Wer mit FABER-CASTELL arbeitet
bleibt dabei

1/756 d.

ANLEITUNG

zum Gebrauch des Präzisions-Rechenstabes

CASTELL 67/56 für Schweißtechnik

System Dipl.-Ing. Titscher

A. W. FABER-CASTELL · STEIN BEI NÜRNBERG

Vorbemerkung

Seitdem sich die Anwendung der modernen Schweißverfahren nicht nur im Ausbesserungsbau, sondern auch in der industriellen Fertigung einen beherrschenden Rang eroberte, ist ein Rechenstab für Schweißtechniker längst schlechthin unentbehrlich geworden.

Das neue Rechenhilfsmittel ermöglicht durch Erfassung aller Elemente, die bei Durchführung der bekannten Schweißverfahren in Erscheinung treten, die Lösung zweier Aufgaben zugleich:

1. Durchführung einer genauen Vorkalkulation nach Zeit- und Stoffaufwand.
2. Eine technische Kontrolle des Arbeitsvorganges, derart, daß jeder bei der Schweißung im Arbeitsablauf unterlaufene Fehler durch die Rechnung aufgedeckt werden kann.

Fehler unterlaufen, wie die Erfahrung lehrt, doch mitunter, sei es, daß durch zu große Nahtöffnungswinkel oder zu weite Wurzelspalte größere Verschwendungen an Arbeitszeit und Schweißstäben eintreten, sei es, daß zu lange Abfallenden eine Vergeudung von Elektroden allein nach sich ziehen.

Aber auch bei der Gasschmelzschweißung treten zuweilen teuer zu bezahlende Verluste, durch undichte Ventile und Schläuche, durch Arbeitspausen, während welcher der Brenner ungenützt Gas verbraucht, und ähnliches auf.

Der Rechenstab deckt solche Fehler sofort auf. Beobachteten Sie schon einmal, wie der Brennschneider die Herstellung einer Schweißnaht über den Daumen peilt? Und rechneten Sie schon nach, welche vermeidbaren Mehrkosten dem Betrieb durch ungenau vorgearbeitete Schweißnahtflanken erwachsen. Auch hier hilft Ihnen der neue Rechenstab. Mit einer einzigen Zungeneinstellung gibt er die Entfernung der Einschneidelinie von der Stoßkante in Abhängigkeit vom gewählten Nahtwinkel an.

Darüber hinaus löst der Rechenstab Berechnungsaufgaben über Schweißverbindungen mit den Veränderlichen, die dabei zu berücksichtigen sind, in einfacher Weise.*

Beschreibung des Stabes

Der Rechenstab CASTELL „System Schweißtechnik" ist verwendbar

I. als allgemeiner Rechenstab (mit Zungenrückseite) Abb. 1a

II. als Spezialstab (Erklärung hierüber ab Seite 29)

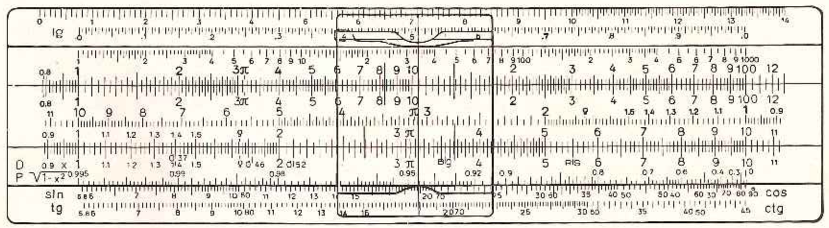


Abb. 1a

Wir teilen die Funktionsleitern des Rechenstabes ein:

1. in die Hauptteilungen A, B, C, D (= x) und R,
2. in die Zusatzteilungen K, P (= $\sqrt{1-x^2}$), L und die trigonometrischen Teilungen.

Die Hauptteilungen

Auch der einfachste allgemeine Rechenstab hat die Teilungen **A** und **B** an der oberen Gleitfuge und **C** und **D** an der unteren Gleitfuge. Man nennt sie deshalb die **Hauptteilungen** des Stabes.

Die Teilungen **A** und **B** sind untereinander gleich und reichen von **1 bis 100.** Die Teilungen **C** und **D** sind ebenfalls untereinander gleich und reichen von **1 bis 10.** Die Teilungen **A** und **D** liegen auf dem festen Teil des Rechenstabes, dem Stabkörper, und werden deshalb auch **Körperteilungen** genannt. Die Teilungen **B** und **C** sind auf dem beweglichen Schieber aufgetragen und heißen daher auch **Schieberteilungen.**

Zu diesen Haupt-Teilungen rechnet man noch die auf dem Schieber zwischen **B** und **C** liegende **rückläufige (reziproke) Teilung R.** Sie reicht von **10 bis 1** (Abb. 2).

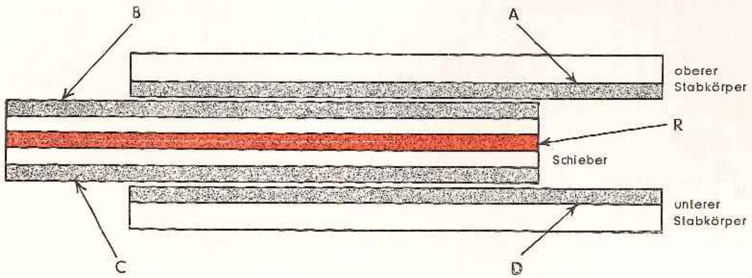


Abb. 2

Diese fünf Teilungen haben am Anfang und Ende kleine Überteilungen, die durch andere Einfärbung hervorgehoben sind.

Für alle Rechnungen, die sich nur aus Multiplikationen und Divisionen zusammensetzen, sollte man vorzugsweise die drei Teilungen **C, D** und **R** benutzen.

Die Zusatzteilungen

Zur Erleichterung der Rechnungen, die über Multiplizieren und Dividieren, Quadrieren und Quadratwurzelziehen hinausgehen, dienen die Zusatzteilungen, die alle mit der Hauptteilung **D** zusammenarbeiten:

Die **Kuben-Teilung K** am oberen Stabrande über **A;** sie reicht von **1 bis 1000** (Abb. 3).

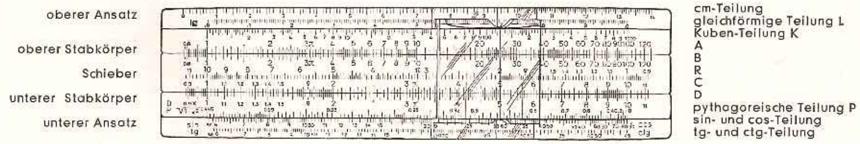


Abb. 3

Die **gleichförmige Teilung L** am oberen Ansatz, die zum Ablesen der dekadischen Logarithmen dient.

Die **pythagoreische Teilung P** ($\sqrt{1-x^2}$) am unteren Stabrande unter **D.** Ihre Verwendung wird später erklärt.

Die Teilungen für die vier **trigonometrischen Funktionen** auf der unteren Schmalkante des Stabkörpers.

Um auf Körper- und Schieberteilungen bestimmte Werte festhalten zu können, ist der **Läufer** aufgesetzt. Man benutzt in den meisten Fällen dessen langen Mittelstrich. Die kleinen Seitenstriche dienen besonderen Rechnungen, die später (Seite 24) erläutert werden.

Wie rechnet man mit dem Stab?

Das Stabrechnen beruht auf den logarithmischen Gesetzen. Bekanntlich erfolgt:

1. die **Multiplikation** der Grundzahlen durch die **Addition** ihrer Logarithmen,
2. die **Division** der Grundzahlen durch die **Subtraktion** ihrer Logarithmen.

Die Logarithmentafel ersetzt also jede Rechenart durch die einfachere Vorstufe. Das Stabrechnen vermeidet auch noch diese leichten Rechnungen, da sie graphisch ausgeführt werden. Demnach wird also auf dem Stabe

aus einer **Multiplikation zweier Zahlen die Zusammensetzung zweier Strecken,**

aus einer **Division zweier Zahlen das Absetzen einer Strecke von einer anderen.**

Wie man graphisch rechnen kann, macht man sich am einfachsten an zwei Millimeterteilungen klar. In Abb. 4 ist die Addition 35 + 45 = 80

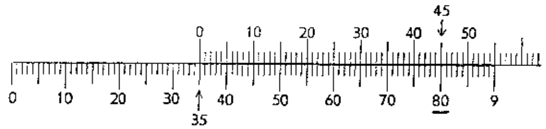


Abb. 4

und in Abb. 5 die Subtraktion 115 — 53 = 62 ausgeführt.

Abb. 5

Die Teilungen des Rechenstabes sind durch Auftragung der **Logarithmen** entstanden, wie es Abb. 6 zeigt.

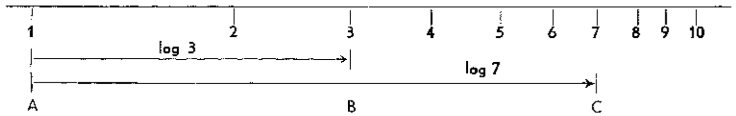


Abb. 6

Die Zahl 3 steht am Endpunkt der Strecke log 3, alle logarithmischen Strecken sind vom linken Anfangspunkt A aus aufgetragen, und dieser selbst muß die Bezeichnung 1 erhalten, denn es ist log 1 = 0.

Führt man die beiden graphischen Rechenoperationen von Abb. 4 und 5 mit den logarithmischen Leitern des Stabes aus, so erhält man nicht Summe und Differenz der beiden Zahlen, sondern ihr **Produkt** und ihren **Quotienten** wie es die Abb. 7 und 8 zeigen.

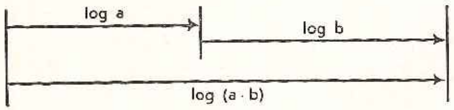


Abb. 7

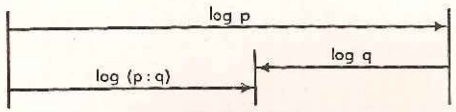


Abb. 8

Alle übrigen Anwendungen der logarithmischen Teilungen sind nur Abwandlungen dieser beiden Grundtatsachen.

Will man nach dem Muster der Abb. 7 und 8 auf dem Stabe rechnen, so muß man die gegebenen Zahlen auf den Teilungen **„einstellen"**. Man muß also die Teilungen zu **„lesen"** verstehen. Es ist demnach einige Übung darauf zu verwenden, den Wert der Teilstriche kennen zu lernen. Man muß dabei immer die ganze Nachbarschaft der Teilung überblicken und sich besonders davor hüten, Zahlen wie 3,04 und 3,4 oder wie 2,14 und 2,18 miteinander zu verwechseln. Ist man in der Kenntnis der Teilstriche sicher, so übe man sich im Einschalten und Schätzen der letzten Ziffern. In der Regel werden die zwei ersten Ziffern mit Sicherheit eingestellt oder abgelesen, die dritte Ziffer geschätzt. Nur wenn die erste Ziffer 1 ist, findet man die ersten d r e i Ziffern mit Sicherheit und muß die v i e r t e schätzen.

Die Erfahrung hat gezeigt, daß die Genauigkeit für die Anwendung in der Praxis vollkommen ausreicht.

Ein Dezimalkomma gibt es beim Multiplizieren und Dividieren auf dem Rechenstabe nicht. Man liest also die Zahlen 13,45; 0,1345; 1345; 1,345 stets nur als die Ziffernfolge 1—3—4—5. Wo im Ergebnis das Komma steht, ist bei Anwendungen meist klar; falls nicht, ergibt sich durch einen Überschlag mit abgerundeten Zahlen.

