

**Zeitschrift:** Bulletin de l'Association suisse des électriciens  
**Herausgeber:** Association suisse des électriciens  
**Band:** 28 (1937)  
**Heft:** 11

**Artikel:** Der Einfluss der Spannungsschwankungen auf Anschlussobjekte  
**Autor:** Geiss, W. / Seehaus, P.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-1058732>

### **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:** 18.01.2025

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

## 2. Der Einfluss der Spannungsschwankungen auf Anschlussobjekte.

### a) Glühlampen und Beleuchtung.

Referat von Dr. W. Geiss, Philipslampen A.-G., Eindhoven.

Die künstliche Beleuchtung ist in stark zunehmendem Masse ein unentbehrlicher Kultur- und Wirtschaftsfaktor geworden. Musste man sich noch vor einigen Jahrzehnten mit einer sehr dürftigen, künstlichen Notbeleuchtung begnügen, so ist die künstliche Beleuchtung heutzutage in grossem Umfange zum Ersatz für die zeitlich oder örtlich nicht immer zur Verfügung stehende natürliche oder Tages-Beleuchtung geworden, ein Ersatz, bei welchem in sehr vielen Fällen vollwertige Arbeit zu leisten ist und der stark gesteigerte Verkehr sich möglichst ebenso sicher und gefahrlos wie bei Tage abspielen muss.

Der Hauptträger der künstlichen Beleuchtung ist sowohl seiner Wirtschaftlichkeit als seiner Bequemlichkeit nach das elektrische Licht geworden. Mit der zunehmenden Wertschätzung guter und sachgemässer Beleuchtung und deren Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit der Arbeit nimmt naturgemäss auch die Nachfrage für eine qualitativ hochstehende Lieferung des Rohstoffes Lichtstrom, im optischen Sinne zu. Im gleichen Masse steigt aber auch die Verantwortlichkeit für die beiden Industrien, die zusammen den Lichtbedarf decken, d. h. die Elektrizitäts- und die Glühlampenindustrie, dafür, dass die grosse Masse der Verbraucher auf jeden Fall die gewünschte Lichtmenge erhält. Es soll deshalb im Rahmen dieser Diskussion die Frage erörtert werden, inwieweit sich die Glühlampenindustrie an der Lösung des aufgeworfenen Problems beteiligen kann und deshalb im Interesse der Verbraucher auch beteiligen muss.

Dabei soll zunächst auf die beleuchtungstechnische und dann auch auf die wirtschaftliche Seite eingegangen werden, wobei natürlich auch die charakteristischen Eigenschaften der Glühlampe in Abhängigkeit von der Spannung zu erörtern sind.

Die Erzeugung des elektrischen Lichtes besteht im Prinzip darin, dass zur Verfügung stehende elektrische Energie einem Umformer, Glühlampe genannt, zugeführt wird, in welchem diese Energie in Strahlung umgesetzt wird. Das Verhältnis des Anteils im Gebiet sichtbarer Wellenlängen, gemessen in Dekalumen, zur Totalstrahlung, gemessen in Watt, ist der Nutzeffekt dieses Umformers. Der Umformer selbst besteht aus einem Stück Draht, der zum Schutze gegen Verbrennung in einer indifferenten Umgebung, Vakuum oder Edelgas, in einem Glaskolben untergebracht ist. Legt man eine bestimmte Spannung an die Enden dieses Drahtes, so nimmt er Energie unter Temperatursteigerung auf, bis die jeweils aufgenommene Energie im Gleichgewicht ist mit der Totalstrahlung. Mit zunehmender Temperatur verschiebt sich gleichzeitig das Maximum der Strahlung nach kürzeren Wellen und damit steigt der Anteil an sichtbaren Wellenlängen. Der Umformer Glühlampe arbeitet also um so wirtschaftlicher, je höher die Drahttemperatur ist. Der Temperaturerhöhung ist aber selbst bei den hochschmelzenden Metallen eine Grenze gesetzt durch die Verdampfungsgeschwindigkeit, die z. B. bei einem Wolframfaden von 2500° Temperatur in 1000 Stunden zur Zerstörung des Fadens führt. Bei einer Temperaturänderung von nur 2% ändert sich der Lichtstrom um 20%, so dass es nötig erscheint, die Temperatur möglichst konstant zu halten. Bei der in der Glühlampe auftretenden Widerstandserhitzung gilt aber auch das Ohmsche Gesetz, welchem auch die Glühlampenindustrie zu folgen gezwungen ist, d. h. bei einer bestimmten Drahttemperatur sind für einen bestimmten Lichtstrom Strom und Spannung eindeutig festgelegt. Ändert man die Spannung, so ändert sich auch nach den bekannten physikalischen Gesetzen die Drahttemperatur und damit auch der hier uns in erster Linie interessierende Lichtstrom.

Als Faustregel kann man sich merken:

- 1 % Spannungsänderung bedingt
- 4 % Lichtstromänderung und
- 0,4 % Temperaturänderung,

wobei alle Änderungen im gleichen Sinne vor sich gehen. Die genannte Regel gilt natürlich nicht unbegrenzt, ist aber

für die hier zur Diskussion stehende Frage praktisch durchaus brauchbar. Für sehr grosse Änderungen wäre diese Regel durch ein Exponentialgesetz zu ersetzen.

