Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

Band: 63 (1972)

Heft: 9

Artikel: Einfluss der Schaltzahl und Polarität des Prüfstromes auf die Statistik der Schweisskraftwerke von Reinsilber bei synchronem und unsynchronem Schliessen der Kontaktstücke

Autor: Haufe, W. / Reichel, W. / Schreiner, H.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-915689

Einfluss der Schaltzahl und Polarität des Prüfstromes auf die Statistik der Schweisskraftwerte von Reinsilber bei synchronem und unsynchronem Schliessen der Kontaktstücke

Von *W. Haufe, W. Reichel, H. Schreiner* und *R. Tusche, Nürnberg*

621.791.7.014:546.57:621.3.014.2

1. Einführung

Für vergleichende Messungen der Schweisskraft mit einem Prüfschalter wurden von einer VDE-Arbeitsgruppe 1) die Prüfbedingungen festgelegt [1] 2).

Wesentliche Einflussparameter auf die Grösse der Schweisskraft und deren Summenhäufigkeit bei prellend schliessenden Kontaktstücken sind die Kontaktkraft, die Einschaltgeschwindigkeit, die Prelldauer, die Schaltzahl, die Prüfspannung, der Prüfstrom, die Phasenverschiebung und die Frequenz, sowie der Zeitpunkt des Schliessens der Kontaktstücke bezogen auf den natürlichen Stromnulldurchgang bei induktivem Prüfstromkreis.

Gegenstand der vorliegenden Arbeit ist die Erweiterung dieser «Standardprüfbedingungen» im Hinblick auf eine Fundierung der Aussagen über die Schweisskraft von Kontaktwerkstoffen für Niederspannungsschaltgeräte der Starkstromtechnik.

2. Schweisskraft als statistisch verteilter Messwert

2.1 Statistische Ereignisse und Merkmale

Unter einem Ereignis versteht man den Ausgang eines Versuches. Damit wird jede Realisation einer gewissen Gesamtheit von Umständen oder Bedingungen bezeichnet [2]. Man spricht in diesem Zusammenhang auch von einem Bedingungskomplex. Zu jedem Versuch gehört eine Menge möglicher Ereignisse oder Resultate, seine Ereignismenge. Zufällige Ereignisse, die bei einer hinreichend grossen Zahl von Versuchen eine Stabilität ihres Auftretens zeigen, heissen stochastische oder statistische Ereignisse. Die Definition der Zufälligkeit eines Ereignisses bezüglich eines Bedingungskomplexes ist rein negativ: Ein Ereignis ist zufällig, wenn es nicht sicher und nicht unmöglich ist. Daraus folgt noch nicht, dass es auch stochastisch ist, d. h. dass eine feste Zahl n existiert, von der an sich die relative Häufigkeit seines Auftretens bei genügend langer Versuchsdauer nur selten weit entfernt. Diese Aussage muss in jedem Falle durch den Versuch bestätigt werden. Das folgende Schema verdeutlicht die Relation der Begriffe sicher, zufällig, stochastisch:

Aufgliederung von Ereignissen in
- sichere Ereignisse
- zufällige Ereignisse
  - nichtstochastische Ereignisse
  - stochastische Ereignisse

1) Arbeitsgruppe «Schweissverhalten elektrischer Kontaktstücke» innerhalb der Fachgruppe «Kontaktverhalten und Schalten» des VDE, Frankfurt.

2) Siehe Literatur am Schluss des Aufsatzes.

Ereignisse werden an Merkmalen erkannt. Da statistische Untersuchungen wesentlich von Art und Anzahl der Merkmale abhängen, muss man Gliederungsmöglichkeiten untersuchen.

Für viele Fragestellungen ist es zweckmässig, zwischen qualitativen und quantitativen Merkmalen zu unterscheiden. Bei qualitativen Merkmalen kann die Gesamtheit der Ereignisse in zwei Klassen eingeteilt werden, die durch das Auftreten bzw. Nichtauftreten des Merkmals gekennzeichnet sind. Man spricht dann von alternativen Merkmalen. Die Anzahl der Elemente jeder Klasse wird durch Auszählen ermittelt. Quantitative Merkmale gewinnt man durch Vergleich mit einer Masseinheit. Sie sind durch ihren Zahlenwert bereits bestimmt, z. B. Längen, Gewichte, Zerreissfestigkeiten. Eine weitere Einteilungsmöglichkeit ist die Unterscheidung nach diskreten und stetigen Merkmalen. Diskrete Merkmale treten nur in deutlich unterscheidbaren Ausprägungen auf und ändern sich sprunghaft. Stetige Merkmale können innerhalb eines gewissen Intervalles prinzipiell jeden beliebigen Wert annehmen. Sie werden durch Messungen gewonnen. Quantitative Merkmale unterscheidet man noch dahingehend, ob sie einen Zustand oder eine Verhaltensweise messen. Zustandsmerkmale sind in der Regel beliebig oft messbar, während Verhaltensmerkmale sich nicht immer wiederholen lassen, etwa bei zerstörenden Prüfungen (Zerreissfestigkeit).

Um über eine Zufallsvariable etwas aussagen zu können, müssen die Werte bekannt sein, die sie annehmen kann. Der Wertevorrat allein reicht jedoch nicht aus; es ist zusätzlich die Kenntnis notwendig, wie oft die Werte angenommen werden. Ist die Zufallsvariable auf einer Ereignismenge definiert, deren Elemente stochastische Ereignisse sind, dann kann die Häufigkeit der Zufallsvariablen durch die statistische Wahrscheinlichkeit des zugehörigen stochastischen Ereignisses gemessen werden.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass statistische Schlüsse immer von Annahmen über die Gesamtheit der Messwerte ausgehen, d. h. von gewissen statistischen Modellen und ihren theoretischen Verteilungen. Mit Hilfe der Wahrscheinlichkeitsrechnung lassen sich dann Verteilungsnetze ableiten, die zu Aussagen über die empirischen Werte führen.

