

FREIBERGER
FORSCHUNGSHEFTE

B 52

METALLFORMUNG

GUSTAV ZOUHAR

**Umformungskräfte beim Walzen in
Streckkaliberreihen**



KADEMIE-VERLAG BERLIN

1960

FFH
B 52 &

Deutsches
Brennstoffinstitut
Zentral-Bücherei

| |
|-----|
| 493 |
|-----|

Ungulig

Ungulig



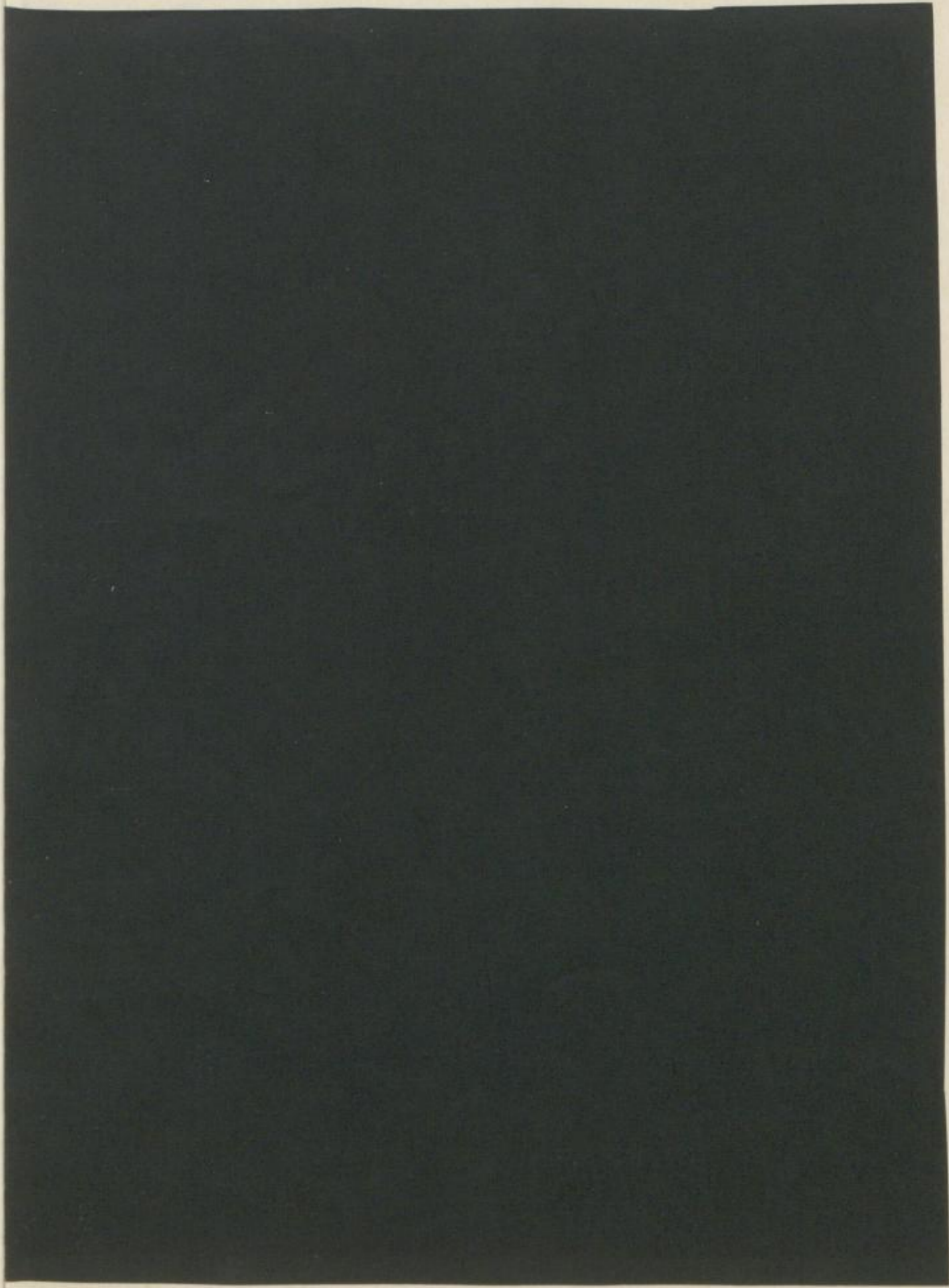
TU BERGAKADEMIE FREIBERG



XU XVI 1142 . B52F

FREIBERGER FORSCHUNGSHEFTE

B 52



FREIBERGER FORSCHUNGSHEFTE

Herausgegeben vom Rektor der Bergakademie Freiberg

B 52

METALLFORMUNG

Umformungskräfte beim Walzen in Streckkaliberreihen

Von

GUSTAV ZOUHAR



Akademie-Verlag · Berlin

| | | | | | |
|-------------------|------|-----------|-----------|---------|-------------------|
| Freib. Forsch.-H. | B 52 | S. 1— 202 | 89 Bilder | 13 Tab. | Berlin, Juli 1960 |
|-------------------|------|-----------|-----------|---------|-------------------|

An der Bergakademie Freiberg vorgelegte und
genehmigte Dissertation
zur Erlangung der Würde eines Doktor-Ingenieurs

Referenten: Prof. Dipl.-Ing. G. Juretzek, Freiberg

Prof. Dipl.-Ing. H. Grönn, Freiberg

Korreferent: Prof. Dr.-Ing., Dr. mont. O. Emicke, Freiberg



XVI

7742

B 52 f

Eingang des Manuskriptes in der Redaktion der Bergakademie Freiberg am 14. 10. 1959

„Freiberger Forschungshefte“, Schriftenreihe für alle Gebiete der Montanwissenschaften. Herausgeber: Der Rektor der Bergakademie Freiberg, Prof. Dr.-Ing. habil. O. Oelsner. — Chefredakteur: Dipl.-Ing. R. Wendler, Freiberg, Klubhaus der Bergakademie, Aug.-Bebel-Str. 5 (Fernruf 2497). — Verlag: Akademie-Verlag, GmbH, Berlin W 1, Leipziger Str. 3—4 (Fernruf 220441), Postscheckkonto 35021. — Die Freiberger Forschungshefte erscheinen in zwangloser Folge in den Reihen A, B, C und D. Ausführliches Verzeichnis aller lieferbaren Hefte von der Redaktion der Bergakademie oder dem Akademie-Verlag. — Preis dieses Heftes: 18,— DM. Bestell-Nr. 2062/B 52. Vertrieb: Für das Gebiet der Deutschen Demokratischen Republik durch den Buchhandel; für das Gebiet Westdeutschlands durch den Buchhandel (Auslieferung KUNST UND WISSEN, Erich Bieber, Stuttgart 8, Wilhelmstr. 4—6); für das gesamte Ausland durch eine Importbuchhandlung, den Deutschen Buch-Export und -Import, GmbH, Leipzig C 1, Postschließfach 276, oder den Verlag. — Gesamtherstellung: Druckhaus „Maxim Gorki“, Altenburg. — Veröffentlicht unter der Lizenz-Nr. 202·100/635/60 des Ministeriums für Kultur, HV Verlagswesen, der Deutschen Demokratischen Republik. — Printed in Germany. — Alle Rechte vorbehalten. ES 20 F 8.

I N H A L T

| | |
|---|----|
| Vorwort | |
| Einleitung | 8 |
| Grundlegende Beziehungen | 8 |
| Mathematische Behandlung der Vorgänge im Walzspalt | 9 |
| Experimentelle Untersuchungen des Walzvorgangs | 11 |
| Vergleichende Untersuchungen von Walzkraftformeln | 12 |
| Zusammenfassung und Folgerungen | 13 |
| Das Walzen in Streckkalibern | 21 |
| Gegenwärtiger Stand der Erkenntnisse über den Kraft- und Arbeitsbedarf beim Walzen in Kalibern | 21 |
| Grundsätzliche Betrachtungen über die Formänderung in Streckkalibern | 24 |
| Formänderungsgeschwindigkeit | 28 |
| Die gedrückte Fläche F_d | 29 |
| Versuche zur Überprüfung der Form und Größe von F_d | 32 |
| Gedrückte Fläche bei Rund- in Oval- und Oval- in Rund-Stichen | 32 |
| Gedrückte Fläche bei Quadrat- in Oval- und Oval- in Quadrat-Stichen | 34 |
| Gedrückte Fläche bei Quadrat- in Raute-, Raute- in Quadrat- und Raute- in Raute-Stichen | 34 |
| Zusammenfassung und Folgerungen | 40 |
| Walzversuche | 42 |
| Versuchswerkstoffe | 42 |
| Versuchseinrichtung | 43 |
| Versuchsdurchführung | 45 |
| Versuchsergebnisse | 50 |
| Auswertung der Meßergebnisse | 52 |
| Diskussion der Meßergebnisse | 53 |
| Allgemeine Betrachtungen | 53 |
| Gedrückte Flächen | 55 |
| Die mittlere Formänderungsgeschwindigkeit | 59 |
| Die Hauptformänderung | 60 |
| Das Walzspaltverhältnis | 61 |
| Anstichquerschnitt und Kaliberform | 62 |
| Der Hebelarmbeiwert a/l_d | 69 |
| Anwendungsbereich der Finkschen Formel | 72 |
| Streckkaliberreihe Rund-Oval | 74 |
| Temperaturverlauf | 74 |
| Walzkraft, Formänderungswiderstand, Drehmoment und spezifische Walzarbeit | 75 |

| | |
|---|----|
| Streckkaliberreihe Quadrat-Oval | 77 |
| Temperaturverlauf | 77 |
| Walzkraft, Formänderungswiderstand, Drehmoment und spezifische Walzarbeit | 77 |
| Streckkaliberreihe Quadrat-Raute | 79 |
| Temperaturverlauf | 79 |
| Walzkraft, Formänderungswiderstand, Drehmoment und spezifische Walzarbeit | 79 |
| Streckkaliberreihe Raute-Raute | 80 |
| Temperaturverlauf | 80 |
| Walzkraft, Formänderungswiderstand, Drehmoment und spezifische Walzarbeit | 80 |
| Spezifische Formänderungsarbeit | 81 |
| Einfluß der Formänderungsgeschwindigkeit | 87 |
| Vergleich zwischen Rechnung und Versuch | 92 |
| Zusammenfassung | 95 |
| Literatur | 96 |
| Anlagen | 97 |

VORWORT

Vorliegende Arbeit wurde von Herrn Prof. Dipl.-Ing. G. JURETZEK angeregt. Sie ist ein Teil einer umfangreichen Forschungsarbeit über Fließvorgänge im Formeisenkaliber, die im Jahre 1952 auf Vorschlag des im Jahre 1955 verstorbenen Direktors des Instituts für Metallformung an der Bergakademie Freiberg, Prof. C. NETTER, begonnen, aus Forschungsmitteln der Deutschen Demokratischen Republik finanziert, unter Leitung von Prof. G. JURETZEK laufend weitergeführt wird.

Im Verlaufe dieser Arbeiten wurden bisher veröffentlicht:

NETTER, C.: Druck- und Drehmomentmessungen im Walzwerk. Freib. Forsch.-H. B 4 (1953);

ZOUHAR, G.: Beitrag zur Frage der Verteilung des Gesamtdrehmoments auf Ober- und Unterwalze beim Walzen. Freib. Forsch.-H. B 9 (1956);

JURETZEK, G.: Walzdrücke und Drehmomente beim Walzen auf Flachbahnen mit Ober- und Unterdruck. Freib. Forsch.-H. B 16 (1957);

JURETZEK, G.: Walzdruck, Umformungsdrehmoment und Breitung beim Walzen einfacher Flachquerschnitte auf flachen Walzbahnen mit steigenden indirekten Drücken. Freib. Forsch.-H. B 36 (1959).

Es ist mir eine angenehme Pflicht, allen Mitarbeitern des Instituts für Metallformung an der Bergakademie Freiberg, die mich bei der Durchführung der Walzversuche und der Auswertung von über 6000 Walzstichen tatkräftig unterstützten, an dieser Stelle meinen Dank abzustatten. Der VEB Stahl- und Walzwerk Riesa hat die Arbeit durch rasche Anfertigung der Kaliberwalzen wesentlich gefördert.

G. ZOUHAR

Deutsches
Brennstoffinstitut
Freiberg/Sa.

EINLEITUNG

Grundlegende Beziehungen

Die Grundlage der Bemessung eines Walzgerüsts und seines Antriebs bilden die beim Walzvorgang an den Walzen wirkenden Kräfte und Drehmomente. Die Walzkräfte sind maßgebend für die Beanspruchung der Arbeits- bzw. Stützwalzen und deren Lagerung, der Walzenständer, Einbaustücke und Druckspindeln. Um die Belastung der Antriebsmotoren, Schwungräder, Getriebe und übrigen Antriebselemente berechnen zu können, müssen die Drehmomente bekannt sein. Dabei genügt es im allgemeinen nicht, Walzkraft und Drehmoment nur für einen gegebenen Einzelfall zu erfassen. Von großer Bedeutung ist vielmehr deren Abhängigkeit von den Walzbedingungen, d. h. der Art des Walzgutes, der Abnahme, Walzgeschwindigkeit und Walztemperatur, ferner der Reibungszahl zwischen Walze und Walzgut, dem Verhältnis von Enddicke zu Walzendurchmesser sowie anderen Einflußgrößen.

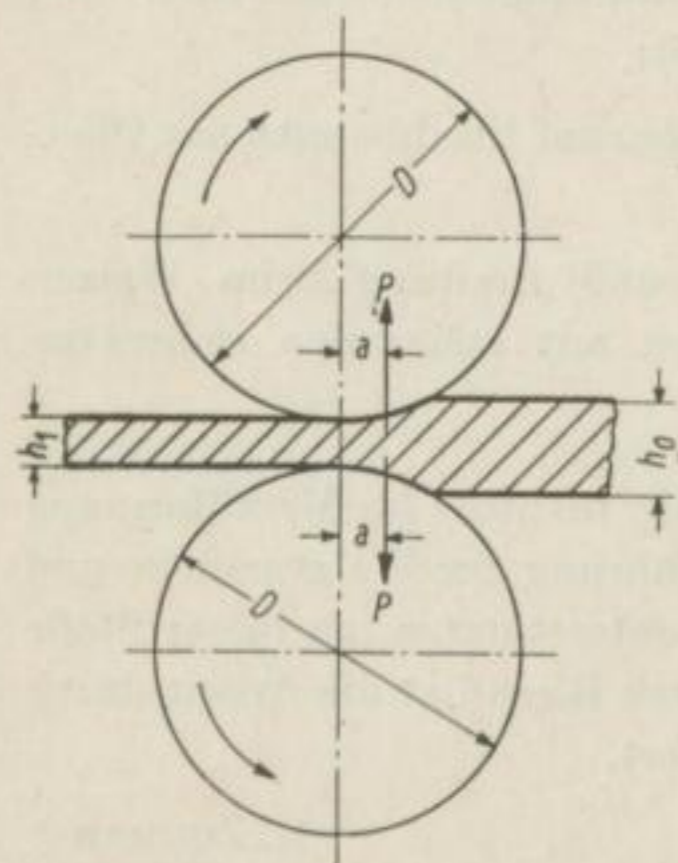


Bild 1
Kräfte im Walzspalt nach SIEBEL

Die im Walzspalt zwischen Walze und Walzgut wirkenden Teilkräfte ersetzt man nach Bild 1 durch die im Abstand a von den Walzenachsen wirkenden Resultierenden P , deren Größe sich aus der bekannten Beziehung

$$P = k_w \cdot F_d \quad (\text{kg}) \quad (1)$$

ergibt.

k_w — mittlerer Formänderungswiderstand bzw. mittlerer spezifischer Flächendruck zwischen Walze und Walzgut im Walzspalt (kg/mm^2),

F_d — gedrückte Fläche, d. h. Projektion der Berührungsfläche zwischen Walze und Walzgut auf eine zur Walzrichtung parallele, waagerechte Ebene (mm^2).

Das an einer Walze angreifende Drehmoment folgt dann aus

$$M_d = P \cdot a \quad (\text{mkg}) \quad (2)$$

P — Walzkraft (kg),

a — Hebelarm (m).

Die Formänderungsarbeit kann entweder aus der Beziehung

$$A_w = M_d \cdot \delta = P \cdot a \cdot \delta = k_w \cdot F_d \cdot a \cdot \delta \quad (\text{mkg}) \quad (3)$$

oder der Formel

$$A_w = k_w \cdot V \cdot \varphi_h = a_w \cdot V \quad (\text{mkg}) \quad (4)$$

berechnet werden, die sich ergibt, wenn man in der bekannten Formel von FINK [1]

$$A_0 = k_f V \ln \frac{h_0}{h_1}$$

die Formänderungsfestigkeit k_f durch den mittleren Formänderungswiderstand k_w ersetzt.

k_w — mittlerer Formänderungswiderstand (kg/mm^2),

F_d — gedrückte Fläche (mm^2),

δ — Drehwinkel der Walze unter Wirkung des Drehmoments M_d im Bogenmaß,

$\varphi_h = \ln \frac{h_0}{h_1}$ — logarithmische Hauptformänderung,

V — umgeformtes Volumen (mm^3),

a_w — spezifische Formänderungsarbeit (mkg/mm^3),

a — Hebelarm der Kraft P (m).

Zur Ermittlung der Walzarbeit, des Drehmoments und der Formänderungsarbeit genügt somit die Kenntnis der rein geometrischen Größen φ_h , F_d und V nicht, sondern es müssen außerdem der mittlere Formänderungswiderstand k_w , der Hebelarm der Walzkraft a oder die spezifische Walzarbeit a_w in Abhängigkeit von den Walzbedingungen bekannt sein. Zur Ermittlung dieser Größen wurde sowohl der mathematisch-mechanische als auch der experimentelle Weg beschritten.

Mathematische Behandlung der Vorgänge im Walzspalt

Für den normalen Walzfall, d. h. gleiche Durchmesser und Drehzahlen von Ober- und Unterwalze sowie Flachbahnen, liegt eine Vielzahl mathematischer Untersuchungen über die Vorgänge im Walzspalt vor, von denen nachfolgend nur die wichtigsten aufgeführt werden.

Die Grundlage der theoretischen Behandlung des Walzproblems bildet die Arbeit von TH. v. KÁRMÁN [2]. Die exakte Lösung der von KÁRMÁN für die Druckverteilung im Walzspalt abgeleiteten Differentialgleichung bereitet Schwierigkeiten. SIEBEL [3] vereinfachte diese Gleichung, indem er den in waagerechter Richtung wirkenden Fließwiderstand gegenüber der Formänderungsfestigkeit vernachlässigte und so unter vereinfachten Annahmen zu einer Näherungslösung gelangte, die wichtige Aussagen grundsätzlicher Art über die Vorgänge im Walzspalt gestattet. Dies sind z. B. die Lage der Fließscheide sowie die Beurteilung des Greif- und Durchziehvermögens der Walzen.

Die Anwendung der neusten Erkenntnisse der Plastizitätstheorie auf das Walzproblem durch OROWAN [4] brachte einen weiteren wesentlichen Fortschritt in der mathematischen Behandlung des Walzvorgangs, da in dieser Arbeit außer einer Voreilungs- und Stauzone im Walzspalt auch das Auftreten eines Haftgebiets angenommen wird.

ZELIKOW [5] behandelt in seinem Lehrbuch des Walzwerksbaus die Berechnung des mittleren Formänderungswiderstands beim Walzen ausführlich. Er kommt dabei zu dem Ergebnis, daß der Grundgedanke v. KÁRMÁNS, den Walzvorgang als eine kontinuierliche Aufeinanderfolge von Stauchvorgängen aufzufassen, immer wieder aufgegriffen wird. Die Gleichgewichtsbedingungen am Volumenelement führen dann auf eine Differentialgleichung, deren Lösung den Verlauf des spezifischen Drucks im Walzspalt in Walzrichtung wiedergibt. Die Druckverteilung ist in hohem Maße von der Wahl des Reibungsgesetzes zwischen Walzenoberfläche und Walzgut bzw. der gewählten Plastizitätsbedingung abhängig. Um den Rechnungsgang einfacher zu gestalten, werden dabei vielfach vereinfachende geometrische Annahmen gemacht. So ersetzt man z. B. das Kreisbogenstück der Walze innerhalb des Walzspalts durch eine Parabel oder die Sehne. Für den Druckverlauf im Walzspalt ist nach ZELIKOW die Länge des Haftgebiets maßgebend. Sie wird überwiegend von der Reibungszahl μ zwischen Walze und Werkstoff beeinflußt und beträgt angenähert

$$l_h \approx 0,5 \text{ bis } 2,0 h_m \text{ beim Warmwalzen bzw.}$$

$$l_n \approx 0,3 \text{ bis } 1,0 h_m \text{ beim Kaltwalzen.}$$

Umfangreiche mathematische Untersuchungen über die Vorgänge im Walzspalt veröffentlichte auch KOROLJOW [6]. Sie sind deshalb von besonderem Interesse, weil die von SIEBEL und LUEG [7] durchgeführten Messungen zur Ermittlung der Druckverteilung im Walzspalt gleichzeitig mit der mathematischen Analyse in großem Umfang wiederholt und auch auf das Warmwalzen und das Arbeiten mit Schleppwalze ausgedehnt wurden. Durch graphisches Differenzieren der durch Messungen ermittelten Druckkurven und Anwendung eines elektrischen Modells, das ein elektrisches Differenzieren der Druckverteilungskurve gestattete, wurde versucht, die für die Druckverteilung im Walzspalt maßgebenden Reibungskräfte zwischen Walze und Walzgut zu ermitteln. KOROLJOW folgert aus diesen Untersuchungen unter anderem, daß die Fließecke und das Druckmaximum im Walzspalt nicht zusammenfallen. Ihre Lage stimmt mit dem Abstand der resultierenden Walzkraft von den Walzenachsen nicht überein. Die Abweichungen sind jedoch gering und praktisch zu vernachlässigen. Sobald die Reibungszahl den Wert $\mu = 0,5$ erreicht, haften nach KOROLJOW Walze und Walzgut längs der gesamten Berührungsfläche aneinander. Mit kleiner werdenden Reibungszahlen wird die Haftzone schmaler und kann unter gewissen Bedingungen fast ganz verschwinden.

KNESCHKE [8] veröffentlichte eine Theorie des Walzvorgangs, der andere Gedankengänge über die Vorgänge im Walzspalt zugrunde liegen. Die Grundlage dieser Untersuchungen bilden nicht mehr kontinuierliche Stauchvorgänge beim Durchlaufen des Walzgutes durch den Walzspalt, sondern die Strömungsgesetze zäher Flüssigkeiten. Man erhält so zwanglos qualitative richtige Aussagen über die Vorgänge im Walzspalt, wie z. B. das Auftreten einer Fließecke, den Verlauf des spezifischen Drucks usw. Ob sich die Walzkraft und das Drehmoment auf diese Weise auch quantitativ richtig berechnen lassen, kann zur Zeit infolge Fehlens ausreichender Vergleichsversuche mit der Praxis und entsprechender Werkstoffkennwerte noch nicht entschieden werden. Mit Rücksicht auf die bisweilen recht komplizierten Fließvorgänge beim Walzen in Kalibern,

insbesondere beim gleichzeitigen Auftreten direkter und indirekter Drücke, erscheint eine Fortsetzung dieser Untersuchungen notwendig, da eine Lösung derartiger Probleme nach dem klassischen Verfahren des kontinuierlichen Stauchens nur schwer möglich ist.

Der Grundgedanke der genannten Arbeiten besteht nun darin, die Druckverteilung im Walzspalt, ausgehend von Werkstoffkenngrößen, z. B. der Formänderungsfestigkeit k_f , der Reibungszahl μ und der Zähigkeit η , zu bestimmen. Für den Formänderungswiderstand erhält man dabei im allgemeinen Formeln von der Art

$$k_w = k_f \cdot f(\varpi),$$

worin die Funktion $f(\varpi)$ von der geometrischen Form des Walzspalts abhängig ist, gleichzeitig aber auch das Reibungsgesetz zwischen Walze und Walzgut enthält.

TRINKS [9], ZELIKOW [5], SIMS [10] und andere versuchten nun die Ergebnisse dieser theoretischen Untersuchungen für die Praxis brauchbar zu machen. TRINKS und ZELIKOW geben z. B. für die Lösung der KÁRMÁNSchen Differentialgleichung für die Druckverteilung im Walzspalt, d. h. die Funktion $f(\varpi)$, Schaubilder an, aus denen das Verhältnis k_w/k_f in Abhängigkeit von der Abnahme $\frac{\Delta h}{h_0}$, der Reibungszahl μ zwischen Walze und Walzgut sowie der gedrückten Länge l_d entnommen werden kann. Dadurch wird die Ermittlung der Walzkraft in der Praxis erheblich vereinfacht. Richtige Ergebnisse sind jedoch nur zu erwarten, wenn für den betrachteten Fall die Druckverteilung im Walzspalt durch die KÁRMÁNSche Gleichung richtig wiedergegeben und für k_f der richtige Wert eingesetzt wird. Die Formänderungsfestigkeit k_f ermittelte TRINKS in Abhängigkeit von der mittleren Formänderungsgeschwindigkeit im Walzspalt aus veröffentlichten Versuchswerten, beispielsweise von SIEBEL und FANGMEIER [14], POMP und WEDDIGE [15] u. a., und stellte sie als sogenannten natürlichen Fließwiderstand in Schaubildern dar.

Nach ZELIKOW ist dagegen für k_f der 1,15fache Betrag der Warmzugfestigkeit des Walzgutes bei Walztemperatur einzusetzen.

SIMS gibt eine Formel zur Berechnung der Walzkraft und des Drehmoments je cm Walzbreite an, wobei das Verhältnis k_w/k_f aus einer Tafel getrennt für Walzkraft und Drehmoment in Abhängigkeit von der geometrischen Form des Walzspalts entnommen werden kann. Nach SIMS muß die Formänderungsfestigkeit k_f aus Walzversuchen bestimmt werden. Bisher unveröffentlichte Versuche am Versuchswalzwerk der Bergakademie Freiberg [12] zeigten, daß die Walzkraftformel von SIMS beim Walzen von Stahl C 45 sehr gute Übereinstimmung mit Versuchswerten ergibt, wenn für die Formänderungsfestigkeit k_f die von LUEG und MÜLLER [11] bei Stauchversuchen gefundenen Werte eingesetzt werden.

Experimentelle Untersuchungen des Walzvorgangs

Eine andere Möglichkeit zur Ermittlung des Formänderungswiderstandes k_w , des Hebelarms a und der spezifischen Walzarbeit a_w bietet die Messung der Walzkraft und Drehmomente im Betrieb oder an Versuchswalzwerken. Die ermittelten Werte stellt man in Abhängigkeit von den Walzbedingungen, d. h. der Abnahme, Walztemperatur, Walzgeschwindigkeit, dem Verhältnis von Enddicke zu Walzendurchmesser usw., in

Schaubildern dar. Derartige Versuche wurden insbesondere von PUPPE [13], SIEBEL und FANGMEIER [14], POMP und WEDDIGE [15], HOFF und DAHL [16], EMICKE und LUCAS [17] sowie in letzter Zeit von WALLQUIST [18] unmittelbar im Betrieb oder an Versuchsanlagen durchgeführt.

Messungen an Walzenstraßen im Betrieb gestatten die Ermittlung der Walzkräfte und Drehmomente unmittelbar unter Betriebsbedingungen und sind somit besonders wertvoll. Sie bieten ferner ebenso wie Untersuchungen an Versuchswalzwerken die Möglichkeit, theoretische Überlegungen zu überprüfen. Allerdings darf nicht übersehen werden, daß bei Betriebsversuchen häufig erhebliche Schwierigkeiten bei der Auswertung der Ergebnisse auftreten und Untersuchungen unter veränderlichen Walzbedingungen nicht immer durchführbar sind.

Auf dieser Grundlage wurde auch eine Reihe empirischer Walzkraftformeln aufgestellt. GELEJI [19] entwickelte z. B. eine Formel zur Berechnung der Antriebsleistung beim Walzen im Kaliber auf Grund der Versuche von PUPPE. EKELUND [20] hat die in seiner bekannten Walzkraftformel vorkommenden Werkstoffkenngrößen aus den Versuchen von PUPPE bestimmt.

Vergleichende Untersuchungen von Walzkraftformeln

Es ist bekannt, daß die verschiedenen Berechnungsformeln zur Ermittlung der Walzkraft beim Walzen auf glatter Bahn unter gleichen Voraussetzungen zum Teil recht unterschiedliche Ergebnisse liefern. Auch die Abweichungen von Berechnungsergebnissen gegenüber Versuchswerten sind bisweilen beachtlich. Aus diesem Grunde wurden in den letzten Jahren vergleichende Untersuchungen zwischen den verschiedenen Berechnungsverfahren und Versuchsergebnissen angestellt.

WUSATOWSKI und BALA [21] vergleichen z. B. die Walzkraftformeln von TRINKS, ZELIKOW, EKELUND, OROWAN, GELEJI und SIEBEL. Diese Untersuchungen erstreckten sich nicht nur auf Flachstiche, sondern auch auf das Walzen in Kastenkalibern und das dafür von SIEBEL [22] vorgeschlagene Berechnungsverfahren. Es werden Berechnungsergebnisse mit Walzkraftmessungen von TJAGUNOW an einem Grobblechtrio und fünf Feinblechduos einander gegenübergestellt. Die nach der Berechnungsmethode von SIEBEL [22] erhaltenen Walzkräfte werden mit Messungen des SKF-Instituts in Hofors sowie eigenen Messungen der beiden Verfasser an einem Blockgerüst verglichen. Diese Gegenüberstellung von Rechnung und Versuch zeigt erhebliche Unterschiede der nach den verschiedenen Berechnungsverfahren ermittelten Werte untereinander sowie gegenüber den im Betrieb gemessenen Werten.

Zu ähnlichen Ergebnissen führte eine zweite Untersuchung von WUSATOWSKI [23] über Walzkraftformeln einiger sowjetischer Autoren. Es werden in dieser Arbeit die Walzkraftformeln von GUBKIN, GOLOWIN-SCHWEJKIN, ZELIKOW und SAMARIN behandelt. Als Vergleichsgrundlage dienten die bereits erwähnten Versuche von TJAGUNOW.

LUCAS und EMICKE [24] veröffentlichten vergleichende Untersuchungen über Berechnungsergebnisse nach den Walzkraftformeln von GELEJI, BROEMEL, OROWAN, TRINKS, EKELUND, JAGLARZ (GOLOWIN-TJAGUNOW) sowie ZELIKOW und Betriebsmessungen an einer Grobblechstraße. Auch in diesem Falle ergaben sich erhebliche Ab-

weichungen zwischen den nach obigen Berechnungsverfahren erzielten Ergebnissen und den am Walzgerüst gemessenen Walzkräften.

FIKRY EL GAWLY [25] behandelt in seiner Dissertation die Walzkraftformeln von TRINKS, EKELUND, OROWAN, SIMS, GELEJI, MICAN und KNESCHKE. Der Aufbau dieser Formeln und die bei der Ableitung berücksichtigten Einflußgrößen sowie die dabei zugrunde liegenden Gedankengänge werden dargestellt und Berechnungsergebnisse miteinander verglichen.

Die bereits erwähnten umfangreichen Walzversuche von WALLQUIST [18] mit Stählen verschiedenartiger Zusammensetzung zeigten ebenfalls beachtliche Unterschiede zwischen Berechnungs- und Versuchsergebnissen.

Zusammenfassung und Folgerungen

Eine nochmalige zusammenfassende Darstellung der bisherigen Veröffentlichungen theoretischer und experimenteller Arbeiten über das Walzproblem erschien mit Rücksicht auf die umfangreiche Literaturübersicht in den „Grundlagen des Walzverfahrens“ von HOFF und DAHL und der bereits aufgeführten Dissertation von FIKRY EL GAWLY nicht lohnend.

Mit vorstehenden Ausführungen wurde lediglich an Hand der wichtigsten Arbeiten über die Vorgänge im Walzspalt in gedrängter Form die bekannte Tatsache herausgestellt, daß selbst der einfache Walzvorgang auf der Flachbahn noch keineswegs als gelöstes Problem angesehen werden kann.

Mit Rücksicht darauf, daß man den Walzvorgang im Kaliber durch einen äquivalenten Stich auf der Flachbahn zu ersetzen versucht, scheint es jedoch angebracht, die Frage nach der Vergleichbarkeit zweier Walzvorgänge genauer zu untersuchen.

Die Tatsache, daß es beim Warmwalzen zur Zeit noch nicht möglich ist, in der bereits erwähnten Beziehung

$$k_w = k_f \cdot f(w)$$

Einflüsse der Formänderungsfestigkeit k_f von solchen der geometrischen Form des Walzspalts, d. h. der Funktion $f(w)$, zu trennen, bereitet bei der Nachprüfung mathematischer Untersuchungen des Walzproblems durch praktische Versuche Schwierigkeiten.

Die Formänderungsfestigkeit k_f des Walzgutes ist abhängig vom Werkstoff, der Temperatur, der Formänderungsgeschwindigkeit und, wie die neuesten Untersuchungen von LUEG und MÜLLER [11, 26, 27] sowie COOK [35] zeigten, auch von der Größe der Formänderung. Wenn man demnach in einem gegebenen Fall die geometrische Form des Walzspalts durch Wahl eines anderen Walzendurchmessers oder Dickenverhältnisses ändert, so ergeben sich sowohl für den Ausdruck $f(w)$ als auch für die Formänderungsfestigkeit k_f andere Werte, da sich gleichzeitig auch die Formänderung und Formänderungsgeschwindigkeit geändert haben.

Über diese Abhängigkeit zwischen k_f und $f(w)$ ist zur Zeit nur wenig bekannt. Eine weitere Unsicherheit ergibt sich dadurch, daß der Ausdruck $f(w)$ der meisten Walzkraftformeln die Reibungszahl zwischen Walze und Walzgut enthält, über deren Größe ebenfalls nur angenäherte Aussagen möglich sind.

Wird nun durch Walzkraftmessungen der Wert von k_w als mittlerer spezifischer Flächendruck zwischen Walze und Walzgut im Walzspalt ermittelt und es ergeben sich Abweichungen gegenüber der Berechnung nach einer Walzkraftformel, so kann der Fehler — von Fehlmessungen abgesehen — sowohl in der gewählten Formänderungsfestigkeit k_f als auch im Ausdruck $f(\varpi)$ liegen. TRINKS und ZELIKOW geben beispielsweise für die Lösung von $f(\varpi)$, d. h. das Verhältnis k_w/k_f , praktisch das gleiche Schaubild an, da beide die KÁRMÁNSche Gleichung integrieren. ZELIKOW empfiehlt nun, für k_f den 1,15fachen Betrag der Warmzugfestigkeit einzusetzen, während TRINKS dafür,

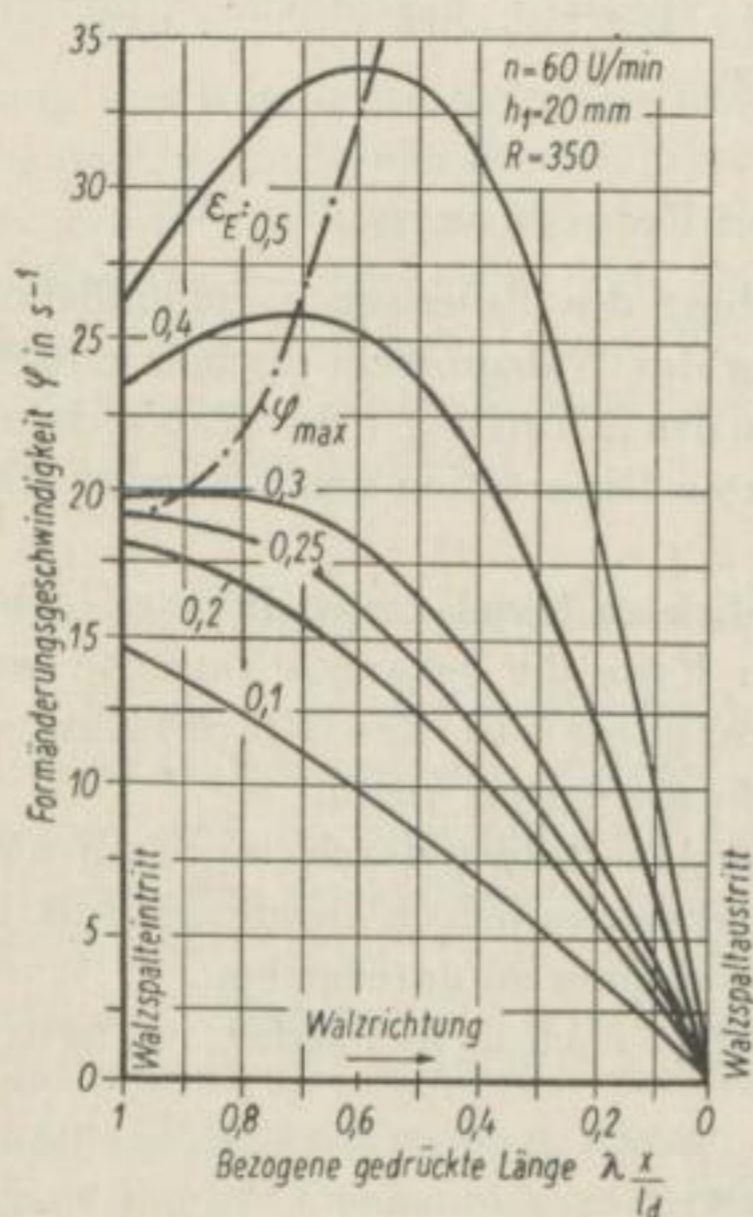


Bild 2. Formänderungsgeschwindigkeit im Walzspalt bei gleicher Drehzahl n , gleicher Enddicke h und gleichem Walzenhalbmesser R , aber verschiedenen Formänderungen (nach W. LUEG und H. MÜLLER)

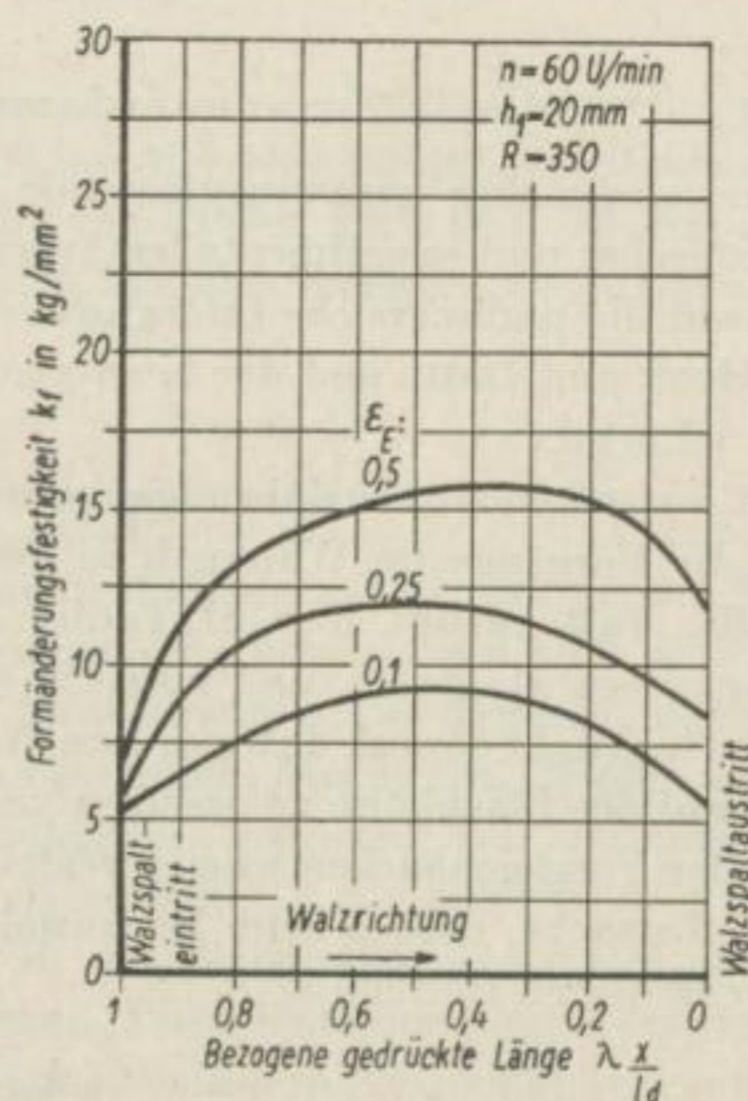


Bild 3. Verlauf der Formänderungsfestigkeit k_f für Stahl 16 Mn Cr 5, Walztemperatur 1100°C (nach W. LUEG und H. MÜLLER)

wie bereits erwähnt, ein aus Versuchen errechnetes Schaubild aufführt. Es ist nun denkbar, daß innerhalb eines gewissen Bereichs der durch unrichtige Wahl von k_f verursachte Fehler durch den ebenfalls fehlerhaften Verlauf von $f(\varpi)$ bis zu einem gewissen Grade aufgehoben wird. Dies bedeutet, daß man die angenäherte Gültigkeit einer Walzkraftformel innerhalb dieses Bereichs durch Walzversuche nachweisen kann, obwohl die Ausgangsgrößen unrichtig sind.

Die Wahl der Formänderungsfestigkeit k_f wird noch dadurch erschwert, daß sich die Formänderungsgeschwindigkeit innerhalb des Walzspalts vom Eintritt bis zum Austritt des Walzgutes erheblich ändert. Die Formänderungsfestigkeit muß aus diesem Grunde auf eine mittlere Formänderungsgeschwindigkeit bezogen werden. Dieses Problem wurde von H. G. MÜLLER [27] behandelt.

Bild 2 zeigt den Verlauf der Formänderungsgeschwindigkeit im Walzspalt bei verschiedener Formänderung, unveränderlicher Drehzahl und gleichem Dickenverhältnis. In Bild 3 sind die zugehörigen Werte der Formänderungsfestigkeit k_f für Stahl 16 Mn Cr 5 bei einer Temperatur von 1100 °C dargestellt.

Der Einfluß der geometrischen Form des Walzspalts zeigt sich nun offensichtlich wie folgt: In Bild 4 ist die Formänderungszone für verschiedene geometrische Verhältnisse dargestellt. Dabei ist in den drei Fällen der Walzendurchmesser unterschiedlich, während die Ausgangs- und Enddicke sowie die Formänderung konstant sind. Gleiche mittlere Formänderungsgeschwindigkeiten erhält man durch entsprechende Wahl der Walzendrehzahl. In Bild 6 sind die Verhältnisse bei unveränderlichem Walzendurchmesser,

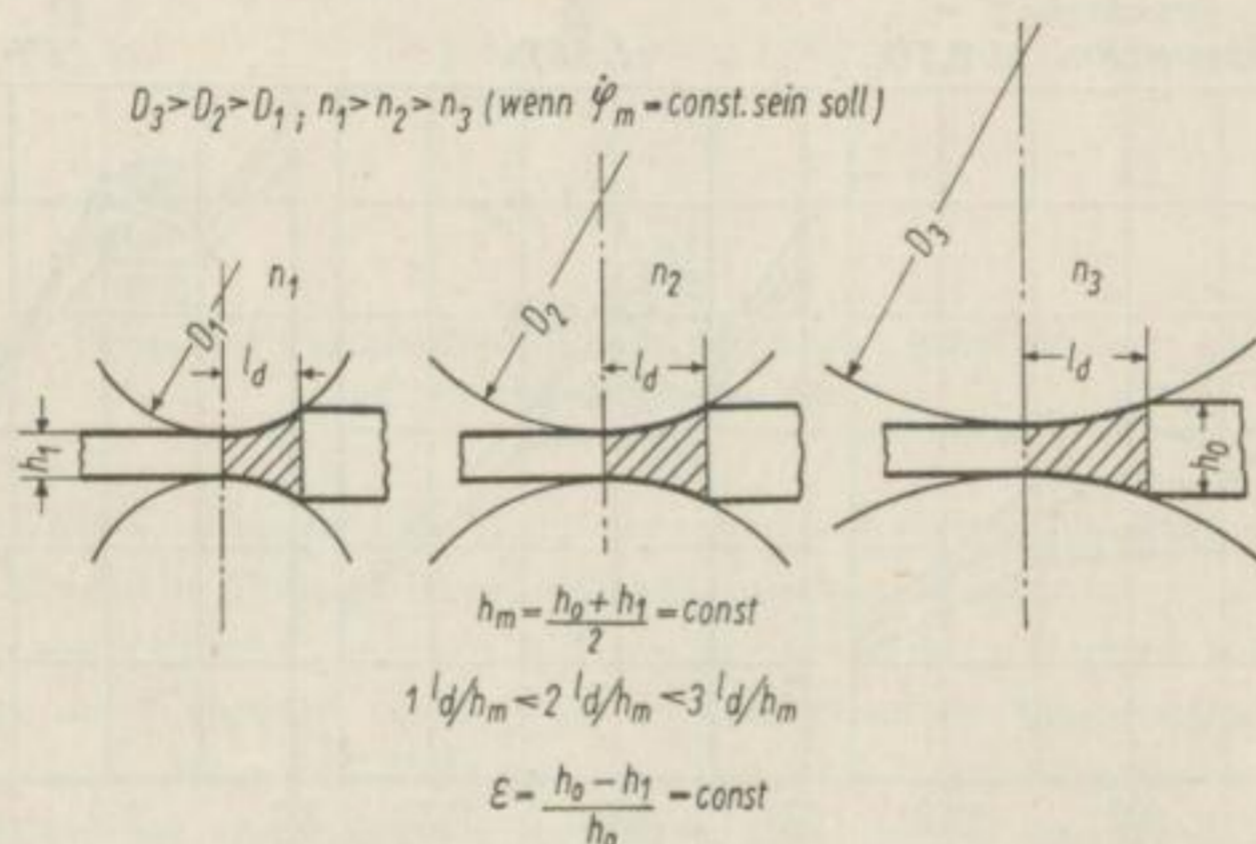


Bild 4. Einfluß des Walzspaltverhältnisses l_d/h_m auf Größe und Form der Formänderungszone bei unveränderlicher Formänderung

unveränderlicher Ausgangsdicke und unterschiedlicher Enddicke dargestellt. Mit wachsendem Walzspaltverhältnis l_d/h_m werden offensichtlich die durch Reibungskräfte zwischen Walze und Werkstoffoberfläche im Walzgut auftretenden Zonen behinderter Formänderung größer. Je nach der geometrischen Form des Walzspalts wird demnach in der bekannten Beziehung für den Formänderungswiderstand

$$k_w = k_f + k_r + k_i \quad (6)$$

der Anteil von k_r (äußere Reibung) bzw. k_i (zusätzliche innere Werkstoffverlagerung) unterschiedlich sein. Bei gleicher Formänderungsfestigkeit k_f wächst somit der Formänderungswiderstand k_w , wenn l_d/h_m größer wird, da der Anteil der äußeren Reibung und der inneren Werkstoffverlagerungen zunimmt.

Auch die mittlere Formänderungsgeschwindigkeit

$$\dot{\varphi}_m = \frac{v_u}{l_d} \ln \frac{h_0}{h_1} \rightarrow \psi \quad (7)$$

ist außer von der Walzendrehzahl vom Walzspaltverhältnis l_d/h_m abhängig. Da die Formänderungsfestigkeit bei Warmformgebung geschwindigkeitsabhängig ist, muß sich auch aus diesem Grunde der Formänderungswiderstand k_w beim Warmwalzen ändern,

wenn das Walzspaltverhältnis l_d/h_m verändert wird. Solange es nun nicht gelingt, die Formänderungsfestigkeit unabhängig vom Walzvorgang zu ermitteln, d. h. Fließkurven verschiedener Werkstoffe bei Warmformgebung, z. B. durch Stauchversuche, zu ermitteln, bleibt die Nachprüfung von Walzkraftformeln problematisch. Beim Kaltwalzen dürften die Schwierigkeiten nicht so groß sein, da die nach dem SIEBELSchen Kegelstauchversuch ermittelten Fließkurven für zahlreiche Werkstoffe bekannt sind.

Im deutschen, angelsächsischen und schwedischen Schrifttum ist es üblich, den Formänderungswiderstand k_w beim Walzen in Abhängigkeit vom Dickenverhältnis h_0/D bzw. h_1/D und der bezogenen Abnahme als Parameter darzustellen (Bild 5). Bei

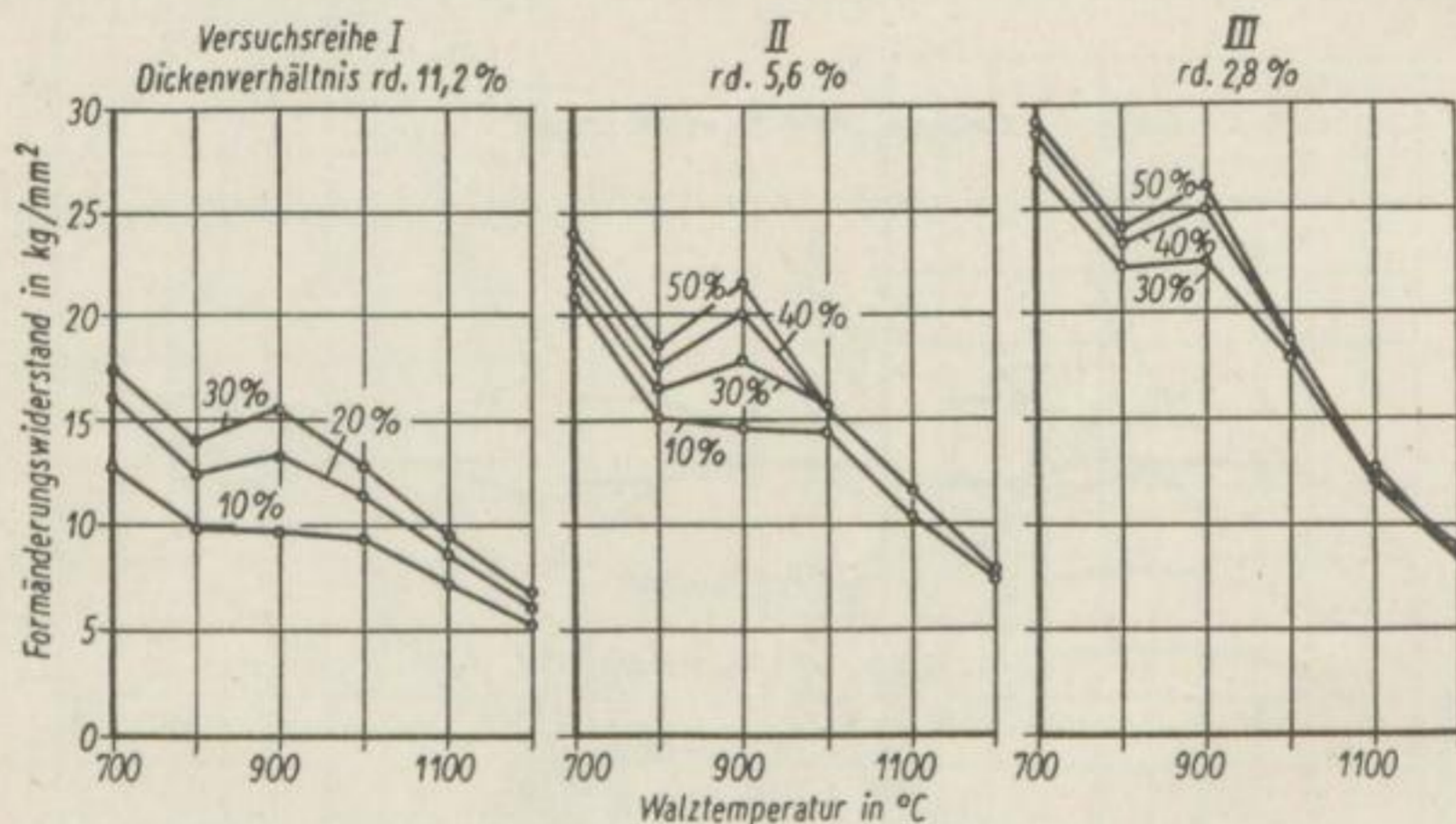


Bild 5. Formänderungswiderstand von weichem Flußstahl in Abhängigkeit von der Walztemperatur bei verschiedenen Dickenverhältnissen nach SIEBEL

Walzversuchen auf glatter Bahn ergeben sich bei gleichem Dickenverhältnis h_0/D bzw. h_1/D und veränderlichen Abnahmen unterschiedliche Werte von k_w (Bild 5). Die gewünschte Abnahme erreicht man dabei nach Bild 6 durch Anstellung der Oberwalze und Änderung von h_1 bzw. h_0 . Dadurch werden gleichzeitig das Walzspaltverhältnis l_w/h_m , d. h. die Funktion $f(\omega)$, die mittlere Formänderungsgeschwindigkeit und die Formänderung, beeinflusst. Unterschiedliche k_w -Werte sind in diesem Falle somit nicht nur eine Folge der geänderten Abnahme (Formänderung), sondern werden außerdem durch Änderungen der mittleren Formänderungsgeschwindigkeit und des Walzspaltverhältnisses hervorgerufen. Es ist demnach unrichtig, k_w -Werte ungleicher Formänderung (d. h. bei 10, 20, 30% usw. Abnahme) bei gleichem Dickenverhältnis (Bild 5) miteinander zu vergleichen, da sie „walzentechnisch nicht ähnlich“ sind. Es ist naheliegend, anzunehmen, daß unter sonst gleichen Walzbedingungen, d. h. bei gleichbleibender Walztemperatur, Formänderung und mittlerer Formänderungsgeschwindigkeit sowie unveränderlichen Reibungsverhältnissen, im Walzspalt sich der Wert von k_w nicht ändert, wenn zwar der Walzendurchmesser bzw. die Ausgangs- und Enddicke des Walzstabes variiert werden, das Verhältnis l_d/h_m dabei jedoch unverändert bleibt.

Auf Grund dieser Ausführungen erscheint es lohnend, die k_w -Werte in Abhängigkeit vom Walzspaltverhältnis l_d/h_m darzustellen, wie dies vielfach in der sowjetischen Fachliteratur u. a. bei TARNOWSKI [28] zu finden ist, und die mittlere Formänderungsgeschwindigkeit als Parameter zu benutzen.

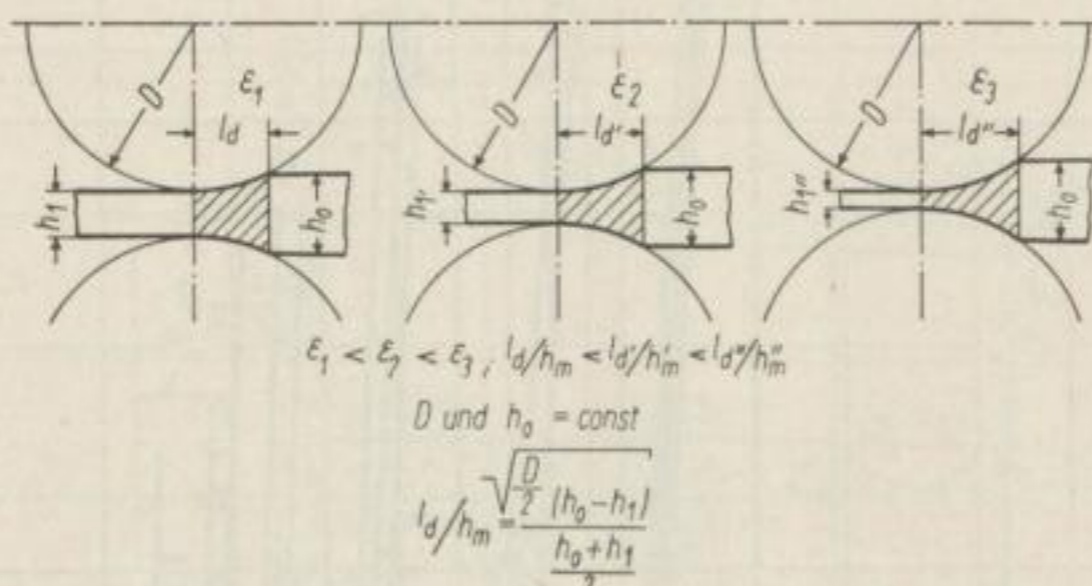


Bild 6. Größe und Form der Formänderungszone bei konstantem Dickenverhältnis h_0/D und veränderlicher Formänderung

In Bild 7 sind die Ergebnisse von Walzversuchen auf glatter Bahn mit Hüttenweichblei für unterschiedliche Walzspaltverhältnisse und Formänderungen aufgetragen. Der Formänderungswiderstand k_w zeigt in Abhängigkeit von der mittleren Formänderungsgeschwindigkeit im Walzspalt im doppelt logarithmischen Koordinatensystem einen geradlinigen Verlauf, wenn das Walzspaltverhältnis als Parameter gewählt wird. Diese Art der Darstellung ist unabhängig vom Walzendurchmesser und der Walzendrehzahl. Die k_w -Geraden verlaufen für konstantes l_d/h_m und unterschiedliche Formänderung etwa parallel. Ihre Neigung nimmt mit wachsendem Walzspaltverhältnis zu. Diese Darstellung zeigt außerdem sehr deutlich, daß der Formänderungswiderstand vor allem vom Walzspaltverhältnis l_d/h_m abhängig ist, während die Einflüsse der mittleren Formänderungsgeschwindigkeit und der Formänderung innerhalb des untersuchten Bereichs gering sind. Für ein mittleres Walzspaltverhältnis von $l_d/h_m = 3$ wächst der mittlere Formänderungswiderstand z. B. nur von etwa 4 kg/mm^2 bei $\dot{\varphi} = 1 \text{ s}^{-1}$ auf etwa 5 kg/mm^2 bei $\dot{\varphi} = 100 \text{ s}^{-1}$, d. h., er erhöht sich nur um ungefähr 25%, wenn die Formänderungsgeschwindigkeit den 100fachen Betrag erreicht. Demgegenüber erhöhen sich die k_w -Werte auf das 2,5- bis 2,8fache, wenn das Walzspaltverhältnis von $l_d/h_m = 1$ auf $l_d/h_m = 6$ wächst.

Da Blei beim Walzen bei Raumtemperatur eine merkliche Verfestigung zeigt, die nach kurzer Zeit wieder verschwindet, ist die Höhenlage der k_w -Geraden auch von der Größe der Formänderung abhängig. Dabei ergibt sich in Übereinstimmung mit den Stauchversuchen von H. G. MÜLLER [27] an Stahl 16 Mn Cr 5 und den Walzversuchen von SIEBEL (Bild 5), daß der Abstand der k_w -Geraden mit wachsender Formänderung abnimmt. Die k_w -Werte für eine Formänderung von über 30% liegen innerhalb des Streubereichs der Messungen. Bei einem Walzspaltverhältnis von $l_d/h_m = 0,8$ ist der Abstand zwischen den beiden Geraden für 10 und 20% Formänderung erheblich größer als bei $l_d/h_m = 1,5$. Dies steht ebenfalls in Übereinstimmung mit den Versuchsergebnissen von SIEBEL nach Bild 5.

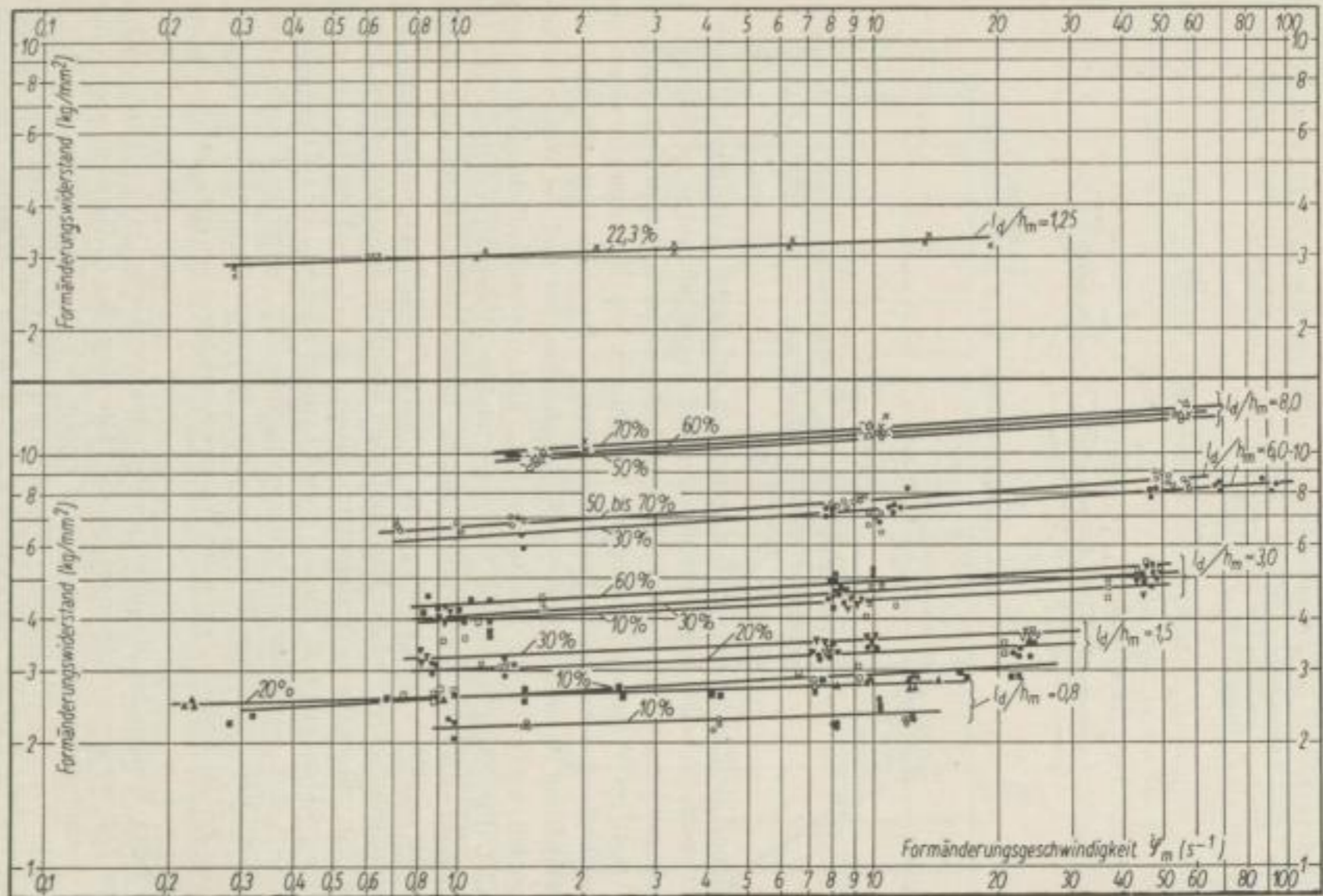


Bild 7. Formänderungswiderstand von Hüttenweichblei beim Walzen auf glatter Bahn
(Hartgußwalze 360 \varnothing , halbharte Walze 455 \varnothing)

Diese Art der Ermittlung und Darstellung des Formänderungswiderstandes im doppelt logarithmischen System bietet erhebliche Vorteile, da sie eine starke Einschränkung des Versuchsprogramms bedeutet, sie ist unabhängig vom Walzendurchmesser, der Walzendrehzahl und der Ausgangs- bzw. Enddicke.

Bild 8 zeigt z. B. die Ergebnisse von Walzversuchen an Reinaluminium bei einer Walztemperatur von ungefähr 530° bis 540° C. Da Reinaluminium bei dieser Warmformgebungstemperatur keine Verfestigung aufweist, erhält man unabhängig von der Abnahme und Ausgangshöhe gleiche k_w -Werte, obwohl das Dickenverhältnis unterschiedlich ist.

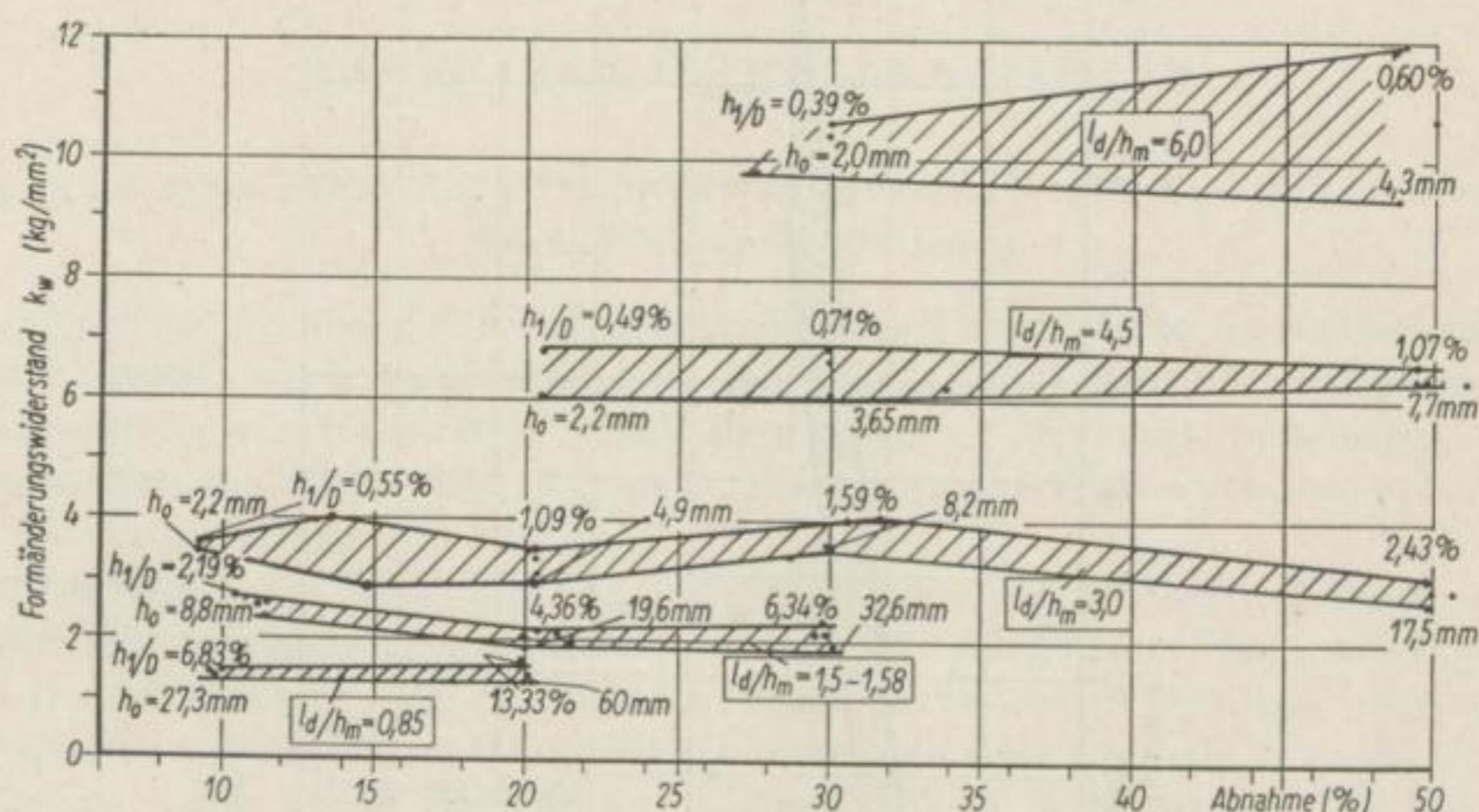


Bild 8. Formänderungswiderstand von Reinaluminium bei $\dot{\varphi}_m = 10 \text{ s}^{-1}$, Walztemperatur $530/540^\circ$ C, Hartgußwalze $360 \text{ } \varnothing$ geschliffen

Trägt man in einem Schaubild den Formänderungswiderstand von Hüttenweichblei, Reinaluminium und Stahl Mu 8 über l_d/h_m auf, so ergibt sich Bild 9. Die mittlere Formänderungsgeschwindigkeit beträgt $8,5$ bis $11,5 \text{ s}^{-1}$ und kann mit Rücksicht auf ihren geringen Einfluß mit $\dot{\varphi} \sim 10 \text{ s}^{-1}$ als ungefähr konstant angesehen werden. Nach Untersuchungen von W. LUEG und H. G. MÜLLER [11] müßte auch bei Stahl Mu 8 beim Warmwalzen eine geringe Verfestigung, abhängig von der Größe der Formänderung, auftreten. Die Streuung der Meßergebnisse bei den Warmwalzversuchen war jedoch zu groß, um diesen Einfluß nachweisen zu können. Insbesondere tritt bei größeren Werten von l_d/h_m , d. h. dünneren Walzproben, der Einfluß der Wärmeableitung durch die Walzen stärker in Erscheinung und wirkt sich auf die Meßergebnisse aus. Es läßt sich beispielsweise die Frage, ob die k_w -Kurven des Stahls Mu 8 bei 1280 und 1130° C Walztemperatur, ähnlich wie die von Reinaluminium, parallel verlaufen, nicht mit Sicherheit beantworten. Diese Frage müßte durch weitere Versuche geklärt werden.

Mit Hilfe von Bild 9 ist es trotzdem möglich, den entscheidenden Einfluß des Walzspaltverhältnisses, d. h. der geometrischen Form des Walzspalts, auf den Formänderungswiderstand beim Warmwalzen nachzuweisen und abzuschätzen. Unterschiedliche Formänderungsgrade werden ähnlich wie beim Blei eine annähernd parallele Verschiebung der k_w -Kurven nach oben oder unten bewirken.

Zusammenfassend ergibt sich somit, daß zwei Walzvorgänge auf der Flachbahn walzentechnisch nur dann ähnlich sind, wenn außer dem

Werkstoff, der Walztemperatur und der Reibungszahl, das Walzspaltverhältnis l_d/h_m , die mittlere Formänderungsgeschwindigkeit und die Größe der Formänderung übereinstimmen.

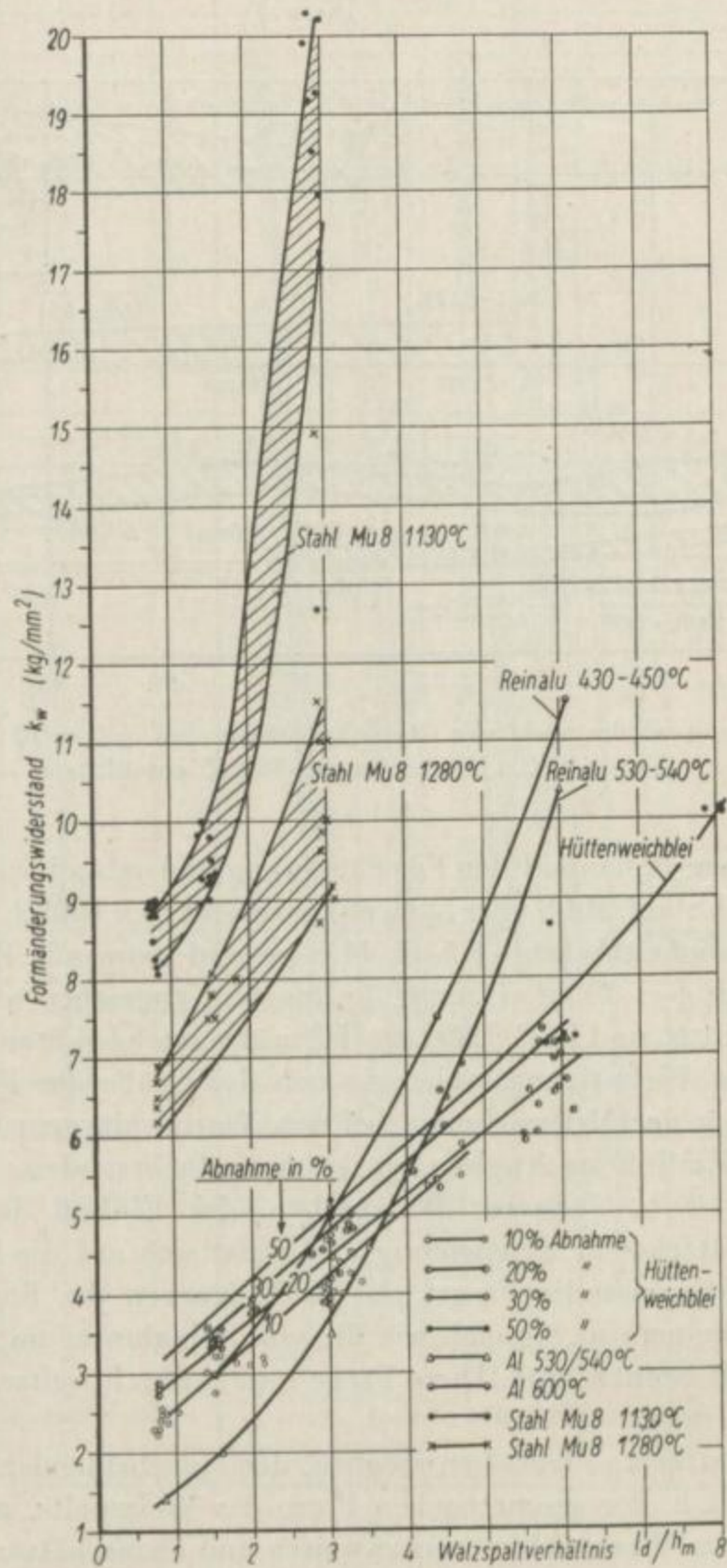


Bild 9. Formänderungswiderstand von Hüttenweichblei, Reinaluminium und Stahl Mu 8 bei $\dot{\varphi}_m = 8,5$ bis $11,5 \text{ s}^{-1}$
Hartgußwalze 360 \varnothing halbharte Walze 450 \varnothing

DAS WALZEN IN STRECKKALIBERN

Gegenwärtiger Stand der Erkenntnisse über den Kraft- und Arbeitsbedarf beim Walzen in Kalibern

Untersuchungen über den Kraft- und Arbeitsbedarf beim Walzen im Kaliber wurden verhältnismäßig wenig veröffentlicht. In den grundlegenden Arbeiten von PUPPE [13] zur Ermittlung von Walzkräften beim Walzen in Kasten-, Knüppel-, Spitzbogen- sowie Formkalibern für Winkel, U- und Doppel-T-Träger ist dem Walzen von Draht ebenfalls ein Abschnitt gewidmet.

PUPPE untersucht dabei den Leistungsbedarf einer aus 11 Gerüsten bestehenden Drahtstraße, und zwar einer zweigerüstigen Vorstaffel mit 400 mm Walzendurchmesser und einer Drehzahl $n = 275$ U/min sowie einer offenen aus 9 Gerüsten aufgebauten Fertigstaffel mit 240/280 mm Walzendurchmesser und einer Drehzahl $n = 550$ U/min.

Gewalzt wurde Draht von 5 \varnothing aus Knüppeln 52 \varnothing in 16 Stichen. Die Anstichtemperatur betrug 1250, die Endwalztemperatur etwa 900° C.