Praktisches Beispiel: Drei Verbraucher A, B und C haben für einen bestimmten Beleuchtungszweck einen Lichtstrom von 125 Dekalumen als notwendig und hinreichend angenommen; die offizielle Netzspannung betrage 220 V. Sie verwenden also Lampen 220 V, 125 Dlm, 97 W. Nimmt man nun an, dass der erste Verbraucher, A, in der Nähe der Transformatorstation wohnt, der zweite, B, etwa in der Mitte des Kabels und der dritte, C, am Ende des Kabels und dass längs des Kabels ein Gesamtspannungsabfall von 10% herrsche, so erhält A bei 231 V nach der genannten Faustregel 150 Dlm, B bei 220 V die als notwendig und hinreichend angesehene Lichtmenge von 125 Dlm, C aber bei 209 V nur 100 Dlm. Obwohl die drei Verbraucher also identische Lampen benutzen, werden die «Umformer» bei den hier angenommenen Spannungsverhältnissen automatisch zu drei ganz verschiedenen Typen in bezug auf den Lichtstrom. Der Verbraucher A, der bei 231 V 150 Dlm erhält, hat an und für sich keinen Grund zur Klage über die Beleuchtung selbst; da die Lampe aber statt 97 etwa 105 W verbraucht, so wird seine Beleuchtung unnütz verteuert; eine zweite Verteuerung wird noch weiter unten behandelt. Der Verbraucher C am Ende des Kabels, der bei 209 V nur 100 Dlm erhält, muss sich umgekehrt mit einer für seine Zwecke ungenügenden Beleuchtung begnügen, denn 125 Dlm war als notwendig angesehen worden. Man kann vielleicht den Einwand machen, dass man diese Verkleinerung des Lichtstromes gar nicht merkt. Selbst wenn dies zuzugeben wäre, so bestände doch andererseits für diesen Verbraucher kein Grund, nicht gleich an Stelle von 125 Dlm, 97 W, eine Lampe von 100 Dlm, 79 W, zu verwenden, die niedriger im Energieverbrauch und auch niedriger im Anschaffungspreis wäre; und was für ihn gilt, gilt natürlich ebenso für Verbraucher A und B. Man sieht also hieraus deutlich, dass eine derartige Auffassung das Problem notwendigen und hinreichenden Lichtstromes nur verschiebt, keineswegs aber löst. Damit ist aber auch gezeigt, dass die immer wieder gelegentliche Zusage von gewissen Glühlampenfabriken, dem Verbraucher und der Elektrizitätsindustrie in der Frage der Spannungsregulierung «entgegenzukommen» physikalisch, technisch und praktisch bedeutet, dass diese Fabriken in der Lage zu sein glauben, sich mit ihrem Produkt über bestehende Naturgesetze hinwegsetzen zu können. Es ist aber ebenso deutlich, dass eine verantwortungsbewusste Glühlampenindustrie derartige Scheinlösungen nicht als einen Beitrag zur Lösung der Spannungsfrage vorschlagen oder anerkennen kann.

Wenn die Glühlampenindustrie also nicht in der Lage ist, eine Lampe zu liefern, deren Lichtstrom von der jeweiligen Betriebsspannung in hohem Masse unabhängig ist, so bedeutet dies keineswegs, dass sie damit die Lösung des Problems der Elektrizitätsindustrie ganz allein überlässt. Die Glühlampenindustrie ist nämlich im Prinzip und vom theoretischen Standpunkt aus an der örtlichen Spannungsregulierung zunächst gar nicht interessiert. Sie ist vielmehr von sich aus durchaus in der Lage, den örtlichen Spannungsverhältnissen bei jedem einzelnen Verbraucher Rechnung zu tragen und ihm jeweils den für seine Verhältnisse richtigen Lichtstrom zu liefern, wobei allerdings die Mitarbeit des Gross- und Einzelhandels und des Verbrauchers selbst erste und unerlässliche Voraussetzung wären. Eine solche Lösung bedeutet naturgemäss eine grössere Vielheit von Typen und damit eine Verteuerung sowohl der Produktion als auch des Vertriebs. Die Glühlampenindustrie und der Handel müssten sich aber damit abfinden, ähnlich wie die Schuh- und Hutindustrie, die auch damit rechnen müssen, dass natürliche menschliche Masse nicht die gleichen sind. In ganz analoger Weise wie bei den genannten Industrien wäre es also nötig, dass jeder einzelne Verbraucher seine «Spannungsnummer» kennt, dass der Einzelhandel für jeden Typ die verschiedenen Spannungsnummern auf Lager hat, der Grosshandel mit einer

Vielheit von Typen rechnet. Die Glühlampenindustrie könnte sich einem derartigen System durchaus anpassen. Die Andeutung eines solchen Systems zeigt aber schon, dass dieses keine befriedigende praktische Lösung bedeuten kann, denn es wäre ein unmögliches Beginnen, die mittlere Spannung bei jedem individuellen Verbraucher feststellen zu wollen, eine Feststellung, die ausserdem bei jeder geänderten Netzanschluss- und Belastungsverteilung revidiert werden müsste. Für den Kleinhandel besonders und bis zu einem gewissen Grade auch für den Grosshandel ergäbe ein solches System unüberwindliche Schwierigkeiten. Es bleibt also für die notwendige und hinreichende Belieferung mit einer bestimmten Lichtmenge leider nur übrig, dass die Steuerung der Glühlampen auf ihren richtigen Strahlungsbereich vom Elektrizitätswerk vorgenommen und der starken, naturgesetzlich bedingten Spannungsempfindlichkeit dieses Umformers elektrischer Arbeit in Lichtenergie von dort aus Rechnung getragen wird.

