa durch den Satz: «Morgen rasiert man gratis» gekennzeichnet werden kann. Es wäre ein Irrtum, bei dieser Reaktion zu verbleiben; im Augenblick ist es aber klar, dass der Preis der Atomkraftwerke weiterhin schneller absinkt als der Preis der klassischen Kraftwerke.

### Grösse der Kraftwerkseinheiten

Obige Schlussfolgerung muss aber, je nach der Grösse der betrachteten Kraftwerkseinheiten, ein wenig nuanciert werden. Es steht fest, dass die Abnahme des spezifischen Preises, in Funktion der Abmessungen der Einheiten, bei den Atomkraftwerken viel stärker ist als bei den klassischen Werken.

Die Wettbewerbsfähigkeit scheint in nächster Zeit allerdings nur für Kraftwerkseinheiten von 400...600 MWe erreichbar zu sein; für Einheiten in der Grösse von 200...300 MWe ist sie nicht gesichert und vorerst nicht möglich.

In jenen Gebieten, in denen die *Verbrauchsichte* einen genügend grossen Wert erreicht und grosse Kraftwerke auf kurze Distanzen sowohl den nötigen Absatz als auch die Verbindungen mit ähnlichen Kraftwerken vorfinden (im Hinblick auf gegenseitige Hilfe), werden die Kernkraftwerke bald wirtschaftlich eingesetzt werden können.

<sup>1)</sup> Dieser Bericht wurde anlässlich des vom 23. bis 30. Juni 1964 in Skandinavien abgehaltenen Kongresses der UNIPEDE (Union Internationale des Producteurs et Distributeurs d'Énergie Electrique) vorgelegt.

Die Grösse des Landes und der Produktions- und Verteilanlagen ist neben der Verbrauchsdichte nur von zweitrangiger Bedeutung, da sich die Elektrizitätswerke, unter Zuhilfenahme geeigneter Verträge, schon lange an die materiellen Vorteile, die sich aus dem Verbundbetrieb ergeben, gewöhnt haben. Die üblichen Abmachungen der zusammenarbeitenden Elektrizitätswerke, die Verträge über zeitweise Abtretung von Leistung und ähnliche Übereinkünfte können durch Bestimmungen über die gegenseitige Unterstützung im Falle von Störungen bei den grossen Einheiten ergänzt werden.

Wenn aber die Verbrauchsdichten gering sind, würde die gegenseitige Hilfe unter den grösseren Kraftwerken eine Verstärkung der Übertragungsnetze voraussetzen; diese Verstärkung würde aber die Rentabilität der Produktion in Frage stellen. Aus diesem Grunde werden Gegenden mit geringer Verbrauchsdichte länger warten müssen, bis Atomkraftwerke für sie rentabel werden.

Für die Gebiete mit schwacher Verbrauchsdichte eignen sich, wie es bei dem jetzt voraussehbaren Stande der Technik scheint, Kernkraftwerke weniger; diese Bereiche werden nur indirekt von der Entwicklung der Kernenergie in den Ländern mit stärkerer Verbrauchsdichte Nutzen ziehen, weil die klassischen Kraftwerke, die in diesen Ländern durch Atomkraftwerke ersetzt wurden, den Markt der fossilen Brennstoffe nicht mehr stark beanspruchen.

### Konkurrenz zwischen den Reaktortypen

Der Wettbewerb zwischen den konkurrierenden Reaktorsystemen ist immer noch nicht abgeschlossen. Nur zwei Systeme haben eine hohe Stufe der Entwicklung erreicht: