

Zeitschrift:	Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber:	Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band:	58 (1967)
Heft:	16
Rubrik:	Richtlinien für den Anschluss von elektrischen Schweißgeräten und Schweißmaschinen an elektrische Verteilnetze

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: 17.02.2026

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

en parallèle. La charge moyenne permanente de la centrale complètement équipée sera de l'ordre de 800 kVA, ce qui signifie que les transformateurs sont alors chargés chacun à 40 % environ de leur puissance nominale. Par un choix approprié du rapport des pertes respectives dans le cuivre et le fer ($P_{Cu}/P_{Fe} = 7,25$) leur rendement optimum se situe vers les 37 % de la charge nominale. Avec un tel schéma, on bénéficie encore d'une confortable marge de puissance, en cas de mise hors service d'un des transformateurs.

Les services internes possèdent, près de l'entrée de l'usine, une salle de commande en propre, avec tableaux, appareillage et même armoires d'automatisme pour certains éléments de l'installation.

En cas de défaillance du réseau à 20 kV de la SRE, la mise en route du groupe de secours de 1600 kVA; 400/231 V; 2310 A à 1500 tr/min, survient automatiquement et, 10 à 15 s plus tard, son alternateur est en mesure de reprendre convenablement l'alimentation des services internes. Celui-ci est entraîné par une turbine Pelton dont la puissance à l'arbre est de 1250 kW sous la chute nette minimum de 780 m.

En cas de réapparition de la tension sur les barres 20 kV, ce groupe auxiliaire est automatiquement synchronisé et couplé

au réseau de la SRE, puis déchargé ensuite, de sorte que ne survienne aucune interruption de tension sur les barres 400/231 V.

L'alternateur du groupe auxiliaire est pourvu d'une excitatrice en bout d'arbre et équipé d'un régulateur de tension à action rapide, avec amplificateur magnétique et redresseur sec.

La répartition des différents consommateurs des services internes sur les distributions est telle que l'éclairage, les moteurs des compresseurs, l'installation générale d'accumulation d'eau de réfrigération sont branchés sur les deux distributions I et III. En revanche tous les consommateurs indispensables à l'exploitation, appelés aussi services essentiels, sont reliés à la distribution II.

En cas de court-circuit sur l'une ou l'autre des distributions I ou III, des relais à surintensité combinés à des relais directionnels de puissance mettent hors service la distribution défaillante, ce qui signifie que II et I ou II et III restent en tous cas disponibles et cela se traduit par une sécurité supplémentaire pour l'ensemble des installations.

Adresse de l'auteur:

F. Vesligaj, ingénieur-conseil, Société Générale pour l'Industrie, 12, Place de la Gare, 1003 Lausanne.

Richtlinien für den Anschluss von elektrischen Schweissgeräten und Schweissmaschinen an elektrische Verteilnetze

Mitgeteilt von der Schweiz. Kommission für Elektrowärme

621.791.7

H. Lienhard, Bern, für ihre grosse Arbeit der allerbeste Dank ausgesprochen.

Schweizerische Kommission für Elektrowärme

Der Präsident:

U.V. Büttikofer

1. Grundsätzliches

1.1 Zur Problemstellung

Spricht man von Problemen im Zusammenhang mit Schweissmaschinen, so sind im allgemeinen in erster Linie konstruktions- und anwendungstechnische gemeint. Aus betriebstechnischer Sicht müssen aber auch Gesichtspunkte berücksichtigt werden, die über den unmittelbaren Maschinenbetrieb hinausgehen und insbesondere auch die Fragen des Anschlusses an das elektrische Verteilnetz und allfällige Rückwirkungen auf am selben Sekundärnetz angeschlossene Geräte und Apparate einschliessen. Beobachtete Störungen an elektrischen Verteilnetzen, verursacht durch den Betrieb von gewissen Schweissmaschinen sowie die Abklärung der Möglichkeit, ob in einem speziellen Fall eine Schweissmaschine bestimmter Grösse und Arbeitsart überhaupt an ein bestehendes Verteilnetz angeschlossen werden kann, bildeten die Ausgangslage und den Anstoss, die vorliegende Arbeit aufzunehmen.

Die Zusammensetzung der Arbeitsgruppe aus Vertretern der schweissmaschinenherstellenden Industrie, der Elektrizitätswerke und der Elektrowärme-Kommission soll für eine abgewogene Arbeit bürgen, ohne irgend einen Standpunkt über Gebühr zu betonen. Die Arbeiten erstreckten sich insgesamt

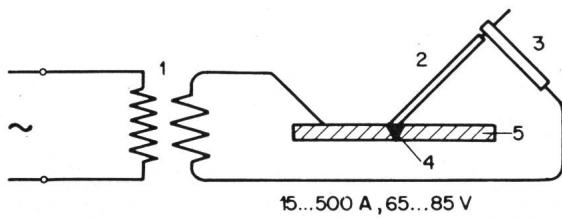


Fig. 1
Prinzip der Lichtbogenschweissung

über mehr als 2 Jahre, bis die verschiedenen Einzelheiten genügend abgeklärt waren. Ziel der Arbeiten war, den zuständigen Fachleuten in Elektrizitätswerken einfache und kurzgefasste Erläuterungen und Hilfen bei der Beurteilung über Anschlusswünsche von Schweissmaschinen der Energiekonsumenten zu geben.

1.2 Verbreitung und wirtschaftliche Bedeutung der Schweissmaschinen

In der Schweiz stehen zur Zeit etwa 60000 Schweissgeräte in Betrieb; deren weitaus grösste Zahl sind Lichtbogenschweissmaschinen für Gleich- und Wechselstrom. Ein Anteil von etwa 3000...3500 davon sind Widerstandschweissmaschinen verschiedenster Art und Grösse. Von diesen dürften rund 200 der Gruppe Stumpfschweissmaschinen und der grosse Rest der Gruppe Buckel-, Punkt- und Nahtschweissmaschinen angehören. Ihre gesamte Nennleistung dürfte schätzungsweise um 80...100 MVA liegen.

Für die gesamte Metallindustrie und das verarbeitende Gewerbe spielen heute die elektrischen Schweissverfahren eine ganz bedeutende und oft für moderne, zweckmässige, im Sinne der Automatisierung der Fabrikationsverfahren entscheidende Rolle, angefangen vom kleinen transportablen Schweisstransformator für Reparaturzwecke bis zu grossen vollautomatischen Anlagen in Produktionsketten oder gar Produktionsstrassen.

Während die Stumpfschweissung in Konkurrenz zu vielen anderen Verfahren einen bestimmten Platz in der gesamten Metallindustrie gewonnen hat, sind die Buckel-, Punkt- und Nahtschweissverfahren ein nicht wegzudenkender Teil der dünnblechverarbeitenden Industrie geworden. Sie ermöglichen zum Teil erst gewisse Konstruktionsprinzipien; so wäre z.B. die heutige Automobilindustrie ohne diese Verfahren gar nicht denkbar. In Teilen anderer Branchen sind die Verfahren schon derart selbstverständlich, dass die Nichtanwendung geradezu zur Konkurrenzunfähigkeit führen würde.

2. Schweissmaschinen und Schweissgeräte

2.1 Prinzipien der Elektroschweissung

2.1.1 Lichtbogenschweissung

Die Lichtbogenschweissung wird mit einem Zündvorgang durch ein kurzzeitiges Berühren der beiden Schweisselektroden eingeleitet. Auf der glühenden Kathode setzt sodann eine Elektronenemission ein, wobei sich die Elektronen entsprechend dem aufgebauten elektrischen Feld auf die Anode zu bewegen. Die durch die kinetische Energie der beschleunigten Elektronen verursachte Stossionisation der Gasmoleküle bildet eine leitende Gassäule, die die Stromleitung zwischen den Elektroden übernimmt.

Sowohl an Kathode als an Anode ist ein physikalisch bedingter Spannungsabfall vorhanden, wobei der Kathoden-

fall etwa 10 V und der Anodenfall etwa 30 V beträgt. Die an den Elektroden liegende Lichtbogenspannung teilt sich somit in Kathoden- und Anodenfall und in denjenigen Spannungsabfall auf, der über die aktive Lichtbogenentladung aufgebaut wird. Über Metallektroden stehende Lichtbögen weisen eine etwas geringere Lichtbogenspannung auf als bei Anwendung von Kohleelektronen. Ähnlich wie bei der autogenen Schweisung wird auch bei der elektrischen Lichtbogenschweissung ein Schweissdraht als Schweisselektrode verwendet. Dieser ist die Gegenelektrode zum Werkstück, sodass sich zwischen beiden ein Lichtbogen hoher Temperatur ausbilden kann. Bei dem dadurch eingeleiteten Schmelzvorgang liefert er gleichzeitig das notwendige Füllmaterial zum Ausfüllen der Schweissnaht (Fig. 1). Die Lichtbogenschweissung kann sowohl von Hand als auch automatisch ausgeführt werden, und es ist sowohl Auftrags- als auch Verbindungsschweissung möglich. Das Stromdiagramm bei Lichtbogenschweissung ist für Hand- und Automatenschweissung in Fig. 2 dargestellt. Zur Schweissung kann sowohl Gleich- als auch Wechselstrom dienen. Die Stromart ist von der Art der Elektroden und der Form des zu schweissenden Werkstückes abhängig. Bei Gleichstrom wird der Minuspol der Stromquelle meist an die Elektrode und der Pluspol an das Werkstück gelegt (umgekehrte Polung z.B. bei Aluminiumschweissungen). Für die elektrische Lichtbogenschweissung ist zur Aufrechterhaltung eines Lichtbogens eine bestimmte minimale Lichtbogenspannung und eine gewisse Lichtbogenstromstärke erforderlich. Man kann deshalb beim Lichtbogenschweißen keine Zeitsteuerung anwenden, wie dies bei der Widerstandschweissung üblich ist. Man ist vielmehr dazu gezwungen, bestimmte Spannungs- und Stromwerte einzuhalten und hienach die Steuerung des Schweissvorganges vorzunehmen.

2.1.2 Widerstandsschweissung

Die Widerstandsschweissung beruht auf der Erwärmung der Kontaktstellen zweier Metallteile bei einem sie durchfliessenden elektrischen Strom. Die Wärmeentwicklung steigt mit dem Quadrat der Stromstärke und mit dem Widerstand der Kontaktstelle, welcher dem Materialwiderstand proportional ist, aber auch vom Oberflächenzustand und Übergangswiderstand Elektrode-Werkstück abhängt, gleichzeitig aber

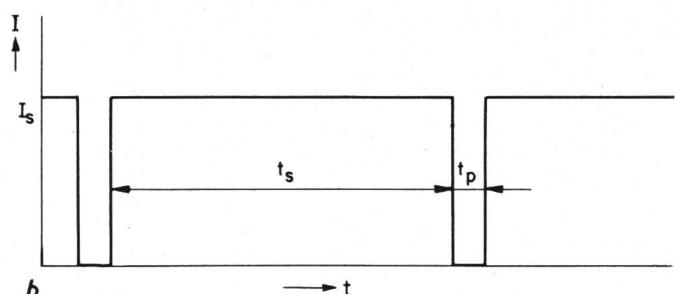
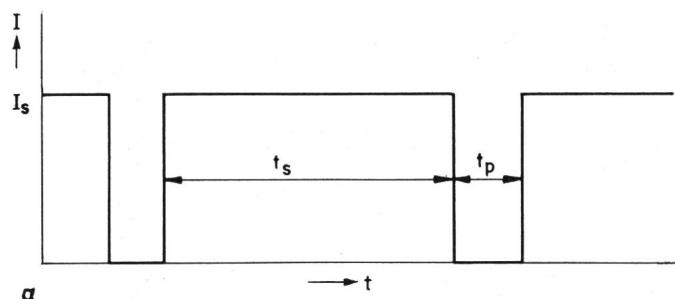


Fig. 2
Stromdiagramm der Lichtbogenschweissung

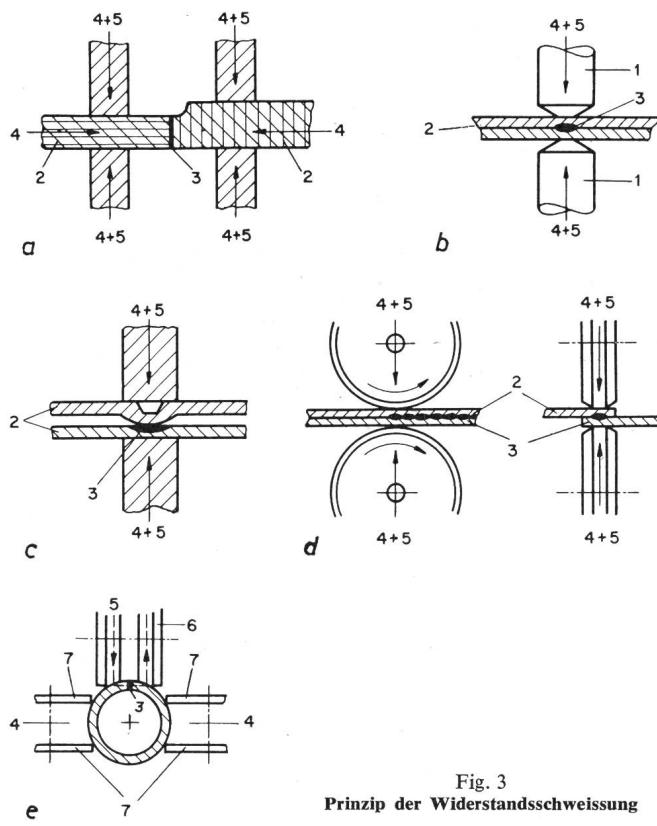


Fig. 3
Prinzip der Widerstandsschweissung

mit zunehmender Elektrodenkraft (auf die Kontaktstelle ausgeübte Presskraft) abnimmt. Die Wärmestauung an der Kontaktstelle und damit die Temperaturerhöhung wird überdies durch die Wärmeableitung in die Umgebung der Schweißstelle und durch die angelegten Elektroden beeinflusst. Es muss deshalb mit möglichst kurzen Schweißzeiten gearbeitet werden. Dies bedeutet praktisch das Arbeiten mit kurzen Stromflusszeiten im Verhältnis zur gesamten Dauer eines ganzen Schweißzyklus, der auch die Zuschlags-, Nachstell- und Verschiebedauer umfasst. (In Figur 4 sind die Strom- und Druckdiagramme bei der Widerstandsschweissung grafisch dargestellt.) Diese «Einschaltdauer» genannte relative Stromflusszeit ist ein Kennzeichen des Verfahrens und kann beim Punktschweißen bis auf 5% der Zeit des ganzen Zyklus sinken. Die geringe Einschaltdauer wird beim Bau der Maschinen in der Dimensionierung der Kupferquerschnitte der Stromleiter ausgenutzt. Mitentscheidend für die Qualität der Schweißung ist die auf die Schweißstelle ausgeübte Elektrodenkraft. Da diese den Kontaktwiderstand heruntersetzt, ergibt sich unter Umständen die Notwendigkeit eines «Druckprogrammes». Dabei

wird die grosse, qualitätsbestimmende Elektrodenpressung am oder gegen das Ende der Einschaltdauer wirksam.