Die Kalibrierung ist wie folgt angegeben:

Vorgerüst: Quadrat-Oval

| | | | | | | | |
|----------|-------|------------------|-------|------------------|-------|------------------|------|
| Kaliber: | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| | 72/27 | 34 \varnothing | 48/16 | 21 \varnothing | 32/10 | 14 \varnothing | 21/7 |

Fertigstaffel: Quadrat-Oval

| | | | | | | | | | |
|----------|--------------------|--------|-------------------|--------|-----------------|------|-----------------|-----|-----------------|
| Kaliber: | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| | 11,5 \varnothing | 17/4,5 | 7,5 \varnothing | 12/3,5 | 6 \varnothing | 10/3 | 5 \varnothing | 8/3 | 5 \varnothing |

Der Leistungsbedarf in der Fertigstaffel wächst nach Abzug der Leerlaufverluste von 48 PS im Kaliber 1 auf 75,5 PS im Kaliber 8. Im letzten Kaliber beträgt er 69,5 PS. Als mittleren Leistungsbedarf je Kaliber der Fertigstaffel ermittelte PUPPE etwa 60 PS. Die Walzkräfte wurden nicht bestimmt. Nach PUPPE haben sich mit Fragen des Kraftbedarfs beim Walzen im Kaliber besonders COTEL [29], SIEBEL [22, 30], GELEJI [19], H. G. MÜLLER [27], und FIKRY EL GAWLY [25] befaßt.

COTEL [29] leitete eine empirische Formel zur Berechnung der Walzleistung beim Walzen von Profilen aus den Versuchen von PUPPE ab und brachte sie auf die Form:

$$N = C \cdot \Delta F \cdot k \cdot v \quad (\text{PS})$$

- ΔF — Querschnittsabnahme (cm^2),
 v — Walzgeschwindigkeit (m/s),
 k — Fließgrenze (kg/mm^2),
 C — von der Kaliberform abhängiger Beiwert.

Der Kaliberbeiwert C wird von COTEL wie folgt angegeben:

$$C = 6 \text{ bis } 12 \text{ für Ovalkaliber,}$$

$$C = 6 \text{ bis } 12 \text{ für Rautenkaliber.}$$

SIEBEL [22] empfiehlt zur Berechnung der Walzkräfte beim Walzen in Kalibern die Formel

$$P = a_1 \cdot a_2 \cdot k'_w \cdot F_d \quad (\text{kg}).$$

- a_1 — Geschwindigkeitsbeiwert, abhängig von v/D ,
 v — Walzgeschwindigkeit (m/s),
 D — arbeitender Walzendurchmesser (m).

Nach SIEBEL beträgt der Kaliberreibungsbeiwert für Stiche:

$$\left. \begin{array}{l} \text{Quadrat in Oval} \\ \text{Oval in Quadrat} \\ \text{Raute in Raute} \\ \text{oder Quadrat} \end{array} \right\} a_2 = 1,2 \text{ bis } 1,3.$$

Der Geschwindigkeitseinfluß ist wie folgt zu berücksichtigen:

| $v/D = 1 \text{ bis } 2$ | $2 \text{ bis } 5$ | $5 \text{ bis } 10$ | $10 \text{ bis } 20$ | $20 \text{ bis } 50$ | $\left(\frac{\text{m/s}^{-1}}{\text{m}}\right)$ |
|--------------------------|--------------------|---------------------|----------------------|----------------------|---|
| a_1 1,0 | 1,1 | 1,2 | 1,35 | 1,5 | |

Für k'_w ist der Formänderungswiderstand des Werkstoffs beim Walzen auf glatter Bahn unter gleichen Walzbedingungen einzusetzen. Dies wären für weichen Flußstahl z. B. die in Bild 5 angegebenen Werte. SIEBEL [30] berichtet ferner über Walzkraftmessungen an einem 750er Triogerüst beim Walzen von Schienen und NPU 24 und 30. Dabei werden gleichzeitig die Versuche von PUPPE kritisch ausgewertet und der entscheidende Einfluß des Dickenverhältnisses, d. h. der geometrischen Form des Walzspalts, auf den Formänderungswiderstand herausgestellt.

H. G. MÜLLER [27] ermittelte die Walzkräfte und Drehmomente beim Walzen von Knüppeln 46 bis 110 \square in Rautenkalibern und Platinen an einem 700er Triogerüst im Betrieb. Legt man ähnliche Walzbedingungen zugrunde, das sind nach H. G. MÜLLER für einen bestimmten Werkstoff gleiche Walztemperatur, mittlere Formänderungsgeschwindigkeit und Höhenabnahme (Formänderung) sowie gleiches Dickenverhältnis, so ist der mittlere Formänderungswiderstand beim Walzen

von Knüppeln in Rautenkalibern etwa doppelt so hoch wie beim Walzen von Platinen. Die Drehmomentmessungen ergaben, daß beim Walzen von Platinen in den Fertigstichen das Gesamtdrehmoment häufig nur von einer Walze übernommen wurde. Der in dieser Arbeit unternommene Versuch einer statistischen Auswertung der Meßergebnisse zur Ermittlung der Ursachen dieser Erscheinung konnte nicht zum Ziele führen, da es unter Betriebsverhältnissen nur schwer möglich ist, die Walzbedingungen so zu variieren, wie dies zur Aufklärung obiger Erscheinung notwendig ist. Dies wurde bereits durch frühere Versuche am Versuchswalzwerk der Bergakademie Freiberg [31] nachgewiesen.

FIKRY EL GAWLY [25] untersuchte in seiner Dissertation die beim Walzen von C 10, Mk 82 und 100 Cr 6 in Oval-, Spitzbogen-, Rund- und Kastenkalibern auftretenden Walzkräfte bei verschiedenen Walztemperaturen. Er schlägt zur Berechnung des Formänderungswiderstands beim Walzen in Streckkalibern die Formel vor:

$$k_w = C(k + \Psi) \cdot Q_p \quad (\text{kg/mm}^2).$$

Darin bedeutet der Faktor C das Verhältnis der Formänderungswiderstände k_w Kaliber/ k_w Flachbahn. Der Formänderungswiderstand k_w Flachbahn ist dabei für einen äquivalenten Flachstich zu ermitteln, der sich ergibt, wenn man die Anfangs- und Endquerschnitte des im Kaliber gewalzten Stabs in flächengleiche Rechtecke mit der Ausgangs- bzw. Endbreite des gewalzten Profils verwandelt.

k ist die Formänderungsfestigkeit bei statischer Belastung, d. h. niedriger Formänderungsgeschwindigkeit, während durch die Größe Ψ das Auftreten eines Haftgebiets nach den Anschauungen von OROWAN, SIMS oder KNESCHKE berücksichtigt werden soll. Der Faktor Q_p enthält die geometrischen Einflußgrößen des Walzspalts und ist den Walzkraftformeln von SIMS oder EKELUND entsprechend anzusetzen.

Die Darlegungen über das Walzen auf der Flachbahn im ersten Abschnitt zeigen, daß die Berechnung von Walzkräften und Drehmomenten z. Z. bereits bei Flachstichen auf Schwierigkeiten stößt. Es erscheint somit fraglich, ob obige Formel beim Walzen im Kaliber brauchbare Ergebnisse liefert.

GELEJI [19] empfiehlt zur Berechnung des Leistungsbedarfs bei Quadrat-, Rauten-, Oval- und Rundkalibern die Formel

$$N = \frac{\Delta F k_{wm} v}{75} + \frac{2 P \mu v_r}{75} = N_a + N_r \quad (\text{PS}).$$

ΔF — Querschnittsabnahme (mm^2),

k_{wm} — mittlerer Formänderungswiderstand (kg/mm^2),

v — Walzgeschwindigkeit (m/s),

P — Walzkraft (kg),

μ — Reibungszahl zwischen Walze und Walzgut,

v_r — mittlere relative Gleitgeschwindigkeit zwischen Walzenoberfläche und Walzgut (m/s).

Bei Kalibern sind nach GELEJI der Anfangs- und Endquerschnitt in flächengleiche Rechtecke über der mittleren Breite des Walzstabs zu verwandeln und der Berechnung der mittleren Höhenabnahme sowie der gedrückten Länge und Fläche zugrunde zu legen.

Der mittlere Formänderungswiderstand k_{wm} beträgt nach GELEJI:

$$k_{wm} = k_f \left(1 + C \mu \frac{l_d}{h} \sqrt[4]{v} \right).$$

Grundsätzliche Betrachtungen über die Formänderung in Streckkalibern

Die Fließvorgänge im Walzspalt werden recht kompliziert, sobald man Profile walzt. Selbst die noch verhältnismäßig einfachen Formen der Streckkaliberreihen Quadrat-Oval, Rund-Oval, Raute-Raute und Quadrat-Raute sind einer mathematischen Behandlung zur Zeit nur schwer zugänglich.

Betrachtet man beispielsweise die Formänderung in einem Ovalekaliber beim Anstich eines quadratischen bzw. runden Stabs, so werden bei der Stichfolge Quadrat in Oval vor allem die außen liegenden Teile des Walzstabs stärker, die Mitte dagegen weniger gestreckt. Bei der Stichfolge Rund in Oval liegen die Verhältnisse umgekehrt. Hier erfolgt die stärkste Streckung des Walzstabs in der Mitte, während die Randgebiete eine geringere Längung erfahren. Bei den Stichfolgen Oval in Quadrat und Oval in Rund sind die Fließvorgänge noch verwickelter (s. Bilder 10a, 10b, 10c).

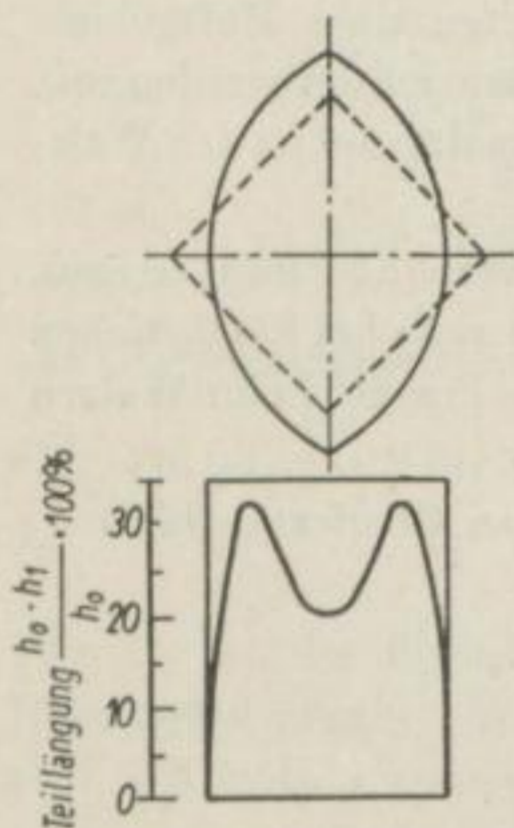


Bild 10a. Teillängungsschaubild für den Durchgang eines Ovalstabes durch ein Quadratkaliber (nach HOFF und DAHL: „Walzenkalibrieren“)

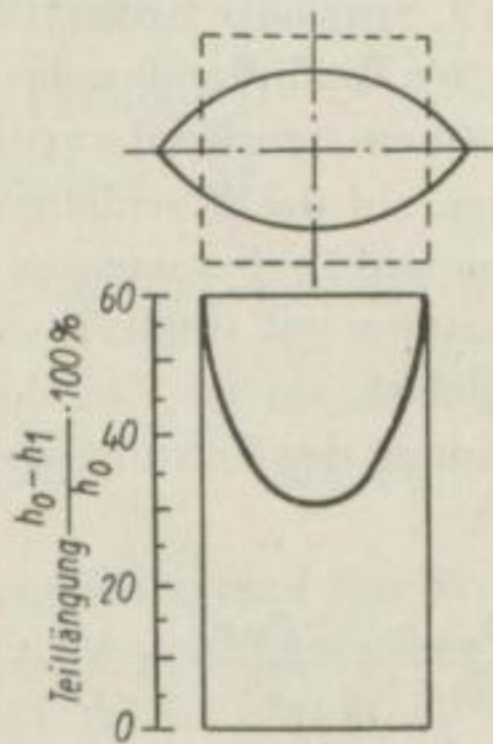


Bild 10b. Teillängungsschaubild für den Durchgang eines Quadratstabes durch ein Ovalekaliber (nach HOFF und DAHL: „Walzenkalibrieren“)

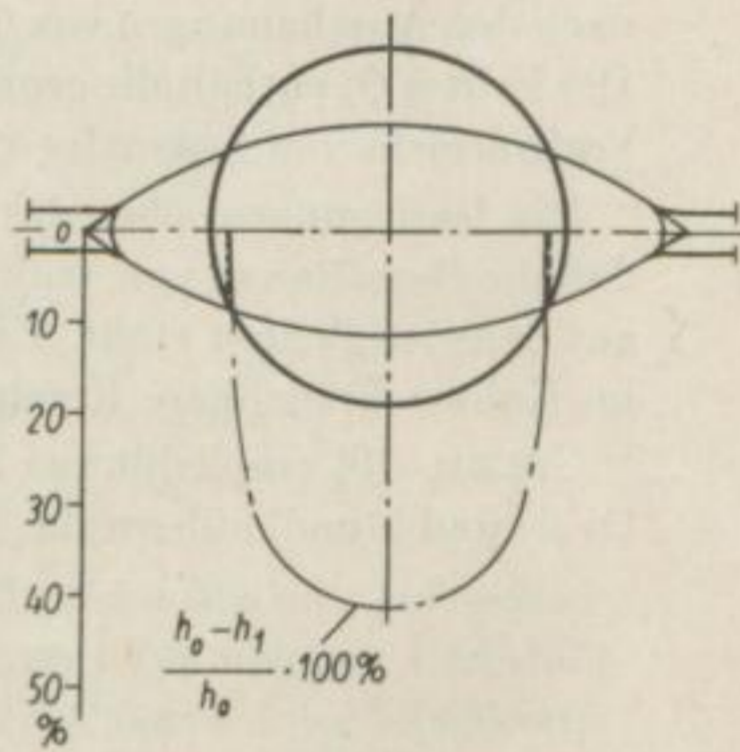


Bild 10c. Teillängungen bei einem Vorrund-Streckovalstich

Die unterschiedliche Höhenabnahme der Teilquerschnitte eines Walzstabs in einem Streckkaliber hat auch verschiedene Breitung der einzelnen Querschnittsteile zur Folge. Die senkrecht zur Kaliberoberfläche wirkende Stauchkraft läßt sich in zwei Komponenten zerlegen, deren eine senkrecht zur Walzrichtung, die andere dagegen waagrecht

in Richtung zur Stabmitte wirkt. Diese behindert gemeinsam mit der in gleicher Richtung wirkenden Reibungskraft zwischen Walzgut und Kaliber die Breitung des Werkstoffs in stärkerem Maße als beim Walzen auf der Flachbahn. Infolge des in diesem Fall vorliegenden dreiachsigen Spannungszustands erhöht sich die Formänderungsfestigkeit gegenüber dem ebenen Problem maximal um ungefähr 15%. Praktisch wird diese Erhöhung der Formänderungsfestigkeit meist geringer sein, da auch beim Walzen auf der Flachbahn kein zweiachsiger Spannungszustand mehr vorliegt. Die unterschiedliche Stauchung der einzelnen Teilquerschnitte hat jedoch Werkstoffverlagerungen innerhalb der Formänderungszone zur Folge, da der Walzstab seinen Zusammenhang nicht verliert.

In der Gleichung

$$k_w = k_f + k_r + k_i$$

nimmt somit der Anteil der äußeren Reibung k_r und der inneren Schiebungen k_i zu, wobei sich gleichzeitig k_f auf $1,15 k_f$ erhöht. Es ist zur Zeit nicht erfindlich, wie dieses Problem rechnerisch behandelt werden könnte. Die Frage, ob die hydrodynamische Betrachtungsweise der Fließvorgänge im Walzspalt zu brauchbaren Lösungen führt, muß zunächst unbeantwortet bleiben.

Somit ist es wenig sinnvoll, Walzkräfte und Drehmomente beim Walzen im Kaliber durch Rechnung mit Hilfe bekannter Walzkraftformeln zu ermitteln. Zweckmäßiger ist ihre Messung an Versuchswalzwerken oder im Betrieb.

Dies ist auch deshalb von Vorteil, weil die Verhältnisse im Betrieb meist ohnehin gewissen Veränderungen unterliegen. Beim Walzen wird im allgemeinen ein gewisses Verhältnis zwischen dem Walzendurchmesser und dem größten bzw. kleinsten auf einer Walze herzustellenden Profil nicht unter- bzw. überschritten. Das Walzspalt- bzw. Dickenverhältnis liegt aus diesem Grunde innerhalb bestimmter Grenzen. Die übrigen Walzbedingungen, z. B. die Walzgeschwindigkeit, Walztemperatur, Stichabnahme usw., sind an bestimmte technologische und maschinentechnische Voraussetzungen gebunden. Bei einer Walzenstraße muß somit von vornherein damit gerechnet werden, daß die Walzkräfte und Drehmomente unter Umständen beträchtlich schwanken, sie liegen jedoch innerhalb gewisser durch das Walzprogramm und die Technologie bestimmter Grenzen. In vielen Fällen wird es demnach genügen, die höchsten und niedrigsten Werte meßtechnisch zu erfassen. Beim Arbeiten an Versuchsgeräten ist zu beachten, daß die Versuchsbedingungen den Verhältnissen im Betrieb weitgehend angepaßt werden, um bei der Übertragung der Ergebnisse in die Praxis etwa auftretende Abweichungen in erträglichen Grenzen zu halten.

Beim Walzen in Streckkalibern sind noch einige Besonderheiten zu beachten. Wie bereits ausgeführt wurde, erfahren die einzelnen Teilquerschnitte des Walzstabs beim Walzen in diesen Kalibern nach Bild 10 eine unterschiedliche Formänderung. Die Stauchung der Teilquerschnitte wächst bei der Stichfolge Quadrat in Oval von der Mitte zum Rand des Stabs, bei der Folge Rund in Oval in umgekehrter Richtung. Der Werkstofffluß ist beim Walzen eines Ovals in einem Quadratkaliber noch verwickelter. Da der Stab seinen Zusammenhang beim Walzen behält, ist die Längung der einzelnen Teilquerschnitte gleich groß. Daraus folgt, daß sie verschieden stark breiten müssen. Der Breitgrad $\beta = b_1/b_0$ ist somit offensichtlich ein Mittelwert, genauso wie der

Stauchgrad $\gamma = \frac{h_{1m}}{h_{0m}}$. Die mittlere logarithmische Hauptformänderung ergibt sich aus

$$\varphi_h = \ln \frac{h_{0m}}{h_{1m}},$$

wobei $h_{1m} = \frac{F_1}{b_1}$ und $h_{0m} = \frac{F_0}{b_0}$ bedeutet.

h_{0m} — mittlere Höhe des Querschnitts vor dem Stich,

h_{1m} — mittlere Höhe des Querschnitts nach dem Stich,

F_0 — Anstichquerschnitt,

F_1 — Endquerschnitt,

b_0 — Ausgangsbreite,

b_1 — Endbreite.

Die Frage, ob diese Art der Ermittlung der mittleren Höhen nach SIEBEL, GELEJI u. a. den wirklichen Fließvorgängen im Walzspalt gerecht wird, muß mangels fehlender Untersuchungen zunächst unbeantwortet bleiben.

Einen Anhaltspunkt bieten die umfangreichen Untersuchungen über Fließvorgänge beim Walzen in Kalibern von N. METZ [36]. Dabei wurden in die Walzstäbe Schrauben eingesetzt, aus deren Formänderung nach dem Stich auf den Werkstofffluß beim Walzen im Kaliber geschlossen werden kann. METZ beabsichtigte vor allem aus der Formänderung der Gewindegänge Aussagen über die Fließvorgänge im Kaliber zu machen. Da sich die eingesetzten Schrauben jedoch räumlich verformten, gelang dies nicht. Dies stellte bereits SIEBEL [37] fest. Aus der Änderung der Schraubenform konnten jedoch wichtige Aussagen über Längung und Breitung der einzelnen Teilquerschnitte bei Quadrat- in Oval- und Oval- in Quadrat- sowie Oval- in Rund-Stichen gewonnen werden. METZ kam zu dem Ergebnis, daß bei Stichen Quadrat in Oval die Grundfläche des angestochenen Quadrats nicht breitet, sondern die Ovalform so gebildet wird, daß sich die Seiten des Quadrats um und an die Kaliberwand des Ovals anlegen. Die stärkste Breitung tritt dabei an den Enden des Ovals auf. Das Verbiegen quer eingesetzter Schrauben entgegen der Walzrichtung beweist das Auftreten von Längskräften.

Beim Anstich eines Ovals in einem Quadratkaliber tritt nach METZ die größte Breitung an der waagerechten Diagonale auf.

Bei diesen schon vor langer Zeit durchgeführten Untersuchungen fehlt verständlicherweise die Streckkaliberreihe Rund-Oval. In der Arbeit wurde lediglich der Werkstofffluß in einem Fertigkaliber, d. h. einem Stich Voroval in Rund, aufgeführt. Das Querverformungsschaubild zeigt, daß in diesem Fall der mittlere Teilquerschnitt geringfügig einschnürt, während die anderen ziemlich gleichmäßig breiten.

Auch bei Stichen Raute in Quadrat stellte METZ wie bei Quadrat in Oval fest, daß sich der Werkstoff ähnlich wie beim Oval um- und an das Kaliber anlegt.

Nach Angabe von METZ eignen sich die in obiger Arbeit angegebenen Breitungsschaubilder für Flachstiche auch zur Ermittlung der Breitung von Quadrat- in Oval-, Oval- in Quadrat-, Oval- in Rund- und Raute in Quadrat-Stichen, wenn der Berechnung die mittleren Höhen der Anfangs- oder Endquerschnitte zugrunde gelegt werden. Bei Oval- in Quadrat-Stichen ist das so erhaltene Ergebnis um etwa 30% zu erhöhen.

Auf Grund dieser Ergebnisse ist zwar anzunehmen, daß die Ermittlung der mittleren Höhen durch Umwandlung des Anfangs- und Endquerschnitts in ein flächengleiches Rechteck über der Ausgangs- und Endbreite eine brauchbare Näherung darstellt, eine genaue Beantwortung dieser Frage setzt jedoch weitere Untersuchungen voraus.

Eine besondere Rolle spielt beim Walzen im Kaliber die Breitung. Dabei sind zwei Fälle zu unterscheiden:

1. Häufig führt man die Formänderung lediglich zum Zwecke einer raschen Querschnittsverminderung durch, wobei die Form des Ausgangsquerschnitts im allgemeinen erhalten bleibt, wie z. B. beim Knüppel- und Drahtwalzen. Man staucht dabei den Werkstoff in zwei zueinander senkrechten Richtungen. Als Enderzeugnis erhält man Walzstäbe mit einfachen, meist annähernd quadratischen oder runden Querschnittsformen. In diesem Falle ist die Breitung unerwünscht. Um sie zu beseitigen und den gewünschten Endquerschnitt zu erhalten, wird der Walzstab entweder unmittelbar in zwei aufeinanderfolgenden Stichen (Streckkaliberreihen) oder nach mehreren Stichen (Blockwalze) in zueinander senkrechten Richtungen gestaucht. Man erreicht dies durch Kanten des Blocks, Drallen des Walzstabs oder Änderung der Stauchrichtung um 90° bei Verwendung von Waagrecht- und Senkrechtgerüsten. Die in einem Stich aufgetretene Breitung muß im nachfolgenden beseitigt werden, was einen zusätzlichen Aufwand an Formänderungsarbeit erfordert und somit einen Verlust bedeutet. Man kann nun die für eine bestimmte Querschnittsabnahme bzw. Streckung notwendige Walzarbeit einer Stichfolge zur Beurteilung des Walzverfahrens heranziehen. Setzt man voraus, daß der Walzstab im Kaliber nicht breitet, so ist die Längung gleich der Hauptformänderung, d. h.

$$\ln \lambda_{\text{ges.}} = \varphi_{\text{ges.}} = \ln \frac{F_0}{F_1}$$

F_0 — Ausgangsquerschnitt,

F_1 — Endquerschnitt.

Vergleicht man nun diese Hauptformänderung mit der Summe der tatsächlichen Hauptformänderungen der einzelnen Stiche

$$\sum_{i=1}^{i=n} \ln \frac{h_{0mi}}{h_{1mi}} = \varphi_h,$$

so gestattet das Verhältnis $\varphi_h/\varphi_{\text{ges.}}$ eine Aussage darüber, in welchem Maße sich die Formänderungsarbeit durch die Breitung des Walzguts erhöht, da die Einzellängungen in den aufeinanderfolgenden Stichen nur einen Teil der Hauptformänderung betragen.

Allerdings ist der Aufwand an Formänderungsarbeit bei der Beurteilung des Walzverfahrens in Streckkaliberreihen nicht allein maßgebend. Von erheblicher Bedeutung sind auch technologische Einflüsse, insbesondere die Entstehung von Druckfaltungsrissen.

2. Betrachtet man dagegen das Walzen von Flachquerschnitten, Winkeln, Trägern, Schienen und anderen Profilen, so erfolgt die Formgebung durch Stauchen in überwiegend einer Richtung. Die Breitung wird dabei zur Bildung des Endquerschnitts aus-

genützt. Sie wirkt sich auf den Aufwand an Formänderungsarbeit insofern nicht ungünstig aus, als man sie nicht durch Stauchen senkrecht zur Hauptformänderungsrichtung beseitigen muß. Die verhältnismäßig leichten Stauchstiche zur Erhöhung der Maßhaltigkeit bei Flachquerschnitten oder beim Zunderbrechen fallen dabei meistens nicht entscheidend ins Gewicht. Allerdings wird sich auch in diesem Falle die Formänderungsarbeit erhöhen, wenn einzelne Querschnittsteile eines Profils infolge behinderter Streckung stark breiten und demzufolge der Anteil der äußeren Reibung sowie der inneren Werkstoffverlagerungen am Formänderungswiderstand wächst.

Formänderungsgeschwindigkeit

Die Formänderungsgeschwindigkeit ist bereits beim Walzen auf der Flachbahn innerhalb des Walzspalts stark veränderlich. Die betreffenden Untersuchungen von H. G. MÜLLER [27] wurden bereits aufgeführt. Danach fällt die Formänderungsgeschwindigkeit nach Bild 2 bis zu einer Abnahme von 25% von ihrem Höchstwert am Walzspalteintritt bis auf Null am Walzspaltende ab. Ist die Abnahme größer als 25%, so steigt die Formänderungsgeschwindigkeit zunächst an, erreicht innerhalb des Walzspalts ein Maximum und fällt dann in Form einer Parabel auf Null ab. Man legt den Betrachtungen über die Vorgänge im Walzspalt aus diesem Grunde einen Mittelwert der Formänderungsgeschwindigkeit zugrunde. Für die mittlere Formänderungs-

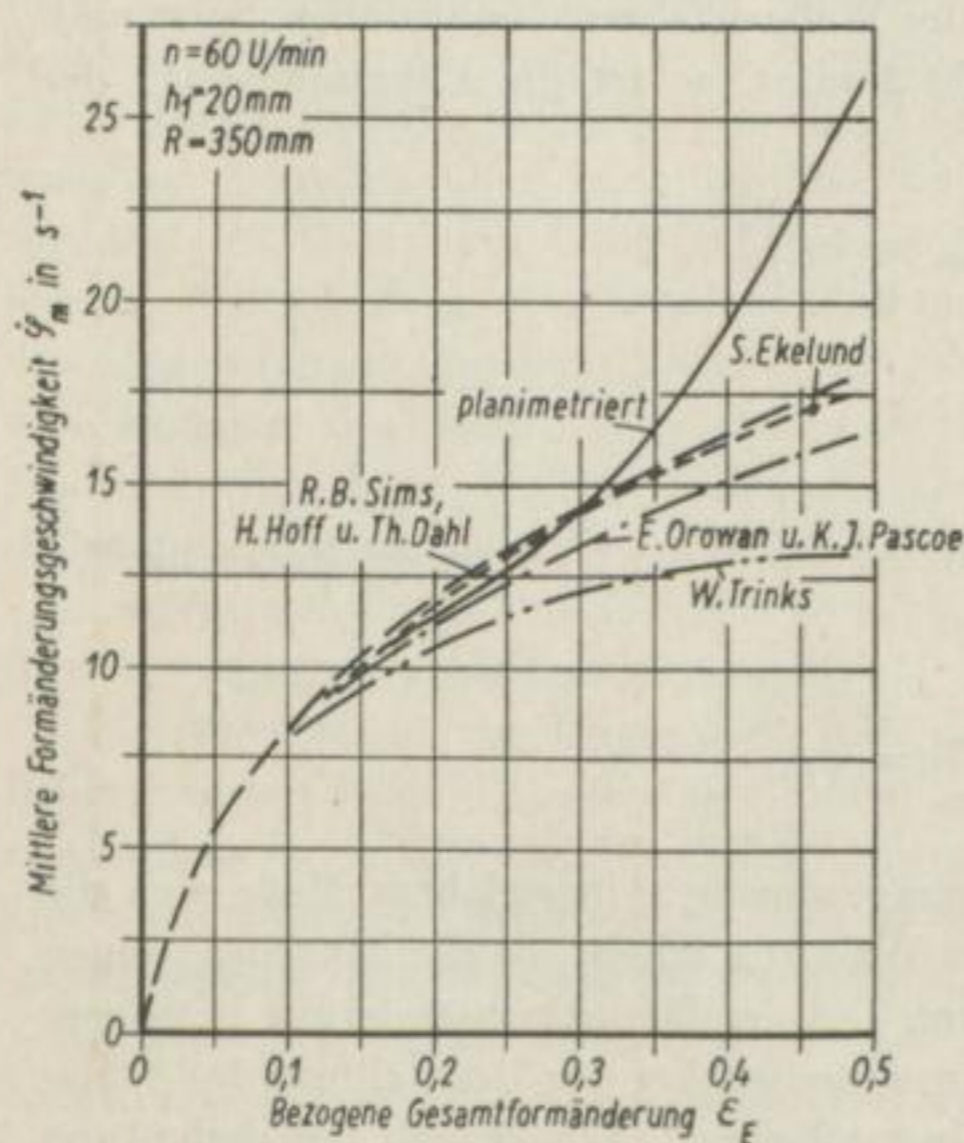


Bild 11. Gegenüberstellung von Formeln zur Berechnung der mittleren Formänderungsgeschwindigkeit $\dot{\varphi}_m$ im Walzspalt in Abhängigkeit von der Gesamtformänderung ϵ_E

R. B. SIMS, H. HOFF und TH. DAHL:

$$\dot{\varphi}_m = \frac{V_u}{l_d} \cdot l_n \frac{h_0}{h_1}$$

W. TRINKS:

$$\dot{\varphi}_m = \frac{V_u}{l_d} \cdot \frac{h_0 - h_1}{h_0}$$

S. EKELUND:

$$\dot{\varphi}_m = \frac{V_u}{l_d} \cdot \frac{h_0 - h_1}{h_0} \cdot \frac{2h_0}{h_0 + h_1}$$

E. OROWAN und K. J. PASCOE:

$$\dot{\varphi}_m = \frac{V_u}{l_d} \cdot \frac{h_0 - h_1}{h_0} \cdot \frac{h_0 + 3h_1}{4h_1}$$

(nach W. LUEG und H. MÜLLER)

geschwindigkeit werden von verschiedenen Autoren unterschiedliche Formeln angegeben. H. G. MÜLLER [27] hat die Rechnungsergebnisse nach den Formeln von TRINKS, OROWAN, SIMS sowie HOFF und DAHL untereinander und mit den wirklichen Verhältnissen im Walzspalt für einen Walzendurchmesser von 700 mm und eine Walzendrehzahl von 60 U/min bei einer Endhöhe $h_1 = 20$ mm verglichen und festgestellt, daß

bis zu einer Höhenabnahme von etwa 35% keine wesentlichen Abweichungen zwischen dem tatsächlichen aus Bild 2 durch Planimetrieren erhaltenen Mittelwert und den genannten Rechnungsverfahren vorhanden sind (Bild 11). Danach ergibt die Formel von HOFF und DAHL

$$\dot{\varphi}_m = \frac{V_u}{l_d} \varphi_h$$

bis zu Abnahmen von 35% gute Näherungswerte der mittleren Formänderungsgeschwindigkeit. Wird die Hauptformänderung jedoch größer als 35%, so ist eine entsprechende Korrektur notwendig. Ob diese Feststellung auch für Streckkaliber mit einem verhältnismäßig verwickelten Werkstofffluß zutrifft, müßte noch geklärt werden. Beim Walzen im Kaliber ist die Formänderungsgeschwindigkeit nicht nur in Walzrichtung, d. h. in Längsrichtung des Walzspalts, veränderlich, sondern auch in der Breite des Profils, da der Stauchgrad der Teilquerschnitte unterschiedlich ist. Wenn man bei Streckkalibern die mittleren Höhen der Ausgangs- und Endquerschnitte zugrunde legt, so ist die Formel von HOFF und DAHL somit nur als Annäherungsformel zur Abschätzung der mittleren Formänderungsgeschwindigkeit anzusehen. Bei größeren Abnahmen ist damit zu rechnen, daß die errechneten Werte zu niedrig liegen.

Die gedrückte Fläche F_d

Um bei Streckkaliberreihen die mittleren spezifischen Flächendrücke im Walzspalt durch Messung der Walzkräfte und anschließende Rechnung ermitteln bzw. bei bekannten mittleren Formänderungswiderständen die Walzkräfte berechnen zu können, muß die gedrückte Fläche F_d , d. h. die Projektion der Berührungsfläche zwischen Walze und Walzgut, auf eine zur Walzrichtung parallele waagerechte Ebene bekannt sein.

Der von der Ober- und Unterwalze gebildete Walzspalt wird von Drehflächen begrenzt. Dies sind bei einem Ovalekaliber zwei Kreisringflächen, wenn es von zwei Kreisbögen gebildet wird. Bei einem Quadratkaliber wird der Walzspalt, wenn man die Abrundungen der Kanten vernachlässigt, von vier Kegelflächen begrenzt. Da der Walzstab im Walzspalt breitet und zwischen Anstich- und Endquerschnitt erhebliche Unterschiede in der geometrischen Form bestehen, läßt sich die Durchdringungslinie zwischen dem Walzstab und den Begrenzungsflächen des Walzspalts nach den Regeln der darstellenden Geometrie nicht konstruieren, da der Verlauf der Erzeugenden der Walzstaboberfläche innerhalb des Walzspalts nicht bekannt ist.

Beim Anstich eines quadratischen Stabes in einem Ovalekaliber nach Bild 12 kommen zunächst die vier mit A und zuletzt die beiden mit B bezeichneten Punkte mit der Walze

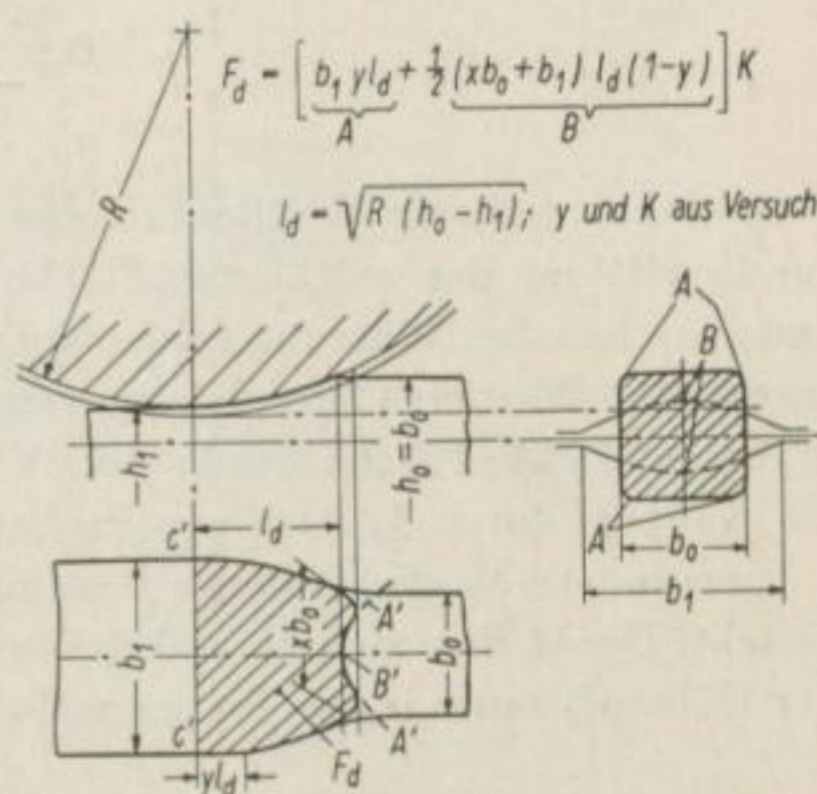


Bild 12. Ermittlung der gedrückten Fläche (Stichfolge: Quadrat-Oval)

in Berührung. Die Kurve $A'B'A'$ läßt sich als Schnittlinie der Ebene $A-A$ mit einer Drehfläche nach den Regeln der darstellenden Geometrie leicht bestimmen. Will man den Einfluß der Kantenabrundungen berücksichtigen, so erfordert dies einen erheblichen Aufwand an Zeichenarbeit. Da der Walzstab im Kaliber breitet, kann man die beiden seitlichen Begrenzungslinien $A'C'$ nicht ohne weiteres zeichnerisch ermitteln. SIEBEL und LUEG [30] haben nun vorgeschlagen, die gedrückte Fläche beim Walzen im Kaliber nach folgendem Verfahren zu berechnen:

Die gedrückte Fläche beträgt:

$$F_d = l_{dm} \cdot \frac{b_0 + b_1}{2},$$

wobei sich die mittlere gedrückte Länge l_{dm} aus der Beziehung

$$l_{dm} = \sqrt{\Delta h_m \cdot \frac{D_m}{2}}$$

ergibt.

Es bedeutet:

$$\Delta h_m = h_{0m} - h_{m1},$$

$$h_{0m} = \frac{F_0}{b_0},$$

$$h_{m1} = \frac{F_1}{b_1},$$

$$\frac{D_m}{2} \text{ — mittlerer arbeitender Durchmesser des Kalibers.}$$

In oben erwähnter Veröffentlichung wurde die Anwendung dieses Rechenverfahrens zur Ermittlung der gedrückten Fläche zeichnerisch an einem Rautenkaliber überprüft und zwischen der Näherung nach obiger Formel und dem genauen durch Planimetrieren ermittelten Wert eine Abweichung von etwa 2% ermittelt. Diese ist somit ohne Belang.

Die gedrückte Fläche wurde jedoch nur zeichnerisch bestimmt und keine Abdrücke des Kalibers durch Anstich von Probestäben angefertigt.

Eine andere Möglichkeit zur Bestimmung der gedrückten Fläche ist in Bild 12 dargestellt. Denkt man sich die gedrückte Fläche F_d in ein Rechteck mit der Breite b_1 und der Höhe yl_d sowie in ein Trapez zerlegt, so ergibt sie sich aus:

$$F_d = \left[b_1 y l_d + \frac{x b_0 + b_1}{2} \cdot (1 - y) \cdot l_d \right] \cdot k.$$

Durch den Faktor k wird der Einfluß der Abrundungen an den Kanten berücksichtigt. Die Länge l_d ist für den Walzenhalbmesser im Kalibergrund zu berechnen:

$$l_d = \sqrt{R(h_0 - h_1)}.$$

Die Beiwerte y und k sind durch Versuche zu ermitteln.

In Bild 13 sind die Verhältnisse bei einem Stich Oval in Quadrat dargestellt. Die gedrückte Länge l_d wird auch in diesem Falle für den Walzenhalbmesser im Kalibergrund errechnet. Die Formeln zur Ermittlung von l_d und F_d sind in Bild 13 angegeben und bedürfen keiner näheren Erläuterung.

Die Verhältnisse beim Einlaufen eines Rundstabs in ein Ovalkaliber sind in Bild 14 dargestellt. Die Berührung zwischen Walzstab und Kaliber erfolgt zuerst im Punkt A. Die gedrückte Fläche wird ähnlich wie bei der Stichfolge Quadrat in Oval angenähert aus einem Rechteck mit der Breite b_1 und der Höhe yl_d und einem Trapez zusammengesetzt. Sie ergibt sich aus:

$$F_d = b_1 y l_d + \frac{x d_0 + b_1}{2} \cdot (1 - y) \cdot l_d.$$

Die gedrückte Länge ist für den Walzenhalbmesser im Kalibergrund zu berechnen und beträgt angenähert:

$$l_d = \sqrt{R(d_0 - h_1)}.$$

Bild 15 zeigt die Berechnung der gedrückten Fläche für die Stichfolge Oval in Rund. Die im Bild aufgeführten Formeln bedürfen keiner weiteren Erläuterung.

Für die Stichfolgen Quadrat in Raute, Raute in Quadrat und Raute in Raute ergeben sich ähnliche Verhältnisse. Die gedrückte Fläche F_d wird nach Bild 16, wie bereits ausgeführt, aus einem Rechteck und einem Trapez zusammengesetzt. Sie ergibt sich aus

$$F_d = b_1 y l_d + \frac{b_0 + b_1}{2} \cdot (1 - y) \cdot l_d,$$

wobei die gedrückte Länge l_d für den Walzenhalbmesser im Kalibergrund zu berechnen ist. Der Beiwert y wird durch Versuche bestimmt.

Bild 15. Ermittlung der gedrückten Fläche (Stichfolge: Oval-Rund)

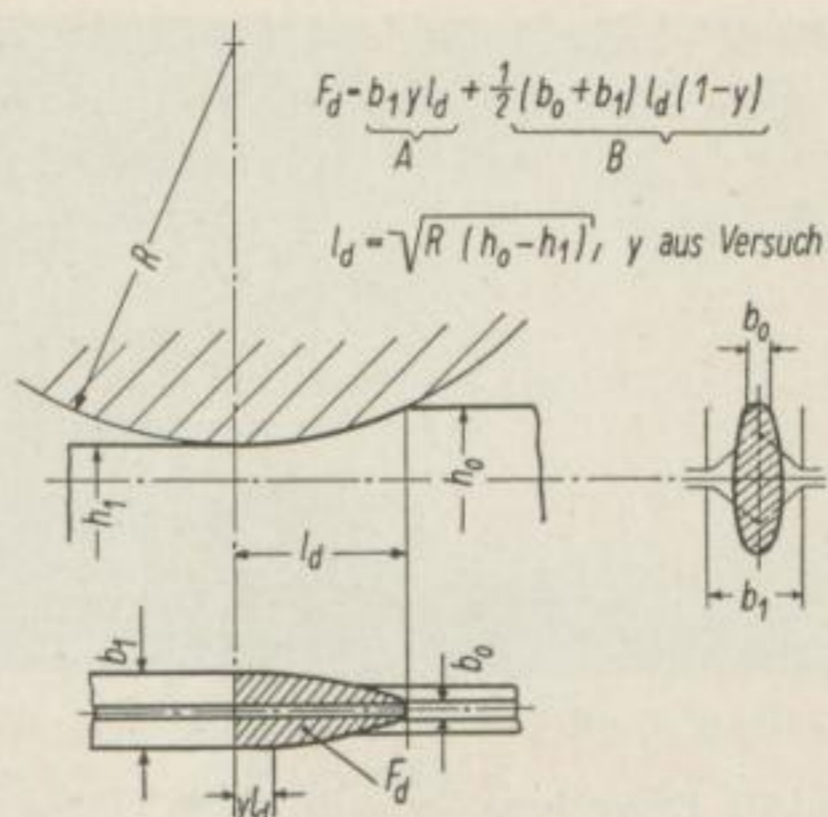


Bild 13. Ermittlung der gedrückten Fläche (Stichfolge: Oval-Quadrat)

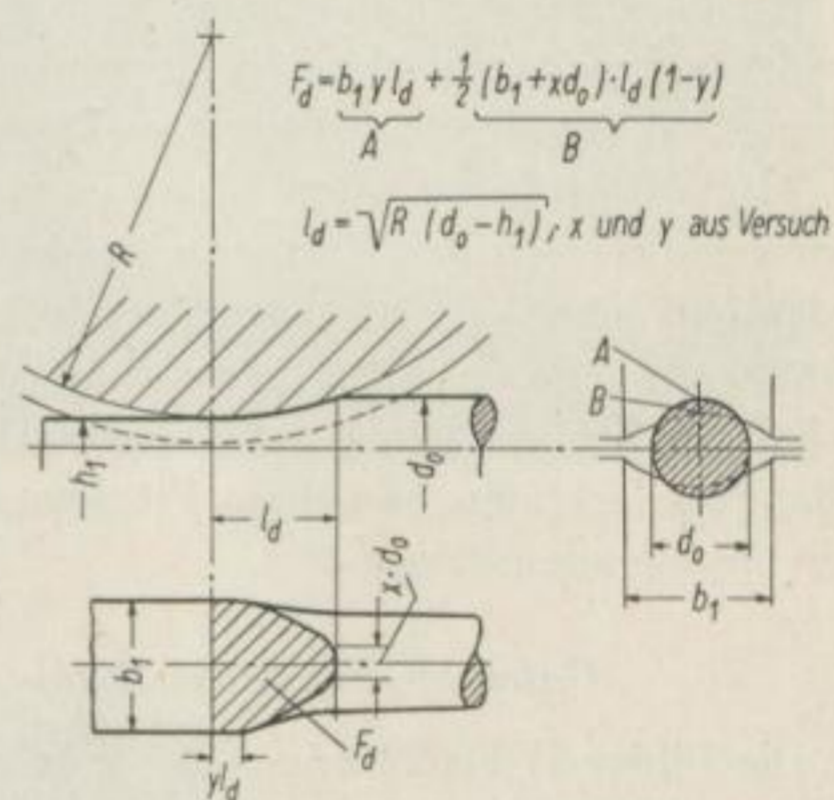
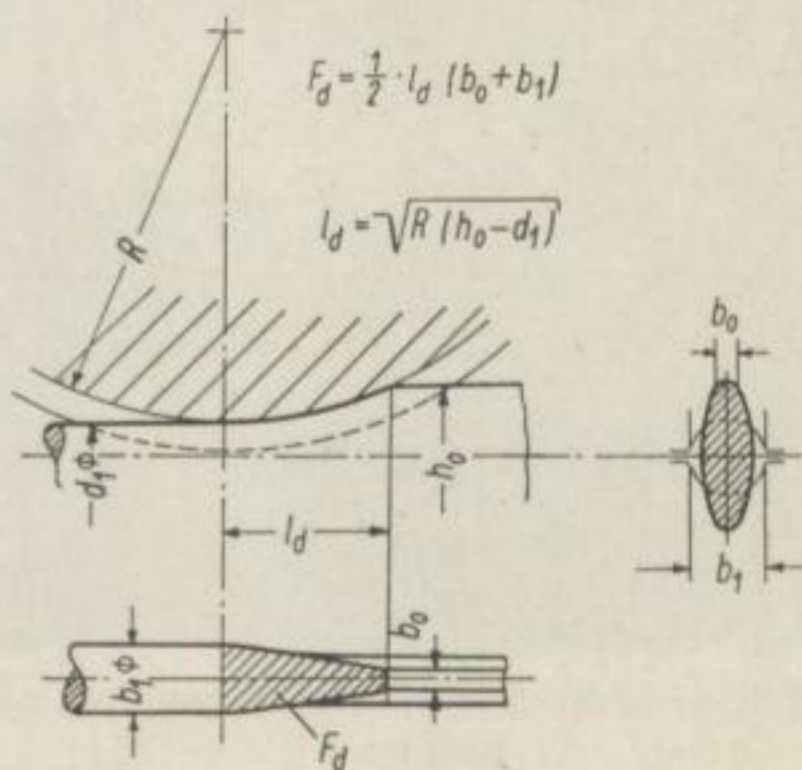


Bild 14. Ermittlung der gedrückten Fläche (Stichfolge: Rund-Oval)



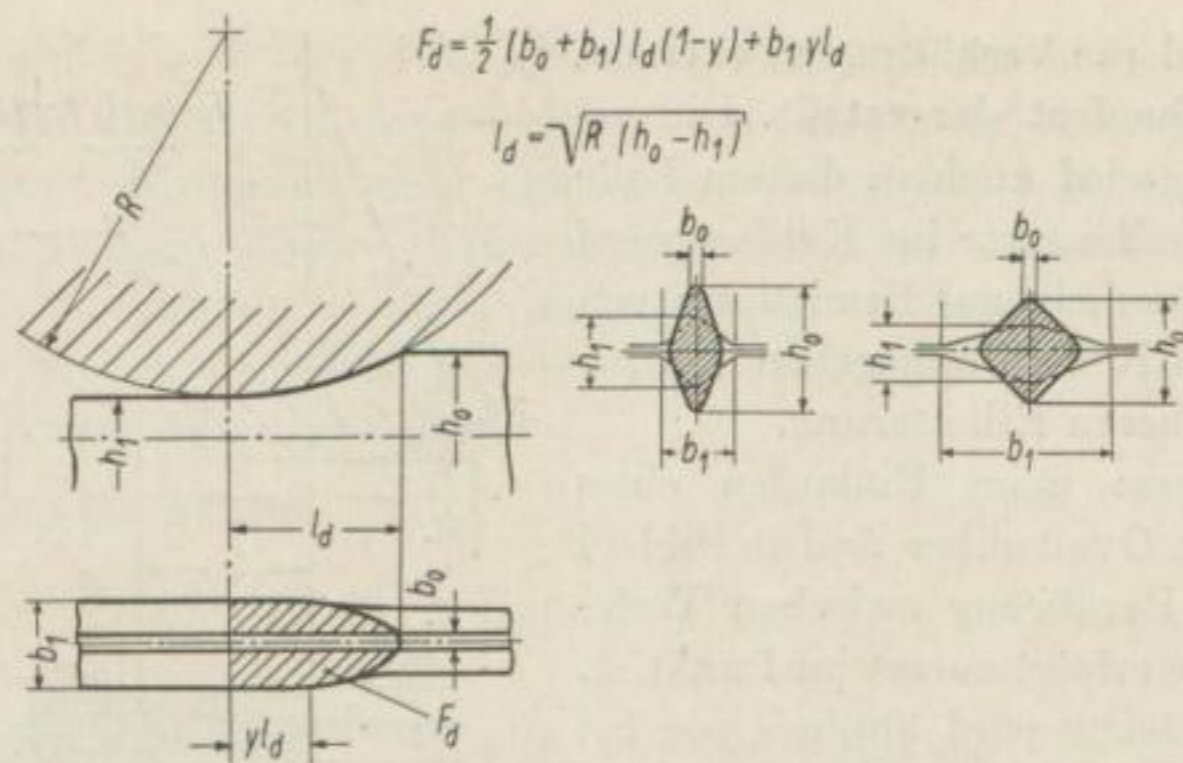


Bild 16. Ermittlung der gedrückten Fläche (Stichfolge: Raute-Raute, Raute-Quadrat)

Versuche zur Überprüfung der Form und Größe von F_d

Da die Ermittlung der gedrückten Fläche bei der Berechnung des mittleren Formänderungswiderstands im Kaliber von entscheidender Bedeutung ist, wurden ihre Form und die Möglichkeiten ihrer Berechnung näher untersucht.

Als Walzproben dienten Bleistäbe von entsprechendem Ausgangsquerschnitt. Diese wurden bei niedriger Walzendrehzahl in die Kaliber eingeführt und das Walzwerk angehalten, sobald ein genügend langes Stück eingelaufen war. Die so hergestellten Abdrücke der einzelnen Kaliber wurden photographiert und in diese Bilder die aus den Abmessungen der Proben und Walzen berechneten gedrückten Längen l_d eingetragen. Planimetriert man nun diese Flächen, so erhält man die gedrückten Flächen F_d für die betreffenden Stiche.

Gedrückte Fläche bei Rund- in Oval- und Oval- in Rund-Stichen

Die Bilder 17 bis 20 zeigen die gedrückten Flächen für Stiche Rund in Oval. In den Bildern 21 bis 24 sind die Flächen für Oval- in Rund-Stiche dargestellt.

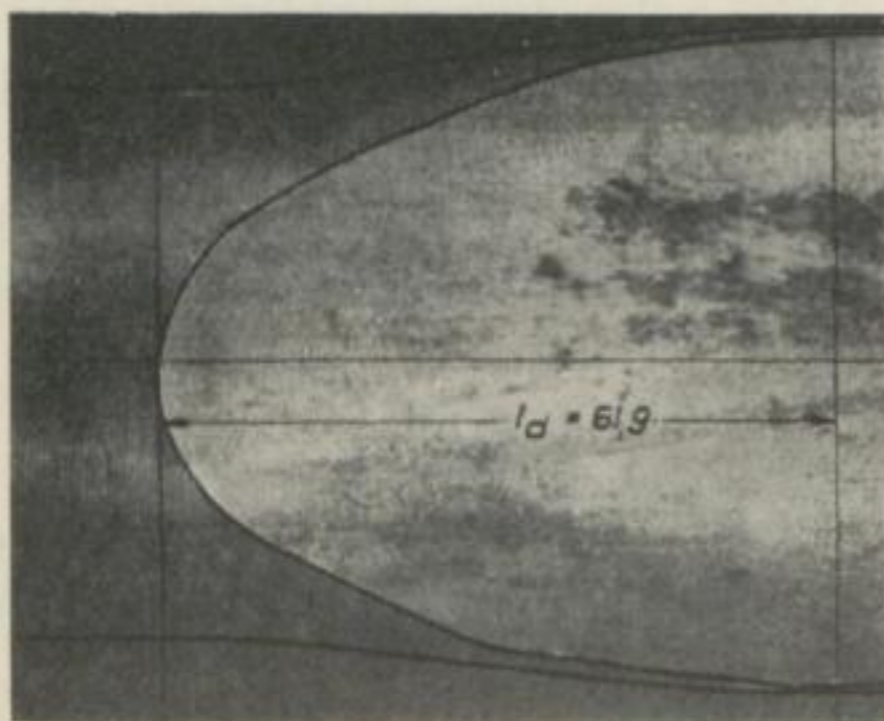


Bild 17a. Gedrückte Fläche, Rund in Oval, Kaliber 1

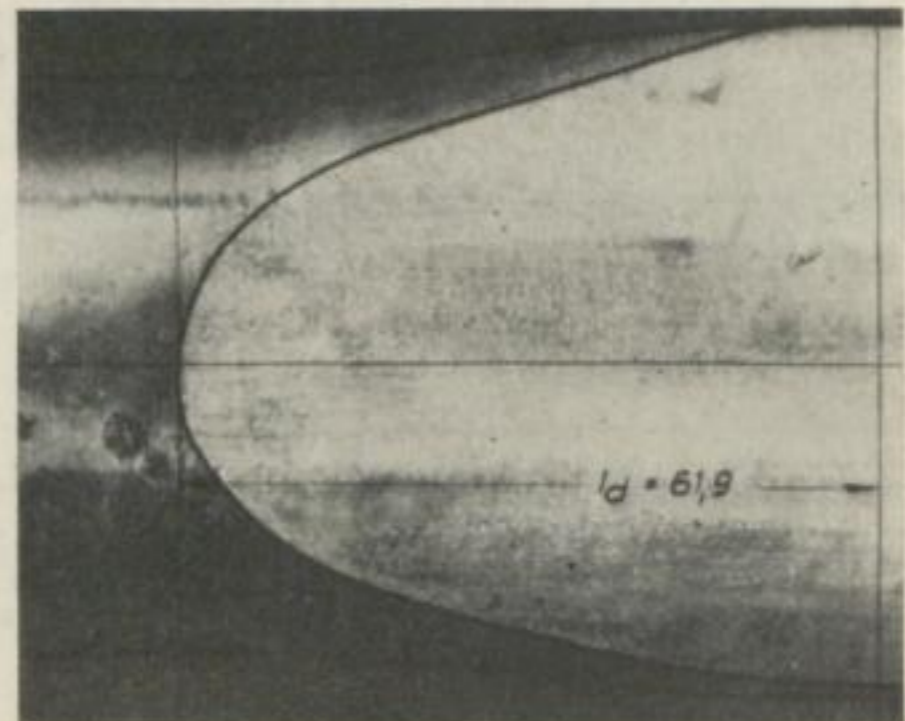


Bild 17b. Gedrückte Fläche, Rund in Oval, Kaliber 1

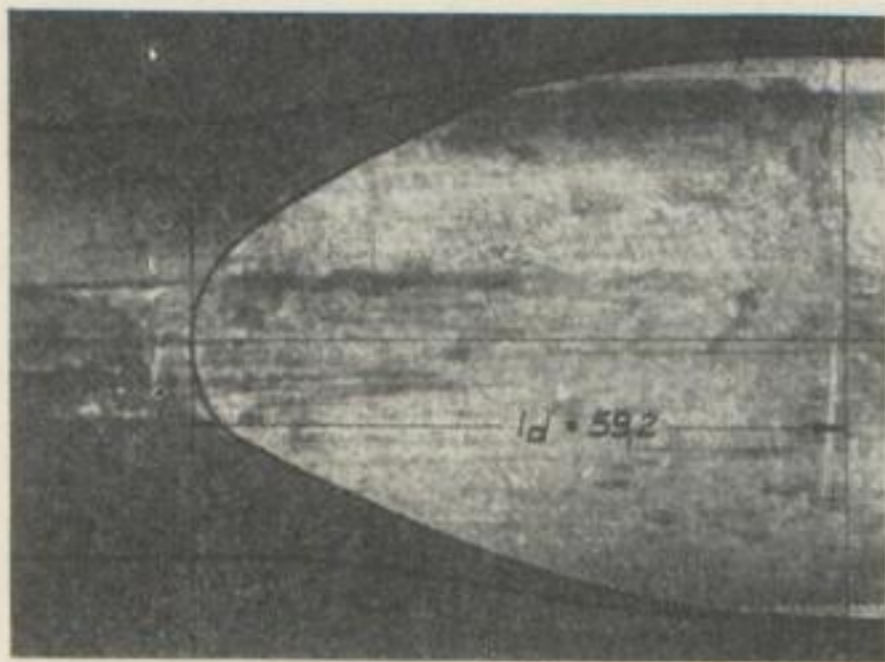


Bild 18a. Gedrückte Fläche, Rund in Oval, Kaliber 3

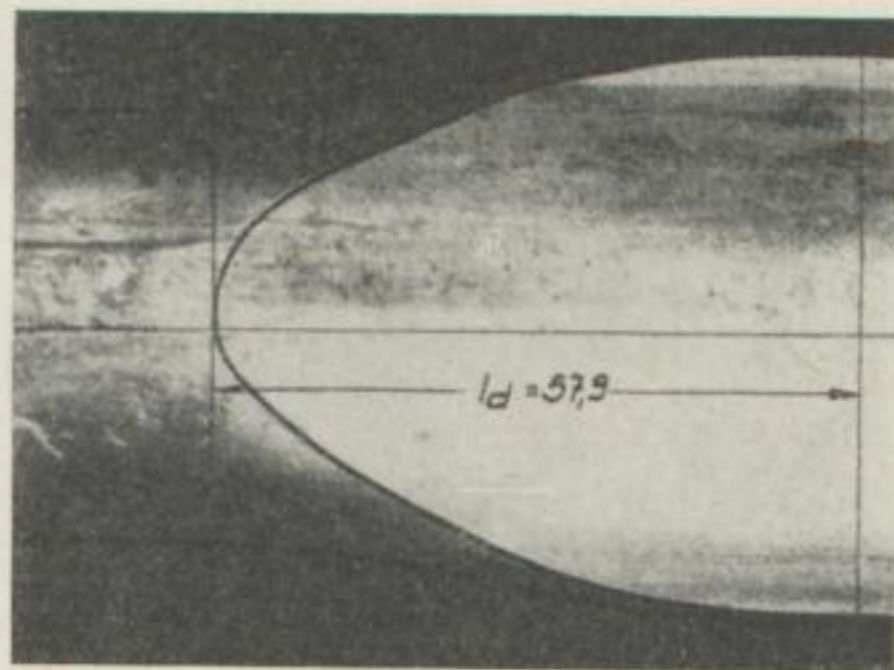


Bild 18b. Gedrückte Fläche, Rund in Oval, Kaliber 3

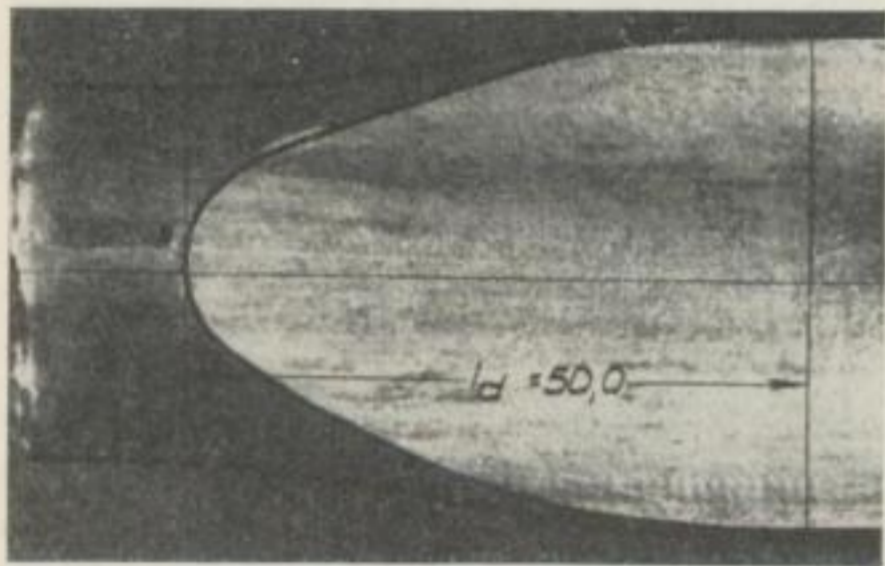


Bild 19a. Gedrückte Fläche, Rund in Oval, Kaliber 5

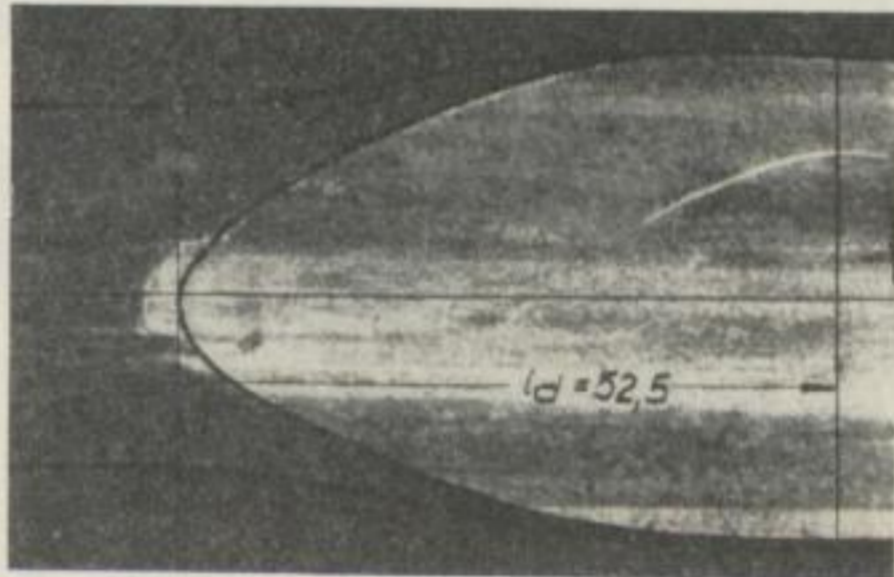


Bild 19b. Gedrückte Fläche, Rund in Oval, Kaliber 5

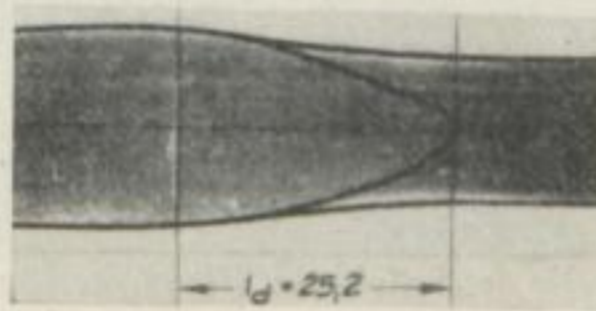


Bild 20. Gedrückte Fläche, Rund in Oval, Kaliber 11

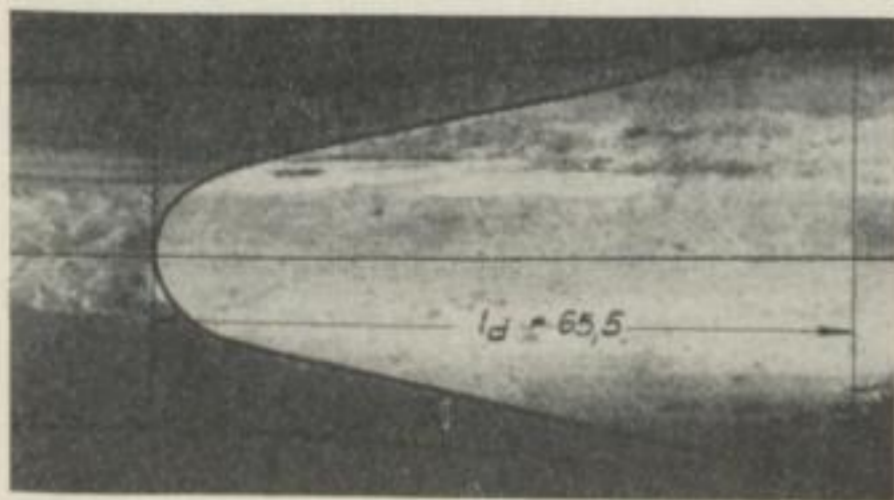


Bild 21a. Gedrückte Fläche, Oval in Rund, Kaliber 2

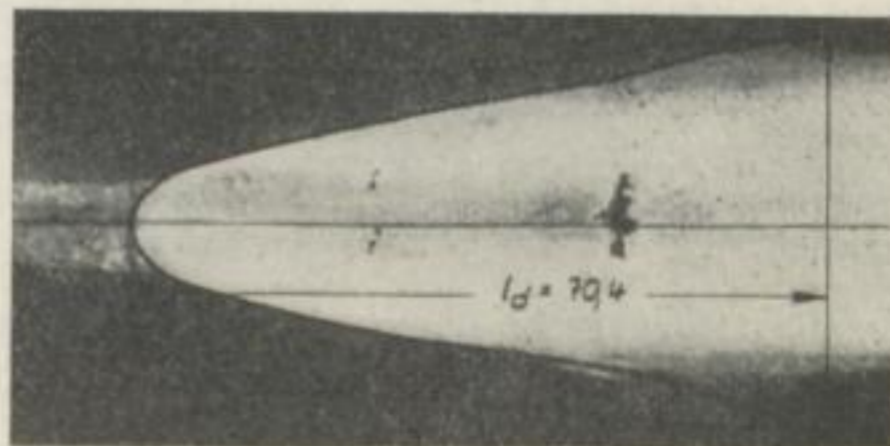


Bild 21b. Gedrückte Fläche, Oval in Rund, Kaliber 2

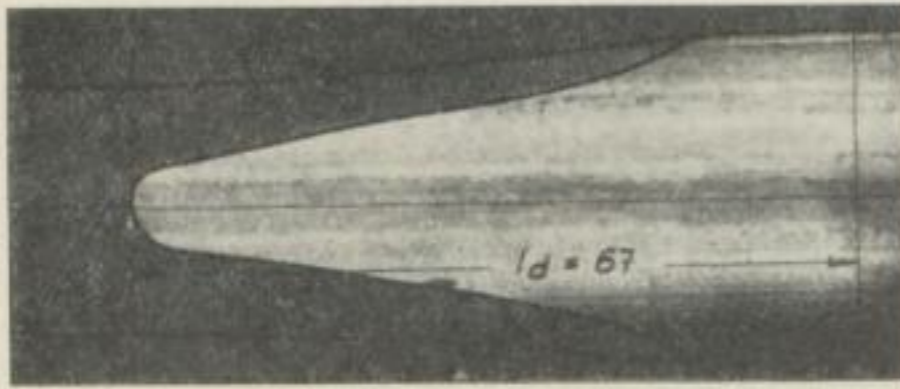


Bild 22 a. Gedrückte Fläche, Oval in Rund, Kaliber 4

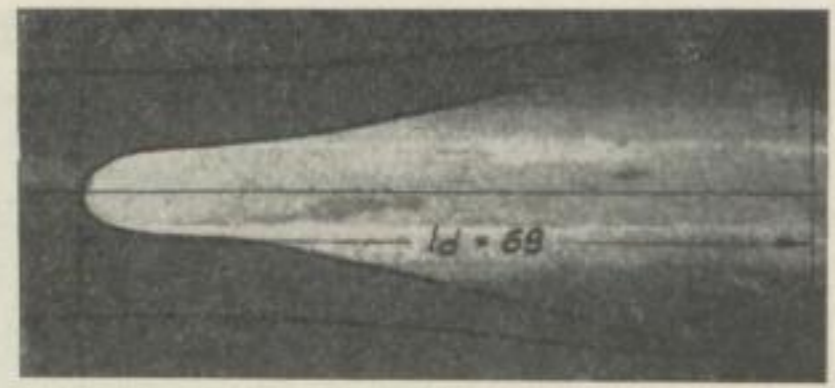


Bild 22 b. Gedrückte Fläche, Oval in Rund, Kaliber 4

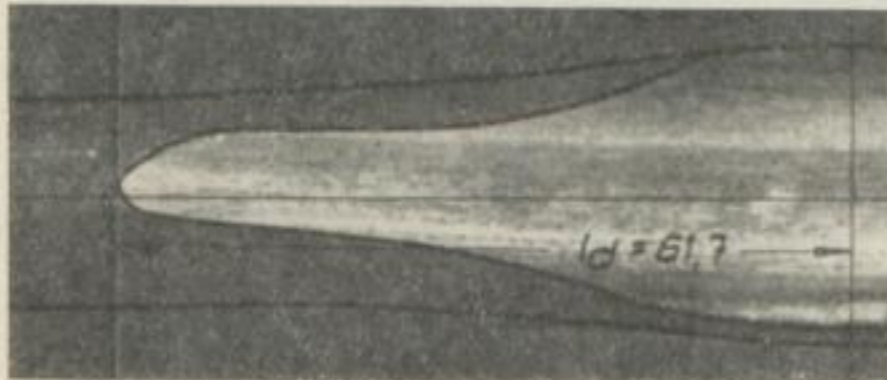


Bild 23 a. Gedrückte Fläche, Oval in Rund, Kaliber 6

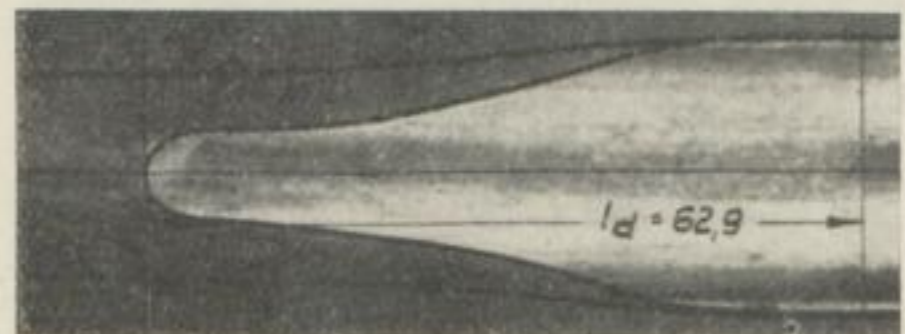


Bild 23 b. Gedrückte Fläche, Oval in Rund, Kaliber 6

Da das Walzgut im Walzspalt breitet, ist es unrichtig, die gedrückte Fläche F_d mit Hilfe der Durchdringungskurve zwischen der Walzstab- und Walzenoberfläche zu ermitteln, wie dies z. B. ZELIKOW [5] vorschlägt. Die in den Bildern 14 und 15 aufgeführten Beiwerte x und y wurden mit $x = 0,45$ und $y = 0,18$ unveränderlich für sämtliche Stiche Rund in Oval ermittelt.

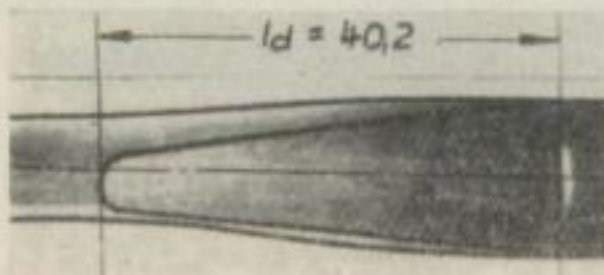


Bild 24. Gedrückte Fläche, Oval in Rund, Kaliber 10

Tabelle 1 zeigt eine Gegenüberstellung der nach den Bildern 14 und 15 berechneten und unmittelbar durch Planimetrieren aus den Bildern 17 bis 24 ermittelten gedrückten Flächen.

Gedrückte Fläche bei Quadrat- in Oval- und Oval- in Quadrat-Stichen

Die Bilder 25 bis 28 zeigen die gedrückten Flächen für Stiche Quadrat in Oval, die Bilder 29 bis 31 für Oval in Quadrat. Es ist ersichtlich, daß ein merklicher Einfluß der Breitung und der Kantenabrundung auf die Form der Fläche vorhanden ist. Der Beiwert y wurde mit $y = 0,2$ ermittelt. Die beiden anderen sind in den einzelnen Kalibern etwas verschieden. Die x -Werte liegen zwischen 0,82 und 1,0, die k -Werte betragen 1,02 bis 1,05. Der Beiwert y beträgt für die Stichfolge Oval in Quadrat für alle Kaliber $y = 0,1$. In Tabelle 2 sind die nach den Bildern 12 und 13 berechneten und unmittelbar planimetrierten gedrückten Flächen (Bilder 25 bis 31) einander gegenübergestellt.