2.2 Anwendung der allgemeinen Betrachtungen über Statistik auf die Messwerte der Schweisskraft

Bei der Untersuchung des Schweissverhaltens von Kontaktwerkstoffen mit dem Prüfschalter wird die Schweisskraft F_S als Zugöffnungskraft, die zum Zerreissen einer unter definierten Schaltbedingungen gebildeten Schweissbrücke erforderlich ist, gemessen. Die Schweisskraftwerte streuen im allgemeinen über mehrere Grössenordnungen, so dass ein Messwert als statistische Variable angesehen werden kann. In der Ausdrucksweise

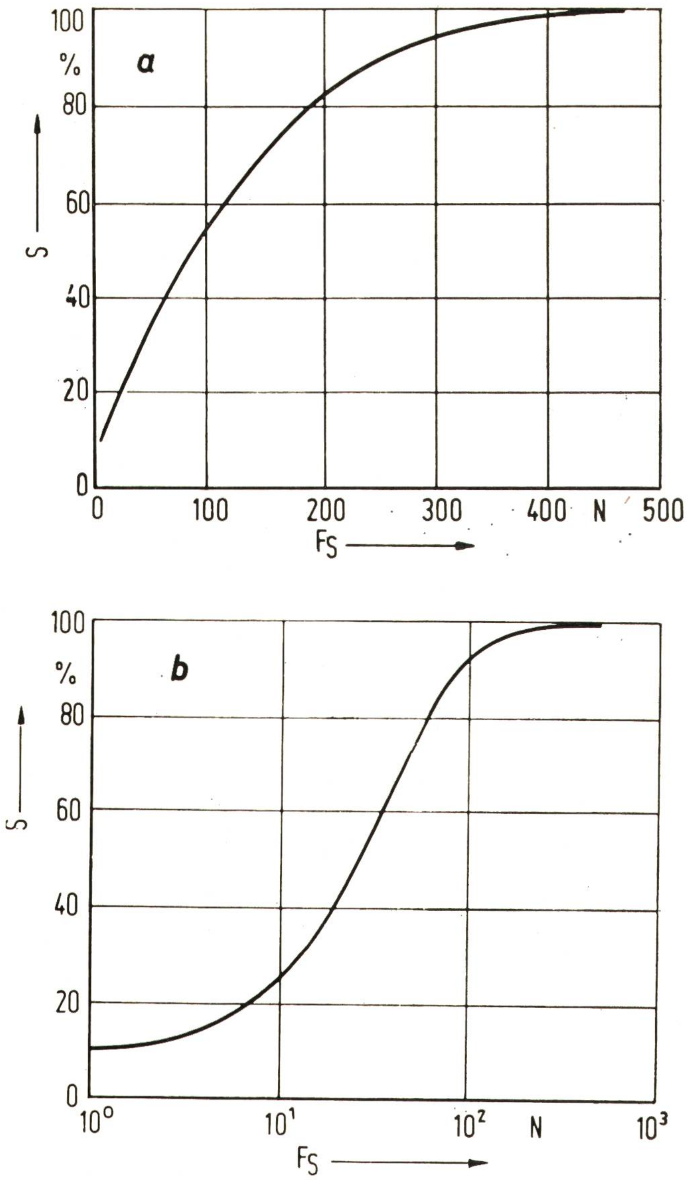

Fig. 1
Schematischer Verlauf der Summenhäufigkeitskurve von Ag 1000
a Ordinate und Abszisse linear geteilt
b Ordinate linear und Abszisse logarithmisch geteilt
F_S Schweisskraftwert; S Summenhäufigkeit

der Statistik entspricht einem Schaltspiel das Ereignis und dem Schweisskraftwert das zum Ereignis gehörige Merkmal. Die Grösse eines beliebigen, aus einer Messreihe herausgegriffenen Schweisskraftwertes hängt von verschiedenen Einflüssen ab, wie Prelleigenschaften der Schaltglieder, Lichtbogenlaufverhalten und Oberflächenbeschaffenheit der Kontaktstücke, die sich während einer Messreihe ändern können, und ist daher nicht vorausberechenbar. Aus diesem Grunde muss man bei Aussagen über das Schweissverhalten auf das gesamte Wertekollektiv zurückgreifen. Die Darstellung der Messwerte erfolgt zweckmässigerweise graphisch durch die Angabe der Summenhäufigkeitskurve. Für diesen Zweck stehen verschiedene Wahrscheinlichkeitsnetze zur Verfügung. Besonders geeignet erscheinen die Gaußsche Normalverteilung, die logarithmische Normalverteilung und die Weibull-Verteilung. Der Vorteil bei der Anwendung dieser Wahrscheinlichkeitsnetze liegt darin, dass man wichtige Parameter einer Verteilung wie Mittelwert und Streuung ohne Rechnung direkt aus der graphischen Darstellung entnehmen kann.

Die Summenhäufigkeit gibt an, wie gross derjenige Prozentsatz von der Gesamtschaltzahl n_S ist, der unterhalb eines beliebigen Merkmalwertes x liegt, wobei x stets kleiner oder höchstens gleich dem maximalen Schweisskraftwert $F_{S\,max}$ ist. Äquivalent dazu ist die Aussage, dass die Summenhäufigkeit die Wahrscheinlichkeit angibt, mit der ein Schweisskraftwert, der kleiner als ein vorgegebener Wert x ist, innerhalb einer Messreihe erwartet werden kann. Diese Definition der Summenhäufigkeit lässt sich wie folgt formulieren:

$$S = w\,(F_S \leqq x)$$

Hierin bedeuten:

S Summenhäufigkeit
w Wahrscheinlichkeit ($0 \leqq w \leqq 1$)
F_S Schweisskraftwert
x beliebiger Merkmalswert ($x \leqq F_{S\,max}$)

Zur Beurteilung des Schweissverhaltens eines Kontaktwerkstoffes ist es von Vorteil, wenn die Summenhäufigkeitskurve als Gerade dargestellt werden kann.

Teilt man die Ordinate linear und die Abszisse linear bzw. logarithmisch, so erhält man die aus den Diagrammen in Fig. 1a und 1b ersichtlichen Formen der Summenhäufigkeitskurve. Der Verlauf der Summenhäufigkeitskurve in Fig. 1b legt eine Darstellung der Messwerte in einem Wahrscheinlichkeitsnetz der logarithmischen Normalverteilung nahe. Hierbei ist die Ordinate nach dem Gaußschen Integral und die Abszisse logarithmisch geteilt.