Graphische Darstellung der Rechenarten

Multiplizieren auf Teilungen C und D

Entweder

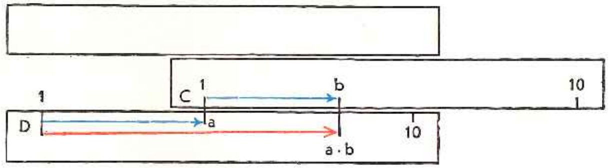


Abb. 9

a · b

oder

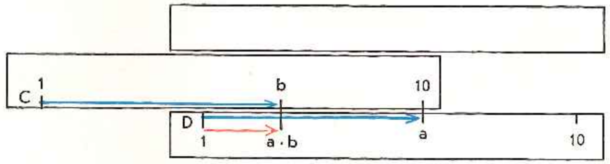


Abb. 10

a · b

Wenn der Schieber zu weit nach rechts gezogen werden müßte, so daß man unter dem Faktor b nicht mehr ablesen könnte, ist die in Abb. 10 gegebene Darstellung zu wählen. Man nennt das „Durchschieben", „Umstellen", auch wohl „Rückschlag".

Beide Teilungen bilden eine **Tabelle;** auf **D** steht das **a-fache** aller Zahlen von **C.**

Bei Tabellenrechnungen vermeidet man das Umstellen des Schiebers, indem man auf den oberen Teilungen **A** und **B** rechnet und eine etwas geringere Genauigkeit in Kauf nimmt.

Dividieren auf den Teilungen C und D

Entweder

$\frac{a}{b}$

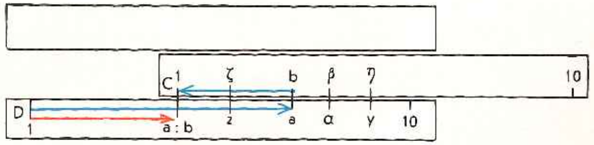


Abb. 11

oder

$\frac{a}{b}$

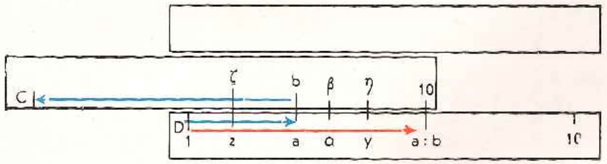


Abb. 12

Man findet das Ergebnis stets unter **dem** Ende der Teilung **C**, das innerhalb des Stabkörpers liegt.

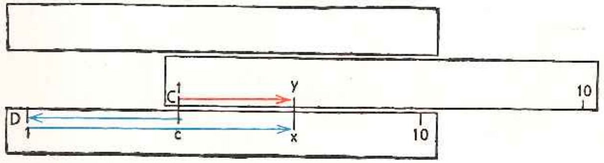
Diese Einstellung liefert eine **Tabelle** aller Zahlenpaare, die im Verhältnis **a : b** stehen.

$$\frac{z}{\zeta} = \frac{a}{b} = \frac{\alpha}{\beta} = \frac{y}{\eta}$$

Auf solche Art lassen sich alle Umrechnungen erledigen, bei denen die vierte Proportionale bestimmt werden muß, etwa:

auf **C** stehen die m, auf **D** die Yards, Einstellung: 75 m sind 82 Ys.

Hat man die Funktion $y = \frac{x}{c}$ für viele x auszurechnen, so empfiehlt sich die in Abb. 13 dargestellte Rechenweise.



$$y = \frac{x}{c}$$

Abb. 13

Multiplizieren und Dividieren mit Verwendung der Teilung R

Die rückläufige rot eingefärbte Teilung **R** (Achtung beim Ablesen!) ist ungeheuer wertvoll, da sie viele Rechnungen erleichtert und andere ermöglicht.

Zunächst stehen auf den Teilungen **C** und **R** alle Zahlen mit ihren **Kehrwerten** untereinander und brauchen nur mit Hilfe des Läufers abgelesen zu werden. Beispiel: 30 und 0,0333; 2,5 und 0,4; 125 und 0,008.

Stellt man die beiden Faktoren a und b auf **D** und **R** übereinander, so erhält man eine sehr bequeme Art des Multiplizierens, da das Produkt stets ablesbar ist, nämlich entweder links (Abb. 14) oder rechts (Abb. 15).

a · b

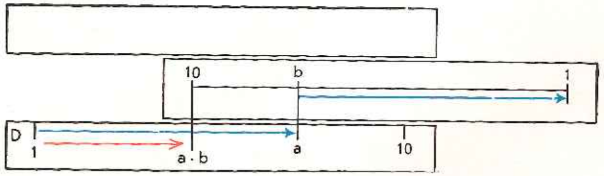


Abb. 14

a · b

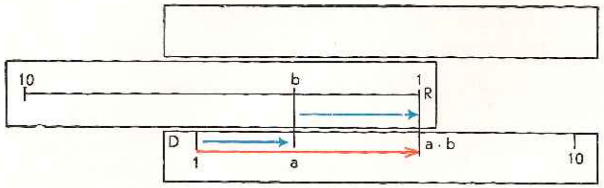
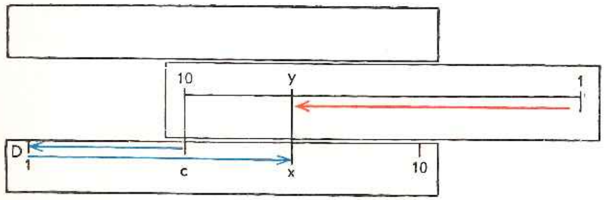


Abb. 15

Hat man die Funktion $y = \frac{c}{x}$ für viele x auszuwerten, so führt Abb. 16 zum Ziel. Zugleich hat man eine Tabelle aller Zahlenpaare, die das Produkt c haben (**umgekehrte Proportionen**).



$$\mathbf{y = \frac{c}{x}}$$

$$\mathbf{x \cdot y = c}$$

Abb. 16

Mit dieser Einstellung kann man auch aus allen möglichen Faktoren der Zahl c die heraussuchen, die der quadratischen Gleichung

$$x^2 + s \cdot x + c = 0$$

genügen, sie müssen nämlich die Summe —s haben.

Mit der rückläufigen Teilung kann man in vielen Fällen ein **Produkt aus drei Faktoren** mit e i n e r Schiebereinstellung finden (Abb. 17). Kehrt man das Verfahren um, so dividiert man zugleich durch zwei Divisoren (Abb. 18).

$a \cdot b \cdot c$

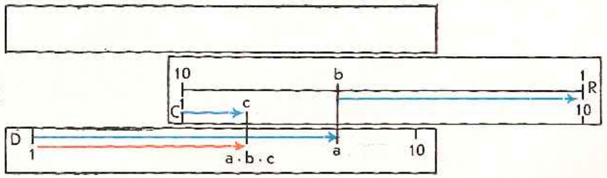


Abb. 17

Bsp.
Flächenberechnung einer Ellipse mit den beiden Halbachsen 15,4 und 6,2 cm.
$F = a \cdot b \cdot \pi = 15{,}4 \cdot 6{,}2 \cdot \pi = \mathbf{300}\ \mathrm{cm}^2;$

$\dfrac{p}{q \cdot r}$

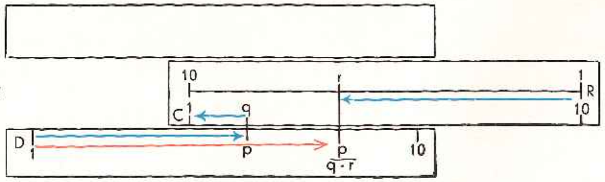


Abb. 18

Bsp.
Bei einem Wechselstrommotor für 220 V wurde bei einem Strom J = 16 A eine Leistungsaufnahme N_w = 2860 W festgestellt. Wie groß ist der Leistungsfaktor cos φ?

$$\cos \varphi = \frac{N_w}{U \cdot J} = \frac{2860}{220 \cdot 16} = \mathbf{0{,}812;}$$
$$(\varphi = 35{,}7°;)$$

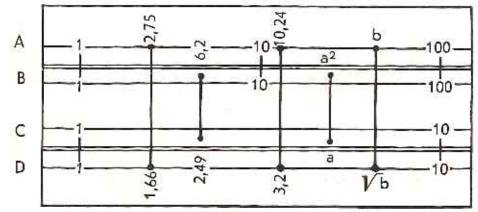
Quadrat und Quadratwurzel

Die beiden oberen Teilungen sind im halben Maßstab aufgetragen. Der Übergang von **D** zu **A** erhebt die auf **D** (der Übergang von **C** zu **B** die auf **C**) eingestellte Zahl ins **Quadrat**. In der umgekehrten Richtung findet man die **Quadratwurzel**, wie es Abb. 19 zeigt.

Bsp.
Flächenberechnung eines Quadrats, dessen Seite 50 dm beträgt.
$F = 50^2 = 2500\ (\mathrm{dm}^2);$

Bsp.
Berechne den Durchmesser einer Welle für
N = 50 PS und n = 400 U/min!

$$d = 12 \cdot \sqrt[4]{\frac{N}{n}} = 12 \cdot \sqrt{\sqrt{\frac{50}{400}}} = 7{,}138\ [\mathrm{cm}]$$



a^2

$\sqrt{b}$

Abb. 19

Beim Quadratwurzelziehen ist es **nicht** gleichgültig, in welcher Hälfte der oberen Teilungen man den Radikanden einstellt, denn $\sqrt{a}$ und $\sqrt{10a}$ sind nicht nur durch die Kommastellung voneinander verschieden. Wir nehmen als Beispiel $\sqrt{6{,}2}$ und $\sqrt{62}$. Stellt man die Ziffern 6—2 **links** ein, so zieht man die Wurzel aus 6,2 = 2,49, stellt man sie **rechts** ein, so findet man die Wurzel aus 62 = 7,88. Man muß sich also nach den angeschriebenen Zahlen 1 . . . 10 . . . 100 richten. Liegt der Radikand außerhalb des Intervalles von 1—100, so verlegt man ihn durch Absondern einer geeigneten Potenz von 100 in dieses Intervall.

Beispiel: $\sqrt{1922} = \sqrt{100 \cdot 19{,}22} = 10 \cdot \sqrt{19{,}22} = 10 \cdot 4{,}38 = 43{,}8$

$\sqrt{0{,}000\,071} = \sqrt{71 : 1\,000\,000} = \sqrt{71} : 1\,000 = 8{,}43 : 1\,000 = 0{,}008\,43.$

Benutzt man beim Rechnen gleichzeitig die unteren und die oberen Teilungen, so kann man viele zusammengesetzte Rechenarten ausführen, wie es die folgenden Figuren zeigen.

Soll während einer Rechnung ins **Quadrat** erhoben werden, so muß man auf den **unteren** Teilungen **beginnen**, damit man auf den oberen zum Ergebnis kommt. Es sind 8 Möglichkeiten vorhanden:

$$(\mathbf{a}\cdot\mathbf{b})^2$$

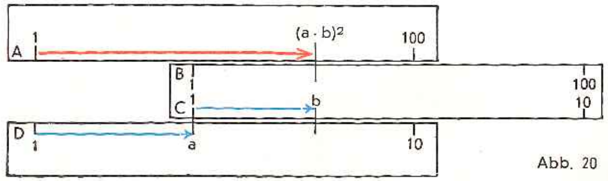


Abb. 20

Bsp.

Berechne das Vol. eines Kreisringes von 18 cm Mitteldurchmesser und 2 cm Stärke!

$$V = \frac{D\cdot\pi^2\cdot d^2}{4} = 4,5\cdot(\pi\cdot 2)^2 = 4,5\cdot 39,4 = \mathbf{177}\ \text{cm}^3;$$

$$\left(\frac{\mathbf{a}}{\mathbf{b}}\right)^2$$

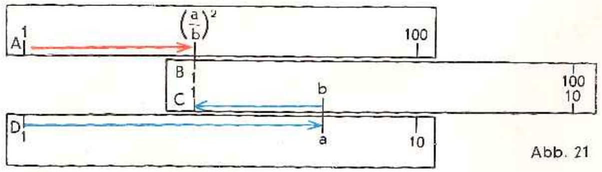


Abb. 21

Bsp.