Gedrückte Fläche bei Quadrat- in Raute-, Raute- in Quadrat- und Raute- in Raute-Stichen

Einige Beispiele für die Form und Größe der gedrückten Flächen der Reihe Raute-Raute zeigen die Bilder 32 bis 35. Bild 32 zeigt weitgehende Übereinstimmung der Umrißlinie der gedrückten Fläche mit dem von SIEBEL und LUEG [30] angegebenen

Bild 25 a
Gedrückte Fläche,
Quadrat in Oval,
Kaliber 1

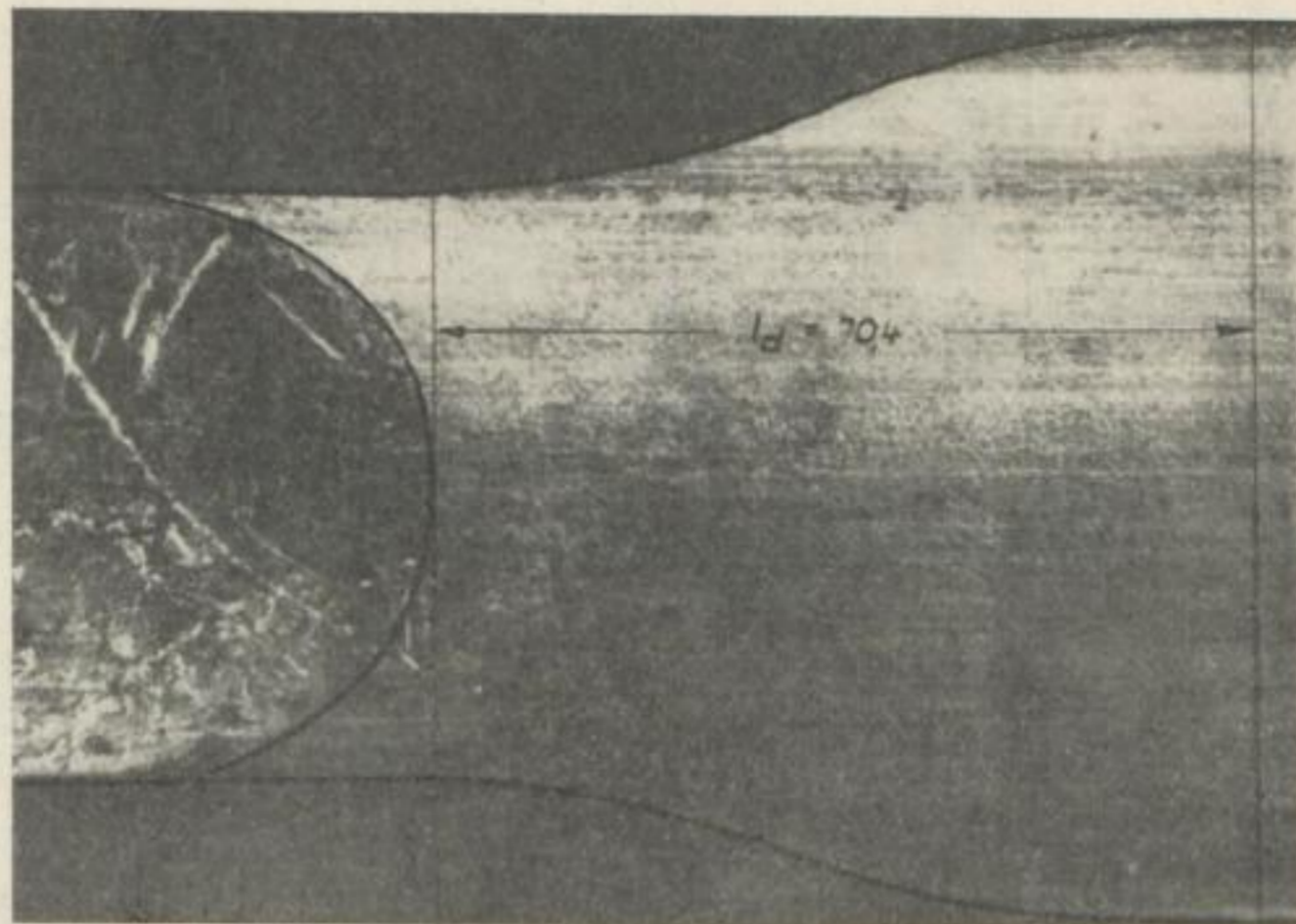


Bild 25 b
Gedrückte Fläche,
Quadrat in Oval,
Kaliber 1

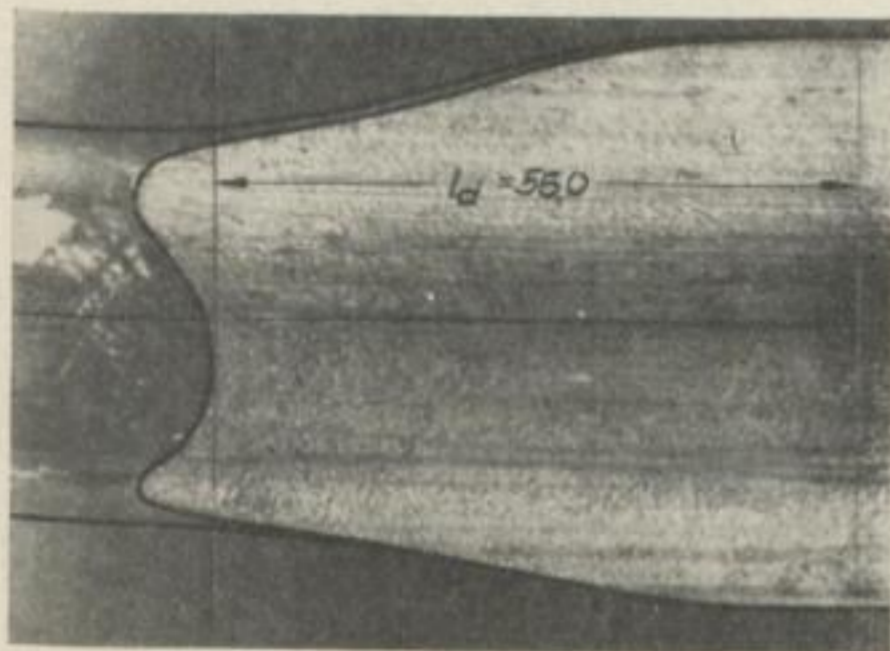
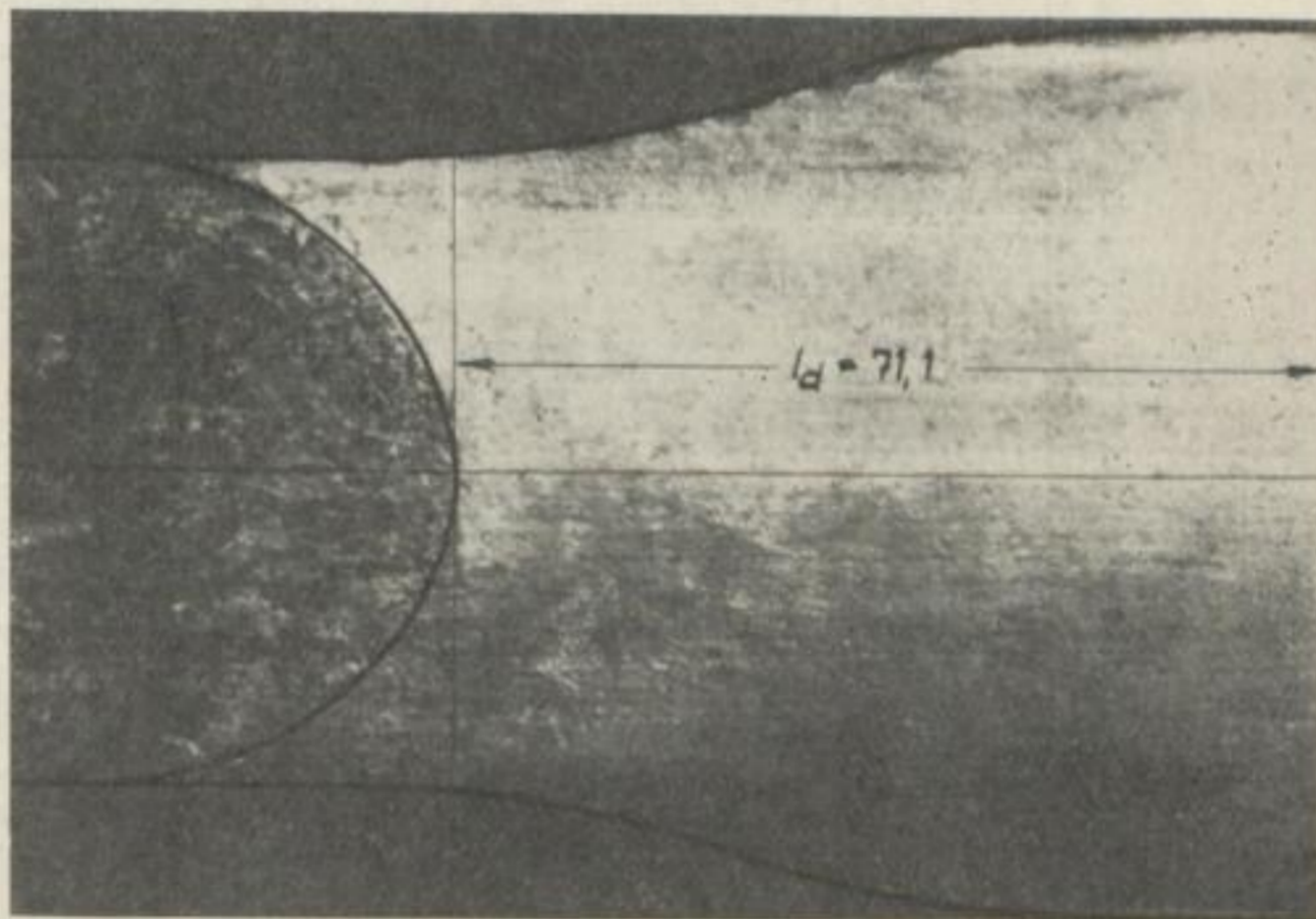


Bild 26 a. Gedrückte Fläche, Quadrat in Oval,
Kaliber 3

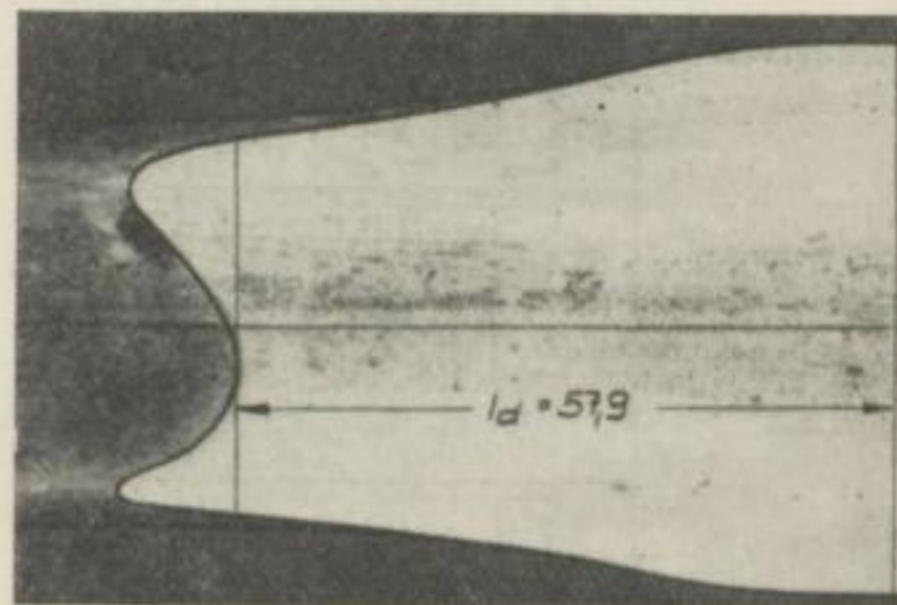


Bild 26 b. Gedrückte Fläche, Quadrat in Oval,
Kaliber 3

3*

Tabelle 1. Gedrückte Flächen F_d , Stichfolge: Rund in Oval

| Lfd. Nr. | Kaliber | Bild | R mm | $d_0 - h_1$ mm | d_0 mm | h_1 mm | b_1 mm | x | y | l_d mm | A_2 mm ² | B_2 mm ² | Gedrückte Fläche F_d | | Rechnung ergibt | |
|----------|---------|------|---------|-------------------|-------------|-------------|-------------|------|------|-------------|--------------------------|--------------------------|------------------------------|----------------------------------|-----------------------|---------|
| | | | | | | | | | | | | | gerechnet mm ² | planimetriert mm ² | \pm mm ² | \pm % |
| 1 | 1 | 17a | 209,5 | 18,3 | 50,5 | 32,2 | 60,8 | 0,45 | 0,18 | 61,9 | 677 | 2120 | 2797 | 2795 | + 2 | + 0,07 |
| 2 | 1 | 17b | 209,5 | 18,3 | 50,3 | 32,0 | 59,3 | 0,45 | 0,18 | 61,9 | 660 | 2080 | 2740 | 2732 | + 8 | + 0,29 |
| 3 | 3 | 18a | 214,5 | 15,5 | 37,5 | 22,0 | 51,6 | 0,45 | 0,18 | 57,9 | 537 | 1628 | 2165 | 2197 | -32 | - 1,5 |
| 4 | 3 | 18b | 214,5 | 16,3 | 39,2 | 22,0 | 51,8 | 0,45 | 0,18 | 59,2 | 552 | 1638 | 2190 | 2242 | +48 | + 2,2 |
| 5 | 5 | 19a | 217,5 | 11,5 | 28,2 | 16,7 | 40,1 | 0,45 | 0,18 | 50,0 | 362 | 1083 | 1445 | 1472 | -27 | - 1,85 |
| 6 | 5 | 19b | 217,5 | 12,7 | 29,3 | 16,6 | 39,8 | 0,45 | 0,18 | 52,5 | 377 | 1140 | 1517 | 1520 | - 3 | - 0,2 |
| 7 | 11 | 20 | 175,8 | 5,0 | 14,4 | 9,3 | 19,2 | 0,45 | 0,18 | 25,2 | 87 | 264 | 351 | 346 | + 5 | + 1,7 |

Gedrückte Flächen F_d , Stichfolge: Oval in Rund

| Lfd. Nr. | Kaliber | Bild | R mm | $h_0 - d_1$ mm | d_1 mm | h_0 mm | b_1 mm | b_0 mm | $b_0 - b_1$ mm | l_d mm | Gedrückte Fläche F_d | | Rechnung ergibt | |
|----------|---------|------|---------|-------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------------|-------------|------------------------------|----------------------------------|-----------------------|---------|
| | | | | | | | | | | | gerechnet mm ² | planimetriert mm ² | \pm mm ² | \pm % |
| 8 | 2 | 21a | 207,5 | 20,7 | 37,3 | 58 | 40,0 | 11 | 51 | 65,5 | 1670 | 1772 | -98 | -5,9 |
| 9 | 2 | 21b | 207,5 | 23,0 | 37,3 | 61,2 | 40,2 | 9 | 49,2 | 70,4 | 1720 | 1757 | -37 | -2,15 |
| 10 | 4 | 22a | 211,5 | 21,2 | 28,2 | 49,4 | 30,2 | 7,5 | 37,7 | 67 | 1264 | 1254 | +10 | +0,8 |
| 11 | 4 | 22b | 211,5 | 22,5 | 28,0 | 50,5 | 30,5 | 7,0 | 37,5 | 69 | 1294 | 1208 | +86 | +6,6 |
| 12 | 6 | 23a | 215 | 17,7 | 22,0 | 39,7 | 22,0 | 6,5 | 28,5 | 61,7 | 879 | 849 | +30 | +3,4 |
| 13 | 6 | 23b | 215 | 18,4 | 21,8 | 40,2 | 21,8 | 6,5 | 28,3 | 62,9 | 890 | 952 | -62 | -7 |
| 14 | 10 | 24 | 173,7 | 9,2 | 14,3 | 23,5 | 14,3 | 4,0 | 18,3 | 40,2 | 369 | 361 | + 7 | +1,8 |

Tabelle 2. Gedrückte Flächen F_d , Stichfolge: Quadrat in Oval

| Lfd. Nr. | Kaliber | Bild | R mm | $h_0 - h_1$ mm | h_0 mm | b_0 mm | h_1 mm | b_1 mm | x | y | k | l_d mm | A mm ² | B mm ² | Gedrückte Fläche F_d | | Rechnung ergibt | |
|----------|---------|------|-----------|-------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------|-----|-------|-------------|------------------------|------------------------|------------------------------|----------------------------------|-------------------|-------|
| | | | | | | | | | | | | | | | gerechnet mm ² | planimetriert mm ² | ± mm ² | ± % |
| 1 | 1 | 25a | 211,5 | 23,3 | 51,3 | 50,0 | 28 | 78,0 | 1,0 | 0,2 | 1,05 | 70,4 | 1095 | 3600 | 4925 | 4890 | +35 | +0,71 |
| 2 | 1 | 25b | 211,5 | 23,8 | 51,6 | 49,5 | 27,8 | 74,5 | 1,0 | 0,2 | 1,05 | 71,1 | 1059 | 3530 | 4820 | 4890 | -70 | -1,45 |
| 3 | 3 | 26a | 216 | 14,5 | 32,5 | 33,5 | 18 | 51,0 | 0,93 | 0,2 | 1,035 | 56,0 | 571 | 1840 | 2490 | 2490 | 0 | 0 |
| 4 | 3 | 26b | 216 | 15,5 | 33,5 | 32,7 | 18, | 50,0 | 0,93 | 0,2 | 1,035 | 57,9 | 579 | 1860 | 2520 | 2535 | -15 | -0,6 |
| 5 | 5 | 27a | 219 | 11,0 | 24,0 | 23,2 | 13,0 | 38,5 | 0,82 | 0,2 | 1,02 | 48,1 | 378 | 1130 | 1536 | 1554 | -18 | -1,2 |
| 6 | 5 | 27b | 219 | 10,3 | 23,2 | 24,0 | 12,9 | 39,0 | 0,82 | 0,2 | 1,02 | 47,6 | 371 | 1118 | 1516 | 1500 | +16 | +1,0 |
| 7 | 7 | 28 | 175,7 | 7,0 | 16,8 | 16,9 | 9,8 | 21,7 | 0,98 | 0,2 | 1,05 | 35,1 | 153 | 536 | 725 | 725 | 0 | 0 |

Gedrückte Flächen F_d , Stichfolge: Oval in Quadrat

| Lfd. Nr. | Kaliber | Bild | R mm | $h_0 - h_1$ mm | h_0 mm | b_0 mm | h_1 mm | b_1 mm | y | l_d mm | A mm ² | B mm ² | Gedrückte Fläche F_d | | Rechnung ergibt | |
|----------|---------|------|-----------|-------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-----|-------------|------------------------|------------------------|------------------------------|----------------------------------|-------------------|-------|
| | | | | | | | | | | | | | gerechnet mm ² | planimetriert mm ² | ± mm ² | ± % |
| 8 | 2 | 29a | 204 | 32,5 | 72,5 | 6,7 | 40,0 | 45,7 | 0,1 | 81,5 | 373 | 1925 | 2298 | 2260 | + 38 | -1,65 |
| 9 | 2 | 29b | 204 | 32,5 | 72,5 | 6,5 | 40,0 | 47,0 | 0,1 | 81,5 | 383 | 1965 | 2348 | 2510 | -162 | -6,9 |
| 10 | 4 | 30a | 211 | 19,2 | 48,0 | 5,8 | 28,8 | 28,0 | 0,1 | 63,7 | 178 | 965 | 1146 | 1150 | - 4 | -0,35 |
| 11 | 4 | 30b | 211 | 18,5 | 47,3 | 5,8 | 28,8 | 28,2 | 0,1 | 62,5 | 176 | 955 | 1131 | 1028 | +103 | +9,1 |
| 12 | 6 | 31a | 214,5 | 12,8 | 36,0 | 6,0 | 23,2 | 20,0 | 0,1 | 52,5 | 105 | 614 | 719 | 713 | + 6 | +0,83 |
| 13 | 6 | 31b | 214,5 | 12,7 | 36,2 | 6,2 | 23,5 | 20,0 | 0,1 | 52,2 | 104 | 615 | 719 | 680 | + 39 | +5,4 |

Die gedrückte Fläche F_d

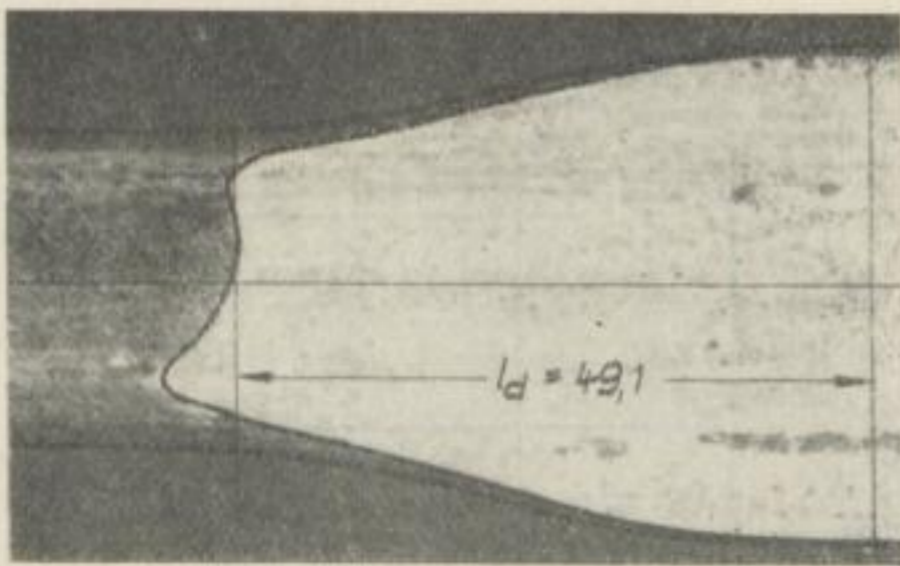


Bild 27a. Gedrückte Fläche, Quadrat in Oval, Kaliber 5

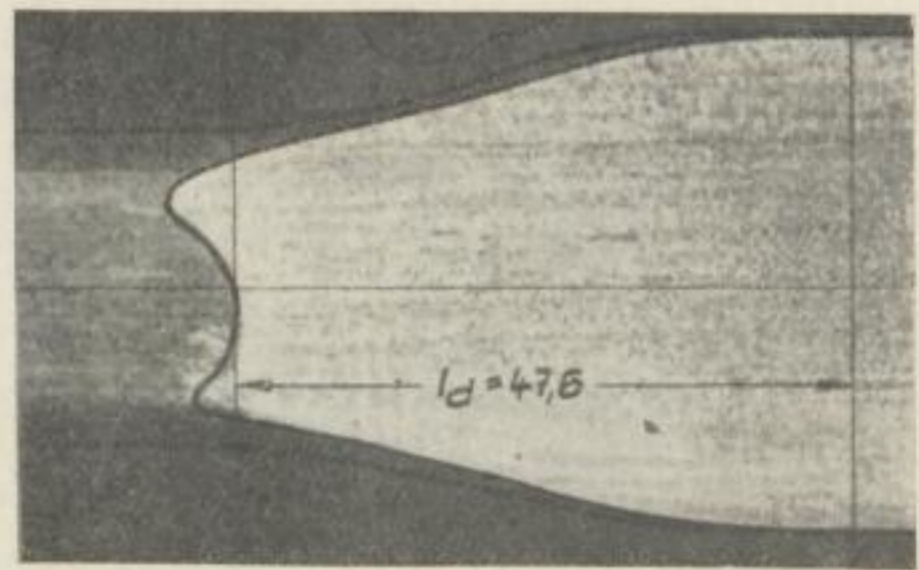


Bild 27b. Gedrückte Fläche, Quadrat in Oval, Kaliber 5

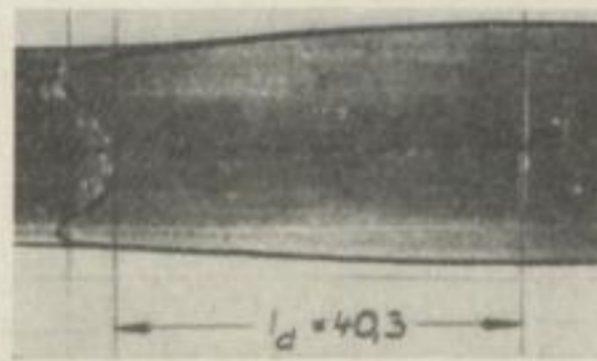


Bild 28. Gedrückte Fläche, Quadrat in Oval, Kaliber 7

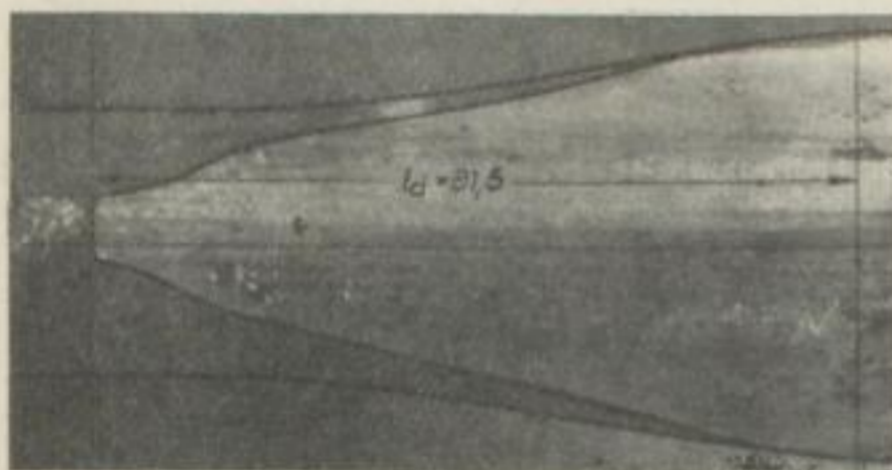


Bild 29a. Gedrückte Fläche, Oval in Quadrat, Kaliber 2

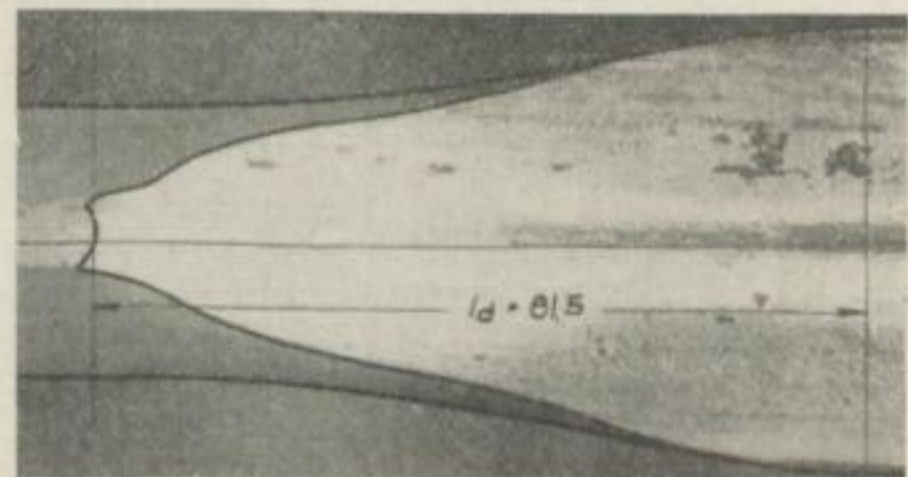


Bild 29b. Gedrückte Fläche, Oval in Quadrat, Kaliber 2

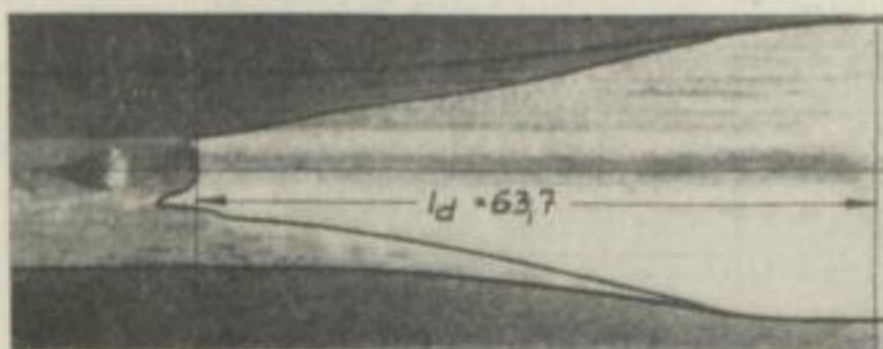


Bild 30a. Gedrückte Fläche Oval in Quadrat, Kaliber 4

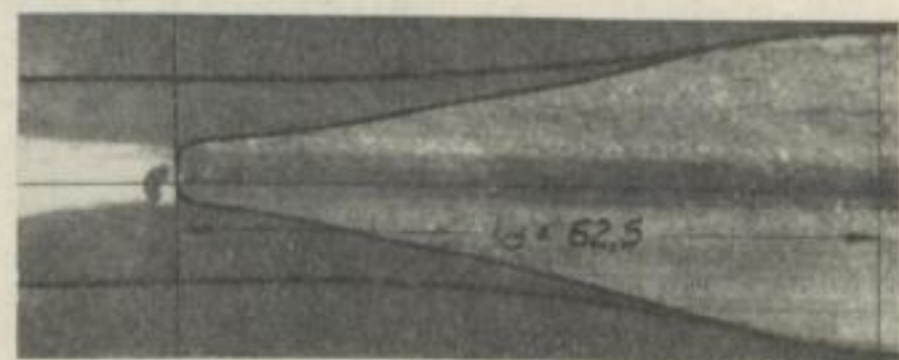


Bild 30b. Gedrückte Fläche, Oval in Quadrat, Kaliber 4



Bild 31a. Gedrückte Fläche, Oval in Quadrat, Kaliber 6

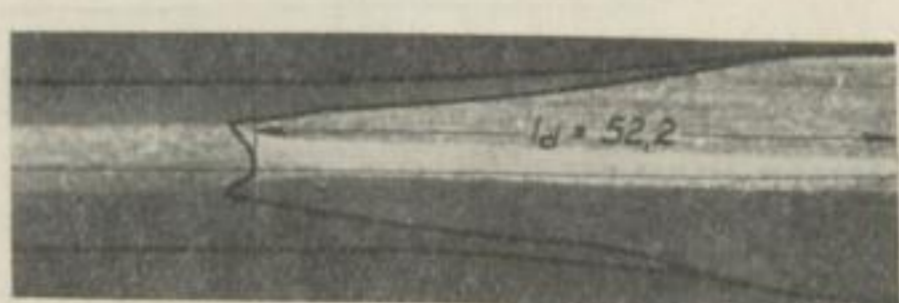


Bild 31b. Gedrückte Fläche, Oval in Quadrat, Kaliber 6

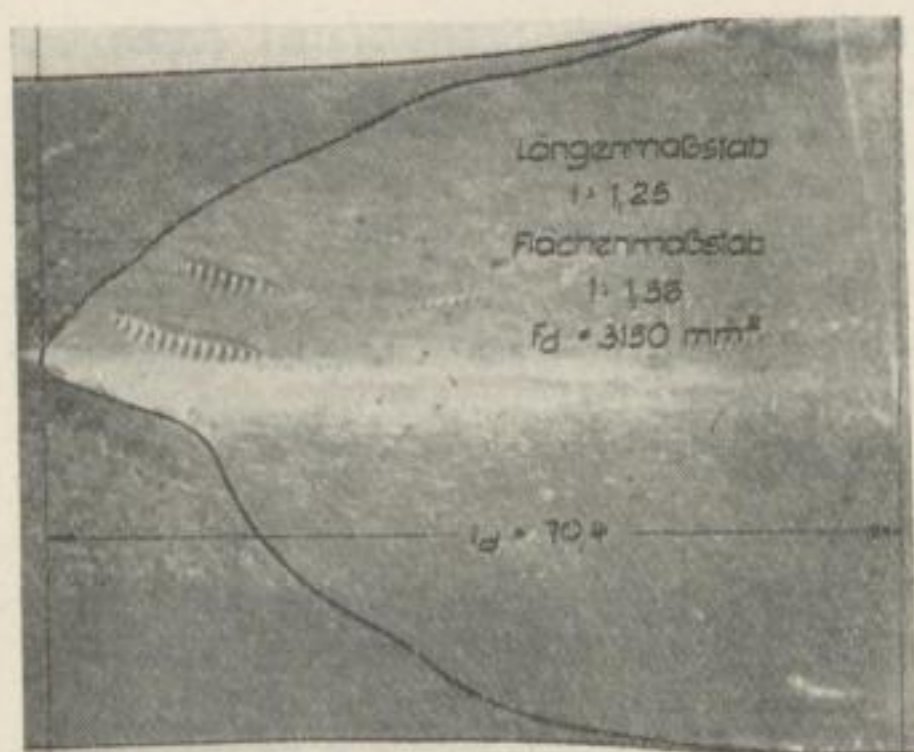


Bild 32. Gedrückte Fläche, Raute in Raute, Kaliber 2

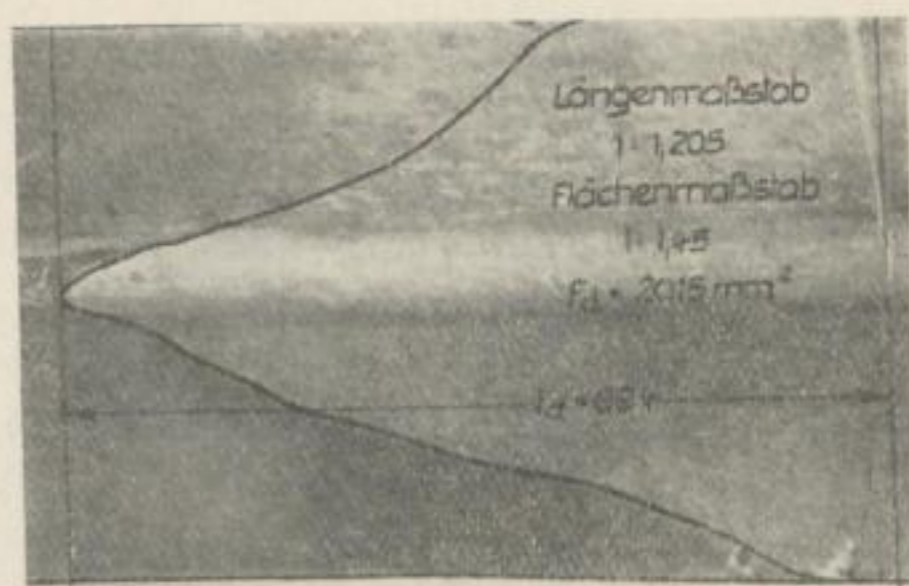


Bild 33. Gedrückte Fläche, Raute in Raute, Kaliber 3

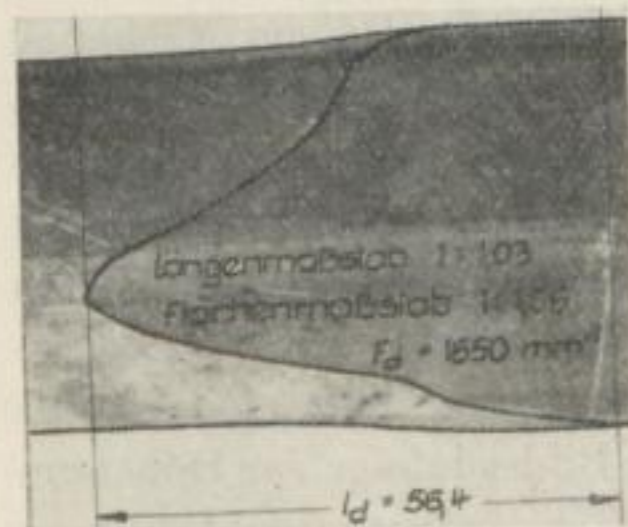


Bild 34. Gedrückte Fläche, Raute in Raute, Kaliber 4

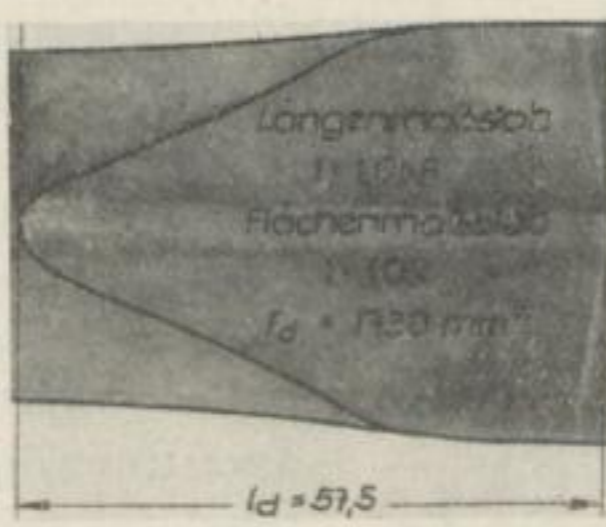


Bild 35. Gedrückte Fläche, Raute in Raute, Kaliber 5



Bild 36. Gedrückte Fläche, Quadrat in Raute, Kaliber 1

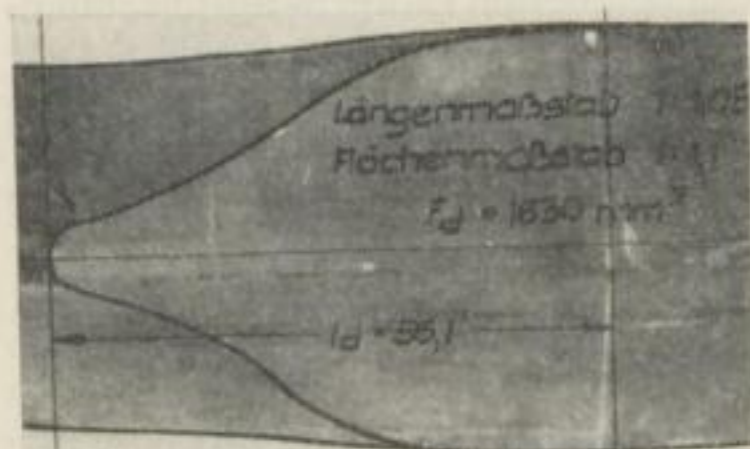


Bild 37. Gedrückte Fläche, Quadrat in Raute, Kaliber 5



Bild 38. Gedrückte Fläche, Raute in Quadrat, Kaliber 4

zeichnerischen Verfahren. Die im Bild 35 dargestellte Fläche weicht jedoch merklich davon ab. Aus den Bildern 33 und 34 sieht man deutlich, daß sich die Form der gedrückten Fläche sofort erheblich ändert, wenn sich der Walzstab beim Einlaufen in das Kaliber leicht verkantet. Trotzdem liefert das Verfahren von SIEBEL und LUEG auch in diesem Falle gute Näherungswerte.

In den Bildern 36 bis 38 sind gedrückte Flächen der Stichfolge Quadrat-Raute dargestellt. Obwohl die wirkliche Form der gedrückten Fläche merklich von der zeichnerisch

Tabelle 3. Gedrückte Flächen F_d , Stichfolge: Quadrat in Raute

| Lfd. Nr. | Kaliber | Bild | R mm | $h_0 - h_1$ mm | h_0 mm | b_0 mm | h_1 mm | b_1 mm | y | l_d mm | A mm ² | B mm ² | Gedrückte Fläche F_d gerechnet planimetriert mm ² | Rechnung ergibt \pm mm ² \pm % | | |
|----------|---------|------|-----------|-------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------|-------------|------------------------|------------------------|--|--|-----|------|
| 1 | 1 | 36 | 203,5 | 17,4 | 70 | 4,5 | 52,6 | 72,5 | 0,28 | 59,5 | 1208 | 1585 | 2793 | 2810 | -17 | -0,6 |
| 2 | 5 | 37 | 217 | 14,5 | 41,3 | 4,5 | 26,8 | 45,1 | 0,28 | 56,1 | 708 | 1000 | 1708 | 1630 | +78 | +4,8 |
| 3 | 4 | 38 | 211,5 | 14,0 | 51,2 | 10,5 | 37,2 | 40,2 | 0,26 | 54,4 | 569 | 1019 | 1588 | 1545 | +43 | +2,7 |

Gedrückte Flächen F_d , Stichfolge: Raute in Raute

| | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|----|-------|------|------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 2 | 2 | 32 | 206,5 | 24,0 | 70,5 | 2 | 46,5 | 64,3 | 0,35 | 70,4 | 1585 | 1517 | 3102 | 3150 | -48 | -1,6 |
| 2 | 3 | 33 | 209 | 23,0 | 64,0 | 4,0 | 41,0 | 50,8 | 0,3 | 69,4 | 1058 | 1210 | 2268 | 2015 | +153 | +6,7 |
| 3 | 4 | 34 | 212 | 15,0 | 50,5 | 5,0 | 35,5 | 45,3 | 0,3 | 56,4 | 766 | 992 | 1758 | 1650 | +108 | +6,4 |
| 4 | 5 | 35 | 214,3 | 15,4 | 46,3 | 5,0 | 30,9 | 43,6 | 0,3 | 57,5 | 752 | 980 | 1732 | 1730 | +2 | +0 |

ermittelten nach SIEBEL und LUEG abweicht, stimmt ihr Flächeninhalt mit dem nach obigem Rechenverfahren ermittelten Näherungswert gut überein.

Das gleiche gilt bezüglich der in Bild 38 dargestellten gedrückten Fläche eines Sticks Raute in Quadrat.

Eine Übersicht über die nach Bild 16 berechneten und durch Planimetrieren ermittelten gedrückten Flächen sowie die zugehörigen y -Beiwerte zeigt Tabelle 3.

Zusammenfassung und Folgerungen

Vergleicht man die nach den Bildern 12 bis 16 errechneten und unmittelbar durch Planimetrieren aus den Bildern 17 bis 38 ermittelten Werte der gedrückten Flächen miteinander, so ergeben sich Abweichungen bis zu 10%. Dabei ist jedoch folgendes zu beachten: Die Projektion der gedrückten Flächen (Bilder 17 bis 38) wurde photographisch ermittelt. Dabei tritt eine gewisse Verzerrung des Bildes infolge der Höhenunterschiede zwischen Anfangs- und Endquerschnitt der Proben auf, so daß man beim Eintragen der gedrückten Länge in die Bilder mit einem mittleren Maßstab rechnen muß. Die angegebenen Längen- und Flächenmaßstäbe sind Mittelwerte, die durch Vergleich der wirklichen Maße der Walzproben mit ihren Abmessungen auf den Bildern bestimmt wurden. Berücksichtigt man ferner die unvermeidlichen Fehler beim Ausmessen der Proben und Planimetrieren der Flächen, so ergibt sich, daß mit einem Fehler von ungefähr $\pm 5\%$ gerechnet werden muß. Ferner ist von Bedeutung, daß diese Ergebnisse an Bleiprobe gewonnen wurden. Hüttenweichblei zeigt zwar ungefähr gleiches Breitenverhalten wie weicher Stahl bei hohen Temperaturen, die Walzgeschwindigkeit war bei der Herstellung der Kaliberabdrücke jedoch sehr niedrig, und das Walzwerk wurde schließlich stillgesetzt, um die Stäbe aus den Walzen entfernen zu können. Dies

wirkt sich auf die Breitung aus und kann ebenfalls einen Fehler zur Folge haben. Außerdem ändert sich bei den Stichen Oval in Rund, Raute in Raute und Oval in Quadrat die Form und Größe der gedrückten Fläche sofort, sobald der einlaufende Stab in der Einführung nicht richtig gehalten wird und sich etwas verdrehen kann (s. Bilder 22a, 33, 34).

Vergleicht man das Berechnungsverfahren für die gedrückten Flächen nach den Bildern 12 bis 16 mit dem von SIEBEL und LUEG vorgeschlagenen, so ergeben sich bei den Stichfolgen Rund in Oval und Oval in Rund Abweichungen im Flächeninhalt der gedrückten Flächen von 2 bis 15%. Die Werte der Stichfolge Quadrat in Oval weichen um 4 bis 13% voneinander ab. Die beste Übereinstimmung zeigen die gedrückten Flächen der Stiche Quadrat in Raute und Raute in Raute. Die Unterschiede betragen etwa 4 bis 7%. Erhebliche Fehler treten bei dem Berechnungsverfahren nach SIEBEL und LUEG bei der Stichfolge Oval in Quadrat auf. Man erhält nach dieser Methode gedrückte Flächen, die um ungefähr 30 bis 34% größer als die wirklichen sind. Dieser Fehler rührt offensichtlich daher, daß die aus $\frac{1}{2}(b_0 + b_1)$ errechnete mittlere Breite zu groß ist und von der Wirklichkeit zu stark abweicht.

Bei der Auswertung der nachfolgend beschriebenen Versuche wurden die gedrückten Flächen daher nach dem in den Bildern 13 bis 17 angegebenen Verfahren bestimmt. Es muß dabei mit dem Auftreten eines Fehlers von $\pm 5\%$ gerechnet werden.

WALZVERSUCHE

Versuchswerkstoffe

Um die beim Walzen in Streckkalibern auftretenden Walzkräfte und Drehmomente zu ermitteln, wurden Walzversuche am Versuchswalzwerk der Bergakademie Freiberg durchgeführt, über die nachfolgend berichtet wird.

In Tabelle 4 sind die Versuchswerkstoffe, ihre chemische Zusammensetzung und die Ausgangsabmessungen aufgeführt.

Angestochen wurden bei Stahl — bis auf eine Ausnahme (Stahl 55 Si Mn 7) — Walzknüppel 50 \square bzw. 50 \emptyset . Die Walzproben des Stahls 55 Si Mn 7 mit 50 mm \emptyset waren aus Rundstäben von 55 mm \emptyset vorgedreht. Bei Kupfer dienten blankgezogene Stangen 50 \square bzw. 50 \emptyset als Ausgangswerkstoff. Das Aluminium lag in Form von in Kokillen gegossenen und anschließend spanabhebend bearbeiteten Gußstücken 50 \emptyset , 50 \square und 48 \square vor.

Tabelle 4. Versuchswerkstoffe

| Lfd. Nr. | Bezeichnung nach SES | Chemische Zusammensetzung | | | | | | Abmessung und Zustand |
|----------|----------------------|---------------------------|------|------|------|------|------|--|
| | | C | Si | Mn | Cr | S | P | |
| 1 | MSt 3b | 0,17 | 0,17 | 0,51 | — | 0,05 | 0,03 | 50 \square u. 50 \emptyset Walzzustand |
| 2 | CK 45 | 0,48 | 0,29 | 0,74 | 0,06 | 0,01 | 0,03 | 50 \square u. 50 \emptyset Walzzustand |
| 3 | MK 73 | 0,70 | 0,19 | 0,46 | 0,09 | 0,01 | 0,04 | 50 \square Walzzustand |
| 4 | St 7 | 0,47 | 0,22 | 0,86 | 0,13 | 0,02 | 0,05 | 50 \emptyset Walzzustand |
| 5 | 16 Mn Cr 5 | 0,18 | 0,35 | 1,14 | 0,87 | 0,01 | 0,02 | 50 \square u. 50 \emptyset Walzzustand |
| 6 | 100 Cr 6 | 1,00 | 0,28 | 0,30 | 1,48 | 0,01 | 0,02 | 50 \emptyset u. 50 \square Walzzustand |
| 7 | 18 Mn 5 | 0,15 | 0,52 | 1,36 | 0,04 | 0,03 | 0,03 | 50 \square u. 50 \emptyset Walzzustand |
| 8 | 65 Si 7 | 0,72 | 1,60 | 0,76 | 0,15 | 0,05 | 0,06 | 50 \square Walzzustand |
| 9 | 55 Si Mn 7 | 0,60 | 1,60 | 0,72 | 0,27 | 0,05 | 0,06 | 50 \emptyset vorgedreht aus 55 \emptyset |
| 10 | Kupfer | | | | | | | 50 \square u. 50 \emptyset blank gezogen |
| 11 | Reinaluminium | | | | | | | 50 \square u. 50 \emptyset bzw. 48 \square in Kokille ge- gossen u. spanab- hebend bearb. |

Versuchseinrichtung

Das für die Walzversuche verwandte Versuchswalzgerüst des Instituts für Metallformung an der Bergakademie Freiberg kann als Duo oder Quarto betrieben werden. Es arbeitet gewöhnlich mit Walzen von 360 \varnothing , gestattet jedoch den Einbau von Walzen bis zu Durchmessern von 480 mm. Die Walzen werden über Gelenkspindeln von einem Kammwalzengerüst mit eingebautem Getriebe durch einen Gleichstrommotor von 160 kW Nennleistung angetrieben. Über den Aufbau des Versuchswalzwerks wurde von EMICKE schon früher an anderer Stelle ausführlich berichtet [32, 33], so daß auf eine nähere Beschreibung der Anlage verzichtet werden kann.

Zur Messung der Walzkräfte im rechten und linken Ständer dienen piezoelektrische Kraftmeßdosen. Ihre Meßwerte werden über Verstärker auf einen Siemens-Sechschleifen-Oszillographen übertragen und von diesem aufgezeichnet.

Gleichzeitig mit den Walzkräften werden die Drehmomente an der oberen und unteren Kuppel­spindel gemessen. Beide Spindeln sind mit Drehmomentmessern ausgerüstet, die nach dem induktiven Prinzip arbeiten. Die Meßwertgeber sind ohne Zwischenschaltung von Verstärkern unmittelbar über Vorwiderstände an den Oszillographen angeschlossen. Den Aufbau dieser Dynamometer beschrieb C. NETTER [34] in einer früheren Veröffentlichung. Sie haben sich im Verlaufe von fünf Jahren auch unter ungünstigen Bedingungen bei vielen Messungen bestens bewährt. Bild 39 zeigt den Einbau einer der piezoelektrischen Kraftmeßdosen zwischen Druckspindel und Einbaustück. Eine der beiden Kuppel­spindeln mit dem induktiven Geber ist in Bild 40 dargestellt.

Die Durchmesser der Kuppel­spindelköpfe betragen 350 mm. Aus diesem Grunde eignet sich die beschriebene Drehmomentmeßeinrichtung für Walzendurchmesser unter 355 mm nicht. Für die Versuchsreihen mit kleineren Walzendurchmessern mußte deshalb die für Kaliberwalzen ungewöhnliche Anordnung des Quartos gewählt werden, um bei den Versuchen die vorhandenen Einbaustücke und Kuppel­spindeln verwenden zu können. Den Einbau dieser Walzen zeigt Bild 41. Die Kaliberwalzen (280 \varnothing) sind durch glatte Walzen (360 \varnothing) abgestützt.

Die an den Arbeitswalzen wirkenden Drehmomente wurden in diesem Falle durch Messung der elastischen Formänderung beider Kuppel­spindeln mit Hilfe von Dehnmeßstreifen bestimmt. Diese waren in der Mitte einer etwa 150 mm langen zylindrischen „Meßstrecke“ von ungefähr 80 mm Durchmesser befestigt. Die bekannte Anordnung der Dehnmeßstreifen — 4 Stück unter 45° gegen die Achse der Spindel geneigt — ist aus Bild 42 ersichtlich. Die Schleifringe sind mit Quecksilberkontakten ausgerüstet.

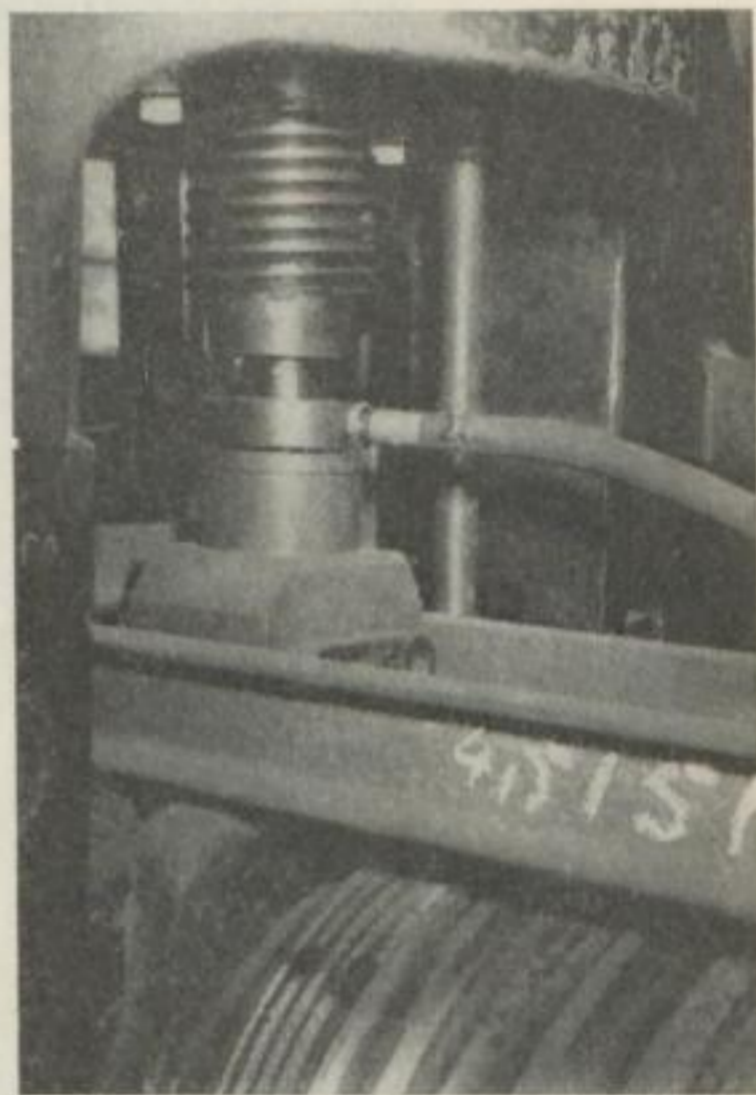


Bild 39. Einbau der piezoelektrischen Kraftmeßdose

Die Spindeln mit den aufgeklebten Dehnmeßstreifen wurden mit Hilfe eines Hebels, der am vorstehenden Walzenzapfende befestigt war, und einer Kranwaage in gleicher Weise wie die induktiven Dynamometer geeicht.

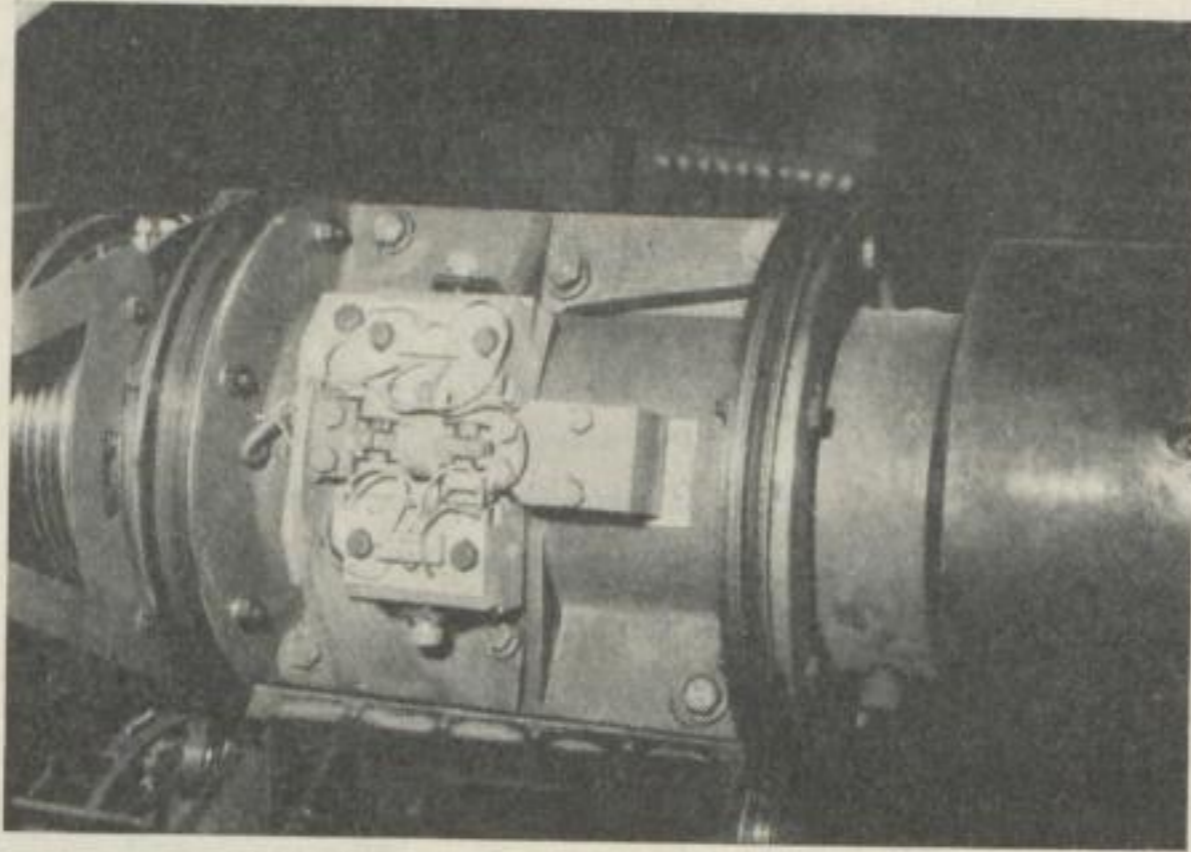


Bild 40. Induktiver Drehmomentgeber

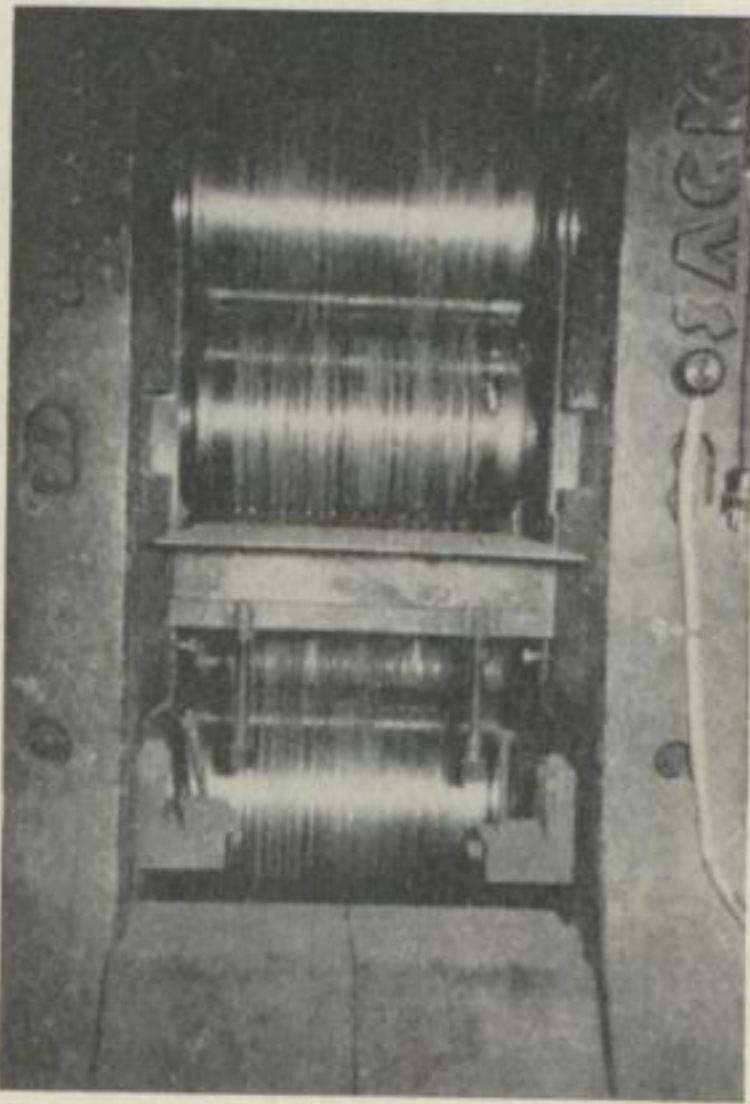


Bild 41. Einbau der 280er Walzen

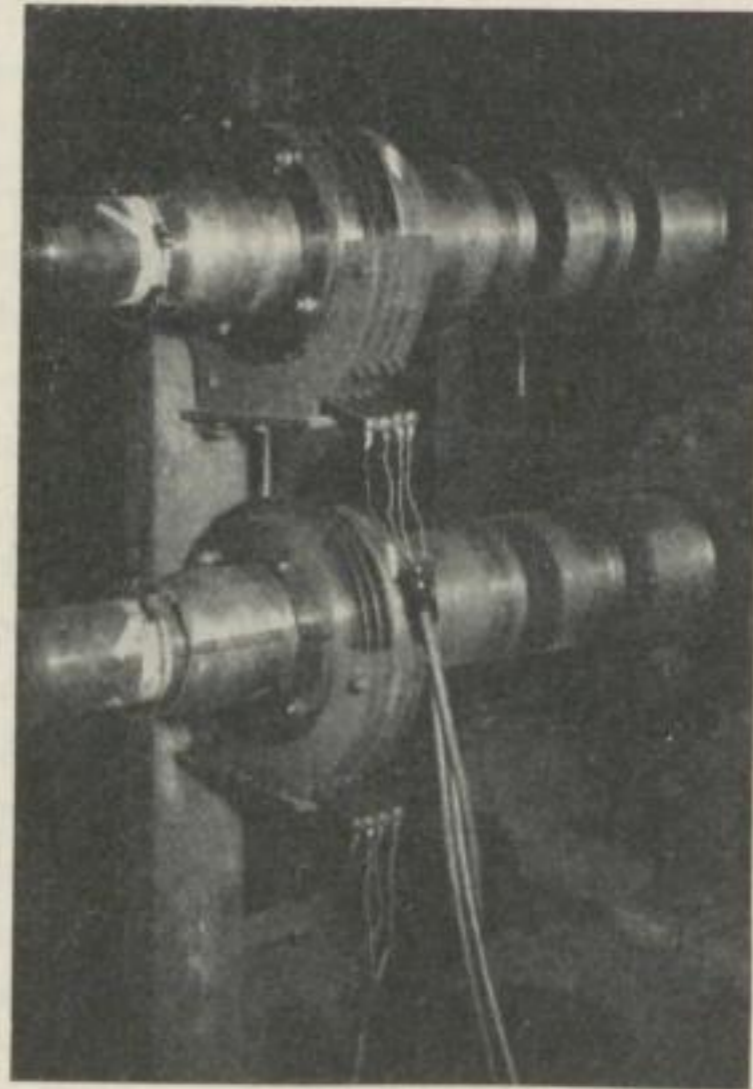


Bild 42. Drehmeßstreifen und Schleifringe mit Quecksilberkontakten für Drehmomentmessung

Gleichzeitig mit den Walzkräften und Drehmomenten wurde die Drehzahl des Antriebsmotors durch eine an ein Tachodynamo angeschlossene Meßschleife durch den Oszillographen aufgezeichnet, um aus den Stichzeiten (t_s , Bilder 43a und 43b) die zugehörigen Drehwinkel der Walzen unter Last berechnen zu können.

Bild 43 zeigt als Beispiel zwei Oszillogramme, aus denen die Walzkraft, Drehmomente und Walzendrehzahlen bei den nachfolgend beschriebenen Versuchen bestimmt wurden.

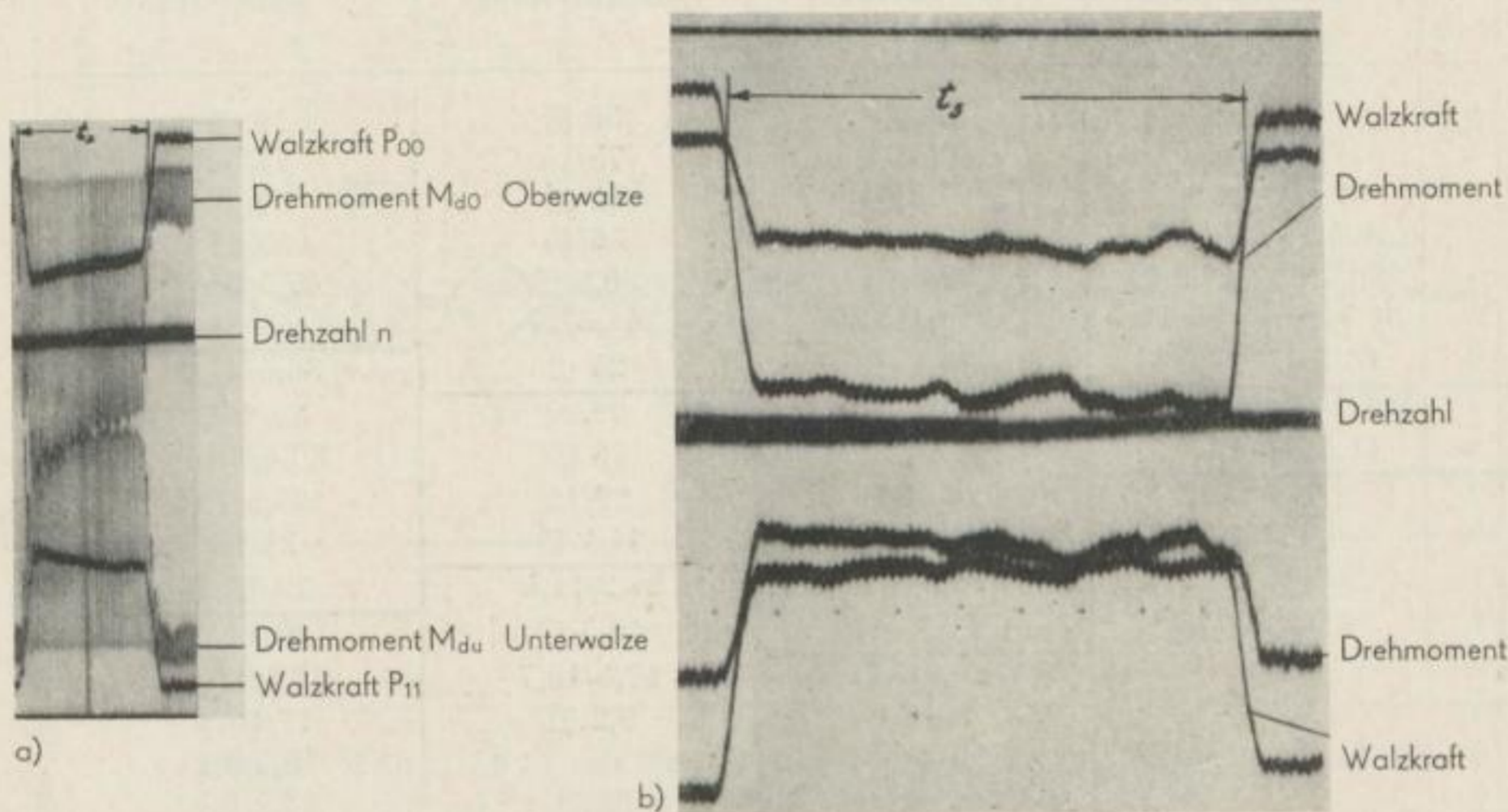


Bild 43. Oszillogramm zur Ermittlung der Walzkraft, Drehmomente und Walzendrehzahlen
 a) induktiver Drehmomentgeber
 b) Dehnmeßstreifen als Drehmomentgeber, Anzeige der Walzkraft piezoelektrisch

Versuchsdurchführung

Die Untersuchungen erstreckten sich auf vier Streckkaliberreihen, und zwar:

1. Streckkaliberreihe: Quadrat-Oval, große Streckung, kleine Streckung,
2. Streckkaliberreihe: Rund-Oval,
3. Streckkaliberreihe: Quadrat-Raute,
4. Streckkaliberreihe: Raute-Raute.

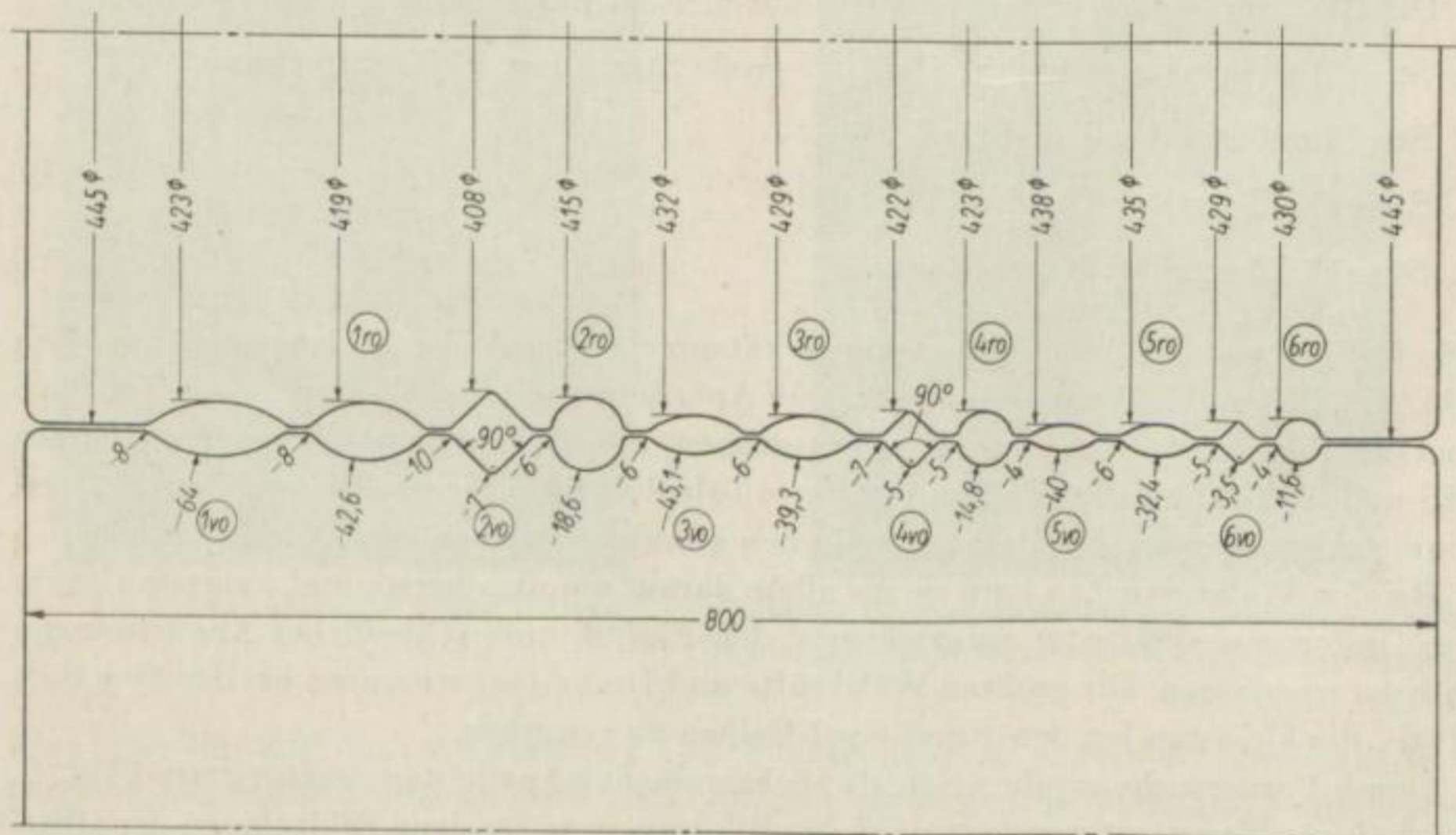
Die Kaliber wurden ihren Abmessungen entsprechend auf vier Walzenpaare mit etwa 445, 456, 360 und 280 mm \varnothing verteilt. Ihre Anordnung auf den Walzen ist aus Tabelle 5 und den Bildern 44, 45, 46, und 47 zu entnehmen. Die Bilder 48 und 49 zeigen die Walzen 445 und 360 \varnothing mit den Führungen. Aus Tabelle 5 sind ferner die ungefähren Querschnittsabmessungen der Probestäbe in den einzelnen Stichen ersichtlich.

Bei den Walzversuchen kam es vor allem darauf an, die oberste und unterste Grenze der Umformungskräfte zu ermitteln und den Einfluß unterschiedlicher Anstichtemperaturen zu erfassen. Die größten Walzkraft und Drehmomente waren bei den Quadrat-Oval-, die kleinsten bei den Rund-Oval-Reihen zu erwarten.

Durch Vorversuche ergaben sich als höchstzulässige Anstichtemperatur etwa 1240° C. Bei höheren Temperaturen traten infolge Bildung einer flüssigen Schlacke an der Oberfläche der Walzproben Schwierigkeiten beim Anstich im ersten Kaliber auf.