Man bezeichnet eine positive Zufallsvariable x als logarithmisch normalverteilt, wenn ihre Logarithmen $y = \log x$ nach $N(\mu, \sigma)$ verteilt sind. Dabei bedeutet

$$N(\mu, \sigma) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}}\, e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$$

die Gaußsche Normalverteilung. Diese ist zweiparametrig mit der Streuung σ und dem Mittelwert μ. Die logarithmische Normalverteilung entsteht also aus der Gaußschen Normalverteilung durch die Substitution $x \to \log x$. Die Wahrscheinlichkeitsdichte der logarithmischen Normalverteilung kann daher definiert werden als

$$f(x) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}\, x}\, e^{-\frac{(\log x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$$

Es lassen sich drei charakteristische Werte angeben. Der häufigste Wert $\breve{x}$ berechnet sich aus der Bedingung $f'(x) = 0$ zu

$$\breve{x} = e^{\mu - \sigma^2}$$

Ähnlich findet man den Medianwert $\hat{x}$, das ist derjenige Wert, oberhalb und unterhalb dessen jeweils 50% der Messwerte liegen:

$$\hat{x} = e^{\mu}$$

Für das arithmetische Mittel ergibt sich

$$\bar{x} = e^{\mu + \frac{1}{2}\sigma^2}$$

Zur Linearisierung von Summenhäufigkeitskurven ist es oft zweckmässig, statt $\log x$ die Grössen

$$\left.\begin{array}{l} \log(x + c),\ x > 0 \\ \log(x - c),\ x > c \end{array}\right\}\ \text{dreiparametrig, } c, \mu, \sigma$$

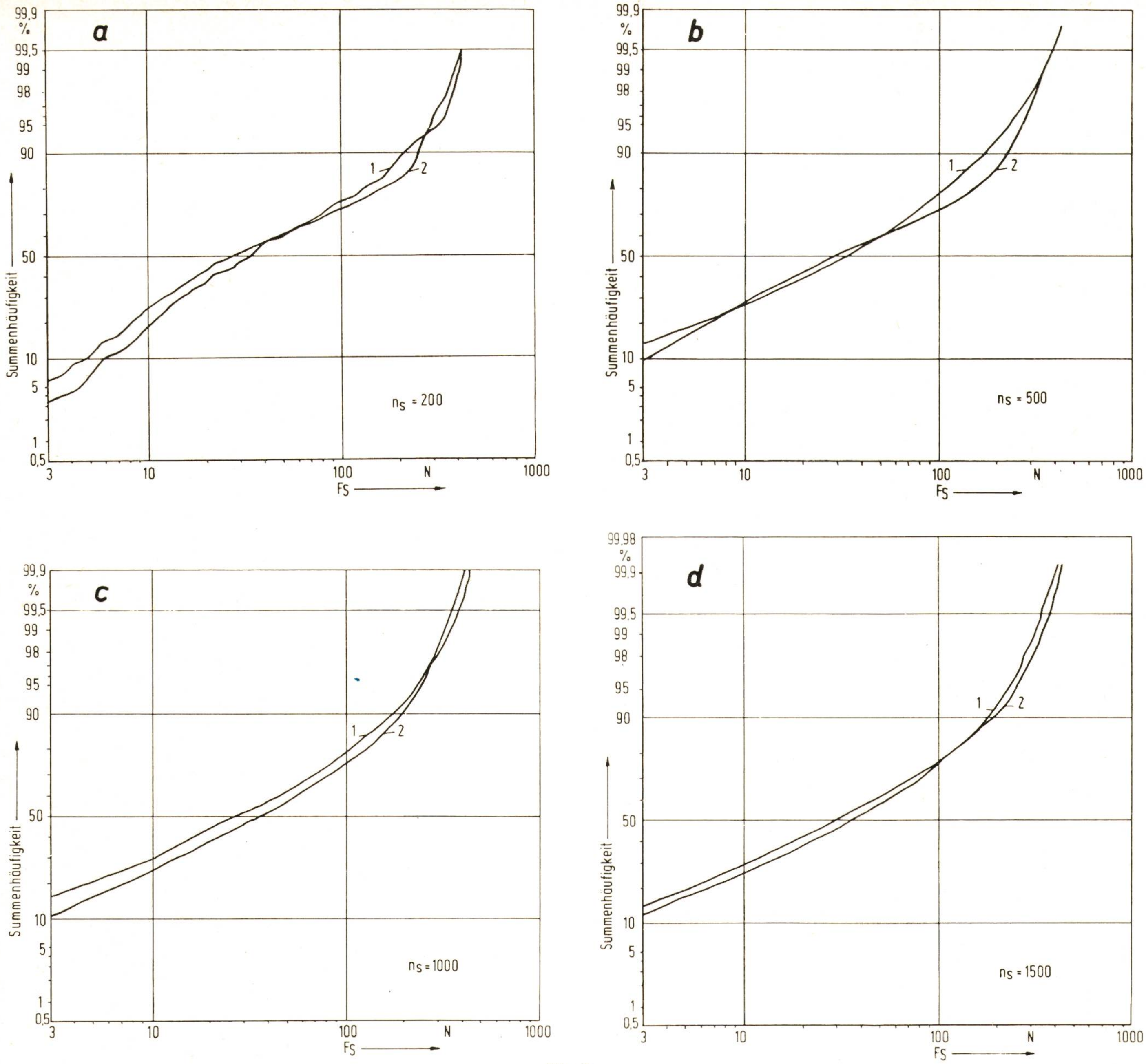

Fig. 2

Summenhäufigkeitskurven der Schweisskraft F_s bei verschiedenen Schaltzahlen n_s

a n_s = 200
b n_s = 500
c n_s = 1000
d n_s = 1500

Ag 1000, $\hat{I}$ = 1000 A, Einschaltung synchron im natürlichen Stromnulldurchgang; Polarität des beweglichen Kontaktstückes positiv
1 erste Messreihe *2* zweite Messreihe

$$\log \frac{x - c_1}{c_2 - x}, \; c_1 < x < c_2 \qquad \text{vierparametrig } c_1, c_2, \mu, \sigma$$

als normalverteilt anzunehmen.