2.2. Methoden der Widerstandsschweissung und deren Wirkungsweise

Es können prinzipiell zwei Methoden der Widerstandsschweissung unterschieden werden:

a) Stumpfschweissung, bei der die den Strom leitenden Elektroden keinen direkten Einfluss auf die Schweißung haben und nicht unbedingt an der Übertragung der «Schweisskraft» beteiligt sein müssen.

b) Buckel-, Punkt- und Nahtschweissung, bei der die Elektroden auch die Schweisskraft übertragen und bezüglich Material, Form und Ausdehnung auf die Schweißung einen bestimmenden Einfluss ausüben.

2.2.1 Stumpfschweissung

Man unterscheidet hier zwischen Stumpfschweissung, welche speziell bei kleineren Querschnitten angewandt wird, und bei der kein Abbrennen auftritt, und dem eigentlichen Abbrennschweissen. Bei der reinen *Stumpfschweissung* werden Stäbe und Profile seitlich geklemmt und in der Regel mit dieser Klemmvorrichtung auch der Strom zu-, bzw. abgeführt (Figur 3a zeigt diese Verhältnisse). Verschweisst werden die im Querschnitt übereinstimmenden Stirnseiten der Stäbe unter Ausübung einer Kraft während des Stromdurchgangs und schlagartiger Erhöhung dieser Presskraft (Stauchkraft) am Ende des Stromdurchgangs.

Bei dem abgewandelten Stumpfschweissverfahren der *Abbrechschweissung* wird der Schweissdruck stark vermindert, sodass sich die zufällig gerade berührenden Werkstückstellen so rasch und stark erwärmen, dass sie verdampfen und explosionsartig verpuffen, wodurch immer wieder andere Stellen zur Berührung kommen. Nach kurzer Zeit wird auf diese Weise der ganze Querschnitt in relativ geringer Tiefe bis auf

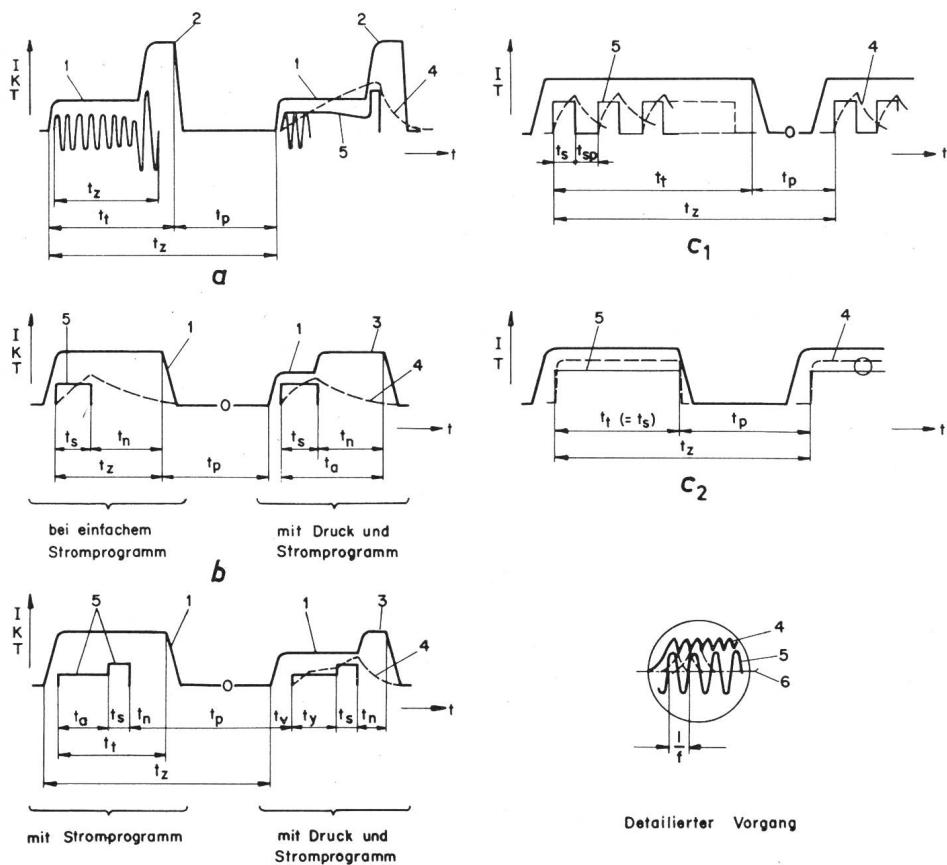


Fig. 4
Strom- und Druck-Diagramm von Stumpf-, Punkt- und Nahtschweissung

die notwendige Schweißtemperatur gebracht und durch den anschliessenden grossen Stauchdruck verschweisst. Es tritt dabei während 0,2...10 s ein praktisch konstanter Arbeitsstrom auf. Bei reinem Abbrennschweissen von mittleren Querschnitten mit dauerndem, aber unregelmässigem Stromfluss dauert die Stromeinschaltzeit je nach Vorlaufgeschwindigkeit, Berührungs punkten und Leistung des Schweißtransformators mit abschliessendem Stauchschlag 0,04...0,4 s Stauchstromzeit und je nach Material und Stärke 0,4...40 s Abbrennzeit.

Das *kombinierte Stumpfabbrennschweissen* ist in der Zeit der Vorwärmimpulse ein Stumpfvorwärmen. Dies ist notwendig, wenn die Energie der Maschine für das Abbrennen aus dem kalten Zustande nicht ausreicht. Je höher die Temperatur der zu verschweisenden Oberfläche ist, mit desto geringerer Leistung des Schweißtransformators ist auszukommen, um das Abbrennen (Säuberung) vor dem «Stauchschlag» auszuführen. Zudem kann durch die geeignete Wahl der Vorimpulse (Stromstöße und Strompausen) die Wärmeableitung in die zu verschweisenden Materialien reguliert werden. Bei grossen Querschnitten beträgt der gesamte Arbeitsintervall für 100 cm² rund eine Minute und für 200 cm² etwa 10 min. Es können dabei Arbeitszeiten bis zu 20 min auftreten, wenn auf relativ kleinen Maschinen grössere Querschnitte geschweisst werden.

Im Gegensatz dazu beträgt die eigentliche Schweiß-Stromzeit und Vorwärmzeit in allen diesen Fällen nur Bruchteile der gesamten Arbeitszeit. Die Vorwärmimpulse können bei 0,2...1,5 s und die dazu gehörigen Pausen in gleicher Größenordnung liegen.

Je nach dem Grad der Automatisierung kann der Zeitintervall zwischen zwei Arbeitsprozessen kürzer, gleich oder länger als der Arbeitsprozess sein.

2.2.2 Punkt-, Buckel- und Nahtschweissung

Die *Punktschweissung* ist dadurch charakterisiert, dass zwischen den unter verhältnismässig hoher Presskraft stehenden Elektroden zwei und mehr Blechteile lokal verschweisst werden (Vielpunktschweissung) (Fig. 3b). Für den einzelnen Schweisspunkt werden Stromflusszeiten von 0,06...0,32 s beim allgemeinen Schweißbetrieb und 0,02...1,0 s in Spezialfällen angewendet. Die Zahl der Schweißvorgänge pro s richtet sich nach der Art der Betriebsform und Maschinenausstattung. Bei Handbetätigung sind zwei Schweißungen pro Sekunde noch möglich. Dabei folgen sich die Punkte in unregelmässigen Zeitabständen.

Unter *Buckelschweissen* wird das gleichzeitige Schweißen von mehreren aus dem Werkstück herausgedrückten Buckeln oder einer andern, z.B. linienförmigen Erhebung verstanden (Fig. 3c). Dabei werden mehrere sich kurz folgende Stromstöße angewandt, meist 3 bis 10 Impulse von 0,04...0,16 s. Die Pausen zwischen den Impulsen betragen etwa 0,04...0,12 s; die Intervalle zwischen den Schweißungen 1...5 s. Bei der Buckelschweissung wird der Strom zur Schweißstelle durch Elektroden eingeleitet, welche gleichzeitig auch die nötige Schweißkraft ausüben. Der genaue Ort der Schweißung wird durch Kreuzungsstellen des Schweißgutes, bei der sog. Gitterschweissung, oder durch eingewalzte und herausgepresste Erhöhungen (Buckel) bestimmt. Meist wird eine grössere Zahl von Buckeln gleichzeitig geschweisst.

Die *Nahtschweissung* kann als kontinuierliche Punktschweissung aufgefasst werden, indem einzelne Punkte dadurch aneinander gereiht werden, dass die als Rollen ausgebildeten

Elektroden, die zu verschweisenden Blechteile mit mässiger Geschwindigkeit zwischen sich fortbewegen (Fig. 3d).

Je nach Grösse und Distanz der einzelnen Punkte kann die Naht flüssigkeits- und gasdicht oder nur mechanisch festgeschweisst werden. Als Nahtschweissung werden auch die Verfahren bezeichnet, bei denen die zu verschweisenden Bleche nicht übereinander, sondern nebeneinander liegen, und die Elektroden über bzw. unter oder beide neben der Schweißstelle aufliegen, und die Schweißkraft nicht direkt übertragen wird (*Rohrnahtschweissung*, *Stumpfnahtschweissung*) (Fig. 3e).

2.3. Schweissgeräte, Schweissmaschinen und deren Steuerungen

2.3.1 Lichtbogenschweissgeräte

Gleichstrom-Schweissumformer bestehen meist aus einem auf gemeinsamer Welle sitzenden Antriebsmotor mit einem Schweiß-Gleichstromgenerator. Die Schweißstromregulierung bietet hier im Rahmen der Maschinencharakteristiken keine technischen Schwierigkeiten. Gelegentlich wird auch die Erregermaschine durch Trockengleichrichter ersetzt.

Bei *Schweissgleichrichtern* erfolgt die Stromregulierung oft mittels einem mechanisch verstellbaren Luftspalt der Drosselspule, durch Vormagnetisierung der Drosselspule mit Gleichstrom oder direkt mittels Streutransformatoren.

Beim *Schweißtransformator* hängen die Schweißeigenschaften weitgehend von der Grösse der Streu- oder Induktionsspannung ab und sind im allgemeinen umso besser, je höher diese ist. Da die Leerlaufspannung den Leistungsfaktor massgebend beeinflusst, muss einerseits die Leerlaufspannung bei grösseren Stromstärken möglichst niedrig gewählt werden. Anderseits muss aber die Leerlaufspannung hoch sein, wenn das Schweißen mit kleinen Stromstärken möglich sein soll. Es wird deshalb zweckmässig der Schweißstromregelbereich unterteilt und jedem Strombereich die Leerlaufspannung zugeordnet, die bezüglich Leistungsfaktor und Schweißfähigkeit vorteilhaft ist. Aus Sicherheitsgründen sind jedoch die zulässigen Leerlaufspannungen nach oben in den meisten Ländern gesetzlich beschränkt. Die Tendenz geht heute dahin, die Leerlaufspannung auf ca. 85 V zu beschränken oder sogar bis auf 70 V zu reduzieren.

Alle Arten von Lichtbogen-Schweissmaschinen können zur Handschweissung oder für das automatische Schweißen (Schweissautomaten) verwendet werden.

Übliche Schweisszeiten und Einschaltdauer (vgl. Fig. 2):

Bei Handschweissung:

$$\begin{aligned} \text{Schweisszeit} &= t_s = 45 \dots 120 \text{ s} \\ \text{relative Einschaltdauer} &= ED = 40 \dots 50 \% \end{aligned}$$

Bei Schweissautomaten:

$$\begin{aligned} \text{Schweisszeit} &= t_s = 2 \dots 20 \text{ min} \\ \text{relative Einschaltdauer} &= ED = 60 \dots 100 \% \end{aligned}$$

wobei $ED = \frac{t_s}{t_s + t_p} \cdot 100 (\%)$ und t_p die Pausenzeit bedeuten.

2.3.2 Widerstandschweissmaschinen

Ein Merkmal der Widerstandschweissmaschinen ist die Verbindung von hoher Stromabgabe mit Ausübung grosser mechanischer Kräfte. Die hohe Stromabgabe wird durch geeignete Transformatoren ermöglicht, welche luft- oder wassergekühlt sind. Ihre Untersetzung ist so gewählt, dass sie die für eine bestimmte Wärmeeinwirkung benötigte Leistung

in den sehr geringen Arbeitswiderstand der eigentlichen Schweißstelle abzugeben vermögen, wozu grosse Ströme, aber eine relativ kleine Spannung notwendig sind. In den meisten Fällen ist dabei die Zahl der Sekundärwindungen eins, höchstens vier und dies nur, wenn die Zuleitungen zur Schweißstelle aus praktischen Gründen besonders lang gestaltet werden müssen. Die Grösse der notwendigen Sekundärspannung wird weniger durch den sog. Schweißgutwiderstand festgelegt als durch Induktivität und Ohmschen Widerstand der Zuleitungen zur Schweißstelle.

Die mechanischen Kräfte werden oft bei den kleinen Maschinen durch Fussbetätigung über Hebelübersetzungen erzeugt, bereits bei mittleren Maschinen pneumatisch und bei grossen Maschinen teilweise auch hydraulisch. Abgesehen von der Nahtschweissung mit Netzfrequenz verlangen die Widerstandsschweißverfahren zur häufigen Zuschaltung der Primärseite des Schweißtransformators an das Netz geeignete Schaltmittel. Bei älteren oder kleineren Maschinen werden zu diesem Zwecke Schütze verwendet. Wegen der damit verbundenen Unterhaltsarbeiten wird aber auch bei kleineren Maschinen mehr und mehr davon abgegangen. Bei grösseren Maschinen fallen mechanische Schaltmittel ausser Betracht. Die Schaltmittel sind hier Ignitrons, d.h. zündstiftgesteuerte Eingefäss-Quecksilberdampfgleichrichter, die vakuumdicht abgeschmolzen sind und ausser einem Minimum an Kühlung durch Wasser keines Unterhaltes bedürfen und eine sehr grosse Lebensdauer haben. Um Wechselstrom durchzulassen, sind ein Paar Ignitrons antiparallel, d.h. je mit Anode und Kathode gegeneinander geschaltet. Selbst wenn die Ignitrons durch gewöhnliche Kontakte und Gleichrichter asynchron gesteuert werden, ergibt sich bereits eine Verkleinerung der Einschaltstromstöße, die von zufällig ungünstigem Einschaltzeitpunkt herrühren könnten.

Meistens wird aber die Möglichkeit der Zündung der Ignitrons zu beliebigem Zeitpunkt (während positiver Anode), gleich zu kontinuierlicher Spannungs- bzw. Stromsteuerung benutzt, was Einschaltstromstöße zum vornherein ausschliesst und zusätzliche Vorteile bietet. Mit Stromprogrammsteuerung kann der Schweißstrom während des Verlaufs der Schweißung auf- und abgeschwellt oder sonst in beliebiger Weise geändert werden. Auch die Möglichkeit automatischer Kompensation von Netzspannungsschwankungen bietet sich damit an, und ein Überlastungsschutz mit kürzester Wirkzeit ist realisierbar.