Tabelle 5. Kaliberverteilung und ungefähre Querschnittsabmessungen der Walzproben

| Kaliber Nr. | Quadrat-Oval | Rund-Oval | Quadrat-Raute | Raute-Raute | |
|-------------|-------------------------------|------------------|----------------|---------------|---------------------------------|
| 0 | 50 \square | 50 \emptyset | 50 \square | 50 \square | Walze 445 u. 456 \emptyset |
| 1 | 61,5/25 61,5/26 | 60/31,3 | 75/44 | 71/52 | |
| 2 | 30 \square 31,8 \square | 37,6 \emptyset | 39 \square | 59/46 | |
| 3 | 49,5/15 47,5/17,2 | 49/22 | 56/34 | 53/41 | |
| 4 | 20,3 \square 22,8 \square | 28,5 \emptyset | 30,5 \square | 47,5/35,5 | |
| 5 | 36,5/10,4 35/12,7 | 39,5/16,8 | 46,5/27 | 44/31 | |
| 6 | 15,2 \square 17,5 \square | 22,4 \emptyset | 24 \square | 36,5/27,5 | Walze 360 \emptyset |
| 7 | 23/10,5 28,5/10,3 | 30/13,4 | 39,20 | 33/24,5 | |
| 8 | 11,6 \square 12,7 \square | 18 \emptyset | 18 \square | 30,5/21,5 | |
| 9 | 17,8/7,3 20,7/7,6 | 26/10,7 | 29/15 | 26,5/19 | Walze 280 \emptyset |
| 10 | 8,7 \square 9,7 \square | 14,4 \emptyset | 14,2 \square | 24/17 | |
| 11 | 14,8/5,7 14,1/6,9 | 19,3/9,7 | 24,2/11,4 | 22/15,5 | |
| 12 | 6,9 \square 8,2 \square | 11,9 \emptyset | 10,5 \square | 20/13,7 | Walze 280 \emptyset |
| 13 | | 16,9/7,7 | 17,5/10,7 | 17,4/13,5 | |
| 14 | | 9,3 \emptyset | 9,2 \square | 17/10,9 | |
| 15 | | 13,9/6,3 | | 15,7/9,4 | |
| 16 | | 7,7 \emptyset | | 13,7/8,5 | |
| 17 | | 11,0/5,6 | | 6,7 \square | |
| 18 | | 6,6 \emptyset | | | |

Bild 44. Walze 445 \emptyset mit Quadrat-Oval- und Rund-Oval-Kalibern (Kaliber 1 bis 6)

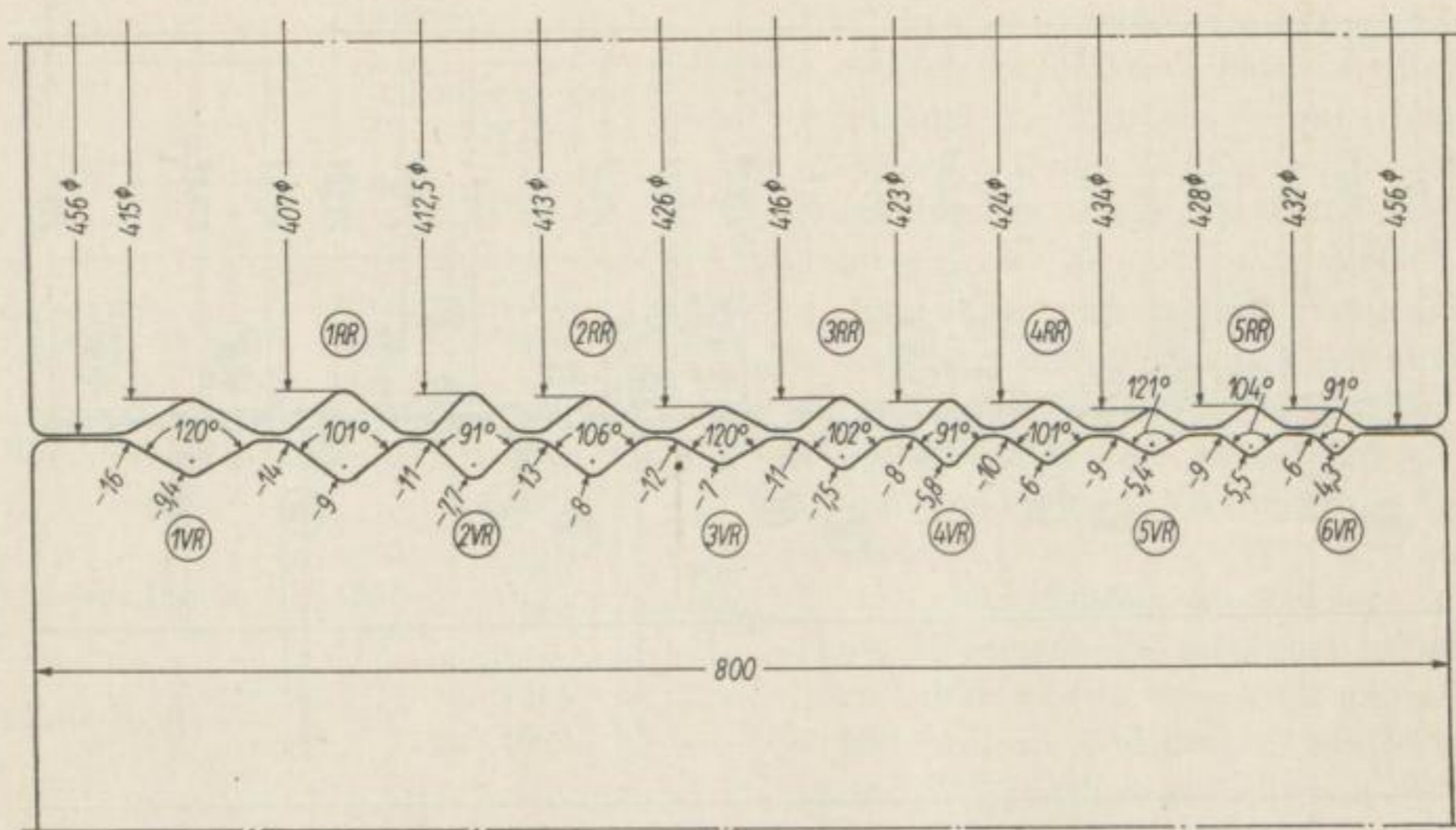


Bild 45. Walze 456 \varnothing mit Raute-Quadrat- und Raute-Raute-Kalibern (Kaliber 1 bis 6 und 1 bis 5)

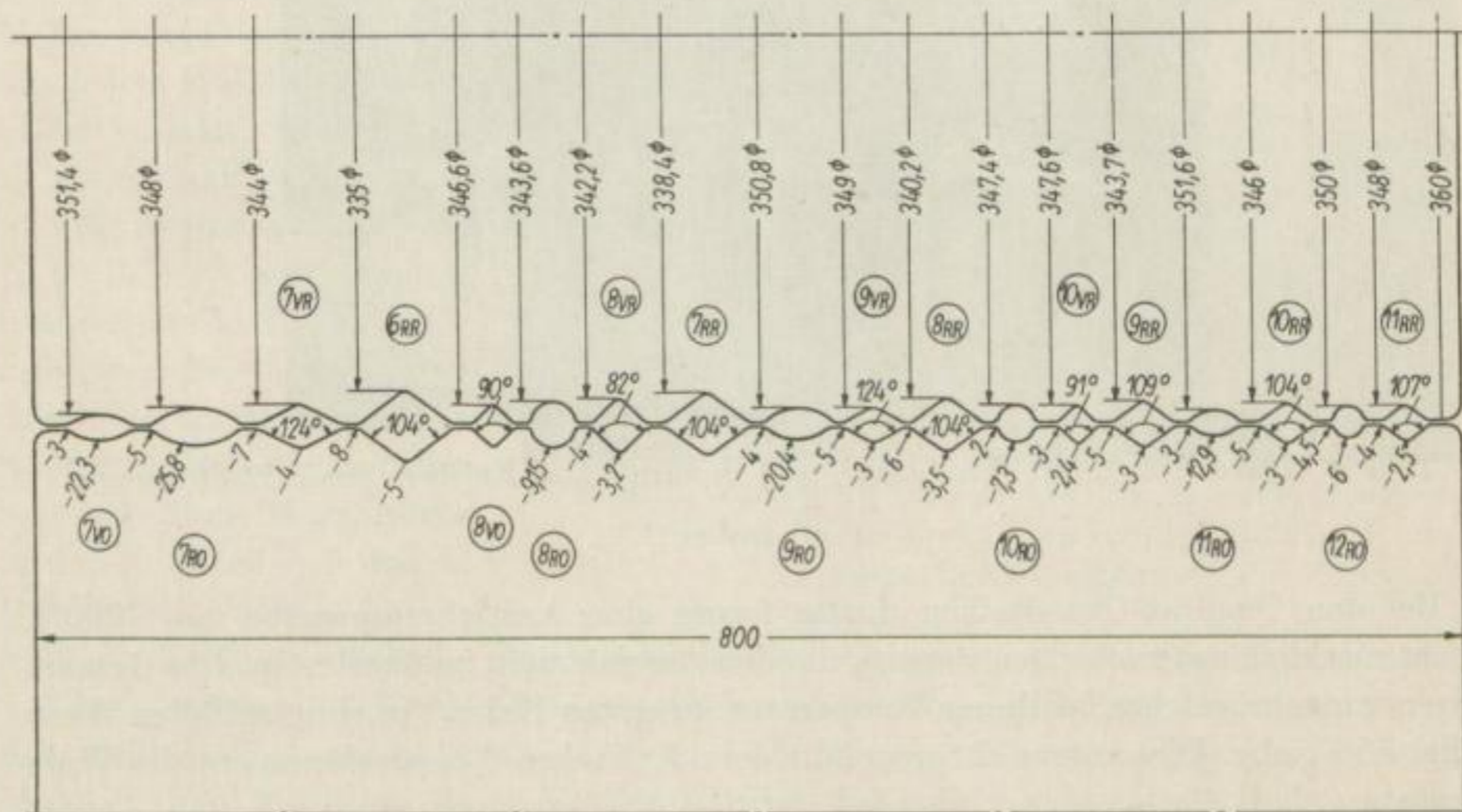


Bild 46. Walze 360 \varnothing mit Raute-Quadrat-, Raute-Raute-, Rund-Oval- und Quadrat-Oval-Kalibern (Kaliber 7 bis 10, 6 bis 11, 7 bis 12 und 7 bis 8)

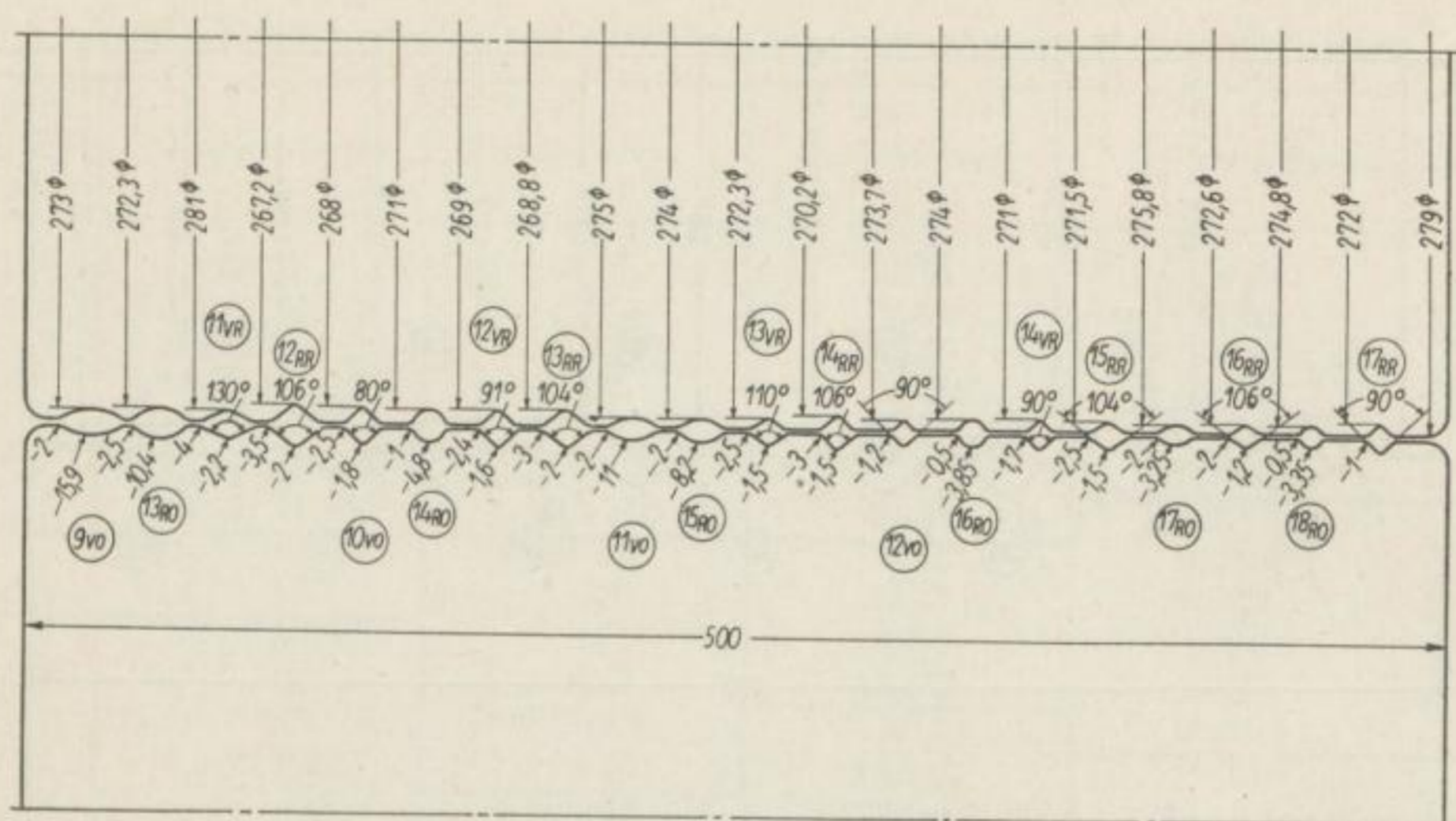


Bild 47. Walze 279 \varnothing mit Raute-Quadrat-, Raute-Raute-, Rund-Oval- und Quadrat-Oval-Kalibern (Kaliber 11 bis 14, 12 bis 17, 13 bis 18 und 9 bis 12)

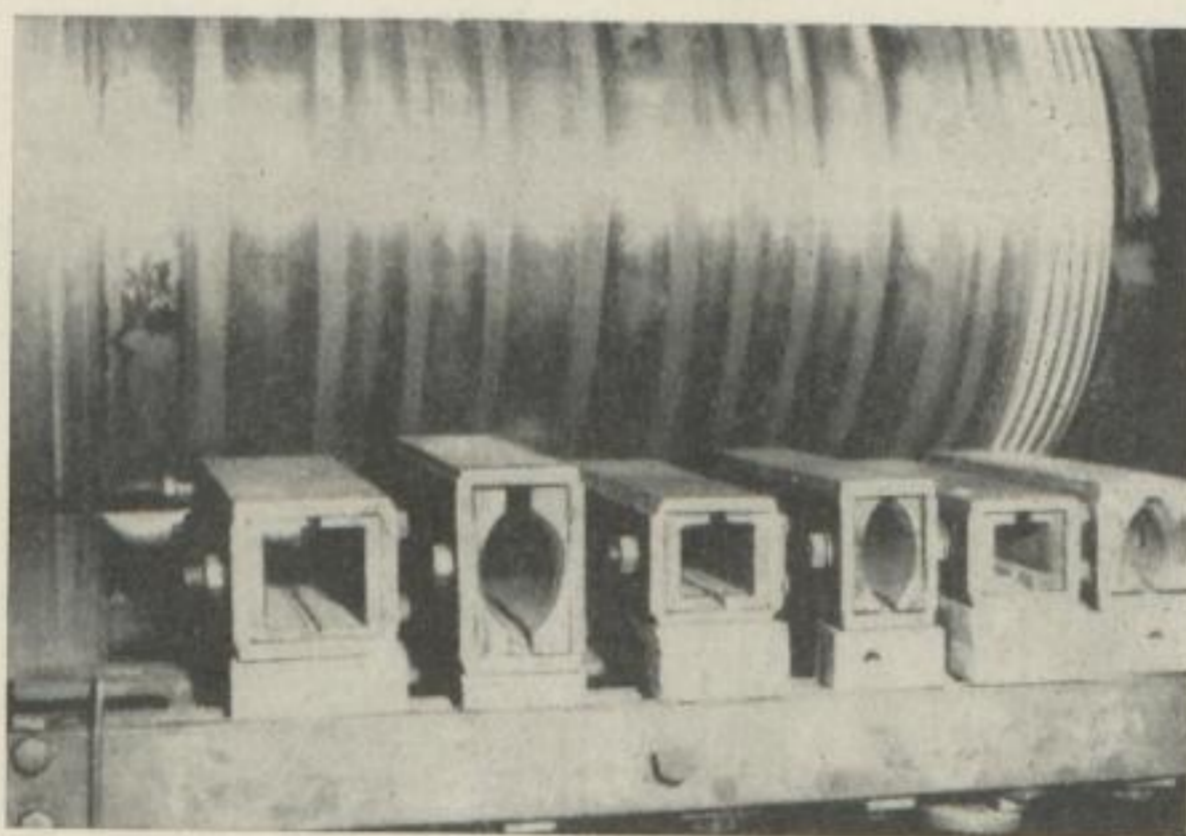


Bild 48. Walze 445 \varnothing mit Rund-Oval- und Quadrat-Oval-Kalibern sowie Einführungen

Bei den Quadrat-Oval-Reihen durfte ferner eine Anstichtemperatur von 1200°C nicht merklich unterschritten werden, um den Antrieb nicht zu überlasten. Das Gesamtdrehmoment erreichte bei dieser Temperatur im ersten Kaliber in einigen Fällen Werte über 3500 mkg. Dies entspricht ungefähr dem dreifachen Nenndrehmoment des Walzgerüsts.

Die Ofentemperaturen wurden aus diesem Grunde bei den einzelnen Versuchsreihen wie folgt gewählt:

Tabelle 6

| Reihe | Ofentemperatur °C | | |
|------------------|-------------------|-------|-------|
| | Walze | | |
| | 445 und 456 Ø | 360 Ø | 280 Ø |
| Quadrat- Oval | 1260 | 1050 | 950 |
| | 1200 | 970 | 900 |
| Rund-Oval | | 1070 | |
| | | 1020 | |
| | | 970 | |
| Quadrat-Raute | 1260 | 1040 | 930 |
| | 1200 | 980 | |
| | 1140 | | |
| Raute-Raute | | 1080 | |
| | | 1020 | |

Zur Erwärmung der Walzstäbe dienten ein elektrisch beheizter Muffel- und ein Silitstabofen mit selbsttätiger Temperaturregelung. Die Stahlproben wurden im Muffelofen bis auf eine Temperatur von 800° C vorgewärmt, dann in den Silitstabofen eingesetzt und rasch auf Walztemperatur gebracht. Diese Arbeitsweise gewährleistete eine gute Durchwärmung und geringe Verzunderung der Proben.

Um den Einfluß des Zunders auf die Meßergebnisse möglichst gering zu halten, erwies es sich als am einfachsten, die Walzproben von 50 \square und 50 Ø nach dem Ziehen an einer

scharfen Kante der Schaffplatte des Ofens durch Abstreifen zu entzundern. Von den Stäben mit kleinerem Querschnitt wurde er einfach durch Aufschlagen der Proben auf eine Stahlplatte abgesprengt. In den meisten Fällen fiel er leicht ab, so daß die Oberfläche der Walzstäbe beim Anstich weitgehend frei von anhaftendem Zunder war.

Voraussetzung für gute Mittelwerte der Streckungen, Walzkräfte, Drehmomente und Drehzahlen ist eine genügende Anzahl von Meßwerten. Deshalb wurden aus jedem Kaliber 2 bzw. 3 Stäbe gewalzt, wobei stets im ersten Kaliber begonnen und die Walzung jeweils im 1., 2., 3., 4., 5. usw. Kaliber beendet wurde. Die Messung erfolgte dabei in zwei bzw. drei aufeinanderfolgenden Stichen, z. B. bei zwei beliebig gewählten Walzproben in den Kalibern 2, 3 und 4. Das Walzen wurde in diesem

Falle im 4. Kaliber beendet und die beiden Stäbe abgelegt. Die zwei nächsten Proben wurden wiederum im Kaliber 1 angestochen und die Walzkräfte und Drehmomente in den Kalibern 3, 4 und 5 aufgezeichnet und die beiden Stäbe nach dem fünften Stich abgelegt usw. Auf diese Weise ergaben sich fast für jedes Kaliber sechs Meßwerte der Walzkräfte, Drehmomente und der Drehzahl sowie mindestens zwei Probestäbe zur Ermittlung der Querschnittsflächen und der Abmessungen.

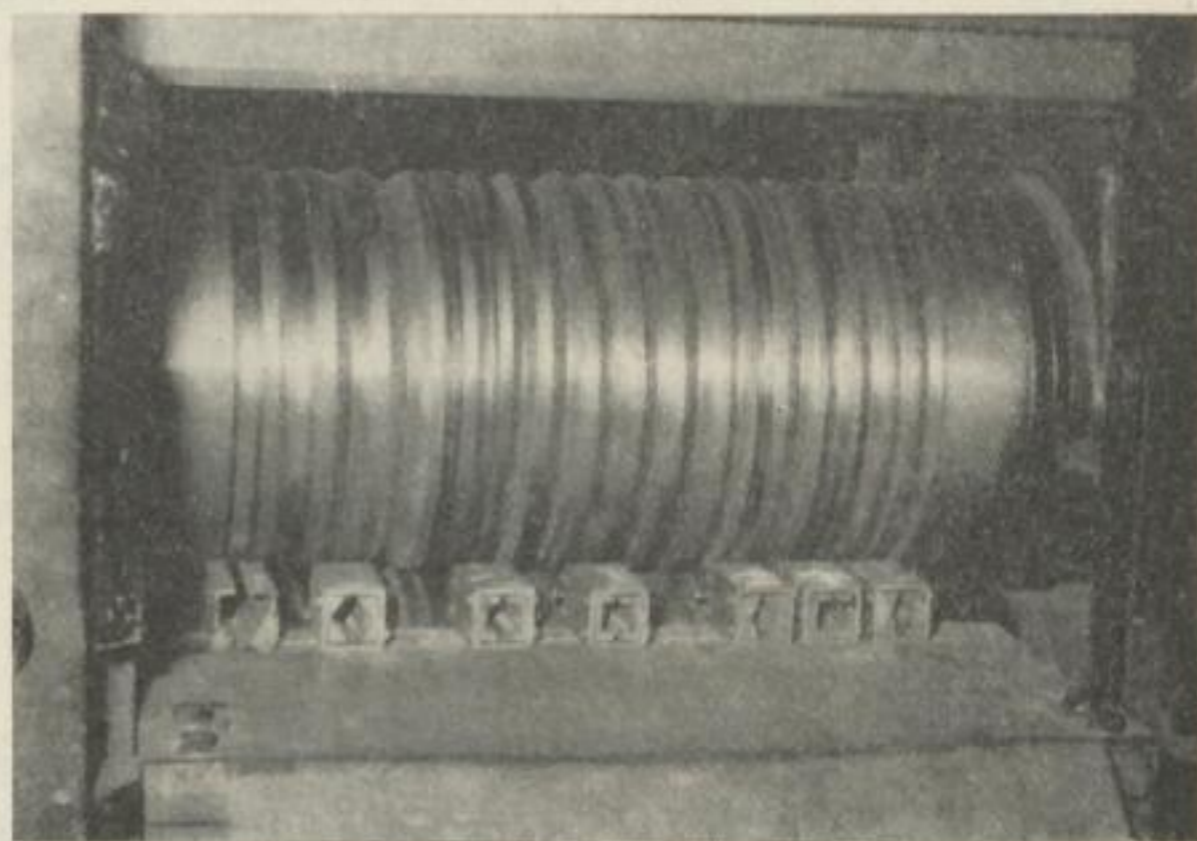


Bild 49. Walze 360 Ø mit Rund-Oval-, Quadrat-Oval-, Quadrat-Raute- und Raute-Raute-Kalibern sowie Einführungen

Die verwendeten Werkstoffe verhalten sich beim Walzen bei verschiedenen Temperaturen etwas unterschiedlich. Dies erforderte eine andere Einstellung der Oberwalze bei den einzelnen Versuchsreihen in den aufeinanderfolgenden Stichen, um eine zu starke Überfüllung der Kaliber zu vermeiden. Aus der gleichen Quadrat-Oval-Kalibrierung wurden z. B. Reihen mit verhältnismäßig großer und mittlerer Streckung gewalzt. Dies hatte zur Folge, daß die Abmessungen der Walzproben bei gleichen Kalibern, aber verschiedenen Versuchsreihen geringfügig voneinander abweichen. Dementsprechend sind auch die Streckungen etwas unterschiedlich.

Die Temperaturen der Stahlproben wurden nach dem Stich mit einem Strahlungs-pyrometer gemessen und bei jeder Reihe an 2 bis 3 Walzproben die Ziehtemperatur überprüft. Der Temperaturabfall zwischen Messung und Anstrich betrug etwa 5 bis 10°C.

Um den Temperaturabfall der Walzstäbe im Verlaufe der Walzung besser beurteilen zu können, erwies es sich als zweckmäßig, gleichzeitig mit der Temperatur die Gesamt-walzzeiten und Einzelstichzeiten einer größeren Anzahl von Proben mit Hilfe einer Stoppuhr zu ermitteln. Zur Temperaturmessung der Aluminium- und Kupferproben diente ein Oberflächentastpyrometer. Bei den Kupferstäben bereitete diese Art der Messung infolge Oxydation der Probenoberfläche Schwierigkeiten.

Die Walzversuche begannen zunächst mit den beiden Walzenpaaren von 445 und 456 Ø. Anschließend wurden in das Walzgerüst die Walzen mit 360 Ø eingebaut und die aus dem letzten Kaliber der vorgenannten beiden Walzen erhaltenen Stäbe wiederum angewärmt und weitergewalzt. Da die Endwalztemperatur im letzten Stich fast un-abhängig von der Anstichtemperatur zwischen 980° und 1070° C lag, erschien es aus-reichend, die Versuche mit der 360er Walze für jeden Werkstoff mit nur zwei Anstich-temperaturen fortzusetzen.

Nach dem Einbau der 280er Walzen wurden die Versuche mit den nach dem letzten Stich auf der 360er Walze abgelegten Probestäben fortgesetzt. Dabei wurde wieder mit zwei verschiedenen Anstichtemperaturen gearbeitet.

Versuchsergebnisse

Die Meßergebnisse der Walzversuche wurden nach dem Beispiel der Anlagen 1 bis 5 zusammengestellt und ausgewertet.

Es enthalten die Anlagen:

- 1 (Blatt 1 bis 9) Beispiele für die Ergebnisse der Rund-Oval-Reihen,
- 2 (Blatt 1 bis 7) Beispiele für die Ergebnisse der Quadrat-Oval-Reihen (große Streckung),
- 3 (Blatt 1 bis 7) Beispiele für die Ergebnisse der Quadrat-Oval-Reihen (kleine Streckung),
- 4 (Blatt 1 bis 8) Beispiele für die Ergebnisse der Raute-Raute-Reihen,
- 5 (Blatt 1 bis 7) Beispiele für die Ergebnisse der Quadrat-Raute-Reihen.

Unmittelbar durch Messung ermittelt wurden die Walzkräfte P_{00} und P_{11} unter der linken und rechten Druckschraube. Die entsprechenden Werte enthalten die Spalten 3 und 4. Ihre Summe ergibt die gesamte Walzkraft in Spalte 5. In den Spalten 6 und 7 sind die an der oberen und unteren Kuppelsspindel gemessenen Drehmomente M_{d0} und M_{d_u} und in Spalte 8 deren Summe als Gesamtumformungsdrehmoment aufgeführt.

Da die Walzen in Wälzlagern gelagert sind, kann das Lagerreibungsmoment vernachlässigt werden. Die Reibungszahl der Rollenlager des Versuchswalzwerks beträgt etwa 0,004, was bei einem Zapfendurchmesser von etwa 200 mm ein Lagerreibungsmoment

$$M_R = 0,004 \cdot P \cdot 0,1 \quad (\text{mkg})$$

ergibt. Für eine maximale Walzkraft von 50 t erhält man somit ein Lagerreibungsmoment von

$$M_R = \frac{4}{1000} \cdot \frac{50 \cdot 1000}{10} = 20 \text{ mkg}$$

für eine Walze. Dieser Wert ist erheblich kleiner als die Streuung der Meßwerte bei der Drehmomentmessung, wie ein Vergleich der Zahlenwerte in den Spalten 6 und 7 zeigt. In Spalte 9 sind die bei den einzelnen Stichen sich einstellenden Drehzahlen angegeben. Sie betragen bei den verschiedenen Walzen:

| | |
|--|-----------------|
| Walzendurchmesser 445 und 456 mm | etwa 65 U/min, |
| Walzendurchmesser 360 mm | etwa 80 U/min, |
| Walzendurchmesser 280 mm | etwa 100 U/min. |

Diesen Drehzahlen entspricht eine Walzgeschwindigkeit von ungefähr 1,5 m/s.

In Spalte 10 sind die aus den Oszillogrammen entnommenen Stichzeiten t_s aufgeführt. Daraus wurden die Drehwinkel (Spalte 11) der Walzen unter Belastung durch das Umformungsmoment M_d berechnet.

$$\delta = \frac{\pi n}{30} \cdot t_s.$$

Aus den Werten der Spalte 11 ergibt sich dann die Formänderungsarbeit beim Walzen aus der Beziehung

$$A_w = M_d \cdot \delta \quad (\text{mkg}).$$

Ermittelt man die Ausgangslänge der Walzproben vor dem Erwärmen, so lassen sich bei bekanntem Anstichquerschnitt das umgeformte Volumen (Spalte 16) und die spezifische Walzarbeit

$$a_w = \frac{A_w}{V} \quad (\text{mkg/mm}^3)$$

leicht berechnen (Spalte 13).

Von den gewalzten Stäben wurden Abschnitte entnommen und an diesen mit Hilfe eines Lupenplanimeters von OTT die Querschnittsflächen unmittelbar ermittelt. Die entsprechenden Werte enthält Spalte 14. Die Hauptmaße der Stabquerschnitte sind auf den Bildern der als Beispiel aufgeführten Tabellen angegeben. Die erste Zahl bedeutet die Breite, die zweite die Dicke des Profils.

Aus den Mittelwerten der Querschnittsflächen, Breiten und Höhen der Proben ergaben sich dann die Streckungen sowie die gedrückten Flächen F_d in den einzelnen Kalibern.

Die Querschnitte der Walzproben zeigen, daß die meisten Kaliber — mit wenigen Ausnahmen — leicht überfüllt sind. Die gemessenen Walzkkräfte und Drehmomente liegen somit mit Sicherheit an der oberen Grenze, da die gedrückten Flächen in der Praxis in der Regel etwas kleiner sein werden.

4*

Deutsches
Brennstoffinstitut
Freiberg/Sa.

Die Spalten 17 bis 20 enthalten schließlich die bei den Versuchen gemessenen Zieh-temperaturen bzw. die Temperaturen der Walzstäbe nach dem Stich sowie die Walzzeiten.

Auswertung der Meßergebnisse

Aus den Meß- bzw. Rechnungsergebnissen — für jedes Kaliber — meistens 4 bis 6 Werte — wurden nunmehr Mittelwerte gebildet und diese für sämtliche Blätter einer Tabelle in einem Auswertungsblatt zusammengestellt. Dieses enthält die Mittelwerte der im Kopf der Tabelle angegebenen Größen für sämtliche Stiche der Versuchsreihe.

In den Spalten 2, 3 und 4 sind die Mittelwerte der Walzkraft P , des Gesamtdrehmoments M_d und der spezifischen Formänderungsarbeit a_w aufgeführt. Aus den Walzkraften und Drehmomenten folgen die Hebelarme der Walzkraften auf Grund der Formel:

$$a = \frac{M_d}{2P} \quad (\text{mm}).$$

Sie sind in Spalte 5 angegeben. Die zugehörigen Hebelarmverhältnisse a/l_d enthält die Spalte 6.

Aus den mittleren Querschnitten der Walzproben in Spalte 7 ergeben sich die Längungen der Walzstäbe in den einzelnen Stichen λ_{Stich} (Spalte 8), die ihnen entsprechenden logarithmischen Formänderungen φ_λ (Spalte 10) und die Gesamtstreckungen der Walzproben $\lambda_{\text{ges.}}$ (Spalte 9).

Die Mittelwerte der geometrischen Abmessungen der Walzproben dienen zur Berechnung der gedrückten Flächen F_d (Spalte 17). Die entsprechenden Werte sind für jede Versuchsreihe in einem besonderen Blatt zusammengestellt.

Nach der Formel

$$k_w = \frac{P}{F_d} \quad (\text{kg/mm}^2)$$

erhält man die in Spalte 18 aufgeführten mittleren Formänderungswiderstände durch Division der unmittelbar gemessenen Walzkraften in Spalte 2 durch die Werte von Spalte 17.

Die Anstich- und Endquerschnitte der Walzstäbe für jedes Kaliber wurden nach dem Vorschlag von SIEBEL in Rechtecke über der Ausgangs- bzw. Endbreite verwandelt und auf diese Weise die in den Spalten 11 und 12 enthaltenen mittleren Ausgangs- und Endhöhen h_{0m} und h_{1m} berechnet. Aus diesen Werten ergaben sich dann die Höhenverhältnisse h_{0m}/h_{1m} (Spalte 13) und die zugehörigen logarithmischen Hauptformänderungen in Spalte 14 sowie die mittleren Formänderungsgeschwindigkeiten in den einzelnen Kalibern (Spalte 16).

Errechnet man aus den mittleren logarithmischen Hauptformänderungen und den durch Messung der Drehmomente und anschließende Rechnung bestimmten spezifischen Walzarbeiten die zugehörigen Formänderungswiderstände

$$k'_w = \frac{a_w}{\varphi_h} \quad (\text{kg/mm}^2)$$

(Spalte 19) und vergleicht sie mit den k_w -Werten der Spalten 18, so gestattet diese Gegenüberstellung die Anwendungsmöglichkeit der FINKSchen Formel auf das Walzen im Kaliber zu überprüfen.

DISKUSSION DER MESSERGEBNISSE

Allgemeine Betrachtungen

Um die Anwendung der Versuchsergebnisse in der Praxis zu vereinfachen, wurden die ermittelten Walzkräfte, Drehmomente, Formänderungswiderstände und spezifischen Walzarbeiten in Tabellen und Bildern zusammengestellt.

Es enthalten die Anlagen:

- 6 (Tabelle 1 bis 23) die Versuchsergebnisse der Rund-Oval-Reihen,
- 7 (Tabelle 1 bis 15) } die Versuchsergebnisse der Quadrat-Oval-Reihen,
- 8 (Tabelle 1 bis 16) }
- 9 (Tabelle 1 bis 21) die Versuchsergebnisse der Quadrat-Raute-Reihen,
- 10 (Tabelle 1 bis 21) die Versuchsergebnisse der Raute-Raute-Reihen.

Für die Stähle sind den gewählten zwei oder drei Anstichtemperaturen entsprechend für jede dieser Streckkaliberreihen zwei bzw. drei Tabellen vorhanden. Außer den Endwalztemperaturen enthalten die Tabellen Angaben über die angenäherten Querschnitts- und Kaliberabmessungen, Walzkräfte, Drehmomente, Formänderungswiderstände und spezifischen Walzarbeiten. Die aufgeführten Zahlenwerte sind Mittelwerte aus den Meßergebnissen der einzelnen Versuchsreihen.

Besondere Blätter wurden auch für Kupfer und Aluminium angelegt, da die Streckungen und Querschnittsabmessungen, insbesondere von Aluminium, von den Werten für Stahl abweichen und die Walztemperaturen nicht übereinstimmen.

An Hand von Tabellenwerten sind gesetzmäßige Zusammenhänge meist schwer zu erkennen. Aus diesem Grunde wurden die Ergebnisse außerdem in Bildern dargestellt, und zwar in:

- Bild 50 die Versuchsergebnisse der Rund-Oval-Reihen,
- Bild 51 } die Versuchsergebnisse der Quadrat-Oval-Reihen,
- Bild 52 }
- Bild 53 die Versuchsergebnisse der Quadrat-Raute-Reihen,
- Bild 54 die Versuchsergebnisse der Raute-Raute-Reihen.

Darin sind für jedes Kaliber die Walzkräfte, Drehmomente, Formänderungswiderstände und spezifischen Walzarbeiten der untersuchten Stähle für unterschiedliche Endwalztemperatur unmittelbar nebeneinander aufgetragen. Darunter befinden sich die entsprechenden Werte für Kupfer und Aluminium. Die eingetragenen Zahlen bedeuten die Endwalztemperaturen der beiden letztgenannten Werkstoffe.

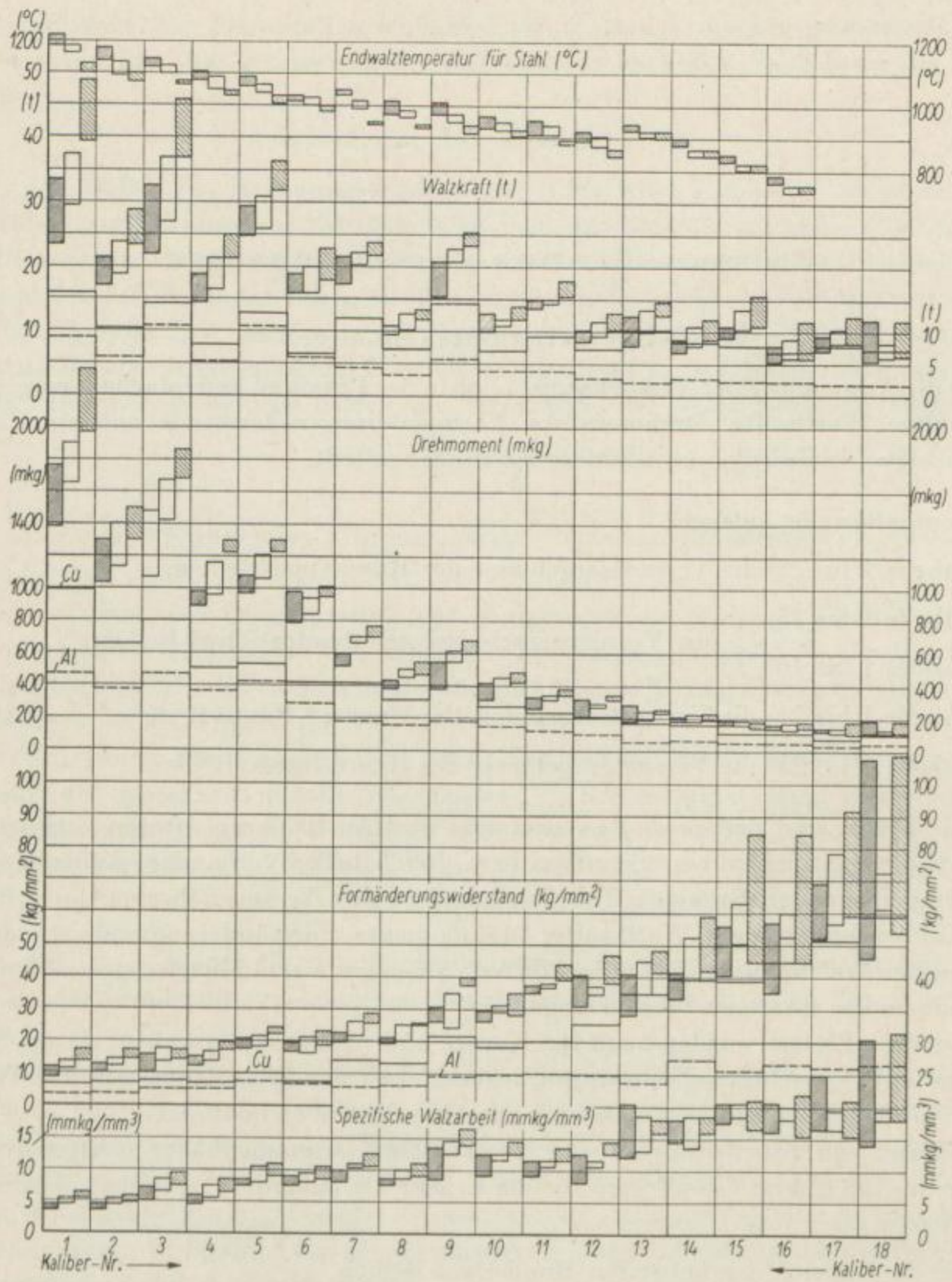


Bild 50. Streckkaliberreihe Rund-Oval

Da der Verlauf der Meßwerte in den einzelnen Kalibern bei den verschiedenen Reihen erhebliche Unterschiede zeigt, deren Ursachen nicht ohne weiteres zu erkennen sind, ist es erforderlich, zunächst einige grundsätzliche Betrachtungen anzustellen. Die Walzkraft ergibt sich aus:

$$P = F_d \cdot k_w.$$

Das an der Walze wirkende Drehmoment beträgt

$$M_d = F_d \cdot k_w \cdot a.$$

Walzkraft und Drehmoment sind somit abhängig von der gedrückten Fläche F_d , vom Hebelarm a und vom Formänderungswiderstand k_w . Letztgenannter ist wiederum abhängig von Werkstoff, Walztemperatur, Formänderung und Formänderungsgeschwindigkeit sowie geometrischen Einflußgrößen, insbesondere dem Walzspaltverhältnis l_d/h_m , der Form des Anstichquerschnitts und des Kalibers.

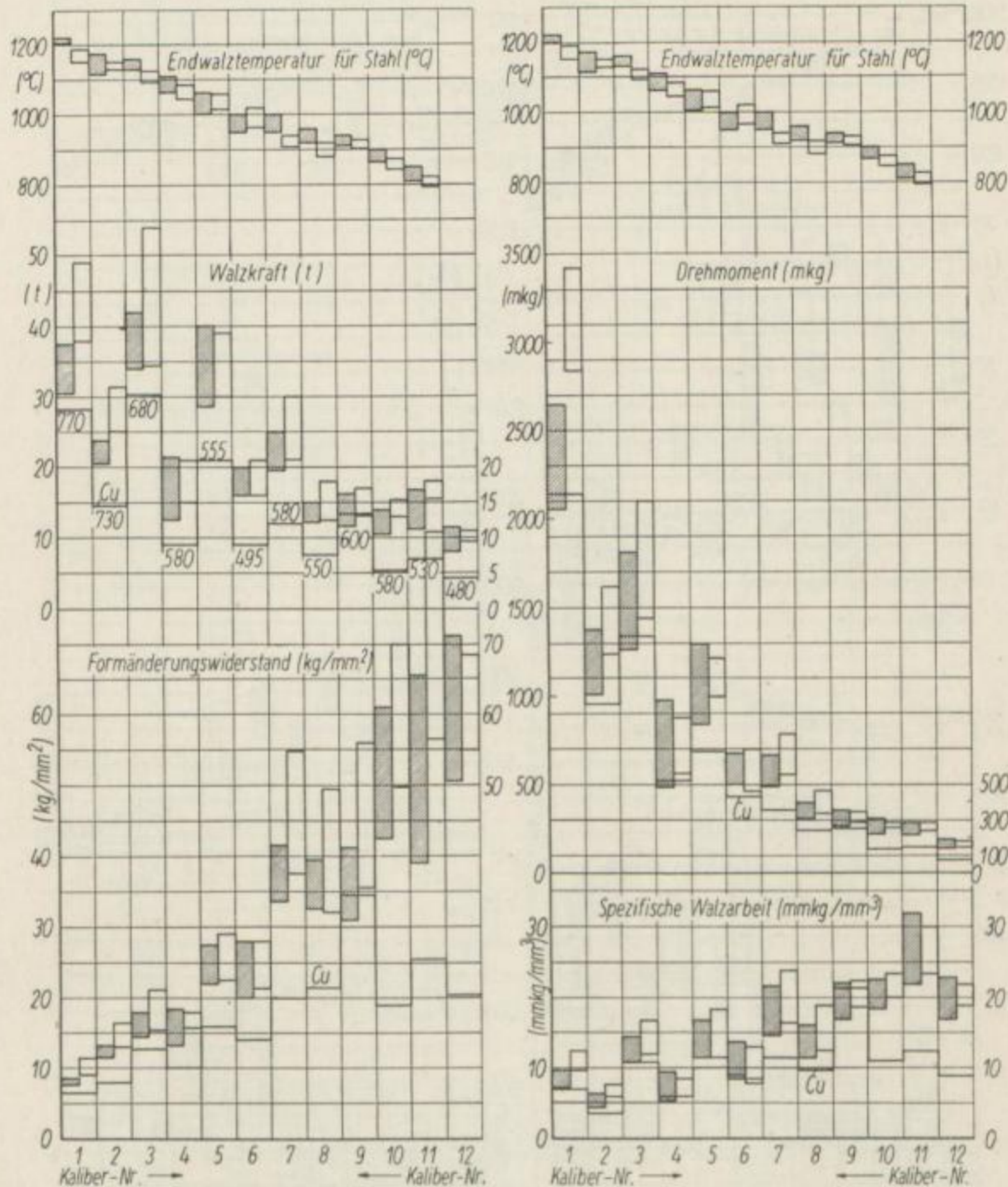


Bild 51. Streckkaliberreihe Quadrat-Oval (große Streckung)

Gedrückte Flächen

Bild 55 zeigt den Verlauf der gedrückten Flächen innerhalb der Versuchsreihen. Die Werte wurden durch Mittelwertbildung bestimmt. Die Abweichungen von diesen Mittelwerten sind bei den einzelnen Versuchsreihen gering.

Höchstwerte der gedrückten Flächen treten bei der Quadrat-Oval-Reihe im ersten Kaliber auf. Sie betragen dort etwa 4300 mm^2 , sinken rasch ab und erreichen im zweiten

Kaliber etwas weniger als die Hälfte. Von Kaliber 4 ab weist die Quadrat-Oval-Reihe die kleinsten gedrückten Flächen auf. Kennzeichnend für den Kurvenverlauf sind bei dieser Reihe vor allem die in den ungeraden Kalibern auftretenden Spitzen. Die gedrückten Flächen liegen insbesondere beim ersten, dritten und fünften Stich erheblich

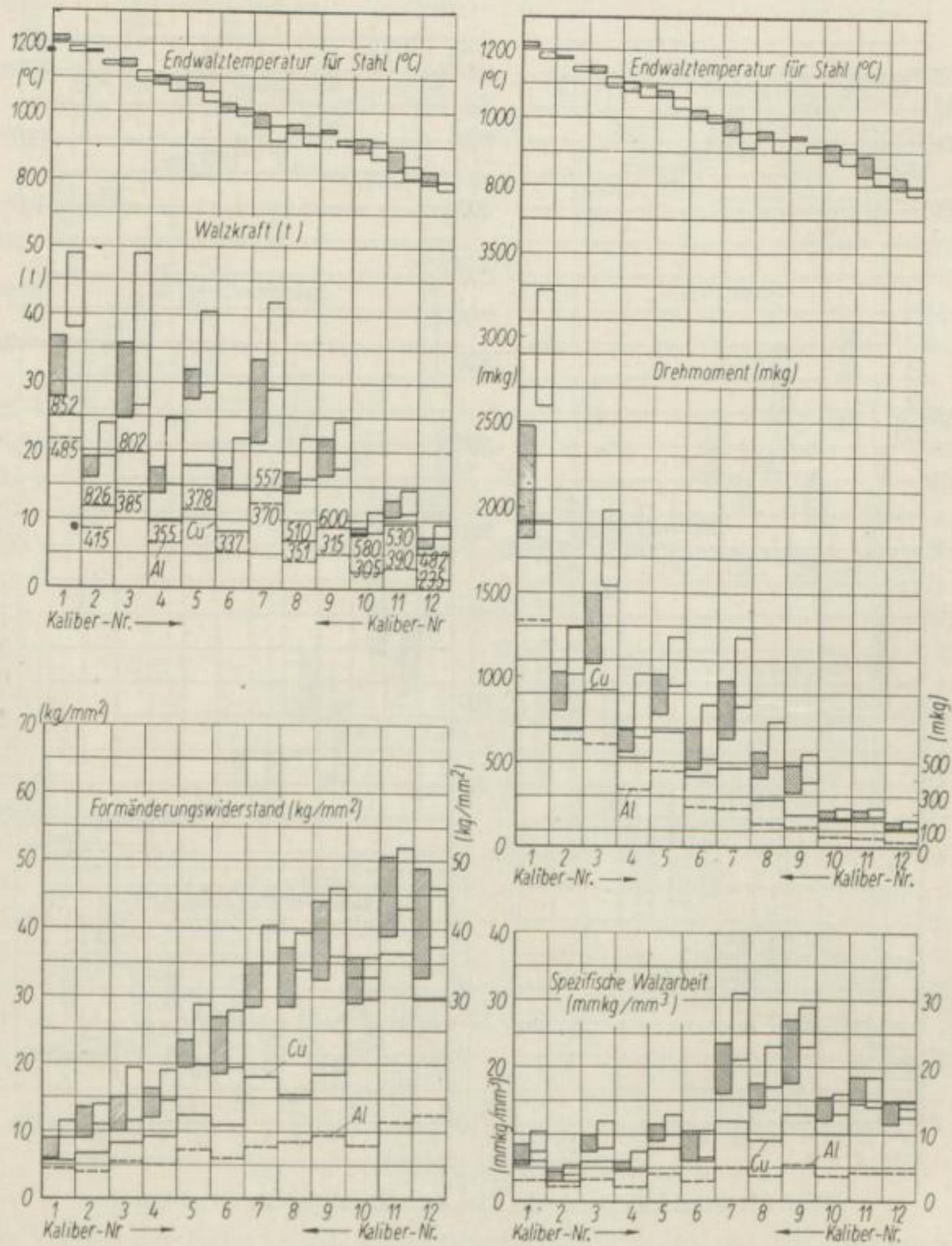


Bild 52. Streckkaliberreihe Quadrat-Oval (kleine Streckung)

über den der beiden benachbarten Kaliber 2, 4 und 6. Bei den letzten vier Stichen (Kaliber 8 bis 12) sind die Unterschiede geringer. Im Kaliber 7 ist eine Unregelmäßigkeit vorhanden. Diese entstand dadurch, daß auf der 360er Walze kein geeignetes Oval-Kaliber dieser Reihe vorhanden war und der aus dem sechsten Kaliber aus-

laufende Walzstab in das nächste zur Rund-Oval-Reihe gehörige Oval gestochen werden mußte. Dies ergibt sofort geänderte Verhältnisse.

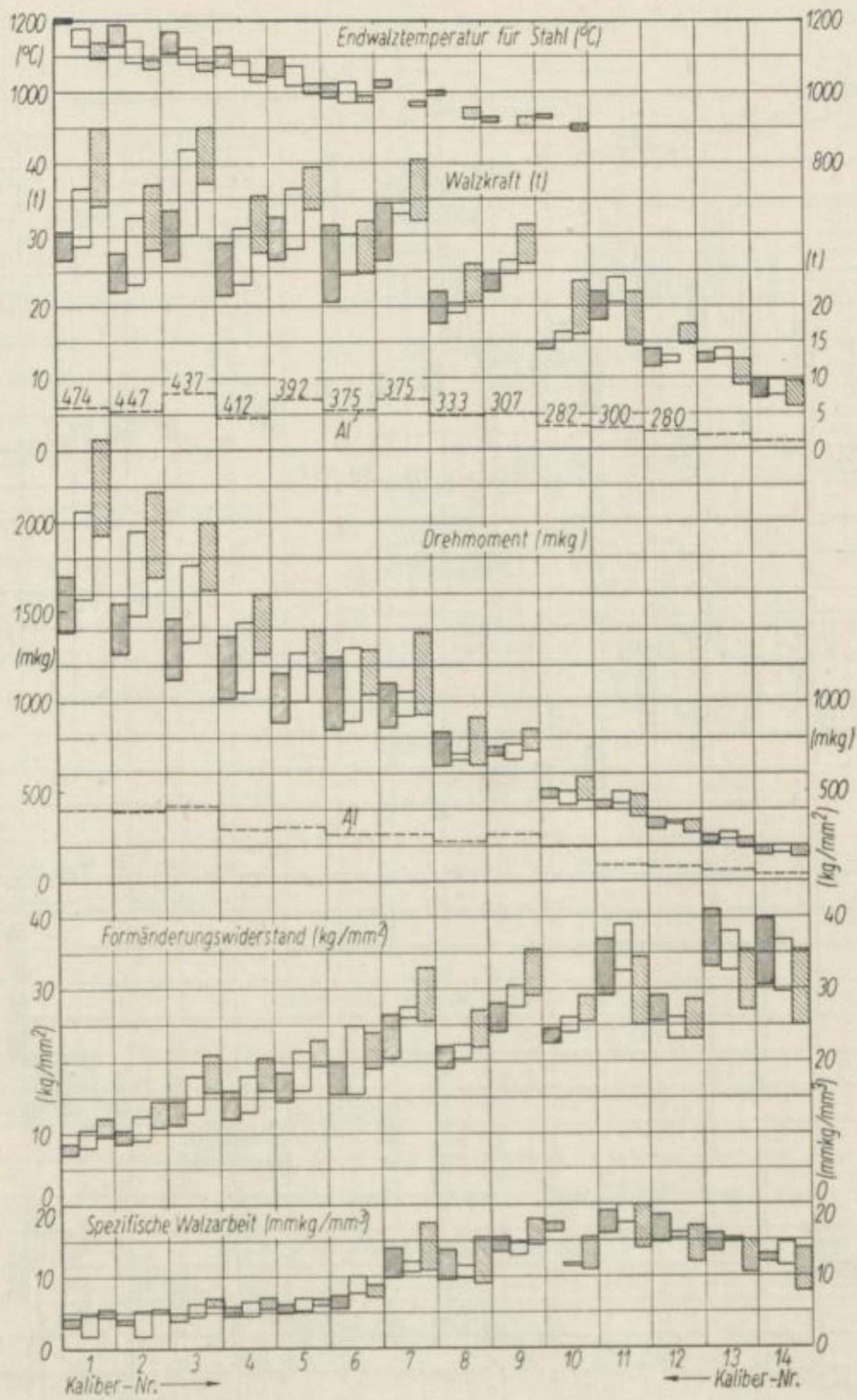


Bild 53. Streckkaliberreihe Quadrat-Raute

Mit Ausnahme des ersten und dritten Kalibers weisen die Raute-Raute- und Quadrat-Raute-Reihen die größten gedrückten Flächen auf. Bei der Streckkaliberreihe Raute-Raute sinken sie von ihrem Höchstwert etwa 2900 mm^2 im zweiten Kaliber verhältnismäßig gleichmäßig auf ungefähr 200 mm^2 im letzten Kaliber ab.

Bedingt durch den ständigen Wechsel zwischen der geometrischen Form des Anstichquerschnitts und des Kalibers sind die gedrückten Flächen bei den Reihen Quadrat-Raute abwechselnd etwas größer bzw. kleiner als die entsprechenden Werte der Raute-Raute-Reihen.

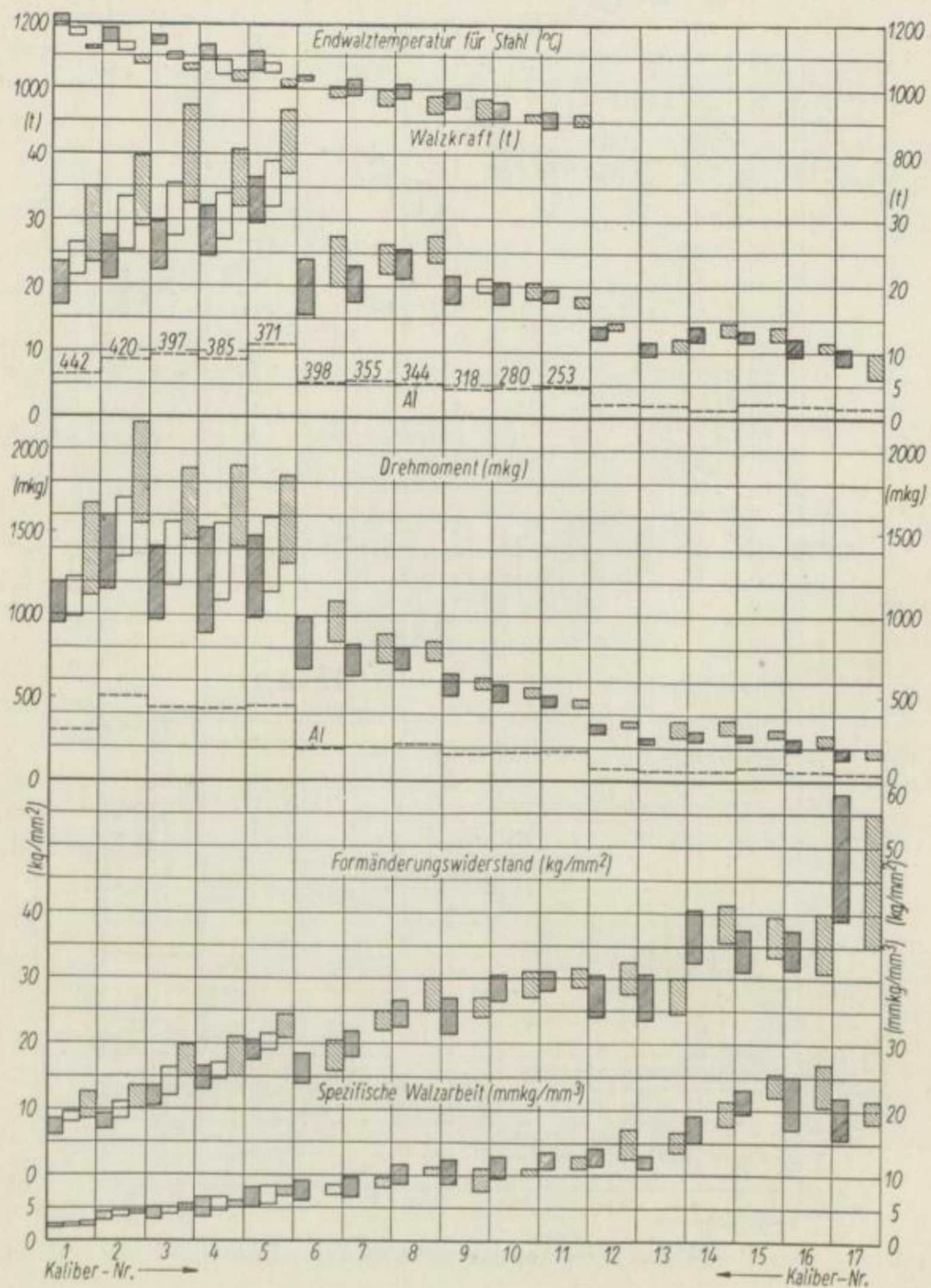


Bild 54. Streckkaliberreihe Raute-Raute

In den ersten drei Kalibern weisen die Rund-Oval-Reihen die kleinsten gedrückten Flächen auf. Beim vierten bis achten Stich liegen sie knapp oberhalb derjenigen der Quadrat-Oval-Reihen und vom neunten Kaliber ab etwa in der Mitte zwischen den

Raute-Raute- und Quadrat-Oval-Reihen. Die Kurve verläuft ähnlich wie bei der Reihe Quadrat-Oval, wobei die gedrückten Flächen von ungefähr 2600 mm² im ersten Kaliber auf etwa 100 mm² im Kaliber 18 absinken. Die Flächen der ungeraden Kaliber sind stets größer als die der beiden benachbarten geraden.

In den Kalibern 3 und 13 sind die gedrückten Flächen aller Versuchsreihen nur wenig verschieden. Sie betragen etwa 2100 bis 2400 bzw. 300 bis 380 mm².

Die mittlere Formänderungsgeschwindigkeit

In Bild 56 ist der Verlauf der mittleren Formänderungsgeschwindigkeit

$$\dot{\varphi}_m = \frac{V_u}{l_d} \varphi_h \quad (s^{-1})$$

dargestellt. Bei der Beurteilung dieses Schaubildes ist zu beachten, daß bei den Versuchen die Walzgeschwindigkeit $V_u \sim 1,5 \text{ m/s}$ unveränderlich war. Die Werte eignen sich somit nun für einen relativen Vergleich der untersuchten Streckkaliberreihen.

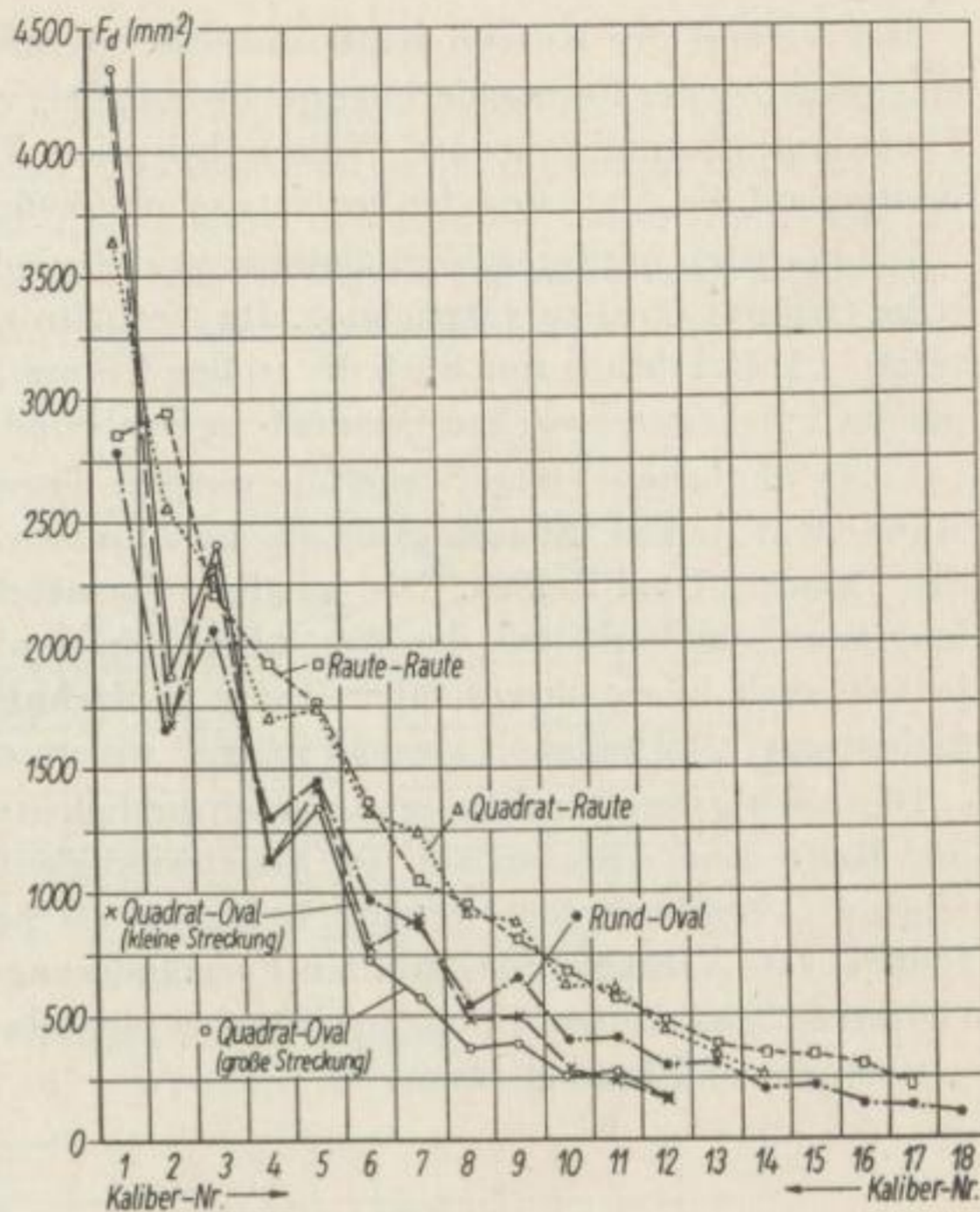


Bild 55. Verlauf der gedrückten Flächen

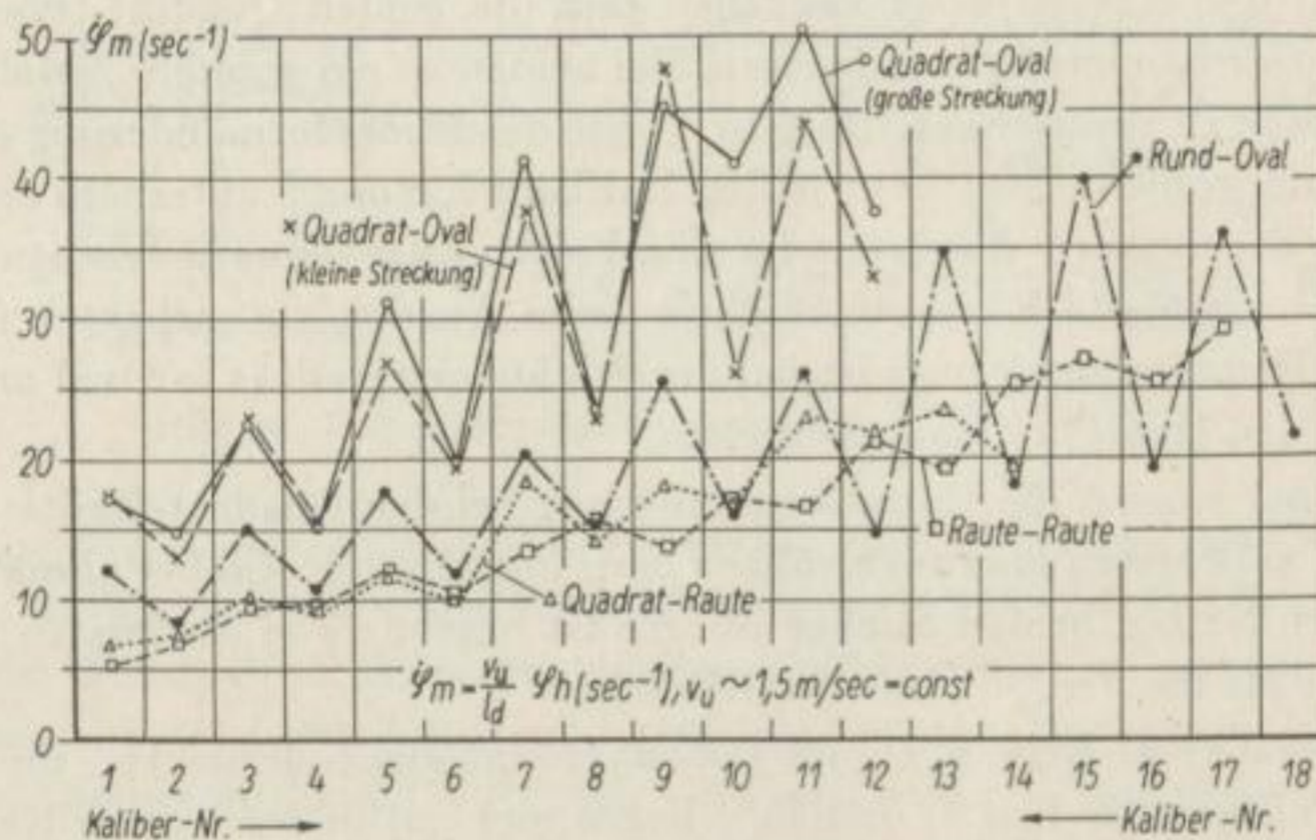


Bild 56. Verlauf der mittleren Formänderungsgeschwindigkeit

$$\dot{\varphi}_m = \frac{V_u}{l_d} \varphi_h [s^{-1}], V_u \sim 1,5 \text{ m/s} = \text{const}$$

Der Verlauf der Kurven zeigt zunächst für sämtliche Versuchsreihen und Kaliber einen Anstieg der Formänderungsgeschwindigkeit vom ersten zum letzten Stich. Da die Umfangsgeschwindigkeit der Walzen bei allen Versuchen konstant war, ist dieser Anstieg auf die Änderung der geometrischen Größen l_d und φ_h zurückzuführen.

Die höchsten mittleren Formänderungsgeschwindigkeiten sind bei der Streckkaliberreihe Quadrat-Oval zu verzeichnen. Ihr Verhältnis im ersten und vorletzten Stich beträgt 3 : 1. Beachtlich sind auch die großen Unterschiede der mittleren Formänderungsgeschwindigkeiten zwischen Quadrat- in Oval- und Oval- in Quadrat-Stichen.

Einen ähnlichen Verlauf zeigt die mittlere Formänderungsgeschwindigkeit bei den Rund-Oval-Reihen. Allerdings liegen die Absolutwerte hier erheblich niedriger als bei den Quadrat-Oval-Reihen. Die mittlere Formänderungsgeschwindigkeit steigt zwar langsamer, das Verhältnis der Werte Rund- in Oval- zu Oval- in Rund-Stichen beträgt jedoch auch hier teilweise über 2. Im fünfzehnten Kaliber ist die mittlere Formänderungsgeschwindigkeit viermal so groß wie im ersten.

Die niedrigsten Formänderungsgeschwindigkeiten treten bei den Quadrat-Raute- und Raute-Raute-Reihen auf. Die Geschwindigkeitsunterschiede in den aufeinanderfolgenden Kalibern sind wesentlich kleiner als bei den beiden bereits behandelten Reihen. Das Verhältnis der größten Formänderungsgeschwindigkeit im Kaliber 17 zur kleinsten beim ersten Stich erreicht bei der Raute-Raute-Reihe allerdings seinen Höchstwert und beträgt etwa 6 : 1.

Die Hauptformänderung

Die Anstich- und Endquerschnitte der Walzproben wurden in flächengleiche Rechtecke mit den Höhen h_{0m} und h_{1m} verwandelt, daraus die Hauptformänderung als prozentuale Höhenabnahme in den einzelnen Kalibern berechnet und in Bild 58 als Schaubild aufgetragen.

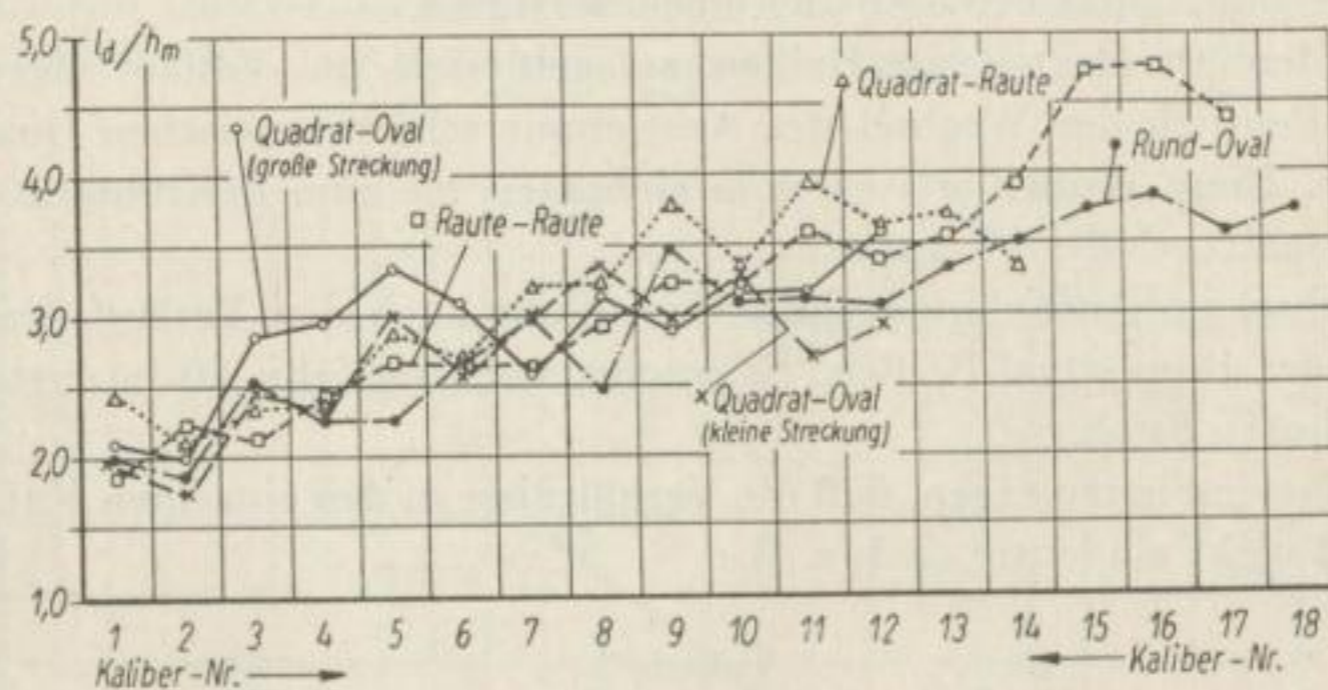
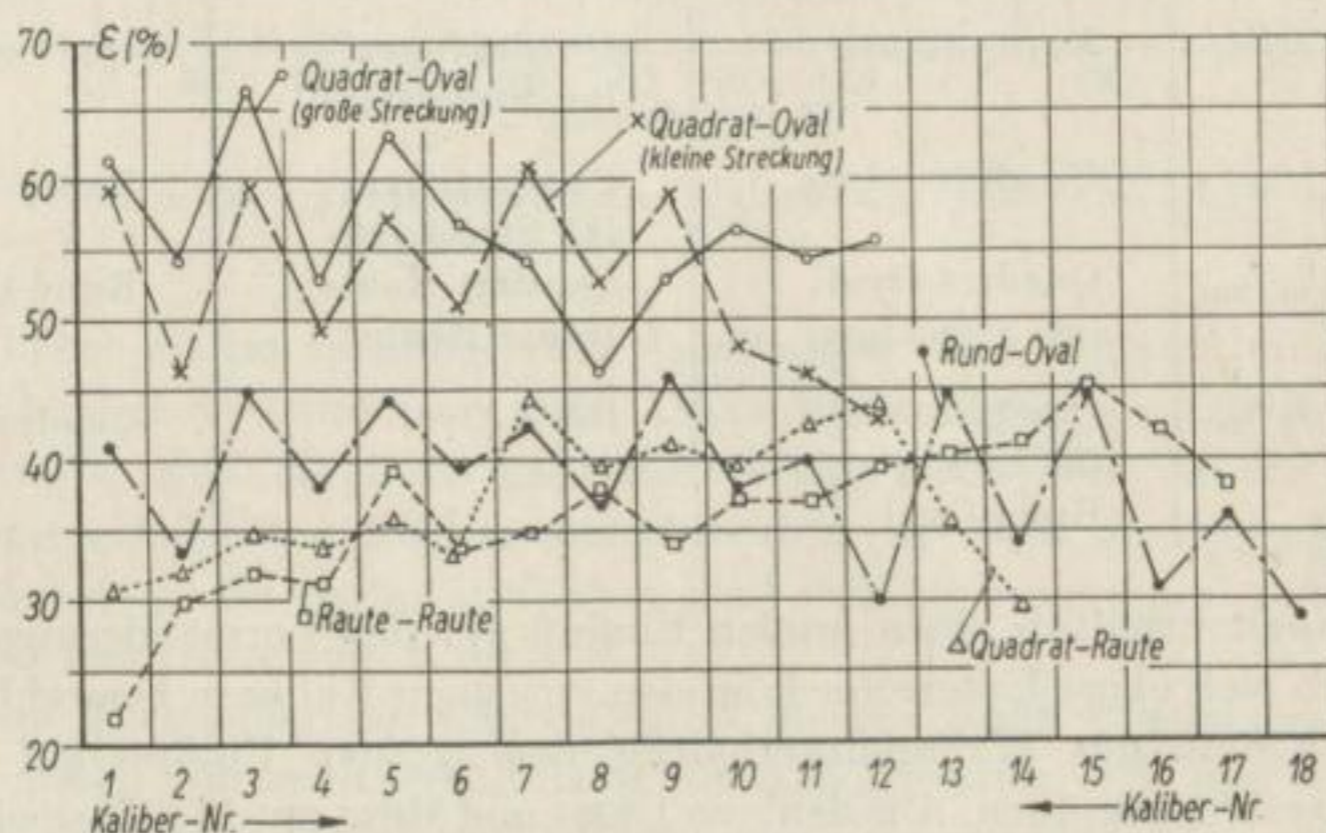
Der Verlauf der Kurven zeigt zunächst, daß die beiden Quadrat-Oval-Reihen die größten Hauptformänderungen aufweisen. Bei beiden ist ein geringer Abfall vom ersten zum letzten Stich zu verzeichnen. Daß die Werte der Hauptformänderung der Quadrat-Oval-Reihen mit größerer Streckung in den Kalibern 7, 8 und 9 unterhalb der mit kleinerer Streckung liegen, wird durch die im Abschnitt „Allgemeine Betrachtungen“ (S. 53 bis 55) bereits erwähnte Unregelmäßigkeit beim Anstich im siebenten Kaliber verursacht. Die Hauptformänderung ist bei der Stichfolge Quadrat in Oval um etwa 10% größer als bei den Oval- in Quadrat-Stichen.

Demgegenüber wächst die Hauptformänderung bei den Quadrat-Raute- und Raute-Raute-Reihen vom ersten bis zum zwölften bzw. fünfzehnten Kaliber allmählich an und fällt erst in den letzten beiden Stichen ab. Sie ist besonders in den ersten Kalibern erheblich kleiner als die der Quadrat-Oval-Reihen.

Bei den Rund-Oval-Reihen ergaben sich Hauptformänderungen, die fast unabhängig vom Kaliber zwischen 35 und 45% liegen und erst in den letzten Kalibern leicht abfallen. Die Kurve verläuft ähnlich wie bei der Quadrat-Oval-Reihe. Bei Rund- in Oval-Stichen sind die Werte um etwa 8 bis 10% größer als bei Oval- in Rund-Stichen. Im elften und sechsten Kaliber sind die Unterschiede sogar noch größer.