Die zweiparametrige logarithmische Normalverteilung kommt in der Praxis sehr häufig vor und wurde somit auch zur Darstellung der Schweisskraftmesswerte herangezogen. Drei- und vierparametrige logarithmische Normalverteilungen sind für diesen Anwendungsfall nicht geeignet.

Bei der Untersuchung des Schweissverhaltens von Kontaktwerkstoffen mit dem ASTM-Schweisskraft-Testgerät wurde zur statistischen Auswertung der Messergebnisse die Weibull-Verteilung benutzt [3; 4]. Diese ist zwei- oder dreiparametrig und lautet in ihrer analytischen Form:

$$\mathrm{F}(x) = 1 - \mathrm{e}^{-\frac{x^{\beta}}{\alpha}} \qquad \text{zweiparametrig, } \alpha, \beta$$

Hieraus erhält man durch zweimaliges Logarithmieren und Umformung die Beziehung

$$\ln \ln \frac{1}{1 - \mathrm{F}(x)} = \beta \ln x - \ln \alpha$$

Im Weibull-Wahrscheinlichkeitsnetz ist die Merkmalsskala logarithmisch, die Ordinate nach $\ln \ln \dfrac{1}{1 - \mathrm{F}(x)}$ geteilt. Die Parameter α und β lassen sich aus Hilfsskalen zeichnerisch genau bestimmen.

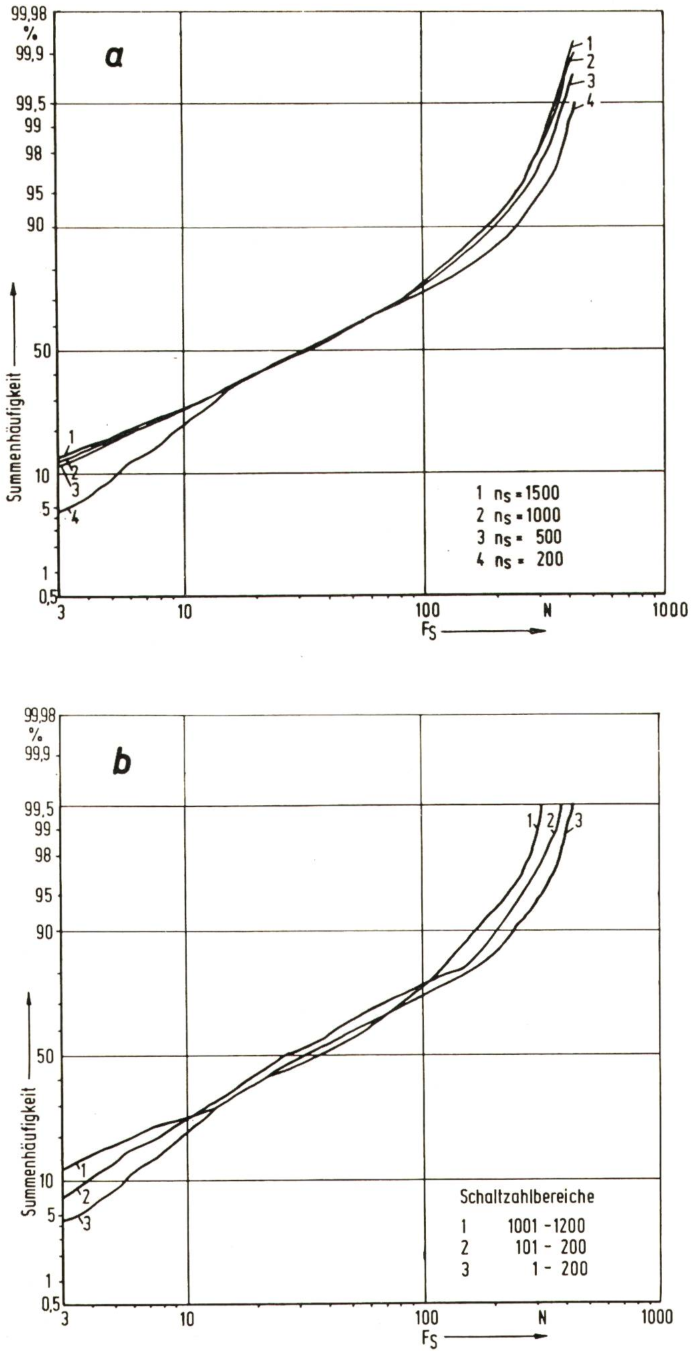

Fig. 3
Mittlere Summenhäufigkeitskurven der Schweisskraft F_S
Bezeichnungen siehe Fig. 2

Im dreiparametrigen Fall heisst die Verteilungsfunktion

$$F(x) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{x-\gamma}{\alpha}\right)^{\beta}\right] \qquad x \geqq \gamma$$

und die Dichtefunktion

$$F'(x) = f(x) = \frac{\beta}{\alpha}\left(\frac{x-\gamma}{\alpha}\right)^{\beta-1} \exp\left[-\left(\frac{x-\gamma}{\alpha}\right)^{\beta}\right]$$

Die Schweisskraftmesswerte von Ag 1000 streuen etwa über drei Grössenordnungen von 1 bis 500 N. Daher kann man nicht von einem «wahren» Schweisskraftwert im Sinne des Mittelwertes sprechen, sondern man muss die Verteilungskurve selbst als ein Charakteristikum des unter gewissen vorgegebenen Prüfbedingungen untersuchten Kontaktwerkstoffes ansehen. Für jede Messreihe wird der grösste Schweisskraftwert, bezeichnet mit $F_{S\,max}$, herausgesucht und in das Wahrscheinlichkeitsnetz eingetragen. Auf diese Weise lässt sich die Schwankung der maximalen Schweisskraftwerte mehrerer Messreihen übersichtlich angeben. Bei 200 Schaltungen entspricht $F_{S\,max}$ dem $F_{S\,99,5}$-Wert und bei 1000 Schaltungen dem $F_{S\,99,9}$-Wert. Vom Maximalwert ausgehend werden dann über jedem Merkmalsintervall die zugehörigen Summenprozente aufgetragen und die Punkte durch eine Kurve verbunden. Die Intervallteilung ist bis zu einem gewissen Grade willkürlich; sie sollte jedoch so gewählt werden, dass jedes Intervall mit Messwerten besetzt ist. Bei Verwendung eines logarithmischen Abszissenmaßstabes hat sich eine Intervallteilung je Dekade in 0,2er Schritten von 1 bis 3, in 0,5er Schritten von 3 bis 5 und in 1er Schritten von 5 bis 10 bewährt.