Bei Verwendung eines 40 m langen Pendels betrug die einfache Schwingungsdauer 6,35 sec. Berechne die Fallbeschleunigung g!

$$g = \frac{\pi^2\cdot l}{T^2} = \left(\frac{\pi}{T}\right)^2\cdot l = \left(\frac{3,14}{6,35}\right)^2\cdot 40 = 0,24522\cdot 40 = \mathbf{9,809}\ \text{m/sec.}^2;$$

$$\mathbf{a}^2\cdot\mathbf{b}$$

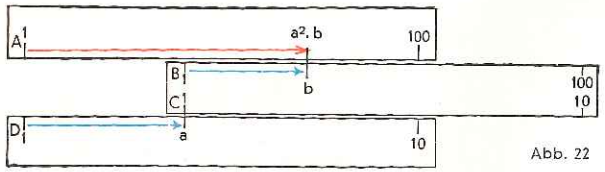


Abb. 22

Bsp.

Volumenberechnung eines Quaders mit quadratischer Grundfläche mit 4 m Grundflächenseite und 3 m Höhe!

$$V = 4^2\cdot 3 = 16\cdot 3 = 48\ (\text{m}^3)$$

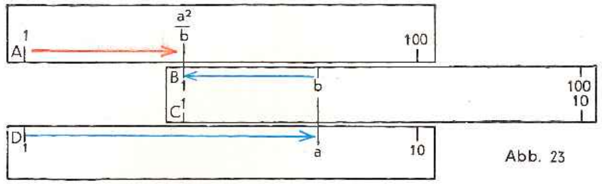


Abb. 23

$$\frac{\mathbf{a}^2}{\mathbf{b}}$$

Bsp.

Berechne die Anzahl der kW, welche ein Widerstand von 40 Ohm beim Anschluß an 220 V aufnimmt!

$$N = \frac{U^2}{R} = \frac{220^2}{40} = 1210\,\text{W} = 1,21\,\text{kW}$$

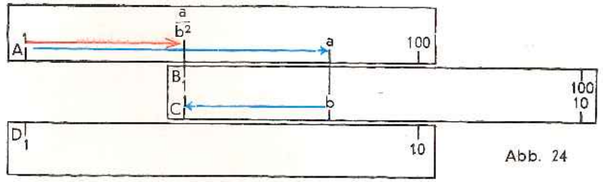


Abb. 24

$$\frac{\mathbf{a}}{\mathbf{b}^2}$$

Bsp.

Gesucht ist der Widerstand einer Wicklung, welche bei einer Stromstärke von 5,4 A 1420 W aufnimmt.

$$R = \frac{N}{J^2} = \frac{1420}{5,4^2} = 48,7\ \Omega$$

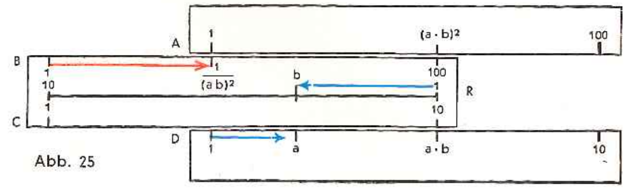


Abb. 25

$$\frac{\mathbf{1}}{(\mathbf{a}\cdot\mathbf{b})^2}$$

Bsp.

Eine Drosselspule ist mit einem Kondensator von 20 Mikrofarad in Reihe geschaltet. Zu ermitteln ist der Selbstinduktionskoeffizient der Spule, wenn bei einer Frequenz von 50 Hz Spannungsresonanz eintreten soll.

$$L = \frac{1\,000\,000}{\omega^2\cdot C} = \frac{1\,000\,000}{(2\pi\cdot f)^2\cdot 20} = 50\,000\cdot\frac{1}{(6,28\cdot 50)^2} = \mathbf{0,507\ H};$$

$\frac{1}{a^2}$

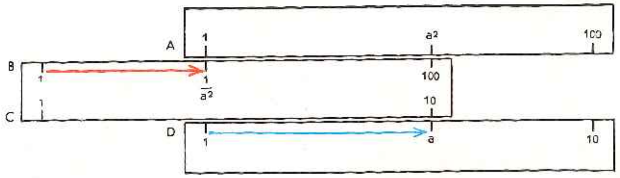


Abb. 26

Bsp.
Es ist der Widerstand R eines Verbrauchers gesucht, der bei einer Leistung N = 1320 Watt, einen Strom J = 6 A aufnimmt.

$$R = N \cdot \frac{1}{J^2} = 1320 \times \frac{1}{6^2} = 36{,}7\ \Omega$$

$\frac{1}{a^2 \cdot b}$

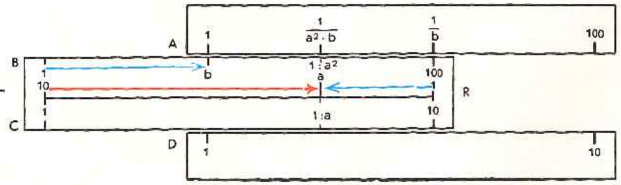


Abb. 27

Bsp.
Die Länge l einer Kupferleitung beträgt 1000 m, ihr Durchmesser 4 mm. Leitfähigkeit des Kupfers

$$k = 56\ \frac{m}{\Omega \cdot mm^2};$$

$$R = \frac{l}{k \cdot \frac{d^2 \cdot \pi}{4}} = l \cdot \frac{1}{k \cdot \frac{\pi}{4} \cdot d^2}$$

$$= 1000 \cdot \frac{1}{\frac{56 \cdot \pi}{4} \cdot 4^2} = \mathbf{1{,}42\ \Omega}$$

Soll aber während einer Rechnung die **Quadratwurzel** gezogen werden, so muß man auf den **oberen** Teilungen **beginnen,** damit man auf den unteren die Wurzel findet. Hierbei muß stets darauf geachtet werden, daß man den Radikanden in der richtigen Teilungshälfte von **A** oder **B** einstellt.

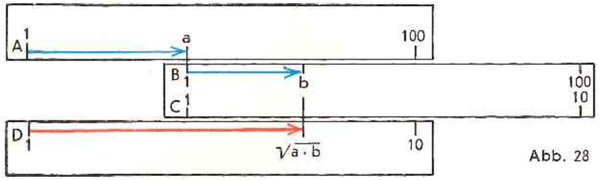


Abb. 28

Bsp.
Ein Rechteck mit den Seiten 2,55 und 6,6 m ist in ein Quadrat zu verwandeln!

$$s_q = \sqrt{2{,}55 \cdot 6{,}6} = 4{,}1;$$

$\sqrt{a \cdot b}$

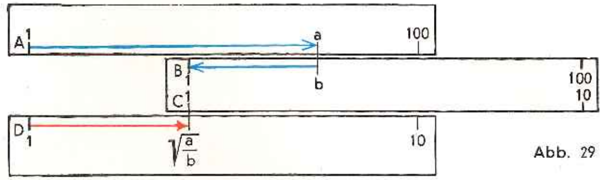


Abb. 29

Bsp.
Der Foucaultsche Versuch wurde mit einem Pendel von 53 m durchgeführt. Wie groß war die einfache Schwingungsdauer des Pendels, wenn die Gravitationskonstante g für den Versuchsort 9,809 $\frac{m}{sec.^2}$ betrug?

$$T = \pi \cdot \sqrt{\frac{l}{g}} = \pi \sqrt{\frac{53}{9{,}809}} = 7{,}3\ sec.$$

$\sqrt{\frac{a}{b}}$

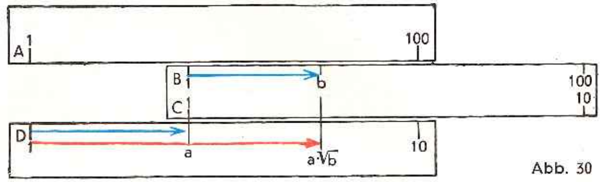


Abb. 30

Bsp.
Bei einer Motorsternschaltung ist die Phasenspannung 220 V. Wie groß ist die Gesamtspannung?

$$U = U_p \cdot \sqrt{3} = 220 \cdot \sqrt{3} = 380\ V;$$

$a \cdot \sqrt{b}$

$$\frac{a}{\sqrt{b}}$$

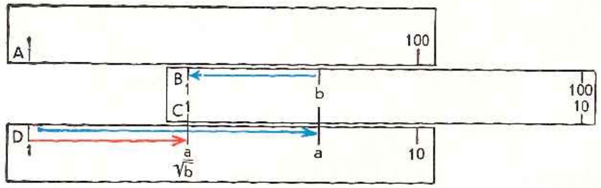


Abb. 31

Bsp.

Berechne die Hypotenusenabschnitte eines rechtwinkeligen Dreiecks, wenn dessen Höhe 5,46 m und der eine Hypotenusenabschnitt doppelt so groß ist wie der andere!

$$h^2 = p \cdot 2p = 2p^2;$$

$$p = \sqrt{\frac{h^2}{2}} = \frac{h}{\sqrt{2}} = 3{,}86;\ q = 7{,}72;$$

$$\frac{\sqrt{a}}{b}$$

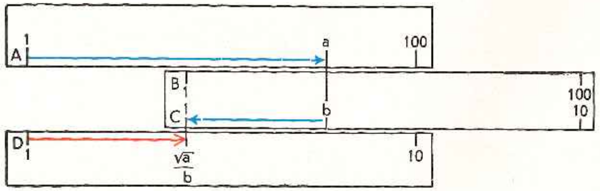


Abb. 32

Bsp.

Eine Saite von 0,7 m Länge, 2 mm Dicke und 0,8 g/cm³ spezifischem Gewicht, wird von einer Kraft P = 6 kg gespannt. Berechne die Schwingungszahl n ihres Tones!

$$n = \frac{\sqrt{\frac{P \cdot g}{\pi \cdot s}}}{2 \cdot l \cdot r} = \frac{\sqrt{\frac{6000 \cdot 981}{3{,}14 \cdot 0{,}8}}}{2 \cdot 70 \cdot 0{,}1} = \frac{\sqrt{2343000}}{14}$$

$$= \frac{1531}{14} = \mathbf{109;}$$

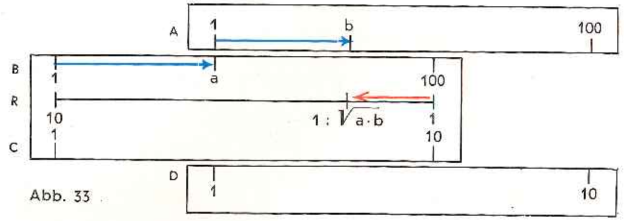


Abb. 33

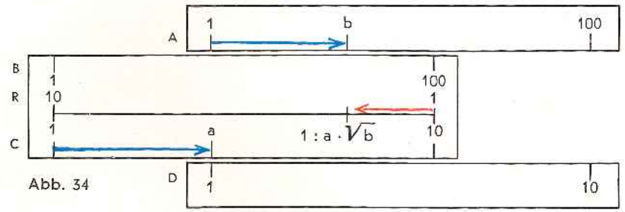


Abb. 34

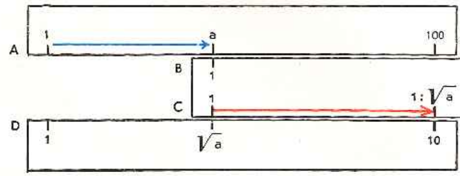


Abb. 35

$$\frac{1}{\sqrt{a \cdot b}}$$

Bsp.
Bei welcher Winkelgeschw. u. Frequenz tritt Spannungsresonanz ein, wenn man einen Kondensator von 2,3 Mikrofarad und eine Drosselspule von 5,8 Henry in Reihe schaltet?