Solche Steuerungen werden in der Regel auch mit sog. Druckprogrammen ausgerüstet, welche die Schweißkraft auch während des Verlaufes der Schweißung in bestimmter Weise zu ändern gestatten, aber immer so, dass die Kraft unmittelbar

nach der Schweißstromzeit, also während des Abkühlens der Schweißstelle, am grössten ist.

Die Forderung nach Verminderung der aufgenommenen Leistung kann verbessert werden durch Konstruktion der Maschinen mit möglichst kleinen Widerständen und Induktivitäten auf der Sekundärseite der Maschine und gegebenenfalls durch Eliminierung der Blindwiderstände mittels Serienkompensation auf der Primärseite oder durch Speisung mit tieferer als Netzfrequenz, wobei die (Einphasen-)Last mit Netzfrequenz auf alle drei Phasen (zyklisch wechselnd) verteilt wird. Zwei Methoden werden hiefür angewendet:

a) Die erste Methode verzichtet auf den speziellen Netztransformator, vergrössert aber den Schweißtransformator, indem statt einer Primärwicklung deren drei vorhanden sind, die aber der geringeren Einschaltdauer entsprechend schwächer dimensioniert sind (*Frequenzwandler-Schweißmaschine mit direktem Anschluss*, Fig. 5a).

b) Die zweite Methode benutzt einen speziellen Netztransformator, dem die elektronischen Schaltelemente und in der Maschine ein Einphasenschweißtransformator, der für eine tiefere Frequenz dimensioniert ist, nachgeschaltet sind; *Frequenzwandler-Schweißmaschine mit speziellem Netz-Transformator*, Fig. 5b).

Prinzipiell ist die Funktionsweise in beiden Fällen dieselbe, indem bei beiden Systemen auf die Sekundärklemmen eine rechteckförmige Wechselspannung sehr kleiner Frequenz gegeben wird, welche dadurch entsteht, dass die Dreiphasenspannung abwechselnd eine zeitlang in der einen und der anderen Richtung gleichgerichtet wird. Der Sekundärstrom ist nicht mehr sinusförmig; die dreieckige Form ist aber bei Einimpulsschweissung (mit einer Halbwelle des niederfrequenten Sekundärstromes) von besonderem Vorteil. Die Einimpulsschweissung wird vorzugsweise für das Punktschweißen von Aluminium und dessen Legierungen angewendet. Der Mehraufwand für Maschine und Steuerung ist bei den Frequenzwandlermaschinen erheblich grösser, aber öfters durch die Leistungsgrenzen der Schaltmittel notwendig.

2.4. Netzrückwirkungen von Schweißmaschinen

2.4.1 Allgemeines

Das Kennzeichnende der Betriebsweise aller Schweißmaschinen (mit Ausnahme einiger Spezialschweißmaschinen) ist ihr aussetzender (unterbrochener bis stossweiser) Strombezug. Die absolute Stromzeit (Dauer eines einzelnen Strombezuges) und die relative Stromzeit oder Einschaltdauer (Stromzeit dividiert durch Stromzeit plus stromlose Pausenzeit) sind aber für die einzelnen Arten von Schweißgeräten und Schweißmaschinen sehr verschieden. Zu dieser aussetzenden Betriebsweise kommt, dass die Wirkleistungen bei Lichtbogenschweißtransformatoren und Schweißgleichrichtern aus physikalisch bedingten Gründen, bei den Widerstandsschweißmaschinen dagegen vor allem bedingt durch die Länge und Geometrie der Stromzuführungen einen oft hohen Blindleistungsbedarf aufweisen. Tabelle I liefert dazu einige Anhaltspunkte.

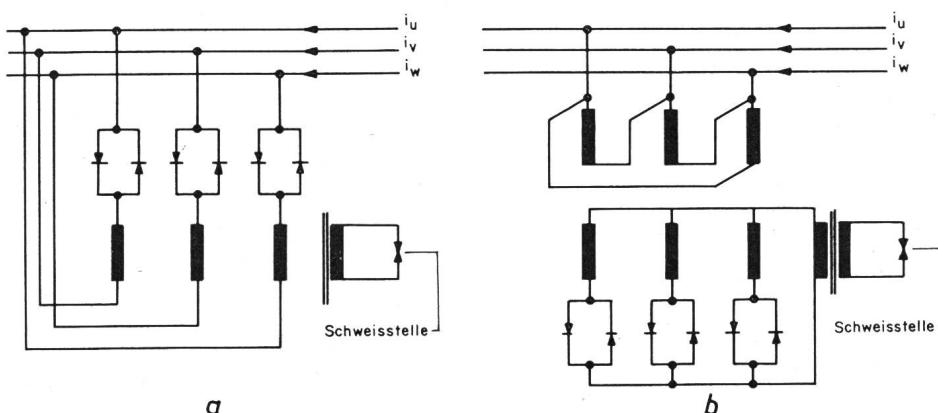


Fig. 5
Prinzip der Frequenzwandler-Schweissung

Schweißeinrichtung	Schweißzeit t_s s	Einschalt- dauer ED %	Leistungs- faktor der Leistungs- aufnahme $\cos \varphi$
Lichtbogenschweißgeräte:			
Schweissumformer Schweissgleichrichter Schweisstransformatoren	gemäss Angaben auf Seite 000 für Hand- oder automatischen Betrieb		0,5 ... 0,8 0,45...0,7 0,45...0,55
Widerstandschweiß- maschinen			
Stumpfschweißmaschinen Buckelschweißmaschinen für Stahlschweissung	1...100	10...50	0,25...0,5
Punktschweißmaschinen für Stahlschweissung	0,06...1,0	5...25	0,4...0,6 ¹⁾
Punktschweißmaschinen für Aluminium- schweissung	0,02...3,0	5...25	0,5...1
Nahtschweißmaschinen für Stahlschweissung	0,02...0,5	2...10	0,25...0,5 ¹⁾
Nahtschweißmaschinen für Aluminium- schweissung	0,01...0,1	25...100	0,5...0,9
Nahtschweißmaschinen für Aluminium- schweissung	0,01...0,04	10...25	0,25...0,4 ¹⁾

¹⁾ unkompensiert

2.4.2 Wirkung der Stromaufnahme von Widerstandschweißmaschinen auf das speisende Netz

Der stossweise Leistungsbezug der Widerstandschweißmaschine hat verschiedene Wirkungen. Erwünschte Wirkung der Stromaufnahme kann für das energieliefernde Elektrizitätswerk nur das Vorwärtsdrehen des Energiezählers, auch für die Energiestösse, sein. Unerwünscht sind aber alle Nebenwirkungen, welche das Lieferwerk zu erhöhten Leistungen zwingen können und Wirkungen welche andere Energiekonsumenten stören. Als solche Nebenwirkungen sind zu erwähnen:

- a) Die Erzeugung von erhöhten Verlusten in den Zuleitungen des Lieferwerkes, durch Bezug der Energie über zwei Leiter statt drei und durch Mitbezug von Blindenergie.
- b) Notwendigkeit der Überdimensionierung der elektrischen Anlagen, wenn die Schweißmaschinen einzige ins Gewicht fallende Energieverbraucher sind.
- c) Auftreten von mehr oder weniger periodischen Spannungsänderungen.
- d) Häufigkeit des Auftretens von Einschaltstromstößen beim asynchronen Einschalten der Schweißmaschinentransformatoren.

2.4.3 Spannungsabfall

Je nachdem, wo ein Schweißgerät oder eine Schweißmaschine als Verbraucher bestimmter Leistung an das elektrische Verteilnetz angeschlossen ist, bewirkt sein Energiebezug einen mehr oder weniger grossen Spannungsabfall, der sich in gleicher relativer Höhe an allen dort parallelgeschalteten oder sonstwie angeschlossenen Verbrauchern ausprägt, aber in entgegengesetzter Richtung des Energieflusses im Stromleitungssystem entsprechend sinkender Netzimpedanz (steigender Kurzschlussleistung) abnimmt.

Durch den Aussetzbetrieb der Schweißmaschinen wird im Netz ein aussetzender, rasch wiederkehrender Spannungsabfall erzeugt, der schon innerhalb einer verhältnismässig geringen relativen Schwankungshöhe an den Lichtquellen (besonders bei Glühlampen) sich als Pulsieren der Helligkeit bemerkbar macht und auch Fernsehapparate und andere spannungsempfindliche Apparate in erheblichem Umfang stört. Diese Erscheinung wirkt besonders störend, wenn sie zum sog. Flimmern wird, das seinen Höhepunkt bei ca. 8 Ein-

schaltstössen pro Sekunde erreicht. In diesem Bereich arbeiten die meisten Nahtschweißmaschinen. Punktschweißmaschinen, die mit weniger als 2 Einschaltstössen pro Sekunde arbeiten, bewirken ein Flackern des Lichtes. Keine derartigen Störungen verursachen Lichtbogenschweißgeräte und die kontinuierlich (ohne Stromprogramm) arbeitenden Rohrnahtschweißmaschinen. Einer genaueren Untersuchung bedürfen jedoch ganz allgemein die Widerstandschweißmaschinen, bei denen erschwerend meist noch dazu kommt, dass sie einphasige Verbraucher sind. Bezüglich des verursachten Spannungsabfalles bedeutet dies (im Unterschied gegenüber einer symmetrischen Dreiphasenlast) sehr ungleiche Spannungsabfälle an den drei Phasen gegenüber dem Nulleiter und den Phasenpaaren gemessen. An der nicht benützten Phase tritt kein Spannungsabfall auf, an den beiden benützten Phasen gegen den Nulleiter aber das 1,5- bis 3-fache des Spannungsabfalles, der sich mit derselben, aber dreiphasigen Last ergeben würde.

Von verschiedener Seite vorgenommene Untersuchungen haben übereinstimmend ergeben, dass eine Schweißmaschine an jeder Stelle des Verteilnetzes, von der aus auch das allgemeine Lichtnetz beliefert wird, höchstens folgende Spannungsabfälle verursachen darf:

Bei Lichtbogenschweißmaschinen	3 ... 4 %
Bei Widerstandschweißmaschinen	1,5...2 %
Ausnahme bei Nahtschweißmaschinen mit Stromprogramm	0,3...0,5 %

Den Elektrizitätswerken erwächst somit bei Anschlussbegehren vorab die Aufgabe zu prüfen, ob durch die anzuschliessende Maschine diese Grenze nicht überschritten wird.

2.4.4 Ursachen der aperiodischen Spannungsabfälle bei Widerstandschweißmaschinen

Das hervorstechende Merkmal aller Widerstandschweißmaschinen — mit Ausnahme eines Teils der Nahtschweißmaschinen — ist die Häufigkeit der Zu- und Abschaltung einer meistens einphasigen, öfters relativ grossen Leistung bei relativ niedrigem Leistungsfaktor und vorwiegend kleiner Einschaltzeit. Eine weitere Eigenart ist eine gewisse Unklarheit über die Höhe der momentanen Leistungsaufnahme, da das Leistungsschild im allgemeinen hierüber wenig aussagt, wenn dieses nicht gemäss den Bestimmungen des SEV ausgefüllt ist. Es ist daher angebracht, etwas näher auf die Eigenarten der Maschinen und ihrer Steuerungen einzugehen.

Alle Widerstandschweißmaschinen haben als wichtigsten Bestandteil einen oder mehrere Transformatoren eingebaut, deren Übersetzung bzw. Spannung so gewählt ist, dass der gewünschte Schweißstrom durch die Schweißstelle und die zugehörigen Stromleiter zufliest, und deren Wicklungsquerschnitte so bemessen sind, dass die wiederholte Belastung mit dem Schweißstrom den Transformator nicht über diejenigen Temperaturgrenzen hinaus erwärmt, bei welchen die Isolation der Wicklung Schaden nehmen kann.

Die für die Schweißung notwendigen Schweißströme sind abhängig vom Werkstoff, von der Presskraft und der Stromzeit (Dauer des Stromflusses).

Die für das «Durchtreiben» des Stromes notwendige Spannung — und damit die Leistung — bestimmt sich aus dem material- und druckabhängigen Widerstand der Schweißstelle, der sich in der Größenordnung von 20...200 $\mu\Omega$ bewegt und aus Widerstand und Induktivität der Zuleitungen zur Schweißstelle und denen des Transformators besteht.

Für die *Schweissgutwiderstände* zur Berechnung der Schweißströme bzw. Leistungen können als mittlere Erfahrungswerte diejenigen der Tabelle II angenommen werden.

Angaben über Schweissgutwiderstände

Tabelle II

Art der Schweißung	Stumpf $\mu\Omega$	Buckel ¹⁾ $\mu\Omega$	Punkt $\mu\Omega$	Naht $\mu\Omega$
Für Aluminium und -Legierungen		2)	40	40
Für Stahl unter 0,15 % C-Gehalt		20	150	100

¹⁾ bei grösstmöglicher Buckelzahl

²⁾ Angabe nicht allgemein möglich

Während bei Stumpfschweißmaschinen und Spezialpunkt- und Nahtschweißmaschinen der Maschinenanteil der Impedanz gewöhnlich eine feste Größe ist, ändert bei den üblichen Buckel-, Punkt- und Nahtschweißmaschinen vor allem der induktive Anteil (= Induktanz) der Zuleitungen mit der variierbaren Fensterweite, d.h. insbesondere der Zuleitungen durch Armabstand und Ausladung bei Punkt- und Nahtschweißmaschinen sowie Plattenabstand und Abstand der Stromübergangsstelle von der Frontplatte bei Buckelschweißmaschinen. Fig. 6 gibt eine Übersicht der wichtigsten Masse. Armabstand und Ausladung sind zwecks Anpassung an die Werkstücke in gewissen Grenzen frei einstellbar. Sie werden beide dann möglichst klein gemacht, wenn bei der gegebenen Sekundärspannung ein möglichst grosser Strom fließen soll, z.B. für Punktschweißung von Leichtmetallen, oder wenn mit möglichst kleiner Sekundärspannung und damit kleiner Leistung gearbeitet werden soll.