3. Durchgeführte Untersuchungen

Im folgenden werden die Messergebnisse über den Einfluss verschiedener Parameter auf die Summenhäufigkeit der Schweisskraftmesswerte beschrieben. Der Prüfstrom betrug $\hat{I} = 1000$ A.

3.1 Schaltzahl

Bisherige Messungen der Schweisskraft von Kontaktwerkstoffen mit dem Prüfschalter unter den von der VDE-Arbeitsgruppe festgelegten «Standardprüfbedingungen» wurden während 200 Schaltungen bei synchronem Schliessen der Kontaktstücke im natürlichen Stromnulldurchgang einer 50-Hz-Halbschwingung durchgeführt. Es zeigte sich, dass 200 Messwerte für statistische Aussagen nicht ausreichend sind. Das erkennt man bei Darstellung der Summenhäufigkeit in einem Wahrscheinlichkeitsnetz. Die Abweichung der Summenprozentkurven der ersten und zweiten Messreihe (Reproduktion) ist relativ gross; ausserdem erhält man keine genügend glatten Kurven. Aus diesen Gründen ist es notwendig, die Schaltzahl wesentlich zu erhöhen. Wegen der Wirtschaftlichkeit des Prüfverfahrens und des Abbrandes der Kontaktstücke kommen Schaltzahlen über 1500 pro Messreihe nicht in Betracht.

Die Diagramme der Fig. 2a...2d zeigen die Summenhäufigkeitskurven der Schweisskraft von jeweils zwei Messreihen mit steigender Schaltzahl unter Verwendung des Wahrscheinlichkeitsnetzes der logarithmischen Normalverteilung. Die Polarität des beweglichen Kontaktstückes war positiv. Aus den Darstellungen ist ersichtlich, dass die Summenhäufigkeit der Schweisskraftwerte von der logarithmischen Normalverteilung abweicht, also keine Gerade, sondern eine progressiv ansteigende Kurve ergibt. Trotz dieses Kurvenverlaufes bei Ag 1000 werden die Messwerte weiterhin im Netz der logarithmischen Normalverteilung angegeben, da abzuwarten ist, ob die Summenhäufigkeiten der Schweisskraftwerte anderer Kontaktwerkstoffe bei höheren Schaltzahlen eventuell dieser Verteilung folgen. Wird die Schaltzahl von $n_S = 200$ (Fig. 2a) auf $n_S = 500$ (Fig. 2b) erhöht, so erhält man neben einem veränderten, glatteren Verlauf eine bessere Reproduzierbarkeit der Summenhäufigkeitskurven. Steigert man die Schaltzahl auf $n_S = 1000$ bzw. $n_S = 1500$, (Fig. 2c und d), so kann noch eine weitere Verbesserung hinsichtlich der Glättung und Reproduzierbarkeit erreicht werden. Der Kurvenverlauf ändert sich dann nur noch unwesentlich. Dies wird besonders deutlich aus der Gegenüberstellung der mittleren Summenhäufigkeitskurven (Fig. 3a). Beim Vergleich der Kurve aus $2 \cdot 200$ Messwerten mit den Kurven höherer Schaltzahl sind die Abweichungen augenfällig. Die aus 2 · 1000 und aus 2 · 1500 Messwerten gebildeten Summenhäufigkeitskurven sind nahezu identisch. Das bedeutet, dass bereits die Kurve aus 2 · 1000 Messwerten als repräsentativ für die Verteilung der Schweisskraftwerte angesehen werden kann. Für alle weiteren Untersuchungen wird daher die Schaltzahl $n_S = 1000$ zugrunde gelegt. Um den Einfluss der Erstschaltungen auf die Verteilung der Schweisskraftwerte festzustellen, wurden in Fig. 3b die mittleren Summenhäufigkeitskurven der Schaltzahlbereiche 1...200, 101...300 und 1001...1200 dargestellt. Ein gravierender Einfluss der ersten zweihundert Schaltungen ist nicht festzustellen. Erwähnenswert erscheint die Tatsache, dass der grösste Schweisskraftwert von Ag 1000 innerhalb des Schaltzahlbereiches 1...200 gemessen wird und dass gegenüber den anderen Schaltzahlbereichen eine kleinere Anzahl von Schweisskraftwerten unterhalb 12 N auftritt.

3.2 Polarität

3.2.1 Synchrone Einschaltung. Zur Ermittlung des Einflusses der Polarität auf die statistische Verteilung der Schweisskraftwerte wurde diese gegenüber Ziff. 3.1 unter Beibehaltung