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{L \cdot C}}$$ wobei L = Induktivität in H u. C = Kapazität in F

$$\omega = 1000 \cdot \frac{1}{\sqrt{5{,}8 \cdot 2{,}3}} = 1000 \cdot 0{,}274 = 274;$$

$$f = \frac{\omega}{6{,}28} = \frac{274}{6{,}28} = 43{,}6\ \text{Hz};$$

$$\frac{1}{a \cdot \sqrt{b}}$$

Bsp.
Das Wattmeter eines Drehstromgenerators, dessen verkettete Spannung 7 kV beträgt, zeigt 5600 kW an. cos φ = 0,83. Wie groß ist die Stromstärke?

$$J = \frac{5600000}{\sqrt{3} \cdot 7000 \cdot 0{,}83} = 800 \cdot \frac{1}{\sqrt{3} \cdot 0{,}83} = 800 \cdot 0{,}695 = \mathbf{556\ A;}$$

$$\frac{1}{\sqrt{a}}$$

Bsp.
Umwandlung von 120 V Einphasenwechselstrom in Gleichstrom mittels Einankerumformer.

$$U_g = \frac{2 \cdot U}{\sqrt{2}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot 2U = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot 240 = 170\ \text{V}$$

Endergebnis über D 240 = 169,6 V oder: B 2 über D 240 stellen, Endergebnis unter C 1 = **169,6 V;**

Kubus und Kubikwurzel

Die Teilung **K** ist im Maßstabe 1 : 3 aufgetragen. Geht man von der Teilung **D** zu **K** über, so erhebt man die Zahl in die **dritte Potenz**, geht man von **K** zu **D** über, so zieht man die **dritte Wurzel**, wie es Abb. 36 zeigt. Beim Einstellen des Radikanden einer Kubikwurzel hat man die eingetragenen Werte

$a^3 \quad \sqrt[3]{a}$

$a^{\frac{3}{2}} \quad a^{\frac{2}{3}}$

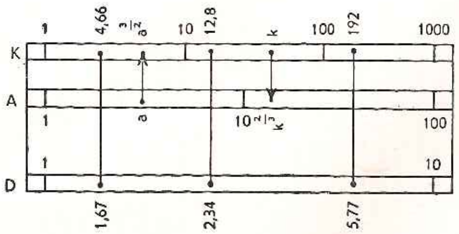


Abb. 36

1 . . . 10 . . . 100 . . . 1000 der Teilung **K** zu beachten. Liegt der Radikand nicht im Intervall von 1 bis 1000, so verlegt man ihn durch Absondern einer geeigneten Potenz von 1000 in dieses Intervall.

Beispiel: $\sqrt[3]{1\,260\,000} = \sqrt[3]{1000^2 \cdot 1{,}26} = 10^2 \cdot \sqrt[3]{1{,}26} = 100 \cdot 1{,}08 = 108$

$\sqrt[3]{0{,}32} = \sqrt[3]{320 : 1000} = \sqrt[3]{320} : 10 = 6{,}84 : 10 = 0{,}684.$

Bringt man die Kubenteilung mit **A** in Verbindung, so erhält man Potenzen mit den Exponenten $^3/_2$ und $^2/_3$ wie es Abb. 36 zeigt.

Das Ziehen vierter Wurzeln

kann durch zweifaches Ziehen der Quadratwurzel oder einfacher wie folgt vorgenommen werden: Man zieht zunächst die Quadratwurzel und verschiebt bei der erhaltenen Läuferstellung die Zunge solange, bis sich bei ein- und zweistelligen Zahlen unter C 1, bei drei- und vierstelligen Zahlen unter C 10 auf D derselbe Wert wie auf C unter dem Läuferstrich ergibt.

Beispiel 1: $\sqrt[4]{58}$ C 1 über D 2,76 = C 2,76 unter dem Läuferstrich.

Beispiel 2: $\sqrt[4]{947}$ C 10 über D 5,55 = C 5,55 unter dem Läuferstrich.

Werte $x^{3/4} = \sqrt[4]{x^3}$ werden durch Ziehen der vierten Wurzel wie oben und Ablesen des Kubus über C 1, (C 10) auf der K-Teilung ermittelt.

Beispiel: $\sqrt[4]{15^3} = 7{,}6.$

Die pythagoreische Teilung P

Diese Teilung stellt die Funktion $y = \sqrt{1-x^2}$ dar; sie arbeitet mit **D** (= x) zusammen, deren Werte man von 0,1 bis 1 lesen muß. Die Teilung ist gegenläufig, daher rot gefärbt. Siehe auch Seite 25—29!

Beispiel: x = 0,8 y = 0,6 (Abb. 37)
sin α = 0,134 cos α = 0,991

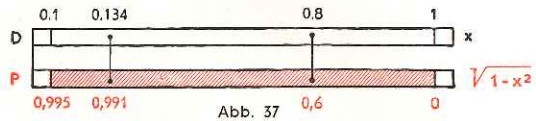


Abb. 37

Bsp.

Berechne Wirkstrom und Blindstrom eines Stromkreises, der bei 22 V 35 A aufnimmt!

cos φ = 0,8.

$J_W = J \cdot \cos\varphi = 35 \cdot 0{,}8 = 28$ (A);

$J_B = J \cdot \sin\varphi = 35 \cdot 0{,}6 = 21$ (A);

$\sqrt{1-x^2}$

Die gleichförmige Teilung L

Diese Teilung arbeitet mit **D** zusammen und erlaubt das Ablesen der **dekadischen Logarithmen**, ersetzt also eine **dreistellige Logarithmentafel.** Man liest nur die Mantissen ab, die Kennziffer hat man, wie bei der Tafel, selbst hinzuzufügen.

Beispiel: lg 52 = 1,716 (Abb. 38)
lg x = 3,574 x = 3 750

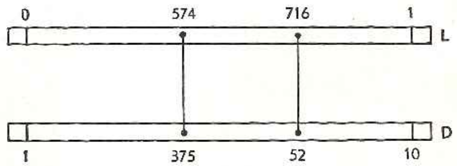


Fig. 38

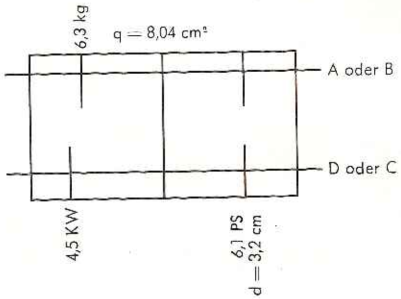
lg x

Der Läufer

Auch die fünf Striche des Läufers kann man als eine Teilung betrachten. Stellt man den rechten unteren Strich des Läufers auf einen **Kreisdurchmesser** der Teilung **D,** so zeigt der Hauptstrich oben auf der Teilung **A** den **Kreisquerschnitt** (Abb. 39), und stellt man den rechten kleinen Strich auf eine Anzahl **PS** auf **D,** so zeigt der linke kleine Strich die entsprechende Zahl **kW** auf **D.**

d — q

PS — kW



Stellt man schließlich den rechten unteren Strich auf den Durchmesser eines Rundeisens auf D ein, so kann man am linken oberen Strich auf A das Metergewicht ablesen.

Beispiel: Betonrundstahl d = 3,2 cm. Rechten Strich auf D 3,2 gestellt, ergibt auf linkem Strich A 6,3 kg. Der Gebrauch des rechten oberen Läuferstriches wird in Abschnitt II (Seite 32) erläutert.

Die trigonometrischen Teilungen mit dezimaler Unterteilung

Benutzung der Teilungen als Tafeln

Liest man die sin-cos-Teilung von links nach rechts mit den **schwarzen Ziffern,** so ergibt sie mit **D (schwarz)** eine **Sinustafel,** liest man sie von rechts nach links mit den **roten Ziffern,** so ergibt sie mit **P (rot)** ebenfalls eine **Sinustafel.** Bei kleinen Winkeln ist das erste, bei großen Winkeln das zweite Verfahren genauer. In Abb. 40 ist sin 76° einmal mit 0,97, das andere Mal genauer mit 0,9703 abgelesen.

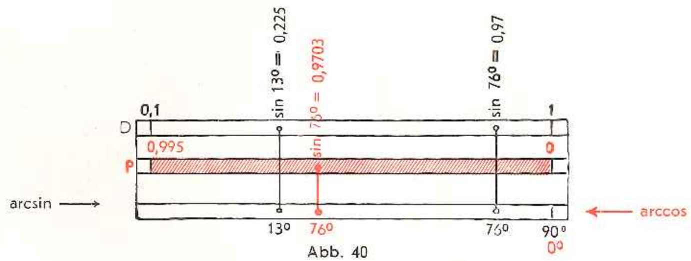


Abb. 40

sin α

Liest man die sin-cos-Teilung von rechts nach links mit den **roten Ziffern,** so ergibt sie mit **D (schwarz)** eine **Kosinustafel,** liest man sie links nach rechts mit den **schwarzen Ziffern,** so ergibt sie mit **P (rot)** ebenfalls eine **Kosinustafel.**

Bei großen Winkeln ist das erste, bei kleinen Winkeln das zweite Verfahren genauer. In Abb. 41 ist cos 11° einmal als 0,982, das andere Mal genauer als 0,9816 abgelesen.

cos α

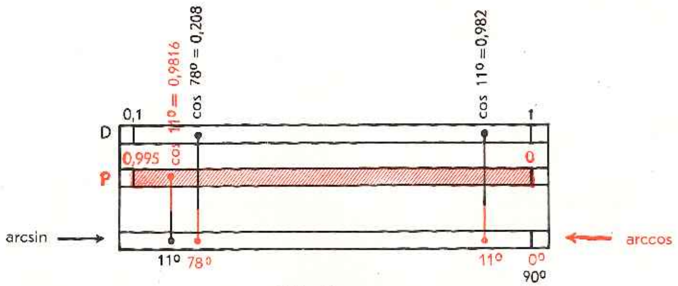


Abb. 41

Diese Ablesemöglichkeiten kann man sich leicht durch folgende **Farbenregel** einprägen:
Bei gleichen Farben liest man den Sinus, bei ungleichen Farben liest man den Kosinus ab.
Liest man die tg-ctg-Teilung von links nach rechts mit den **schwarzen Ziffern,** so ergibt sie mit **D (schwarz)** eine **Tangenstafel.** Liest man sie von rechts nach links mit den **roten Ziffern,** so ergibt sie mit **D (schwarz)** eine **Kotangenstafel.** Es scheint zunächst, als könne man die Tangenswerte nur von Winkeln unter 45⁰ und die Kotangenswerte nur von Winkeln über 45⁰ ablesen. Da aber tg α und ctg α reziproke Werte sind, erlaubt die Benutzung der Teilung **R** die Ablesung aller Werte, wie die Beispiele der Abb. 41 zeigen. Es gehören nämlich zusammen

beim Tangens	unter 45⁰ über 45⁰	die schwarzen Zahlen und **D** oder **C** die roten Zahlen und **R**
beim Kotangens	unter 45⁰ über 45⁰	die schwarzen Zahlen und **R** die roten Zahlen und **D oder C**

Es gibt also eine entsprechende **Farbenregel** auch für diese Funktionen:
Bei gleichen Farben liest man den Tangens, bei ungleichen Farben liest man den Kotangens.