Das Walzspaltverhältnis

Die Walzspaltverhältnisse in den Kalibern der bereits mehrfach erwähnten Streckkaliberreihen sind in Bild 57 dargestellt. Das Walzspaltverhältnis nimmt von 1,9 bis 2,4 im ersten Kaliber allmählich bis auf 3,5 bis 4, bei den Raute-Raute-Reihen sogar bis 4,6 zu. Dies muß nach Bild 8 einen erheblichen Anstieg des Formänderungswiderstands zur Folge haben. Der Verlauf der Kurven ist bei den einzelnen Reihen unterschiedlich.

Bild 57. Walzspaltverhältnis l_d/h_m Bild 58. Hauptformänderung $\frac{h_{0m} - h_{1m}}{h_{0m}} \cdot 100$ [%]

Die Ausgangswerte im ersten Kaliber betragen mit Ausnahme der Quadrat-Raute-Reihe, deren Anfangswert bei ungefähr 2,4 liegt, etwa 1,9 bis 2,1. Bei den Raute-Raute-Reihen ist das Walzspaltverhältnis im zweiten Kaliber größer als im ersten und wächst allmählich an, um im fünfzehnten und sechzehnten den Höchstwert von 4,6 zu erreichen. Der Anstieg wird beim Übergang auf einen anderen Walzendurchmesser, d. h. vom fünfzehnten zum sechzehnten bzw. elften zum zwölften Kaliber, unterbrochen.

Bei den anderen Reihen ist das Walzspaltverhältnis im zweiten Kaliber kleiner als im ersten. Es wächst bei den Quadrat-Oval-Reihen mit größerer Streckung nach dem

zweiten Stich rasch an, erreicht im fünften Kaliber ein Maximum und fällt dann wieder auf etwa 2,5 im siebenten Kaliber ab. Nach dem siebenten Stich steigt es in Stufen weiter bis auf etwa 3,5 an, wobei bei der Stichfolge Quadrat in Oval ein starker, bei der Folge Oval in Quadrat dagegen nur ein leichter Anstieg, teilweise sogar ein geringer Abfall vorhanden ist. Das verhältnismäßig starke Absinken des Walzspaltverhältnisses zwischen den Kalibern 6 und 7 bzw. 8 und 9 wird durch den Übergang auf einen anderen Walzendurchmesser verursacht. Im siebenten Kaliber wird es durch die bereits erwähnte Unregelmäßigkeit beim Anstich noch verstärkt.

Auch bei den Quadrat-Raute-Reihen spiegelt sich im Verlauf des Walzspaltverhältnisses deutlich der Wechsel des Anstichquerschnitts zwischen Quadraten und Rauten wider. Diese Reihen weisen vom siebenten bis zum dreizehnten Kaliber die größten Walzspaltverhältnisse auf.

Dieser Wechsel im Anstichquerschnitt beeinflusst auch den Verlauf des Walzspaltverhältnisses der Rund-Oval-Reihen. Es wächst von ungefähr 2,0 im ersten auf etwa 3,8 im sechzehnten Stich.

Zusammenfassend ist zu sagen, daß die Verhältnisse in den einzelnen Kalibern unterschiedlich und nicht eindeutig sind, z. B.:

Tabelle 7

| Kaliber | | 2 | 3 | 8 |
|-------------|-----------|---------------------------------|---------------------------------|---------------|
| Größtwert | l_d/h_m | Raute-Raute | Quadrat-Oval (gr. Streckung) | Quadrat-Raute |
| | | Quadrat-Raute | Quadrat-Oval (kl. Streckung) | Raute-Raute |
| Mittelwert | l_d/h_m | Quadrat-Oval (gr. Streckung) | Quadrat-Raute Raute-Raute | Rund-Oval |
| Kleinstwert | l_d/h_m | Quadrat-Oval (kl. Streckung) | Rund-Oval | Quadrat-Oval |
| | | Rund-Oval | | |

Da das Walzspaltverhältnis einen großen Einfluß auf den Formänderungswiderstand ausübt, werden sich obige Unterschiede in den einzelnen Kalibern bemerkbar machen.

Nach Bild 8 muß das Walzspaltverhältnis den größten Einfluß auf den Formänderungswiderstand ausüben. Aus den von LUEG und MÜLLER [11, 27] sowie COOK [35] veröffentlichten Fließkurven (Bilder 76, 77, 78, 79) folgt, daß auch die Formänderungsgeschwindigkeit und Formänderung einen gewissen Einfluß auf die Formänderungsfestigkeit ausüben. Gegenüber dem des Walzspaltverhältnisses und der Temperatur tritt er jedoch erheblich zurück. Es ist anzunehmen, daß dies auch für den Formänderungswiderstand zutrifft.

Anstichquerschnitt und Kaliberform

Als mögliche Einflußgröße auf den Formänderungswiderstand ist noch die Form des Anstichquerschnitts und des Kalibers zu untersuchen. Um diese Frage zu klären, wurden Walzversuche im dritten und vierten Kaliber aller vier Streckkaliberreihen bei ver-

schiedenen Walztemperaturen ausgeführt. Diese beiden Kaliber wurden deshalb gewählt, weil ihre Walzspaltverhältnisse bei sämtlichen Reihen nur wenig unterschiedlich sind. Bei den Formänderungsgeschwindigkeiten und Hauptformänderungen ergeben sich allerdings größere Abweichungen. Ihr Einfluß ist jedoch erheblich geringer als der des Walzspaltverhältnisses.

In Bild 59 sind die Ergebnisse derartiger Versuche im dritten und vierten Kaliber der Rund-Oval-Reihe mit Stahl MSt 3b, St 7 und 100 Cr 6, Kupfer und Aluminium dargestellt. Merkbliche Unterschiede zwischen den drei untersuchten Stahlsorten konnten nicht festgestellt werden. Der Formänderungswiderstand im Ovalkaliber liegt ungefähr

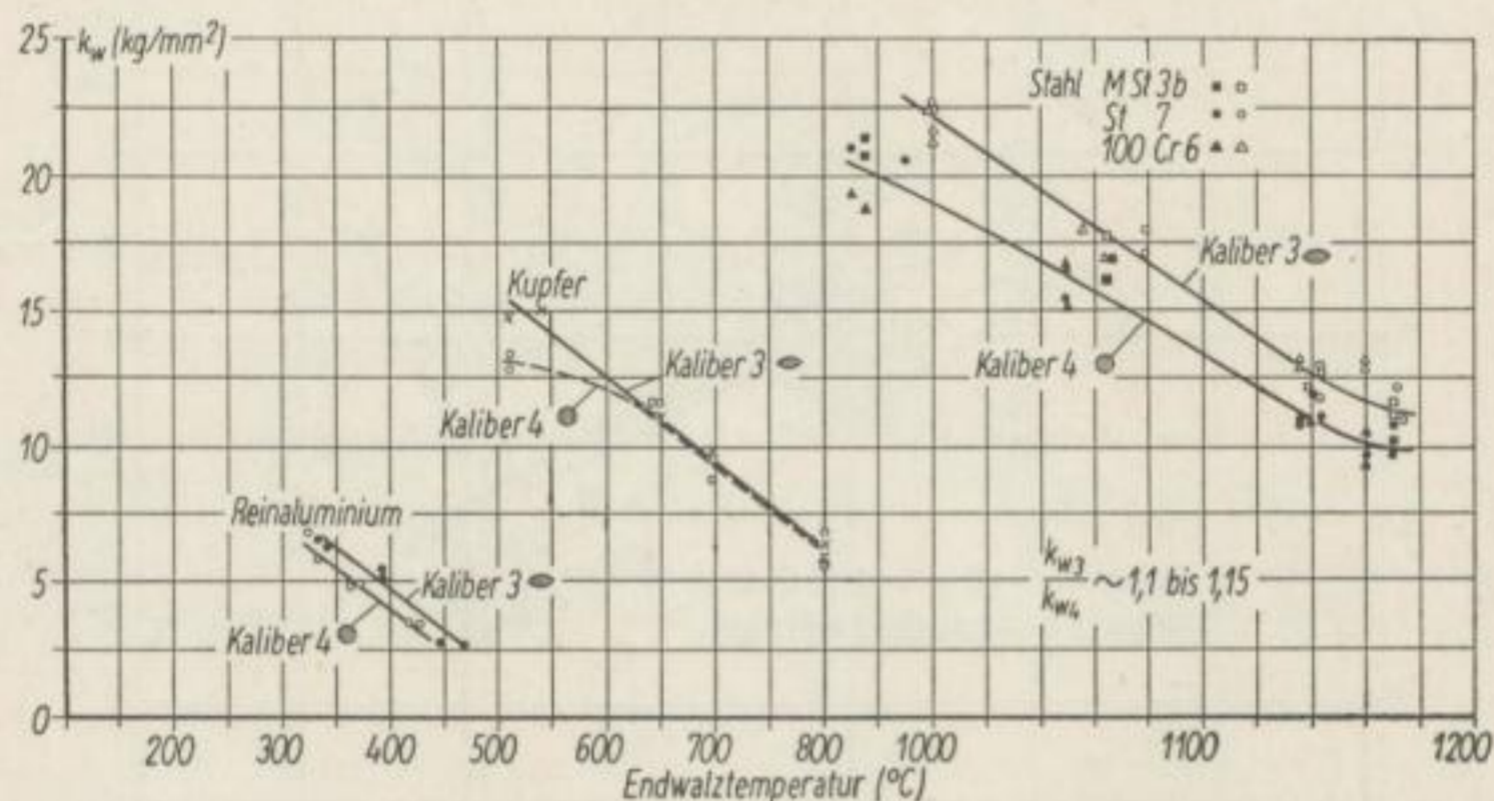


Bild 59. Formänderungswiderstand beim Walzen in Kaliber 3 und 4 (Rund-Oval)

10 bis 15% höher als im nachfolgenden Rundkaliber. Der Temperatureinfluß ist unverkennbar. Ähnlich verhalten sich auch Aluminium und Kupfer. Die Versuchsergebnisse von Kupfer sind nicht als ganz zuverlässig anzusehen, da die Temperaturmessungen mit erheblichen Fehlern behaftet sind. Je nach dem Temperaturgefälle zwischen dem dritten und vierten Stich kann der Formänderungswiderstand im Kaliber 4 größer oder kleiner sein als im Kaliber 3.

Der kleinere Formänderungswiderstand im vierten Kaliber ist offensichtlich eine Folge des kleineren Walzspaltverhältnisses von 2,25 gegenüber 2,55 und der Formänderungsgeschwindigkeit. Der Einfluß der Formänderung kann vernachlässigt werden. Die Stichfolge Rund in Oval oder Oval in Rund scheint den Formänderungswiderstand nicht zu beeinflussen. Zur endgültigen Klärung dieser Frage sind weitere Versuche notwendig.

Bild 60 zeigt ähnliche Versuche im dritten und vierten Kaliber der Quadrat-Raute-Reihe. Der Formänderungswiderstand zeigt in beiden Fällen eine etwa geradlinige Abhängigkeit von der Temperatur. Allerdings ergaben sich merkbliche Unterschiede zwischen dem niedriggekohlten Stahl MSt 3b und den Stählen 100 Cr 6 und Mk 73 mit höherem Kohlenstoffgehalt. Im dritten Kaliber (Stichfolge Quadrat in Raute) liegt der Formänderungswiderstand um ungefähr 20 bis 28% höher als im vierten (Stichfolge Raute in Quadrat). Dieser Unterschied hat ähnlich wie bei der Rund-Oval-Reihe zur

Folge, daß er im vierten Kaliber je nach dem Temperaturabfall größer oder kleiner sein kann als im dritten. Die erhebliche Differenz der Formänderungswiderstände bei den Stichfolgen Raute in Quadrat und Quadrat in Raute ist überraschend, da Formänderung, Formänderungsgeschwindigkeit und Walzspaltverhältnis bei beiden Kalibern weitgehend übereinstimmen. Es ist möglich, daß die verhältnismäßig dünnen Enden der Rauten stärker abgekühlt werden als die Mitte, was einen Anstieg des Formänderungswiderstandes gegenüber den Quadraten hervorrufen könnte. Eine Klärung dieser Zusammenhänge können nur weitere Versuche erbringen.

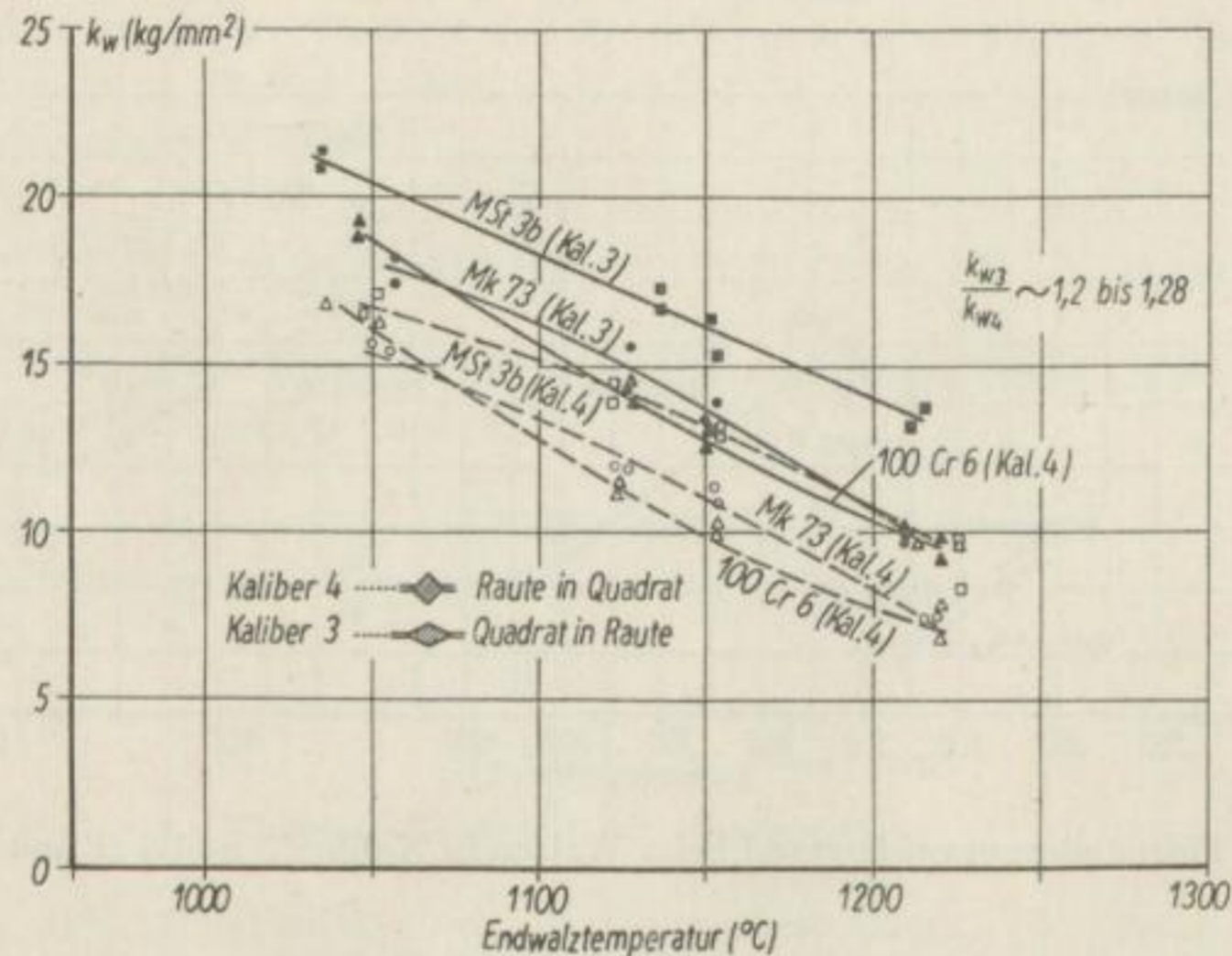


Bild 60. Formänderungswiderstand beim Walzen in Kaliber 3 und 4 (Quadrat-Raute)

Bild 61 zeigt die Ergebnisse entsprechender Versuche der Raute-Raute-Reihe. Die geringfügige Erhöhung des Formänderungswiderstandes im vierten Kaliber gegenüber dem dritten rührt offensichtlich vom größeren Walzspaltverhältnis her. Auch in diesem Falle wurde eine annähernd geradlinige Abhängigkeit des Formänderungswiderstandes von der Temperatur innerhalb des untersuchten Bereichs festgestellt.

Von Bedeutung sind die Versuchsergebnisse der Stichfolgen Quadrat in Oval und Oval in Quadrat, wobei gleichzeitig der Einfluß der Streckung auf den Formänderungswiderstand untersucht wurde. Diese stellt zwar nur eine geometrische Größe dar, die das Verhältnis Anstich- zu Endquerschnitt wiedergibt, ihre Änderung beeinflusst jedoch die Fließvorgänge im Walzspalt und hat eine andere Druckverteilung zur Folge.

Die Ergebnisse dieser Walzversuche sind in den Bildern 62a bis 62d dargestellt. Bild 62a zeigt den Formänderungswiderstand in Abhängigkeit von der Temperatur mit der Streckung als Parameter. In Bild 62b sind die gleichen Werte über der Streckung aufgetragen, wobei als Parameter die Temperatur gewählt wurde. Es wurden Walzstäbe 30 und 33 \varnothing im dritten Kaliber einem Oval mit verschiedenen Ausgangstemperaturen gewalzt. Die unterschiedliche Streckung ergab sich durch Anstellung der Oberwalze.

Aus Bild 62a ist ersichtlich, daß innerhalb des untersuchten Bereichs auch bei Stichen Quadrat in Oval eine etwa geradlinige Abhängigkeit des Formänderungswiderstands von der Temperatur besteht. Bild 62b zeigt, daß bei höheren Walztemperaturen die Streckung nur einen sehr geringen Einfluß auf den Formänderungswiderstand ausübt. Mit abnehmender Walztemperatur wird er größer, da der Werkstofffluß offensichtlich stärker behindert wird.

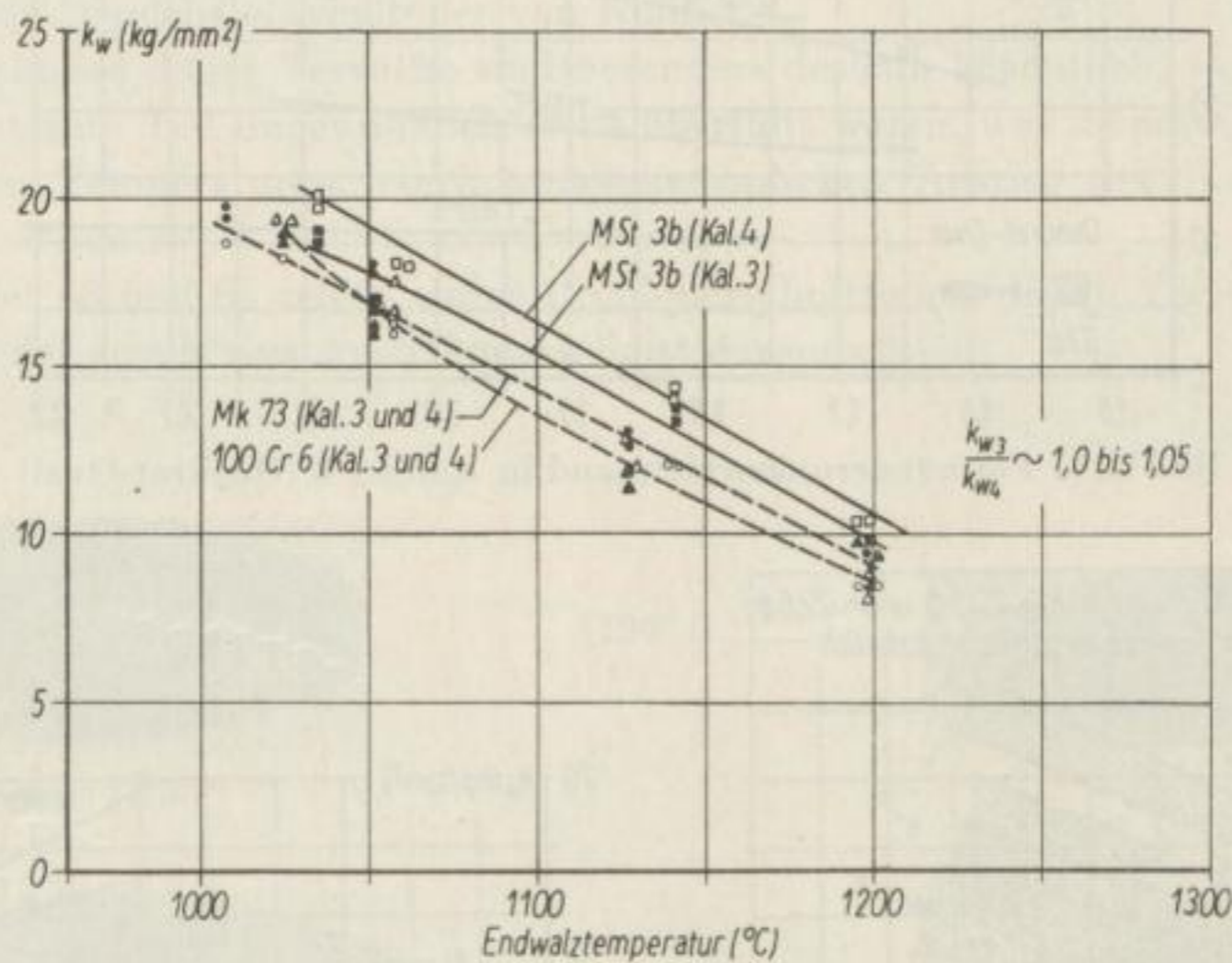


Bild 61. Formänderungswiderstand beim Walzen in Kaliber 3 und 4 (Raute-Raute)

Die beim Walzen im dritten Kaliber auslaufenden Ovalstäbe unterschiedlicher Breite und Dicke wurden anschließend bei verschiedenen Walztemperaturen im vierten Kaliber (Quadrat) angesteckt. Die verschiedenen Streckungen entstanden in diesem Falle dadurch, daß verschieden große Ovale in einem Quadratkaliber gleicher Größe ($20,5 \square$ und $22,5 \square$) gewalzt wurden.

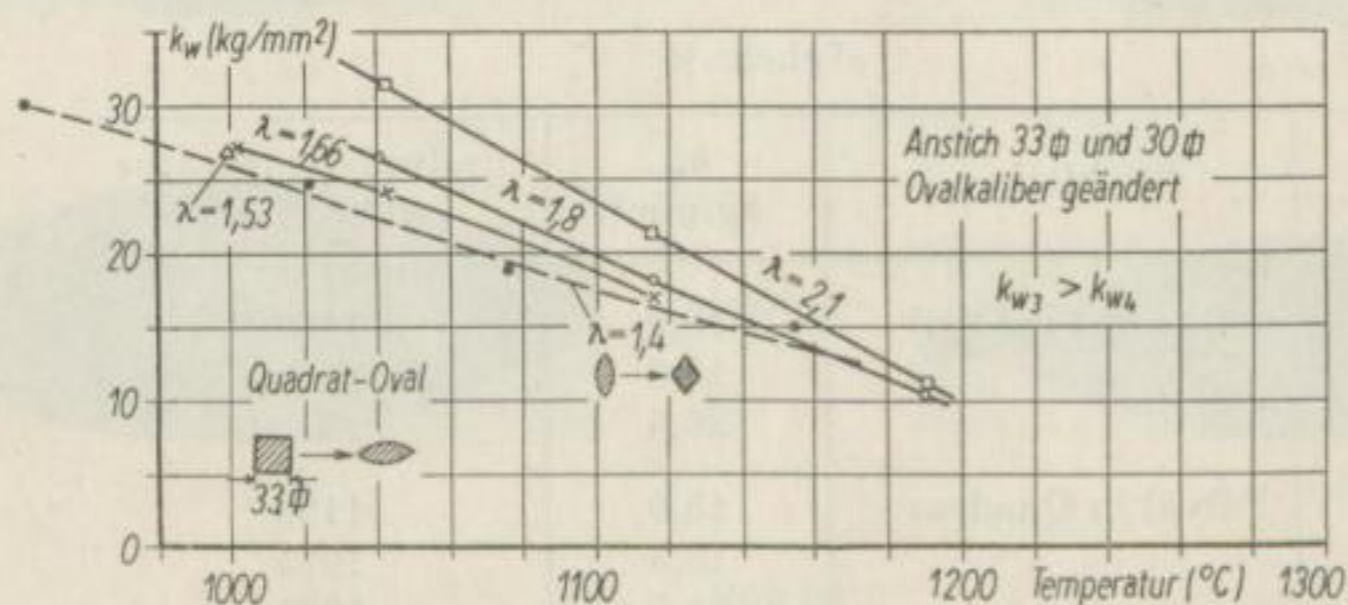


Bild 62 a. Formänderungswiderstand in Kaliber 3 (Quadrat-Oval)

Die Ergebnisse sind nicht so eindeutig wie bei der Stichfolge Quadrat in Oval. Die eingezeichneten Bereiche des Formänderungswiderstandes bei verschiedenen Temperaturen zeigen aber auch in diesem Falle einen mit abnehmender Walztemperatur größer werdenden Einfluß der Streckung.

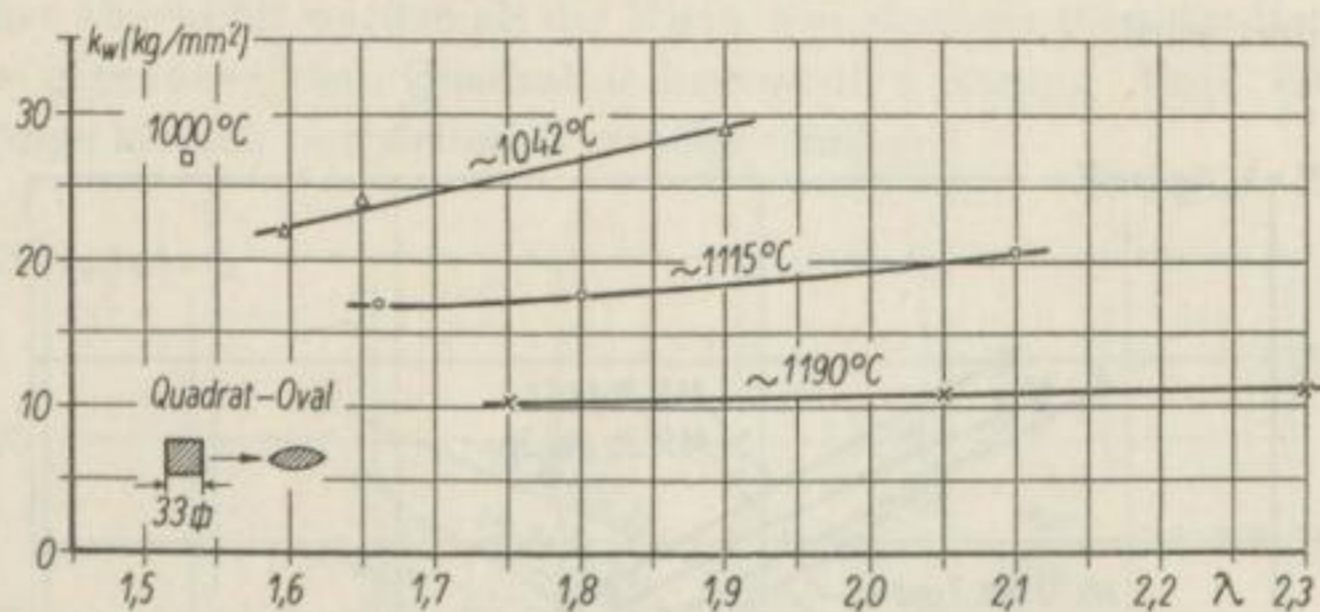


Bild 62 b. Formänderungswiderstand in Kaliber 3 (Quadrat-Oval)

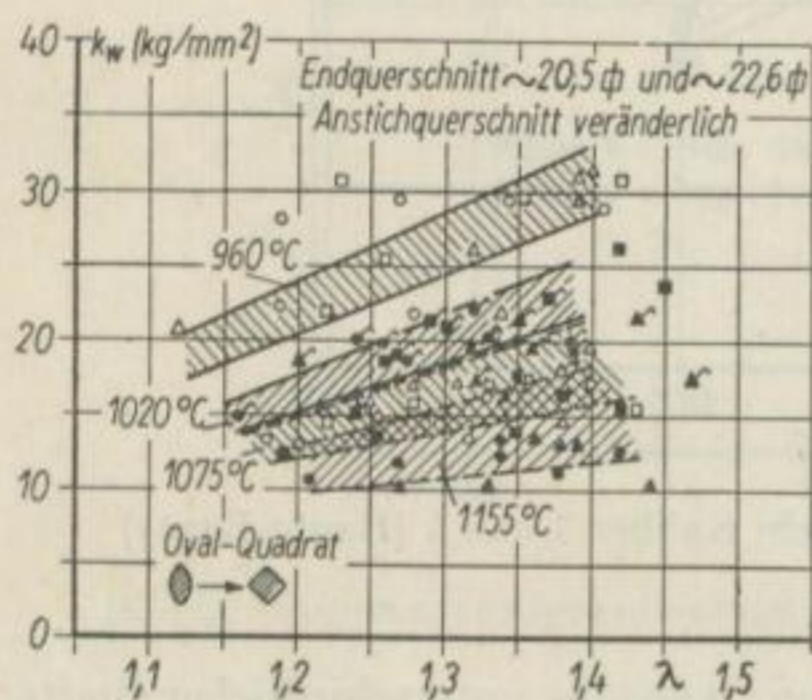


Bild 62 c. Formänderungswiderstand in Kaliber 4 (Quadrat-Oval)

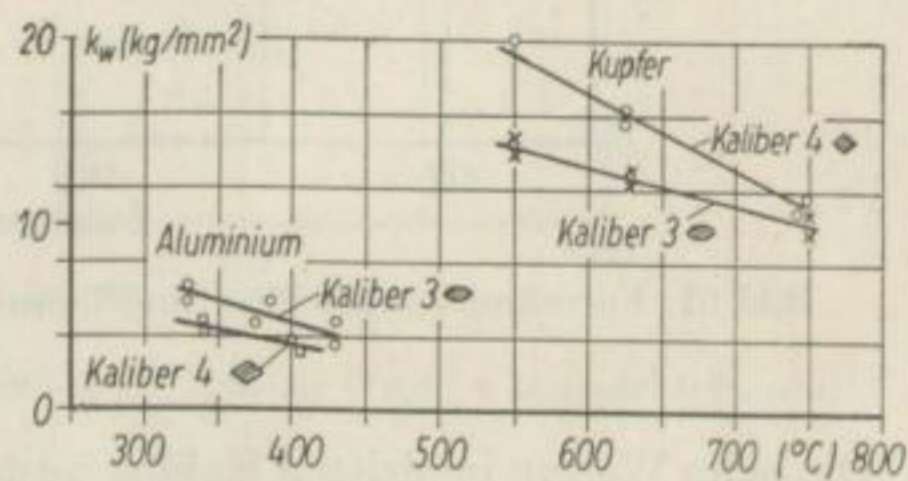


Bild 62 d. Formänderungswiderstand von Kupfer und Aluminium (Quadrat-Oval)

Ein Vergleich der Formänderungswiderstände der Stichfolgen Quadrat in Oval und Oval in Quadrat ergibt, bezogen auf eine mittlere Streckung von 1,8 bzw. 1,4, folgendes Bild:

Tabelle 8

| λ | Stichfolge | k_w kg/mm ² | Endwalztemperatur ° C |
|-----------|-----------------|-----------------------------|--------------------------|
| 1,8 | Quadrat in Oval | 10,0 | 1190 |
| | | 17,0 | 1115 |
| | | 26,5 | 1042 |
| 1,4 | Oval in Quadrat | 15,0 | 1155 |
| | | 18,5 | 1075 |
| | | 24,5 | 1020 |
| | | 30,0 | 942 |

Normalerweise ist der Formänderungswiderstand bei der Stichfolge Quadrat in Oval etwas größer als bei Oval in Quadrat. Der Unterschied nimmt mit wachsender Temperatur ab. Bei hohen Walztemperaturen liegen die Verhältnisse möglicherweise sogar umgekehrt. Dies müßte durch weitere Versuche geklärt werden.

Ein ähnliches Verhalten zeigt sich auch bei Kupfer (Bild 62d). Allerdings sind diese Versuchsergebnisse infolge unsicherer Temperaturmessungen nicht eindeutig.

Beim Aluminium liegen die Formänderungswiderstände im Kaliber 3 innerhalb des untersuchten Bereichs oberhalb der von Kaliber 4.

Die Ergebnisse dieser Versuche sind besonders deshalb beachtlich, weil die Kaliber mit Absicht zum Teil ungewöhnlich stark überfüllt waren, was keineswegs, besonders bei höheren Temperaturen, einen außergewöhnlichen Anstieg des Formänderungswiderstandes bewirkt.

Die Bilder 63 und 64 zeigen einige Profilquerschnitte aus diesen Versuchsreihen. In Bild 65 ist der zugehörige Anstichquerschnitt dargestellt.

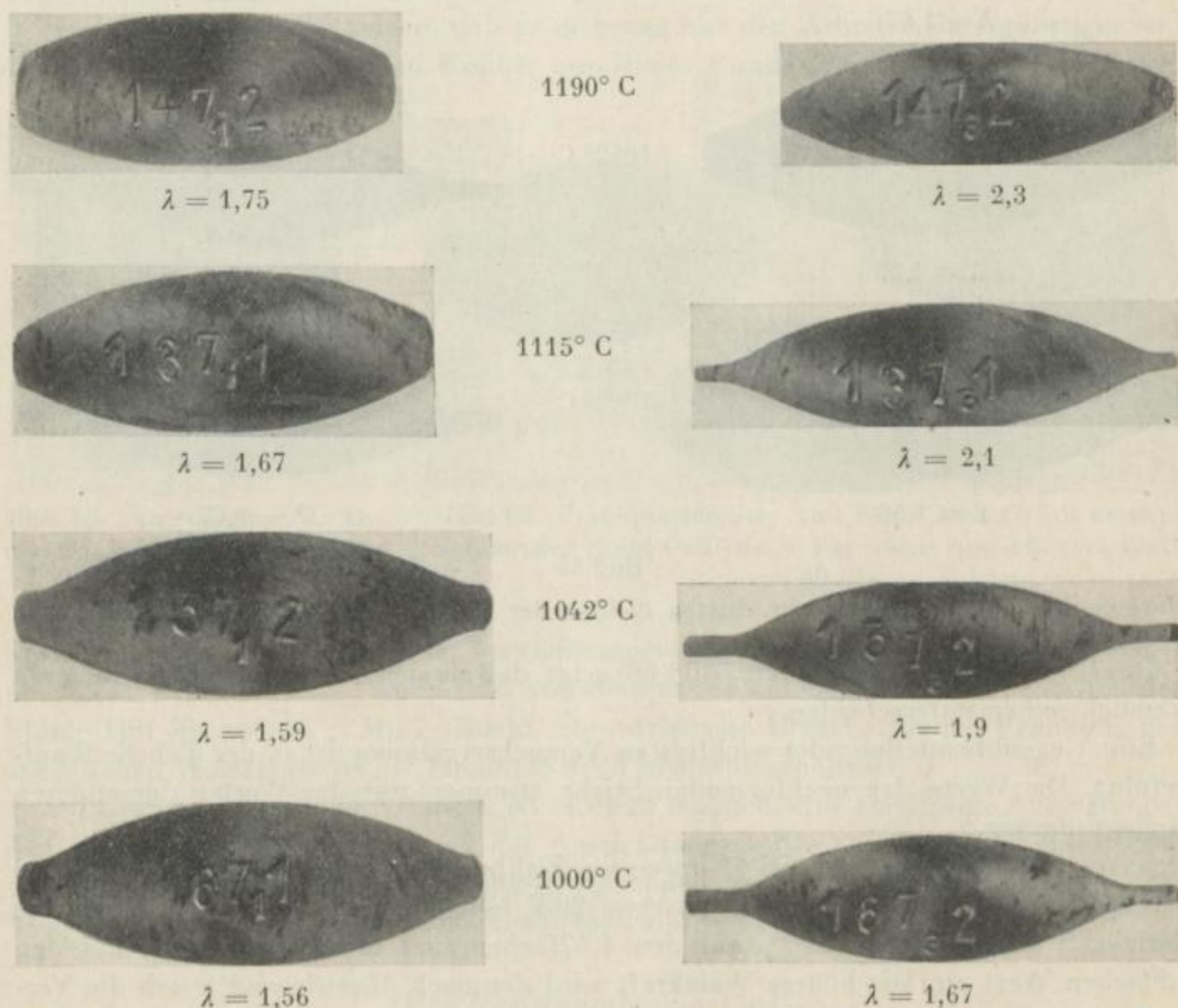


Bild 63

Querschnitte von Walzproben im dritten Kaliber der Reihe Quadrat-Oval, Werkstoff MSt 3b

Zur weiteren Klärung des Einflusses der Quergeometrie des Walzspalts dienten drei Versuchsreihen im ersten Kaliber der Rund-Oval-Reihe. Dabei wurden an Stelle von Rundstäben 50 \varnothing Vierkantstäbe 50 \square des Stahls MSt 3b und Rundstäbe 55 \varnothing aus Stahl 55 Si Mn 7 gewalzt.

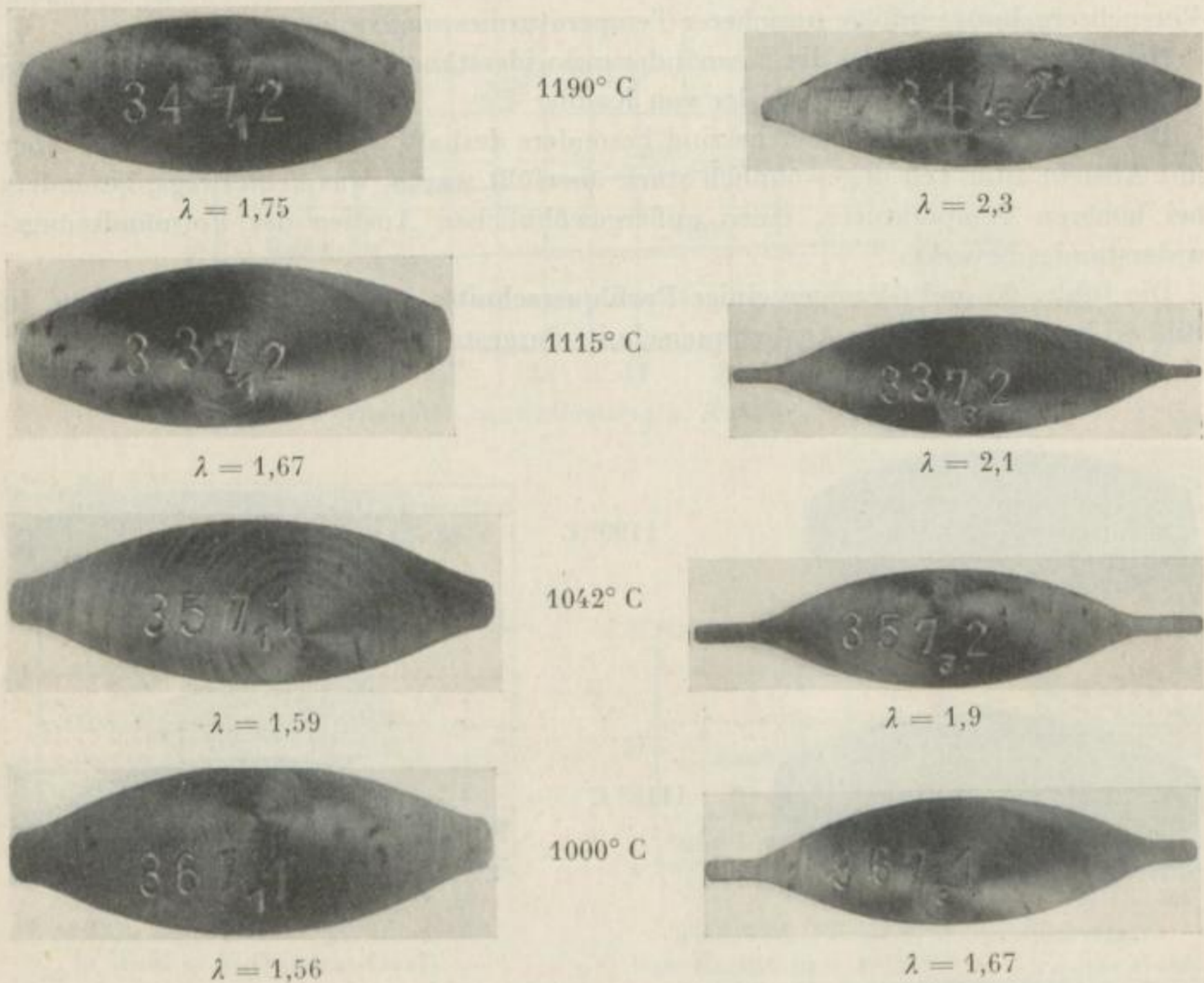


Bild 64

Querschnitte von Walzproben im dritten Kaliber der Reihe Quadrat-Oval, Werkstoff Mk 73

Das Bild der Profilquerschnitte (Bild 66) zeigt, daß sie sich nur wenig von den anderen Versuchsreihen unterscheiden.

Eine Gegenüberstellung der wichtigsten Versuchsergebnisse ist in der Tabelle 9 aufgeführt. Die Werte der nachfolgenden Stiche stimmen mit den Werten der anderen Reihen überein.

Der Anstich von 50 \square bzw. 55 \varnothing im ersten Kaliber der Rund-Oval-Reihe ergibt bei geringfügig größerer Füllung eine um etwa 20% höhere Streckung. Dabei wächst die Walzkraft beim Anstich 50 \square auf den 1,42fachen und das Drehmoment auf den 1,8fachen Wert an. Die höhere Walzkraft wird demnach überwiegend durch die Vergrößerung der gedrückten Fläche verursacht, da der Formänderungswiderstand nur um ungefähr 10% wächst. Die spezifische Walzarbeit nimmt ebenfalls erheblich zu; ebenso das Hebelarmverhältnis.

Tabelle 9

| Werkstoff | Anstich | P t | M_d mkg | k_w kg/mm ² | a_w mmkg/ mm ³ | λ_{st} | a/l_d |
|------------------|----------------|------------|--------------|-----------------------------|-----------------------------------|----------------|---------|
| MSt 3b | 50 \emptyset | 25,0 | 1480 | 9,3 | 4,0 | 1,41 | 0,48 |
| MSt 3b | 50 \square | 35,5 | 2680 | 10,2 | 7,5 | 1,71 | 0,61 |
| 55 Si Mn 7 | 50 \emptyset | 23,9 | 1425 | 8,7 | 4,6 | 1,48 | 0,47 |
| 55 Si Mn 7 (811) | 55 \emptyset | 29,9 | 1987 | 9,2 | 5,4 | 1,71 | 0,47 |
| 55 Si Mn 7 | 50 \emptyset | 31,0 | 1745 | 11,1 | 5,35 | 1,46 | 0,44 |
| 55 Si Mn 7 (821) | 55 \emptyset | 38,4 | 2420 | 11,4 | 6,72 | 1,68 | 0,50 |

Beim Anstich 55 \emptyset wachsen die Walzkräfte um ungefähr 25% und die Drehmomente um etwa 38%. Bei nur um weniger als 2% verminderter Streckung erzielt man somit im ersten Kaliber praktisch den gleichen Endquerschnitt mit wesentlich verminderten Umformkräften, da sich der Formänderungswiderstand nur um etwa 4 bis 5% erhöht.

Vorstehende Versuche zeigen, daß es in bezug auf den Arbeitsbedarf günstiger ist, den Ovalquerschnitt im ersten Kaliber aus einem Rundknüppel 55 \emptyset als aus einem



Bild 65. Anstichquerschnitt der Ovale nach den Bildern 63 und 64

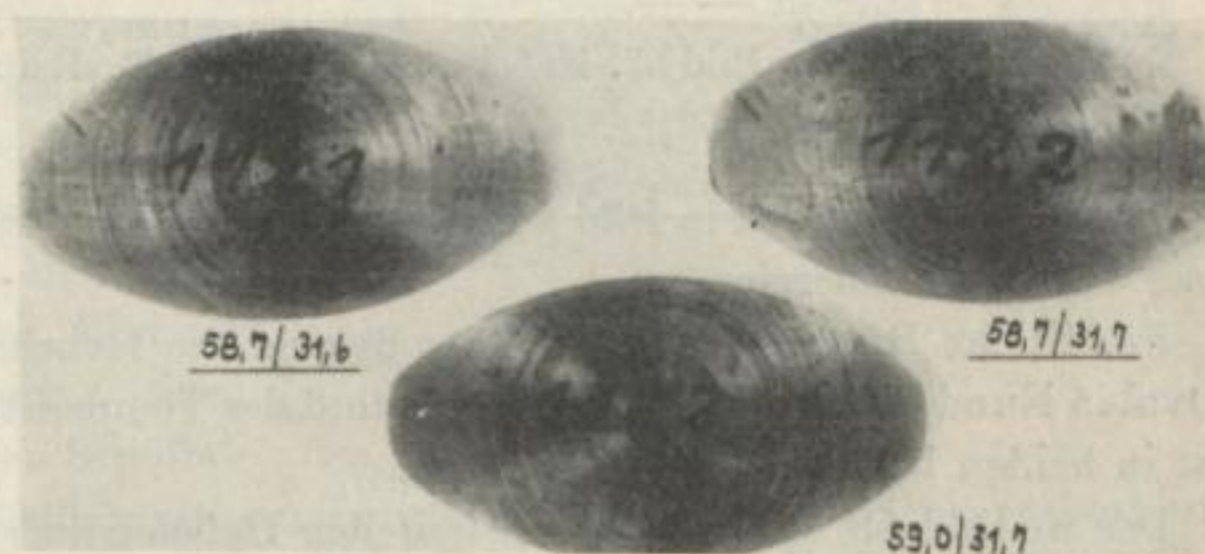


Bild 66. Profilquerschnitte von Stahl MSt 3b im ersten Kaliber der Rund-Oval-Reihe bei einem Anstichquerschnitt von 50 \square

Stab 50 \square zu walzen. Bei gleicher Anstichtemperatur beträgt die spezifische Walzarbeit im ersten Falle nur 70%, wenn man von dem etwas unterschiedlichen Verhalten der Stähle MSt 3b und 55 Si Mn 7 absieht. Die wichtigste Ursache für die Erhöhung der spezifischen Walzarbeit ist die Zunahme des Hebelarmverhältnisses.

Auf Grund vorliegender Versuche ist es nicht möglich, eine endgültige Aussage über den Einfluß der Kaliberform und des Anstichquerschnitts auf die Umformkräfte zu machen, da die Zahl der zur Verfügung stehenden Versuchswerte gering ist. Weitere Versuche in dieser Richtung erscheinen jedoch lohnend.

Der Hebelarmbeiwert a/l_d

Zur Beurteilung des Verlaufs der Drehmomente ist außer den die Walzkraft beeinflussenden Größen noch das Hebelarmverhältnis a/l_d von Bedeutung.

Die Hebelarmverhältnisse sind in den Bildern 67 bis 74 dargestellt. Der Verlauf der Kurven zeigt sowohl einen Einfluß der walztechnischen und geometrischen Kenngrößen als auch der Temperatur. Bei den verschiedenen Streckkaliberreihen sind die einzelnen Einflüsse unterschiedlich.

Bei der Rund-Oval-Reihe (Bild 67) fällt das Hebelarmverhältnis vom ersten zum sechsten Kaliber nur leicht ab und liegt von da ab nahe an 0,4. Ein geringer Einfluß der Temperatur ist nur in den ersten und letzten sechs Stichen nachweisbar, dagegen nicht in den Kalibern 7 bis 12.

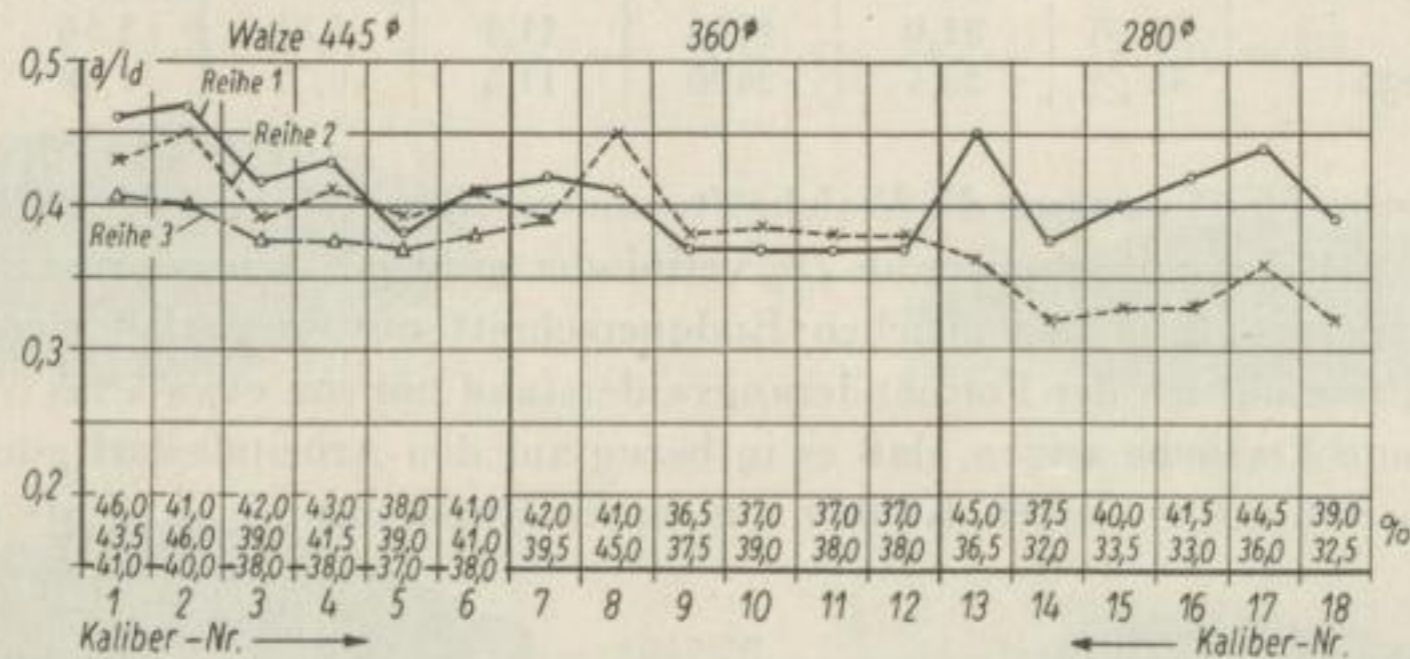


Bild 67. Hebelarmverhältnis a/l_d , Reihe Rund-Oval

Dies stimmt mit den in Bild 68 dargestellten und auf den Seiten 62 bis 69 beschriebenen Versuchen überein.

Für Stiche Rund in Oval (Kaliber 3) sind die Hebelarmverhältnisse kleiner als für Oval in Rund (Kaliber 4). Auch der Einfluß der Temperatur auf das Hebelarmverhältnis ist in beiden Kalibern unterschiedlich.

Der in Bild 69 dargestellte Verlauf der Hebelarmverhältnisse bei der Kaliberreihe Raute-Raute zeigt die Wirkung der einzelnen Einflußgrößen am deutlichsten. Die Werte

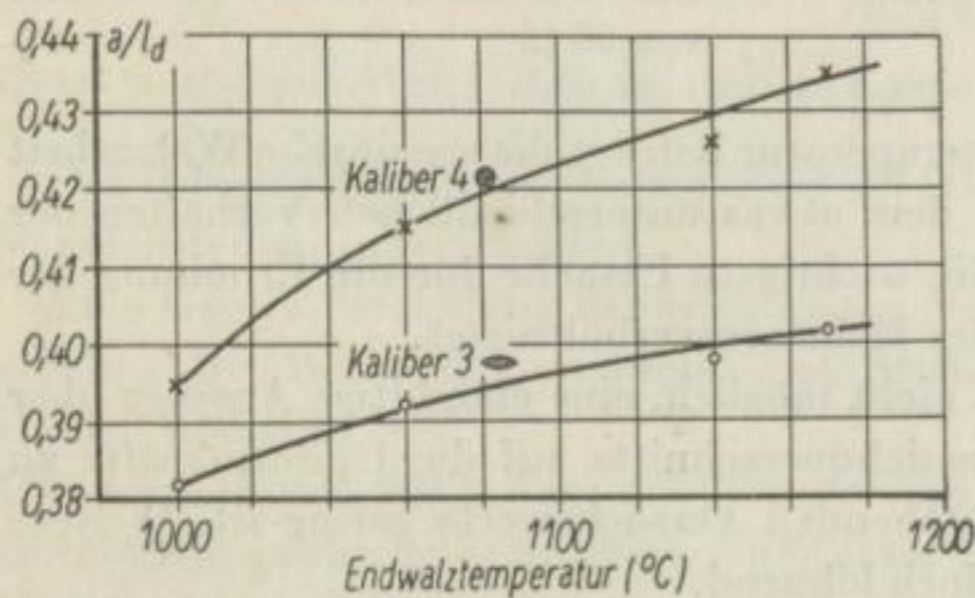


Bild 68. Hebelarmverhältnis (Rund-Oval) in Kaliber 3 und 4

von a/l_d nehmen von 0,4 im ersten Kaliber auf etwa 0,3 im sechsten ab. Auch der mit steigender Stichzahl allmählich sinkende Einfluß der Temperatur ist deutlich zu erkennen.

Beim Übergang auf den kleineren Walzendurchmesser steigt das Hebelarmverhältnis sofort wieder an, erreicht allerdings den Ausgangswert von 0,4 nicht. Nach dem sechsten Stich fällt es wieder ab, um beim Übergang auf die nächste Walze abermals hochzuschellen. Die Ursache des Anstiegs in den

letzten beiden Kalibern und bei tieferen Walztemperaturen müßte durch weitere Versuche geklärt werden.

Eine Auswertung der auf den Seiten 62 bis 69 beschriebenen Walzversuche im dritten und vierten Kaliber der Raute-Raute-Reihe scheint zu erweisen (Bild 70), daß

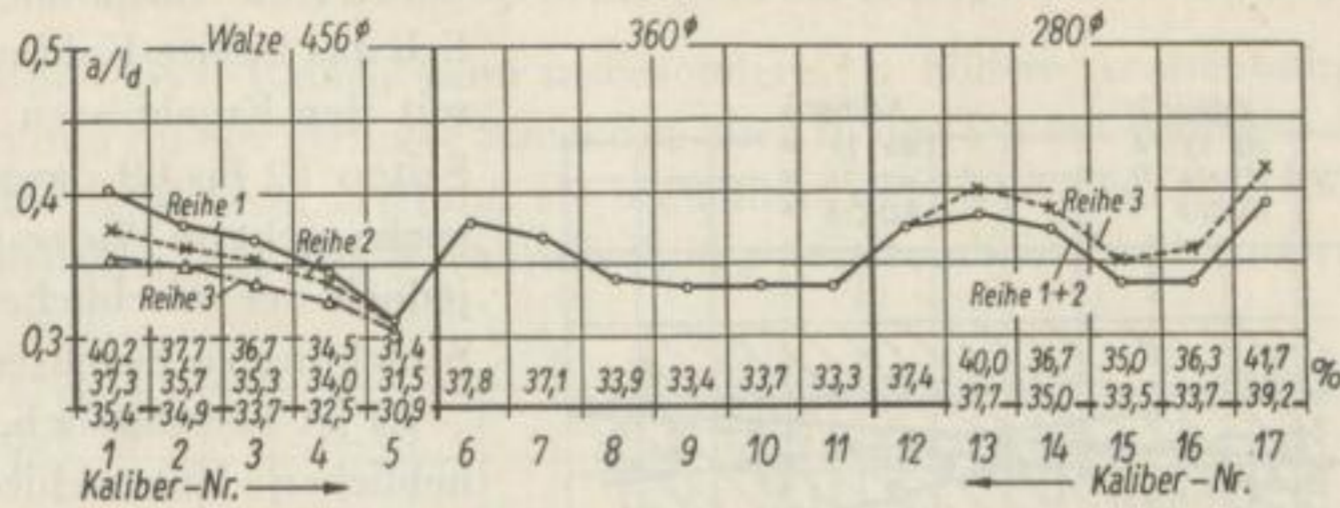


Bild 69. Hebelarmverhältnis a/l_d , Reihe Raute-Raute

das Hebelarmverhältnis beim vierten Stich etwas kleiner als beim dritten ist, was mit dem Verlauf der Kurven in Bild 69 übereinstimmt. Ein Einfluß der Temperatur ist nicht eindeutig nachweisbar. Nach Bild 69 wächst der Einfluß der Formänderung, der Formänderungsgeschwindigkeit und des Walzspaltverhältnisses mit zunehmender Stichzahl, während der der Temperatur abnimmt. Nach Bild 70 fällt das Hebelarmverhältnis mit abnehmender Walztemperatur leicht ab und wächst ab 1080° C wieder an. Es ist möglich, daß dieser Einfluß in den letzten Stichen überwiegt.

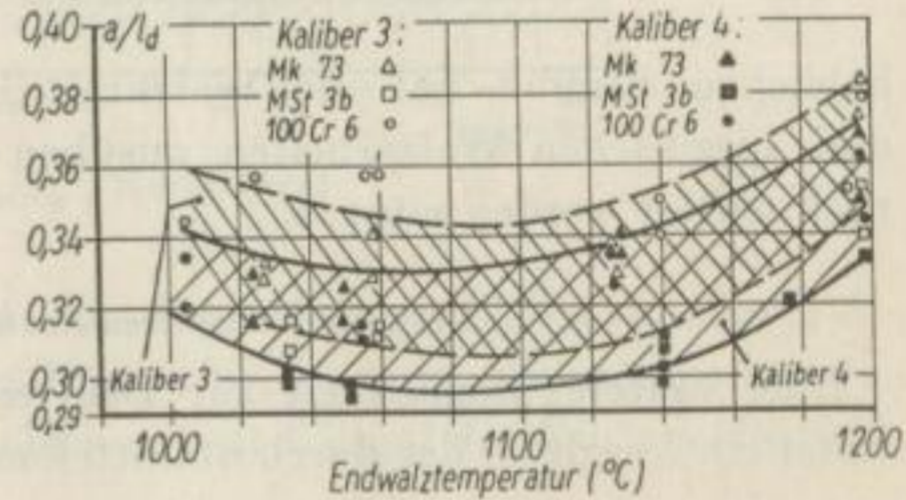


Bild 70. Hebelarmverhältnis (Raute-Raute) in Kaliber 3 und 4

Die Hebelarmverhältnisse der Quadrat-Raute-Reihen zeigen nach Bild 71 (Ergebnisse der Walzversuche, siehe Seite 62 bis 69) einen erheblichen Streubereich, aber keine ausgeprägte Abhängigkeit von der Walztemperatur. Ihr Verlauf in Bild 72 wird demnach vor allem durch das Walzspaltverhältnis, die Hauptformänderung und Formänderungsgeschwindigkeit bestimmt. Auch bei dieser Reihe tritt ähnlich wie bei den Rauten ein von der Walztemperatur abhängiger Anstieg des Hebelarmverhältnisses in den letzten Stichen auf.

Auch bei den Quadrat-Oval-Reihen (Bilder 73 und 74) überwiegt offenbar der Einfluß der geometrischen Verhältnisse. Erst in den letzten Stichen zeigt sich eine Abhängigkeit von der Walztemperatur. Bei der Reihe

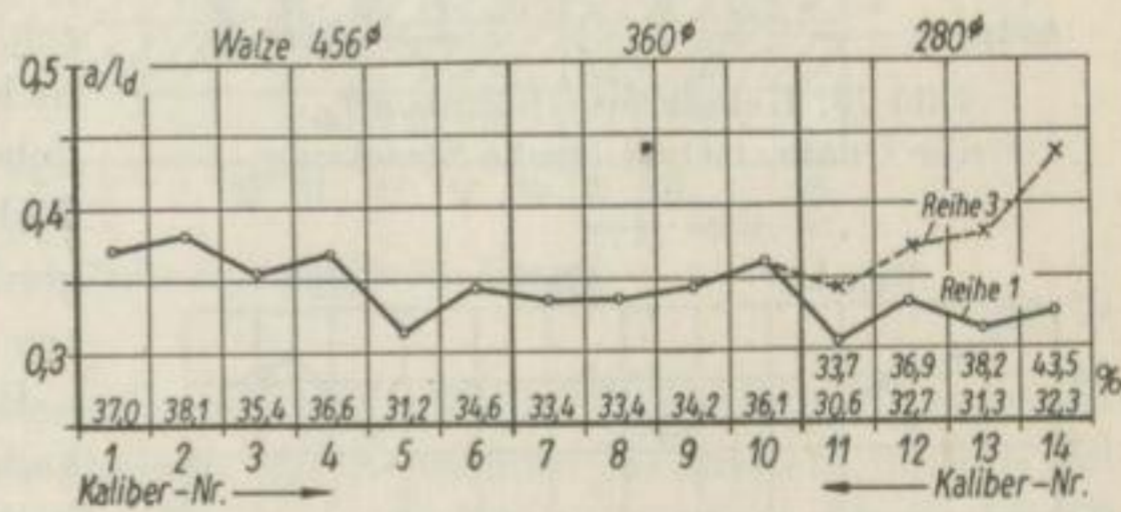


Bild 71. Hebelarmverhältnis a/l_d , Reihe Quadrat-Raute

mit größerer Streckung tritt sie früher in Erscheinung. Das Hebelarmverhältnis nimmt bei diesen Reihen mit zunehmender Stichzahl rasch von etwa 0,5 im ersten Kaliber auf

ungefähr 0,27 im sechsten ab. Beim Übergang auf den kleineren Walzendurchmesser ist ein merklicher Anstieg vorhanden. In den meisten Fällen ist das Walzspaltverhältnis bei Stichen Quadrat in Oval größer als bei Oval in Quadrat. Eine Ausnahme bildet lediglich das zweite Kaliber. Dies steht

mit den Ergebnissen der auf den Seiten 62 bis 69 dargelegten Versuche nicht im Widerspruch, wobei jedoch der erhebliche Einfluß der Streckung zu beachten ist.

Es ist verständlich, daß die erheblichen Unterschiede der gedrückten Flächen, Hauptformänderungen, Formänderungsgeschwindigkeiten, Walzspalt- und Hebelarmverhältnisse sowie Kaliber- und Anstichquerschnitte in den einzelnen Kalibern der untersuchten Streckkaliberreihen erheblichen Einfluß auf die Walzkräfte, Drehmomente, Formänderungswiderstände und spezifischen Walzarbeiten ausüben und bei der Beurteilung der Ergebnisse berücksichtigt werden müssen.

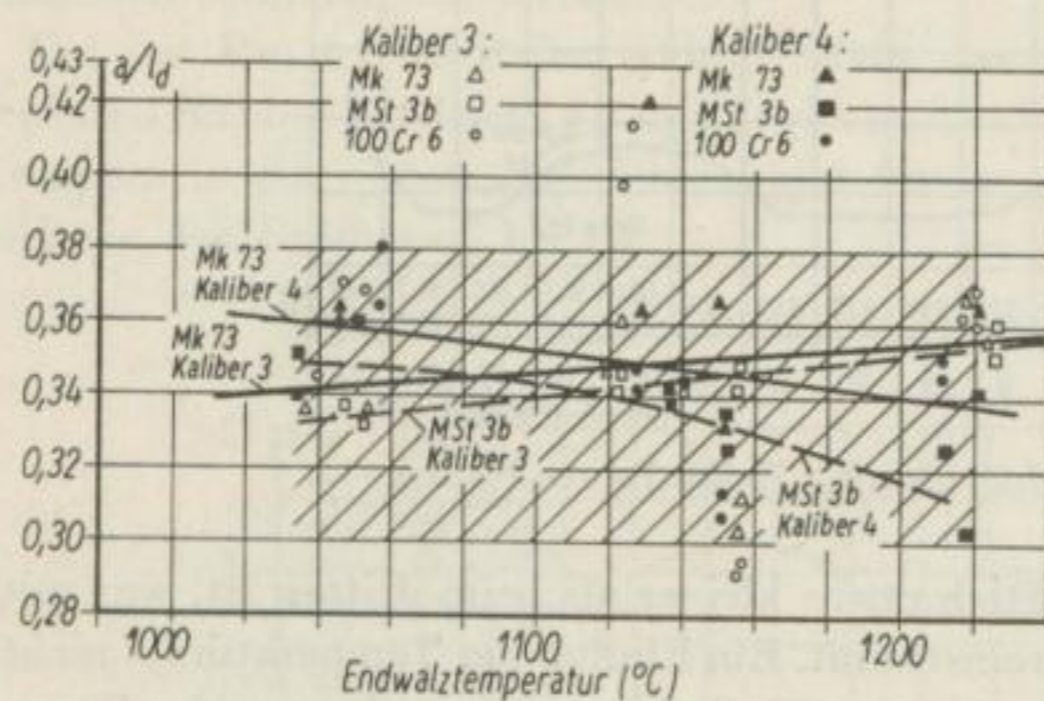


Bild 72. Hebelarmverhältnis (Quadrat-Raute) in Kaliber 3 und 4

erheblichen Einfluß auf die Walzkräfte, Drehmomente, Formänderungswiderstände und spezifischen Walzarbeiten ausüben und bei der Beurteilung der Ergebnisse berücksichtigt werden müssen.

Anwendungsbereich der Finkschen Formel

Eine weitere Möglichkeit zur Beurteilung von Fließvorgängen in Streckkalibern bietet ein Vergleich der durch unmittelbare Messung der Walzkräfte ermittelten Form-

änderungswiderstände k_w mit den aus der spezifischen Walzarbeit mit Hilfe der Formel von FINK berechneten Werten k'_w .

Die der FINKSchen Formel zugrunde liegende Voraussetzung der parallelepipedischen Formänderung ist beim Walzen in Streckkalibern offenbar nicht mehr erfüllt, da infolge unterschiedlicher Stauchung und Breitung der Teilquerschnitte Werkstoffverlagerungen innerhalb des Walzstabs zu erwarten sind.

Bei jeder Versuchsreihe wurden deshalb für jedes Kaliber die Verhältnisse k_w/k'_w berechnet, daraus die Mittelwerte gebildet und in den Bildern 75 bis 78 als Schaubilder aufgetragen.

Aus früheren Ausführungen folgt, daß die oben erwähnten k_w - und k'_w -Werte

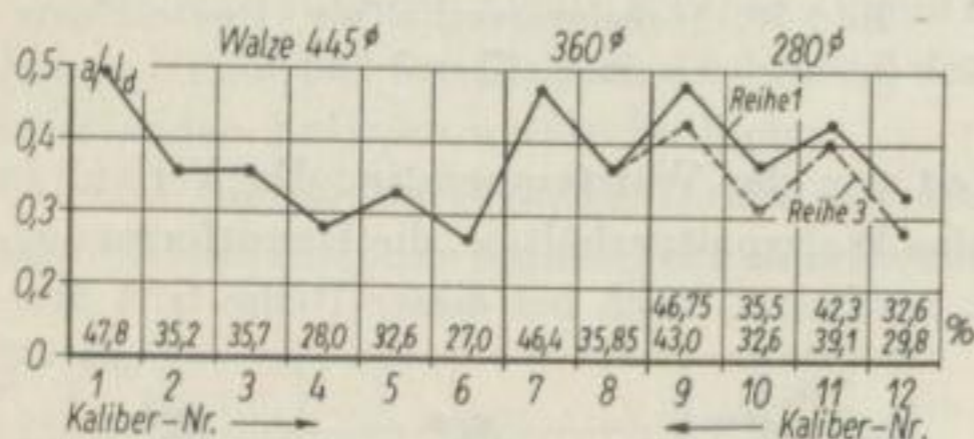


Bild 73. Hebelarmverhältnis a/l_d , Reihe Quadrat-Oval (große Streckung)

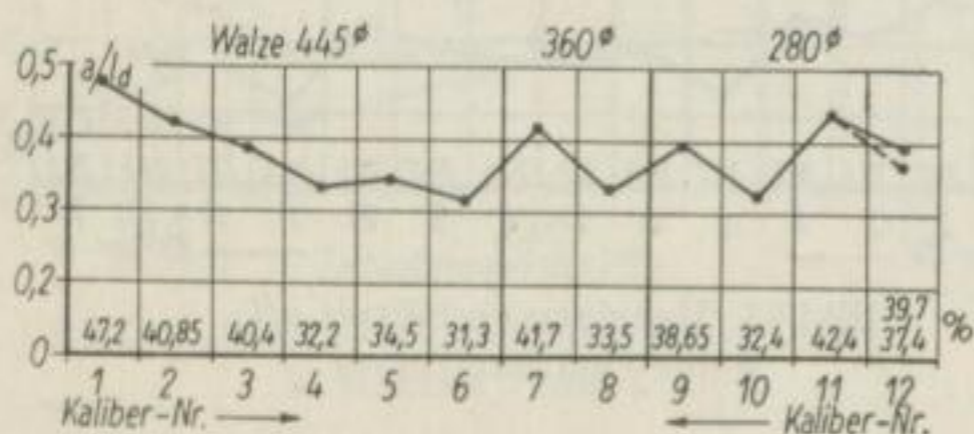


Bild 74. Hebelarmverhältnis a/l_d , Reihe Quadrat-Oval (kleine Streckung)

mit gewissen Fehlern behaftet sind. Sieht man demzufolge die FINKSche Formel als gültig an, wenn das Verhältnis k_w/k'_w 0,9 bis 1,1 beträgt, so ergibt sich aus dieser Darstellung:

1. Bei den Rund-Oval-Reihen kann insbesondere für höhere Anstichtemperaturen in den ersten und infolge geringer Streckung auch in den letzten Kalibern die FINKSche Formel für Stiche Oval in Rund als brauchbar angesehen werden. Aus Bild 75 ist ferner ersichtlich, daß das Verhältnis k_w/k'_w bei Rund- in Oval-Stichen wesentlich

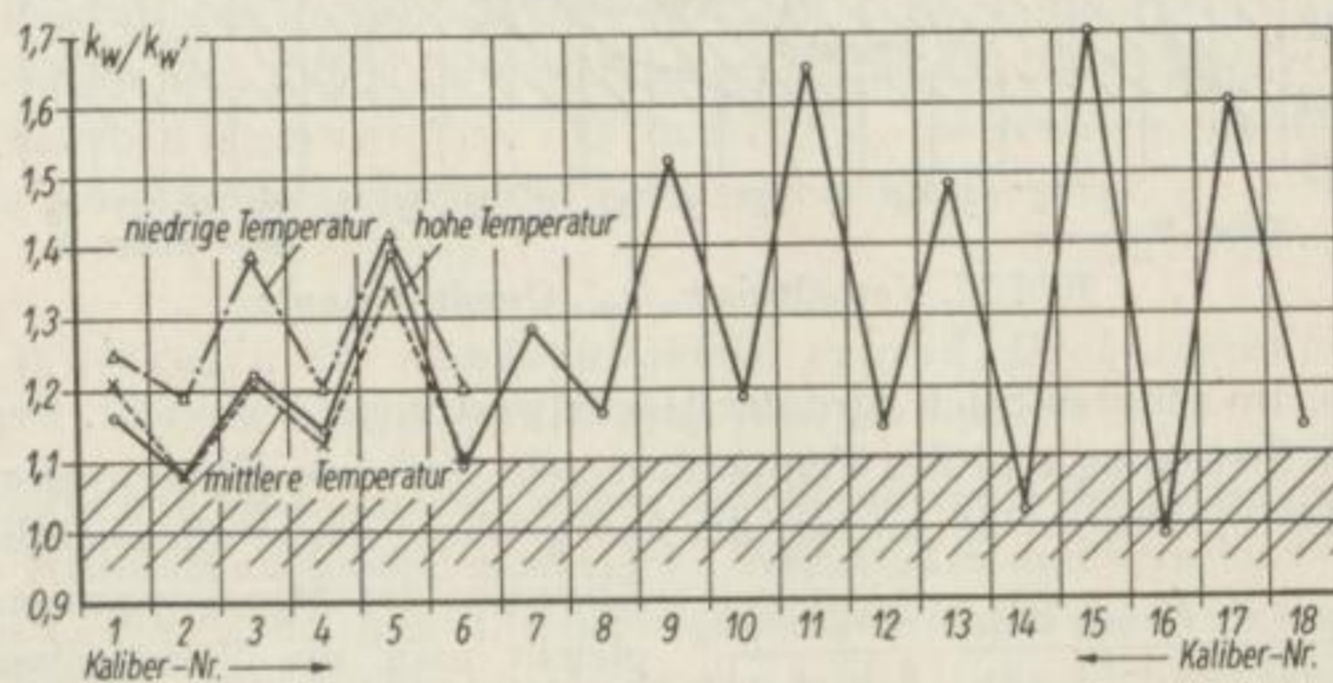


Bild 75. Verhältnis k_w/k'_w , Rund-Oval

größer ist, so daß die Anwendung der FINKSchen Formel zu große Drehmomente ergeben würde. Die Behinderung des Werkstoffflusses bei niederen Walztemperaturen, besonders in den Oval- in Rund-Stichen, geht aus dem Verlauf der Kurven ebenfalls deutlich hervor.