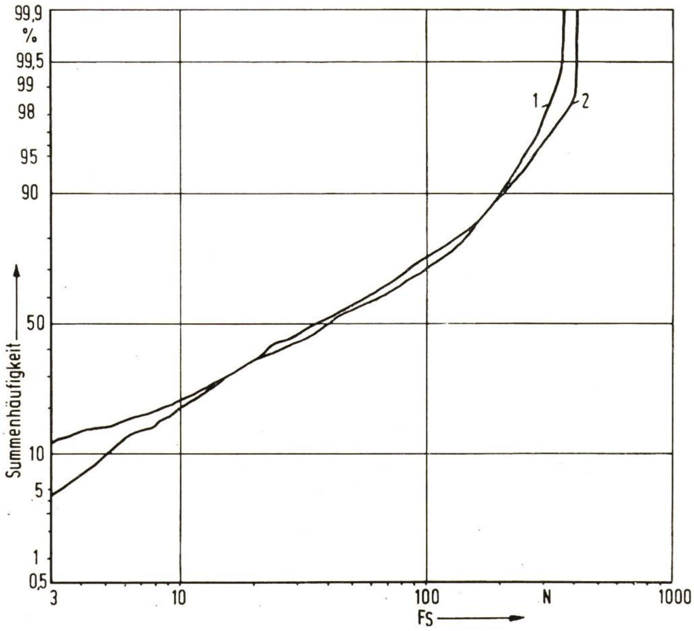

Fig. 4
Summenhäufigkeitskurven der Schweisskraft F_S
Ag 1000, $\hat{I}$ = 1000 A, Einschaltung synchron im natürlichen Stromnulldurchgang; Polarität des beweglichen Kontaktstückes negativ; n_s = 1000
Weitere Bezeichnungen siehe Fig. 2

der synchronen Einschaltung im natürlichen Stromnulldurchgang umgekehrt, so dass das bewegliche Kontaktstück negativ war. Fig. 4 zeigt die aus 1000 Messwerten gebildete Summenhäufigkeitskurve mit Reproduktion. Die Reproduzierbarkeit ist gut. Die $F_{S\,99,9}$-Werte stehen im Vergleich zu denjenigen unter Ziff. 3.1 in guter Übereinstimmung. Der Kurvenverlauf ist geringfügig zu grösseren Schweisskraftwerten hin verschoben.

3.2.2 Unsynchrone Einschaltung. Bei unsynchroner Einschaltung ist der Zeitpunkt des Schliessens der Kontaktstücke in bezug auf die Polarität und Phasenlage der Prüfspannung während drei 50-Hz-Halbschwingungen zufällig. Die aus 2 · 1000 Messwerten erhaltenen Summenhäufigkeitskurven

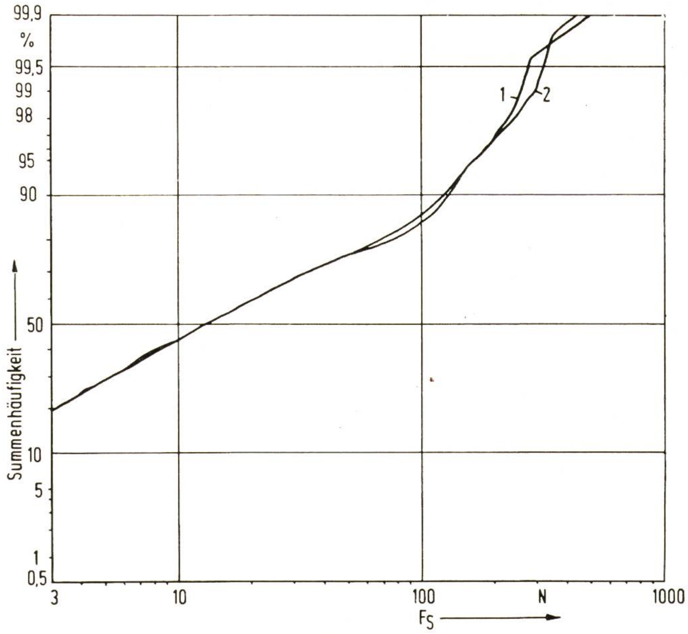

Fig. 5
Summenhäufigkeitskurven der Schweisskraft F_S
Ag 1000, $\hat{I}$ = 1000 A; Einschaltung unsynchron; n_s = 1000
Weitere Bezeichnungen siehe Fig. 2

(Fig. 5) zeichnen sich durch eine sehr gute Reproduzierbarkeit aus. Die Abweichung der $F_{S\,99,9}$-Werte von denen bei synchroner Einschaltung verschiedener Polarität ist gering, während die Summenhäufigkeitskurven selbst sich vergleichsweise aus einem grösseren Anteil kleinerer Schweisskraftwerte zusammensetzen.

3.3 Vergleich und Beurteilung der Messergebnisse

Die Unterschiede zwischen synchroner Einschaltung verschiedener Polarität und unsynchroner Einschaltung werden bei einer Gegenüberstellung der mittleren Summenhäufigkeits-

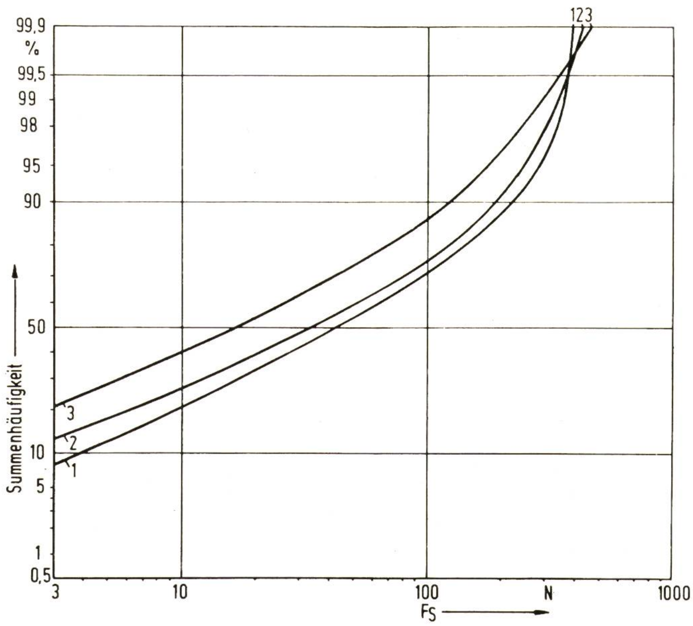

Fig. 6
Gemittelte Summenhäufigkeit der Schweisskraft F_S
Ag 1000; $\hat{I}$ = 1000 A; n_s = 1000
1 Einschaltung synchron, bewegliches Kontaktstück negativ
2 Einschaltung synchron, bewegliches Kontaktstück positiv
3 Einschaltung unsynchron
Weitere Bezeichnungen siehe Fig. 2