2.4.5 Asymmetrie

Die erwähnten ungleichen Spannungsabfälle haben zwangsläufig ungleiche Phasenspannungen zur Folge, also eine Asymmetrie der Netzspannungen. Diese verursacht zusätzliche Verluste in den Rotoren von Motoren und eventuell Generatoren benachbarte Anlageteile zufolge sich aus der Asymmetrie ergebendem inversen Drehfeld. Der Bezug einer

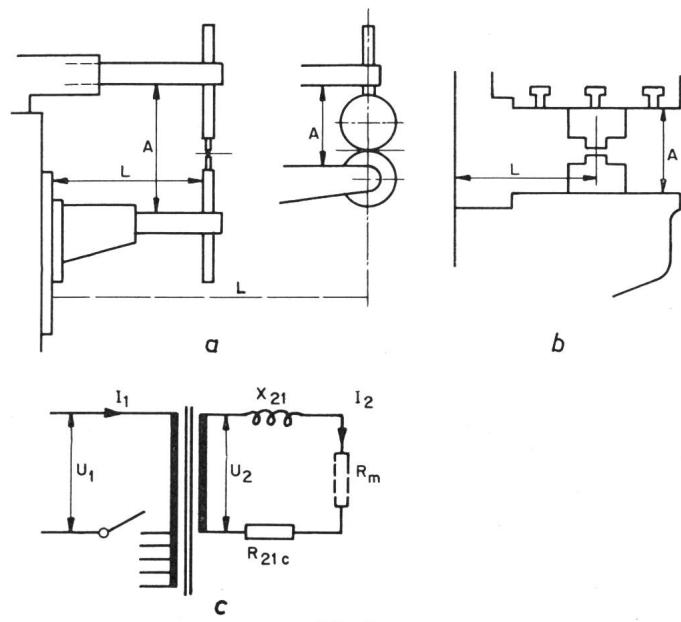


Fig. 6

Wichtige Daten für die Berechnung der Maschinenimpedanz

einphasigen Leistung nur über zwei von drei vorhandenen Leitern hat doppelt so grosse Verluste in den Zuleitungen zur Folge, wie für dieselbe symmetrische Dreiphasenleistung.

Die durch Asymmetrie verursachten Leitungsverluste und mehr noch die Zusatzverluste sind aber praktisch bedeutungslos, weil der Spannungsabfall (und damit die Verluste) wegen dessen leichter Feststellbarkeit als Störungsursache sehr klein gehalten werden muss. Damit das aber möglich ist, müssen die Anlageteile unter Umständen stärker dimensioniert werden, als sich dies aus der nur quadratisch gemittelten Dauerleistung ergäbe.

2.4.6 Einschaltstromstöße

Einschaltstromstöße wie sie bei kleineren mit Schützen ausgerüsteten Maschinen beim asynchronen Einschalten des Schweißtransformators auftreten können, werden seltener, weil auch diese Maschinen mehr und mehr mit elektronischen Schaltmitteln versehen werden, bei denen synchrones Einschalten selbstverständlich ist. Außerdem können diese Stöße durch geeignete Schaltanordnungen stark verringert werden und sind dann wegen ihrer sehr kurzen Dauer kaum bemerkbar.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die weitaus wichtigste Rückwirkung der Schweißmaschinen auf das Netz der durch den aussetzenden Betrieb sehr leicht bemerkbare Spannungsabfall ist. Durch seine Beschränkung auf verhältnismässig kleine Werte werden die anderen Nebenwirkungen praktisch bedeutungslos.

2.5. Maschinendaten und Leistungsschildangaben

Zur Berechnung des Spannungsabfalls ist die Kenntnis der maximalen *Schweissleistung* S_s in kVA nötig, d.h. der Leistung, die beim Schweißvorgang während der Einschaltzeit maximal auftreten kann. Diese Leistung ist meist auf dem Leistungsschild nicht direkt angegeben, dagegen die *Kurzschlussleistung* S_{ee} , d.h. die Leistung, die bei kurzgeschlossenen Elektroden und kleinster Fensteröffnung auftritt. Gemäss den «Regeln für Widerstandschweißmaschinen» des SEV ist ihre Aufgabe auf dem Leistungsschild vorgeschrieben. Ohne genauere Anhaltspunkte kann die maximale Schweißleistung S_s zu 80 % der Kurzschlussleistung S_{ee} angenommen werden. Weiter muss nach den «Regeln» auf dem Leistungsschild der Leistungsfaktor, $\cos \varphi_{ee}$ im Kurzschluss aufgeführt werden.

Die Regeln des Schweizerischen Elektronischen Vereins betreffend die Widerstandschweißmaschinen, SEV 0211.1957 schreiben in Artikel 131 das Anbringen eines Leistungsschildes an jeder Widerstandschweißmaschine vor. Nach Artikel 132 soll es folgende Angaben enthalten:

- | | | | |
|---|----------------------|-----|--|
| 1. Lieferant | | | |
| 2. Typenbezeichnung | | | |
| 3. Fabrikationsnummer | | | |
| 4. Nennprimärspannung | U_{1n} | V | |
| 5. Nennfrequenz | f | Hz | |
| 6. Primär-Stromsystem (Phasenzahl) | | | |
| 7. Nennleistung | S_n | kVA | |
| 8. Relative Einschaltdauer bei S_n | ED | % | |
| 9. Normalleistung | S_{50} | kVA | |
| 10. Kurzschlussleistung | S_{ee} | kVA | |
| 11. Sekundärspannungsbereich | $U_{20 \text{ min}}$ | V | |
| | $U_{20 \text{ max}}$ | V | |
| 12. Leistungsfaktor im Kurzschluss | $\cos \varphi_{ee}$ | | |
| 13. Maximale Elektrodenkraft bei Punkt- und Nahtschweißmaschinen bzw. max. Stauchkraft bei Stumpfschweißmaschinen | F | kp | |

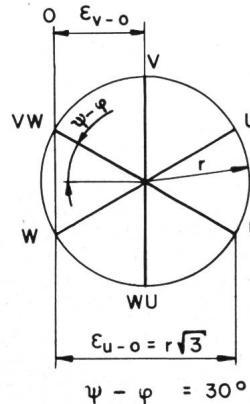
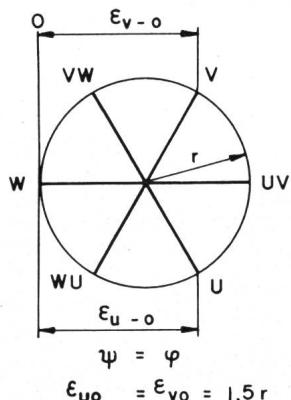
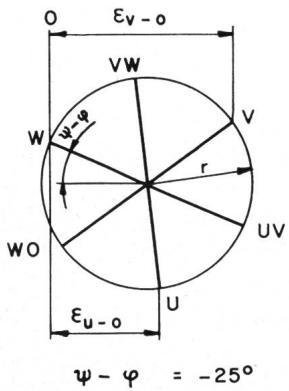


Fig. 7
Spannungsabfälle bei einphasigem Anschluss
an zwei Poleitern

verursacht am Netzpunkt mit der Netzkurzschlussleistung S_k einen relativen Spannungsabfall von der Grösse:

$$\varepsilon_3 = \frac{S_3}{S_k} 100 \%$$

wenn der Phasenwinkel bei Last gleich demjenigen des Netzes ist. Er tritt in gleicher Grösse sowohl an allen drei Phasen als auch an den verketteten Spannungen auf.

Eine an zwei Phasenleitern entnommene einphasige Leistung anstelle einer dreiphasigen gleicher Grösse verursacht hingegen ungleiche Spannungsabfälle. Der Spannungsabfall ist gleich null an der nicht betroffenen Phase, je das 0,5-fache an den zur Hälfte betroffenen Phasenpaaren, das 1,5-fache an den betroffenen Phasen und das 2-fache am belasteten Phasenpaar selbst, im Verhältnis des bei symmetrischer Belastung unter denselben Umständen auftretenden Spannungsabfalls, wie das Fig. 7 an einem Beispiel illustriert. Da aber der Verlustwinkel der Last und des Netzes nicht immer gleich gross ist, kann der eine oder andere massgebliche Spannungsabfall an den beiden betroffenen Phasen bis zum 1,73-fachen ansteigen. Die massgegenden Spannungsabfälle betragen:

$$\varepsilon = (1,5 \dots 1,73) \frac{S_s}{S_k} 100 \% \quad (1)$$

bzw.

$$\varepsilon \approx 1,6 \frac{S_s}{S_k} 100 \%$$

Die Netzkurzschlussleistung kann, wenn diese nicht bereits bekannt ist, aus der Netzimpedanz einer Phase bis zum fraglichen Netzpunkt errechnet werden. Es ist die Netzkurzschlussleistung:

$$S_k = \frac{U^2}{Z_u} \quad (2)$$

Daher wird:

$$\varepsilon \approx 1,6 \frac{S_s Z_u}{U^2} 100 \%$$

und daraus die zulässige Schweißleistung:

$$S_s \approx \frac{\varepsilon}{100} \cdot \frac{U^2}{1,6 Z_u} \quad (3)$$

Im Kurvenblatt (Fig. 8) ist die Rechnung für verschiedene Spannungsabfälle durchgeführt.

Setzt man in Gl. (1) für die zulässigen Spannungsabfälle Mittelwerte ein, so erhält man als höchstzulässige Schweißleistung bei einphasigem Anschluss für:

Lichtbogenschweißgeräte

$$\text{mit } \varepsilon_{zul.} = 3,2\% \quad S_s = \frac{3,2}{100 \cdot 1,6} S_k = 0,02 S_k$$

Punktschweißmaschinen

$$\text{mit } \varepsilon_{zul.} = 1,6\% \quad S_s = \frac{1,6}{100 \cdot 1,6} S_k = 0,01 S_k \quad (4)$$

Nahtschweißmaschinen

$$\text{mit } \varepsilon_{zul.} = 0,32\% \quad S_s = \frac{0,32}{100 \cdot 1,6} S_k = 0,002 S_k$$

oder, wenn man für die Schweißleistung und Kurzschlussleistung die für sie üblichen Einheiten verwendet, dann sind:

$$S_s \text{ in kVA} = (20; 10 \text{ bzw. } 2) S_k \text{ in MVA}$$

14. Betriebsdruck der Druckluft
15. Kühlwasserverbrauch
16. Berücksichtigte Regeln (SEV)
- | | |
|-----|------------------|
| p | kp/cm^2 |
| | 1/min |
| | 0000.0000 |

Mit den Angaben 1 bis 3 ist es möglich, alle notwendigen Auskünfte erhältlich zu machen; mit den Angaben 4 bis 6 sind nicht nur die wichtigsten Betriebsdaten festgelegt, sondern auch die Bedingungen angegeben, unter welchen die restlichen Angaben gültig sind. Angaben 7 und 8 geben über die Maximalleistung und die zugehörige relative Einschaltdauer der Maschine Auskunft. Angabe 9 nennt eine sog. fiktive Normalleistung (nach VDI 0545, Nennleistung) bei 50% ED, d.h. das $\sqrt{2}$ -fache der Dauerleistung, für welche Primär- und Sekundärleiter der Maschine dimensioniert sind. Ihr Verhältnis zur Maximalleistung ist zwar zufällig, aber doch für bestimmte Maschinentypen auch unter verschiedenen Fabrikaten nicht stark streuend. Die Normalleistung (oder nach der VDI-Terminologie: Nennleistung) ist die massgebliche Leistungsangabe, nach welcher die den Maschinen zugehörigen Anlage-teile (Zuleitung, Sicherungen, Sicherungsautomaten) zu dimensionieren sind. Die Angaben 10 bis 12 ermöglichen die Errechnung der Maximalkurzschluss- und Schweißströme für die typischen Arbeitswerkstoffe.

3. Anschluss der Schweißmaschinen an elektrische Verteilanlagen

3.1 Berechnung der zulässigen Schweißleistung

Um effektiv auftretende Spannungsabfälle ermitteln zu können, muss vorerst die Schweißleistung näherungsweise errechnet werden. Voraussetzung dieser Berechnung sind die höchstzulässigen Spannungsabfälle, wie sie im Abschnitt 2.4.3 angegeben sind.

An sich sind verschiedene Methoden zur Berechnung des Spannungsabfalls anwendbar, wobei aber die Näherungsrechnung voraussetzt, dass die minimalen Netzkurzschlussleistungen bekannt sind.

Nachstehend soll jeweils bedeuten:

U_{ph}	Phasenspannung in V
U	verkettete Spannung in V
Z	Impedanz pro Phase des Netzes in Ω
S_s	Schweißleistung der Maschine in VA
S_k	Kurzschlussleistung des Netzes in VA

$$\varepsilon = \frac{\Delta U}{100} \text{ Spannungsabfall in \%}$$

Massgebend für den auftretenden Spannungsabfall ist dabei der letzte Netzpunkt an dem noch betriebsfremde Lichtstromabonnenten mitangeschlossen sind. Es ist vorabzuklären, welche grössten Momentanleistungen entnommen werden können. Eine dreiphasige, symmetrische Schweißleistung S_s

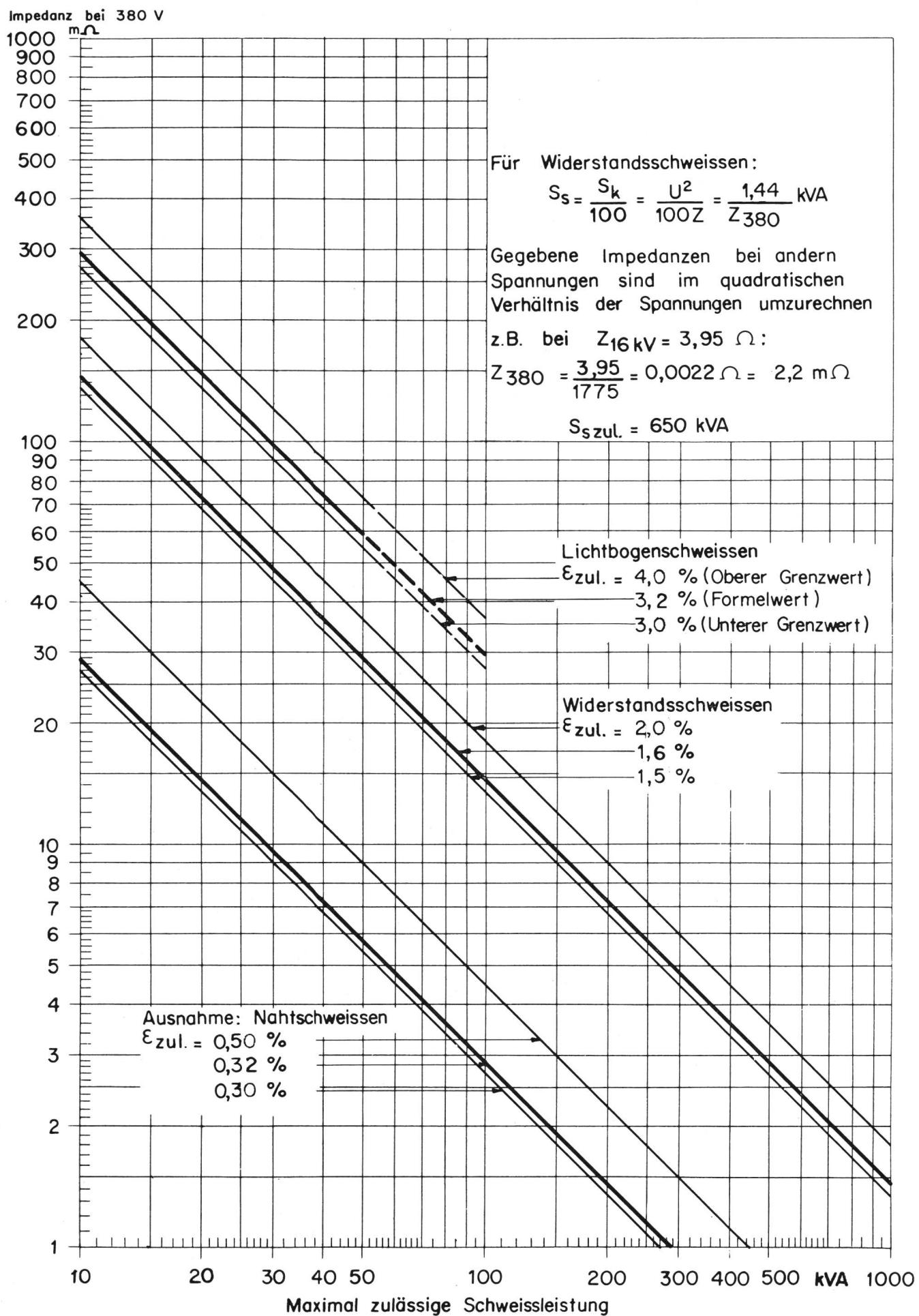


Fig. 8
Maximal zulässige Schweißleistung in Abhängigkeit von der Netzimpedanz für Einphasenlast

An Niederspannungsnetzen, die nicht der öffentlichen Versorgung dienen, ist ein Spannungsabfall bis zu max. 10% zulässig.