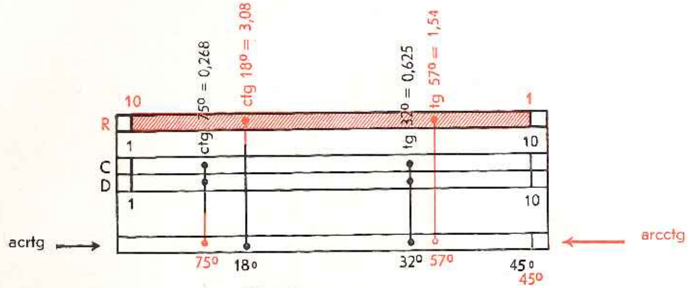


Abb. 42

tg α

ctg α

Funktionen kleiner Winkel

Auf diese Weise kann man die trigonometrischen Funktionen herunter bis etwa zu 5,7⁰ ablesen, denn $\sin 5{,}7^0 \approx \operatorname{tg} 5{,}7^0 \approx 0{,}1$. Will man sie zu noch kleineren Winkeln ablesen, so bedient man sich der Beziehungen

$$\sin \alpha \approx \operatorname{tg} \alpha \approx \operatorname{arc} \alpha \approx 0{,}01745 \cdot \alpha.$$

Bei 1—7—4—5 ist die Marke ϱ eingetragen, so daß man nach dem Muster von Abb. 42 ablesen kann:

$$\sin 3^0 \approx \operatorname{tg} 3^0 \approx \operatorname{arc} 3^0 \approx 0{,}0524.$$

Der Fehler liegt unter 2,5⁰/₀₀.

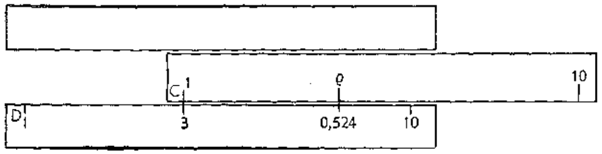


Abb. 43

Um den Kosinus eines kleinen Winkels zu finden, benützt man

$$\cos\alpha = 1 - 2\cdot\sin^2\frac{\alpha}{2} \approx 1 - \frac{(\operatorname{arc}\alpha)^2}{2} \approx 1 - 1{,}52\cdot 10^{-4}\,\alpha^2,$$

für den Kotangens

$$\operatorname{ctg}\alpha = \frac{1}{\operatorname{tg}\alpha} \approx \frac{1}{\operatorname{arc}\alpha} \approx \frac{57{,}3}{\alpha}.$$

Das Rechnen mit den trigonometrischen Teilungen

Will man vom Sinus eines Winkels zu seinem Kosinus übergehen (oder umgekehrt), so braucht man den Winkel nicht abzulesen. Auf **D** und **P** stehen diese Wertpaare untereinander. Auch beim Übergang vom Tangens zum Kotangens spart man das Ablesen des Winkels, denn diese Wertpaare stehen auf **C** und **R** untereinander. Nur wenn man vom Sinus oder Kosinus zum Tangens oder Kotangens übergehen will, muß man dazwischen den Winkel ablesen.

Da man beim Ablesen der Funktionen diese entweder auf **D** oder **R** erhalten kann, kann man in vielen Fällen Multiplikationen und Divisionen sofort anschließen. Nur wenn die Ablesung auf **P** erfolgt, muß man den Wert auf die Hauptteilungen übertragen.

Gebrauch als Rechenstab „Schweißtechnik"

Zungenvorderseite in Verbindung mit der Kurzanleitung auf der Stabrückseite, Abb. 1 und 2

Die folgende Anleitung wendet sich an den Schweißfachmann, kann also nicht etwa als eine Einführung in die Schweißtechnik aufgefaßt werden. Trotzdem wurde auf die schweißtechnischen Einzelheiten, soweit sie zum Verständnis des Rechnungsganges nötig sind, eingegangen.

A) Elektrische Lichtbogenschweißung.

1. Hand- und Automaten-Nahtschweißung.

Strombelastung, Polung, Lichtbogenlänge der Elektrode und dergleichen sind den Firmenkatalogen zu entnehmen.

Das Gewicht des stündlich abgeschmolzenen und nutzbaren Schweißgutes, hier mit Leistungsgrad L bezeichnet, wurde in Abhängigkeit von Stabdurchmesser und jeweiliger Nahtlage als arithmetisches Mittel der derzeit für Kessel-, Stahl- und Brückenbauschweißungen meist angewendeten Sorten ermittelt. Für besonders heißgehende, Schlepp- und Tiefbrandelektroden ist L den Firmenkatalogen zu entnehmen, in denen es als in pausenloser Schweißung abgeschmolzenes wirksames Gewicht erscheint. In Tabelle 1 sind diese Werte, wie schon erwähnt, als Mittelwerte unter Automatenschweißung aufgeführt, berücksichtigen also keine Nebenzeiten. Die daraus errechneten Arbeitszeiten entsprechen also der reinen Schweißzeit.

Dagegen stellen die Werte für Werkstatt- und Baustellenschweißung, wobei letztere dem „Hand-Schweißbetrieb", HSB, gleichgestellt werden, stündliche Abschmelzleistungen dar, welche bereits die erforderlichen Nebenzeiten für Heften und Schlackenputzen berücksichtigen und nach den Erfahrungen der letzten Jahre zusammengestellt wurden. Es hängt natürlich wesentlich auch vom Fleiß des Schweißers ab, ob diese Leistungen erreicht oder überboten werden. In der Spanne zwischen Werkstattschweißung und Automatenschweißung und von dieser zur Baustellenschweißung liegen Zeitreserven, die entsprechende Vorgaben beim Schweißen im Gedinge festzusetzen gestatten, wobei aber stets die Güte der Naht zu berücksichtigen ist. Baustellenschweißungen sind manchen Behinderungen ausgesetzt, Werkschweißungen können durch Rationalisierung, z. B. Entlastung des Schweißers vom Entschlacken, Benützen von Kranen und Drehvorrichtungen usw. zuweilen nahezu an die Automatenschweißung herankommen.

Der Rechenstab ermöglicht es dem Schweißfachingenieur, an Hand der nachstehenden Erklärungen den Leistungsgrad jedes einzelnen Schweißers leicht zu berechnen. Dabei wird allgemein zum Ausgleich für einen mit je 10% angenommenen Spritz- und Stummelverlust statt der tatsächlichen Stabkerngewichte ein um 20% verringertes Gewicht in Rechnung gesetzt, ausgenommen bei der E.-H.- und Elliraschweißung.

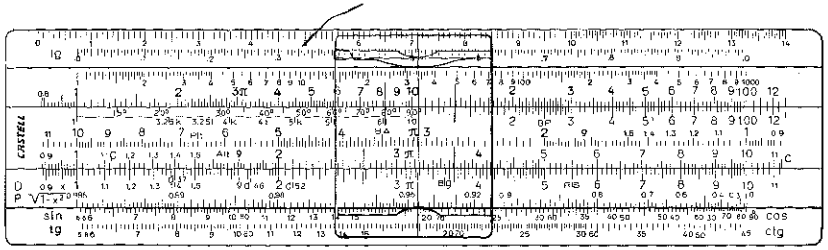


Abb. 1

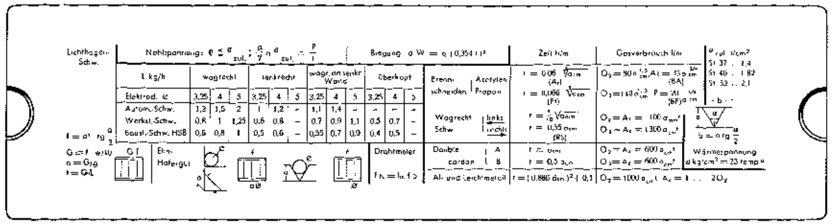


Abb. 2

Die Marken	3.25/k	3.25/l	4/k	4/l	5/k	5/l	6/l
entsprechen den red. Gewichten . .	0,0189	0,0242	0,0286	0,0364	0,0448	0,0575	0,0824
der Elektroden ⌀	3,25/350	3,25/450	4/350	4/450	5/350	5/450	6/450

An der oberen Hilfsteilung H der Zunge sind die Werte für $\operatorname{tg}\frac{\alpha}{2}$ vermerkt, entsprechend dem jeweiligen Schweißnahtwinkel α.

Tabelle 1

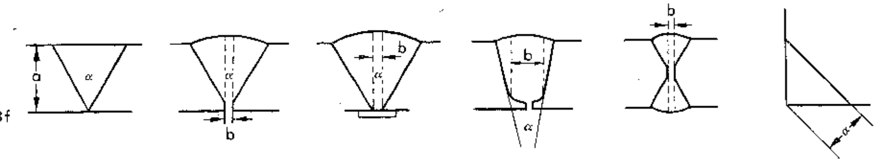
Leistungsgrad kg/h*	wagrecht			senkrecht			wagr. an senkr. Wand			Überkopf		
Elektroden ⌀	3,25	4	5	3,25	4	5	3,25	4	5	3,25	4	5
Automatenschweißg.	1,2	1,5	2	1	1,2	—	1,1	1,4	—	—	—	—
Werkstattschweißg.	0,8	1	1,25	0,6	0,8	—	0,7	0,9	1,1	0,5	0,7	—
Baustellenschweißung und HSB	0,6	0,8	1	0,5	0,6	—	0,55	0,7	0,9	0,4	0,5	—

* Gewicht des stündlich abgeschmolzenen nutzbaren Schweißgutes.

Für dünn umhüllte, Seelenstäbe und solche mit kalkbasischem Mantel sind obige Werte mit 0,7 zu vervielfachen, nicht aber für Kb-Stäbe mit Stahlpulverzusatz im Mantel. Für diese ermäßigt sich die benötigte Elektrodenzahl auf das 0,8 fache der berechneten. Für Hochleistungselektroden kann wagrecht, (senkrecht) mit den 1,5 fachen Tafelwerten gerechnet werden.

Für 1 m Nahtlänge ergibt sich für den geometrischen Nahtquerschnitt, Abb. 3a:

Abb. 3a — 3f



$f = a^2 \operatorname{tg}\frac{\alpha}{2}$ . . . . (1) a_{cm} = Blechdicke oder Kehlnahthöhe, Abb. 3a—f.

α = Nahtwinkel in Gr.

f_{cm^2} = Querschnittfläche der Naht

$G = 100\ fw/1000;$

$G = fw/10$ . . . . (2)

$n = G/g$ . . . . (3)

$t = G/L$ . . . . (4)

w = Wichte für Stahl = 7,85; dieser Zahl entspricht der Abstand eines Läuferseitenstriches vom Mittelstrich auf der Quadratteilung

Gkg = Gewicht der Schweiße von 1 m Nahtlänge, g_{kg} = das um 20% verringerte Kerngewicht eines Schweißstabes

n = Anzahl der für 1 m Naht erforderlichen Schweißstäbe.

L = stündliches wirksames Abschmelzgewicht in kg, Leistungsgrad nach Tabelle 1, (Stabrückseite).

t = für 1 m erforderliche Arbeitszeit in Stunden.

Zur einfachen und raschen Lösung dieser Gleichungen führen die an der Zunge angeordneten Hilfsteilungen, wie im folgenden Beispiel gezeigt wird:

Geg.: a = 15 mm, α = 60°, L = 0,8 kg/h, Elektroden 4/450 mm, (Marke 4/I). Stelle 1 der Teilung C (je nach Blechdicke kann auch 10 der Teilung B oder 10 der Teilung C gewählt werden) über den Wert für die Blechdicke 1,5 der Teilung D, hierauf den **rechten** Seitenstrich des Läufers über 60° der Hilfsteilung H, wodurch sich über dem rechten Läuferstrich auf Teilung A der Nahtquerschnitt f = 1,3 cm² und zugleich auf dem Läufermittelstrich das Gewicht der Schweiße mit G = 1,02 kg ergibt, Abb. 4. Nach Abb. 5 wird nun bei gleichbleibender Stellung des Läufers mittels der Teilung A und der rechten Quadratteilung B die Division G/L durchgeführt (also 1,02 : 0,8), was die Arbeitszeit 1,27 h ergibt. Nach Abb. 6 wird mit denselben Teilungen auch die Division G/g durchgeführt (also 1,02 : 0,0364), Ergebnis n = 28 St. Elektroden 4/450 mm.