Im ersten Teile dieser Ausführungen wurde in Abweichung von der meist üblichen Betrachtungsweise die Frage der Spannungsempfindlichkeit des Lichtstromes, also die lichttechnische Seite des Problems in den Vordergrund der Betrachtung gestellt. Der Verbraucher benützt elektrische Energie und elektrische Glühlampen doch einzig und allein zu dem Zwecke, um damit ein von ihm gewünschtes Beleuchtungsniveau zu erhalten. Es ist Aufgabe der Lieferindustrien, dafür zu sorgen, dass er das von ihm als notwendig und hinreichend erkannte Niveau auch erhält, dass er also z. B. beim Betrieb einer mit 125 Dlm, 97 W, gestempelten Lampe auch wirklich diesen Lichtstrom erhält und seine Berechnung für die Energiekosten mit den tatsächlichen praktischen Verhältnissen weitgehend übereinstimmt.

Das Spannungsproblem im Zusammenhang mit der Beleuchtung hat aber noch eine zweite, wirtschaftliche Seite, das heisst: die Benützungszeit des Umformers Glühlampe ist wie viele andere Maschinen und Apparate abhängig von der Belastung. Arbeitet der Umformer Glühlampe bei der aufgestempelten Vollast, so beträgt die normale Lebensdauer 1000 Stunden im Mittel, wird er unterbelastet, so wächst seine Lebensdauer, wird er überlastet, so nimmt seine Lebensdauer ab. Es wurde eingangs schon erwähnt, dass man wegen des bekannten Verschiebungsgesetzes der Totalstrahlung als Widerstandsmaterial ein möglichst hochschmelzendes Metall wählen muss zur Erzielung eines wirtschaftlichen Nutzeffektes. Ein einfacher Versuch kann zeigen, dass z. B. eine Glühlampe mit einem Eisendraht als Glühfadensmaterial nur eine Lichtausbeute von etwa 0,1 Dlm/W besitzt bei einer Lebensdauer von einigen Minuten, während eine Glühlampe mit einem Wolframfaden bei einem ca. 10-mal so hohen Nutzeffekt von ca. 1 Dlm/W bekanntlich eine Lebensdauer von ca. 1000 Stunden hat. Es wurde ferner bereits erwähnt, dass auch bei einem hochschmelzenden Material nicht willkürlich nahe an die Schmelztemperatur herangegangen werden kann, weil jedes derartige Material auch noch weit unterhalb des Schmelzpunktes eine zwar ausserordentlich kleine, aber doch nicht vernachlässigbare Verdampfungsgeschwindigkeit besitzt. Messungen dieser Verdampfungsgeschwindigkeit als Funktion der Temperatur haben ergeben, dass sie sich etwa mit der 40. Potenz der Temperatur und mit der 14. Potenz der Spannung im selben Sinne ändert. Da die Lebensdauer eines Fadens umgekehrt proportional der Verdampfungsgeschwindigkeit ist, so wirken sich durch Spannungsänderungen mit denselben genannten hohen Potenzen aber im umgekehrten Sinne auf die Lebensdauer aus.

Als Faustregel kann man sich hier merken:  
5 % Spannungserhöhung bedingt

2 % Temperaturerhöhung und  
50 % Lebensdauererniedrigung;

umgekehrt:

5 % Spannungserniedrigung bedingt  
2 % Temperaturerniedrigung und  
100 % Lebensdauererhöhung.

Für das bereits benützte Beispiel einer Lampe von 220 V, 125 Dlm, 97 W, würde demnach für den Verbraucher A am Anfange des Kabels bei einer Spannung von 231 V die Lebensdauer nur 500 h betragen, für den Verbraucher B in der Mitte bei 220 V die normale Lebensdauer von 1000 h erreichen und für den Verbraucher C am Ende des Kabels bei 209 V auf 2000 h steigen. Um nun den drei Verbrauchern mindestens 1000 h geben zu können, wird manchmal als «Patentlösung» vorgeschlagen, die Glühlampen so zu konstruieren, dass sie für das genannte Beispiel auch bei 231 V noch 1000 Stunden leben. Das wäre aber ebenso eine Scheinlösung wie die für die lichttechnische Seite erwähnte; sie würde ebenso nur eine Verschiebung des Problems bedeuten. Praktisch käme diese Lösung darauf hinaus, dass man den Leerlauf des Umformers, das heisst die nicht an der Lichtstrahlung beteiligte Leistung so bedeutend erhöhen müsste, dass die Gesamtbeleuchtungskosten dadurch stark zunehmen.

Das Problem ist aber überhaupt nicht in dieser Weise lösbar, wenn man es gleichzeitig vom lichttechnischen und vom wirtschaftlichen Standpunkte aus betrachtet, denn vom Standpunkte des Glühlampenschleisses aus müssten die Spannungsverhältnisse der Verbraucher in der Nähe der Transformatorstation als Norm angenommen werden, also die Ueberspannung, während vom Standpunkte eines nötigen Beleuchtungsniveaus die Spannungsverhältnisse am Ende des Kabels als Grundlage zu dienen hätten, also die Unterspannung.

Daraus folgt aber für die Glühlampenindustrie eindeutig, dass als Kompromiss nur übrig bleibt, die Mittelspannung als Grundlage für die Konstruktion der Glühlampe zu wählen, im übrigen aber die Elektrizitätsindustrie zu bitten, die physikalisch bedingten Eigenschaften der Glühlampe als Funktion der Spannung bei den wirtschaftlichen Betrachtungen der Spannungsregulierung mitberücksichtigen zu wollen.