Die Beziehungen (4) gestatten eine rasche Vorabklärung der Anschlussmöglichkeit, indem für das vorgeschaltete Hochspannungsnetz die zum Anschluss angemeldete Schweisseleistung höchstens 1% der minimalen Kurzschlussleistung des Netzes an der betreffenden Stelle betragen darf. Umgekehrt folgt daraus, dass zum Anschluss einer gebräuchlichen leistungsfähigen Widerstandsschweissmaschine von 100 bis 400 kVA maximaler einphasiger Schweisseleistung, die im vorgeschalteten Hochspannungsnetz vorhandene Kurzschlussleistung mindestens 10...40 MVA betragen muss. Diese Bedingung sollte auch in Schwachlastzeiten mit minimalen Netzkurzschlussleistungen erfüllt sein.

Bei Nahtschweissmaschinen steigt die erforderliche Kurzschlussleistung gegenüber den Punktschweissmaschinen bis auf das Fünffache an, doch handelt es sich hier auch hinsichtlich des Leistungsbedarfes durchwegs um Sonderfälle, bei denen für den Anschluss alle Aspekte in direkter Fühlungsnahme zwischen Elektrizitätswerk und Herstellerfirma sorgfältig abzuklären sind. Den Elektrizitätswerken wird empfohlen, den Schweissbetrieben die ausdrückliche Verpflichtung aufzuerlegen, Punktschweissmaschinen nicht nachträglich als Nahtschweissmaschinen zu betreiben. Unter dieser Voraussetzung stellt für Vorabklärungen ganz allgemein die 1%-Grenze, die für die Punktschweissmaschinen gilt, praktisch die höchste Anforderung an das Netz dar.

Das Diagramm der Fig. 8 bietet die Möglichkeit, zu jeder Netzimpedanz Z_{380} V (nötigenfalls umrechnen!) direkt die empfohlene maximal zulässige Schweisseleistung abzulesen.

3.2 Berechnung des auftretenden Spannungsabfalles

Da die Netzkurzschlussleistung nicht an jeder beliebigen Stelle bekannt sein wird, und sich die Frage nach der noch verfügbaren Reserve stellt, wird man es in den meisten Fällen nicht bei einer Vorabklärung bewenden lassen, sondern eine direkte Berechnung des zu erwartenden Spannungsabfalles vornehmen wollen. Diese Berechnung kann rechnerisch oder graphisch durchgeführt werden. Beide Methoden seien anhand des gleichen Zahlenbeispiels behandelt.

a) *Näherungsrechnung*. Zur Berechnung des wirklich auftretenden Spannungsabfalles bedient man sich der Beziehung:

$$\varepsilon = 100 \sqrt{3} \frac{S_s}{U^2} Z$$

Man bestimmt nun für jeden Abschnitt des Leitungsstranges, z.B. Anspeisung 50 kV, Transformator 50/16 kV, Leitung 16 kV, Transformator 16/0,38 kV und Leitung 0,38 kV, den Ohmschen und induktiven Widerstand und bildet fortlaufend die Summe beider. Beim Übergang auf eine untere Spannungsstufe reduziert man die Summen der höheren Stufe im quadratischen Verhältnis der Spannungen und addiert sie so zu den neuen Werten der unteren Stufe. An beliebiger Stelle der Entwicklung kann dann aus der Summe der Ohmschen und der induktiven Widerstände die Impedanz und daraus die Netzkurzschlussleistung und der auftretende Spannungsabfall berechnet werden.

Beispiel zur Berechnung des aufzutretenden Spannungsabfalles:

$$\varepsilon = 100 \sqrt{3} \frac{S_s}{U^2} Z = 100 \frac{S_s}{S_k}$$

Anzuschliessende Schweissmaschine: $S_s = 300$ kVA.

	Spannung U kV	Ohm-scher Wider- stand R Ω	Induk- tiver Wider- stand X Ω	Phasen- im- pedanz Z Ω	Phasen- im- pedanz S_k MVA	Kurzschlussleistung S_s MVA	Schweisseleistung ε %	Spannungsabfall
Zuspeisung (Angaben des Lieferwerkes)	50	150	3100	3120	800	0,3		
Unterwerk 15 MVA, $\varepsilon_k = 8\%$	16	16	320					
Freileitung 5 km, 8 mm \varnothing Cu	16	120	1300					
	16	1700	1870					
	16	1836	3490	3950	65	0,3	0,80	
Transformator- station 630 kVA, $\varepsilon_k = 4,5\%$	0,38	1,04	1,97					
Kabel, 100 m, $2 \times 150 \text{ mm}^2$ Cu	0,38	3,00	10,00					
	0,38	6,50	3,50					
An den Klemmen der Schweiss- maschine	0,38	10,54	15,47	18,70	7,7	0,3	6,75	

b) *Genauere graphische Lösungsmethode*. Mit der vereinfachten rechnerischen Methode können nicht alle Aspekte der Netzerückwirkungen erfasst werden. Realistischer ist die graphische Lösungsmethode. Bei ihr spielt auch der Differenzwinkel zwischen dem Phasenwinkel des Netzes im Kurzschlussfall (ψ) und demjenigen der Schweissmaschine (ϕ) eine massgebende Rolle. Der Phasenwinkel des Netzes ergibt sich am einfachsten aus der Beziehung

$$\cos \phi = \frac{R}{Z}$$

Alle erforderlichen Unterlagen hiezu sind im Abschnitt 3.2a.

Es sei eine Schweissmaschine mit folgenden Daten anzuschliessen:

$$S_s = 300 \text{ kVA}, \cos \phi = 0,40, \phi = 66,5^\circ$$

Nach Ermittlung dieser Unterlagen kann das Kreisdiagramm wie folgt aufgezeichnet werden (Fig. 9):

Mit Zentrum auf einer Horizontalen wird ein Kreis vom Radius:

$$r = \frac{S_s}{S_k} 100 = \frac{S_s (\text{kVA})}{10 S_k (\text{MVA})}$$

beschrieben. Ferner wird links vom Zentrum von der Horizontalen aus der Differenzwinkel $\Psi - \phi$ aufgetragen, und zwar im Gegenuhrzeigersinn bei positivem, im Uhrzeigersinn bei negativem Wert. Der Schnittpunkt des freien Schenkels mit dem Kreis ist der Punkt w des dreipoligen Vektorbildes der Spannungsabfälle des Netzes mit dem einphasigen Schweissmaschinenanschluss an u und v . Von diesem Punkt w aus kann das vollständige Diagramm, auch mit den Punkten u und v , symmetrisch gezeichnet werden. Die senkrechten Abstände dieser Punkte u und v sowie des Punktes uv von einer Vertikalen durch w geben die Spannungsabfälle in Prozenten ε_{uo} , ε_{vo} bzw. ε_{uv} , von denen naturgemäß der grösste massgebend ist. Das Beispiel ist in Fig. 9a und 9b für die Hoch- und Niederspannungsseite dargestellt.

	Netzspannung U kV	Ohmischer Widerstand des Netzes R Ω	Induktiver Widerstand des Netzes X Ω	Phasenimpedanz Z Ω	Verlustfaktor $\cos \varphi$	Verlustwinkel φ Grad	Kurzschlussleistung des Netzes S_k MVA
Zuspeisung (Angabe des Lieferwerkes)	50	150	3100	3120			800
Unterwerk 15 MVA, $\epsilon_k = 8\%$ Freileitung 5 km, 8 mm \varnothing Cu	16	16	320				
	16	120	1300				
	16	1700	1870				
	1836	3490	3950	0,465	62,5		65
Transformatorstation 630 kVA, $\epsilon_k = 4,5\%$ Kabel, 100 m, $2 \times 150 \text{ mm}^2$ Cu	0,38	1,04	1,97				
	0,38	3,00	10,00				
	0,38	6,50	3,50				
An den Klemmen der Schweißmaschine	0,38	10,54	15,47	18,70	0,562	55,8	7,7

c) *Kommentar zum Berechnungsbeispiel.* Das Hochspannungsnetz (16 kV) erweist sich im vorliegenden Beispiel mit 65 MVA als genügend stark, da die zulässige maximale Schweißleistung 65 kVA beträgt. Der Spannungsabfall von 0,72% für die Phasen- bzw. 0,91% für die verkettete Spannung liegt eindeutig innerhalb der Zulässigkeitsgrenze. Wenn sich aber, wie hier, auf der Niederspannungsseite Spannungsabfälle von mehreren Prozenten ergeben, so kann kein Anschluss an das allgemeine Niederspannungs-, Licht- und Kraftnetz mehr erfolgen.

Für Niederspannungsnetze, die nicht der öffentlichen Versorgung angehören, erscheint ein Spannungsabfall bis etwa 10% zulässig.

3.3 Der Anschluss von Schweißgeräten

3.3.1 Schaltmaterial

Prinzipiell verlangen Schweißgeräte keine besonderen Schaltmittel für den Anschluss an das Netz. Wenn sie selbst einen von Hand zu betätigenden Schalter enthalten, der ihre grösste Betriebsleistung (bei kurzgeschlossenen Elektroden) abzuschalten vermag, dann kann auf einen Leistungsschalter verzichtet werden; es genügt dann die auf die Leitung abgestimmte Sicherung.

Widerstandschweißmaschinen enthalten betriebsmäßig schaltende Schaltmittel, welche auch die beim sekundären Kurzschluss der Elektroden auftretende Maschinenkurzschlussleistung abzuschalten vermögen. In der Strompause, von der die Arbeitspause ein Anteil ist, nimmt sie auch einen Strom auf. Die Maschinen müssen aber jederzeit und leicht vom Netz getrennt werden können. Dabei kommt als Schaltleistung nicht die grösste Betriebsleistung, sondern — für den Fall des Durchzündens eines Ignitrons wegen des Eindringens von Luft — nur die Leerlaufleistung des Schweißtransformators in Betracht. Sie kann bei kleineren Maschinen $\frac{1}{4}$ der Dauerleistung erreichen, bei grösseren Maschinen nur $\frac{1}{10}$ und weniger und ist vorwiegend induktiv.

3.3.2 Leistungsschalter

Wird dem Maschinenschalter durch entsprechende Aufstellung mit Fernauslösung auch der Schutz der Zuleitung überbunden, so muss dieser Schalter bezüglich Schaltleistung für mindestens die Kurzschlussleistung der Maschine ausgelegt sein. Die Auslösung des Schalters muss thermischer Art sein, und eine eventuelle Momentanauslösung so beschaffen sein, dass sie durch wiederholtes, teilweises Ansprechen nicht Schaden nehmen kann, falls sie nur wenig über die grösste Schweißleistung eingestellt wird.

3.3.3 Zuleitung zu den Schweißgeräten bzw. Maschinen

Für die Zuleitungen gelten allgemein die Hausinstallations-Vorschriften des SEV, SEV 1000.1961. Für den Anschluss der *Lichtbogenschweißgeräte* sind ortsveränderlich Verbindungen mit Steckanschluss allgemein üblich. Für den Anschluss von

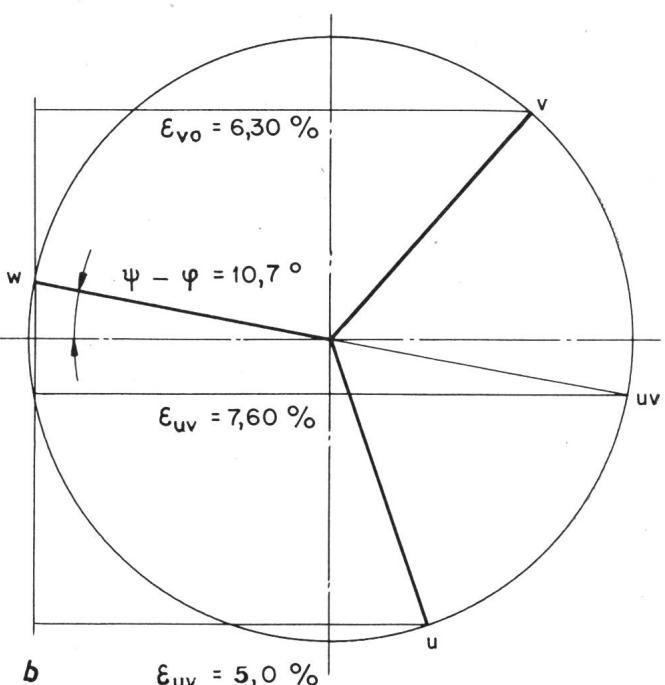
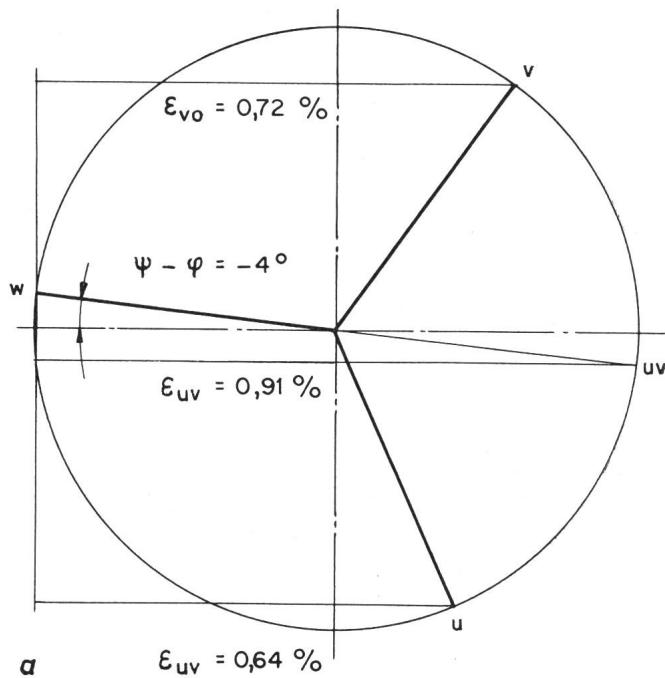


Fig. 9
Kreisdiagramm zur graphischen Ermittlung des Spannungsabfalles

Widerstandschweissmaschinen sind ortsfeste Verbindungen angebracht. Jede Schweissmaschine muss in ihrer unmittelbaren Nähe vom Netz einzeln abschaltbar bzw. abtrennbar sein. Fernauslösebetätigungsorgane müssen sich entweder an der Maschine (aber nicht bei den Betätigungsorganen) oder der zugehörigen Steuerung, bei deren Einstellorganen befinden. Der Aussenhalter darf nicht abschliessbar oder verdeckt sein.