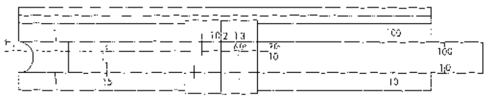


Abb. 4

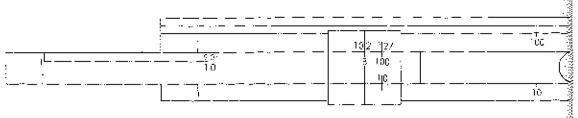


Abb. 5

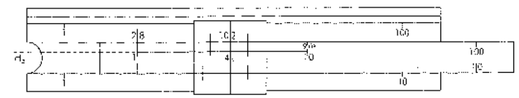


Abb. 6

Bei Nahtformen nach Abb. 3c, 3e sind Wurzelspalt und Nahtwulst zu berücksichtigen. Die Rechteckfläche über dem Spalt wird im Kopf berechnet und jener mit der ersten Läufereinstellung erhaltenen, zugezählt, der rechte Läuferstrich auf den neuen Wert eingestellt, dann wie gewohnt, weiter gerechnet.

Beispiel: Für Wurzelspalt 2 mm wird f = 1,3 + (0,2 · 1,5) = 1,6 cm² und G = 1,26. Dann wird wie gewohnt weitergerechnet.

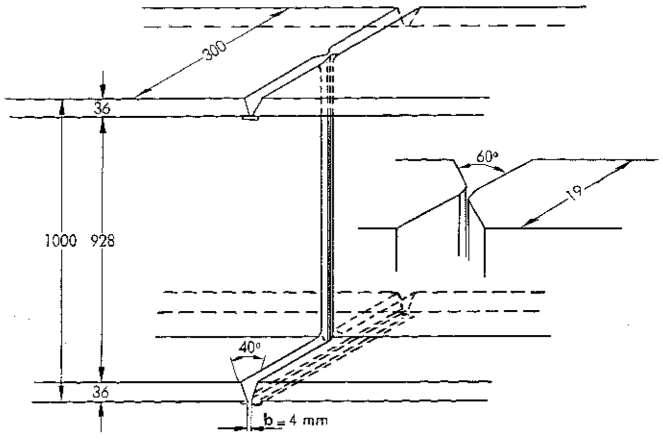
Die Nahtwölbung wird dadurch berücksichtigt, daß man von vornherein, je nach Blechdicke und Elektrodensorte, 1 . . . 3 mm zur vorliegenden Blechdicke zuzählt und damit weiterrechnet. Bei Nahtform b entfällt die Berücksichtigung des Nahtwulstes, die Tulpe wird als Summe der mittleren Rechteckfläche a·b und der V-Fläche (Seitenflanken zu einem V vereinigt) leicht berechnet, bei X-Nähten jede Hälfte als V-Naht mit dem zugehörigen L (bei Zwangslagenschweißung für die unten liegende Naht L für Überkopfschweißung einsetzen!) errechnet.

Bei Kehlnähten mit α = 90° wird der rechte Läuferstrich sofort über a der Teilung D gestellt und mit dem am Mittelstrich erhaltenen G wie oben t und n berechnet. Berücksichtigung des Nahtwulstes wie oben!

Wurzelgegenschweißungen sind ausgehend vom Auskreuzquerschnitt zu berechnen.

Soll eine Naht an der Wurzel mit dünnen, darüber mit dicken Stäben geschweißt werden, wird mit dem Rechenstab zunächst die Gesamtfläche f, dann die untere Teilfläche f_1 wie gewohnt berechnet, t und n ermittelt, aus $f—f_1$ ebenfalls die gefragten Werte für t und n gebildet, sodann addiert.

Die anfangs geübte, einfache Berechnung des Stellenwertes geht sehr rasch in die gefühlsmäßig bestimmte über.



Stoßschweißung an einem I P 100 Abb. 7

2. Beispiel, Abb. 7
Berechnung der Stoßschweißung eines IP 100 in Zwangslage.

a) Stegblech. Senkrechtschweißung, $\alpha = 60^0$, X-Naht, $l \cong 1$ m, b = 3 mm, Elektroden 3,25/350 mm, L nach Tabelle 1 ... 0,6 kg/h. Statt a = 19/2 wird zur Berücksichtigung der Überwölbung $a_1 = 22/2 = 11$ mm in Rechnung gesetzt. Es ergibt sich f = 0,7 cm², Spaltrechteck fs = 1,1 · 0,3 cm = 0,33 cm², f_1 = 1,03 cm².
$\left.\begin{array}{l}G = 0{,}81 \text{ kg, } t = 1{,}35 \text{ h} \\ \qquad n = 43 \text{ St:}\end{array}\right\}$
mal 2 =
$\left\{\begin{array}{l}t = 2{,}7 \text{ h} \\ n = 86 \text{ Elektroden } 3{,}25/350 \text{ mm}\end{array}\right.$
(Marke 3,25 k)

b) Gurtungen. Wagrechtschweißung, $\alpha = 40^0$, V-Naht mit Blechunterlage, a = 36 mm, a_1 = 39 mm, b = 4 mm, l = 2 · 0,3 m, 5/450 mm Stäbe, L = 1,25.

Die Einstellungen ergeben:
f = 5,5 cm², fs = 1,56 cm², f_1 = 7,06 cm², G = 5,56 kg, t = 4,5 h, n = 97 St. mal 0,6: t = 2,7 h, 59 Stäbe 5/450 mm.
Gesamtaufwand t = 5,4 h, 86 St. Elektroden 3,25/350 mm, 59 St. Elektroden 5/450 mm.

Rechnungsanleitung für beliebige Schweißstabdurchmesser, Längen- und Querschnitte. Bündelschweißung.

Bei Elektrodendurchmessern von 2,5 bis 8 mm sowie beliebigen Abschmelzquerschnitten (Bündelschweißung) lassen sich Strombelastung und Leistungsgrad für Mantelstäbe (amerik. Norm 6011, -12, -13, -16, -20) genügend genau berechnen nach der Beziehung Strombelastung = 38 d_{mm}, $L_{kg/h} = 0{,}38 \cdot d_{mm}$

Bei d = 2 mm wird die Strombelastung = $30 \cdot d_{mm}$ und $L_{kg/h} = 0{,}3\ d_{mm}$

Beim Bündelschweißen (2 und mehr Stäbe gebündelt) wird aus dem vorhandenen Querschnitt ein ideeller Kreisquerschnitt gebildet und mit diesem wie oben gerechnet.

Man erhält somit allgemein zunächst die L für die reine Schweißzeit (bereits um 20% vermindert) und bildet daraus durch Vervielfältigen mit 2/3 = 0,66 bzw. 0,5 die L für Werkstätten- und Baustellenschweißung oder auch die L für Zwangslagenschweißung nach den Verhältniszahlen der Tabelle 1.

Für dünn umhüllte und kalkbasische Stäbe ohne Stahlpulver im Mantel ist noch mit 0,8 zu multiplizieren.

Beispiel 1: Bestimmung von L für senkrechte Werkstättenschweißung mit 2-mm-Stäben:

$L = 0{,}3 \cdot 2 \cdot 0{,}66 \cdot \frac{0{,}6}{0{,}8} \cong 0{,}3$ kg/h. (0,6 für Senkrecht- und 0,8 für Wagrechtschweißung nach Tabelle 1)

Beispiel 2: Baustellenwagrechtschweißung, 6-mm-Mantelstab.

J = 6 · 38 = 228 Amp. L = 0,38 · 6 · 0,5 = 1,14 kg/h.

Beispiel 3: Bündelschweißung, 2 Stäbe d = 4 mm, dünn umhüllt, Werkstättenwagrechtschweißung.

f = 12,55 mm², 2f = 25,1 mm²; der ideelle Durchmesser d_i = 5,65 mm

J = 5,65 · 38 = 215 Amp. L = 2,15 · 0,75 · 0,8 = 1,29 kg/h.

Da auf dem Rechenschieber Gewichtsmarken nur von 3,25 ... 6 mm Stäben vorhanden sind, können die erforderlichen Stabzahlen für Elektroden beliebiger Länge nach der unter dem Elliraverfahren gezeigten Methode über die zunächst nach der Gleichung l_m = f Naht/f Draht ermittelten Meterlängen nach der Gleichung $n = 1{,}2 \cdot l_m$/Stablänge erhalten werden.

Beispiel: V-Naht, a = 25 mm, $\alpha = 70^0$, 6-mm-Elektroden, 450 mm lang, l_m = 15,5, n = 1,2 · 15,5/450 = 42 St.

2. El. Auftragschweißung

Ist man sich über die Höhe des erforderlichen Auftrages mit Berücksichtigung der Zugabe für die nachfolgende Bearbeitung, (spanabhebend oder Überschmiedung) klar, läßt sich zunächst das Zusatzvolumen, zweckmäßig in cm^3 errechnen; man stellt über dieses Volumen v auf Teilung A den rechten Läuferstrich, liest unter dem Mittelstrich das aufzuschweißende Gewicht ab und rechnet damit, wie gewohnt weiter.

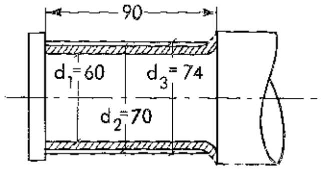


Abb. 8

Bei Auftrag an Wellen, Tragzapfen oder beliebigen Rotationskörpern, wählt man einen der verschiedenen geometrischen Rechnungswege. Häufig wird die Anwendung des Lehrsatzes von Dendelin: Volumen eines Rotationskörpers ist gleich Querschnitt der erzeugenden Fläche mal Weg ihres Schwerpunktes, zur raschen Lösung führen.

Beispiel: Nebenstehend skizzierter Tragzapfen soll durch Auftragschweißung von einem vorhandenen Durchmesser 60 mm auf einen Bearbeitungsdurchmesser von 70 mm gebracht werden, Schweißzugabe 4 mm im Durchmesser.

a) Methode der Wellen-Metergewichte.

Stelle den rechten unteren L.-Strich auf D 74 und lies unter dem linken oberen Strich das Gewicht/m, 33,8 kg ab; ebenso mit D 60 eingestellt, ergibt 22,2 kg, die Differenz (Rohrgewicht) mit der Länge 90 mm vervielfacht, ergibt das Gewicht der Auftragschweißung mit 1,044 kg.

b) Nach dem Lehrsatz von Dendelin.

$v = f \cdot d_s \cdot \pi = 0{,}7 \cdot 9 \cdot 6{,}7 \cdot \pi = 132{,}7$ cm^3, darüber den oberen rechten L.-Strich gestellt, ergibt unter dem Mittelstrich ebenfalls das Gewicht 1,044 kg.

Ausgehend von diesem Gewicht der Schweiße wird mit dem vorhandenen Leistungsgrad und der Elektrodensorte wie üblich Stabzahl und Arbeitszeit berechnet.

3. Elin-Hafergutverfahren

a) Kehlnähte, Abb. 9

Um bei gegebenem Schweißstab-ϕ die entsprechende Kehlnahthöhe a zu bestimmen, wird auf Teilung D der rechte Läuferstrich auf ϕ gestellt und am Mittelstrich a abgelesen.

Beispiel: Geg. $\phi = 8$ mm, $a = ?$ Ergebnis $a \approx 7$ mm.

b) Stumpfnähte, Abb. 10

Wie bei der Handschweißung wird zunächst, dem a und α entsprechend, der Nahtquerschnitt bestimmt, hier jedoch **B 10** über a, der **Läufermittelstrich** über α gestellt. Am rechten Läuferstrich ergibt sich dann auf Teilung D der passende Kerndurchmesser.