In diesem Zusammenhang sei noch erwähnt, dass der Begriff der offiziellen Netzspannung anscheinend noch nicht festgelegt ist, weder national noch international, und es deshalb sehr erwünscht wäre, die bestehenden Unklarheiten durch eine Diskussion zu beseitigen. Die beiden Definitionen der Netzspannung sind:

- «1. Die offizielle Netzspannung ist diejenige Spannung, die in einer Häufigkeitskurve als Maximum auftritt.»
- «2. Die offizielle Netzspannung ist diejenige Spannung, die praktisch jeder Verbraucher mindestens erhält.»

Nimmt man an, dass die jeweils mittlere Spannung für die Verbraucher zwischen 220 und 230 V liegt und damit das Maximum der Häufigkeit bei 225 V. Dann wäre nach der ersten Definition die offizielle Netzspannung 225 V, dagegen nach der zweiten Definition 220 V. Es ist für die Glühlampenindustrie an und für sich belanglos, welche der beiden Definitionen einheitlich festgelegt würde, denn sie würde in beiden Fällen Lampen für 225 V liefern und sowohl die lichttechnischen als auch die elektrischen Daten und schliesslich auch die garantierte Lebensdauer auf die Stempelwerte abstellen. Der SEV könnte mit einer eindeutigen Festlegung des Begriffes «offizielle Netzspannung beim Verbraucher» einen wesentlichen Beitrag liefern zur Lösung des Problems, dem grössten Teil der Verbraucher die richtige Beleuchtung — sowohl vom lichttechnischen als auch vom wirtschaftlichen Standpunkte aus — zugute kommen zu lassen.

## b) Elektrothermische Apparate.

Referat von P. Seehaus, Ingenieur der Therma A.-G., Schwanden.

Es ist wohl möglich, dass das Problem der Spannungsregulierung infolge der Abwertung zu erhöhter Bedeutung kommt, denn die Brennstoffpreise werden eine wesentliche Steigerung erfahren und dadurch wird der Anschluss von Elektrowärmegegeräten rascher erfolgen als in den letzten Jahren. Während z. B. bisher die Elektro Küche hauptsächlich

bei Neubauten installiert wurde, ist ziemlich wahrscheinlich, dass sie in vermehrtem Masse brennstoffbeheizte Apparate verdrängen wird. Die Möglichkeit, die Kohlenmehrkosten bei der Gasfabrikation auf den erzeugten Koks und die Nebenprodukte abzuwälzen, ist nicht bei allen Gaswerken gleich gross, denn nicht alle sind nach den modernsten Ge-

sichtspunkten ausgebaut und die Entwicklung der Konkurrenzpreise des importierten Koks und der Nebenprodukte ist unsicher.

Die wahrscheinlich raschere Entwicklung der Summe der Anschlusswerte nach oben wird also bei der Spannungsregulierung zu berücksichtigen sein, z. B. durch reichliche Leitungsdimensionierung, wenigstens bei kleineren Netzen oder Netzteilen und Häuserblöcken, wo die Maximalanschlusswerte oder Maximalbelastungen unsicher einzuschätzen sind. Das Einhalten der Spannung innerhalb geringer Grenzen durch genügende Querschnitte im Sekundärnetz, wodurch der zukünftigen Entwicklung Rechnung getragen wird, ist jedenfalls dem Fabrikanten von Elektrowärmegegeräten die wünschenswerteste Regelung, dient aber ebenso den Werken, die an vermehrten Energieverbrauchsmöglichkeiten natürliches Interesse haben.

Gegen kurzzeitige Spannungsschwankungen sind die meist benutzten Kochapparate bezüglich der Leistungsfähigkeit nicht sehr empfindlich; massgebend ist die durchschnittliche Belastung. Spannungsverminderungen am Heizleiter führen dagegen leicht zu Klagen, weil sie den Kochprozess verlängern. So stimmen vielleicht sogar Backrezepte oder Anleitungen wohl in der Mitte eines Stranges, nicht aber am Anfang und Ende und vielleicht auch nur am Sonntag. Die Spannungsschwankungen spielen also eine ähnliche Rolle wie eine wechselnde Gasqualität oder der Gasdruck, von dem ja der Brenner-Wirkungsgrad abhängig ist, immerhin mit dem wesentlichen Unterschied, dass, anders als beim nach Kubikmeter bezahlten Gas, wenigstens das Portemonnaie der Hausfrau keinen Schaden erleidet. — Die Spannungsschwankungen sind aber in anderer Richtung als der Leistungsfähigkeit von erhöhter Bedeutung. Ich greife als Beispiel deren Einfluss auf die Kochplatte heraus, wohl das wichtigste elektrische Kochgerät.

Sicherlich ist heute das elektrische Kochen mit den seit Jahren üblich belasteten Kochplatten, z. B. etwa 1800 Watt auf die 22-cm-Platte, rasch genug und befriedigt bei guter Wärmeübertragung die sorgfältige Hausfrau vollständig. Die Hast der Zeit, ungünstige Spannungsverhältnisse, ebenso auch ausländische Anpreisungen haben aber einzelne Elektrizitätswerke veranlasst, im natürlichen Bestreben, durch grössere Leistungsfähigkeit der elektrischen Kochgeräte erhöhte Konkurrenzfähigkeit gegenüber der Gasküche zu erlangen, die Forderung nach höheren Kochplattenbelastungen zu erheben. Die Resultate sind keineswegs befriedigend, was nicht zum kleinen Teil mit der Spannungshaltung zusammenhängt. Zur Erklärung mögen kurz zusammengefasst die folgenden Angaben über Untersuchungsergebnisse dienen.