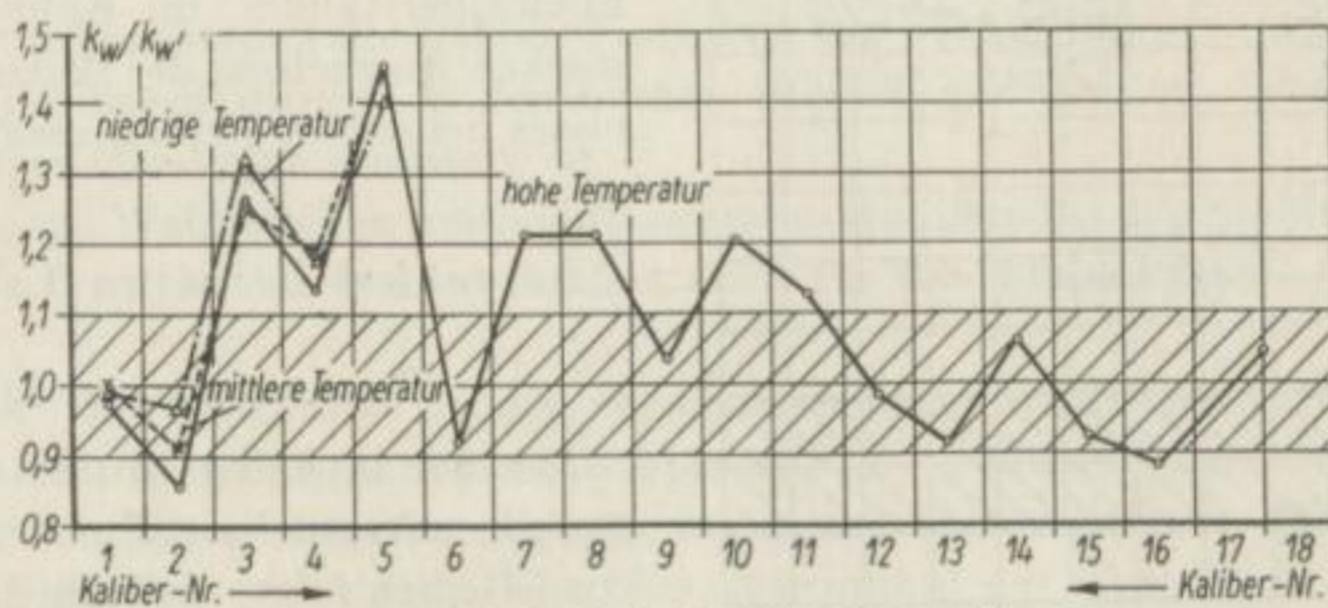


Bild 76. Verhältnis k_w/k'_w , Raute-Raute

2. Die in den Bildern 76 und 77 dargestellten Verhältnisse k_w/k'_w für Raute-Raute- und Quadrat-Raute-Reihen verlaufen ähnlich. Mit Ausnahme des dritten, fünften und siebenten Stiches ergibt die FINKSche Formel gute Näherungswerte für das Drehmoment. Auch in diesem Falle ist ein Temperatureinfluß nachweisbar. Die Werte in den drei oben erwähnten Kalibern entsprechen etwa denen der Rund-Oval-Reihen.
3. Die größten Abweichungen von der FINKSchen Formel zeigen die Quadrat-Oval-Reihen. Mit Ausnahme des ersten Kalibers liegt das Verhältnis k_w/k'_w in sämtlichen

Stichen über 1,4 und erreicht in einigen Fällen Werte über 2,0. Ähnlich wie bei den Rund-Oval-Reihen wächst es vom ersten zum sechsten Kaliber an. Nach dem Absinken im siebenten und achten Kaliber (Walze 360 Ø) setzt ein neuerlicher

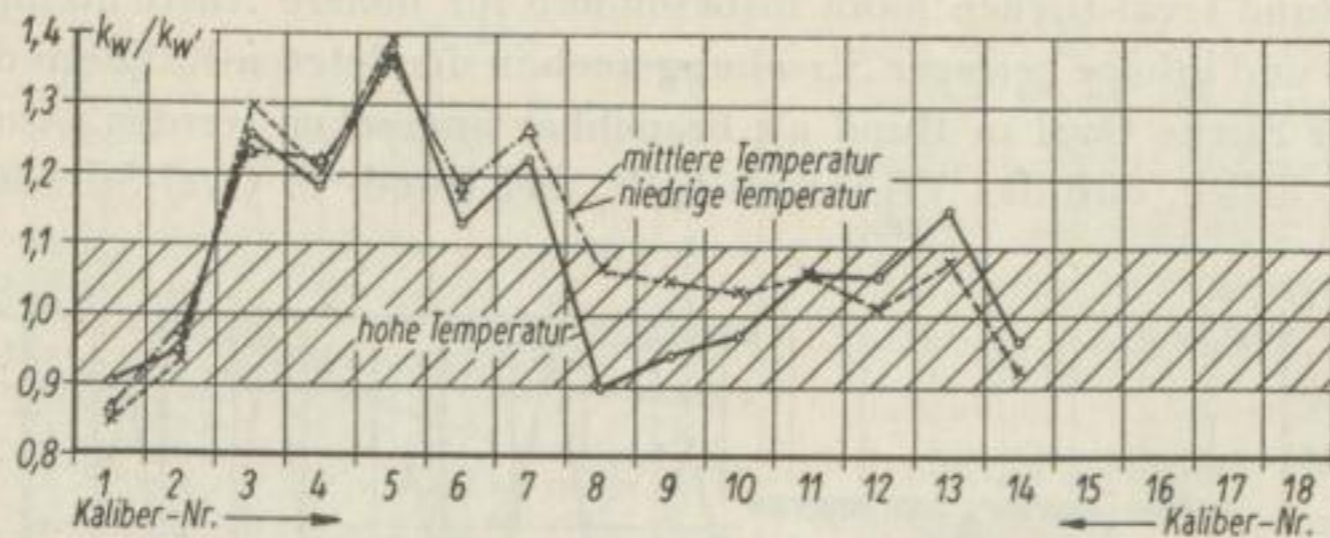


Bild 77. Verhältnis k_w/k_w' , Quadrat-Raute

Anstieg ein. Im zehnten Stich wird der Höchstwert von 2,3 erreicht. Der erhebliche Einfluß der Streckung und der Temperatur geht aus dem Kurvenverlauf ebenfalls hervor (Bild 78). Der starke Anstieg der k_w/k_w' -Werte hängt offensichtlich mit dem

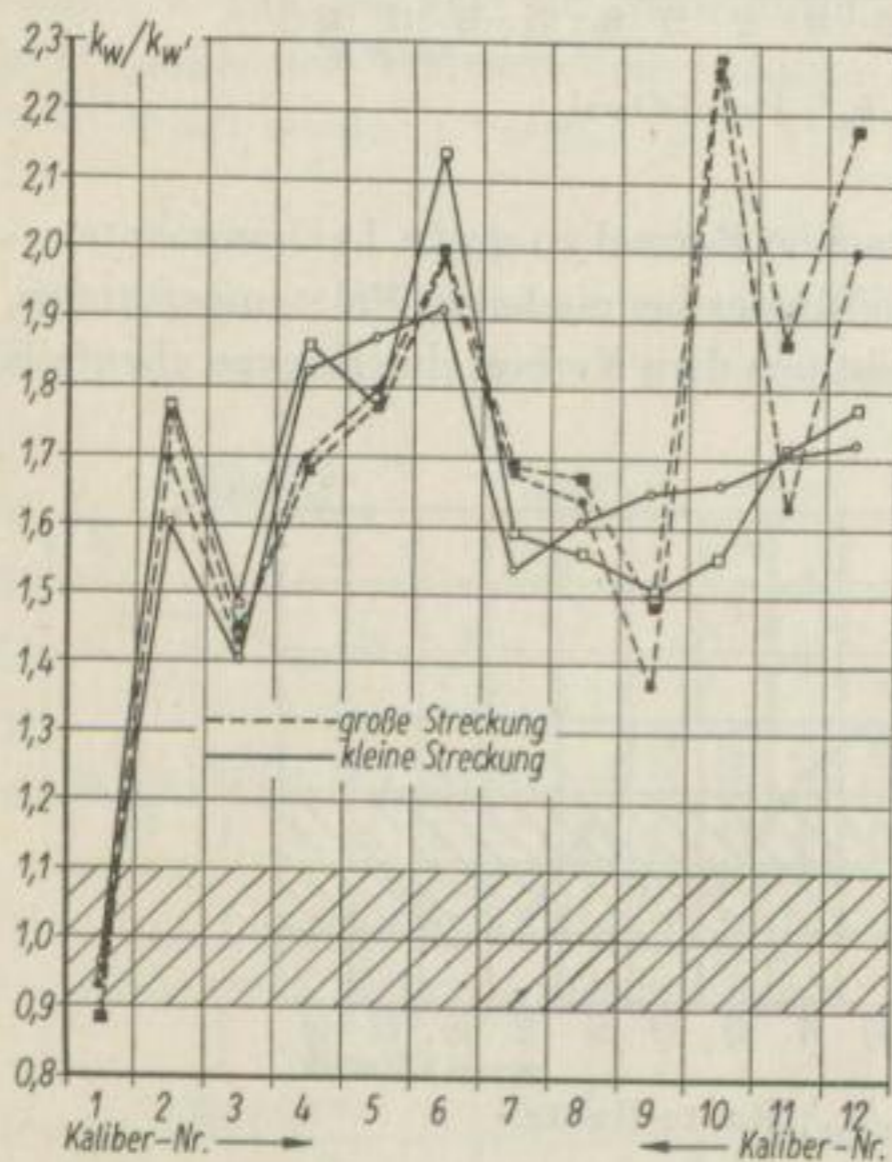


Bild 78. Verhältnis k_w/k_w' , Quadrat-Oval, große und kleine Streckung

Absinken der Streckung zusammen. Vergleicht man die Verhältnisse φ_2/φ_h der einzelnen Kaliber, so erkennt man einen deutlichen Abfall vom ersten zum sechsten Stich. Die Einzelstreckungen nehmen bei den Quadrat-Oval-Reihen vom fünften zum sechsten Stich nicht wieder zu. Es ist naheliegend, daß diese Erhöhung des Fließwiderstandes im Kaliber mit dem starken Anwachsen des Walzspaltverhältnisses bei diesen Reihen zusammenhängt.

Streckkaliberreihe Rund-Oval

Temperaturverlauf

Aus den in Anlage 6 und Bild 50 dargestellten Versuchsergebnissen der Rund-Oval-Reihen folgt, daß die Endwalztemperatur nach dem ersten Stich je nach der Anstichtemperatur 1100° bis 1220° C beträgt und im sechsten Kaliber 980° bis 1030° C erreicht. Bei höheren Anstichtem-

peraturen sinkt die Temperatur der Walzproben demnach rascher ab. Aus dem Schaubild ist ferner ersichtlich, daß die Temperatur bei den Stichen Oval in Rund, d. h. im zweiten, vierten, sechsten, achten, zehnten usw. Kaliber, stärker absinkt als im dritten, fünften, siebenten, neunten usw. Dies ist offenbar durch das ungünstigere Verhältnis von Oberfläche zu Volumen bei Stäben mit Ovalquerschnitt gegenüber Rundstäben bedingt.

Nach dem sechsten Stich kühlten die Stäbe ab und wurden zum Walzen in den Kalibern 7 bis 12 (Walze 360 \varnothing) nochmals angewärmt. Nach dem siebenten Stich betrug die Endtemperaturen je nach der Anstichtemperatur 945° bis 1050° C und fielen im zwölften auf etwa 840° bis 920° C ab. Bei den Stählen MSt 3b, 100 Cr 6 und 65 Si 7 wurde je eine Reihe an der oberen und unteren Grenze dieses Temperaturbereichs gewalzt (Ofentemperatur 1070° und 970° C). Für die Stähle CK 45, St 52 und 16 Mn Cr 5 wurde eine mittlere Temperatur (Ofentemperatur 1020° C, Endtemperatur nach Kaliber 7 etwa 995° bis 1010° C) gewählt. Nach neuerlichem Anwärmen der nach dem zwölften Stich erkalteten Proben auf 900° bzw. 930° C folgte das Fertigwalzen auf dem letzten Walzenpaar mit 280 \varnothing in weiteren sechs Stichen. Die Endwalztemperaturen dieser Versuchsreihen lagen zwischen 700° und 730° C. Sie konnten mit Hilfe des Pyrometers jedoch nur bis zum sechzehnten Kaliber gemessen werden.

Walzkraft, Formänderungswiderstand, Drehmoment und spezifische Walzarbeit

Die Walzkraft und Drehmomente zeigen sowohl innerhalb der aufeinanderfolgenden Kaliber einer Reihe als auch bei den einzelnen Werkstoffen und verschiedenen Anstichtemperaturen Unterschiede. Aus Bild 50 folgt zunächst, daß die Walzkraft bei einem Stich Rund in Oval stets größer ist als in den beiden benachbarten Oval- in Rundstichen. Als Ursache ist die Größe der gedrückten Flächen zu nennen.

In den ersten und letzten Kalibern ist der Einfluß des Werkstoffs beachtlich. Die höchsten Walzkraft traten in den ersten fünf Stichen beim Einsatzstahl 16 Mn Cr 5, die niedrigsten beim unlegierten Kohlenstoffstahl CK 45 auf. Dies gilt auch für die Drehmomente und Formänderungswiderstände. Bei den übrigen Werkstoffen sind wesentliche Unterschiede nicht erkennbar. Mit steigender Stichzahl und sinkender Walztemperatur macht sich die höhere Festigkeit der Stähle 100 Cr 6 und 55 Si Mn 7 bemerkbar. Bei diesen wurden in den letzten Stichen die höchsten Walzkraft und Formänderungswiderstände ermittelt.

Die spezifischen Walzarbeiten weisen in den ersten Kalibern bei den Stählen 16 Mn Cr 5 und 55 Si Mn 7 sowie in den letzten Stichen auch für den Stahl 100 Cr 6 die höchsten Werte auf.

Ein Vergleich der Walzkraft bei den verschiedenen Anstichtemperaturen zeigt, daß bei der höchsten und mittleren Anstichtemperatur die größten Walzkraft im dritten und fünften, bei der niedrigsten dagegen im ersten Stich auftraten. Mit Ausnahme des Stahls 16 Mn Cr 5 verschiebt sich das Maximum der Walzkraft mit abnehmender Anstichtemperatur deutlich vom fünften zum dritten und dann zum ersten Kaliber. Auch beim Stahl 16 Mn Cr 5 werden die Unterschiede zwischen den Walzkraft im fünften, dritten und ersten Stich mit abnehmender Anstichtemperatur merklich größer. Ähnlich tritt auch bei den auf der 360er Walze befindlichen Kalibern ein von der Walztemperatur abhängiges Maximum der Walzkraft im neunten Kaliber auf.

Die niedrigsten Walzkraft ergaben sich bei der 445er Walze im vierten oder sechsten Stich. Mit abnehmender Anstichtemperatur verschiebt sich dieses Minimum zum sechsten Kaliber.

Aus Bild 50 ist zu entnehmen, daß die k_w -Werte vom ersten zum dritten Kaliber wachsen. Von da an liegt der Formänderungswiderstand bei den Stichen Oval in Rund meist niedriger als bei den vorhergehenden Rund in Oval.

Verbindet man die Mittelwerte der in Bild 50 dargestellten Formänderungswiderstände in den geraden und ungeraden Kalibern, so erhält man zwei mit zunehmender Stichzahl auseinanderstrebende Kurven. Dies stimmt mit dem in Bild 59 dargestellten Verlauf des Formänderungswiderstands im dritten und vierten Kaliber überein. Bei einer Endwalztemperatur von ungefähr 1150°C sind die Formänderungswiderstände in beiden Kalibern gleich groß, wenn der Temperaturabfall vom dritten zum vierten Stich etwa 25°C beträgt. Beträgt sie dagegen nur 1000°C , so entspricht gleichen k_w -Werten in beiden Kalibern ein Temperaturunterschied von rund 40°C . Werden obige Temperaturdifferenzen beim Walzen überschritten bzw. nicht erreicht, so ergibt sich im vierten Kaliber ein höherer bzw. niedrigerer Formänderungswiderstand als im dritten.

Wächst infolge raschen Temperaturabfalls in den ersten Stichen der Formänderungswiderstand rascher als die gedrückte Fläche abnimmt, so wird die Walzkraft demzufolge im dritten bzw. fünften Kaliber größer sein als im ersten. Bei niedrigeren Anstichtemperaturen fällt die Endwalztemperatur langsamer ab, so daß die Walzkraft ihren Höchstwert bereits im ersten Stich erreicht.

Bei der höchsten und mittleren Walztemperatur (Ofentemperaturen 1240° und 1200°C) unterscheiden sich die Walzkräfte im ersten, dritten und fünften bzw. zweiten, vierten und sechsten Kaliber verhältnismäßig wenig. Mit sinkender Anstichtemperatur (Ofentemperatur 1140°C) werden die Unterschiede größer. Ebenso traten beim Walzen in den auf der 360er Walze befindlichen Kalibern 7 und 9 bzw. 8, 10 und 12 unabhängig von der Anstichtemperatur Walzkräfte ungefähr gleicher Größe auf. Der verhältnismäßig starke Abfall der Walzkräfte im elften Kaliber dürfte auf die geringe Streckung zurückzuführen sein.

Auch die Drehmomente zeigen die bereits bei den Walzkräften festgestellten Unterschiede zwischen Stichen Rund in Oval und Oval in Rund. Allerdings sinken sie im Gegensatz zu diesen unabhängig von der Anstichtemperatur sowohl vom ersten zum dritten und fünften als auch vom zweiten zum vierten und sechsten Kaliber ab (Walze $445 \varnothing$). Die größten Drehmomente traten beim ersten, die kleinsten beim vierten bzw. sechsten Stich auf. In den Kalibern 7 bis 12 (Walze $360 \varnothing$) sinken die Drehmomente weiter ab. Nur im neunten Kaliber ist ein Anstieg des Drehmoments bis auf den im siebenten erreichten Wert zu verzeichnen. Vom dreizehnten Stich ab nehmen die Drehmomente weiterhin allmählich bis auf einen Endwert von ungefähr 100 bis 180 mkg im letzten Kaliber ab. Sie sinken mit wachsender Stichzahl rascher ab als die Walzkräfte, da das Hebelarmverhältnis nach Bild 66 allmählich kleiner wird. Gleichzeitig erfolgt dabei ein gewisser Ausgleich zwischen den Stichfolgen Rund in Oval und Oval in Rund.

Die Walzkräfte und Drehmomente zeigen beim Walzen von Kupfer und Aluminium grundsätzlich den gleichen Verlauf wie bei Stahl. Für die Stichfolge Rund in Oval sind sie merklich größer als bei Oval in Rund. Der verhältnismäßig geringe Unterschied zwischen den Walzkräften in den ersten und letzten Kalibern wird durch den starken Anstieg der k_w -Werte verursacht. Außerdem ist noch zu beachten, daß bei diesen Walzversuchen die Anfangstemperaturen in den Kalibern 7 und 13 überhöht waren, so daß in den letzten Stichen in Wirklichkeit mit noch höheren Walzkräften zu rechnen ist.

Streckkaliberreihe Quadrat-Oval

Die Versuchsergebnisse der beiden Quadrat-Oval-Reihen sind in den Anlagen 7 und 8 und den Bildern 51 und 52 dargestellt. Wie bereits angegeben, konnte bei diesen Versuchen nur mit zwei Anstichtemperaturen (Ofentemperaturen 1260° und 1200° C) gearbeitet werden. Es wurden zwei Gruppen von Reihen mit unterschiedlicher Streckung untersucht. Bei der ersten betrug der Endquerschnitt ungefähr $8 \square$ bei einem Anstichquerschnitt von $50 \square$ und 12 Stichen, was einer 37- bis 40fachen Streckung entspricht. Bei der zweiten Gruppe mit größerer Streckung wurden bei gleichem Anstichquerschnitt und gleicher Stichzahl quadratische Stäbe mit Endquerschnitten von etwa $6,7 \square$ gewalzt. Dies ergibt im Mittel eine etwa 53fache Streckung.

Temperaturverlauf

Die Endwalztemperaturen nach dem ersten Stich betrugen je nach der Anstichtemperatur 1207° bis 1222° C bzw. 1150° bis 1188° C. Sie sanken fast linear auf ungefähr 950° bis 1025° C nach dem sechsten Stich ab. Die Temperatur fiel bei den mit höherer Streckung gewalzten Reihen rascher. Auch die Temperaturunterschiede zwischen den einzelnen Stäben waren größer als bei den Reihen mit kleiner Streckung. Trotz tieferer Anstichtemperatur (Ofentemperatur 1200° C) lagen die Endwalztemperaturen zum Teil oberhalb der mit großer Streckung und höherer Anfangstemperatur gewalzten Proben (Ofentemperatur 1260° C).

Nach dem sechsten und achten Stich kühlten die Stäbe ab, wurden von neuem angewärmt (Ofentemperaturen 1050° und 970° C) und weitergewalzt. Die Endwalztemperaturen nach dem achten Kaliber betrugen je nach der Anstichtemperatur 920° bis 965° C bzw. 880° bis 935° C. Für den Anstich im neunten Kaliber (Walze $280 \varnothing$) wurden Ofentemperaturen von 950° und 900° C gewählt. Die Endwalztemperaturen konnten mit dem optischen Pyrometer teilweise nur bis zum elften Kaliber gemessen werden. Sie betrugen nach dem letzten Stich 775° bis 830° C. Bei den Reihen mit großer Streckung lagen die Endwalztemperaturen zum Teil noch tiefer.

*Walzkraft, Formänderungswiderstand, Drehmoment
und spezifische Walzarbeit*

Ähnlich wie bei den Rund-Oval-Reihen ergaben sich, bedingt durch die unterschiedliche Größe der gedrückten Flächen, auch bei den Walzkraften der Quadrat-Oval-Reihen in den ersten Kalibern beachtliche Unterschiede zwischen den Stichfolgen Quadrat in Oval und Oval in Quadrat. Bei großer Streckung tritt — mit Ausnahme der Stähle 16MnCr5 und MK 73 — die höchste Walzkraft im dritten Kaliber auf. Sie erreicht bei einer Anstichtemperatur von etwa 1200° C ungefähr 50 t gegenüber 37 t bei den Rund-Oval-Reihen. Bei verminderter Streckung liegt das Maximum der Walzkraften im ersten Kaliber. Eine Ausnahme bilden die Stähle 100 Cr 6 und 16 Mn Cr 5. Die niedrigsten Walzkraften in den ersten sechs Kalibern (Walze $445 \varnothing$) wurden im vierten oder sechsten Stich festgestellt.

Bei hoher Streckung (Bild 51) ist der Streubereich der Walzkraften im ersten, dritten und fünften Kaliber wenig verschieden. Ebenso sind zwischen den Walzkraften im

zweiten, vierten, sechsten und siebenten bzw. achten bis zwölften Kaliber nur verhältnismäßig geringe Unterschiede vorhanden.

Vergleicht man die Walzkräfte bei verminderter Streckung (Bild 52), so sinken sie vom ersten zum dritten, fünften und siebenten Stich nur wenig ab. Auch zwischen den Walzkräften im zweiten, vierten, sechsten und achten Kaliber sind die Unterschiede nur gering. Die Ursache dafür ist offensichtlich ein der Abnahme der gedrückten Flächen etwa verhältnismäßiger Anstieg des Formänderungswiderstands.

Ausgesprägte Unterschiede zwischen den untersuchten Stählen sind bei den Quadrat-Oval-Reihen nicht nachweisbar. Bei höheren Walztemperaturen, d. h. in den ersten sechs Stichen, traten die kleinsten Walzkräfte überwiegend bei den Stählen MK 73 und 100 Cr 6, die größten beim Einsatzstahl 16 Mn Cr 5 und Federstahl 65 Si 7 auf. Mit steigender Stichzahl und abnehmender Walztemperatur erhält man Höchstwerte der Walzkraft meist bei den Stählen 65 Si 7, MK 73 und 100 Cr 6. Die Ergebnisse sind jedoch nicht eindeutig.

Kupfer und Aluminium zeigen grundsätzlich den gleichen Verlauf der Walzkräfte und Drehmomente wie die Stähle. Ähnlich wie bei den Rund-Oval-Reihen ergab sich auch hier, daß die Walzkräfte und Drehmomente von Kupfer und den untersuchten Stahlsorten sich zum Teil nur wenig unterscheiden.

Kennzeichnend für den Verlauf der Formänderungswiderstände ist der Einfluß der Geometrie und Walztemperatur. Je nachdem, welcher dieser Einflüsse überwiegt, steigt der Formänderungswiderstand mit fortschreitender Stichzahl an, bleibt unverändert oder fällt ab. Entsprechende Beispiele sind die ersten sieben Kaliber in Bild 52 und der erste bis dritte Stich in Bild 51 sowie der siebente und achte in Bild 52, ferner die Kaliber 3, 4, 5 und 6 in Bild 51 sowie die Stiche Oval in Quadrat 10 und 12 in Bild 52 bzw. 8 in Bild 51. Die Ursachen wurden bereits erläutert (s. S. 62 bis 69).

Aus den Bildern 51 und 52 ist ferner ersichtlich, daß die Drehmomente einen vom Verlauf der Walzkräfte erheblich abweichenden Verlauf aufweisen. Obwohl sie auch bei Stichen Oval in Quadrat erheblich kleiner sind als in dem vorhergehenden Quadrat in Oval, fallen sie von dem im ersten Stich auftretenden Höchstwert von beinahe 3500 mkg rasch ab, während sich die Walzkräfte im ersten, dritten, fünften und siebenten Stich nicht wesentlich ändern. Dieser Verlauf wird bei Betrachtung des Verlaufs der Hebelarmverhältnisse in den Bildern 72 und 73 verständlich. Der starke Anstieg des Walzspaltverhältnisses hat ein Absinken des Hebelarmverhältnisses von etwa 0,48 bis 0,52 auf 0,25 bis 0,35 zur Folge, so daß die Drehmomente in den ersten Stichen rasch absinken.

Auch bei den Drehmomenten ist ähnlich wie bei den Walzkräften ein gewisser Werkstoffeinfluß nachweisbar. Allerdings sind die Aussagen nicht eindeutig. An der unteren Grenze des Streubereichs liegen insbesondere bei höheren Walztemperaturen meist die Stähle MK 73 und 100 Cr 6. Ausgesprägte Unterschiede sind jedoch nicht vorhanden.

Die spezifischen Walzarbeiten wachsen vom ersten zum vorletzten Stich, wobei die Werte für Stiche Quadrat in Oval erheblich höherliegen als bei Stichen Oval in Quadrat. Im letzten Kaliber fallen sie ab, da die Streckung absinkt. Ein Werkstoffeinfluß ist nicht eindeutig nachweisbar. An der unteren Grenze des Streubereichs liegen in den ersten fünf Stichen z. B. die Stähle MK 73 und 100 Cr 6, an der oberen liegt zum Teil der Stahl 65 Si 7 (Kaliber 3 bis 11) und in den letzten vier Stichen der Stahl 100 Cr 6. Bei den übrigen Werkstoffen ergaben sich keine größeren Unterschiede.

Streckkaliberreihe Quadrat-Raute

Temperaturverlauf

Da die Walzkräfte und Drehmomente (Bild 53) bei den Quadrat-Raute-Kaliberreihen nicht so hoch ansteigen wie bei den Quadrat-Oval-Reihen, war es möglich, bei diesen Versuchen wieder mit drei Anstichtemperaturen zu arbeiten. Den Ofentemperaturen von 1260° , 1200° und 1140° C entsprechen beim ersten Stich Endwalztemperaturen von 1195° bis 1205° , 1130° bis 1180° und 1095° bis 1140° C. Die geringen Unterschiede der Endwalztemperaturen nach dem sechsten Kaliber (985° bis 1025° , 976° bis 1030° und 973° bis 990° C) zeigen, daß die Temperatur der Walzstäbe bei hohen Anfangstemperaturen rascher abfällt als bei niederen.

Es erschien somit ausreichend, die Versuche auf den nächsten beiden Walzenpaaren von 360 und 280 \varnothing mit nur zwei Anfangstemperaturen fortzusetzen. Die Ofentemperaturen wurden dementsprechend mit 1040° und 980 bzw. 930° und 900° C gewählt.

Bild 53 zeigt einen nahezu linearen Abfall der Endwalztemperaturen in den aufeinanderfolgenden Kalibern. Aus diesem Grunde konnte bei den letzten sechs Stichen auf eine laufende Temperaturmessung verzichtet und nur mit Stichproben gearbeitet werden, da außerdem Messungen der Stich- und Gesamtwalzzeiten ergaben, daß die Walzzeiten bei den einzelnen Walzstäben nur wenig schwankten. Durch Extrapolation erhält man im letzten Kaliber eine Endwalztemperatur von ungefähr 775° bis 830° C.

*Walzkraft, Formänderungswiderstand, Drehmoment
und spezifische Walzarbeit*

Im Verlauf der Walzkräfte dieser Reihe spiegelt sich der Wechsel des Anstichquerschnitts und der Kaliberform wider. Durch die Größe der gedrückten Flächen (Bild 55) und den Formänderungswiderstand (Bild 53) bedingt, sind die Walzkräfte bei Stichen Raute in Quadrat kleiner als bei Quadrat in Raute. Die Unterschiede sind demnach in den ersten sieben Kalibern geringer als beim siebenten bis zwölften Stich.

Die Walzkräfte im ersten, dritten, fünften und siebenten bzw. zweiten, vierten und sechsten Kaliber sind nur wenig verschieden. Sie betragen bei ungeraden Stichen im Mittel ungefähr 30 bis 40 t, bei den geraden etwa 25 bis 32 t. Vom neunten Stich ab sinken sie rasch bis auf ungefähr 7 bis 10 t im letzten Kaliber ab.

Bei den auf S. 62 bis 69 beschriebenen Versuchen ergab sich bei gleicher Walztemperatur im dritten Kaliber (Quadrat in Raute) ein höherer Formänderungswiderstand als im vierten (Raute in Quadrat). Dieser vom Temperaturunterschied zwischen zwei aufeinanderfolgenden Stichen abhängige Abfall des Formänderungswiderstandes ist auch aus Bild 53 ersichtlich, z. B. zwischen den Kalibern 3 und 4, 7 und 8 usw.

Die Drehmomente weisen unabhängig von der Anstichtemperatur Höchstwerte im ersten Kaliber auf. Sie fallen beinahe linear bis zum sechsten Stich ab. Das gleiche gilt auch für die vier Kaliber 7 bis 10 bzw. 11 bis 14, die sich auf den Walzen mit 360 bzw. 280 \varnothing befinden.

Berücksichtigt man den Verlauf des Hebelarmverhältnisses in Bild 1, so wird der Verlauf der Drehmomente verständlich. Größeren Hebelarmverhältnissen bei den Stichfolgen Raute in Quadrat entsprechen kleinere Walzkräfte und umgekehrt. Die beiden Einflüsse heben sich gegenseitig auf.

Die spezifischen Walzarbeiten wachsen allmählich bis zum elften Stich auf einen Höchstwert von ungefähr 18 bis 20 mmkg/mm³ an. Vom zwölften Stich sinken sie etwa linear auf 10 bis 12 mmkg/mm³ im Kaliber 14 ab. Dieses Verhalten scheint mit dem Absinken der Hauptformänderung (Bild 58) und des Walzspaltverhältnisses (Bild 57) in den letzten drei Stichen zusammenzuhängen.

Auch bei den Quadrat-Raute-Reihen liegen die Walzkräfte für die Stähle MK 73 und 100 Cr 6 in den ersten sechs Kalibern an der unteren und für den Stahl 65 Si 7 bei den meisten Stichen an der oberen Grenze des Streubereichs. Dies gilt auch für die Drehmomente, Formänderungswiderstände und spezifischen Walzarbeiten.

Das Verhalten von Kupfer wurde nicht untersucht. Die Walzkräfte und Drehmomente von Aluminium betragen ungefähr 20% der Werte von Stahl. Sie zeigen im allgemeinen den gleichen Verlauf wie bei den Stählen.

Streckkaliberreihe Raute-Raute

Temperaturverlauf

Auch bei den Raute-Raute-Reihen (Bild 54) wurden drei verschiedene Anfangstemperaturen gewählt. Die entsprechenden Ofentemperaturen betragen wiederum 1260°, 1200° und 1140° C. Es war zu erwarten, daß die Endwalztemperaturen bei diesen Versuchsreihen etwa den gleichen Verlauf zeigen wie bei den Quadrat-Raute-Reihen. Sie wurden deshalb vom zwölften Kaliber an nur durch Stichproben kontrolliert.

Nach dem ersten Kaliber ergaben sich je nach der Anstichtemperatur Endwalztemperaturen von 1190° bis 1220°, 1160° bis 1185° und 1125° bis 1130° C. Sie fallen beinahe linear ab und erreichen im fünften Kaliber 1050° bis 1113°, 1050° bis 1165° und 1005° bis 1030° C. Die nach dem fünften Stich erkalteten Stäbe wurden in weiteren sechs Stichen auf dem Walzenpaar mit 360 Ø bei zwei verschiedenen Anfangstemperaturen weitergewalzt (Ofentemperaturen 1080° und 1020° C). Nach dem elften Stich betragen die Endwalztemperaturen 890° bis 945° C. Dementsprechend wurden zum neuerlichen Anwärmen der Stäbe von dem zwölften Stich Ofentemperaturen von 930° und 900° C gewählt. Aus dem Temperaturverlauf in Bild 54 ergibt sich durch Extrapolieren nach dem letzten Stich eine Endwalztemperatur von 730° bis 780° C.

Walzkraft, Formänderungswiderstand, Drehmoment und spezifische Walzarbeit

Gegenüber den bisher behandelten Streckkaliberreihen zeigen die Raute-Raute-Reihen erhebliche Abweichungen im Verlauf der Walzkräfte und Drehmomente.

Die Walzkraft steigt zunächst vom ersten zum fünften Kaliber an, wobei Höchstwerte beim dritten oder fünften Stich auftreten. Bei der mittleren und tiefsten Anfangstemperatur ist im vierten Kaliber ein leichter Abfall der Walzkräfte zu verzeichnen. Beim Übergang auf den nächst kleineren Walzendurchmesser sinken sie im sechsten Kaliber auf die beim ersten Stich gemessenen Werte ab. Einem abermaligen geringen Anstieg folgt ein leichter Abfall bis zum elften Kaliber. Die Walzkräfte sind bei den auf der 360er Walze befindlichen Kalibern nur wenig verschieden. Sie betragen etwa 18 bis

25 t. In den auf der Walze mit 280 \varnothing liegenden Kalibern 12 bis 17 fällt die Walzkraft abermals ab. Sie beträgt bei diesen Stichen fast unabhängig vom Kaliber ungefähr 8 bis 12 t.

Dieser Verlauf der Walzkraft ergibt sich aus dem Verlauf der gedrückten Flächen und des Formänderungswiderstandes. Nach Bild 55 nehmen die gedrückten Flächen vom zweiten zum letzten Kaliber allmählich ab. Der verhältnismäßig gleichmäßige Anstieg des Walzspaltverhältnisses (Bild 57) bei den Raute-Raute-Reihen und der beinahe lineare Temperaturabfall der Walzproben haben einen allmählichen Anstieg der Formänderungswiderstände mit fortschreitender Stichzahl zur Folge. Er wird beim Übergang auf einen anderen Walzendurchmesser im sechsten und zwölften Kaliber unterbrochen. Ein Widerspruch ergibt sich bei den Formänderungswiderständen im fünfzehnten und sechzehnten Stich. Obwohl das Walzspaltverhältnis in diesen Kalibern stark ansteigt, sinken sie etwas ab. Die Frage nach den Ursachen dieser Erscheinung muß zunächst unbeantwortet bleiben.

Berücksichtigt man den in Bild 68 dargestellten Verlauf des Hebelarmverhältnisses und der Walzkraft (Bild 54), so wird der Verlauf der Drehmomente bei einer Raute-Raute-Reihe (Bild 54) verständlich. Die Höchstwerte treten im zweiten Kaliber auf, worauf bis zum fünften ein geringer Abfall einsetzt. Beim Übergang auf die kleinere Walze (360 \varnothing) im sechsten Kaliber fällt das Drehmoment nicht so stark ab wie die Walzkraft, da gleichzeitig das Hebelarmverhältnis wächst. Das gilt auch beim Übergang auf das kleinste Walzenpaar (280 \varnothing) zwischen dem elften und zwölften Stich. Vom sechsten zum elften bzw. zwölften zum siebzehnten Stich sinken die Drehmomente allmählich ab.

Die spezifische Walzarbeit wächst vom ersten Stich allmählich an und erreicht im sechzehnten Kaliber ihren Höchstwert. Beim letzten und dreizehnten Stich ergab sich ein leichter Abfall.

In den ersten Stichen, d. h. bei verhältnismäßig hohen Walztemperaturen, liegen die Stähle MK 73 und 100 Cr 6 meist an der unteren, der siliziumlegierte Stahl 65 Si 7 beinahe in allen Stichen an der oberen Grenze des Streubereichs der Walzkraft, Drehmomente, Formänderungswiderstände und spezifischen Walzarbeiten.

Kupfer wurde nicht untersucht. Die Walzkraft und Drehmomente von Reinaluminium betragen ungefähr 30% der Werte von Stahl. Sie zeigen grundsätzlich den gleichen Verlauf.

Spezifische Formänderungsarbeit

Von besonderer Bedeutung bei der bildsamen Formung ist die spezifische Formänderungsarbeit als Maß des zur Umformung notwendigen Arbeits- und Leistungsbedarfs.

Im Vordergrund der Untersuchungen über das Walzproblem stand ursprünglich die Ermittlung der Walzkraft und des mittleren Formänderungswiderstandes. Messungen der Drehmomente wurden erst erheblich später ausgeführt. Dies ist verständlich, da ihre Ermittlung besonders im Betrieb erheblich größere Schwierigkeiten bereitet als die von Walzkraften.

Beim Walzen in Streckkaliberreihen strebt man bei jedem Stich eine möglichst große Längung an, um den Querschnitt des Walzstabs möglichst rasch zu vermindern. Des-

halb ist der für eine bestimmte Längung aufzuwendende Energiebetrag bei der Beurteilung einer Streckkaliberreihe von Bedeutung, wenn er auch, wie bereits ausgeführt, nicht allein maßgebend sein kann.

In Bild 82 ist die spezifische Gesamtwalzarbeit a_w über φ_λ und φ_h für einige Rund-Oval- und Quadrat-Oval-Reihen aufgetragen. Aus den voll ausgezogenen Kurven er-

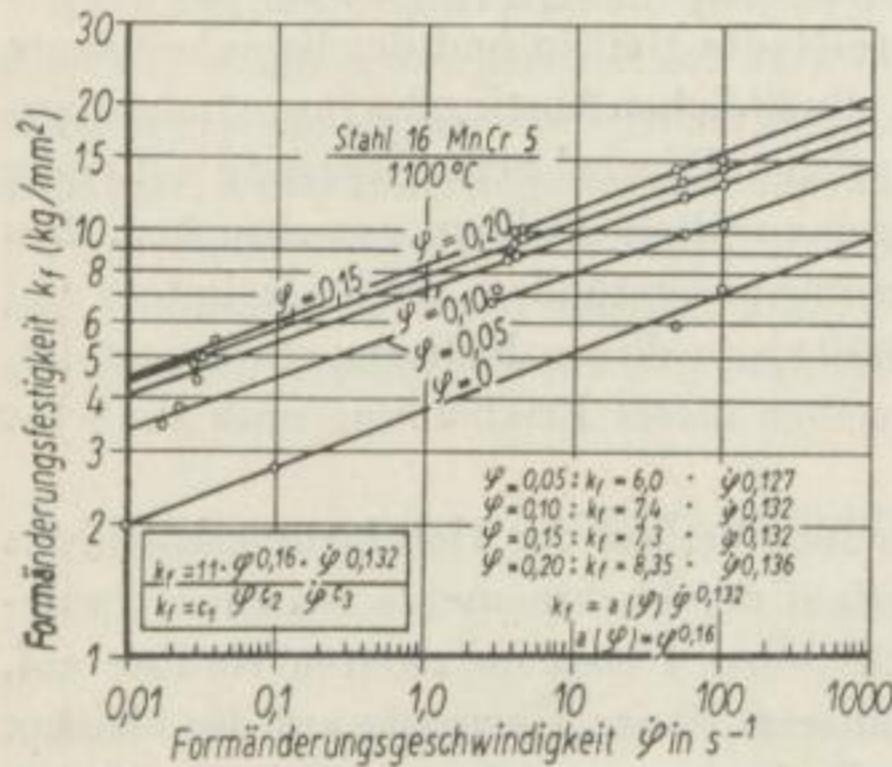


Bild 79. Abhängigkeit der Formänderungs-festigkeit von der Formänderungsgeschwindigkeit für Formänderungen $\varphi = 0$ bis 0,20 (nach LUEG und MÜLLER)

spezifischen Walzarbeit von ungefähr 32 bis 38 mmkg/mm³ einer logarithmischen Gesamtformänderung von etwa 3,0 nur eine logarithmische Streckung von im Mittel

gibt sich, welche Gesamthauptformänderung φ_h mit einer gegebenen spezifischen Formänderungsarbeit erreichbar ist, während die gestrichelten Kurvenäste den mit dieser Walzarbeit tatsächlich erzielten logarithmischen Gesamtlängungen φ_λ entsprechen. An der oberen Grenze des von den Kurven umschlossenen Bereichs liegen die spezifischen Walzarbeiten der Stähle 65 Si 7 bzw. 55 Si Mn 7, an der unteren die von CK 45 und St 7 bzw. MK 73. Die Werte gelten bei einer Ofentemperatur von 1260° C.

Die beim Walzen auftretende Breitung verursacht bei Streckkaliberreihen einen erheblichen Längungsverlust.

Aus Bild 83 folgt z. B., daß im sechsten Kaliber der Rund-Oval-Reihe bei einer

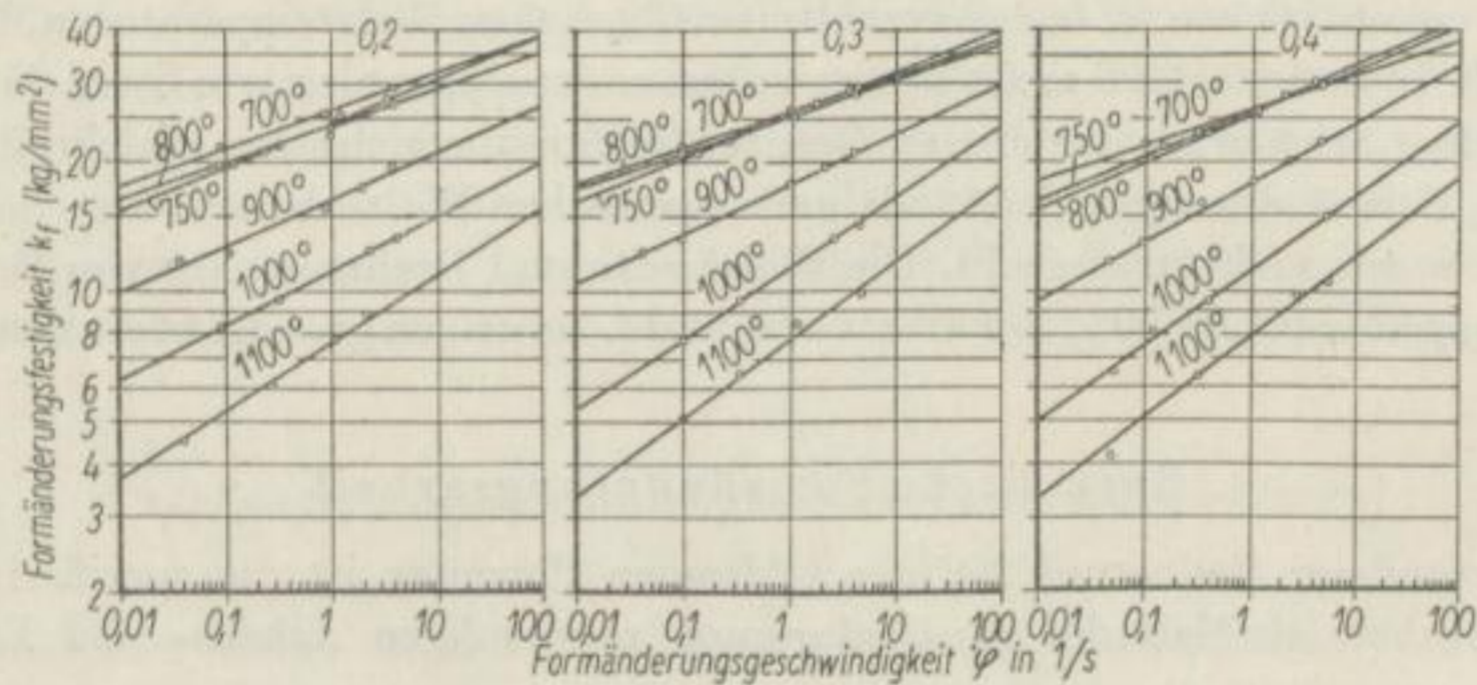


Bild 80. Formänderungsfestigkeit von Stahl C 45 in Abhängigkeit von der Formänderungsgeschwindigkeit für Temperaturen von 700° bis 1100° C und Formänderungen von 0,2 bis 0,4 (nach LUEG und MÜLLER)

etwa 1,75 entspricht. Beim zwölften Stich beträgt die gesamte logarithmische Hauptformänderung etwa 6,0 bis 6,5, die Streckung dagegen nur etwa 2,8 bis 3,0, während die spezifische Formänderungsarbeit zwischen 105 und 155 mmkg/mm³ liegt.

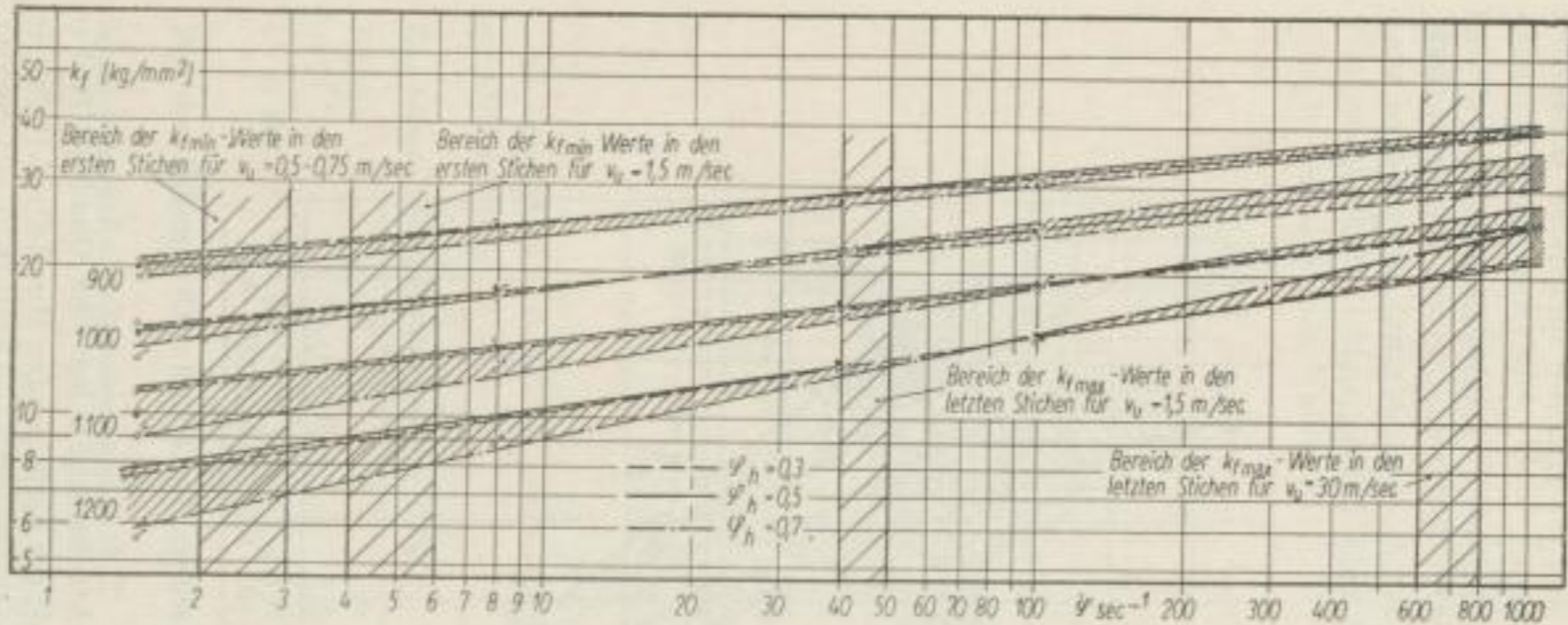


Bild 81

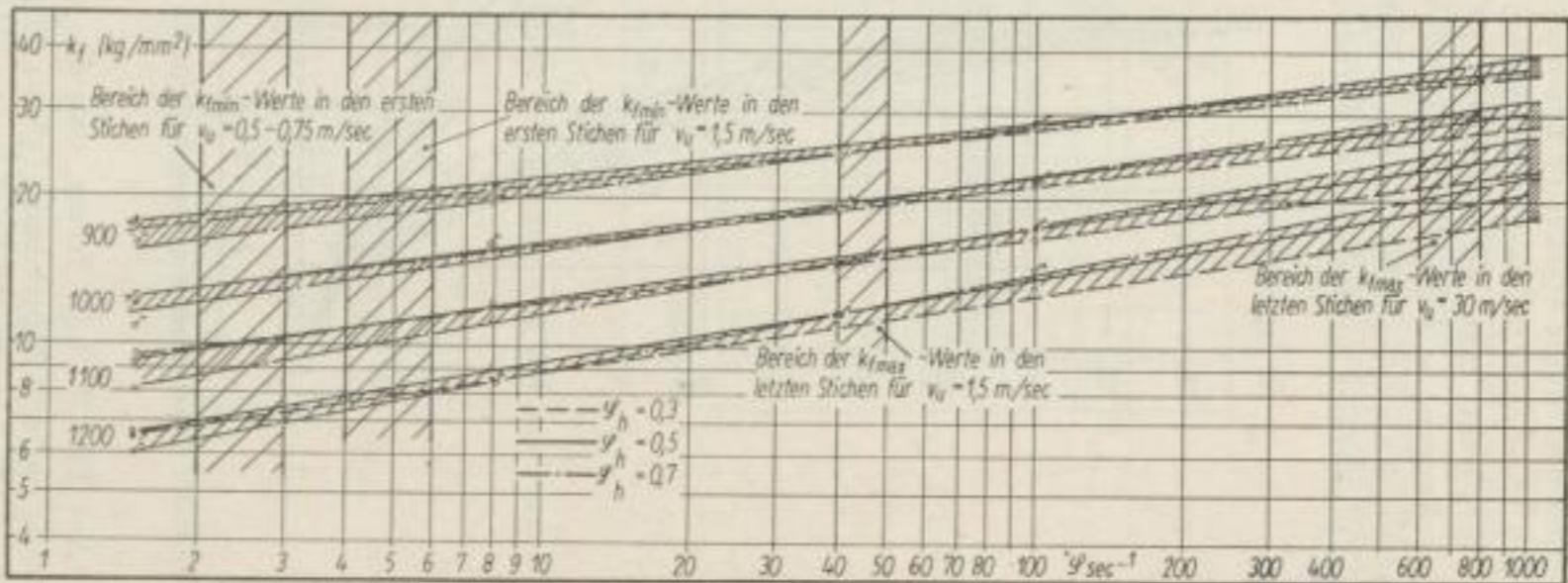


Bild 82

Bild 81. Formänderungsfestigkeit für einen Stahl 0,61 C, 1,58 Si, 0,94 Mn, 0,038 S, 0,034 P, 0,12 Cr, 0,27 Ni, 0,06 Mo, ähnlich 65 Si 7

Bild 82. Formänderungsfestigkeit für einen Stahl 0,56 C, 0,26 Si, 0,28 Mn, 0,014 S, 0,013 P, 0,12 Cr, 0,09 Ni, ähnlich CK 45

Nach dem letzten Stich beträgt beim Stahl 55 Si Mn 7 die logarithmische Hauptformänderung $\varphi_h = 8,25$ und die Streckung $\varphi_1 = 4,0$. Für die untere Grenze des Streubereichs (Stähle CK 45) und St 7 lauten die entsprechenden Werte $\varphi_h = 8,5$ und $\varphi_1 = 4,0$. Mit zunehmender Stichzahl tritt das unterschiedliche Verhalten der ver-

schiedenen Stähle stärker in Erscheinung, so daß die gesamte spezifische Walzarbeit nach 18 Stichen 183 bis 230 mmkg/mm³ beträgt.

Vergleicht man die Summen der logarithmischen Hauptformänderungen und Streckungen, so entspricht dem Wert $\varphi_h = 8,25$ eine Längung von ungefähr 4000, während die tatsächliche nur etwa 50 beträgt. Dies bedeutet, daß nur $\frac{1}{80}$, d. h. 1,25%, der tatsächlich aufgewendeten Formänderungsarbeit nutzbar ist.

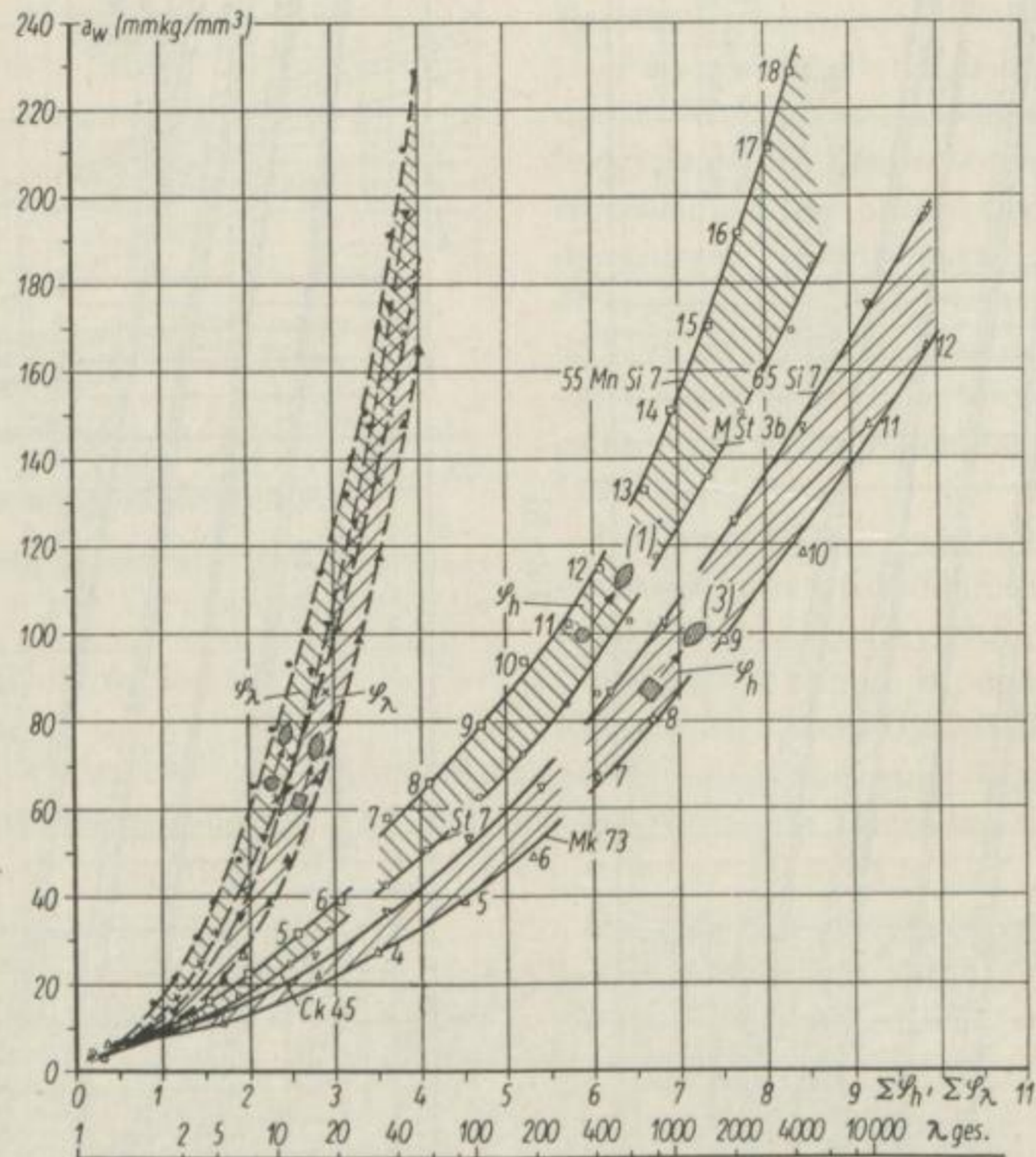


Bild 83. Gesamtformänderungsarbeit für Streckkaliberreihen Quadrat-Oval und Rund-Oval

Aus Bild 83 folgt ferner, daß die untersuchte Streckkaliberreihe Quadrat-Oval in bezug auf den Arbeitsbedarf etwas günstiger als die vorliegenden Rund-Oval-Reihe ist. Gegenüber der für 18 Stiche notwendigen spezifischen Gesamtwalzarbeit von 183 bis 230 mmkg/mm³ der Rund-Oval-Reihe sind bei der Quadrat-Oval-Kalibrierung für die gleiche Streckung nur ungefähr 165 bis 195 mmkg/mm³, d. h. 11 bis 18% weniger, erforderlich. In den ersten Stichen liegen die Verhältnisse noch günstiger, da sich die Streckungen der Quadrat-Oval-Reihen mit fortschreitender Stichzahl denjenigen der Rund-Oval-Reihen nähern.

Aus diesem Grunde ist die Schlußfolgerung von LUEG und MÜLLER [27], wonach eine Erhöhung der Stichzahl beim Walzen zu einer Energieeinsparung führt, da infolge verminderter Formänderungsgeschwindigkeit und Formänderung die k_w -Werte absinken,

zumindest bei Streckkaliberreihen mit Vorsicht aufzunehmen und bedarf noch eingehender Untersuchungen. Mehr Erfolg versprechen Versuche zur Klärung des Einflusses der Form des Anstichquerschnitts und Kalibers auf die Streckung und spezifische Walzarbeit, um den ungünstigen Einfluß der Breitung herabzusetzen.

Es ist bekannt, daß die Streckung mit sinkender Walztemperatur und wachsendem Walzspaltverhältnis kleiner wird. Dies zeigt ein Vergleich des Streckungsverhältnisses $\varphi_h/\varphi_\lambda$ in den einzelnen Kalibern.

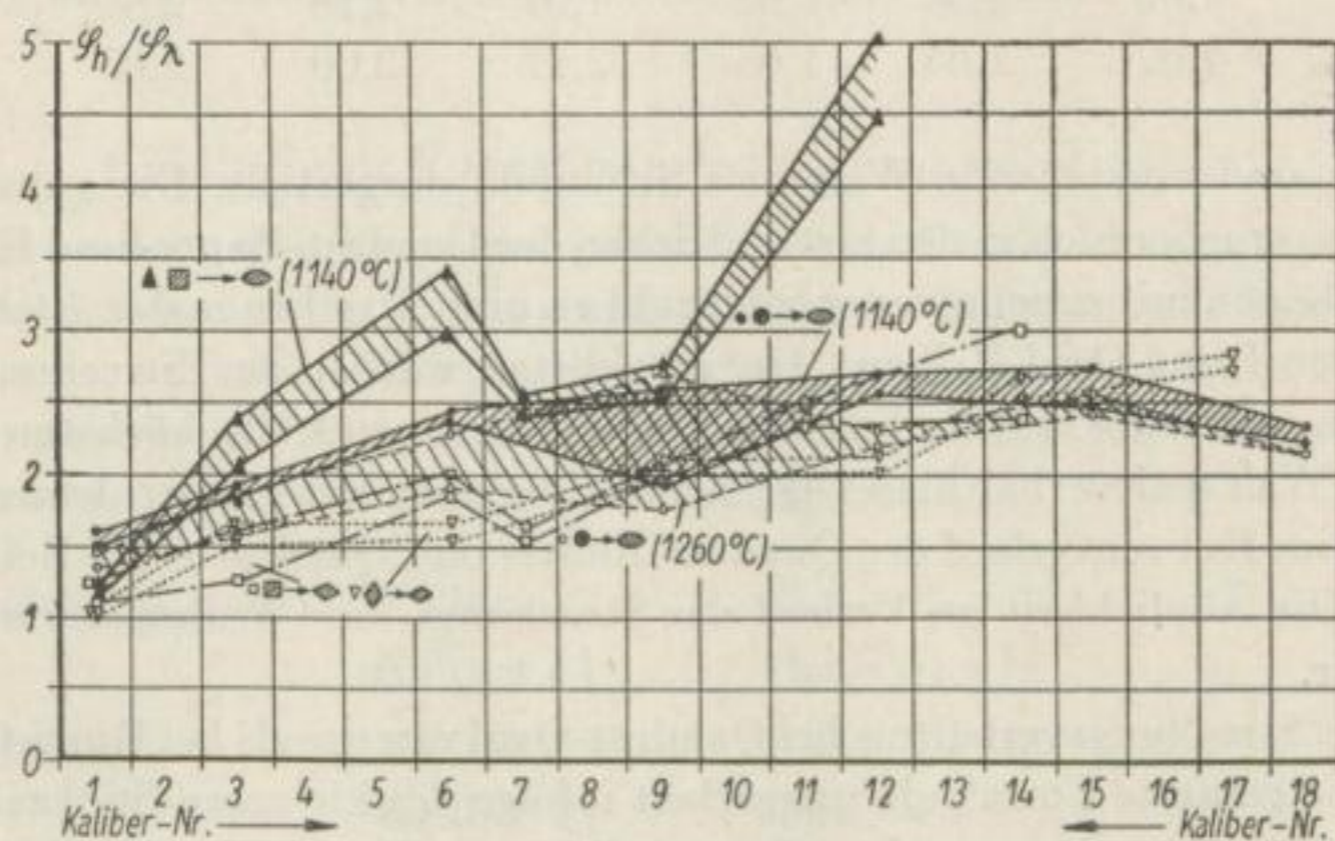


Bild 84. Streckungsverhältnis $\varphi_h/\varphi_\lambda$

So beträgt es z. B. bei den zwei folgenden Rund-Oval-Reihen und der höchsten Anstichtemperatur:

Rund-Oval-Reihe, Ofentemperatur 1260° C

| Kaliber: | 1 | 3 | 6 | 9 | 12 | 15 | 18 |
|------------|------|------|------|------|------|------|------|
| St 7 | 1,44 | 1,57 | 2,30 | 2,52 | 2,17 | 2,44 | |
| 55 Si Mn 7 | 1,34 | 1,85 | 1,87 | 1,75 | 2,29 | 2,55 | 2,13 |

Für eine um ungefähr 100° C niedrigere Anstichtemperatur erhält man folgende Werte:

Rund-Oval-Reihe, Ofentemperatur 1140° C

| Kaliber: | 1 | 3 | 6 | 9 | 12 | 15 | 18 |
|------------|------|------|------|------|------|------|------|
| CK 45 | 1,47 | 1,78 | 2,42 | 2,53 | 2,71 | 2,45 | 2,33 |
| 55 Si Mn 7 | 1,61 | 1,92 | 2,36 | 1,91 | 2,55 | 2,74 | 2,14 |

Bei den anderen Streckkaliberreihen ergeben sich nachfolgende Streckungsverhältnisse

Quadrat-Oval-Reihe (große Streckung), Ofentemperatur 1140° C

| Kaliber: | 1 | 3 | 6 | 7 | 9 | 12 |
|----------|------|------|------|------|------|------|
| 65 Si 7 | 1,28 | 2,40 | 2,98 | 2,48 | 2,75 | 5,05 |
| CK 45 | 1,32 | 2,08 | 3,42 | 2,51 | 2,58 | 4,47 |

Quadrat-Raute-Reihe, Ofentemperatur 1140° C

| Kaliber: | 1 | 3 | 6 | 7 | 9 | 11 | 14 |
|----------|------|------|------|------|------|------|------|
| 65 Si 7 | 1,27 | 1,60 | 1,89 | 1,66 | 2,16 | 2,33 | 2,41 |
| CK 45 | 1,16 | 1,26 | 2,00 | 1,62 | 2,00 | 2,47 | 3,00 |

Raute-Raute-Reihe, Ofentemperatur 1140° C

| Kaliber: | 1 | 3 | 6 | 9 | 12 | 14 | 17 |
|----------|------|------|------|------|------|------|------|
| 65 Si 7 | 1,09 | 1,54 | 1,62 | 1,97 | 2,18 | 2,54 | 2,68 |
| CK 45 | 1,07 | 1,64 | 1,65 | 2,17 | 2,00 | 2,65 | 2,72 |

In Bild 84 sind vorstehende Werte als Schaubild dargestellt. Die günstigsten Verhältnisse $\varphi_h/\varphi_\lambda$ ergeben sich in den ersten Stichen der Quadrat-Raute- und Raute-Raute-Reihen. Sie steigen mit zunehmender Stichzahl an und erreichen in den letzten Kalibern die Werte der Rund-Oval-Reihen. Am schnellsten wächst das Streckungsverhältnis $\varphi_h/\varphi_\lambda$ bei den Quadrat-Oval-Reihen und erreicht hier auch die höchsten Werte. Der Einfluß des Walzspaltverhältnisses ist beim Übergang auf einen kleineren Walzendurchmesser im Kurvenverlauf der Quadrat-Raute- und Quadrat-Oval-Reihen deutlich ausgeprägt. Die Ähnlichkeit im Verlauf der Streckungs- und Walzspaltverhältnisse ist unverkennbar.

Obwohl das Streckungsverhältnis bei Quadrat-Oval rascher als bei Rund-Oval-Reihen wächst, ist die gesamte Formänderungsarbeit infolge der kleineren Stichzahl niedriger. Ein kleiner Walzendurchmesser ist offensichtlich von entscheidender Bedeutung, um das Walzspaltverhältnis herabzusetzen.

Die Gesamtstreckung λ_{ges} für n -Stiche ergibt sich als Produkt der Einzelstreckungen.

$$\lambda_{\text{ges}} = \lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot \lambda_3 \cdot \lambda_4 \cdot \dots \cdot \lambda_n.$$

Da die Längung nur einen Teil der Hauptformänderung (Stauchung) darstellt, kann man in obiger Beziehung für

$$\lambda_1 = a_1 \left(\frac{h_{0m}}{h_{1m}} \right)_1, \quad \lambda_2 = a_2 \left(\frac{h_{0m}}{h_{1m}} \right)_2 \cdot \dots \cdot \lambda_n = a_n \left(\frac{h_{0m}}{h_{1m}} \right)_n$$

einsetzen und erhält

$$\lambda_{\text{ges}} = (a_1 \cdot a_2 \cdot a_3 \cdot \dots \cdot a_n) \left(\frac{1}{\gamma_1} \cdot \frac{1}{\gamma_2} \cdot \frac{1}{\gamma_3} \cdot \dots \cdot \frac{1}{\gamma_n} \right).$$

Setzt man voraus, daß

$$a_1 = a_2 = a_3 \cdot \dots = a_m \text{ und } \frac{1}{\gamma_1} = \frac{1}{\gamma_2} = \frac{1}{\gamma_3} \cdot \dots = \frac{1}{\gamma_m}$$

ist, so ergibt sich nach n -Stichen eine Gesamtlängung

$$\lambda_{\text{ges}} = a_m^n \cdot \left(\frac{1}{\gamma_m} \right)^n.$$

Für ein mittleres $a_m = 0,8$ beträgt die Gesamtstreckung nach zwölf Stichen demnach

$$\lambda_{\text{ges}} = 0,8^{12} \cdot \left(\frac{1}{\gamma_m} \right)^{12} = 0,069 \cdot \left(\frac{1}{\gamma_m} \right)^{12}.$$

Unter obigen Voraussetzungen ergibt sich, daß nach zwölf Stichen nur ungefähr 7% der Gesamthauptformänderung als Streckung nutzbar gemacht wurden. Da es sich bei dieser Beziehung um eine geometrische Reihe handelt, ist der Einfluß der Breitung groß, denn die Glieder, d. h. die Streckungen, nehmen rasch ab. Bei vielen Stichen wird aus diesem Grunde bereits eine geringe Verminderung der Breitung durch ein geeignetes Kaliber stark ins Gewicht fallen.

Vorliegende Versuchsergebnisse reichen nicht aus, um diese Zusammenhänge restlos zu klären. Sie müssen durch weitere Versuche ergänzt werden.

Einfluß der Formänderungsgeschwindigkeit

Für die Anwendung der Versuchsergebnisse in der Praxis ist noch der Einfluß der Walzgeschwindigkeit auf die Umformungskräfte von Bedeutung. Die beschriebenen Versuche wurden mit einer Walzgeschwindigkeit von ungefähr 1,5 m/s durchgeführt. Dieser entsprechen je nach Art der Kalibrierung und Stichzahl folgende mittlere Größt- und Kleinstwerte der Formänderungsgeschwindigkeiten:

| | | |
|---------------------|----------------------|---------------------------|
| Quadrat-Oval-Reihe | Kaliber 2 | 13 bis 15 s ⁻¹ |
| | Kaliber 11 | 44 bis 51 s ⁻¹ |
| Rund-Oval-Reihe | Kaliber 2 | etwa 8 s ⁻¹ |
| | Kaliber 15 | etwa 40 s ⁻¹ |
| Quadrat-Raute-Reihe | Kaliber 1 | etwa 7 s ⁻¹ |
| | Kaliber 17 | etwa 30 s ⁻¹ |
| Raute-Raute-Reihe | Kaliber 1 | etwa 5,5 s ⁻¹ |
| | Kaliber 13 | etwa 23,5 s ⁻¹ |

Die Walzgeschwindigkeiten neuzeitlicher kontinuierlicher Drahtstraßen liegen zwischen 0,5 bis 0,75 m/s im ersten und maximal ungefähr 30 m/s im letzten Gerüst. Dies bedeutet, daß die mittlere Formänderungsgeschwindigkeit in den ersten Stichen einer Quadrat-Oval- und Rund-Oval-Streckkaliberreihe gegenüber den Versuchswerten auf rund ein Drittel, d. h. 2,7 bis 5 s⁻¹, absinkt, in den letzten dagegen auf 600 bis 800 s⁻¹ wächst. Diese Änderung der Formänderungsgeschwindigkeit muß sich auf die Walzkraft und das Drehmoment auswirken.

Das Versuchswalzgerüst des Instituts für Metallformung an der Bergakademie Freiberg gestattet es, Walzendrehzahlen von maximal 150 U/min einzustellen. Dies entspricht bei einem Walzendurchmesser von 450 mm einer Walzgeschwindigkeit von ungefähr 3,5 m/s.

Um den Einfluß der Formänderungsgeschwindigkeit innerhalb des durch die Drehzahl des Versuchserüsts gegebenen Bereichs zu überprüfen, wurden einige Walzproben im dritten und vierten Kaliber der größten Walze bei 18 bis 20 und 140 bis 142 U/min gewalzt. Die Ergebnisse sind in den Tabellen 10 bis 12 zusammengestellt.

Die Ergebnisse dieser Versuche zeigen, daß bei der Rund-Oval-Kalibrierung und höheren Walztemperaturen zwischen $\dot{\varphi}_m = 4,2$ bis 32 bzw. $\dot{\varphi}_m = 2,9$ bis 22 s⁻¹ ein merklicher Geschwindigkeitseinfluß für den Stahl MSt 3b nicht nachweisbar ist.

Für die Quadrat-Oval-Reihe sind die Aussagen nicht eindeutig. Zum Teil zeigte sich bei Erhöhung der Walzgeschwindigkeit ein leichter Anstieg, teilweise war keiner zu verzeichnen. Es ist anzunehmen, daß innerhalb des untersuchten Geschwindigkeitsbereichs von $\dot{\varphi}_m = 6$ bis 60 s^{-1} mit einem geringfügigen Anstieg des Formänderungswiderstands gerechnet werden kann.

Tabelle 10. Einfluß der Walzgeschwindigkeit auf den Formänderungswiderstand, Reihe Rund-Oval

| Kaliber-Nr. | n U/min | $\dot{\varphi}_m$ s^{-1} | k_w kg/mm^2 | Bemerkung |
|-------------|--------------|--------------------------------------|---------------------------|--|
| 3 | 18,8 | 4,2 | 12,7 | Kaliber 3 und 4 unmittelbar hintereinander gestochen |
| 3 | 18,6 | 4,2 | 11,8 | |
| 3 | 140,0 | 31,3 | 14,2 | |
| 3 | 142,0 | 31,8 | 11,7 | |
| 4 | 19,0 | 2,9 | 14,2 | Ofentemperatur = 1200° C Werkstoff MSt 3b |
| 4 | 19,0 | 2,9 | 13,5 | |
| 4 | 142,0 | 22,1 | 15,8 | |
| 4 | 142,0 | 22,1 | 13,2 | |

Demgegenüber konnte sowohl bei der Quadrat-Raute- als auch der Raute-Raute-Reihe ein erheblicher Einfluß der Formänderungsgeschwindigkeit zwischen $\dot{\varphi}_m = 2,5$ bis 23 s^{-1} festgestellt werden.

Auf Grund dieser Versuche scheint bei Quadrat-Oval- und Rund-Oval-Kaliberreihen der Geschwindigkeitseinfluß gering, bei Quadrat-Raute- und Raute-Raute-Reihe dagegen erheblich zu sein. Diese Aussagen müßten jedoch durch weitere Untersuchungen überprüft werden. Vor allem ist es erforderlich, die Walzkräfte und Drehmomente bis zu Walzgeschwindigkeiten von 30 m/s wirklich zu messen.

Aus Versuchen von LUEG und MÜLLER [11] [27] folgt, daß sowohl die Formänderungsfestigkeit der Stähle 16 Mn Cr 5 und CK 45 als auch der Formänderungswiderstand bis zu Formänderungsgeschwindigkeiten von 5 bis 10 s^{-1} rasch, von da ab aber nur mehr langsam wächst. Berücksichtigt man außerdem die von COOK [35] veröffentlichten Fließkurven für verschiedene Stähle bei Warmformgebungstemperaturen, so läßt sich der Einfluß hoher Walzgeschwindigkeiten ungefähr abschätzen.

In den Bildern 79 bis 82 ist die Formänderungsfestigkeit einiger Stähle in Abhängigkeit von der Formänderungsgeschwindigkeit und Formänderung im doppelt logarithmischen Koordinatensystem dargestellt. Der lineare Verlauf der k_f -Werte gestattet eine einfache Extrapolation. Aus den Bildern 80, 81 und 82 folgt, daß der Einfluß der Formänderung bei Temperaturen um 900° C gering ist. Bei höheren Formgebungstemperaturen wächst er. Der Einfluß der Formänderungsgeschwindigkeit auf die Formänderungsfestigkeit ist aus Tabelle 13 ersichtlich.