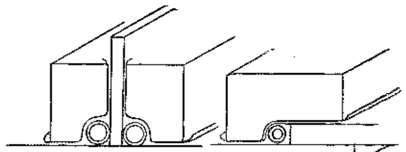


Abb. 9 E-H-Kehlschweißung

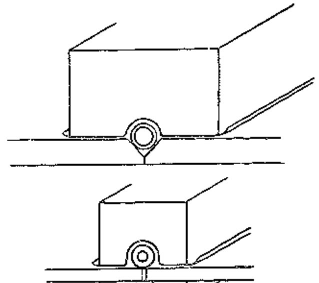


Abb. 10 E-H-Verbindungsschweißung

Beispiel: $a = 8$ mm, $\alpha = 60^0$.

10 der B-Teilung über 8 der D-Teilung gestellt, ergibt bei 60^0 der H-Teilung, (Läufermittelstrich!) $f = 0{,}37$ cm^2 und am rechten Läuferstrich auf der D-Teilung $\phi = 6{,}87 \approx 7$ mm.

Liegt das Ergebnis zu weit ab von einem ganzzahligen Durchmesser, so kann man den Nahtwinkel als Funktion vom vorhandenen Drahtdurchmesser bestimmen.

Beispiel: $\phi = 6$ mm, $a = 7$ mm, $\alpha = ?$

Stelle **10** Teilung B über 7, Teilung D, den rechten Läuferstrich über 6, Teilung D und lies auf dem Mittelstrich über Teilung H den Winkel $\alpha = 60^0$ ab.

Da die Elektroden in Längen bis zu 2 m geliefert und auch in kleineren Längen, einfach aneinander gelegt, verschweißt werden können, nähert sich der Leistungsgrad je nach Arbeitsorganisation mehr oder minder jenem der Automatenschweißung für den betreffenden Stabdurchmesser bei Wagrechtschweißung. Elektroden werden bis zu einem ϕ von 20 mm geliefert.

B) Elliraschweißverfahren, (älteres Verfahren mit einer Elektrode u. Wechselstrom 25 . . 60 V, Stromstärke b. 4000 A.)

Je nach Nahtform, Abb. 11 wird die Schweißung ein- oder doppelseitig durchgeführt. Die spez. Strombelastung ist 25 . . . 50 Amp./mm². Sie wächst nahezu linear mit dem Drahtquerschnitt, ebenso der Leistungsgrad. Die Spannung ist 25 . . . 60 V.

Praktische Werte vermittelt Tabelle 2 (Stahl und Eisen, 30. 1. 1947). Daraus kann abhängig von der Nahttiefe, die hier für die Blechdicke a eingesetzt wird, zunächst Draht ⌀, Spannung, Stromstärke und Leistungsgrad ermittelt werden. Die für 1 m Naht erforderliche Länge l_m an Schweißdraht ergibt sich aus der Gleichung $f_{Naht} = l_m \cdot f_{Draht}$; zunächst wird also der Nahtquerschnitt, wie unter A_1 angegeben, ermittelt und auch hier am rechten Läuferstrich eingestellt. Der Drahtquerschnitt ergibt sich, wenn über den Durchmesser auf Teilung D die Marke C der Teilung C gestellt wird, über dem rechten Läuferstrich auf Teilung B. Marke C wird hier deshalb benützt, um den vorher auf f gestellten Läufer nicht verschieben zu müssen. Über dem rechten Läuferstrich braucht dann nur auf Teilung B die logarithmische Differenz l_m abgelesen werden. Auch hier werden, um den Nahtwulst zu berücksichtigen, von vornherein einige mm zur Nahttiefe zugezählt und damit gerechnet.

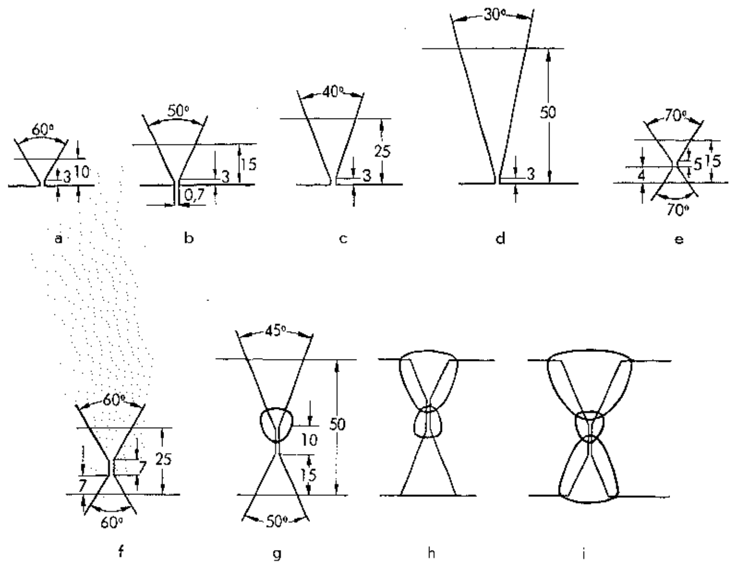
Am Läufermittelstrich ergibt sich wieder das Nahtgewicht G und aus der Division G/L die Schweißzeit t.

Beispiel 1. Einseitige Naht, $a = 50$ mm, $\alpha = 30°$.

Aus Tabelle 2 ergibt sich unmittelbar $L = 42$ kg/h, $U = 50$ V, $J = 2500$ A. Draht ⌀ = 10 mm. Wird von $a = 53$ mm ausgegangen, ergibt sich nach obiger Anleitung auf dem Rechenstab: $f = 7{,}5$ cm², $G = 5{,}9$ kg, $t = 0{,}14$ h, $l = 9{,}6$ m.

Falls man die vorgeschriebene Spaltweite von 0,7 mm nicht genau einhalten kann, schweißt man, um bei breiterem Spalt ein Durchrinnen zu verhindern, $^1/_3$ bis $^1/_4$ des Gesamtquerschnittes, bei V-Nähten an der Wurzel, bei X-Nähten in der Mitte von Hand aus oder mit dem Automaten vor, die Restfläche unter Pulver. Bei größeren Blechdicken wählt man dreifache Elliraschweißung in der gezeichneten Reihenfolge, Abb. 11g, h, i.

Abb. 11



Beispiel 2: X-Schweißung, a = 25 mm, $\alpha_1 = \alpha_2 = 60^0$, Abb. 11f.

Das Werkstück soll nicht gewendet werden.

a) Unternaht von Hand, überkopf, Schweißstäbe 3,25/350 mm, L = 0,5, a = 7 mm, mit Wulst, a_1 = 9 mm.
Ergebnis: n = 20 Stäbe, t = 0,73 h. Die Wurzel braucht bei nachfolgender Elliraschweißung nicht ausgestemmt zu werden.

b) Elliraschweißung der oberen Nahthälfte. Aus Tabelle 2 ergibt sich für a_1 = 15 mm .... L = 18,5, 38,5 V, 1250 Amp, Draht ⌀ = 6 mm. Auf dem Rechenstab ergibt sich: t = 0,055 h, l = 4,6 m.

Tabelle 2 Ellira-Schweißung

Leistungsgrad	7	15	22	30	36	42
Volt	35	37	40	43	47	50
Ampère	500	1000	1500	1800	2150	2500
Draht ⌀	4 | 5	6	8		10	
Blechdicke	0 3 5	10	20	30	40	50

Strom- und Treibstoffverbrauch bei elektr. Lichtbogenschweißungen

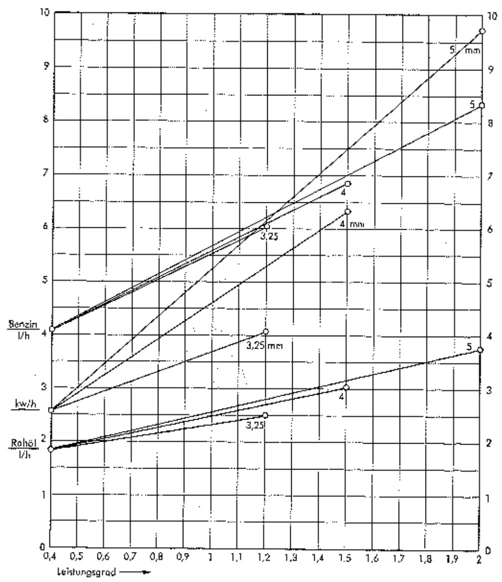


Abb. 12

Um auch die elektrische Primärleistung allgemein, weiter den Treibstoffverbrauch an Baustellen voraus rechnen zu können, wurden in Abb. 12 Mittelwerte zusammengestellt, gültig für ein 15 KW-Baustellenaggregat, das seinen Strom an den Schweißumformer liefert. Bei direktem Otto- oder Dieselmotorenantrieb sind die Werte nicht wesentlich anders. Da sie abhängig vom Leistungsgrad aufgetragen sind, ist die jeweilige Leerlaufarbeit mit berücksichtigt.

D) Festigkeitsberechnungen an Schweißverbindungen
Abb. 13

In der Bedingungsgleichung (1): $\rho = \frac{\gamma}{\alpha} \frac{\max P}{a\,l} \leq \sigma_{zul}$
bedeutet:

σ_{zul} = 1,4 t/cm² für St 37
1,82 t/cm² für St 46
2,1 t/cm² für St 52

a = Blechdicke oder Kehlnahthöhe in cm
α = Formziffer
P = Belastung in t, l = Nahtlänge in cm
γ = Beiwert für Dauerbeanspruchung
ρ = Nahtspannung.

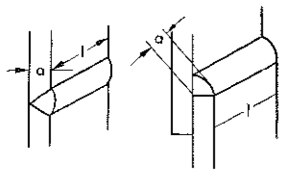


Abb. 13
Berechnung von Nahtspannungen

Wird (1) umgeformt in $\frac{\alpha}{\gamma} \cdot a \cdot \sigma_{zul} \geq P/l$ .... (1a), so ergibt sich eine einfache Berechnung von P, l oder a wie folgt:

Stelle über σ_{zul}, Teilung D den Wert γ auf Teilung C ein und schiebe den Läufer auf Wert α der Teilung C (womit man auf D ρ erhielt); nun wird a_{cm} unter den Läuferstrich auf der Reziprokteilung eingestellt und über der Belastung auf Teilung D die erforderliche Länge der Naht l_{cm} auf Teilung C abgelesen.

Beispiel: $a = 0{,}7$ cm
$P = 85$ t
$\sigma_{zul} = 1{,}4$ t/cm²
$\alpha = 0{,}65$, $\gamma = 1{,}18$

ρ wie angegeben ermittelt, ergibt 0,772 t/cm², darüber auf der R-Teilung $a = 0{,}7$ cm eingestellt, ergibt über $P = 85$ t auf Teilung D die Nahtlänge 157,4 cm auf Teilung C.

E) Biegespannung am Träger auf zwei Stützen

$\sigma = M/W$, $M = q\, l^2/8$; $\sigma = \frac{q}{w} (l/\sqrt{8})^2$; $\sigma\, W = q\, (0{,}354\, l)^2$

Stelle über $B_g = 0{,}354$ der D-Teilung die Stützweite l der R-Teilung, stelle den Läufer auf B 1 und bringe σ_{zul} der Teilung B unter den Läuferstrich. Bei q der B-Teilung kann auf A das Widerstandsmoment abgelesen werden.

Ist statt der Streckenlast eine Einzellast in Trägermitte vorhanden, wird statt q der Wert 2P/l eingesetzt.

Beispiel: Es soll das erforderliche Widerstandsmoment eines Brücken-Geländerholmes für 4,5 m Feldweite ermittelt werden, $q = 80$ kg/m, $\sigma_{zul} = 1{,}4$ t/cm².

Es ergibt sich durch zwei Läufer- und zwei Zungeneinstellungen W-14,5 cm³, entsprechend dem Winkelprofil 75·75·12 oder 80·80·10.

F) Das Sauerstoffbrennschneiden

1. Handschnitt

a) Mit Azetylen-Sauerstoff

Die erforderliche reine Schneidezeit (3 ... 200 mm) je Meter ergibt sich aus der Gleichung

$t_{h/m} = 0{,}06\ \sqrt[3]{a_{cm}}$; ziehe aus der Blechdicke in cm die dritte Wurzel und stelle darüber die Marke At = 0,06 der R-Teilung.