Bekanntlich sind die Heizleiter der Kochplatten in keramische Masse eingebettet; der Heizleiter besteht meist aus einer Spirale, um reichliche Drahtlänge und reichlichen Drahtquerschnitt unterbringen zu können, denn je dünner der Draht, um so grösser ist relativ dessen Oberflächenbelastung und, bei sonst gleichen Verhältnissen, die Drahttemperatur, also seine Beanspruchung. Die Spannungsschwankungen spielen hier eine wichtige Rolle, da sie ja die Basis der Sicherheitsvorschriften für den Bau und die Prüfung der Kochgeräte bilden. Diese schreiben z. B. vor, dass die Kochplatten von 220 Volt bei 1,1facher Nennspannung nicht mehr als 10 mA Ableitstrom zeigen sollen, und zwar nach einständigem Leergang, also bei annähernd stationärem Temperaturzustand. Infolge der vorausgesetzten hohen Spannungsschwankungen ist dies, wie Fig. 1 zeigt, eine sehr scharfe Vorschrift. Schon bei 1800 Watt Belastung auf einer Kochplatte von 22 cm Durchmesser zeigen die Kochplattenoberflächen im stationären Leergang Temperaturen von etwa 550 ... 600°. Der Heizleiter selbst und ebenso die ihm zunächst liegenden Partien der Einbettungsmasse haben natürlich eine viel höhere Temperatur, besonders bei dünnen Drähten. Bekannt ist ferner, dass alle keramischen Massen einen negativen Widerstands-Temperaturkoeffizienten besitzen; dabei ist aber die Leitfähigkeit nicht etwa proportional der Temperatur, sondern steigt bis zu wenigen hundert Grad nur sehr wenig, aber gerade in dem Gebiet der Belastung von 1800 Watt, bzw. der zugehörigen Plattentemperatur und nahe darüber zeigt das ausgesprochene Knie in der Kurve, dass hier das kritische Gebiet beginnt. Es ist dies die bekannte Betriebserfahrung bei Lichtbogenöfen, in welchen Ferrosilizium, Ferrochrom, Abrasit usw. erzeugt wird. Bei diesen

werden beim Anfahren der Öfen die Elektroden zunächst auf die Beschickung aufgepresst; nach Anwärmen fängt der Ofen rasch Strom, so dass ebenso rasch mit dem Auffahren der Elektroden begonnen werden muss. Bei den eingebetteten Heizleitern tritt dieser rasche Anstieg der Leitfähigkeit der keramischen Massen deshalb viel stärker in Erscheinung, weil die Schichten an Einbettungsmassen verhältnismässig dünn und bei grösseren Belastungen rasch bis an die Metallflächen glühend sind.

In Fig. 1 sind die Ergebnisse von Messungen an einem Kochplattenfabrikat X und einem Kochplattenfabrikat Y dargestellt. Der Ableitstrom in mA ist als Funktion der Temperatur der Kochplattenoberfläche abzulesen. Beide Fabrikate sind vorschriftsgemäss mit der 1,1fachen Nennspannung betrieben, die Kochplatte X dementsprechend mit 2180 Watt, die Kochplatte Y mit 2780 Watt. Vor allem zeigt dieses Diagramm, dass, wie erwähnt, in diesem Temperatur- bzw. Belastungsbereich die kritische Zone liegt. Bei mangelhaften

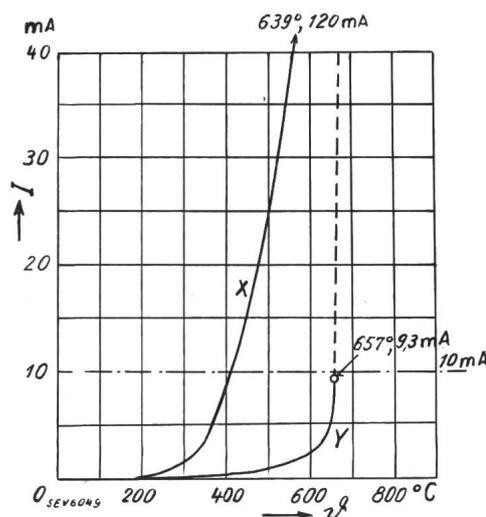


Fig. 1.

Ableitstrom  $I$  in Funktion der Kochplattentemperatur  $\theta$  bei Leergang und Prüfspannung 242 V,

für Fabrikat X, Nennlast 1800 W, Prüflast 2180 W, und für Fabrikat Y, Nennlast 2300 W, Prüflast 2780 W, beide 22 mm Durchmesser, 220 V Nennspannung. Zulässiger Ableitstrom 10 mA.

Konstruktionen liegt die kritische Zone sogar bei einer tieferen Belastung als 1800 Watt; es gibt übrigens noch schlechtere Platten. Bei den vielen Faktoren, die hier mitsprechen: Drahtquerschnitt, Drahtoberfläche, Einbettmasse, deren Stärke, richtige Einbettung und Konstruktion, Belastungen, Prüfvorschriften, führen nur langwierige Untersuchungen zu einem Optimum; der Unterschied in den beiden Kurven zeigt dies.

Damit kommen wir zum Einfluss der Spannungsschwankungen, d. h. der zu hohen Spannungen. Heizleiter und Einbettmassen, die ohnehin temperaturüberlastet sind, wie z. B. solche nach Kurve X, lassen Spannungsüberhöhungen nicht zu, noch weniger aber solche zusammen mit phantastischen Belastungen; denn keramische Massen sind und bleiben eben doch Leiter, wenn auch nur zweiter Klasse, und die Kurven zeigen, dass man sich schon mit den bisherigen Belastungen bei den Prüfungen nach Vorschrift, die auf den am Gebrauchsort möglichen Spannungsüberhöhungen basieren, im kritischen Gebiet bewegt. Ueber diese Tatsachen kann auch die lebhafteste Reklame nicht hinwegtäuschen.