Setzt man voraus, daß das Verhältnis von k_f/k_w unabhängig von der Formänderungsgeschwindigkeit ist, so erhöht sich bei einer Endwalzgeschwindigkeit von ungefähr 30 m/s der Formänderungswiderstand in den letzten Stichen auf den 1,4- bis 1,6fachen Betrag der Versuchswerte. In den ersten Kalibern sinkt er bei einer Walzgeschwindigkeit von $0,5$ bis $0,75 \text{ m/s}$ um 10 bis 15% ab. Vorliegende Überlegungen sind nur als

Tabelle 11. Einfluß der Walzgeschwindigkeit auf den Formänderungswiderstand, Reihe Quadrat-Oval

| Kaliber-Nr. | n U/min | $\dot{\varphi}_m$ s ⁻¹ | Werkstoff | P_{ges} t | Bemerkung |
|-------------|--------------|--------------------------------------|-----------|----------------|--|
| 3 | 17,5 | 47,7 | MSt 3b | 37,5 | Anstichtemperatur 1056 °C Anstich 33,7 \square , 3. u. 4. Kaliber unmittelbar hintereinander ge- stoichen, kein Anstieg |
| 3 | 18,4 | 48,2 | | 33,7 | |
| 3 | 138,0 | 6,05 | | 34,0 | |
| 3 | 139,4 | 6,35 | | 37,4 | |
| 3 | 19,6 | 6,8 | MK 73 | 33,4 | zeigt Anstieg |
| 3 | 20,3 | 7,1 | | 35,7 | |
| 3 | 138,0 | 47,7 | | 43,8 | |
| 3 | 138,5 | 47,8 | | 42,4 | |
| 3 | 18,0 | 6,2 | 100 Cr.6 | 39,2 | zeigt Anstieg |
| 3 | 18,0 | 6,2 | | 34,8 | |
| 3 | 136,0 | 47,0 | | 44,3 | |
| 3 | 136,0 | 47,0 | | 43,2 | |
| 4 | 18,6 | 4,3 | MSt 3b | 24,5 | Endquerschnitt 25 \square zeigt Anstieg |
| 4 | 18,4 | 4,25 | | 23,3 | |
| 4 | 139,0 | 32,0 | | 26,1 | |
| 4 | 140,0 | 32,3 | | 25,7 | |
| 4 | 20,2 | 4,65 | MK 73 | 21,9 | zeigt Anstieg |
| 4 | 20,5 | 4,73 | | 24,8 | |
| 4 | 138,5 | 32,0 | | 28,0 | |
| 4 | 138,5 | 32,0 | | 26,4 | |
| 4 | 18,0 | 4,15 | 100 Cr 6 | 24,5 | kein Anstieg |
| 4 | 18,2 | 4,2 | | 21,9 | |
| 4 | 136,0 | 31,4 | | 24,2 | |
| 4 | 136,0 | 31,4 | | 23,5 | |
| 3 | 18,0 | 7,75 | MSt 3b | 29,5 | Anstichtemperatur 1160 °C Anstich 30 \square , 3. u. 4. Kaliber unmittelbar hintereinander ge- stoichen, kein Anstieg |
| 3 | 18,0 | 7,75 | | 27,6 | |
| 3 | 139,0 | 60,0 | | 30,4 | |
| 3 | 140,0 | 60,0 | | 27,5 | |
| 3 | 18,2 | 7,85 | MK 73 | 28,3 | kein Anstieg |
| 3 | 18,0 | 7,75 | | 26,3 | |
| 3 | 138,5 | 59,5 | | 28,3 | |
| 3 | 138,5 | 59,5 | | 27,0 | |
| 3 | 18,0 | 7,75 | 100 Cr 6 | 30,7 | kein Anstieg |
| 3 | 18,0 | 7,75 | | 31,8 | |
| 3 | 139,0 | 59,5 | | 33,2 | |
| 3 | 140,0 | 60,0 | | 29,6 | |
| 4 | 18,2 | 4,2 | MSt 3b | 17,7 | Endquerschnitt 23,5 \square kein Anstieg |
| 4 | 17,8 | 4,1 | | 16,4 | |
| 4 | 139,0 | 32,0 | | 17,2 | |
| 4 | 140,0 | 32,3 | | 17,3 | |

Tabelle 11. (Forts.)

| Kaliber-Nr. | n U/min | $\dot{\varphi}_m$ s ⁻¹ | Werkstoff | P_{ges} t | Bemerkung |
|-------------|--------------|--------------------------------------|-----------|----------------|------------------|
| 4 | 18,2 | 4,2 | MK 73 | 16,2 | leichter Anstieg |
| 4 | 18,0 | 4,15 | | 15,0 | |
| 4 | 138,5 | 32,0 | | 17,3 | |
| 4 | 138,5 | 32,0 | | 16,5 | |
| 4 | 18,6 | 4,3 | 100 Cr 6 | 17,7 | kein Anstieg |
| 4 | 18,2 | 4,2 | | 17,5 | |
| 4 | 140,0 | 32,3 | | 17,4 | |
| 4 | 140,0 | 32,3 | | 16,9 | |

Tabelle 12. Einfluß der Walzgeschwindigkeit auf den Formänderungswiderstand, Reihe Quadrat-Raute (Ofentemperatur = 1200° C)

| Kaliber-Nr. | n U/min | $\dot{\varphi}_m$ s ⁻¹ | Werkstoff | Endtemperatur °C | k_w kg/mm ² | Bemerkung |
|-------------|--------------|--------------------------------------|-----------|------------------|-----------------------------|---------------|
| 3 | 18,7 | 2,97 | MSt 3b | 1175 | 10,8 | zeigt Anstieg |
| 3 | 18,6 | 22,6 | | 1161 | 10,5 | |
| 3 | 142,0 | | | — | 13,6 | |
| 3 | 142,0 | — | | — | 13,7 | |
| 3 | 18,8 | 3,0 | Mk 73 | 1170 | 9,18 | zeigt Anstieg |
| 3 | 18,8 | 22,8 | | 1154 | 8,62 | |
| 3 | 143,0 | | | 1187 | 11,9 | |
| 3 | 143,0 | — | | — | 11,0 | |
| 3 | 18,7 | 2,95 | 100 Cr 6 | 1170 | 8,1 | zeigt Anstieg |
| 3 | 18,4 | 22,8 | | — | 8,5 | |
| 3 | 143,0 | | | 1191 | 10,5 | |
| 3 | 143,0 | — | | — | 11,0 | |
| 4 | 18,0 | 2,67 | MSt 3b | 1149 | 13,2 | zeigt Anstieg |
| 4 | 18,8 | 20,5 | | — | 13,8 | |
| 4 | 140,0 | | | 1170 | 16,0 | |
| 4 | 143,0 | — | | — | 14,8 | |
| 4 | 19,2 | 2,76 | MK 73 | — | 10,2 | zeigt Anstieg |
| 4 | 18,8 | 20,5 | | — | 10,2 | |
| 4 | 140,0 | | | 1145 | 13,2 | |
| 4 | 142,0 | — | | — | 14,0 | |
| 4 | 142,0 | 20,6 | 100 Cr 6 | 1175 | 14,4 | |
| 4 | 142,0 | — | | — | 14,5 | |
| 3 | 19,0 | 2,67 | MSt 3b | — | 11,4 | zeigt Anstieg |
| 3 | 19,0 | 20,0 | | 1109 | 12,0 | |
| 3 | 142,0 | | | 1136 | 17,0 | |
| 3 | 142,0 | — | | — | 17,3 | |

Tabelle 12. (Forts.)

| Kaliber-Nr. | n U/min | $\dot{\varphi}_m$ s ⁻¹ | Werkstoff | Endtemperatur °C | k_w kg/mm ² | Bemerkung |
|-------------|--------------|--------------------------------------|-----------|------------------|-----------------------------|---------------|
| 3 | 19,2 | 2,67 | MK 73 | 1104 | 10,5 | zeigt Anstieg |
| 3 | 18,8 | | | 1104 | 10,3 | |
| 3 | 142,0 | 20,0 | | — | 14,0 | |
| 3 | 142,0 | | | 1143 | 14,1 | |
| 3 | 18,8 | 2,66 | 100 Cr 6 | — | 10,3 | zeigt Anstieg |
| 3 | 19,0 | | | — | 9,7 | |
| 3 | 142,0 | 20,0 | | 1135 | 14,3 | |
| 3 | 142,0 | | | 1135 | 14,2 | |
| 4 | 18,8 | 2,69 | MSt 3 b | 1086 | 10,8 | zeigt Anstieg |
| 4 | 19,4 | | | 1100 | 11,3 | |
| 4 | 140,0 | 19,7 | | 1140 | 14,3 | |
| 4 | 140,0 | | | 1122 | 15,2 | |
| 4 | 19,6 | 2,7 | MK 73 | 1071 | 10,2 | zeigt Anstieg |
| 4 | 18,8 | | | 1104 | 10,6 | |
| 4 | 142,0 | 20,0 | | — | 15,2 | |
| 4 | 142,0 | | | 1131 | 14,7 | |
| 4 | 19,2 | 2,7 | 100 Cr 6 | 1096 | 10,8 | zeigt Anstieg |
| 4 | 142,0 | 20,0 | | — | 13,9 | |
| 4 | 141,0 | | | — | 13,8 | |

Tabelle 13. Umrechnungsfaktoren für die Formänderungsfestigkeit

| Bild | Werkstoff | Temperat- uren °C | $\dot{\varphi}_m$ s ⁻¹ | k_f kg/mm ² | $\dot{\varphi}_m$ s ⁻¹ | k_f kg/mm ² | Umrechnungsfaktor für die | |
|------|--------------------------|-------------------------|--------------------------------------|-----------------------------|--------------------------------------|-----------------------------|------------------------------------|------------------------------|
| | | | | | | | ersten St. V = 0,5/ 0,75 m/s | letzten St. V = 30 m/s |
| 78 | 16 Mn Cr 5 | 1160 | 40/50 | 13 bis 14 | 600/800 | 22 bis 23 | — | 1,62/1,7 |
| | | 1100 | 4/6 | 10,5 bis 11 | 2/3 | 9,5 bis 10 | 0,9 | — |
| 79 | CK 45 | 900 | 40/50 | 25 bis 28 | 600/800 | 40 bis 42 | — | 1,5 |
| | | 1200 | 4/6 | 7 bis 8 | 2/3 | 6,5 bis 7 | 0,87/0,93 | — |
| 80 | C-Stahl m. 0,56 C | 900 | 40/50 | 25 bis 26 | 600/800 | 36 bis 38 | — | 1,42 |
| | | 1200 | 4/6 | 7,5 bis 8 | 2/3 | 6,5 bis 7 | 0,87 | — |
| 81 | Stahl ähnlich 65 Si 7 | 900 | 40/50 | 28 bis 29 | 600/800 | 38 bis 40 | — | 1,33/1,4 |
| | | 1200 | 4/6 | 7 bis 9 | 2/3 | 6,5 bis 8 | 0,89/0,93 | — |

grobe Schätzung anzusehen und müssen durch entsprechende Versuche bei hohen Walzgeschwindigkeiten nachgeprüft werden. Es ist anzunehmen, daß das Verhältnis k_f/k_w mit wachsender Walzgeschwindigkeit sinkt.

Vergleich zwischen Rechnung und Versuch

In den Bildern 85 bis 89 sind als Beispiel aus der großen Anzahl von Versuchen die nach dem SIEBELSchen Berechnungsverfahren ermittelten Formänderungswiderstände der Stähle MSt 3b und CK 45 für die Streckkaliberreihen Quadrat-Oval und Quadrat-Raute einander gegenübergestellt.

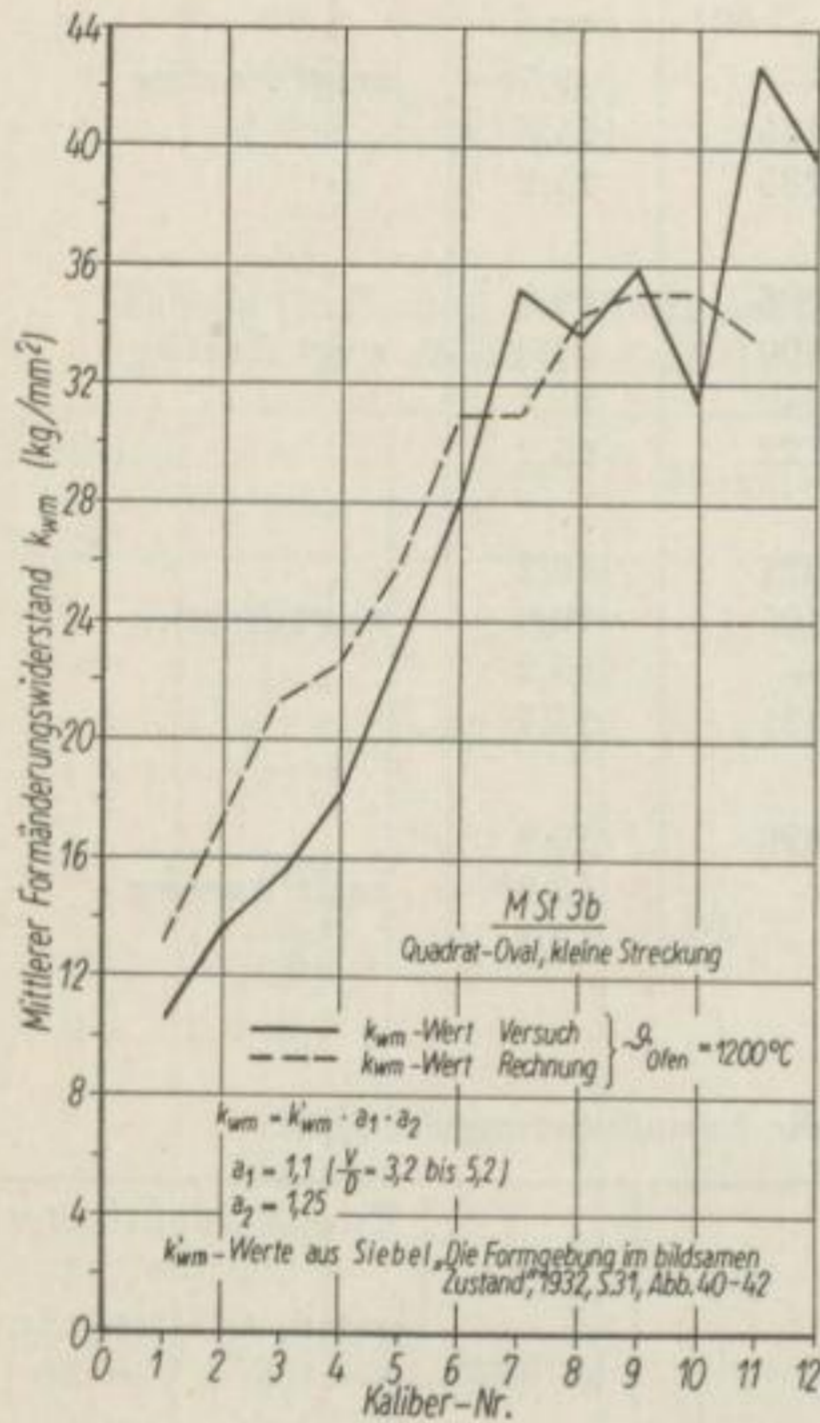


Bild 85

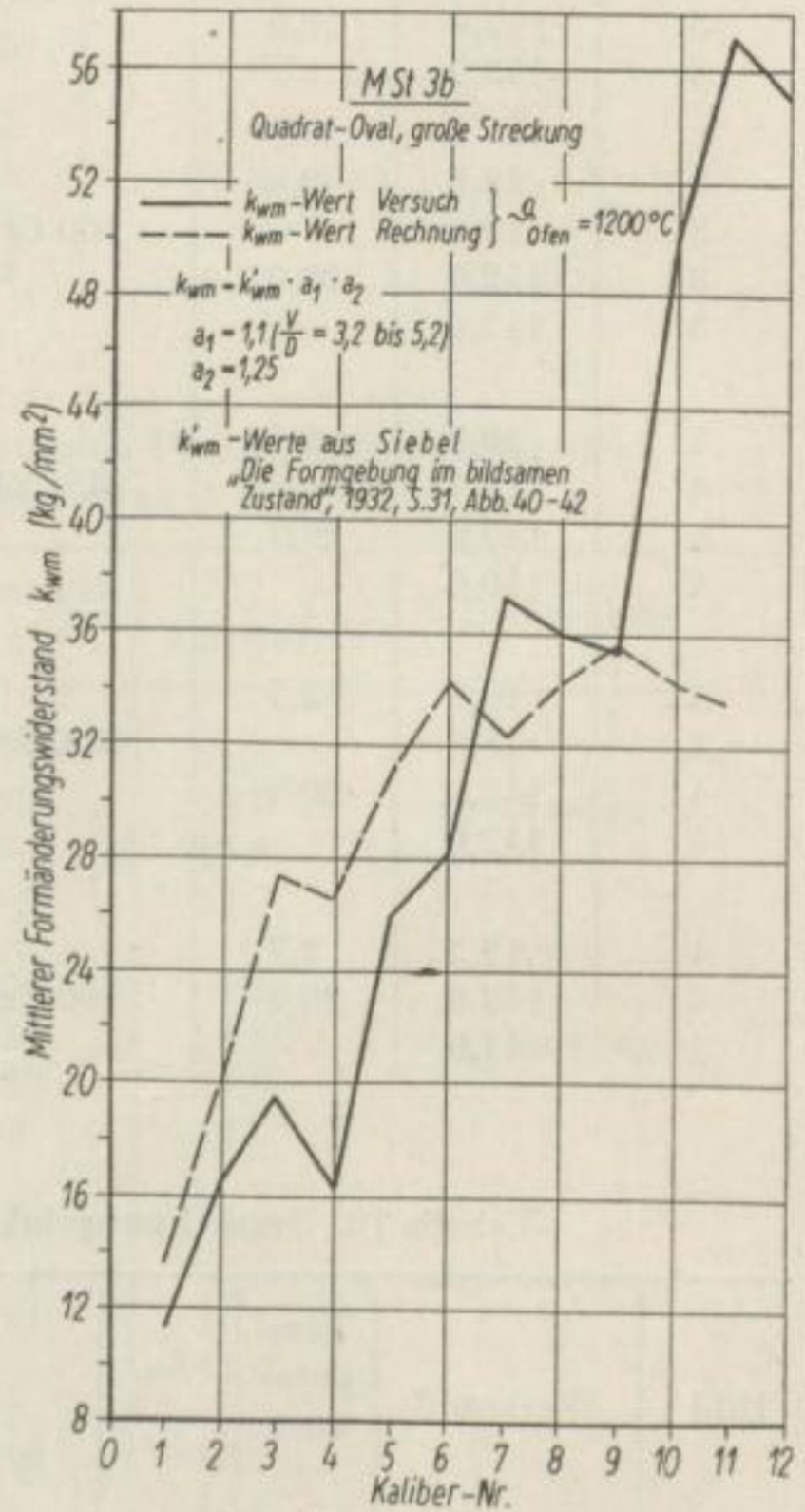


Bild 86

Vergleich der durch Versuche ermittelten Formänderungswiderstände mit den nach SIEBEL berechneten

Bei der Streckkaliberreihe Quadrat-Oval (Bilder 85, 86, 87) liegen die berechneten Werte in den ersten sechs Stichen zum Teil erheblich über den gemessenen. Qualitativ stimmt der Verlauf bis auf die letzten zwei Stiche befriedigend überein. Die Abweichung in den letzten beiden Stichen kann durch Temperatureinflüsse bedingt sein. Die überhöhten Rechnungswerte sind teilweise darauf zurückzuführen, daß den k'_{wm} -Werten die nach dem Stich gemessenen Temperaturen der Walzproben zugrunde gelegt wurden. Bei dem Rechenverfahren nach SIEBEL wurde ferner bei der Wahl des Beiwerts kein Unterschied zwischen Stichen Quadrat in Oval und Oval in Quadrat gemacht, wie

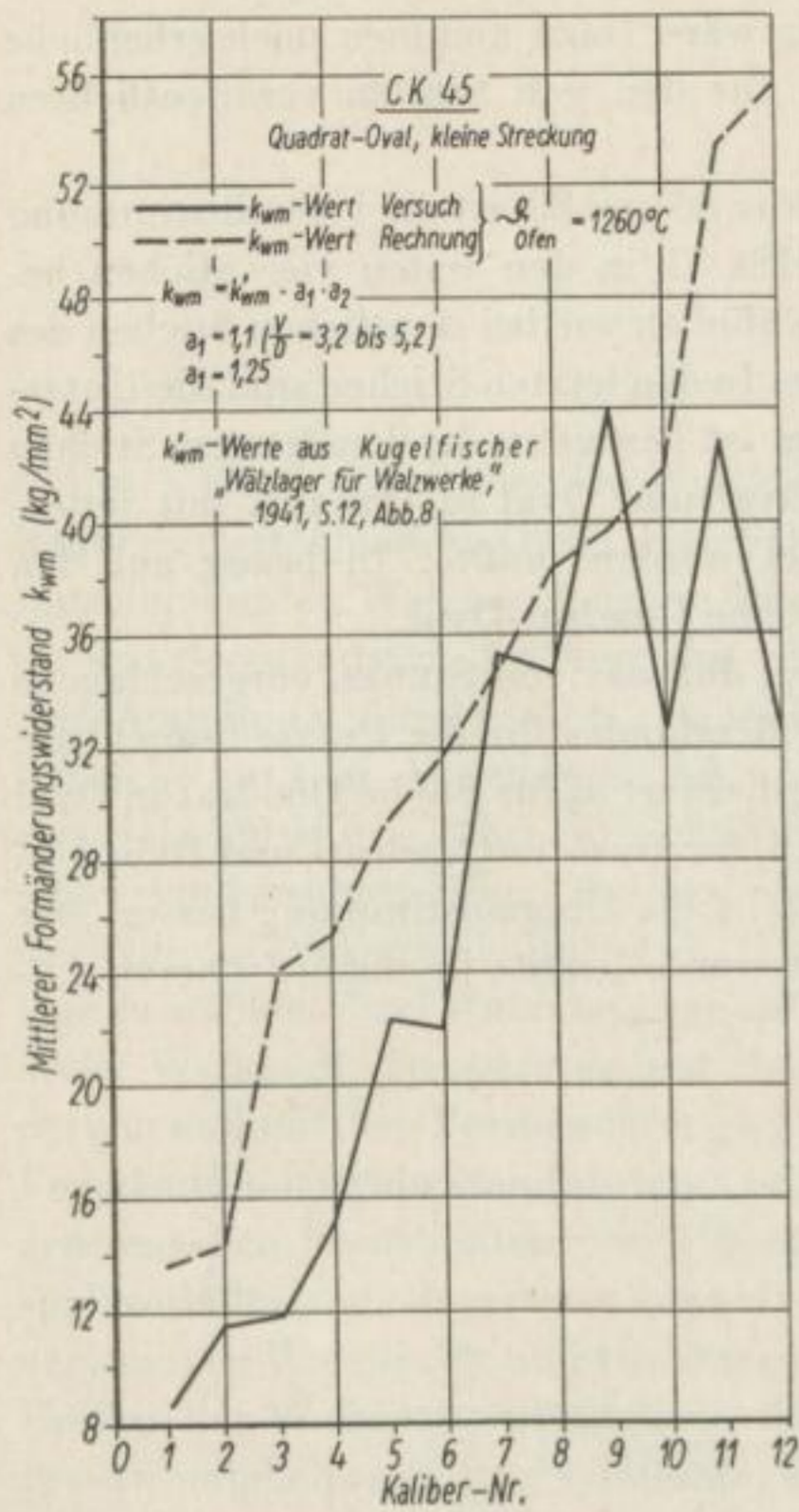


Bild 87. Vergleich der durch Versuche ermittelten Formänderungswiderstände mit den nach SIEBEL berechneten

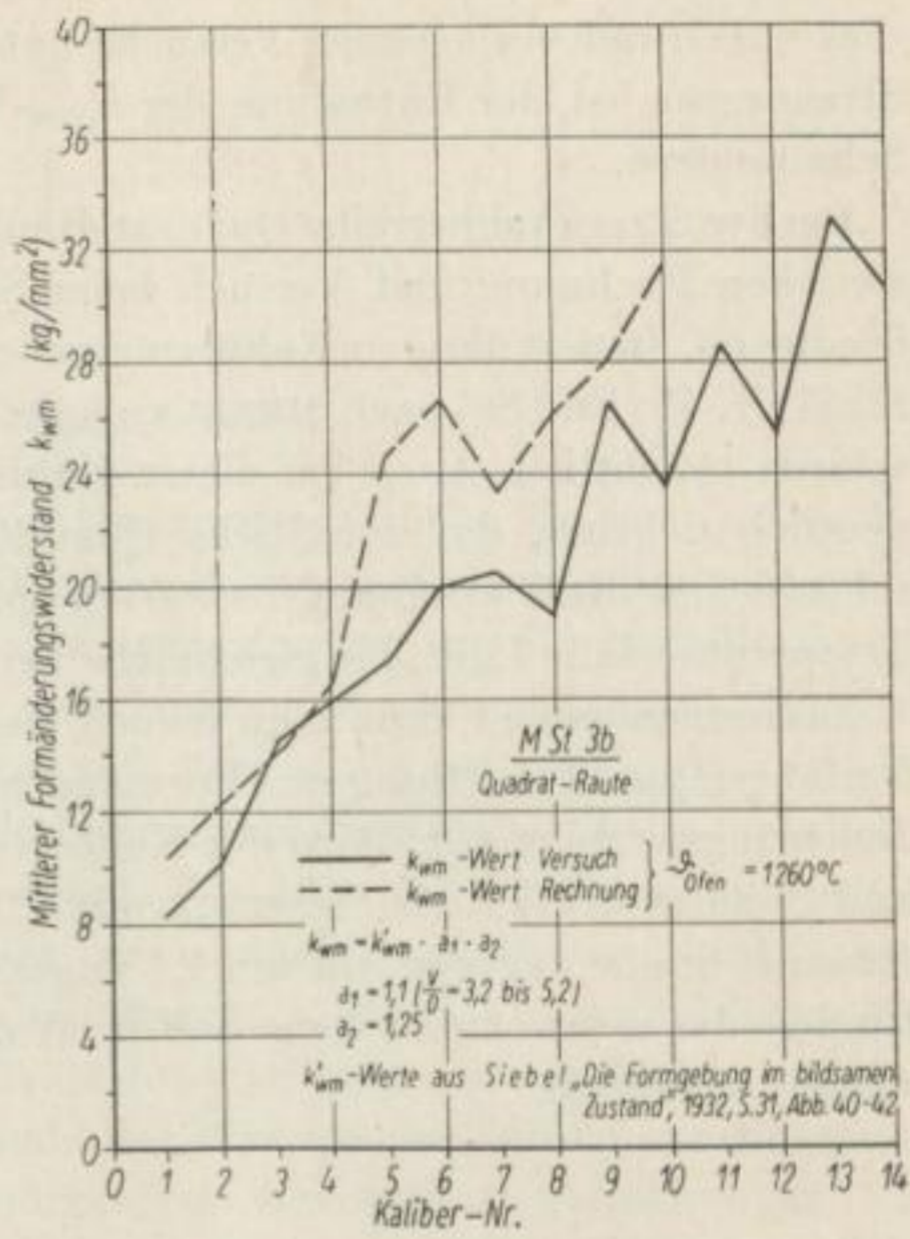


Bild 88

Bild 88. Vergleich der durch Versuche ermittelten Formänderungswiderstände mit den nach SIEBEL berechneten

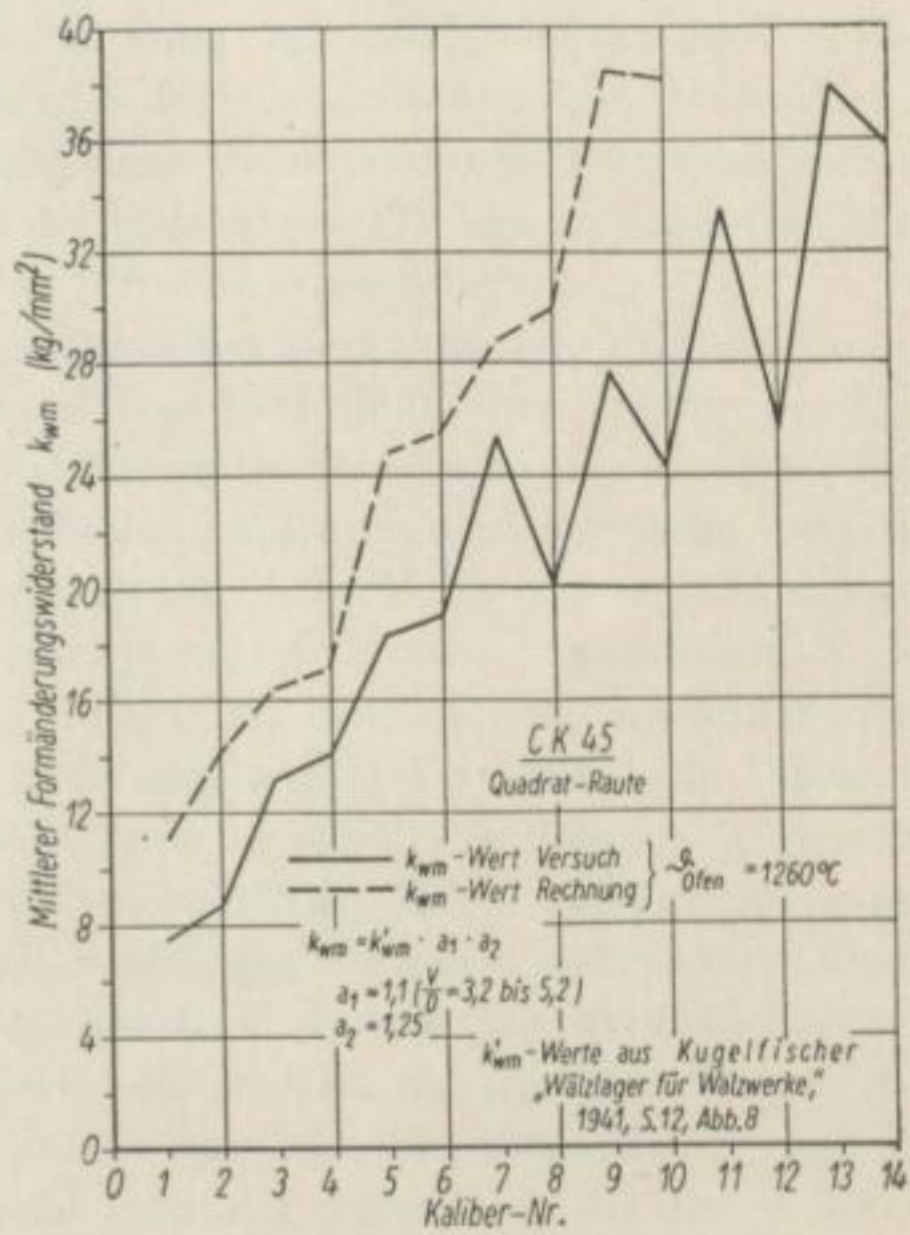


Bild 89

Bild 89. Vergleich der durch Versuche ermittelten Formänderungswiderstände mit den nach SIEBEL berechneten

dies auf Grund vorliegender Versuche notwendig wäre. Dazu kommen noch erhebliche Streuungen bei der Entnahme der k'_{wm} -Werte aus den von SIEBEL veröffentlichten Schaubildern.

Bei der Streckkaliberreihe Quadrat-Raute (Bilder 88 und 89) ist die Übereinstimmung zwischen Rechnung und Versuch beim Stahl MSt 3b in den ersten vier Stichen befriedigend. In den übrigen Kalibern ergeben sich ähnlich wie bei sämtlichen Stichen des Stahl CK 45 (Bild 89) nach SIEBEL zu hohe Werte. In den letzten Stichen sind die Unterschiede beachtlich. Auch bei dieser Kaliberreihe ist besonders in den letzten Stichen deutlich sichtbar, daß für Stiche Quadrat in Oval und Oval in Quadrat mit unterschiedlichen Kaliberreibungsbeiwerten gerechnet werden müßte. In bezug auf den Temperatureinfluß gilt das gleiche wie bei der Reihe Quadrat-Oval.

Zusammenfassend kann man jedoch feststellen, daß das von SIEBEL vorgeschlagene Verfahren zur Ermittlung des Formänderungswiderstandes für die Praxis brauchbare Näherungswerte ergibt. Wird der Kaliberreibungsbeiwert a_2 für Stiche Quadrat in Oval und Quadrat in Raute nach SIEBEL mit 1,2 bis 1,3, für Oval- in Quadrat- und Raute- in Quadrat-Stiche dagegen mit um 1,1 angesetzt, so ist die Übereinstimmung besser. Der Einfluß der gedrückten Fläche auf die Walzkraft wurde bereits in einem früheren Abschnitt behandelt.

ZUSAMMENFASSUNG

Um Verlauf und Größe der Walzkräfte und Drehmomente beim Walzen in Streckkaliberreihen Quadrat-Oval, Rund-Oval, Quadrat-Raute und Raute-Raute zu ermitteln, wurden Walzversuche am Versuchswalzgerüst des Instituts für Metallformung an der Bergakademie Freiberg mit Stählen verschiedener Zusammensetzung, Kupfer und Aluminium durchgeführt. Dabei erwies es sich vorerst als notwendig, durch Vorversuche mit Blei, Aluminium und niedriggekohltem Stahl auf der Flachbahn den allgemein als gültig angesehenen Einfluß des Dickenverhältnisses auf den Formänderungswiderstand zu überprüfen. Die Ergebnisse dieser Versuche zeigten, daß es zweckmäßig ist, an Stelle des Dickenverhältnisses h_1/D das Walzspaltverhältnis l_d/h_m als Vergleichsgrundlage zu wählen. Zwei Walzvorgänge auf der Flachbahn sind nur dann vergleichbar, wenn außer Werkstoff, Temperatur und Reibungszahl das Walzspaltverhältnis, die Formänderung und mittlere Formänderungsgeschwindigkeit im Walzspalt übereinstimmen. Der Formänderungswiderstand verläuft im Bereich von $\dot{\varphi}_m = 1 \text{ s}^{-1}$ bis 100 s^{-1} im doppelt logarithmischen Koordinatensystem geradlinig, wenn die Formänderung und das Walzspaltverhältnis als Parameter gewählt werden. Der Verlauf der bei den Hauptversuchen gemessenen Walzkräfte und Drehmomente läßt sich nur deuten, wenn man außer dem Einfluß des Walzspaltverhältnisses, der Formänderung und mittleren Formänderungsgeschwindigkeit sowie der Walztemperatur noch den der geometrischen Form des Anstichquerschnitts und des Kalibers auf den Formänderungswiderstand und Hebelarmbeiwert berücksichtigt. Ferner sind Form und Größe der gedrückten Flächen zu beachten. Zur Klärung dieser Zusammenhänge waren weitere Versuche notwendig.




Da die Walzendrehzahl des Versuchswalzgerüsts der Bergakademie Freiberg nicht über 150 U/min gesteigert werden kann, wurde auf Grund veröffentlichter Fließkurven bei höheren Temperaturen eine Abschätzung der Erhöhung des Formänderungswiderstandes bis zu Walzgeschwindigkeiten von 30 m/s vorgenommen. Durch diese Versuche wurden Unterlagen für die Praxis geschaffen, die es gestatten, die beim Walzen in Streckkaliberreihen auftretenden Walzkräfte und Drehmomente zu bestimmen. Verschiedene Probleme, wie z. B. der Einfluß hoher Walzgeschwindigkeiten, des Anstichquerschnitts und der Kaliberform konnten angeschnitten, aber nicht restlos geklärt werden, da die Vielzahl von Einflußgrößen die Deutung der Versuchsergebnisse erheblich erschwert. Aus diesem Grunde erscheint auch eine rechnerische Ermittlung von Walzkräften und Drehmomenten beim Walzen im Kaliber z. Z. wenig sinnvoll. Praktische Versuche, insbesondere über den Einfluß des Anstichquerschnitts und der Kaliberform, versprechen wesentlich mehr Erfolg, um günstigste Werte für die spezifische Walzarbeit zu erhalten. Ferner erscheint auch eine Überprüfung der Kaliberformen von Streckkaliberreihen bezüglich ihres Einflusses auf das Verhältnis Längung zu Breitung notwendig, da das Walzen in Streckkalibern einen hohen Aufwand an Formänderungsarbeit erfordert.

ANLAGEN

Beispiel für Meßergebnisse: **Rund-Oval**

Ausstichquerschnitt

$$F_0 = \frac{1963}{50 \varnothing} \text{ mm}^2$$

| Kaliber-Nr. | Stich-Nr. | Walzkraft links | Walzkraft rechts | Walzkraft gesamt | Drehmoment Oberwalze | Drehmoment Unterwalze | Drehmoment gesamt | |
|---|--|-----------------|------------------|------------------|----------------------|-----------------------|-------------------|------|
| | | P_{90} | P_{11} | P | M_{90} | M_{11} | M_g | |
| | | t | t | t | mkg | mkg | mkg | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | |
|  | 1 | 7,8 | 15,5 | 23,3 | 683 | 728 | 1411 | |
| | 2 | 8,0 | 16,2 | 24,2 | 667 | 786 | 1453 | |
| | 3 | 8,1 | 16,2 | 24,3 | 660 | 790 | 1450 | |
| | 4 | 8,4 | 18,0 | 26,4 | — | — | — | |
| | 6 | 9,0 | 18,1 | 27,1 | 684 | 944 | 1628 | |
| | 8 | 7,8 | 17,3 | 25,3 | 700 | 728 | 1428 | |
| |  | 5 | 7,8 | 11,0 | 18,8 | 668 | 650 | 1308 |
| | | 7 | 9,0 | 12,2 | 21,2 | 678 | 655 | 1333 |
| 9 | | 7,9 | 11,6 | 19,5 | 650 | 598 | 1248 | |
| 10 | | 7,6 | 11,0 | 18,6 | 582 | 575 | 1157 | |
| 12 | | 6,3 | 9,2 | 15,5 | 566 | 540 | 1106 | |
| 14 | | 7,0 | 11,0 | 18,0 | 600 | 568 | 1168 | |
|  | | 11 | 15,5 | 12,1 | 27,6 | 670 | 692 | 1362 |
| | | 13 | 12,2 | 10,8 | 23,0 | 530 | 650 | 1180 |
| | 15 | 14,5 | 11,9 | 26,4 | 635 | 655 | 1290 | |
| | 16 | 12,6 | 10,7 | 23,3 | 528 | 521 | 1049 | |
| | 18 | 12,2 | 9,8 | 22,0 | 670 | 567 | 1237 | |
| | 20 | 12,6 | 10,7 | 23,3 | 642 | 631 | 1273 | |




Ofentemperatur: 1260 °C Werkstoff: **MSt 3b** Reihe: 111 Anlage: 1 Blatt: 1

| Walzendrehzahl | Stichzeit | Drehwinkel | Walzarbeit | Spezifische Walzarbeit | Endquerschnitt | Ausgangslänge vor 1. Stich | Umgeformtes Volumen | Anstichtemperatur | Temperatur nach dem Stich | Walzzeit je Stich | Gesamtwalzzeit | Bemerkung |
|----------------|-----------|---------------------------------------|--------------------------|---------------------------------------|-----------------|----------------------------|---------------------|-------------------|---------------------------|-------------------|----------------|-----------|
| n | t_s | $\delta = \frac{\pi n}{30} \cdot t_s$ | $A_w = M_d \cdot \delta$ | $\alpha_w \cdot 10^3 = \frac{A_w}{V}$ | F | l_s | $V \cdot 10^{-3}$ | θ_A | θ_s | t_w | t_g | |
| U/min | s | ° | mkg | $\frac{\text{mkg}}{\text{mm}^3}$ | mm ² | mm | mm ³ | °C | °C | s | s | |
| 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 |
| 64,4 | 0,381 | 2,57 | 3630 | 3,70 | 1388 | 500 | 9,81 | 1220 | 1216 | | | |
| 64,4 | 0,394 | 2,66 | 3860 | 3,95 | 1391 | 500 | 9,81 | | 1211 | | | |
| 64,1 | 0,416 | 2,79 | 4055 | 4,14 | 1385 | 500 | 9,81 | | 1207 | | | |
| 64,3 | — | — | — | — | | | | | | | | |
| 64,4 | 0,274 | 1,85 | 3015 | 4,80 | | | | | | | | |
| 64,6 | 0,276 | 1,87 | 2665 | 4,25 | | | | | | | | |
| 64,4 | 0,334 | 2,25 | 2930 | 4,66 | 1123 | 320 | 6,28 | | 1156 | | | |
| 64,3 | 0,344 | 2,32 | 3090 | 4,91 | 1123 | 320 | 6,28 | | 1143 | | | |
| 64,4 | 0,343 | 2,32 | 2890 | 4,60 | 1132 | 320 | 6,28 | | 1143 | | | |
| 64,4 | 0,230 | 1,52 | 1760 | 4,07 | | | | | | | | |
| 63,9 | 0,227 | 1,52 | 1683 | 3,90 | | | | | | | | |
| 64,1 | 0,225 | 1,51 | 1765 | 4,09 | | | | | | | | |
| 64,0 | 0,321 | 2,16 | 2935 | 6,79 | 802 | 220 | 4,32 | 1230 | 1135 | | | |
| 64,2 | 0,318 | 2,14 | 2525 | 5,85 | 796 | 220 | 4,32 | | 1143 | | | |
| 64,4 | 0,310 | 2,09 | 2700 | 6,25 | 803 | 220 | 4,32 | | 1135 | | | |
| 64,2 | 0,254 | 1,71 | 1792 | 5,08 | | | | | | | | |
| 64,2 | 0,250 | 1,68 | 2085 | 5,91 | | | | | | | | |
| 64,2 | 0,249 | 1,68 | 2130 | 6,04 | | | | | | | | |

Beispiel für Messergebnisse: **Rund-Oval**

Anstichquerschnitt




$$F_a = \frac{1963}{50 \varnothing} \text{ mm}^2$$

| Kaliber-Nr. | Stich-Nr. | Walzkraft links | Walzkraft rechts | Walzkraft gesamt | Drehmoment Oberwalze | Drehmoment Unterwalze | Drehmoment gesamt |
|---|-----------|-----------------|------------------|------------------|----------------------|-----------------------|-------------------|
| | | P_{00} t | P_{11} t | P t | M_{00} mkg | M_{11} mkg | M_d mkg |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|  | 17 | 10,0 | 5,7 | 15,7 | 530 | 432 | 962 |
| | 19 | 10,0 | 4,9 | 14,9 | 506 | 425 | 931 |
| | 21 | 9,8 | 6,2 | 16,0 | 491 | 531 | 922 |
| | 22 | 9,6 | 4,7 | 14,3 | 450 | 416 | 866 |
| | 24 | 10,3 | 5,0 | 15,3 | 494 | 416 | 910 |
| | 26 | 10,9 | — | — | 506 | 415 | 921 |
|  | 23 | 19,9 | 7,7 | 27,6 | 500 | 522 | 1022 |
| | 25 | 18,7 | 6,4 | 25,1 | 513 | 512 | 1025 |
| | 27 | 21,2 | 7,3 | 28,5 | 600 | 510 | 1110 |
| | 28 | — | — | — | — | — | — |
| | 30 | 18,1 | 7,4 | 25,5 | 553 | 540 | 1093 |
| | 32 | 20,5 | 7,5 | 28,0 | 595 | 518 | 1113 |
| | 34 | 19,0 | 6,6 | 25,6 | 505 | 550 | 1055 |
| | 36 | 21,2 | 7,2 | 28,4 | 655 | 503 | 1158 |
|  | 29 | 15,7 | 3,8 | 19,5 | 556 | 392 | 948 |
| | 31 | 15,7 | 3,8 | 19,5 | 600 | 432 | 1032 |
| | 33 | 16,2 | 3,7 | 19,9 | 475 | 520 | 995 |
| | 35 | 13,3 | 3,4 | 16,7 | 458 | 442 | 900 |
| | 37 | 16,9 | 3,4 | 20,3 | 557 | 457 | 1014 |

Ofentemperatur: 1260 °C Werkstoff: **MSt 3b** Reihe: 111 Anlage: 1 Blatt: 2

| Walzendrehzahl | Stichzeit | Drehwinkel $\delta = \frac{\pi \cdot n}{30} \cdot t_s$ | Walzarbeit $A_w = M_d \cdot \delta$ | Spezifische Walzarbeit $a_w = \frac{A_w}{V}$ | Endquerschnitt | Ausgangslänge vor 1. Stieh | Ungelagertes Volumen | Anstichtemperatur | Temperatur nach dem Stieh | Walzzeit je Stieh | Gesamtwalzzeit | Bemerkung |
|----------------|------------|--|-------------------------------------|--|------------------------|----------------------------|--------------------------------------|-------------------|---------------------------|-------------------|----------------|-----------|
| n U/min | t_s s | δ | A_w mkg | $a_w \cdot 10^3$ mkg/mm ³ | F mm ² | l_0 mm | $V \cdot 10^{-3}$ mm ³ | θ_A °C | θ_s °C | t_w s | t_g s | |
| 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 |
| 63,8 | 0,318 | 2,13 | 2050 | 5,81 | 650 | 180 | 3,54 | | 1093 | | | |
| 64,0 | 0,309 | 2,08 | 1935 | 5,48 | 643 | 180 | 3,54 | | 1103 | | | |
| 64,0 | 0,301 | 2,02 | 1865 | 5,28 | 652 | 180 | 3,54 | | 1098 | | | |
| 63,8 | 0,263 | 1,76 | 1520 | 5,17 | | | | | | | | |
| 63,7 | 0,276 | 1,75 | 1592 | 5,41 | | | | | | | | |
| 63,6 | 0,266 | 1,74 | 1602 | 5,45 | | | | | | | | |
| 63,8 | 0,383 | 2,22 | 2265 | 7,70 | 490 | 150 | 2,94 | | 1065 | | | |
| 63,8 | 0,340 | 2,22 | 2275 | 7,75 | 489 | 150 | 2,94 | | 1060 | | | |
| 63,6 | 0,337 | 2,24 | 2490 | 8,46 | 502 | 150 | 2,94 | | 1060 | | | |
| 63,6 | 0,323 | 2,11 | 2310 | 7,85 | | | | | | | | |
| 63,8 | 0,318 | 2,13 | 2365 | 8,05 | | | | | | | | |
| 64,0 | 0,307 | 2,06 | 2175 | 7,40 | | | | | | | | |
| 63,8 | 0,302 | 2,02 | 2340 | 7,95 | | | | | | | | |
| 63,8 | 0,418 | 2,79 | 2645 | 9,00 | 397 | 150 | 2,94 | | 1016 | | | |
| 64,0 | 0,410 | 2,75 | 2840 | 9,66 | 398 | 150 | 2,94 | | 1010 | | | |
| 64,0 | 0,415 | 2,79 | 2760 | 9,38 | 402 | 150 | 2,94 | | | | | |
| 64,2 | 0,406 | 2,73 | 2460 | 8,37 | 397 | 150 | 2,94 | | 1028 | | | |
| 64,4 | 0,370 | 2,50 | 2535 | 8,63 | 405 | 150 | 3,94 | | 1010 | | | |

Beispiel für Meßergebnisse: **Rund-Oval**

| Anstichquerschnitt $F_d = 506 \text{ mm}^2$ | Katzen-Nr. | Stich-Nr. | Walzkraft links | Walzkraft rechts | Walzkraft gesamt | Drehmoment Oberwalze | Drehmoment Unterwalze | Drehmoment gesamt | | |
|---|------------|--|-----------------|------------------|------------------|-------------------------|--------------------------|----------------------|-----|-----|
| | | | P_{kl} | P_{kr} | P | M_{ob} | M_{un} | M_g | | |
| | | | t | t | t | mkg | mkg | mkg | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | | |
|  | 7 | 1 | 5,3 | 13,8 | 18,1 | 316 | 262 | 578 | | |
| | | 2 | 5,3 | 14,8 | 19,1 | 346 | 264 | 610 | | |
| | | 3 | 4,5 | 14,4 | 18,9 | 306 | 282 | 588 | | |
| | | 4 | 5,3 | 15,8 | 20,1 | 316 | 274 | 590 | | |
| | | 5 | 4,0 | 15,4 | 19,4 | 306 | 273 | 579 | | |
| | | 6 | 4,8 | 15,1 | 19,9 | 312 | 266 | 578 | | |
| | |  | 8 | 4 | 4,0 | 6,9 | 10,9 | 212 | 220 | 432 |
| | | | | 6 | 5,2 | 6,9 | 11,1 | 204 | 205 | 409 |
| | | | | 8 | 3,9 | 7,6 | 11,5 | 218 | 198 | 416 |
| | | | | 11 | 3,4 | 6,4 | 9,8 | 176 | 190 | 366 |
| 13 | 3,4 | | | 6,9 | 10,3 | 176 | 198 | 374 | | |
| 16 | 3,6 | | | 6,9 | 10,5 | 174 | 196 | 370 | | |
|  | 9 | 9 | 8,2 | 8,8 | 17,0 | 226 | 206 | 432 | | |
| | | 12 | 7,5 | 7,7 | 15,2 | 206 | 200 | 406 | | |
| | | 14 | 7,8 | 8,0 | 15,8 | 182 | 204 | 386 | | |
| | | 17 | 7,2 | 8,0 | 15,2 | 206 | 205 | 411 | | |
| | | 19 | 7,6 | 8,0 | 15,6 | 154 | 183 | 337 | | |
| | | 22 | 6,7 | 7,5 | 14,2 | 148 | 182 | 330 | | |

Ofentemperatur: 1070 °C Werkstoff: **MSt 3b** Reihe: 111 Anlage: 1 Blatt: 3

| Walzenfrequenz | Stichzeit | Drehwinkel $\delta = \frac{\pi n}{90} \cdot t_s$ | Walzarbeit $A_w = M_d \cdot \delta$ | Spezifische Walzarbeit $a_w = \frac{A_w}{V}$ | Endquerschnitt | Ausgangslänge vor 1. Stich | Ungelagertes Volumen | Anstich- temperatur | Temperatur nach dem Stich | Walzzeit je Stich | Gesamtwalzzeit | Bemerkung |
|----------------|-----------|---|--|---|-----------------|-------------------------------|-------------------------|------------------------|------------------------------|-------------------|----------------|-----------|
| n | t_s | δ | A_w | $a_w \cdot 10^3$ | F | l_s | $V \cdot 10^{-3}$ | θ_A | θ_s | t_w | t_g | |
| U/min | s | ° | mkg | $\frac{\text{mkg}}{\text{mm}^3}$ | mm ² | mm | mm ³ | °C | °C | s | s | |
| 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 |
| 79,6 | 0,464 | 3,88 | 2242 | 9,50 | 292 | 608 | 2,47 | 1050 | 1034 | | | |
| 79,6 | 0,464 | 3,88 | 2366 | 9,58 | 298 | 608 | 2,47 | | 1040 | | | |
| 80,2 | 0,369 | 3,11 | 1829 | 9,98 | | | | | | | | |
| 79,6 | 0,369 | 3,08 | 1812 | 9,93 | | | | | | | | |
| 79,6 | 0,310 | 2,59 | 1500 | 9,12 | | | | | | | | |
| 79,6 | 0,326 | 2,72 | 1572 | 9,82 | | | | | | | | |
| 80,0 | 0,452 | 3,80 | 1642 | 8,97 | 256 | 450 | 1,83 | | 970 | | | |
| 79,6 | 0,445 | 3,72 | 1521 | 8,31 | 245 | 450 | 1,83 | | 982 | | | |
| 79,8 | 0,384 | 3,22 | 1340 | 8,14 | | | | | | | | |
| 79,8 | — | — | — | — | | | | | | | | |
| 80,2 | 0,349 | 2,94 | 1100 | 7,64 | | | | | | | | |
| 80,2 | 0,368 | 3,10 | 1147 | 7,96 | | | | | | | | |
| 79,6 | — | — | — | — | 200 | 405 | 1,65 | 1060 | 978 | | | |
| 79,8 | 0,448 | 3,75 | 1523 | 9,52 | 206 | 395 | 1,60 | | 970 | | | |
| 79,8 | 0,393 | 3,20 | 1270 | 8,82 | | | | | | | | |
| 80,0 | 0,391 | 3,28 | 1358 | 9,36 | | | | | | | | |
| 80,0 | 0,272 | 2,28 | 768 | 7,52 | | | | | | | | |
| 80,0 | 0,267 | 2,24 | 739 | 7,46 | | | | | | | | |



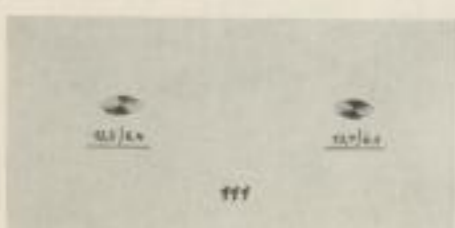
Beispiel für Meßergebnisse: **Rund-Oval**

| Anstichquerschnitt $F_0 = 506 \text{ mm}^2$ | | Kaliber-Nr. | Stich-Nr. | Walzkraft links | Walzkraft rechts | Walzkraft gesamt | Drehmoment Oberwalze | Drehmoment Unterwalze | Drehmoment gesamt | |
|--|------|-------------|-----------|-----------------|------------------|------------------|----------------------|-----------------------|-------------------|-----|
| | | | | P_{ml} | P_{mr} | P | M_{do} | M_{du} | M_d | |
| | | t | t | t | mkp | mkp | mkp | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | | | |
| | | 10 | 15 | 8,4 | 5,1 | 13,5 | 138 | 182 | 320 | |
| | | | 18 | 7,8 | 4,5 | 12,3 | 154 | 176 | 330 | |
| | | | 20 | 8,1 | 4,8 | 12,9 | 154 | 162 | 316 | |
| | | | 23 | 7,9 | 4,8 | 12,7 | 120 | 168 | 288 | |
| | | | 25 | 7,8 | 5,4 | 13,2 | 150 | 155 | 295 | |
| | | | 28 | 7,9 | 4,4 | 12,3 | 164 | 150 | 294 | |
| | | | | | 11 | 21 | 10,0 | 4,8 | 14,8 | 112 |
| 24 | 9,5 | 4,8 | | | | 14,3 | 130 | 134 | 264 | |
| 26 | 10,6 | 5,0 | | | | 15,6 | 124 | 150 | 264 | |
| 29 | 9,4 | 4,5 | | | | 13,9 | 152 | 134 | 276 | |
| 31 | 10,0 | 4,6 | | | | 14,6 | 150 | 119 | 259 | |
| 33 | 9,0 | 4,7 | | | | 13,7 | 138 | 126 | 264 | |
| 35 | 9,0 | 4,6 | | | | 13,6 | 128 | 120 | 258 | |
| | | 12 | 27 | 6,3 | 2,8 | 9,1 | 98 | 100 | 198 | |
| | | | 30 | 5,2 | 2,5 | 7,7 | 108 | 99 | 207 | |
| | | | 32 | 5,0 | 2,5 | 7,5 | 86 | 98 | 184 | |
| | | | 34 | 6,3 | 2,2 | 8,5 | 92 | 104 | 196 | |
| | | | 36 | 6,0 | 2,5 | 8,5 | 92 | 92 | 184 | |
| | | | 37 | 7,2 | 2,9 | 10,1 | 106 | 126 | 232 | |
| | | | | | | | | | | |

Ofentemperatur: 1070 °C Werkstoff: **MSt 3b** Reihe: 111 Anlage: 1 Blatt: 4

| Walzendrehzahl | Stichzeit | Drehwinkel | Walzarbeit | Spezifische Walzarbeit | Endquerschnitt | Ausgangslänge vor 1. Stich | Umgeformtes Volumen | Anstichtemperatur | Temperatur nach dem Stich | Walzzeit je Stich | Gesamtwalzzeit | Bemerkung |
|----------------|-----------|------------|------------|----------------------------------|-----------------|----------------------------|---------------------|-------------------|---------------------------|-------------------|----------------|-----------|
| n | t_s | δ | A_w | $a_w \cdot 10^3$ | F | l_0 | $V \cdot 10^{-3}$ | θ_s | θ_e | t_w | t_g | |
| U/min | s | ° | mkp | $\frac{\text{mkp}}{\text{mm}^2}$ | mm ² | mm | mm ³ | °C | °C | s | s | |
| 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 |
| 79,8 | — | — | — | — | 163 | 355 | 1,44 | | 944 | | | |
| 80,0 | 0,473 | 3,97 | 1640 | 11,40 | 160 | 355 | 1,44 | | 958 | | | |
| 80,0 | 0,363 | 2,88 | 910 | 8,90 | | | | | | | | |
| 79,8 | 0,315 | 2,64 | 760 | 7,74 | | | | | | | | |
| 79,8 | 0,250 | 2,09 | 617 | 8,50 | | | | | | | | |
| 80,0 | 0,250 | 2,00 | 608 | 8,30 | | | | | | | | |
| 79,8 | 0,431 | 3,61 | 917 | 8,95 | 125 | 252 | 1,02 | | 900 | | | |
| 79,8 | 0,398 | 3,33 | 879 | 8,95 | 132 | 242 | 0,98 | | 916 | | | |
| 79,8 | 0,295 | 2,47 | 652 | 8,85 | | | | | | | | |
| 80,0 | 0,315 | 2,52 | 696 | 9,45 | | | | | | | | |
| 80,0 | 0,326 | 2,74 | 710 | 9,57 | | | | | | | | |
| 80,0 | — | — | — | — | | | | | | | | |
| 80,0 | 0,320 | 2,69 | 667 | 9,00 | | | | | | | | |
| 80,0 | 0,348 | 2,92 | 578 | 7,86 | 114 | 181 | 0,74 | 1055 | 870 | | | |
| 80,0 | 0,369 | 3,10 | 642 | 8,72 | 109 | 181 | 0,74 | | 894 | | | |
| 80,2 | 0,369 | 3,11 | 572 | 7,72 | 112 | 183 | 0,74 | | 900 | | | |
| 80,2 | 0,358 | 3,01 | 590 | 8,03 | 116 | 181 | 0,74 | | 886 | | | |
| 80,2 | 0,358 | 3,01 | 554 | 7,47 | 116 | 183 | 0,74 | | 910 | | | |
| 80,2 | 0,380 | 3,20 | 742 | 9,00 | 118 | 203 | 0,83 | | 870 | | | |
| | | | | | | | | | | | | |

Beispiel für Meßergebnisse: **Rund-Oval**

| Anstichquerschnitt $F_d = 115 \text{ mm}^2$ | Kaliber-Nr. | Stück-Nr. | Walzkraft links | Walzkraft rechts | Walzkraft gesamt | Drehmoment Oberwalze | Drehmoment Unterwalze | Drehmoment gesamt | | |
|---|-------------|--|-----------------|------------------|------------------|-------------------------|--------------------------|----------------------|----|-----|
| | | | P_{00} | P_{11} | P | M_{00} | M_{11} | M_d | | |
| | | | t | t | t | mkg | mkg | mkg | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | | |
|  | 13 | 1 | 2,8 | 7,0 | 9,8 | 80 | 90 | 170 | | |
| | | 2 | 2,5 | 7,3 | 9,8 | 88 | 83 | 171 | | |
| | | 3 | 2,5 | 7,2 | 9,7 | 85 | 80 | 165 | | |
| | | 4 | 3,1 | 7,7 | 10,8 | 94 | 86 | 180 | | |
| | | 7 | 2,8 | 7,6 | 10,4 | 96 | 111 | 207 | | |
| | | 10 | 2,5 | 7,7 | 10,2 | 92 | 85 | 177 | | |
| | |  | 14 | 4 | 2,8 | 5,5 | 8,3 | 95 | 77 | 172 |
| | | | | 6 | 3,3 | 5,8 | 9,1 | 96 | 99 | 195 |
| | | | | 8 | 2,8 | 5,2 | 8,0 | 98 | 85 | 183 |
| | | | | 11 | 3,4 | 5,4 | 8,8 | 95 | 80 | 175 |
| 13 | 3,7 | | | 5,7 | 9,4 | 92 | 88 | 180 | | |
| 16 | 3,1 | | | 5,3 | 8,4 | 96 | 80 | 176 | | |
|  | 15 | | | 9 | 5,5 | 5,3 | 10,8 | 85 | 83 | 168 |
| | | 12 | 6,4 | 4,9 | 11,3 | 82 | 77 | 179 | | |
| | | 14 | 6,6 | 4,9 | 11,5 | 98 | 78 | 176 | | |
| | | 17 | 5,6 | 5,3 | 10,9 | 89 | 80 | 169 | | |
| | | 19 | 6,0 | 5,1 | 11,1 | 75 | 96 | 171 | | |
| | | 22 | 5,6 | 5,5 | 11,1 | 84 | 77 | 161 | | |

Ofentemperatur: 930 °C

Werkstoff: **MSt 3b**

Reihe: 111

Anlage: 1

Blatt: 5

| Walzendrehzahl | Stückzeit | Drehwinkel $\delta = \frac{\pi n}{30} \cdot t_s$ | Walzarbeit $A_w = M_d \cdot \delta$ | Spezifische Walzarbeit $\sigma_w = \frac{A_w}{V}$ | Endquerschnitt | Ausgangslänge vor 1. Stieh | Umgeformtes Volumen | Anstich- temperatur | Temperatur nach dem Stieh | Walzzeit je Stieh | Gesamtwalzzeit | Bemerkung |
|----------------|-----------|---|--|--|-----------------|-------------------------------|------------------------|------------------------|------------------------------|-------------------|----------------|-----------|
| n | t_s | δ | A_w | $\sigma_w \cdot 10^3$ | F | l_e | $V \cdot 10^{-3}$ | θ_1 | θ_2 | t_w | t_g | |
| U/min | s | ° | mkg | mkg/mm ³ | mm ² | mm | mm ³ | °C | °C | s | s | |
| 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 |
| 100 | 0,359 | 3,78 | 642 | 11,3 | 87 | 500 | 0,57 | 953 | 940 | | | |
| 100 | 0,366 | 3,83 | 655 | 11,5 | 90 | 500 | 0,57 | | 940 | | | |
| 100 | 0,282 | 2,95 | 486 | 10,7 | | | | | | | | |
| 100 | 0,286 | 2,99 | 538 | 11,8 | | | | | | | | |
| 100 | 0,253 | 2,65 | 549 | 13,7 | | | | | | | | |
| 101 | 0,232 | 2,66 | 470 | 11,7 | | | | | | | | |
| 100 | 0,344 | 3,60 | 619 | 13,6 | 74 | 400 | 0,46 | | 894 | | | |
| 100 | 0,341 | 3,57 | 696 | 15,3 | 77 | 400 | 0,46 | | | | | |
| 101 | 0,299 | 3,16 | 578 | 14,4 | | | | | | | | |
| 102 | 0,315 | 3,47 | 606 | 15,1 | | | | | | 4,80 | | |
| 102 | 0,272 | 2,91 | 524 | 15,2 | | | | | | | | |
| 102 | 0,267 | 2,85 | 501 | 14,6 | | | | | | | | |
| 101 | 0,376 | 3,97 | 666 | 16,6 | 58 | 351 | 0,40 | | 805 | | | |
| 102 | 0,370 | 3,96 | 708 | 17,7 | 62 | 351 | 0,40 | | 832 | | | |
| 102 | 0,339 | 3,62 | 636 | 18,5 | | | | | | 4,80 | | |
| 102 | 0,333 | 3,56 | 602 | 17,5 | | | | | | | | |
| 102 | 0,272 | 2,91 | 497 | 17,4 | | | | | | | | |
| 102 | 0,274 | 2,93 | 472 | 16,6 | | | | | | | | |

Beispiel für Meßergebnisse: **Rund-Oval**

| Anstichquerschnitt $F_d = 115 \text{ mm}^2$ | Kaliber-Nr. | Stich-Nr. | Walzkraft links | Walzkraft rechts | Walzkraft gesamt | Drehmoment Oberwalze | Drehmoment Unterwalze | Drehmoment gesamt |
|--|-------------|-----------|-----------------|------------------|------------------|----------------------|-----------------------|-------------------|
| | | | P_{wl} | P_{wr} | P | M_{d0} | M_{d4} | M_d |
| | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | mkg | mkg | mkg |
| | 16 | 15 | 5,0 | 2,0 | 6,0 | 73 | 70 | 143 |
| | | 18 | 5,3 | 2,1 | 6,4 | 76 | 75 | 151 |
| | | 20 | 3,7 | 2,9 | 5,6 | 64 | 72 | 136 |
| | | 23 | 5,3 | 2,1 | 6,4 | 59 | 72 | 131 |
| | | 25 | 3,9 | 2,1 | 6,0 | 74 | 66 | 140 |
| | | 28 | 5,2 | 1,9 | 6,1 | 80 | 73 | 153 |
| | | 31 | 5,0 | 2,9 | 6,9 | 76 | 70 | 146 |
| | 17 | 24 | 5,1 | 2,1 | 7,2 | 69 | 62 | 131 |
| | | 25 | 5,7 | 2,1 | 7,8 | 64 | 63 | 127 |
| | | 26 | 5,7 | 1,7 | 7,4 | 77 | 69 | 146 |
| | | 29 | 5,8 | 2,1 | 6,9 | 78 | 77 | 155 |
| | | 32 | 5,9 | 2,6 | 7,5 | 80 | 67 | 147 |
| | 18 | 27 | 3,7 | 0,8 | 4,5 | 51 | 54 | 105 |
| | | 30 | 3,1 | 1,7 | 4,8 | 55 | 36 | 91 |
| | | 33 | 4,2 | 1,7 | 5,9 | 50 | 72 | 122 |

Ofentemperatur: 930 °C Werkstoff: **MSt 3b** Reihe: 114 Anlage: 1 Blatt: 6

| Walzendrehzahl | Stichzeit | Drehwinkel $\delta = \frac{\pi \cdot n}{30} \cdot t_s$ | Walzarbeit $A_w = M_d \cdot \delta$ | Spezifische Walzarbeit $a_w = \frac{A_w}{V}$ | Endquerschnitt | Ausgangslänge vor 1. Stich | Umgeformtes Volumen | Anstichtemperatur | Temperatur nach dem Stich | Walzzeit je Stück | Gesamtwalzeit | Bemerkung |
|----------------|-----------|---|--|---|-----------------|----------------------------|---------------------|-------------------|---------------------------|-------------------|---------------|-----------|
| n | t_s | δ | A_w | $a_w \cdot 10^3$ | F | l_0 | $V \cdot 10^{-4}$ | θ_d | θ_s | t_w | t_g | |
| U/min | s | ° | mkg | $\frac{\text{mkg}}{\text{mm}^3}$ | mm ² | mm | mm ³ | °C | °C | s | s | |
| 102 | 0,505 | 4,32 | 618 | 18,0 | 49 | 302 | 0,34 | 953 | 775 | | | |
| 102 | 0,500 | 4,27 | 655 | 18,8 | 51 | 302 | 0,34 | | 765 | | | |
| 102 | 0,320 | 3,52 | 582 | 16,9 | | | | | | | | |
| 102 | 0,326 | 3,48 | 456 | 16,0 | | | | | | | | |
| 102 | 0,204 | 2,18 | 305 | 12,2 | | | | | | | | |
| 103 | 0,200 | 2,16 | 331 | 13,5 | | | | | | | | |
| 103 | 0,178 | 1,92 | 280 | 16,3 | | | | | | 3,60 | | |
| 102 | 0,381 | 4,07 | 533 | 18,7 | 41 | 250 | 0,29 | | — | | | |
| 102 | 0,380 | 4,06 | 516 | 18,1 | 42 | 250 | 0,29 | | — | | | |
| 102 | 0,268 | 2,65 | 387 | 15,4 | | | | | | | | |
| 103 | 0,226 | 2,54 | 378 | 15,4 | | | | | | | | |
| 103 | 0,222 | 2,50 | 353 | 20,6 | | | | | | 6,00 | | |
| 102 | 0,281 | 3,00 | 315 | 12,5 | 36 | 220 | 0,25 | | — | | | |
| 103 | 0,265 | 2,86 | 260 | 10,6 | 35 | 215 | 0,24 | | — | | | |
| 103 | 0,254 | 2,74 | 334 | 19,5 | 38 | 150 | 0,17 | | — | 6,00 | | |

Beispiel für Rechnungsergebnisse: **Rund-Oval**

| Kaliber-Nr. | Walzkraft (Mittelwert) P t | Drehmoment (Mittelwert) M_d mkp | Spez. Walzarbeit (Mittelwert) $a_w \cdot 10^9$ mkp/mm ² | Hebelarm $a = \frac{M_d}{P}$ mm | Hebelarm- verhältnis a/d | Mitdl. Querschnitt F mm ² | Streckung je Strich $\lambda_{St} = \frac{R_0}{R_{n+1}}$ λ_{Stich} | Gesamtstreckung $\lambda_{Ges} = \frac{F_0}{F_n}$ λ_{Ges} | log. Streckung in λ_{Stich} ψ | Mittlere Ausgangshöhe h_{0m} mm | Mittlere Endhöhe h_{1m} mm |
|-------------|---------------------------------------|--|---|---------------------------------------|----------------------------------|--|--|---|--|--|------------------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| 1 | 25,0 | 1480 | 6,0 | 29,6 | 0,475 | 1388 | 1,51 | 1,41 | 0,350 | 39,3 | 25,3 |
| 2 | 18,6 | 1220 | 4,4 | 32,6 | 513 | 1126 | 1,23 | 1,74 | 207 | 63,8 | 30,0 |
| 3 | 24,6 | 1235 | 6,0 | 25,6 | 450 | 801 | 1,44 | 2,45 | 343 | 30,0 | 16,8 |
| 4 | 15,3 | 919 | 5,4 | 30,2 | 473 | 648 | 1,24 | 3,03 | 215 | 35,9 | 22,8 |
| 5 | 26,9 | 1083 | 7,9 | 20,1 | 395 | 494 | 1,32 | 3,98 | 278 | 22,8 | 12,7 |
| 6 | 19,2 | 978 | 9,0 | 25,5 | 0,416 | 400 | 1,24 | 4,91 | 0,215 | 29,2 | 17,9 |
| 7 | 19,3 | 592 | 9,6 | 15,4 | 384 | 295 | 1,38 | 6,65 | 320 | 17,9 | 9,9 |
| 8 | 10,7 | 394 | 8,2 | 18,4 | 410 | 245 | 1,20 | 8,01 | 184 | 22,1 | 13,9 |
| 9 | 15,5 | 384 | 8,5 | 12,4 | 359 | 203 | 1,21 | 9,67 | 185 | 13,9 | 8,3 |
| 10 | 12,8 | 309 | 8,9 | 12,0 | 390 | 162 | 1,25 | 12,1 | 223 | 18,0 | 11,3 |
| 11 | 14,4 | 261 | 9,2 | 9,1 | 320 | 128 | 1,27 | 15,4 | 240 | 11,3 | 6,6 |
| 12 | 8,6 | 200 | 8,1 | 11,6 | 0,328 | 114 | 1,12 | 17,2 | 0,113 | 13,0 | 9,5 |
| 13 | 10,1 | 179 | 11,8 | 8,9 | 368 | 89 | 1,30 | 21,2 | 262 | 9,5 | 5,4 |
| 14 | 8,7 | 180 | 14,7 | 10,4 | 330 | 76 | 1,17 | 26,0 | 157 | 11,3 | 8,1 |
| 15 | 11,1 | 171 | 17,4 | 7,7 | 354 | 60 | 1,26 | 32,7 | 231 | 8,1 | 5,0 |
| 16 | 6,2 | 144 | 16,0 | 11,6 | 415 | 50 | 1,30 | 39,2 | 182 | 9,5 | 6,4 |
| 17 | 7,4 | 141 | 17,6 | 9,5 | 517 | 42 | 1,21 | 47,3 | 191 | 6,4 | 3,8 |
| 18 | 5,1 | 106 | 14,2 | 10,4 | 0,423 | 36 | 1,15 | 56,5 | 0,140 | 7,5 | 5,3 |

Werkstoff: **MS 3b**

Reihe: 111

Anlage: 1

Blatt: 7

| Höhenverhältnis $\frac{h_{1m}}{h_{0m}}$ | Hauptform- änderung $\psi_n = \ln \frac{h_{0n}}{h_{1n}}$ | Bezugs- mittlere Formänderung $\epsilon = \frac{h_{0m} - h_{1m}}{h_{0m}} \cdot 100$ % | Mittlere Form- änderungsgeschw. $\dot{\psi} = \frac{\psi_n}{t_n} \cdot \psi_n$ s ⁻¹ | Gedrückte Fläche F_d mm ² | Formänderungs- widerstand $k_w = P/F_d$ kg/mm ² | Formänderungs- widerstand $K_w = 1000 \frac{h_0}{h_1} k_w$ kg/mm ² | Formänderungs- widerstands- verhältnis k_w/K_w | Bemerkung |
|--|--|--|---|--|---|--|---|-----------|
| 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 |
| 1,61 | 0,476 | 38,1 | 10,8 | 2692 | 9,3 | 8,4 | 1,10 | |
| 1,46 | 378 | 31,5 | 8,3 | 1653 | 11,3 | 11,6 | 0,97 | |
| 1,78 | 576 | 43,8 | 14,3 | 2059 | 12,0 | 10,4 | 1,15 | |
| 1,58 | 457 | 36,5 | 10,3 | 1204 | 12,7 | 11,9 | 1,07 | |
| 1,80 | 587 | 44,5 | 16,7 | 1443 | 18,6 | 13,4 | 1,39 | |
| 1,63 | 0,488 | 38,7 | 11,5 | 952 | 18,4 | 20,2 | 1,09 | |
| 1,80 | 586 | 44,6 | 21,1 | 866 | 22,2 | 16,5 | 1,35 | |
| 1,59 | 465 | 37,1 | 14,9 | 521 | 20,5 | 17,7 | 1,16 | |
| 1,68 | 517 | 40,4 | 22,6 | 595 | 26,0 | 16,5 | 1,58 | |
| 1,60 | 467 | 37,2 | 16,3 | 437 | 29,3 | 19,2 | 1,53 | |
| 1,72 | 543 | 41,8 | 28,2 | 402 | 35,8 | 16,8 | 2,16 | |
| 1,47 | 0,320 | 27,1 | 13,2 | 277 | 31,0 | 25,5 | 1,22 | |
| 1,77 | 570 | 43,4 | 33,8 | 289 | 35,0 | 20,7 | 1,69 | |
| 1,30 | 326 | 27,8 | 15,1 | 210 | 41,5 | 45,1 | 0,62 | |
| 1,64 | 496 | 39,0 | 33,4 | 213 | 52,1 | 35,1 | 1,49 | |
| 1,48 | 388 | 31,2 | 20,3 | 143 | 43,3 | 41,2 | 1,05 | |
| 1,68 | 520 | 37,4 | 41,7 | 138 | 53,6 | 33,8 | 1,59 | |
| 1,41 | 0,343 | 30,3 | 19,2 | 110 | 56,1 | 51,4 | 1,11 | |