3.3.4 Bestimmung der Zuleitungsquerschnitte und Sicherungen einer Maschine

Abgesehen von eventuellen Rücksichten auf den Spannungsabfall ist die Dimensionierung einer Zuleitung und damit der vorgeschalteten Sicherung nur von der Dauerleistung der angeschlossenen Maschine abhängig. Dabei ist allerdings vorausgesetzt, dass die Sicherung träger Art ist; also bei den 2...5-fachen Nennströmen begrenzter Dauer nicht durchbrennen. Dieser Unsicherheit Rechnung tragend, legt man der Dimensionierung des Anschlusses für kleinere Maschinen ($S_{50} \leq 40 \text{ kVA}$) jene Normalleistung (S_{50}) zugrunde, welche $\sqrt{2}$ -mal grösser ist als die Dauerleistung (S_d) der Maschine. Mit dieser leichten Überdimensionierung ist bereits eine Konzession zugunsten des Spannungsabfalls gemacht. Bei grösseren Maschinen ($S_{50} > 40 \text{ kVA}$) wird man die Anlage unter der Voraussetzung, dass träge Sicherungen verwendet werden, nur nach der Dauerleistung S_d (welche $\sqrt{2}$ -mal kleiner ist als die Normalleistung S_{50}) auslegen.

Sicherungen und zugehörige Kabel nach den Hausinstallations-Vorschriften, SEV 1000.1961 sind in Tabelle III zusammengestellt.

Sicherungen und Kabelquerschnitte

Tabelle III

Nennstrom der trägen Sicherung A	Kupfer- querschnitt mm ²	Nennstrom der trägen Sicherung A	Kupfer- querschnitt mm ²
6	1	125	50
10	1,5	150	70
15	2,5	200	95
20	4	225	120
25	6	250	150 oder 2×50
40	10	300	185 oder 2×70
60	16	350	240 oder 2×95
75	25	400	300 oder 2×120
100	35	500	400 oder 2×150
		600	500 oder 2×185

3.3.4 Anschluss einer Schweissmaschine neben angeschlossenen Dauerverbrauchern

Wenn eine Widerstandschweissmaschine mit ihrer intermittierenden Stromentnahme parallel zu einem Dauerstromverbraucher angeschlossen wird, so ist der neue Summendauerstrom, zum Unterschied gegenüber echten Dauerströmen, kleiner als die algebraische Summe. Es ist die Zuwachsrate für den neuen Dauerstrom umso kleiner, je kleiner der Anteil des fiktiven Dauerstromes, und je kleiner die Einschaltdauer des Betriebsstromes ist, aus dem er sich ergibt. Es kann daraus der Schluss gezogen werden, dass, sofern es der Spannungsabfall zulässt, Widerstandschweissmaschinen vorteilhaft an das allgemeine Fabriknetz angeschlossen werden, weil ihr Leistungszuwachs nur zum Teil in Betracht fällt und somit Leitermaterial gespart werden kann.

3.3.5 Anschluss von mehreren Schweissmaschinen

Wie andere einphasige Verbraucher sind einphasige Schweissmaschinen zyklisch wechselnd an alle drei Phasenpaare anzuschliessen. Bei 100% Einschaltdauer (ED) dreier

gleicher Einzellasten ergibt sich daraus eine symmetrische Dauerlast. Mit kleinerer ED ist die Wahrscheinlichkeit gleichzeitiger Stromentnahme (GZ) aller beteiligten Schweissmaschinen wesentlich kleiner, nämlich:

$$GZ = ED_1 \cdot ED_2 \cdots ED_n$$

oder

$$GZ = ED^n \text{ wenn alle } ED \text{ gleich gross sind und } n \text{ die Zahl der beteiligten Schweissmaschinen ist.}$$

Bei zwei Punktschweissmaschinen, die beide mit 10% ED betrieben werden, ist $GZ = 1/100$ oder die Ungleichzeitigkeit 99%, wobei die Strompausen mitberücksichtigt sind. Man kann also annehmen, dass die Ströme vorwiegend und zufällig abwechselnd nacheinander entnommen werden. Um auch der letzten Zufälligkeit zu begegnen, werden häufig mehrere gleichartige Maschinen elektrisch so verriegelt, dass gleichzeitige Stromaufnahme ausgeschlossen ist. Bei gestaffelter Stromentnahme ist der resultierende Dauerstrom I_d (Effektivwert) nicht derselbe, wie bei gleichzeitiger Stromentnahme (nämlich der Summe der Dauerströme), sondern die Wurzel aus der Summe ihrer Quadrate:

$$I_d = \sqrt{I_1^2 + I_2^2 + \dots + I_n^2}$$

was sich aus

$$I_d = \sqrt{\frac{I_{s1}^2 \cdot ED_1 + I_{s2}^2 \cdot ED_2 + \dots + I_{sn}^2 \cdot ED_n}{100}}$$

und

$$I = I_s \sqrt{ED}$$

ergibt.

Wird angenommen, dass alle Ströme gleich seien, dann ist für n gestaffelt schweissende Maschinen:

$$I_d = I \sqrt{n}$$

Für den Anschluss von n Maschinen an nur ein Leiterpaar wäre jeder Leiter für den gemäss oben bestimmten Strom zu dimensionieren. Beim Anschluss von n Maschinen an alle drei Leiter ist davon auszugehen, dass jeder Leiter von $2/3$ aller Stromdurchgänge beansprucht wird. Für ungleiche Maschinen oder eine nicht durch 3 teilbare Anzahl Maschinen sind in jeder Phase die anfallenden Ströme noch zu bestimmen. Für durch drei teilbare Anzahl gleicher Maschinen ist:

$$I_d = I \sqrt{\frac{2n}{3}}$$

Es ist stets empfehlenswert, die Anlage für auf die nächste durch 3 teilbare Anzahl Maschinen auszulegen.

Wenn bei kleineren Maschinen der für eine Maschine bestimmte Leiter als Dreileiterkabel ausgelegt ist, dann genügt das Kabel auch für drei gleiche Maschinen, wenn ihre Stromentnahme gestaffelt, oder die Einschaltdauer nur klein ist (unter 10%). Der Betriebsstrom ist derselbe, nur, dass er zweimal in derselben Zeit auftritt, was der doppelten ED entspricht, für welche aber der Leiter bereits dimensioniert ist.

Bei Nahtschweissmaschinen mit unterbrochenem Strom mit meistens 50/50-%-Programm, d.h. z.B. 0,04 s Strom und 0,04 s Pause, setzt sich die Einschaltdauer aus der Stromprogramm-ED und der Arbeits-ED zusammen. Im Hinblick auf die Art ist es hier kaum möglich, die Stromentnahmen zu schachtern oder die Arbeitszeiten (welche meistens grösser sind als die Pausenzeiten) in die Pausenzeiten zu verlegen. Im ungünstigsten Fall können mehrere Maschinen über längere Zeit gleichzeitig Strom führen. Die Ströme der einzelnen Maschinen sind dann algebraisch bzw. geometrisch zu addieren.

Für Ströme am selben Phasenpaar gilt also:

$$I_d = I_1 + I_2 + \dots + I_n \quad (\alpha)$$

für n gleiche Maschinen:

$$I_d = I n \quad (\beta)$$

Im Dreiphasennetz ist der Phasenstrom:

$$I_d = 1,73 I$$

wenn die Leiterströme gleich sind und denselben Phasenwinkel aufweisen.

Bei ungleichen Phasenleiterströmen, aber gleichen Phasenwinkeln, ist:

$$I_d = \sqrt{I_1^2 + I_2^2 + I_3^2}$$

Die beiden Phasenleiterströme können dabei Summenströme gemäss Gl. (α) oder (β) sein. Wegen des Spannungsabfalls ist es aber empfehlenswert, Nahtschweissmaschinen mit unterbrochenem Strom einzeln an den Netztransformator anzuschliessen.

3.4 Massnahmen zur Verringerung von durch Schweissmaschinen verursachten Netzrückwirkungen bei Widerstandschweissmaschinen

3.4.1 Massnahmen auf der Maschinenseite

Wenn es bei vereinzelten Maschinentypen auch konstruktiv gelingt, die Blindleistungsaufnahme bei Widerstandschweissmaschinen wenigstens für die Stahlschweissung sehr klein zu halten, so muss doch bei Maschinen für die Verschweissung von Aluminium und dessen Legierungen mit einem $\cos \varphi$ von 0,6...0,3 gerechnet werden. Sofern die Blindleistungsaufnahme nur als solche unerwünscht ist, so kann ihr durch Parallelkompensation der ganzen Anlage mittels statischer Kondensatoren wirksam begegnet werden. Spielt aber die Blindleistungsaufnahme auch eine Rolle bezüglich dem von der Maschine erzeugten Spannungsabfall, dann kommt für deren Reduktion nur die Seriekompensation der betreffenden Schweissmaschine in Frage. Damit wird der Blindwiderstand im Sekundärkreis der Maschine ganz oder teilweise aufgehoben, so dass nur noch eine verminderte Leistung mit stark verbessertem Leistungsfaktor aufgenommen wird. Diese Art Kompensation kann aber nur bei Maschinen mit einigermassen festen Fenstermassen angewandt werden und bedingt unter Umständen eine aus der Reihe fallende Primärspannung an der Schweissmaschine, sofern die Maschine nicht zum vornherein dafür bestimmte Umschaltmöglichkeiten der Primärentwicklung aufweist (evtl. Zwischentransformatoren). Die Leistungsreduktion drückt sich direkt als Änderung des Übersetzungsverhältnisses des Schweißtransformators aus, indem wohl dieselbe Leistung durch den Transformator übertragen werden muss, aber bei einem geringeren Primärstrom und höherer Primärspannung, welche gewissermassen durch den Seriekondensator geliefert wird. Mit der Serienkompensation der Schweissmaschine geht damit die sog. Nennleistung im gleichen Masse zurück wie die Anschlussleistung.

Als weitere Möglichkeit zur Verminderung der Anschlussleistung wird die Änderung der Sekundärfrequenz durch eine geeignete elektronische Steuerung angewendet. Gleichzeitig wird dabei die einphasige Last auf alle drei Phasen des Drehstromnetzes zyklisch drehend gleichmässig verteilt, sodass wirkungsmässig eine Dreiphasenmaschine entsteht.

Das radikalste Mittel zur Verminderung der Anschlussleistung wäre die Energiespeicherung, d.h. Aufladung in der Pausenzeit und Entladung in der Schweisszeit. Dieses wird

angewendet mit statischen Kondensatoren als Speicher, aber nur für Maschinen kleinerer Leistung.

Schwungradumformer als mechanische Energiespeicher können wegen zu grosser Anlagekosten kaum angewendet werden; der Mehraufwand wird wirksamer zum Ausbau der Netzseite verwendet.

3.4.2 Massnahmen im Niederspannungs-Verteilnetz

Je nachdem, in welchem Verhältnis die Momentanleistungen von Stoßstromverbrauchern zur mittleren Last eines Verteilnetzes stehen, können diese Verbraucher das betreffende Netz zu einem «unruhigen» Netz machen oder nicht. Die beste Massnahme, die allerdings nur in Industrie-Zonen und Industriebetrieben durchgeführt werden kann, ist die Errichtung von zwei separaten Netzen. Ein erstes sog. Lichtnetz hat alle Büros, Kleingewerbebetriebe und Lichtanlagen usw. zu speisen; das zweite, sog. Kraftnetz speist alle grösseren Verbraucher, inklusive die Schweissmaschinen. Da im Kraftnetz bis 5-mal grössere Spannungsabfälle als im Lichtnetz zugelassen werden können, kann sich aus dieser Massnahme auch eine Reduktion der total zu installierenden Transformatorenleistung bei gleichzeitiger Erhöhung der Betriebssicherheit und -annehmlichkeit ergeben. Wenn einzelne oder nur wenige unruhige Verbraucher und dazu noch mit verhältnismässig grosser Leistung vorhanden sind, kann es vorteilhaft oder notwendig werden, diese allein zusammenzufassen, oder gar einzeln direkt an das Mittel- oder Hochspannungsnetz anzuschliessen, wo meist eine genügend geringe Netzimpedanz (oder genügend grosse Kurzschlussleistung) vorhanden ist.

Wenn eine Auf trennung der Verbraucher auf ein Licht- und ein Kraftnetz (wobei der Begriff Netz sehr weit gefasst sein kann und beispielsweise nur einen Netztransformator und einen abgehenden Strang umfassen mag) nicht möglich ist, muss in der Absicht möglichster Kleinhaltung der Spannungsabfälle danach getrachtet werden, die Kurzschlussleistung an der gemeinsamen Anschlussstelle möglichst gross zu machen. Am einfachsten geschieht dies durch Aufstellung von Transformatoren mit entsprechend grosser Leistung.

Zur Erhöhung der Netzkurzschlussleistung stehen folgende Wege offen:

a) Der erste, übliche Weg besteht in der Installation grösserer Transformatoren, als für die mittlere Last gerechtfertigt wäre, was unter Umständen unwirtschaftlich ist und eine Abwälzung der Mehrkosten auf den Konsumenten rechtfertigen würde.

b) Die zweite, weniger übliche Methode besteht in der Elimination der Kurzschlussreaktanzen der Netztransformatoren durch Seriekondensatoren auf der Oberspannungsseite, in gleicher Weise, wie das auf der Oberspannungsseite der Schweissmaschinen gemacht wird. Der Unterschied besteht aber darin, dass die Kondensatoren isoliert aufgestellt sein müssen, und deren Leistung entsprechend der Kurzschlussspannung nur ca. 5 % der Netztransformatorenleistung betragen muss.

c) Als dritte Massnahme, welche zwar keine Erhöhung der Kurzschlussleistung bringt, aber doch eine Verteilung und Verkleinerung des Spannungsabfalles um ca. 30 % bewirkt, sind der Vollständigkeit halber noch die Symmetrieeinrichtungen zu erwähnen, von denen es solche statischer und dynamischer Art gibt. (Die statischen fallen ausser Betracht, weil sie sich der variablen Last der Schweissmaschinen nicht automatisch anpassen können, womit ihr Zweck verfehlt wäre.)

Die «Pseudo»-Symmetrieschaltung mit sog. Scott-Transformator, d.h. Anschluss des einphasigen Verbrauchers an eine Phase und an die Mittelanzapfung einer zwischen die zwei anderen Phasen geschalteten Drosselpule ist zwecklos, weil in zwei Phasen zwar nur je die Hälfte des Stromes der dritten Phase fliest, dafür aber der Strom 15,5 % grösser ist, da die Anschlussspannung um 13,3 % kleiner wird. Außerdem ist damit keine Phase vom Spannungsabfall unbetroffen.