Ich erwähne die übertriebenen Belastungen noch aus einem weiteren Grunde: Sie treiben nicht nur die Spitze unnötig in die Höhe, sondern erschweren auch die Spannungshaltung; das Abschalten kann die Spannungsüberhöhung bei den andern Platten steigern, diese also ungünstig beeinflussen. Unsere Forschungen bestätigen deutlich die Abhängigkeit der Lebensdauer der Heizleiter von den Spannungsschwankungen; dies ist hauptsächlich zwei Ursachen zuzuschreiben: der Höhe der Betriebstemperatur und deren Schwankungen; der extremste Fall der Schwankungen ist die Schalthäufigkeit bei gleichzeitigen Spannungsüberhöhungen.

In dem in Betracht kommenden Temperaturgebiet bedeuten 10 % dauernde Ueberspannung eine um ungefähr 50...100° höhere Betriebstemperatur, der eine Lebensdauerverkürzung um 30...40 % entspricht. Bei gleicher Schalthäufigkeit bedeutet eine Erhöhung der Betriebstemperatur um 100° eine zusätzliche Lebensdauererkürzung um 10...25 %. Wie sich solche Beanspruchungen auf die Heizdrähte auswirken, zeigen Fig. 2—7.

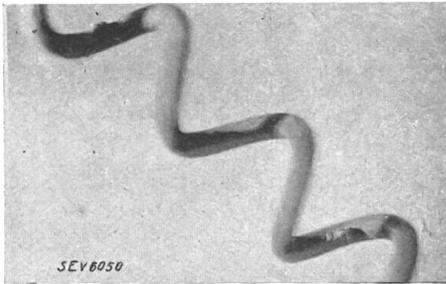


Fig. 2.  
Heizleiter, bis nahe an Schmelzpunkt erhitzt.

Fig. 2 und 3 zeigen Aufnahmen von zwei Heizleitern, die infolge zu hoher Belastungen bis nahe an den Schmelzpunkt der Legierung erhitzt wurden. Bekanntlich liegt der Schmelzpunkt der für Heizleiter verwendeten Chromnickellegierungen bei rund 1400°. Da die Arbeitstemperatur bei etwa 900°, bei hohen Belastungen und besonders bei lang dauernden Spannungsüberhöhungen bei 1000° und sogar darüber liegen kann, ist ersichtlich, dass der Sicherheitsfaktor sehr niedrig ist, jedenfalls wesentlich niedriger als im Maschinenbau sonst üblich. Daraus geht hervor, wie äusserst vorsichtig im Konstruieren vorgegangen werden muss. Typisch sind die kleinen Schmelzperlen an den Oberflächen, ebenso die zum Teil eingefallenen Partien.

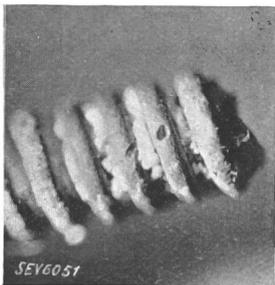


Fig. 3.  
Heizleiter, bis nahe an Schmelzpunkt erhitzt.

Fig. 4 und 5 zeigen Schliffe dieser Heizleiter, und zwar Fig. 4 im Querschnitt, Fig. 5 im Längsschnitt des Drahtes. Der Draht ist über den ganzen Querschnitt geschmolzen und in seinem keramischen Bett wieder erstarrt. Das Gefüge ist für diesen Vorgang — Erstarren aus geschmolzenem Zustand — charakteristisch.

Der Schliff eines andern Heizleiters, Fig. 6, zeigt das Gefüge nach einer weniger weit getriebenen Ueberhitzung; es sind Aenderungen zu bemerken, nämlich etwas Kornwachstum und Ausscheidungen, insbesondere an den Korngrenzen.

Fig. 7 zeigt den Schliff eines Heizleiters, dessen Ueberhitzung zum teilweisen Schmelzen im Innern geführt hat,

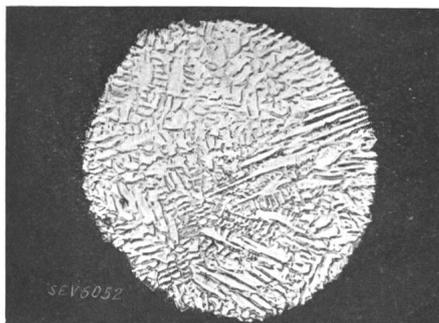


Fig. 4.  
Querschnitt der Heizleiter Fig. 2 und 3.

was den Austritt von Schmelzperlen an Stellen des Drahtes, die tiefer lagen und hoch überhitzt waren, zur Folge hatte. Ähnliches ist von den Geräten zu sagen, die freiliegende Heizspiralen besitzen, beispielsweise Oefen, Kirchenheizun-

gen und dergleichen, ferner von den Heisswasserspeichern, deren Benützungsdauer sehr gross ist. Bei solchen Anordnungen spielt die Warmfestigkeit des Heizleiters eine bedeutende Rolle. Viele Heizdrähte, und nicht die schlechtesten, haben eine verhältnismässig geringe Warmfestigkeit, was dazu führt, dass die Spiralen eventuell durchhängen und so bei ungenügenden Luftdistanzen zu Ueberschlägen führen. Natürlich prüft der Fabrikant alle diese Verhältnisse und

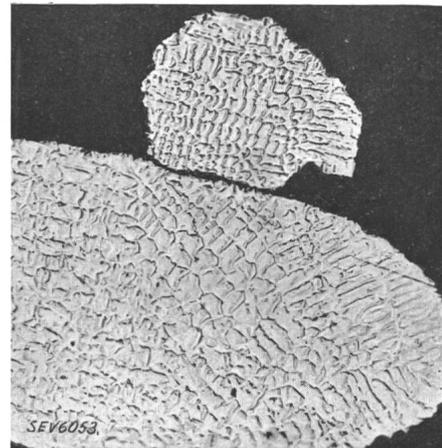


Fig. 5.  
Längsschnitt der Heizleiter Fig. 2 und 3.