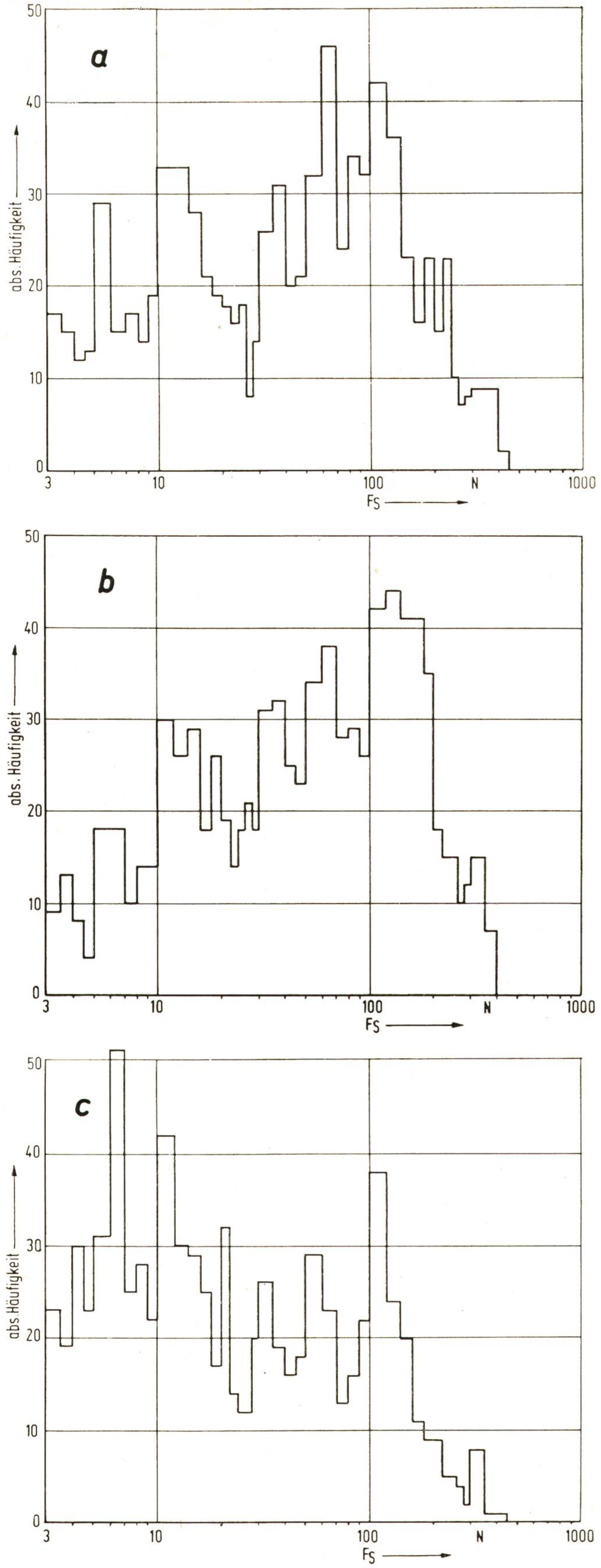

Fig. 7
Absolute Häufigkeit der Schweisskraftwerte F_s
$\hat{I}$ = 1000 A; n_s = 1000
a Einschaltung synchron, bewegliches Kontaktstück negativ
b Einschaltung synchron, bewegliches Kontaktstück positiv
c Einschaltung unsynchron
Weitere Bezeichnungen siehe Fig. 2

kurven deutlich. Der $F_{S\,99,9}$-Wert bei positiver Polarität des beweglichen Kontaktstückes und synchroner Einschaltung im natürlichen Stromnulldurchgang beträgt 420 N. Bei umgekehrter Polarität und ebenfalls synchroner Einschaltung tritt ein $F_{S\,99,9}$-Wert von 385 N auf. Der grösste $F_{S\,99,9}$-Wert von 460 N wird bei unsynchroner Einschaltung erreicht (Fig. 6).

Vergleicht man die Schweisskraftwerte bei einer Summenhäufigkeit von 50 %, so ergibt sich folgendes Bild: Erfolgt die Einschaltung synchron, so liegen 50 % der Schweisskraftwerte unterhalb 34 bzw. 42 N. Bei unsynchroner Einschaltung, die der Praxis näher kommt, erreicht man den gleichen Prozentsatz der Summenhäufigkeit bereits bei 16 N.

Die Diagramme in Fig. 7 zeigen im Vergleich zu den Summenhäufigkeitskurven in Fig. 6 die absolute Häufigkeit der Schweisskraftwerte entsprechend der gewählten Intervallteilung. Bei synchroner Einschaltung ergeben sich für beide Polaritäten die Häufigkeitsmaxima in den Schweisskraftbereichen 100...200 N bzw. 150 N. Demgegenüber verschiebt sich bei unsynchronem Einschalten das Häufigkeitsmaximum zu wesentlich kleineren Schweisskraftwerten hin. Das Intervall mit den meisten Messwerten umfasst hier den Bereich von 6 bis 7 N. Eine mögliche Erklärung für diese Tatsache besteht darin, dass bei unsynchronem Schalten der Energieumsatz in den Prellichtbögen im allgemeinen geringer ist als bei synchroner Einschaltung.

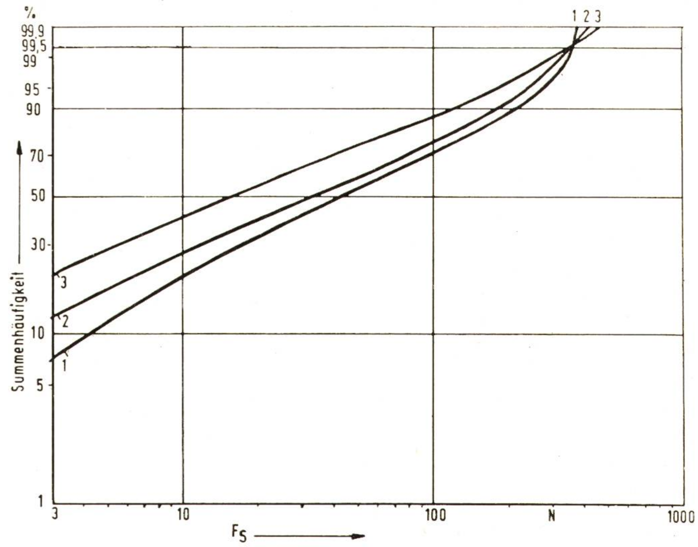

Fig. 8
Gemittelte Summenhäufigkeit der Schweisskraft F_s im Weibull-Wahrscheinlichkeitsnetz
1 Einschaltung synchron, bewegliches Kontaktstück negativ
2 Einschaltung synchron, bewegliches Kontaktstück positiv
3 Einschaltung unsynchron