Brauchbar für variable Stosslast sind als Symmetrieeinrichtung eigentlich nur Zweianker-Umformer, aber auch diese können wegen Pendelungen zu Schwierigkeiten führen.

Eine weniger aufwendige dynamische Symmetrieeinrichtung, welche die Aufstellung eines leerlaufenden Motors von etwa dem vierfachen an Nennleistung als die der Schweißmaschine und Drosselpulen in den Zuleitungen bedingt, arbeitet wohl einwandfrei bei Dauerlast, versagt aber teilweise in der Wirkung bei kurzen Laststößen. Diese Einrichtung wird übrigens unbewusst in jeder Anlage angewendet, wo parallel zu einphasigen Verbrauchern Motoren grösserer Leistung laufen.

Für andere Systeme dynamischer Symmetrierung gilt der selbe Vorbehalt betreffend der beschränkten Wirksamkeit bei Stosslast, so dass ihre sowieso auf den Faktor 1,5...1,7 beschränkte Wirksamkeit auf den Spannungsabfall in keinem vernünftigen Verhältnis zum Aufwand steht; es würde nämlich denjenigen für die Schweißmaschine selbst annähernd erreichen. Solche Auslagen sind aber für einen dem momentanen Durchschnittsverbrauch an Energie vorauseilenden Ausbau der elektrischen Anlagen viel besser angewendet und führen auch zum einzigen massgeblichen Ziele, nämlich der Herabsetzung des Spannungsabfalls.

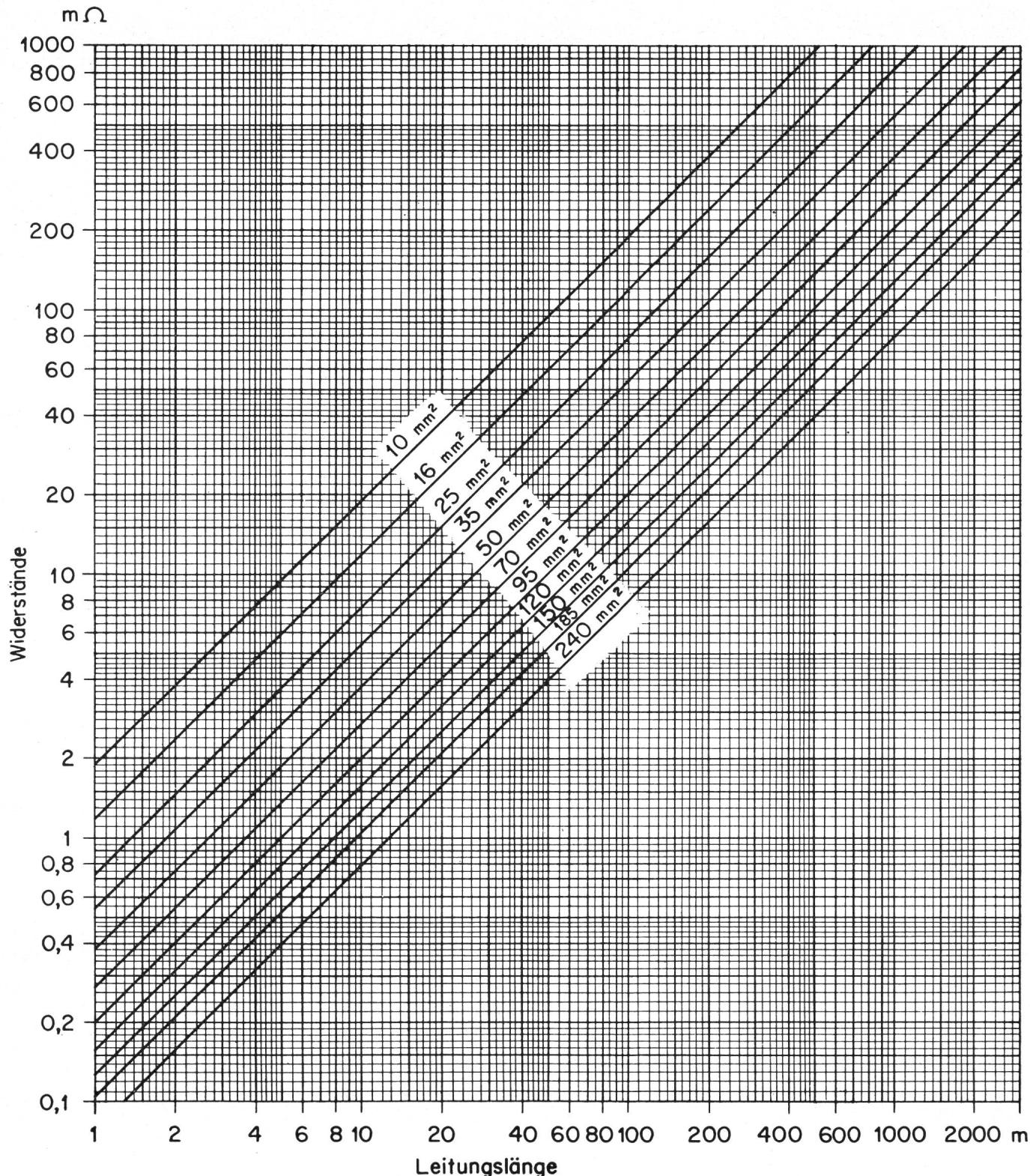


Fig. 10
Ohmsche Widerstände r von Kupferkabeln bei 40 °C

Beim Anschluss der meistens einphasigen Widerstandsschweissmaschinen ist die zyklisch wechselnde Benützung aller drei Phasen anzustreben, wie dies auch für andere einphasige Verbraucher geschieht. In den meisten Fällen wird es so gelingen, schon am nächsten Netztransformator eine symmetrische Dauerlast zu erzielen. Wenn wirklich nur eine einphasige Last an der verketteten Spannung liegt, müssen natürlich sowohl der Phasenleiter als der Netztransformator entsprechend dimensioniert sein, d.h. die Leistung des Netztransformators muss wenigstens das 1,5-fache der Nennleistung des einphasigen Energieverbrauchers aufweisen.

Wegen der nur kurzen Dauer der Belastungsstöße braucht das öfters grössere Verhältnis zwischen Momentan- und Dauerstrom nur bei der Absicherung der Leitung beachtet zu werden. Flinke Sicherungen oder Zeitrelais sind hiefür ungeeignet. Einwandfreier Schutz wird durch träge Sicherungen, Grad II, oder durch Thermorelays gewährleistet.

Für die Dimensionierung der Anlageteile ist von der Normalleistung der Maschine auszugehen, welche $\sqrt{2}$ -mal grösser ist als die (thermische) Dauerleistung der Maschine. Damit werden die Anlageteile zwar thermisch etwas überdimensioniert, enthalten aber dadurch bereits einen Quer-

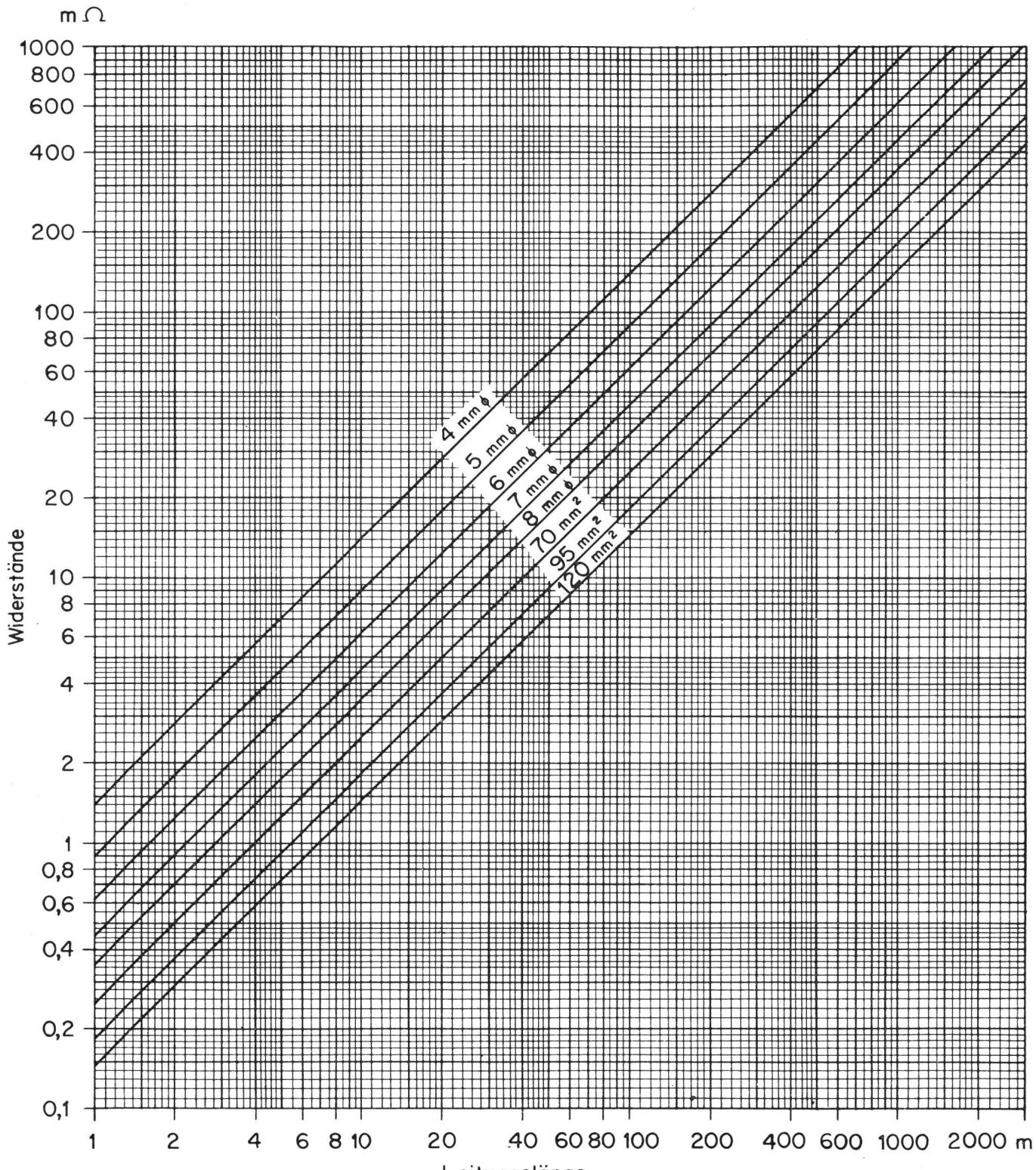


Fig. 11
Ohmsche Widerstände R von Kupferdrähten und -Seilen bei 20°C für Freileitungen

schnittzuschlag zur Kompensation des Spannungsabfalls. Sind längere Zuleitungen nicht vermeidbar, so muss wegen des Spannungsabfalls ein höherer Querschnitt gewählt werden. Für die Absicherung und Leitungsquerschnitte ist die Publikation SEV 175 massgebend.

4. Schlussbemerkungen

In diesem Bericht wurden bewusst nur technische Probleme elektrischer Schweissmaschinen behandelt. soweit solche im Zusammenhang mit Rückwirkungen durch den Betrieb bzw. Anschluss solcher Anlagen auf die Energieverteilnetze stehen. Es hat sich dabei ergeben, dass für die Zulassung des Anschlusses der Spannungsabfall im allgemeinen ein genügendes Kriterium darstellt, um die übrigen an den Verteilnetzen angeschlossenen Energieverbraucher gegen Störungen durch solche Anlagen zu schützen.

In Zusammenarbeit mit der Tarifkommission des VSE wurden die für den Anschluss von elektrischen Schweissmaschinen zu stellenden allgemeinen Richtlinien über die Anschlussbedingungen und Tarifierung elektrischer Schweissmaschinen ausgearbeitet. Diese sind als Anhang diesem Bericht beigegeben.

Die Schweiz. Kommission für Elektrowärme hofft, mit der Ausarbeitung dieses Berichtes eine allgemein gültige Grundlage für eine zweckmässige Regelung der nicht immer leicht zu lösenden Anschluss- und Betriebsprobleme zwischen Energielieferanten und Benützern von elektrischen Schweissmaschinen zur Verfügung gestellt zu haben.

5. Anhang I: Diagramme als Rechenhilfen

Als Rechenhilfen für überschlägige Rechnungen sind nachstehend folgende Diagramme beigegeben:

- Ohmsche Widerstände von Kupferkabeln bei 40 °C (Fig. 10).
- Ohmsche Widerstände von Kupferdrähten und -seilen für Freileitungen bei 20 °C (Fig. 11).
- Ohmsche und induktive Widerstände von Transformatoren bei 380 V (Fig. 12).
- Induktive Widerstände von Leitungsdrähten und -seilen für Freileitungen (Fig. 13).

6. Anhang II: Allgemeine Richtlinien über die Anschlussbedingungen und Tarifierung elektrischer Schweissmaschinen

(Ausgearbeitet von der Schweizerischen Kommission für Elektrowärme im Einvernehmen mit der Kommission des VSE für Energietarife)

Aus dem Bericht geht hervor, dass die Lichtbogen-Schweissmaschinen, also die grosse Mehrheit der in der Schweiz gebräuchlichen Schweissgeräte, sowohl in angeschluss- wie auch in betriebs-technischer und tariflicher Hinsicht im allgemeinen dem Energie-lieferwerk keine Schwierigkeiten bereiten. Dagegen bringt der Anschluss von Widerstandsschweissmaschinen eine Reihe von Pro-blemen mit sich, deren frühzeitige und genaue Abklärung im Interesse des mit der Energielieferung betrauten Elektrizitätswerkes liegt. Es sind dies im besondern:

6.1 Problem der Leistungsbereitstellung und der Dimensionierung von elektrischen Anlagen

Die kurzen Stromfluszeiten bedingen eine hohe Stromintensität und damit eine entsprechend hohe Leistungsbeanspruchung. Anderseits ist der eigentliche Energieverbrauch im Verhältnis zur hohen beanspruchten Momentanleistung gering, was zu kleinen Benützungsdauern und damit zu einer schlechten Ausnutzung der elektrischen Verteilanlagen führen kann, wenn nicht gleichzeitig mehrere Maschinen am selben Transformator angeschlossen sind. Da vor allem kleinere Maschinen meist einphasig angeschlossen werden,

kann besonders beim Vorhandensein von nur einer einzelnen Maschine die Last nicht gleichmässig auf die Phasen verteilt werden. Im weitern ist bekannt, dass Widerstandsschweissmaschinen mit einem relativ ungünstigen Leistungsfaktor arbeiten und sich eine wirksame Kompensation mit Kondensatoren an einzelnen Maschinen technisch nur schwer verwirklichen lässt.