Fig. 6.  
Heizleiter-Längsschnitt mit Gefügeänderung, mässige Ueberhitzung.

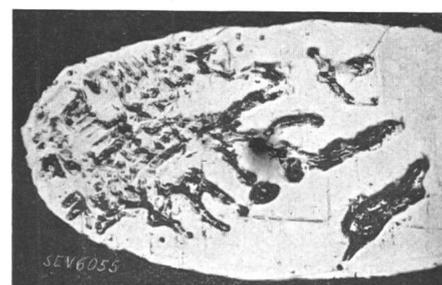


Fig. 7.  
Heizleiter-Längsschnitt, im Innern partiell geschmolzen.

die Drahtqualitäten und richtet seine Konstruktionen darnach ein. Sehr oft sieht er sich genötigt, mit, nach Auffassung der Metallurgen, relativ hohen Heizspiralen-Temperaturen zu arbeiten, wobei dann zusätzliche Temperaturerhöhungen durch starke Spannungserhöhungen nach und nach zu Defekten führen können. Relativ stärker noch als bei den eingebetteten Heizleitern ist zudem bei solchen freiliegenden Heizspiralen das öftere Schalten bei zu hohen Temperaturen durch Spannungsüberhöhung für die Lebensdauer der

Heizleiter ungünstig. Also auch bei freiliegenden Heizleitern ist das Einhalten kleinerer Spannungsgrenzen von wesentlichem Vorteil für die Lebensdauer und damit auch für den Ruf der Elektrowärmegeräte.

Eine weitere Erscheinung, die möglichst kleine Spannungsschwankung wünschbar macht, sei erwähnt, nämlich jene, die sich bei der automatischen Temperaturregelung elektrisch beheizter Geräte zeigt. Die für die Temperaturregelung benützten Regler besitzen alle ein Temperaturfühlerorgan und eine Konstruktion, die mit diesem zusammenhängt. Es ist nicht ohne weiteres ausreichend, dass der Temperaturregler für die richtige Temperatursteuerung äusserst empfindlich ist, denn trotz grösster Empfindlichkeit wird die Schalttemperatur immer anders sein, je nachdem, ob mit grösserer oder kleinerer Belastung gearbeitet wird, ob beispielsweise das Kochgefäss mehr oder weniger gefüllt oder der Fassungsräum mehr oder weniger besetzt ist. Man darf nämlich nicht vergessen, dass das Temperaturfühlerorgan und die übrigen Konstruktionsteile mitaufzuheizen sind, was je nach der Belastung und Konstruktion, wie auch der Beschickung mehr oder weniger rasch vor sich geht; somit entstehen Temperaturdifferenzen, die vom Temperaturleit-

fähigkeitskoeffizienten, also von der Masse, der Wärmeleitfähigkeit, der spezifischen Wärme usw. abhängig sind. Man sieht also, dass auch hier Spannungsschwankungen eine genügend exakte Temperatursteuerung direkt verunmöglichen können, besonders bei solchen Apparaten, an die bezüglich Temperatureinhaltung grosse Anforderungen gestellt werden.

Die Vorschriften über den Bau der elektrischen Geräte sind immer schärfer und die Aufgaben für den Konstrukteur immer schwieriger geworden, was nicht verbilligend auf die Produkte wirkt. Die in den letzten Jahren durchgeführte, aus anderen, wichtigeren Gründen allgemein sehr wünschbare Erhöhung der Gebrauchsspannung infolge der Spannungsnormalisierung hat diese Verhältnisse ebenfalls ungünstig verschärft. Jede Massnahme, die geeignet ist, die Spannungsschwankungen innerhalb geringerer Grenzen als bisher zu halten, ist daher lebhaft zu begrüssen, denn sie wird dazu führen, den guten Ruf der elektrischen Beheizung von Geräten jeder Art zu steigern und ihre Ausbreitung zu fördern. Sollten die Verbesserungen in der Spannungsregulierung so weit gehen, dass die jetzigen Prüfbedingungen als übersetzt gelten könnten, so wäre diese Entwicklung für den Konstrukteur von Wärmeapparaten sehr erfreulich.

### 3. Der Betriebsstandpunkt.

Referat von M. Wettstein, Oberbetriebsleiter der Elektrizitätswerke des Kantons Zürich.

#### Einleitung.

Herr Direktor Howald hat in seinem Vortrag auf die verschiedenen Möglichkeiten der Spannungsregulierung hingewiesen und gezeigt, in welcher Weise die Spannungsregulierung in einem städtischen Netz vorgesehen und teilweise auch ausgeführt worden ist. Ich möchte ausführen, wie die Spannungsregulierung in einem grösseren Ueberlandwerk, d. h. in den Anlagen der Elektrizitätswerke des Kantons Zürich (EKZ) durchgeführt wird. Ferner hat Herr Howald einige Diskussionsfragen aufgeworfen. Zu einem Teil dieser Fragen mussten die EKZ bei ihrer Spannungsregulierung ebenfalls Stellung nehmen. Ich werde das Resultat der betreffenden Ueberlegungen bekanntgeben.