Beispiel: $a = 3$ cm; es ergibt sich $t_{h/m} = 0{,}0866$.

Sauerstoffverbrauch l/m.

$O_{l/m} = 80a_{cm}^{1,3}$; Lösung über die Log.-Teilung L, oder angenähert $O_{l/m} = 80a_{cm}^{4/3} = 80\ \sqrt[3]{a^4_{cm}}$, entsprechend 330 bzw. 346 l.

Azetylenverbrauch

$Az_{l/m} = 35a_{cm}^{3/4}$; Marke BA der R-Teilung über $3^{3/4}$ der Teilung D eingestellt, ergibt 80 l/m.

b) Mit Propan-Sauerstoff ($a = 3 \ldots 200$ mm).

Die erforderliche reine Schneidezeit ergibt sich aus $t_{h/m} = 0{,}066\ \sqrt[3]{a_{cm}}$

Beispiel: $a = 150$ mm. Die 3. Wurzel auf der 2. K-Teilung ermittelt, darüber Marke Pt gestellt, ergibt $t = 0{,}163$ h/m.

Sauerstoffverbrauch l/m:

$O_{l/m} = 140a_{cm}^{1,3}$. Lösung über die Logarithmenteilung oder angenähert $O_{l/m} = 140\ \sqrt[3]{a^4_{cm}}$; $O_{l/m} \cong 5200$ l/m.

Propanverbrauch l/m.

Propan l/m $= 20\ a_{cm}{}^{3/4}$; $a^{3/4}$ wird, wie bekannt, durch Ziehen der 4. Wurzel (siehe Teil I der Anleitung) und nachheriges Kubieren von a gewonnen. Ergebnis $P = 152$ l/m.

2. Maschinenschnitt:

Bei maschinell durchgeführten Brennschnitten ist der Aufwand an Zeit und Gasen natürlich wesentlich geringer; für Maschinenschnitte mit geübten Schneidern und modernen Brennern ergeben sich etwa folgende Abhängigkeiten für reine Schneidezeit und Gasverbrauch für die Blechdicken von 5 ... 200 mm:

a) mit Azetylen-Sauerstoff:

$t = 0{,}03a_{cm}^{0,3} \cong 0{,}03\ \sqrt[3]{a_{cm}}$

$Az = 13a_{cm}^{0,6} \cong 13a^{2/3} \cong 13\ \sqrt[3]{a^2}$

$O_2 = 45a_{cm}$

b) mit Propan-Sauerstoff:

$t = 0{,}032\ \sqrt[3]{a_{cm}}$

$Pr = 7a_{cm}^{0,75} = 7\ \sqrt[4]{a^3}$

$O_2 = 120a_{cm}^{0,75} = 120\ \sqrt[4]{a^3}$

Beispiel: $a = 8$ cm

$t = 0{,}053$, (0,06) h/m	$t = 0{,}064$ h/m
$Az = 45$, (52) l/m	$Pr = 33$ l/m
$O_2 = 360$ l/m	$O_2 = 570$ l/m

c) mit Leuchtgas (gut)-Sauerstoff: $t = 0{,}056 c_{cm}^{0,4}$, $Lg = 40 \sqrt[4]{a^3_{cm}}$, $O_2 = 80 a_{cm}^{1,2}$

d) mit Leuchtgas (minder gut)-Sauerstoff: $t = 0{,}075 a_{cm}^{0,44}$, $Lg = 55 \sqrt[4]{a^3_{cm}}$, $O_2 = 110 a_{cm}^{1,2}$

e) mit Wasserstoff-Sauerstoff $t = 0{,}055 \sqrt[3]{a_{cm}}$, $H_2 = 85 \sqrt[5]{a_{cm}}$, $O_2 = 110 a_{cm}$

G) Bestimmung der Einstichbreite b beim Zuschneiden von Schweißnähten

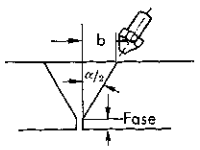


Abb. 14

Abb. 13. Von der Blechdicke wird die gewünschte Fasenhöhe der Nahtwurzel subtrahiert und mit dem Tangens des halben Nahtwinkels tg $\left(\frac{\alpha}{2}\right)$ auf der Quadratteilung multipliziert, wozu die Marken für tg $\left(\frac{\alpha}{2}\right)$ auf der linken Zungenteilung benützt werden.

Beispiel: $a = 16$ mm, Fase $f = 2$ mm, $\alpha = 60^0$. Stelle B 10 unter A 14, lies über H 60^0 ab A $8{,}1 \cong 8$mm; $b = 14 \text{ tg } \frac{60}{2} = 8$ mm.

Ebenso einfach kann nach Messung des oberen und unteren Kantenabstandes E, bzw. e der vorbereiteten Naht die Größe des Nahtwinkels α errechnet werden (Kontrolle des Brennschneiders!)

Beispiel: $a = 20$ mm, $f = 2$ mm, $E = 26$ mm, $e = 2$ mm; $b = \frac{E-e}{2} = \frac{24}{2} = 12$ mm

B 10 unter $(20-2) = 18$ gestellt, ergibt unter A 12 den Nahtwinkel $\alpha = 67^0$.

H) Die Gasschmelzschweißung

1. **Die Nachlinksschweißung,** 0,5 ... 4 mm.

Die reine Schweißzeit ergibt sich aus der Gleichung $t_{h/m} = \sqrt{a_{mm}}/10$. a ist hier in mm einzusetzen!
Beispiel: $a = 4$ mm; $t_{h/m} = 0{,}2$ h (ohne Wurzelgegenschweißung!)

2. **Die Nachrechtsschweißung,** 4 ... 15 mm.

Reine Schweißzeit h/m. $t_{h/m} = 0{,}55\, a_{cm}$. 0,55 entspricht der Marke RS auf Teilung D. Stelle über Marke RS die Blechdicke in cm auf der R-Teilung ein und lies die Zeit auf Teilung D ab.
Beispiel: $A = 0{,}9$ cm; $t_{h/m} \cong 0{,}5$ h, genau 0,495 h.

Der stündliche Gasverbrauch für beide Schweißverfahren ergibt sich aus der verwendeten, von der Blechdicke abhängigen Brennergröße: Je 1 mm Blechdicke benötigt die Nachlinksschweißung je 100 l Sauerstoff und Azetylen, die Nachrechtsschweißung je 130 l Sauerstoff und Azetylen. In der Praxis kann das Verhältnis $O_2 : C_2H_2 = 1 : 0{,}9$ bei neutraler Flamme erreicht werden.

In Beispiel 1 wird ein Brennereinsatz 4 ... 6 verwendet, mit je 100 l Sauerstoff- und Azetylenverbrauch, in Beispiel 2 ein Brennereinsatz 9 ... 14 mit je etwa 1300 l Gasverbrauch. Soll der Gasverbrauch je Meter Naht ohne den Umweg über die Schweißzeit berechnet werden, so gilt nach obigem für neutral eingestellte Schweißflamme:

1. Linksschweißung: Sauerstoff- gleich Azetylenverbrauch $l/m = 10 \sqrt{a^3}$ mm, im obigen Beispiel also $10 \sqrt{4^3} = 80$ l/m.
2. Rechtsschweißung: Sauerstoff- gleich Azetylenverbrauch $l/m = 715 a^2_{cm}$, im obigem Beispiel 579,15 l/m.

3. **Die stehende Doppelraupenschweißung, (double cordon), A und B.**

A) Blechdicke $a = 2 \ldots 6$ mm, 1 Schweißbrenner, Sauerstoff-Gasverbrauch je 60 l je mm Blechdicke und Stunde.
Reine Schweißzeit $t_{h/m} = a_{cm}$.

B) $a = 7 \ldots 12$ mm, 2 Brenner, Sauerstoff-Azetylenverbrauch für beide Brenner zusammen $l/h = 60 a_{mm}$
Reine Schweißzeit $t_{h/m} = 0{,}5 a_{cm}$.

Beispiel 1: Verfahren A, $a = 5$ mm;
$t_{h/m} = 0{,}5$, Brennereinsatz 2 ... 4, stündlicher Sauerstoff-und Azetylenverbrauch je $5 \cdot 60 = 300$ l, je m Naht also 150 l.
Beispiel 2: Verfahren B, $a = 9$ mm.
$t_{h/m} = 0{,}5 \cdot 0{,}9 = 0{,}45$. Brennereinsatz für jeden der beiden Brenner (9/2 mal 60) = 270 l, entsprechend den Einsätzen 2 ... 4 mit einem stündl. Gesamtverbrauch von 540 l/h oder 243 l/m.

4. **Die autogene Aluminium- und Leichtmetallschweißung, 0,5 ... 15 mm.**

Reine Schweißzeit je 1 m Nahtlänge in Stunden
$t_{h/m} = (0{,}886\, a_{cm})^2 + 0{,}1$; stelle den **rechten** Läuferstrich über die Blechdicke a_{cm} auf Teilung D und lies $t_{h/m}$ am Läufermittelstrich auf Teilung A ab; zum Ergebnis sind noch 0,1 h zu addieren.

Beispiel: $a = 0{,}6$ cm. Mit einer einzigen Läufereinstellung ergibt sich 0,283 $h/_m$ auf Teilung A, dazu 0,1 h, gibt 0,383 h. Der Sauerstoffverbrauch folgt aus der Überlegung, daß geübte Schweißer dieselbe Brennergröße wie für Stahl bei gleich großem a verwenden; es kommen also unter dieser Voraussetzung 100 l/m Verbrauch in Frage. Im obigen Beispiel wäre man gerade an der Grenze der Brennereinsätze 4...6 und 6...9 und wird letzteren mit weich eingestellter Flamme verwenden.

Der Azetylenverbrauch ist bei Al und seinen Legierungen mit Cu oder Mg gleich dem Sauerstoffverbrauch, (neutrale Flamme), bei den übrigen Legierungen zeigt die Flamme Azetylenüberschuß, (reduzierende Flamme). Der Az.-Verbrauch steigt dann, je nach Legierung bis auf das 1,25 fache des jeweiligen Sauerstoffverbrauches an.

J) Schweiß- und Wärmespannungen.

Um sich ein beiläufiges Bild von den in eingespannten Werkstücken oder Bauteilen, z. B. Brückenstäben durch örtliche Erwärmung verursachten einachsigen Spannungen machen zu können, wurden die beiden Gleichungen

$\varepsilon = \sigma \alpha$ . . . . (1) und

$\triangle l = 11 \cdot 10^{-6}\ t$ (2) durch Gleichsetzen der linearen Formveränderung zusammen gefaßt zu

σ kg/cm² $= 23 \cdot t^0$, wobei σ die durch die örtliche Erwärmung t^0 verursachte Spannung bedeutet. Bei St 37 mit der Streckgrenze von 2100 kg/cm² wird also bereits bei einer mittleren Erwärmung von 91°C die Fließgrenze in dem erwärmten, fest eingespannten Teil erreicht.

Auf die z. T. bekannten durch den Rechenschieber vereinfachten Lösungen bei der Berechnung von Dehnung und Einschnürung, bei der punktweisen Bestimmung der elastischen Linie von Trägern nach der Greenschen Funktion, bei der Berechnung von Knickspannungen usw. sei hier noch hingewiesen.

Wir übergeben den neuen Rechenstab, der die verschiedensten Schweißvorgänge zur Vorkalkulation und als Kontrolleur in ihren Einzelheiten zu erfassen hilft, den Ingenieuren, Meistern und Jüngern des Schweißhandwerkes, weiter Baustellenleitern, Vor- und Nachkalkulanten, in der Überzeugung, daß er ihnen bei allen einschlägigen Berechnungen nützlich und unentbehrlich als zuverlässiger Schweißrobot zur Seite stehen wird.