Im Bericht wurde eingehend auf die Rückwirkungen von Widerstandsschweissmaschinen auf das übrige Netz des Elektrizitätswerkes eingegangen. Die starken periodischen Lastschwankungen führen, wenn auch nur kurzzeitig, so doch zu hohen Spannungs-abfällen, welche sich störend auf andere Verbraucher, sei es im internen Netz des betreffenden Betriebes, sei es im übrigen Netz des Elektrizitätswerkes, auswirken können. Wichtig ist im weitern auch, ob eine einzelne grössere Widerstandsschweissmaschine eingesetzt wird, oder ob ein Abonnent mehrere solcher Maschinen im Parallelbetrieb arbeiten lässt. Im letzteren Fall bringt bereits die Aufteilung der einphasig anzuschliessenden Schweissmaschinen auf die 3 Phasen einen gewissen Ausgleich, der zusätzlich noch verbessert werden kann durch die Verwendung von elektronischen Steuerungen, welche die Arbeitsphasen mehrerer Widerstandsschweissmaschinen zeitlich gegeneinander staffeln.

6.2 Massnahmen für den Anschluss von elektrischen Schweissmaschinen

Das Elektrizitätswerk wird je nach der Grösse der Anlagen folgende Massnahmen gegen unerwünschte Rückwirkungen von Widerstandsschweissmaschinen auf das übrige Verbrauchernetz in Erwägung ziehen:

a) Anspeisung des Abonnenten in Mittelspannung (z.B. 16 kV oder 50 kV), was die Errichtung einer fabrikeigenen Transformatorenstation voraussetzt. Falls im betreffenden Betrieb aber sehr empfindliche Verbraucher, wie lichtintensive Zeichnungsbüros usw. vorhanden sind, kann für diese Zwecke unter Umständen die Aufstellung eines eigenen Transformators samt den notwendigen separaten Niederspannungs-installationen erforderlich werden. Bei weniger empfindlichen Betrieben genügt oft die Vergrösserung der Transformatorleistung, um unzulässige Spannungsschwankungen im internen Fabriknetz zu vermeiden.

b) Anspeisung des Abonnenten über eine besondere Niederspannungs-zuleitung aus einer bestehenden Netztransformatorenstation des Elektrizitätswerkes. Eventuell müsste für diese Abonnenten ein eigener Transformator reserviert werden. Die Anschlussmöglichkeiten eines Abonnenten mit Widerstandsschweissmaschinen an die allgemeine Sammelschiene einer Netztransformatorenstation muss sorgfältig geprüft werden.

c) Da der Betrieb von Nahtschweissmaschinen besonders störende Einflüsse auf das Lichtnetz verursacht, empfiehlt es sich, die Abonnenten darauf hinzuweisen, dass bei einem allfälligen Umbau einer Punktschweissmaschine in eine Nahtschweissmaschine die Frage der Zulässigkeit geprüft werden muss. In der Schweiz ist es heute allgemein üblich, dass die Kosten für die Neuerstellung oder Verstärkung von Netzteilen, soweit sie durch den Betrieb von Widerstandsschweissmaschinen verursacht werden, weitgehend durch den Abonnenten getragen werden.

6.3 Probleme im Zusammenhang mit der Tarifierung

Als Verrechnungsgrundlage gegenüber den Industrieabnehmern setzt sich der sog. Zweigliedtarif mit einem Leistungspreis und differenzierten Arbeitspreisen immer mehr durch. Eingehende Untersuchungen haben gezeigt, dass beim Einsatz von Widerstandsschweissmaschinen die Arbeit in kWh von einem normalen Präzisionswirkenergiezähler vollständig erfasst wird. Dasselbe gilt auch für die benötigte Blindenergie. Hingegen wurde festgestellt, dass Apparate für die Leistungsmessung die maximal aufgetretene Leistung nicht erfassen.

Die meisten Elektrizitätswerke sind daher schon früh dazu übergegangen, beim Betrieb von Widerstandsschweissmaschinen eine zusätzliche Gebühr zu erheben. Als Grundlage für die Gebühr dient die auf dem Leistungsschild angegebene Nennleistung. Diese Gebühr pro kVA wird in der Regel jährlich, quartalsweise oder pro Monat zusammen mit der Stromrechnung bezogen.

Die Grosszahl der schweizerischen Elektrizitätswerke schreibt heute einen minimalen Leistungsfaktor von $\cos \varphi = 0,85$ bis 0,9 vor. Falls der Leistungsfaktor eines Abonnenten infolge Inbetriebnahme von Widerstandsschweissmaschinen unter den vorgeschriebenen Wert fällt, muss dieser entweder den fehlenden Blindstrom in einer Kompensationsanlage selber erzeugen oder dem Elektrizitätswerk den Blindenergieüberverbrauch bezahlen.

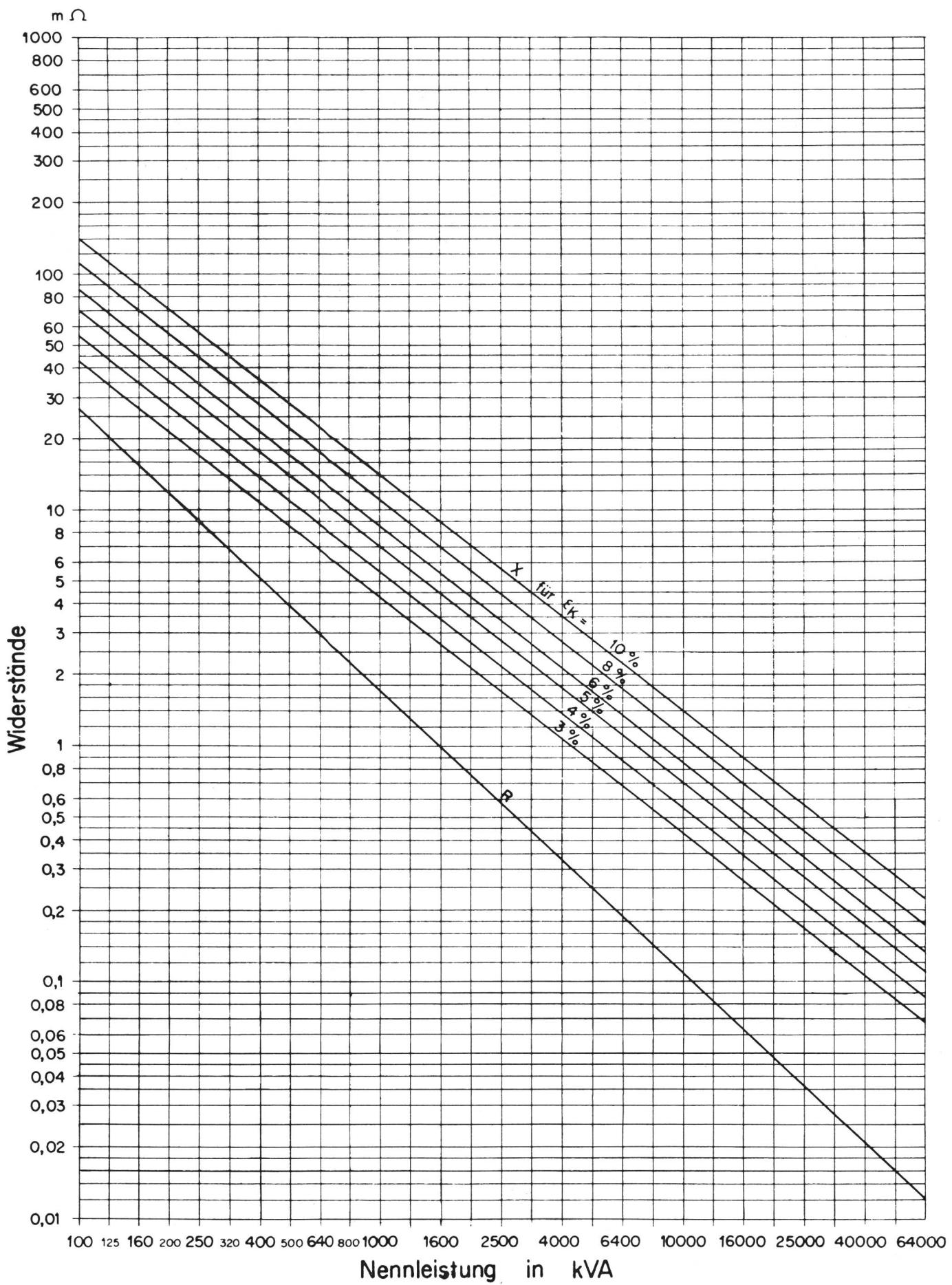


Fig. 12
Ohmsche und induktive Widerstände von Transformatoren bei 380 V

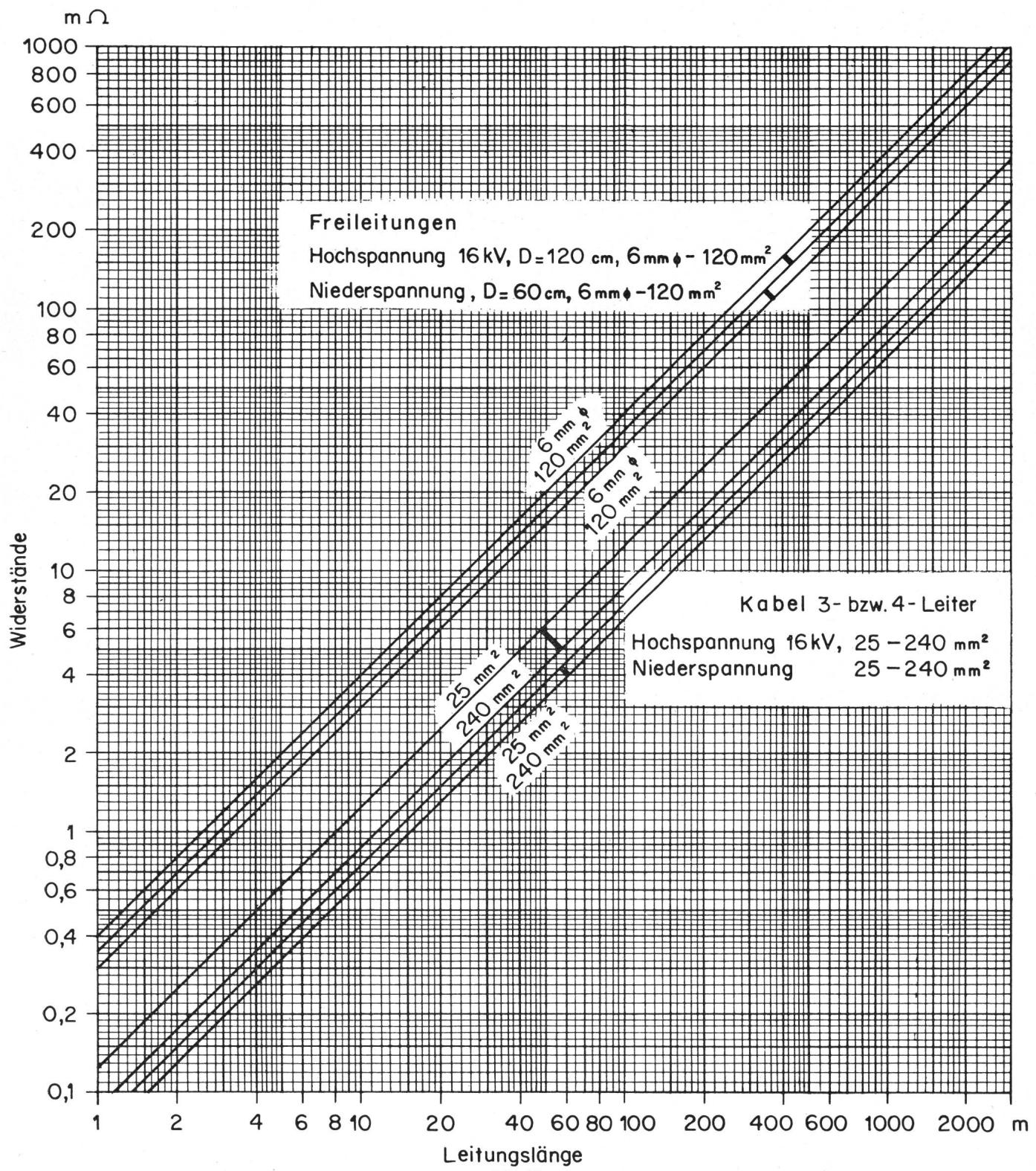


Fig. 13
Induktive Widerstände X von Leitungsdrähten und -seilen

Literatur

- [1] W. Werdenberg: Der Anschluss von Lichtbogenschweissmaschinen. Bull. SEV 26(1935)24, S. 677...687.
- [2] P. Vögeli: Die Grundlagen der Widerstandsschweissung. Bull. SEV 34(1943)23, S. 702...712.
- [3] H. Altherr: Der Anschluss von Widerstandsschweissmaschinen. Bull. SEV 36(1945)12, S. 361...371.
- [4] P. Weber: Der Spannungsabfall beim Betrieb von Widerstandsschweissmaschinen. Brown Boveri Mitt. 37(1950)8/9, S. 310...318.
- [5] K. Rüetschi: Netzanschlussprobleme bei Widerstandsschweissmaschinen. Elektr.-Verwertg. 26(1951/52)2, S. 23...29.
- [6] E. Bergmann: Blindlast und Anschlusswert von Lichtbogenschweisstransformatoren. Schweißen und Schneiden 4(1952)2, S. 45...50.
- [7] T. Königshofer: Die Lichtbogen-Schweissmaschinen. Kurze Einführung in die Wirkungsweise verschiedenartiger Schweissmaschinen und deren Verhalten im Betrieb unter Berücksichtigung der Schutzgasschweissung. 2. Auflage. Berlin, Cram, 1960.
- [8] F. Gerspacher und O. Waldvogel: Dreiphasen-Frequenzwandler-Widerstandsschweissmaschinen. Brown Boveri Mitt. 47(1960)3, S. 180...185.
- [9] H. Meyer: Graphisches Verfahren zur Bestimmung der Spannungsabfälle in Dreiphasensystemen, hervorgerufen durch einphasige angeschlossene Widerstandsschweissmaschinen. Brown Boveri Mitt. 48(1961)8/9, S. 502...504.
- [10] Widerstandsschweissen. Verfahren, Steuerungen, Stromversorgung. Hg. vom Verband der Elektrizitätswerke Österreichs. Wien 1961.
- [11] Regeln für Widerstandsschweissmaschinen. Publ. 0211.1957 des SEV.
- [12] Bestimmungen für Widerstands-Schweisseinrichtungen. Einphasige Punkt-, Buckel-, Naht- und Stumpfschweiseinrichtungen (-schweissmaschinen). VDE-Vorschrift 0545/1.63.
- [13] Regeln für Lichtbogenschweisstransformatoren. Publ. 191d des SEV, Zürich 1950.
- [14] Regeln für Lichtbogen-Schweisstransformatoren. VDE-Vorschrift 0541/5.58.

Adresse des Autors:

Schweiz. Kommission für Elektrowärme, Geschäftsstelle, (Elektrowirtschaft), Bahnhofplatz 9, 8023 Zürich.