Damit die Spannungsregulierung in den EKZ-Netzen verständlich wird, muss ich zuerst auf das Verteilungssystem eingehen. Die EKZ erzeugen die Energie nur zum kleinsten Teil selbst. Den Hauptteil beziehen sie aus dem 45-kV-Netz der Nordostschweizerischen Kraftwerke (NOK), und zwar in neun Unterwerken. In diesen Unterwerken wird die Energie von 45 auf 8 kV transformiert, dann über die 8 kV-Leitungen weitergeleitet und schliesslich in den Ortstransformatorenstationen auf Niederspannung transformiert. Ein Hochspannungsnetz wird vom Kraftwerk Eglisau der NOK aus direkt mit 8 kV gespiesen. Die verschiedenen an einzelnen Unterwerken angeschlossenen 8 kV-Netze sind untereinander zusammenschaltbar. Sie werden aber normalerweise getrennt betrieben. Ebenso sind Leitungsringe, die von Leitungen des gleichen Unterwerkes gebildet werden, im normalen Betriebszustand geöffnet.

Im gleichen Sinne werden auch die Niederspannungsleitungen stets als offene Leitungen betrieben, obschon vielfach Leitungen verschiedener Transformatorstationen zusammenschliessbar sind und oft auch Leitungen der gleichen Station zu Ringen zusammengeschlossen werden können. Diese Betriebsanordnung ist besonders deshalb getroffen worden, weil bei einer Betriebsstörung auf einer einzelnen Leitung der örtliche Umfang der Störung bedeutend kleiner ist als beim Betrieb der Leitung in geschlossenen Ringen oder beim Betrieb mit parallel geschalteten Speisepunkten. Nur die eigenen Energieerzeugungsanlagen arbeiten im Parallelbetriebe mit von den NOK gespiesenen Unterwerken.

#### A. Grundsätze bezüglich der Spannungsregulierung.

Die EKZ regulieren bis jetzt die Spannung für die Niederspannungsnetze ausschliesslich in den 8-kV-Verteilpunkten, also in den 8-kV-Schaltanlagen der Unterwerke, und zwar auch in denjenigen Fällen, wo ein eigenes Kraftwerk mit einem Unterwerk parallel arbeitet. Im Kraftwerk wird dann nicht die Spannung, sondern der Leistungsfaktor der erzeugten

Energie reguliert. Für diese Spannungsregulierung wurden folgende Grundsätze aufgestellt:

Die Spannung an den Klemmen der Motoren bei den Energiebezüglern soll im allgemeinen nicht um mehr als  $\pm 10\%$  von der Nennspannung abweichen. In besondern Fällen, z. B. bei landwirtschaftlichen Motoren, werden mit Rücksicht auf die geringe Benützungsdauer der Motoren und mit Rücksicht auf die wirtschaftliche Seite auch Spannungsabweichungen bis  $15\%$  zugelassen. Die Erfahrung hat gezeigt, dass die Motoren bei solchen Spannungsabweichungen im allgemeinen noch einwandfrei arbeiten. Für die Beleuchtung wird dagegen nur eine Abweichung von der Nennspannung von  $\pm 5\%$  als zulässig erachtet, und zwar deshalb, weil sowohl die Lebensdauer der Glühlampen als auch der Lichtstrom in sehr hohem Masse von der Betriebsspannung abhängig sind. Die zulässigen Spannungsgrenzen noch enger zu ziehen, würde sich dagegen wirtschaftlich sehr ungünstig auswirken. Für kalorische Anschlussobjekte, besonders für die elektrische Küche, wird bei den EKZ ebenfalls eine Spannungsabweichung von nicht mehr als  $\pm 5\%$  angestrebt. Diese vielleicht etwas enge Begrenzung wurde mit Rücksicht auf die Leistung der Kochplatten, bzw. auf die Kochzeit so gewählt. Bekanntlich ändert sich die elektrische Leistung und damit auch die Kochzeit mit dem Quadrat der Spannung.

Mit diesen von den EKZ als zulässig erachteten Spannungsabweichungen sind wahrscheinlich nicht alle andern Werke, vielleicht auch nicht alle Fabrikanten elektrischer Maschinen und Apparate einverstanden. Es wäre deshalb sehr erwünscht, wenn auf Grund der heutigen Diskussion später einmal Richtlinien über die Spannungshaltung aufgestellt werden könnten, damit die Werke wissen, welche Abweichungen ganz allgemein als zulässig anerkannt werden, die Fabrikanten aber auch wissen, mit welchen Abweichungen gerechnet werden muss.

Die von den EKZ angewendete Spannungsregulierungsmethode bedingt ferner, dass die Spannungsverluste in den Niederspannungsleitungen nicht grösser sind als die bei den Anschlussobjekten zugelassenen Abweichungen von der Nennspannung. Dementsprechend müssen die Niederspannungsleitungen so dimensioniert sein, dass

1. für Leitungen, die der allgemeinen Versorgung mit Licht, kalorischer und mechanischer Energie dienen, kein grösserer Spannungsverlust als  $5\%$  auftritt;
2. bei reinen Kraftleitungen der Spannungsverlust nicht mehr als  $10\%$  beträgt, und
3. bei Leitungen, die rein landwirtschaftlichen Betrieben dienen und bei denen die Betriebszeit der Motoren auf die Zeit der Tageshelle beschränkt ist, die Spannungsverluste  $15\%$  nicht übersteigen.

Sofern die zuletzt genannten Leitungen auch für die Speisung der Beleuchtung dienen, dürfen die Spannungsverluste