Überträgt man die Summenhäufigkeiten aus Fig. 6 in ein Weibull-Wahrscheinlichkeitsnetz, so ergibt sich für die bei unsynchroner Einschaltung gemessenen Schweisskraftwerte ein fast linearer Verlauf der Summenhäufigkeitskurve (Fig. 8), während bei synchroner Einschaltung die Summenhäufigkeitskurven der verschiedenen Polaritäten nur bis zu einer Summenhäufigkeit von etwa 90 % linear verlaufen und für grössere Werte in einen progressiven Verlauf übergehen. Anhand der erzielten Ergebnisse kann festgestellt werden, dass für Ag 1000 bei $\hat{I}$ = 1000 A und n_S = 1000 bei synchroner und unsynchroner Einschaltung die Summenhäufigkeitskurven der Schweisskraftwerte in einem Weibull-Wahrscheinlichkeitsnetz eine bessere Linearität zeigen als in der logarithmischen Normalverteilung.

4. Zusammenfassung

Zur Beurteilung des Schweissverhaltens von Kontaktwerkstoffen mit einem Prüfschalter wurde neben den mechanischen und elektrischen Prüfbedingungen die Schaltzahl auf $n_S = 200$ festgelegt. Um genügend glatte, gut reproduzierbare und damit repräsentative Summenhäufigkeitskurven zu erhalten, sind nach den vorliegenden Untersuchungsergebnissen mindestens 1000 Schweisskraftwerte erforderlich. Bei synchronem Schliessen der Kontaktstücke im natürlichen Stromnulldurchgang ist der Einfluss der Polarität der Kontaktstücke auf die statistische Verteilung der Messwerte unwesentlich. Im Vergleich dazu ergibt sich bei unsynchronem Schliessen der Kontaktstücke etwa der gleiche Maximalwert der Schweisskraft; es tritt jedoch eine Verschiebung der Summenhäufigkeitskurve in Richtung kleinerer Schweisskraftwerte auf.

Zur Darstellung der Schweisskraftmesswerte haben sich die logarithmische Normalverteilung und die Weibull-Verteilung als geeignet erwiesen. Im Weibull-Wahrscheinlichkeitsnetz erhält man bei unsynchronem Einschalten für Ag 1000 eine Summenhäufigkeitskurve mit einem nahezu linearen Verlauf. Die Summenhäufigkeitskurven bei synchroner Einschaltung verschiedener Polarität folgen oberhalb der Summenhäufigkeit von 90 % der Weibull-Verteilung nicht mehr. Das unsynchrone Schalten entspricht dem Regelfall bei Niederspannungsschaltgeräten der Starkstromtechnik (Schütze) und hat den Vorteil eines relativ kleinen steuerungstechnischen Aufwandes bei der Schweisskraftmessung mit dem Prüfschalter.

Literatur

[1] *E. Geldner* u. a.: Prüfschalter zur Messung der Schweisskraft von Kontaktwerkstoffen für die Starkstromtechnik. ETZ-A Bd. 92(1971)11, S. 637...642.

[2] *M. Hengst:* Einführung in die mathematische Statistik und ihre Anwendung. BI-Taschenbücher 42/42a. Mannheim, Bibliographisches Institut, 1967.

[3] *U. Harmsen, W. Merl* und *E. Vinaricky:* Über das Abbrand- und Schweissverhalten von Silber-Kadmiumoxid und anderen Metalloxidwerkstoffen. Kontakte in der Elektrotechnik 3(1967)-, S. 109...115.

[4] *W. Weibull:* A statistical distribution function of wide applicability. J. Applied Mechanics (Trans. ASME 18(1951)3, p. 293...297.

Adresse der Autoren:

W. Haufe, W. Reichel, H. Schreiner und *R. Tusche,* Siemens AG, Zentrale Fertigungsaufgaben, Fertigungstechnische Entwicklung, Katzwanger Strasse 150, D-8500 Nürnberg.

RENÉ DESCARTES

1596–1650

La Houile Blanche, Grenoble

Der grosse französische Philosoph René Descartes, dessen Geburtstag 375 Jahre zurückliegt, hat zwar keine elektrischen Erfindungen und Entdeckungen gemacht. Aber neben seinen philosophischen Leistungen gilt er dank der Einführung der nach ihm benannten cartesischen Koordination als Schöpfer der analytischen Geometrie. Er führte auch die Exponenten ein und begründete damit das Rechnen mit Potenzen.

Descartes wurde am 31. März 1596 in La Haye in der Touraine geboren. Bei den Jesuiten von La Flêche erhielt er eine umfassende Ausbildung. Nachher kam er zunächst zum Militär und nahm 1627/28 als solcher an der Belagerung von La Rochelle durch Richelieu teil. Dann folgten ausgedehnte Reisen. Mit dem Heer Tillys kam er nach Deutschland, worauf er fast 20 Jahre zurückgezogen in Holland lebte. Das war die Zeit seiner grossen philosophischen Arbeit. 1649 beruft ihn Christine von Schweden an ihren Hof. Dort ertrug er aber das Klima nicht und starb am 11. Februar 1650 in Stockholm. Seine sterblichen Überreste ruhen in der Kirche Sainte-Geneviève zu Paris.

«Ich hoffe, dass meine Nachkommen mir Dank wissen, nicht nur für die Dinge, die ich erkläre, sondern auch für diejenigen, die ich absichtlich ausgelassen habe, um ihnen das Vergnügen zu lassen, sie selber zu erfinden.»

Diesen Descartschen Satz möchte man unserer heutigen Generation in Erinnerung rufen.

H. Wüger