Ermittlung der gedrückten Fläche

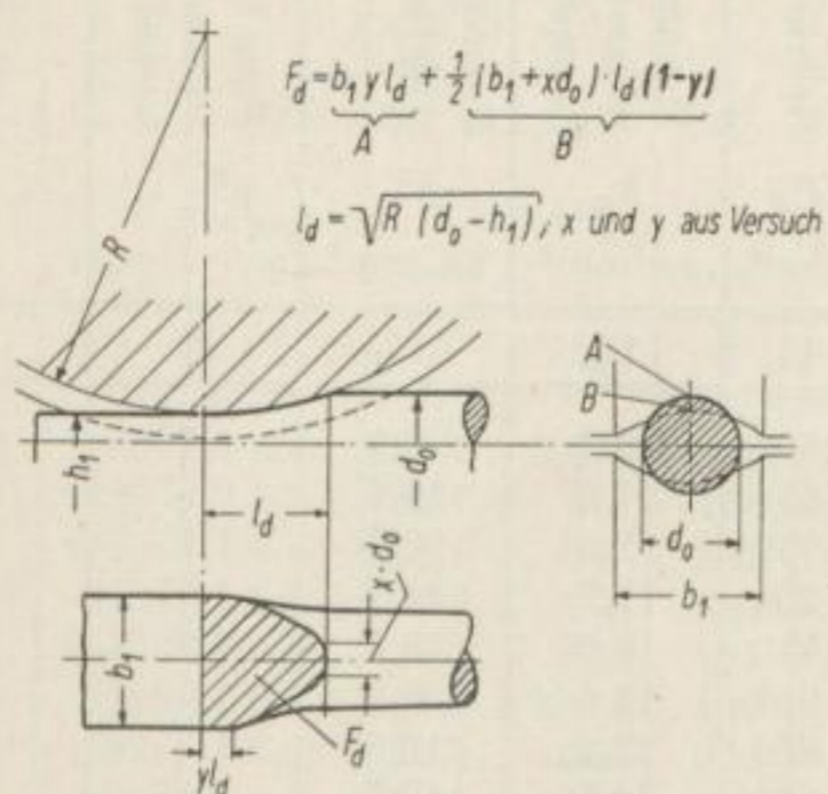
Stichfolge: **Rund-Oval**

Werkstoff: **MSt 3b**

Reihe: 111

Anlage: 1

Blatt: 8



$$F_d = \underbrace{b_1 y l_d}_A + \underbrace{\frac{1}{2} (b_1 + x d_0) \cdot l_d (1 - y)}_B$$

$$l_d = \sqrt{R (d_0 - h_1)}; x \text{ und } y \text{ aus Versuch}$$

| Kaliber | R | d ₀ -h ₁ | d ₀ | h ₁ | b ₁ | l _d | A | B | F _d | Kaliber | x | y | |
|---------|-------|--------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|---------|------|------|----|
| | mm | mm | mm | mm | mm | mm | mm ² | mm ² | mm ² | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 |
| 1 | 209,5 | 18,3 | 50,0 | 31,7 | 57,0 | 62,2 | 637 | 2055 | 2692 | 1 | 0,45 | 0,18 | |
| 3 | 214,5 | 15,7 | 38,0 | 22,3 | 47,5 | 58,1 | 497 | 1562 | 2059 | 3 | 0,45 | 0,18 | |
| 5 | 217,5 | 11,9 | 28,8 | 16,9 | 39,1 | 50,9 | 358 | 1085 | 1443 | 5 | 0,45 | 0,18 | |
| 7 | 174,0 | 9,3 | 22,6 | 13,3 | 29,5 | 40,1 | 208 | 658 | 866 | 7 | 0,45 | 0,18 | |
| 9 | 175,4 | 6,5 | 17,7 | 11,3 | 24,6 | 33,6 | 148 | 447 | 595 | 9 | 0,45 | 0,18 | |
| 11 | 175,8 | 4,6 | 14,4 | 9,9 | 19,5 | 28,3 | 100 | 302 | 402 | 11 | 0,45 | 0,18 | |
| 13 | 136,2 | 4,3 | 12,1 | 7,9 | 16,6 | 24,1 | 72 | 217 | 289 | 13 | 0,45 | 0,18 | |
| 15 | 137,0 | 3,5 | 9,8 | 6,4 | 13,5 | 21,8 | 53 | 160 | 213 | 15 | 0,45 | 0,18 | |
| 17 | 137,9 | 2,5 | 8,0 | 5,6 | 10,9 | 18,4 | 36 | 102 | 138 | 17 | 0,45 | 0,18 | |

Ermittlung der gedrückten Fläche

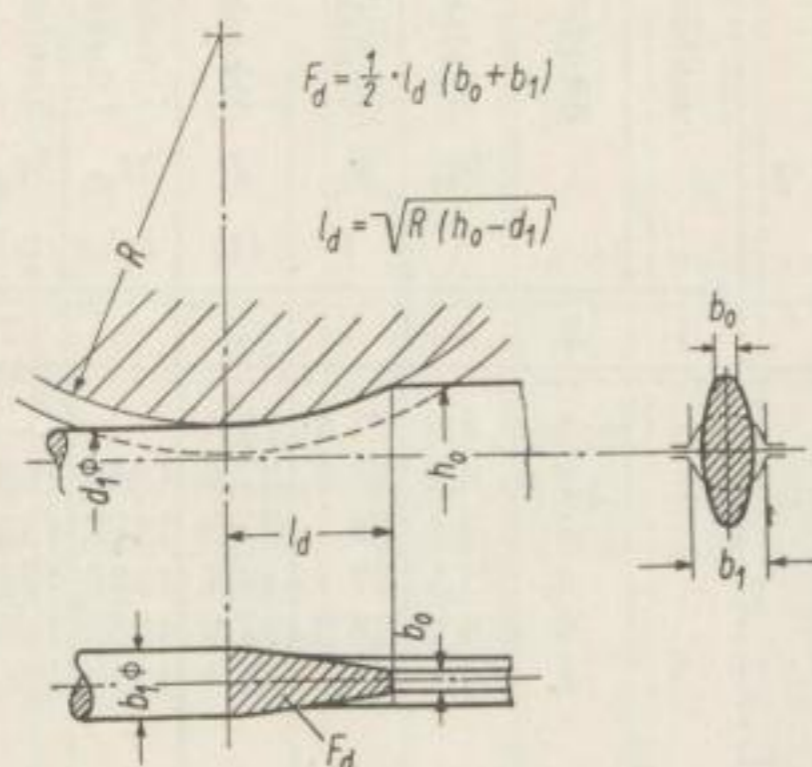
Stichfolge: **Oval-Rund**

Werkstoff: **MSt 3b**

Reihe: 111

Anlage: 1

Blatt: 9






$$F_d = \frac{1}{2} \cdot l_d \cdot (b_0 + b_1)$$

$$l_d = \sqrt{R \cdot (h_0 - d_1)}$$

| Kaliber | R | $d_0 - h_1$ | h_0 | d_1 | l_d | $\frac{b_0 + b_1}{2}$ | F_d | Kaliber | b_0 | b_1 | |
|---------|-------|-------------|-------|-------|-------|-----------------------|-------|---------|-------|-------|----|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| 2 | 207,5 | 19,5 | 57,0 | 37,5 | 63,6 | 26,0 | 1653 | 2 | 1,2 | 40,0 | |
| 4 | 211,5 | 19,2 | 47,5 | 28,3 | 63,7 | 18,9 | 1204 | 4 | 8,1 | 29,7 | |
| 6 | 215,0 | 17,0 | 39,1 | 22,1 | 61,3 | 15,6 | 952 | 6 | 6,7 | 24,4 | |
| 8 | 171,8 | 11,7 | 29,9 | 18,2 | 44,9 | 11,6 | 521 | 8 | 5,1 | 18,2 | |
| 10 | 173,7 | 10,0 | 24,6 | 14,5 | 41,6 | 10,5 | 437 | 10 | 4,1 | 16,9 | |
| 12 | 175,0 | 7,2 | 19,5 | 12,3 | 35,5 | 7,8 | 277 | 12 | 2,3 | 13,3 | |
| 14 | 135,5 | 7,3 | 16,6 | 9,3 | 31,3 | 6,7 | 210 | 14 | 1,7 | 11,7 | |
| 16 | 137,0 | 5,7 | 13,5 | 7,8 | 28,0 | 5,1 | 143 | 16 | 1,4 | 8,9 | |
| 18 | 137,4 | 4,4 | 10,9 | 6,5 | 24,6 | 4,5 | 111 | 18 | 1,1 | 7,9 | |


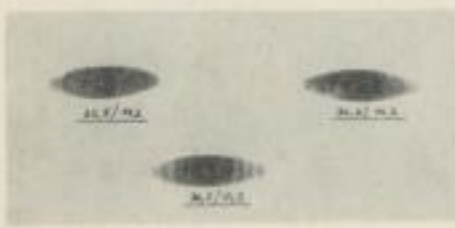
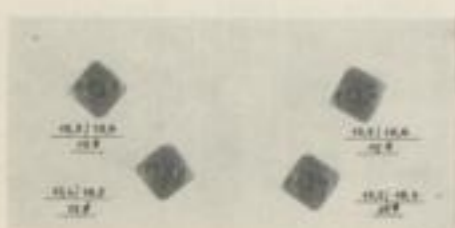
Beispiel für Meßergebnisse: **Quadrat-Oval**

| Anstichquerschnitt $F_0 = 2500 \text{ mm}^2$ | Kaliber-Nr. | Stich-Nr. | Walzkraft links | Walzkraft rechts | Walzkraft gesamt | Drehmoment Oberwalze | Drehmoment Unterwalze | Drehmoment gesamt |
|---|-------------|-----------|-----------------|------------------|------------------|-------------------------|--------------------------|----------------------|
| | | | P_{00} | P_{11} | P | M_{00} | M_{11} | M_d |
| | | | t | t | t | mkg | mkg | mkg |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|  | 1 | 1 | 8,0 | 25,4 | 33,4 | — | — | — |
| | | 2 | 9,1 | 28,5 | 37,6 | 1060 | 1690 | 2750 |
| | | 3 | 9,1 | 28,2 | 37,3 | 1172 | 1420 | 2592 |
| | | 4 | 9,4 | 29,7 | 39,1 | 1128 | 1760 | 2888 |
| | | 6 | 9,0 | 28,2 | 37,2 | 1432 | 1000 | 2432 |
| | | 8 | 9,1 | 28,0 | 37,1 | 1320 | 1360 | 2680 |
|  | 2 | 5 | 9,8 | 14,4 | 24,2 | 570 | 720 | 1290 |
| | | 7 | 9,0 | 14,4 | 23,4 | 638 | 820 | 1258 |
| | | 9 | 9,3 | 14,4 | 23,7 | 765 | 430 | 1195 |
| | | 10 | 9,7 | 15,7 | 25,4 | 820 | 490 | 1310 |
| | | 12 | — | — | — | — | ausgefallen | — |
| | | 14 | 8,9 | 13,0 | 21,9 | 628 | 490 | 1118 |
|  | 3 | 11 | 24,5 | 24,0 | 48,5 | 916 | 1000 | 1916 |
| | | 13 | 25,0 | 24,6 | 49,6 | 986 | 1000 | 1986 |
| | | 15 | 18,8 | 18,4 | 37,2 | 840 | 736 | 1576 |
| | | 16 | 23,0 | 22,5 | 45,5 | 888 | 836 | 1724 |
| | | 18 | 18,8 | 18,4 | 37,2 | 816 | 772 | 1588 |
| | | 20 | 18,0 | 17,4 | 35,4 | 712 | 720 | 1432 |

Ofentemperatur: 1260 °C Werkstoff: **MSt 3b** Reihe: 113 Anlage: 2 Blatt: 1

| Walzenzahl | Stichzeit | Drehwinkel $\delta = \frac{n \cdot t}{30} \cdot l_p$ | Walzarbeit $A_w = M_d \cdot \delta$ | Spezifische Walzarbeit $a_w = \frac{A_w}{V}$ | Endquerschnitt | Ausgangslänge vor 1. Stich | Umgeformtes Volumen | Anstich- temperatur | Temperatur nach dem Stich | Walzzeit je Stich | Gesamtwalzzeit | Bemerkung |
|------------|-----------|---|--|---|------------------------|-------------------------------|--------------------------------------|------------------------|------------------------------|-------------------|----------------|-----------|
| n | t_s | δ | A_w mkg | $a_w \cdot 10^4$ mkg/mm ³ | F mm ² | l_p mm | $V \cdot 10^{-4}$ mm ³ | θ_A °C | θ_s °C | t_w s | t_g s | |
| 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 |
| 63,0 | — | — | — | — | 1187 | 450 | 11,3 | 1282 | 1125 | | | |
| 63,6 | 0,600 | 5,00 | 11100 | 9,78 | 1203 | 450 | 11,3 | | 1146 | | | |
| 63,0 | 0,608 | 5,01 | 10380 | 9,23 | 1205 | 450 | 11,3 | | 1125 | | | |
| 64,4 | 0,368 | 2,49 | 7180 | 10,3 | | | | | | | | |
| 63,8 | 0,372 | 2,48 | 6030 | 8,62 | | | | | | | | |
| 64,8 | — | — | — | — | | | | | | | | |
| 64,8 | 0,501 | 3,40 | 4385 | 6,26 | 875 | 280 | 7,00 | | 1075 | | | |
| 64,8 | 0,502 | 3,42 | 4300 | 6,14 | 854 | 280 | 7,00 | | 1063 | | | |
| 65,4 | 0,515 | 3,51 | 4200 | 6,00 | 832 | 280 | 7,00 | | 1103 | | | |
| 65,4 | 0,326 | 2,26 | 2960 | 6,58 | | | | | | | | |
| 65,4 | 0,322 | 2,21 | 2470 | 5,50 | | | | | | | | |
| 64,6 | 0,536 | 3,63 | 6940 | 15,4 | 489 | 180 | 4,50 | | 1048 | | | |
| 64,4 | 0,546 | 3,69 | 7320 | 16,3 | 492 | 180 | 4,50 | | 1020 | | | |
| 64,8 | 0,552 | 3,75 | 5910 | 13,1 | 475 | 180 | 4,50 | | 1051 | | | |
| 64,8 | — | — | — | — | | | | | | | | |
| 65,6 | 0,457 | 3,14 | 5000 | 13,4 | | | | | | | | |
| 65,4 | 0,463 | 3,18 | 4550 | 12,1 | | | | | | | | |

Beispiel für Meßergebnisse: **Quadrat-Oval**

| Anstichquerschnitt $F_0 = 2500 \text{ mm}^2$ | Katheter-Nr. | | Stich-Nr. | | Walzkraft links | Walzkraft rechts | Walzkraft gesamt | Drehmoment Oberwalze | Drehmoment Unterwalze | Drehmoment gesamt |
|---|--------------|----------|-----------|----------|-----------------|------------------|------------------|-------------------------|--------------------------|----------------------|
| | P_{10} | P_{11} | P | M_{10} | M_{11} | M | M_{10} | M_{11} | M | |
| | t | t | t | mkg | mkg | mkg | mkg | mkg | mkg | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | | |
|  | 4 | 17 | 10,3 | 6,5 | 16,8 | 372 | 292 | 664 | | |
| | | 19 | 9,0 | 6,0 | 15,0 | 310 | 250 | 560 | | |
| | | 21 | 8,6 | 5,7 | 13,3 | 280 | 256 | 536 | | |
| | | 22 | 9,0 | 5,8 | 14,8 | 294 | 250 | 544 | | |
| | | 24 | 9,1 | 6,0 | 15,1 | 307 | 284 | 591 | | |
| | | 26 | 8,7 | 6,0 | 14,7 | 293 | 268 | 561 | | |
|  | 5 | 23 | 25,0 | 11,0 | 36,0 | 490 | 534 | 1024 | | |
| | | 25 | 26,4 | 11,1 | 37,5 | 500 | 546 | 1046 | | |
| | | 27 | 25,2 | 11,9 | 37,1 | 510 | 510 | 1020 | | |
| | | 28 | 24,0 | 11,0 | 35,0 | 530 | 510 | 1040 | | |
| | | 30 | 25,6 | 10,9 | 36,5 | 490 | 540 | 1030 | | |
| | | 32 | 24,0 | 10,2 | 34,2 | 502 | 490 | 992 | | |
|  | 6 | 29 | 16,2 | 4,0 | 20,2 | 338 | 238 | 576 | | |
| | | 31 | 14,4 | 4,0 | 18,4 | 296 | 240 | 536 | | |
| | | 33 | 14,4 | 4,4 | 18,8 | 280 | 250 | 530 | | |
| | | 34 | 13,0 | 3,7 | 16,7 | 250 | 250 | 500 | | |

Ofentemperatur: 1260 °C Werkstoff: **MSt 3b** Reihe: 113 Anlage: 2 Blatt: 2

| Walzendrehzahl | Stichzeit | Drehwinkel $\delta = \frac{\pi n}{30} \cdot t_s$ | Walzarbeit $A_w = M_g \cdot \delta$ | Spezifische Walzarbeit $a_w = \frac{A_w}{V}$ | Endquerschnitt | Ausgangslänge vor 1. Stich | Ungelaptes Volumen | Anstich- temperatur | Temperatur nach dem Stich | Walzzeit je Stich | Gesamtwalzzeit | Bemerkung |
|----------------|-----------|---|--|---|-----------------|-------------------------------|-----------------------|------------------------|------------------------------|-------------------|----------------|-----------|
| n | t_s | δ | A_w | $a_w \cdot 10^3$ | F | l_b | $V \cdot 10^{-4}$ | θ_A | θ_s | t_w | t_g | |
| U/min | s | ° | mkg | $\frac{\text{mkg}}{\text{mm}^3}$ | mm ² | mm | mm ³ | °C | °C | s | s | |
| 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 |
| 65,4 | 0,577 | 3,96 | 2660 | 7,10 | 374 | 150 | 3,75 | | 996 | | | |
| 65,8 | 0,596 | 3,94 | 2210 | 5,90 | 375 | 150 | 3,75 | | 996 | | | |
| 65,8 | 0,596 | 3,14 | 2113 | 5,64 | 379 | 150 | 3,75 | | 996 | | | |
| 65,8 | 0,476 | 3,16 | 1718 | 3,73 | | | | | | | | |
| 65,8 | 0,472 | 3,11 | 1780 | 5,93 | | | | | | | | |
| 65,8 | 0,473 | 3,11 | 1746 | 5,82 | | | | | | | | |
| 65,8 | 0,620 | 4,08 | 4180 | 13,9 | 275 | 120 | 3,00 | | 1000 | | | |
| 65,8 | — | — | — | — | 270 | 120 | 3,00 | | 996 | | | |
| 65,8 | 0,633 | 4,17 | 4250 | 14,2 | 273 | 120 | 3,00 | | 1021 | | | |
| 65,8 | 0,633 | 4,17 | 4335 | 14,5 | | | | | | | | |
| 65,8 | 0,631 | 4,15 | 4350 | 14,4 | | | | | | | | |
| 65,8 | 0,620 | 4,14 | 4110 | 13,7 | | | | | | | | |
| 65,8 | 0,813 | 5,35 | 3350 | 11,2 | 218 | 120 | 3,00 | | 964 | | | |
| 65,8 | 0,823 | 5,41 | 2900 | 9,83 | 220 | 120 | 3,00 | | 964 | | | |
| 65,8 | 0,803 | 5,30 | 2820 | 9,40 | 216 | 120 | 3,00 | | 949 | | | |
| 65,8 | 0,816 | 5,37 | 2670 | 8,90 | 218 | 120 | 3,00 | | 935 | | | |




Beispiel für Messergebnisse: **Quadrat-Oval**

| Anstichquerschnitt $F_0 = 218 \text{ mm}^2$ ab 9. Kaliber $F_9 = 130 \text{ mm}^2$ | Kaliber-Nr. | Stück-Nr. | Walzkraft links | Walzkraft rechts | Walzkraft gesamt | Drehmoment Oberwalze | Drehmoment Unterwalze | Drehmoment gesamt | | |
|---|-------------|-----------|-----------------|------------------|------------------|-------------------------|--------------------------|----------------------|-----|-----|
| | | | P_{00} | P_{11} | P | M_{00} | M_{11} | M_g | | |
| | | | t | t | t | mkg | mkg | mkg | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | | |
| | 7 | 1 | 13,3 | 6,2 | 19,5 | 223 | 278 | 501 | | |
| | | 2 | 14,4 | 6,0 | 20,4 | 228 | 280 | 508 | | |
| | | 3 | 13,8 | 5,6 | 19,4 | 209 | 277 | 486 | | |
| | | 4 | 13,3 | 5,6 | 18,9 | 216 | 263 | 479 | | |
| | | 6 | 13,9 | 5,8 | 19,7 | 235 | 281 | 516 | | |
| | | 8 | 12,7 | 6,0 | 18,7 | 212 | 260 | 472 | | |
| | | | 8 | 5 | 8,5 | 4,2 | 12,7 | 150 | 182 | 332 |
| | | | | 7 | 7,6 | 4,6 | 12,2 | 148 | 164 | 312 |
| 9 | 7,4 | | | 4,6 | 12,0 | 140 | 164 | 304 | | |
| 10 | 8,0 | | | 4,3 | 12,3 | 147 | 163 | 310 | | |
| 11 | 8,0 | | | 4,2 | 12,2 | 132 | 184 | 316 | | |
| 12 | 7,8 | | | 4,0 | 11,8 | 148 | 180 | 328 | | |
| | 9 | | | 1 | 3,2 | 8,4 | 11,6 | 157 | 124 | 281 |
| | | | | 2 | 3,1 | 3,6 | 11,7 | 144 | 124 | 268 |
| | | 3 | 3,2 | 8,6 | 11,8 | 138 | 129 | 267 | | |
| | | 4 | 3,4 | 8,3 | 11,7 | 132 | 130 | 262 | | |
| | | 6 | 3,4 | 8,3 | 11,7 | 140 | 126 | 266 | | |
| | | 8 | 2,9 | 8,7 | 11,6 | 134 | 135 | 269 | | |

Ofentemperatur: 1050 °C Werkstoff: **MSt 3b** Reihe: 113 Anlage: 2 Blatt: 3

| Walzenbruchzahl | Stückzeit | Drehwinkel $\delta = \frac{n}{20} \cdot t_s$ | Walzarbeit $A_w = M_d \cdot \delta$ | Spezifische Walzarbeit $\alpha_w = \frac{A_w}{V}$ | Endquerschnitt | Ausgangslänge vor 1. Stütz | Ungelagertes Volumen | Anstichtemperatur | Temperatur nach dem Stütz | Walzzeit je Stück | Gesamtwalzzeit | Bemerkung |
|-----------------|-----------|---|--|--|-----------------|-------------------------------|-------------------------|-------------------|------------------------------|-------------------|----------------|-----------|
| n | t_s | δ | A_w | $\alpha_w \cdot 10^3$ | F | l_0 | $V \cdot 10^{-2}$ | θ_A | θ_s | t_w | t_g | |
| U/min | s | | mkg | $\frac{\text{mkg}}{\text{mm}^3}$ | mm ² | mm | mm ³ | °C | °C | s | s | |
| 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 |
| 81,2 | 0,39 | 3,31 | 1660 | 15,1 | 156 | 505 | 1,10 | 1001 | 977 | | | |
| 81,2 | 0,38 | 3,23 | 1640 | 14,9 | 161 | 505 | 1,10 | | 953 | | | |
| 81,2 | 0,38 | 3,23 | 1570 | 14,6 | 160 | 495 | 1,08 | | 977 | | | |
| 81,0 | 0,31 | 2,63 | 1260 | 14,3 | | | | | | | | |
| 81,2 | 0,31 | 2,64 | 1360 | 15,6 | | | | | | | | |
| 81,5 | 0,32 | 2,72 | 1285 | 14,4 | | | | | | | | |
| 81,0 | 0,38 | 3,22 | 1038 | 11,8 | 132 | 405 | 0,88 | | 938 | | | |
| 81,2 | 0,37 | 3,14 | 980 | 11,8 | 130 | 400 | 0,87 | | 938 | | | |
| 81,5 | 0,50 | 3,50 | 1032 | 11,6 | 128 | 410 | 0,89 | | 951 | | | |
| 81,7 | 0,38 | 3,25 | 1008 | 11,6 | | 400 | 0,87 | | 930 | | | |
| 81,7 | 0,37 | 3,16 | 1000 | 11,5 | | 398 | 0,87 | | 943 | | | |
| 81,7 | 0,34 | 2,91 | 965 | 12,3 | | 360 | 0,79 | | 938 | | | |
| 101,6 | 0,334 | 3,55 | 990 | 16,9 | 99 | 450 | 0,58 | 940 | 900 | | | |
| 101,0 | 0,346 | 3,66 | 982 | 16,8 | 98 | 450 | 0,58 | | 924 | | | |
| 101,0 | 0,345 | 3,65 | 975 | 16,7 | 96 | 450 | 0,58 | | 924 | | | |
| 101,0 | 0,262 | 2,77 | 726 | 17,4 | | | | | | | | |
| 102,0 | 0,249 | 2,66 | 707 | 17,0 | | | | | | | | |
| 101,0 | 0,248 | 2,62 | 705 | 16,9 | | | | | | | | |

Beispiel für Meßergebnisse: **Quadrat-Oval**

| Anstichquerschnitt $F_q = 130 \text{ mm}^2$ | | Kathode-Nr. | Stich-Nr. | Walzkraft links P_{10} t | Walzkraft rechts P_{11} t | Walzkraft gesamt P t | Drehmoment Oberwalze M_{10} mkg | Drehmoment Unterwalze M_{11} mkg | Drehmoment gesamt M_d mkg |
|---|--|-------------|-----------|----------------------------------|-----------------------------------|------------------------------|--|---|--------------------------------------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|  | | 10 | 5 | 5,6 | 6,6 | 11,2 | 138 | 109 | 247 |
| | | | 7 | 4,8 | 6,9 | 11,7 | 138 | 104 | 242 |
| | | | 9 | 5,9 | 7,0 | 11,9 | 141 | 107 | 248 |
| | | | 10 | 5,8 | 7,0 | 11,8 | 141 | 113 | 254 |
| | | | 12 | 5,5 | 6,6 | 11,1 | 132 | 105 | 237 |
|  | | 11 | 11 | 8,4 | 7,2 | 15,6 | 152 | 134 | 286 |
| | | | 13 | 8,1 | 7,0 | 15,1 | 145 | 132 | 277 |
| | | | 15 | 9,1 | 7,8 | 16,9 | 158 | 132 | 290 |
| | | | 16 | 9,4 | 8,1 | 17,5 | 168 | 155 | 323 |
| | | | 18 | 7,9 | 6,8 | 14,7 | 158 | 113 | 261 |
|  | | 12 | 17 | 5,7 | 3,7 | 8,4 | 88 | 60 | 148 |
| | | | 19 | 5,4 | 3,4 | 7,8 | 80 | 51 | 131 |
| | | | 21 | 5,6 | 3,7 | 8,3 | 73 | 81 | 154 |

Ofentemperatur: 950 °C Werkstoff: **MSt 3b** Reihe: 113 Anlage: 2 Blatt: 4

| Walzendrehzahl n U/min | Stichzeit t_s s | Drehwinkel $\delta = \frac{n \cdot \pi}{20} \cdot t_s$ | Walzarbeit $A_w = M_d \cdot \delta$ mkg | Spezifische Walzarbeit $\sigma_w = \frac{A_w}{F}$ $\frac{\text{mkg}}{\text{mm}^2}$ | Endquerschnitt F mm^2 | Ausgangslänge vor 1. Stich l_s mm | Umgeformtes Volumen $V \cdot 10^{-4}$ mm^3 | Anstich- temperatur θ_A °C | Temperatur nach dem Stich θ_s °C | Walzzeit je Stich t_w s | Gebamtwalzzeit t_g s | Bemerkung |
|--------------------------------|-------------------------|---|---|--|--|--|--|--|--|---------------------------------|------------------------------|-----------|
| 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 |
| 101 | 0,316 | 3,34 | 825 | 19,8 | 78 | 321 | 0,42 | | 869 | | | |
| 102 | 0,305 | 3,26 | 789 | 18,9 | 76 | 321 | 0,42 | | 877 | | | |
| 102 | 0,296 | 3,16 | 783 | 18,8 | 80 | 321 | 0,42 | | 877 | | | |
| 102 | 0,196 | 2,10 | 533 | 19,7 | | | | | | | | |
| 102 | 0,206 | 2,20 | 521 | 18,3 | | | | | | | | |
| 101 | 0,204 | 2,16 | 529 | 18,6 | | | | | | | | |
| 102 | 0,310 | 3,31 | 946 | 33,2 | 53 | 219 | 0,29 | | 795 | | | |
| 101 | 0,297 | 3,14 | 870 | 30,6 | 52 | 219 | 0,29 | | 826 | | | |
| 102 | 0,298 | 3,17 | 919 | 32,3 | 51 | 219 | 0,29 | | 805 | | | |
| 102 | 0,158 | 1,69 | 546 | 35,0 | | | | | | | | |
| 102 | 0,170 | 1,82 | 475 | 30,5 | | | | | | | | |
| 102 | 0,164 | 1,75 | 458 | 29,4 | | | | | | | | |
| 102 | 0,194 | 2,07 | 306 | 19,6 | 47 | 120 | 0,17 | | | | | |
| 101 | 0,202 | 2,14 | 280 | 17,9 | 46 | 120 | 0,17 | | | | | |
| 102 | 0,186 | 1,99 | 306 | 19,6 | 42 | 120 | 0,17 | | | | | |

Beispiel für Rechnungsergebnisse: **Quadrat-Oval**

| Kaliber-Nr. | Wahlkraft (Mittelwert) P t | Drehmoment (Mittelwert) M_d mkg | Spez. Walzarbeit (Mittelwert) $a_s \cdot 10^6$ mkg/mm ² | Hebelarm $a = \frac{M_d}{P}$ mm | Hebelarm- verhältnis a/l_d | Mittl. Querschnitt F mm ² | Streckung je Strich $\lambda_{St} = \frac{F_n}{F_{n+1}}$ λstich | Gesamtstreckung $\lambda_{Ges} = \frac{F_1}{F_n}$ | log. Streckung in λstich φ_2 | Mittlere Ausgangshöhe $h_{0,8}$ mm | Mittlere Endhöhe $h_{1,8}$ mm |
|-------------|---------------------------------------|--|---|---------------------------------------|------------------------------------|--|---|--|--|---|-------------------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| 1 | 37,0 | 2668 | 9,47 | 36,1 | 0,498 | 1198 | 2,08 | 2,08 | 0,732 | 50,0 | 20,2 |
| 2 | 23,7 | 1234 | 6,10 | 26,0 | 381 | 854 | 1,43 | 2,93 | 358 | 47,6 | 22,7 |
| 3 | 42,2 | 1704 | 14,2 | 20,2 | 350 | 685 | 1,76 | 5,16 | 566 | 30,1 | 10,3 |
| 4 | 15,0 | 376 | 6,02 | 19,2 | 279 | 376 | 1,29 | 6,65 | 254 | 32,8 | 16,4 |
| 5 | 36,0 | 1027 | 14,1 | 14,3 | 302 | 273 | 1,38 | 9,16 | 320 | 20,3 | 7,54 |
| 6 | 18,5 | 538 | 9,82 | 14,6 | 0,243 | 218 | 1,25 | 11,5 | 0,225 | 26,8 | 11,7 |
| 7 | 19,4 | 493 | 14,8 | 12,7 | 450 | 159 | 1,37 | 15,7 | 314 | 15,0 | 6,97 |
| 8 | 12,2 | 316 | 11,7 | 13,0 | 0,331 | 130 | 1,22 | 19,2 | 199 | 15,1 | 8,23 |
| 9 | 11,7 | 270 | 17,0 | 11,5 | 483 | 97 | 1,34 | 25,8 | 292 | 11,6 | 5,50 |
| 10 | 11,4 | 245 | 19,0 | 10,6 | 358 | 78 | 1,28 | 32,9 | 247 | 13,1 | 3,87 |
| 11 | 15,9 | 283 | 31,8 | 8,89 | 399 | 52 | 1,43 | 47,2 | 357 | 8,8 | 3,42 |
| 12 | 8,2 | 144 | 19,0 | 8,78 | 0,296 | 45 | 1,13 | 53,1 | 0,122 | 10,0 | 5,00 |

Werkstoff: **MSt 3b**

Reihe: 113

Anlage: 2

Blatt: 5

| Höhenverhältnis $\frac{h_{1,8}}{h_{0,8}}$ | Hauptform- änderung $\varphi_h = \ln \frac{h_{0,8}}{h_{1,8}}$ | Bezogene mittlere Formänderung $\varepsilon = \frac{\lambda_{1,8} - \lambda_{0,8}}{\lambda_{0,8}} \cdot 100$ $\frac{\varepsilon}{\%}$ | Mittlere Form- änderungsgeschw. $\dot{\varphi} = \frac{\lambda_{0,8}}{l_d} \cdot \varphi_h$ | Gedrückte Fläche F_d mm ² | Formänderungs- widerstand $k_w = P/F_d$ kg/mm ² | Formänderungs- widerstand $k'_w = 1000 \cdot \frac{k_w}{\dot{\varphi}}$ kg/mm ² | Formänderungs- widerstands- verhältnis k_w/k'_w | Bemerkung |
|--|---|--|---|--|---|---|--|-----------|
| 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 |
| 2,48 | 0,908 | 59,7 | 17,5 | 4320 | 8,6 | 10,4 | 0,83 | |
| 2,10 | 742 | 52,4 | 15,1 | 1778 | 13,3 | 8,2 | 1,62 | |
| 2,92 | 1,072 | 65,8 | 17,5 | 2340 | 18,0 | 13,5 | 1,33 | |
| 2,01 | 0,698 | 50,1 | 14,8 | 964 | 15,6 | 8,63 | 1,81 | |
| 2,69 | 989 | 62,8 | 31,7 | 1362 | 26,5 | 14,3 | 1,85 | |
| 2,26 | 0,815 | 56,2 | 20,3 | 692 | 26,7 | 12,1 | 2,22 | |
| 2,15 | 765 | 53,6 | 40,7 | 579 | 36,5 | 19,3 | 1,89 | |
| 1,84 | 604 | 45,5 | 22,9 | 372 | 33,8 | 19,3 | 1,75 | |
| 2,10 | 742 | 56,5 | 45,1 | 377 | 31,1 | 22,9 | 1,36 | |
| 2,23 | 852 | 55,2 | 41,0 | 245 | 47,4 | 22,3 | 2,12 | |
| 2,57 | 943 | 61,1 | 62,2 | 288 | 55,2 | 33,7 | 1,64 | |
| 2,00 | 0,693 | 50,0 | 34,3 | 162 | 50,6 | 27,4 | 1,84 | |

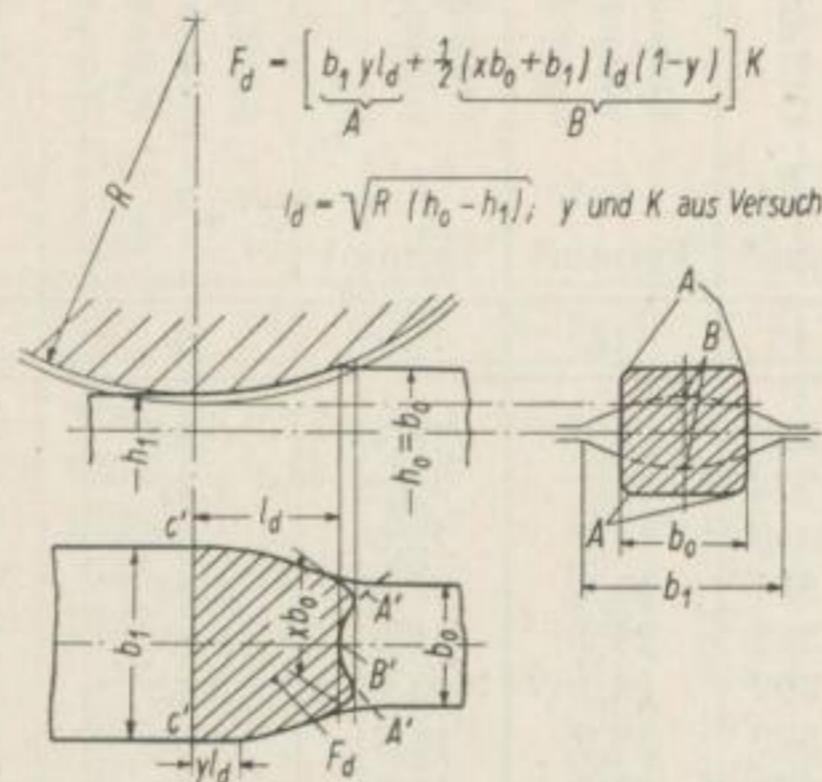
Ermittlung der gedrückten Fläche Stichfolge: **Quadrat-Oval**

Werkstoff: **MSt 3b**

Reihe: 113

Anlage: 2

Blatt: 6



$$F_d = \left[\underbrace{b_1 y l_d}_A + \underbrace{\frac{1}{2} (x b_0 + b_1) l_d (1 - y)}_B \right] K$$

$$l_d = \sqrt{R (h_0 - h_1)}; y \text{ und } K \text{ aus Versuch}$$

| Kaliber | R | h ₀ -h ₁ | h ₀ =b ₀ | h ₁ | b ₁ | $\frac{b_0+b_1}{2}$ | l _d | A | B | F _d | Kaliber | K | x | y |
|---------|-------|--------------------------------|--------------------------------|----------------|----------------|---------------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|---------|------|------|-----|
| | mm | mm | mm | mm | mm | mm | mm | mm ² | mm ² | mm ² | | mm | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| 1 | 211,5 | 24,8 | 50,0 | 25,2 | 59,5 | | 73,6 | 877 | 3230 | 4320 | 1 | 1,05 | 1,0 | 0,2 |
| 3 | 216,0 | 15,3 | 30,1 | 14,8 | 47,0 | | 57,4 | 540 | 1722 | 2340 | 3 | 1,03 | 0,93 | 0,2 |
| 5 | 219,0 | 10,1 | 20,3 | 10,2 | 36,2 | | 47,1 | 341 | 994 | 1362 | 5 | 1,02 | 0,82 | 0,2 |
| 7 | 175,7 | 4,5 | 15,0 | 10,5 | 22,8 | | 28,2 | 128 | 423 | 579 | 7 | 1,05 | 0,98 | 0,2 |
| 9 | 136,5 | 4,2 | 11,6 | 7,4 | 17,6 | | 23,8 | 84 | 275 | 377 | 9 | 1,05 | 0,98 | 0,2 |
| 11 | 137,5 | 3,6 | 8,8 | 5,2 | 15,2 | | 22,3 | 68 | 207 | 288 | 11 | 1,05 | 0,98 | 0,2 |
| | | | 6,6 | | | | | | | | | | | |

Ermittlung der gedrückten Fläche

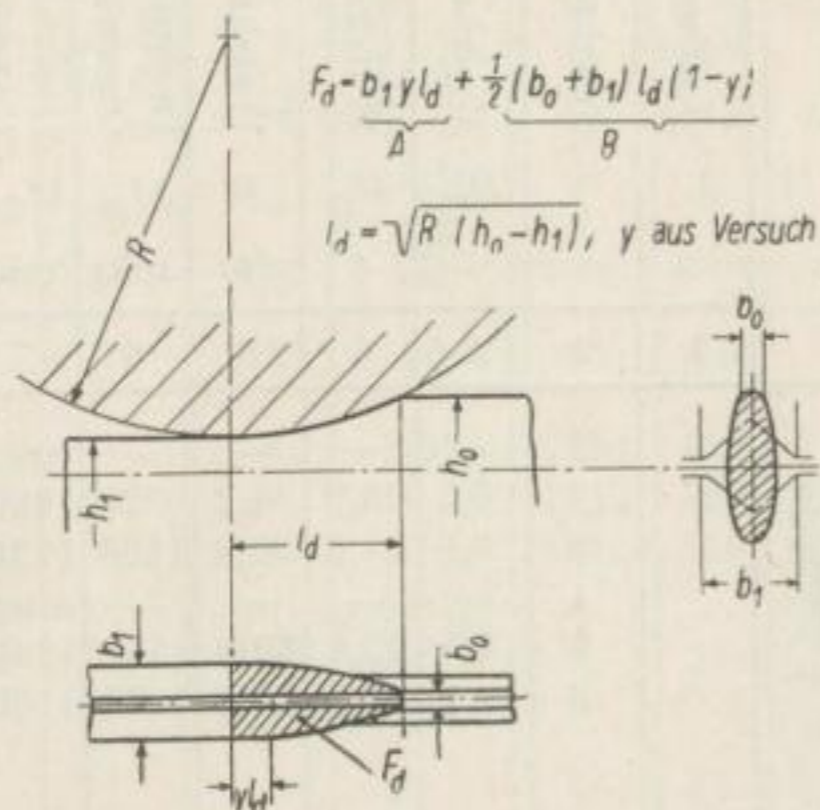
Stichfolge: **Quadrat-Oval**

Werkstoff: **MSt 3b**

Reihe: 113

Anlage: 2

Blatt: 7



$$F_d = \underbrace{b_1 y l_d}_A + \underbrace{\frac{1}{2} (b_0 + b_1) \cdot l_d (1 - y)}_B$$

| Kaliber | R | $h_0 - h_1$ | h_0 | h_1 | b_0 | b_1 | l_d | A | B | F_d | Kaliber | y |
|---------|-------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------------|-----------------|-----------------|---------|-----|
| | mm | mm | mm | mm | mm | mm | mm | mm ² | mm ² | mm ² | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
| 2 | 204,0 | 22,9 | 59,2 | 36,6 | 11,7 | 37,7 | 68,4 | 258 | 1520 | 1778 | 2 | 0,1 |
| 4 | 211,0 | 22,4 | 47,0 | 24,6 | 3,1 | 23,0 | 68,3 | 158 | 806 | 964 | 4 | 0,1 |
| 6 | 214,5 | 16,7 | 36,2 | 19,5 | 3,3 | 18,6 | 59,8 | 111 | 581 | 692 | 6 | 0,1 |
| 8 | 173,3 | 8,8 | 22,8 | 14,0 | 1,8 | 15,8 | 39,1 | 62 | 310 | 372 | 8 | 0,1 |
| 10 | 134,0 | 6,5 | 17,6 | 11,1 | 2,2 | 13,3 | 29,5 | 39 | 206 | 245 | 10 | 0,1 |
| 12 | 136,8 | 6,4 | 15,2 | 8,8 | 1,1 | 9,0 | 29,6 | 27 | 135 | 162 | 12 | 0,1 |

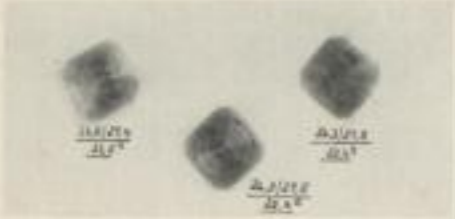


Beispiel für Messergebnisse: **Quadrat-Oval**

| Anstichquerschnitt $F_D = 2500 \text{ mm}^2$ | | Kaliber-Nr. | | Walzkraft links | Walzkraft rechts | Walzkraft gesamt | Drehmoment Oberwalze | Drehmoment Unterwalze | Drehmoment gesamt |
|---|----|-------------|---------------|-----------------|------------------|------------------|-------------------------|--------------------------|----------------------|
| | | Stich-Nr. | P_{90} t | P_{11} t | P t | M_{90} mkg | M_{11} mkg | M_d mkg | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | | |
| | 1 | — | — | — | — | ausgefallen | | | |
| | 2 | 7,3 | 26,9 | 34,2 | 920 | 1620 | 2540 | | |
| | 3 | 6,8 | 24,0 | 30,8 | 1100 | 1120 | 2220 | | |
| | 4 | — | — | — | ausgefallen | | | | |
| | 8 | 7,4 | 25,4 | 32,8 | 1140 | 1260 | 2380 | | |
| | 5 | 6,2 | 10,6 | 16,8 | 440 | 348 | 788 | | |
| | 7 | 6,3 | 10,3 | 16,6 | 465 | 400 | 865 | | |
| | 9 | 6,9 | 11,8 | 18,7 | 445 | 500 | 945 | | |
| | 10 | 7,0 | 11,2 | 18,2 | 463 | 396 | 859 | | |
| | 14 | 6,3 | 10,3 | 16,6 | 465 | 392 | 857 | | |
| | 11 | 15,0 | 13,1 | 28,1 | 552 | 642 | 1194 | | |
| | 13 | 13,8 | 13,1 | 26,9 | 520 | 500 | 1020 | | |
| | 15 | 15,0 | 14,4 | 29,4 | 635 | 562 | 1197 | | |
| | 16 | 16,9 | 15,7 | 32,6 | 660 | 664 | 1324 | | |
| | 20 | 13,8 | 13,8 | 27,6 | 580 | 604 | 1184 | | |

Ofentemperatur: 1260 °C Werkstoff: **MS 3b** Reihe: 114 Anlage: 3 Blatt: 1

| Walzendrehzahl | Stichzeit | Drehwinkel $\delta = \frac{\pi \cdot n}{30} \cdot t_s$ | Walzarbeit $A_w = M_d \cdot \delta$ | Spezifische Walzarbeit $\sigma_w = \frac{A_w}{V}$ | Endquerschnitt | Ausgangslänge vor 1. Stich | Umgeformtes Volumen | Anstich- temperatur | Temperatur nach dem Stich | Walzzeit je Stich | Gesamtwalzzeit | Bemerkung |
|----------------|------------|---|--|---|------------------------|-------------------------------|--------------------------------------|------------------------|------------------------------|-------------------|----------------|-----------|
| n U/min | t_s s | δ | A_w mkg | $\sigma_w \cdot 10^8$ $\frac{\text{mkg}}{\text{mm}^3}$ | F mm ² | l_0 mm | $V \cdot 10^{-4}$ mm ³ | θ_A °C | θ_s °C | t_w s | t_g s | |
| 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 |
| — | — | — | — | 8,66 | 1197 | 450 | 11,25 | 1210 | 1173 | | | |
| 61,0 | — | — | — | — | 1252 | 450 | 11,25 | | 1173 | | | |
| 62,0 | — | — | — | — | 1211 | 450 | 11,25 | | 1193 | | | |
| — | — | — | — | — | | | | | | | | |
| 62,4 | 0,389 | 2,55 | 6060 | 8,66 | | | | | | | | |
| 62,4 | 0,386 | 2,53 | 6000 | 8,57 | | | | | | | | |
| 62,0 | — | — | — | — | 916 | 280 | 7,00 | | 1088 | | | |
| 61,8 | 0,478 | 3,10 | 2680 | 3,83 | 935 | 280 | 7,00 | | 1094 | | | |
| 62,0 | 0,475 | 3,10 | 2920 | 4,17 | 945 | 280 | 7,00 | | 1109 | | | |
| 62,8 | 0,303 | 2,00 | 2660 | 5,92 | | | | | | | | |
| 63,0 | 0,308 | 2,04 | 1747 | 3,89 | | | | | | | | |
| 63,2 | 0,303 | 2,01 | 1672 | 3,72 | | | | | | | | |
| 63,0 | 0,479 | 3,17 | 3785 | 8,42 | 597 | 180 | 4,50 | | 1070 | | | |
| 63,0 | 0,481 | 3,19 | 3255 | 7,24 | 589 | 180 | 4,50 | | 1078 | | | |
| 63,0 | 0,464 | 3,07 | 3365 | 7,58 | 594 | 180 | 4,50 | | 1078 | | | |
| 63,2 | 0,384 | 2,55 | 3375 | 9,00 | | | | | | | | |
| 63,0 | 0,303 | 2,54 | 3140 | 8,38 | | | | | | | | |
| 63,2 | 0,383 | 2,54 | 3010 | 8,03 | | | | | | | | |

Beispiel für Meßergebnisse: **Quadrat-Oval**

| Anstichquerschnitt $F_0 = 2500 \text{ mm}^2$ | Kolben-Nr. | Stich-Nr. | Walzkraft links | Walzkraft rechts | Walzkraft gesamt | Drehmoment Oberwalze | Drehmoment Unterwalze | Drehmoment gesamt |
|---|------------|-----------|-----------------|------------------|------------------|-------------------------|--------------------------|----------------------|
| | | | P_{wl} | P_{wr} | P | M_{ob} | M_{un} | M_g |
| | | | t | t | t | mkp | mkp | mkp |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|  | 4 | 17 | 11,5 | 7,2 | 18,7 | 360 | 367 | 727 |
| | | 19 | 10,3 | 6,5 | 16,8 | 334 | 306 | 640 |
| | | 21 | 9,7 | 6,5 | 16,2 | 320 | 327 | 647 |
| | | 22 | 10,9 | 7,3 | 18,2 | 374 | 367 | 741 |
| | | 24 | 11,0 | 6,5 | 17,5 | 320 | 336 | 656 |
| | | 26 | 10,3 | 6,8 | 17,1 | 306 | 326 | 632 |
|  | 5 | 23 | 23,1 | 10,3 | 33,4 | 528 | 578 | 1106 |
| | | 25 | 23,2 | 9,8 | 33,0 | 530 | 490 | 1020 |
| | | 27 | 21,3 | 9,4 | 30,7 | 480 | 524 | 1004 |
| | | 28 | 21,8 | 9,0 | 30,8 | 414 | 528 | 942 |
| | | 30 | 21,3 | 9,3 | 30,6 | 480 | 532 | 1012 |
| | | 32 | 23,0 | 9,8 | 32,8 | 504 | 534 | 1038 |
| | | 34 | 21,9 | 9,2 | 31,1 | 462 | 508 | 970 |
| | | 36 | 21,8 | 9,7 | 31,5 | 516 | 510 | 1026 |
|  | 6 | 29 | 16,7 | 4,7 | 21,4 | 348 | 326 | 674 |
| | | 31 | 16,8 | 4,7 | 21,5 | 360 | 366 | 726 |
| | | 33 | 18,0 | 4,7 | 22,7 | 388 | 365 | 753 |
| | | 35 | 15,0 | 4,5 | 19,5 | 334 | 304 | 638 |
| | | 37 | 16,8 | 4,8 | 21,6 | 374 | 365 | 739 |

Ofentemperatur: 1260 °C Werkstoff: **MSt 3b** Reihe: 114 Anlage 3 Blatt: 2

| Walzendrehzahl | Stichzeit | Drehwinkel $\delta = \frac{\pi}{180} \cdot t_r$ | Walzarbeit $A_w = M_g \cdot \delta$ | Spezifische Walzarbeit $a_w = \frac{A_w}{V}$ | Kadquerschnitt | Ausgangslänge vor 1. Stieh | Umgeformtes Volumen | Anstich- temperatur | Temperatur nach dem Stieh | Walzzeit je Stieh | Gesamtwalzzeit | Bemerkung |
|----------------|-----------|--|--|---|-----------------|-------------------------------|------------------------|------------------------|------------------------------|-------------------|----------------|-----------|
| n | t_s | δ | A_w | $a_w \cdot 10^3$ | F | l_0 | $V \cdot 10^{-4}$ | θ_A | θ_s | t_w | t_g | |
| U/min | s | ° | mkp | $\frac{\text{mkp}}{\text{mm}^3}$ | mm ² | mm | mm ³ | °C | °C | s | s | |
| 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 |
| 63,2 | — | — | — | — | 573 | 150 | 3,75 | 989 | 989 | | | |
| 63,2 | 0,487 | 3,23 | 2055 | 5,52 | 469 | 150 | 3,75 | 989 | 989 | | | |
| 63,0 | 0,481 | 3,48 | 2055 | 5,48 | 470 | 140 | 3,75 | 952 | 952 | | | |
| 63,0 | 0,386 | 2,55 | 1890 | 6,30 | | | | | | | | |
| 63,0 | 0,391 | 2,59 | 1704 | 5,68 | | | | | | | | |
| 62,0 | — | — | — | — | | | | | | | | |
| 63,2 | 0,503 | 3,37 | 3725 | 12,40 | 350 | 120 | 3,00 | 968 | 968 | | | |
| 63,0 | — | — | — | — | 346 | 120 | 3,00 | 968 | 968 | | | |
| 63,0 | 0,523 | 3,46 | 3474 | 11,58 | 346 | 120 | 3,00 | 962 | 962 | | | |
| 63,2 | — | — | — | — | | | | | | | | |
| 62,6 | 0,511 | 3,36 | 3400 | 11,34 | | | | | | | | |
| 63,0 | 0,521 | 3,45 | 3580 | 11,93 | | | | | | | | |
| 62,8 | 0,523 | 3,45 | 3350 | 11,17 | | | | | | | | |
| 62,0 | 0,521 | 3,39 | 3476 | 11,58 | | | | | | | | |
| 62,6 | 0,651 | 4,38 | 2885 | 9,62 | 278 | 120 | 3,00 | 892 | 892 | | | |
| 63,0 | 0,654 | 4,33 | 3145 | 10,50 | 278 | 120 | 3,00 | 883 | 883 | | | |
| 62,8 | 0,661 | 4,36 | 3280 | 10,93 | 282 | 120 | 3,00 | 870 | 870 | | | |
| 62,8 | — | — | — | — | 275 | 120 | 3,00 | 883 | 883 | | | |
| 62,4 | 0,653 | 4,27 | 3155 | 10,50 | 274 | 120 | 3,00 | 892 | 892 | | | |




Beispiel für Messergebnisse: **Quadrat-Oval**

| Anstichquerschnitt $F_0 = 285 \text{ mm}^2$ ab 9. Kaliber | Kaliber-Nr. | | Walzkraft | | | Drehmoment | | | |
|---|-------------|---|---------------|---------------|----------|-----------------|-----------------|--------------|-----|
| | Stich-Nr. | | links | rechts | gesamt | Oberwalze | Unterwalze | gesamt | |
| | | | P_{10} t | P_{11} t | P t | M_{10} mkg | M_{11} mkg | M_d mkg | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | |
| | 1 | 4 | 3,4 | 14,5 | 17,9 | 330 | 250 | 580 | |
| | 2 | 4 | 4,3 | 15,8 | 20,1 | 394 | 258 | 652 | |
| | 3 | 4 | 4,3 | 17,3 | 21,6 | 416 | 252 | 668 | |
| | 4 | 4 | 4,4 | 17,2 | 21,6 | 402 | 250 | 652 | |
| | 6 | 4 | 3,7 | 18,2 | 21,9 | 366 | 266 | 632 | |
| | 8 | 4 | 4,3 | 19,7 | 24,0 | 378 | 274 | 652 | |
| | | 5 | 4 | 4,5 | 8,5 | 13,0 | 222 | 184 | 406 |
| | | 7 | 4 | 3,7 | 8,6 | 12,3 | 206 | 154 | 360 |
| 9 | | 4 | 4,8 | 8,9 | 13,7 | 222 | 190 | 412 | |
| 10 | | 4 | 5,5 | 9,3 | 14,8 | 254 | 197 | 451 | |
| 11 | | 4 | 4,8 | 8,5 | 13,3 | 220 | 176 | 396 | |
| 12 | | 4 | 4,7 | 8,9 | 13,6 | 248 | 177 | 425 | |
| | | 1 | 4 | — | — | — | 175 | 152 | 327 |
| | | 2 | 4 | — | — | — | 162 | 148 | 310 |
| | 3 | 4 | 4,9 | 12,2 | 17,1 | 182 | 157 | 339 | |
| | 4 | 4 | 4,5 | 12,7 | 17,2 | 175 | 157 | 332 | |
| | 6 | 4 | 4,5 | 11,6 | 16,1 | 165 | 148 | 313 | |
| | 8 | 4 | 4,3 | 11,6 | 15,9 | 165 | 150 | 315 | |

Ofentemperatur: 1050° C (950) Werkstoff: **MSt 3b** Reihe: 114 Anlage: 3 Blatt: 3

| Walzendrehzahl | Stichzeit | Drehwinkel $\delta = \frac{\pi \cdot n}{30} \cdot t_s$ | Walzarbeit $A_w = M_d \cdot \delta$ | Spezifische Walzarbeit $a_w = \frac{A_w}{V}$ | Endquerschnitt | Ausgangslänge vor 1. Stich | Umgeformtes Volumen | Anstichtemperatur | Temperatur nach dem Stich | Walzzeit je Stich | Gesamtwalzzeit | Bemerkung |
|----------------|------------|---|--|---|------------------------|----------------------------|--------------------------------------|-------------------|---------------------------|-------------------|----------------|-----------|
| n U/min | t_s s | δ | A_w mkg | $a_w \cdot 10^3$ mkg/mm ³ | F mm ² | l_s mm | $V \cdot 10^{-3}$ mm ³ | θ_A °C | θ_s °C | t_w s | t_g s | |
| 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 |
| 79,2 | 0,462 | 3,84 | 2272 | 15,9 | 160 | 502 | 1,43 | 1023 | — | | | |
| 79,4 | 0,453 | 3,78 | 2465 | 17,4 | 178 | 499 | 1,42 | — | 964 | | | |
| 79,4 | 0,444 | 3,70 | 2472 | 17,3 | 176 | 501 | 1,43 | — | 983 | | | |
| 79,4 | 0,366 | 3,05 | 1989 | 15,8 | | | | | | | | |
| 79,4 | 0,365 | 3,04 | 1860 | 15,0 | | | | | | | | |
| 79,6 | 0,331 | 2,77 | 1806 | 15,9 | | | | | | | | |
| 79,6 | 0,450 | 3,76 | 1527 | 12,1 | 152 | 543 | 1,26 | 1010 | 945 | | | |
| 79,4 | 0,452 | 3,77 | 1361 | 11,0 | 150 | 436 | 1,24 | — | 938 | | | |
| 79,4 | 0,405 | 3,38 | 1393 | 12,3 | 157 | 398 | 1,14 | — | 938 | | | |
| 79,4 | 0,416 | 3,47 | 1565 | 13,7 | 157 | 400 | 1,14 | — | — | | | |
| 79,4 | — | — | — | — | 151 | 395 | 1,13 | — | 924 | | | |
| 79,4 | 0,411 | 3,43 | 1458 | 12,8 | 151 | 500 | 1,14 | — | 938 | | | |
| 98 | 0,353 | 3,62 | 1180 | 17,3 | 111 | 548 | 0,68 | 966 | 947 | | | |
| 98 | 0,357 | 3,66 | 1135 | 16,7 | 108 | 548 | 0,68 | — | 947 | | | |
| 99 | 0,356 | 3,65 | 1235 | 18,1 | 111 | 548 | 0,68 | — | — | | | |
| 98 | 0,283 | 2,90 | 962 | 18,1 | | | | | | | | |
| 99 | — | — | — | — | | | | | | | | |
| 99 | 0,280 | 2,90 | 914 | 17,2 | | | | | | | | |

Beispiel für Meßergebnisse: **Quadrat-Oval**

| Anstichquerschnitt $F_a = 152 \text{ mm}^2$ | Kaliber-Nr. | Stich-Nr. | Walzkraft links | Walzkraft rechts | Walzkraft gesamt | Drehmoment Oberwalze | Drehmoment Unterwalze | Drehmoment gesamt |
|---|-------------|-----------|-----------------|------------------|------------------|-------------------------|--------------------------|----------------------|
| | | | P_{10} | P_{11} | P | M_{20} | M_{21} | M_d |
| | | | t | t | t | mkg | mkg | mkg |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|  | 10 | 5 | 3,7 | 5,2 | 8,9 | 98 | 75 | 173 |
| | | 7 | 2,9 | 5,1 | 8,0 | 88 | 76 | 164 |
| | | 9 | 2,9 | 4,5 | 7,4 | 95 | 75 | 170 |
| | | 10 | 2,8 | 5,5 | 8,3 | 104 | 78 | 182 |
| | | 12 | 3,2 | — | — | 88 | 100 | 188 |
| | | 14 | 2,8 | 4,6 | 7,4 | 95 | 70 | 165 |
|  | 11 | 11 | 6,6 | 6,4 | 13,0 | 113 | 88 | 203 |
| | | 13 | 4,9 | 6,0 | 10,9 | 72 | 107 | 179 |
| | | 15 | 4,3 | 5,7 | 10,0 | 72 | 91 | 166 |
| | | 16 | 4,9 | 5,7 | 10,6 | 81 | 93 | 174 |
| | | 18 | 4,5 | 4,8 | 9,3 | 88 | 73 | 161 |
| | | 20 | 4,3 | 5,5 | 9,8 | 74 | 82 | 156 |
|  | 12 | 17 | 3,7 | 2,9 | 6,6 | 54 | 64 | 118 |
| | | 19 | 3,0 | 2,7 | 5,7 | 72 | 48 | 120 |
| | | 21 | 3,7 | 4,9 | 8,6 | 61 | 48 | 109 |

Ofentemperatur: 950° C Werkstoff: **MSt 3b** Reihe: 114 Anlage: 3 Blatt: 4

| Walzendrehzahl | Stichzeit | Drehwinkel $\delta = \frac{\pi \cdot n}{30} \cdot t_s$ | Walzarbeit $A_w = M_d \cdot \delta$ | Spezifische Walzarbeit $a_w = \frac{A_w}{V}$ | Endquerschnitt | Ausgangslänge vor 1. Stich | Umgeformtes Volumen | Anstich- temperatur | Temperatur nach dem Stich | Walzzeit je Stich | Gesamtwalzzeit | Bemerkung |
|----------------|-----------|---|--|---|-----------------|-------------------------------|------------------------|------------------------|------------------------------|-------------------|----------------|-----------|
| n | t_s | δ | A_w | $a_w \cdot 10^3$ | F | l_s | $V \cdot 10^{-3}$ | θ_1 | θ_2 | t_g | t_g | |
| U/min | s | ° | mkg | $\frac{\text{mkg}}{\text{mm}^3}$ | mm ² | mm | mm ³ | °C | °C | s | s | |
| 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 |
| 99 | 0,347 | 3,60 | 623 | 11,7 | 91 | 350 | 0,53 | | 925 | | | |
| 99 | 0,358 | 3,71 | 608 | 11,4 | 90 | 350 | 0,53 | | 917 | | | |
| 99 | 0,348 | 3,61 | 614 | 11,5 | 91 | 350 | 0,53 | | 910 | | | |
| 100 | 0,221 | 2,32 | 422 | 12,7 | | | | | | | | |
| 100 | 0,222 | 2,33 | 436 | 13,2 | | | | | | | | |
| 100 | 0,221 | 2,32 | 383 | 11,6 | | | | | | | | |
| 100 | 0,258 | 2,70 | 548 | 16,5 | 75 | 218 | 0,33 | | — | | | |
| 100 | 0,256 | 2,68 | 480 | 14,5 | 75 | 218 | 0,33 | | 825 | | | |
| 100 | 0,264 | 2,77 | 460 | 13,9 | 78 | 218 | 0,33 | | 833 | | | |
| 100 | 0,168 | 1,76 | 306 | 14,1 | | | | | | | | |
| 101 | 0,175 | 1,85 | 298 | 13,7 | | | | | | | | |
| 101 | 0,177 | 1,87 | 292 | 13,4 | | | | | | | | |
| 101 | 0,206 | 2,18 | 258 | 11,9 | 67 | 143 | 0,22 | | 786 | | | |
| 101 | 0,204 | 2,16 | 259 | 11,9 | 62 | 143 | 0,22 | | 814 | | | |
| 101 | 0,208 | 2,20 | 240 | 11,0 | 65 | 143 | 0,22 | | 786 | | | |

Beispiel für Rechenergebnisse: **Quadrat-Oval**

| Kaliber-Nr. | Walzkraft (Mittelwert) P t | Dehnmoment (Mittelwert) M_d mkg | Spez. Walzarbeit (Mittelwert) $a_w \cdot 10^3$ mg/mm ² | Helialarm $a = \frac{P}{M_d}$ mm | Helialarm- verhältnis a/l_d | Mittl. Querschnitt F mm ² | Streckung je Strich $\lambda_{\text{Stich}} = \frac{F_n}{F_{n+1}}$ | Gesamtstreckung $\lambda_{\text{ges}} = \frac{F_n}{F_0}$ | log. Streckung in % ψ_{λ} | Mittlere Ausgangshöhe h_{aus} mm | Mittlere Endhöhe h_{ein} mm |
|-------------|---------------------------------------|--|--|--|-------------------------------------|--|---|---|--|--|--|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| 1 | 33,4 | 2379 | 8,62 | 35,6 | 0,494 | 1220 | 2,05 | 2,05 | 0,718 | 50,0 | 20,7 |
| 2 | 17,4 | 858 | 4,35 | 24,7 | 392 | 933 | 1,31 | 2,68 | 270 | 47,7 | 26,7 |
| 3 | 29,4 | 1193 | 8,10 | 20,3 | 358 | 590 | 1,58 | 4,24 | 458 | 32,2 | 13,1 |
| 4 | 17,4 | 629 | 5,73 | 18,1 | 298 | 471 | 1,25 | 5,31 | 225 | 33,9 | 17,1 |
| 5 | 31,8 | 1015 | 11,7 | 16,0 | 341 | 347 | 1,36 | 7,21 | 302 | 22,4 | 9,56 |
| 6 | 21,3 | 706 | 10,4 | 16,6 | 0,300 | 278 | 1,24 | 9,00 | 0,219 | 28,0 | 13,5 |
| 7 | 21,2 | 635 | 16,2 | 15,0 | 427 | 171 | 1,66 | 14,6 | 507 | 17,0 | 7,58 |
| 8 | 13,5 | 508 | 12,4 | 15,1 | 438 | 133 | 1,32 | 16,3 | 113 | 17,1 | 9,42 |
| 9 | 16,6 | 323 | 17,5 | 9,7 | 367 | 110 | 1,39 | 22,7 | 330 | 12,7 | 5,52 |
| 10 | 8,0 | 174 | 12,0 | 10,9 | 314 | 91 | 1,21 | 27,5 | 191 | 14,5 | 7,46 |
| 11 | 10,6 | 173 | 14,3 | 8,2 | 407 | 76 | 1,20 | 32,9 | 182 | 9,7 | 5,38 |
| 12 | 6,3 | 116 | 11,6 | 9,2 | 0,376 | 65 | 1,17 | 38,5 | 0,157 | 14,2 | 6,25 |

Werkstoff: **MSt 3 b**

Reihe: 115

Anlage: 3

Blatt: 5

| Höhungsverhältnis $\frac{h_{\text{ein}}}{h_{\text{aus}}}$ | Hauptform- änderung $\psi_h = \frac{h_{\text{aus}}}{h_{\text{ein}}}$ | Bezugene mittlere Formänderung $\epsilon = \frac{h_{\text{aus}} - h_{\text{ein}}}{h_{\text{ein}}} \cdot 100$ | Mittlere Form- änderungsgeschw. $\dot{\psi} = \frac{\epsilon}{t} \psi_h$ | Gedrückte Fläche F_d mm ² | Formänderungs- widerstand $k_w = P/F_d$ kg/mm ² | Formänderungs- widerstand $k'_w = 1000 \cdot \frac{a_w}{\psi_h}$ kg/mm ² | Formänderungs- widerstands- verhältnis k_w/k'_w | Bemerkung |
|--|--|--|--|--|---|--|--|-----------|
| 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 |
| 2,42 | 0,884 | 58,7 | 16,9 | 4185 | 7,98 | 9,75 | 0,82 | |
| 1,79 | 582 | 44,1 | 12,4 | 1556 | 11,2 | 7,43 | 1,50 | |
| 2,45 | 896 | 59,2 | 22,6 | 2276 | 12,9 | 9,04 | 1,43 | |
| 1,98 | 683 | 49,3 | 15,6 | 1074 | 16,2 | 8,38 | 1,94 | |
| 2,34 | 850 | 57,3 | 24,6 | 1392 | 22,8 | 13,7 | 1,67 | |
| 2,08 | 0,732 | 51,8 | 18,7 | 791 | 26,9 | 14,2 | 1,90 | |
| 2,24 | 807 | 55,5 | 33,6 | 743 | 28,5 | 20,1 | 1,42 | |
| 1,81 | 594 | 44,9 | 24,9 | 363 | 37,2 | 20,8 | 1,78 | |
| 2,30 | 833 | 56,5 | 44,5 | 516 | 32,4 | 21,0 | 1,54 | |
| 1,94 | 662 | 48,7 | 26,6 | 257 | 32,1 | 18,2 | 1,77 | |
| 1,81 | 593 | 44,6 | 42,7 | 258 | 41,1 | 24,1 | 1,71 | |
| 1,79 | 0,582 | 44,3 | 34,4 | 173 | 36,4 | 19,9 | 1,83 | |

Ermittlung der gedrückten Fläche

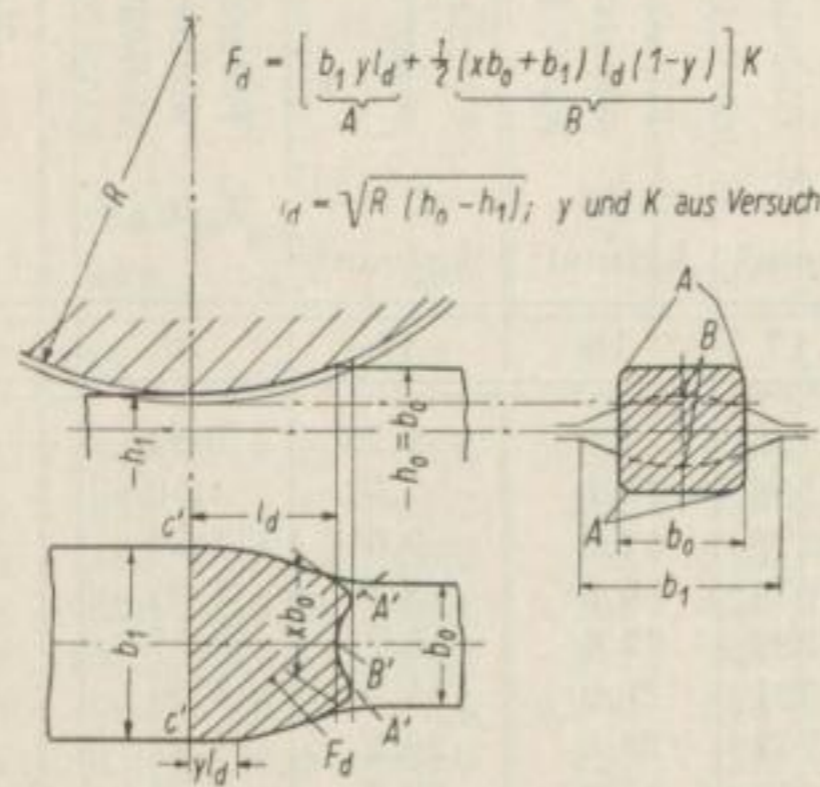
Stichfolge: **Quadrat-Oval**

Werkstoff: **MSt 3b**

Reihe: 114

Anlage: 3

Blatt 6



$$F_d = \left[\underbrace{b_1 y l_d}_A + \frac{1}{2} \underbrace{(x b_0 + b_1) l_d (1 - y)}_B \right] K$$

$$l_d = \sqrt{R (h_0 - h_1)}; y \text{ und } K \text{ aus Versuch}$$

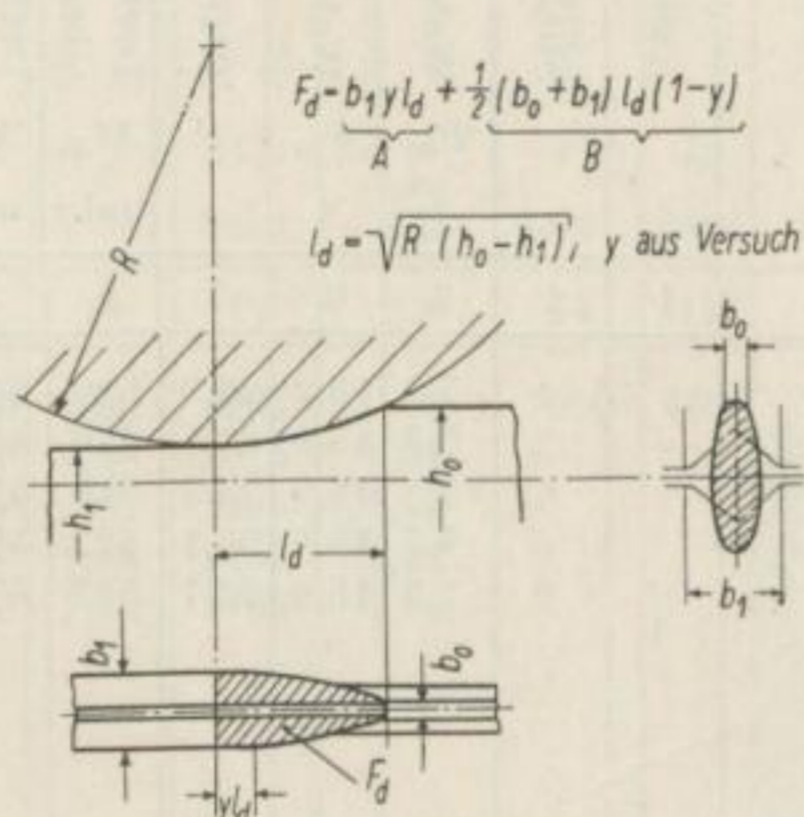
| Kaliber | R | $h_0 - h_1$ | $h_0 = b_0$ | h_1 | b_1 | $\frac{b_0 + b_1}{2}$ | l_d | A | B | F_d | Kaliber | K | x | y |
|---------|-------|-------------|-------------|-------|-------|-----------------------|-------|-----------------|-----------------|-----------------|---------|------|------|-----|
| | mm | mm | mm | mm | mm | mm | mm | mm ² | mm ² | mm ² | | mm | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| 1 | 211,5 | 24,4 | 50,0 | 25,6 | 59,1 | | 71,9 | 854 | 3160 | 4185 | 1 | 1,05 | 1,0 | 0,2 |
| 3 | 216,0 | 14,8 | 32,2 | 17,4 | 45,0 | | 56,5 | 513 | 1758 | 2276 | 3 | 1,03 | 0,93 | 0,2 |
| 5 | 219,0 | 10,0 | 22,4 | 12,4 | 36,3 | | 46,8 | 341 | 1110 | 1392 | 5 | 1,02 | 0,82 | 0,2 |
| 7 | 175,7 | 7,0 | 17,0 | 10,0 | 22,6 | | 35,0 | 158 | 550 | 743 | 7 | 1,05 | 0,98 | 0,2 |
| 9 | 136,5 | 5,1 | 12,7 | 7,6 | 19,9 | | 26,4 | 105 | 386 | 516 | 9 | 1,05 | 0,98 | 0,2 |
| 11 | 137,5 | 2,9 | 9,7 | 6,8 | 14,1 | | 20,0 | 57 | 189 | 258 | 11 | 1,05 | 0,98 | 0,2 |

Ermittlung der gedrückten Fläche Stichfolge **Oval-Quadrat**Werkstoff: **MSt 3b**

Reihe: 114

Anlage 3

Blatt: 7






$$F_d = \underbrace{b_1 y l_d}_A + \underbrace{\frac{1}{2} (b_0 + b_1) l_d (1 - y)}_B$$

| Kaliber | R | $h_0 - h_1$ | h_0 | h_1 | b_0 | b_1 | l_d | A | B | F_d | Kaliber | y |
|---------|-------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|------|-------|---------|-----|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
| 2 | 204,0 | 19,5 | 59,1 | 39,6 | 12,0 | 35,0 | 63,1 | 221 | 1335 | 1556 | 2 | 0,1 |
| 4 | 211,0 | 17,5 | 45,0 | 27,5 | 7,0 | 26,4 | 60,8 | 161 | 913 | 1074 | 4 | 0,1 |
| 6 | 214,5 | 14,2 | 36,3 | 22,1 | 5,7 | 21,4 | 55,2 | 118 | 673 | 791 | 6 | 0,1 |
| 8 | 173,3 | 6,9 | 22,6 | 15,6 | 3,6 | 16,3 | 34,5 | 56 | 307 | 363 | 8 | 0,1 |
| 10 | 134,0 | 9,0 | 19,9 | 10,9 | 1,6 | 12,2 | 34,7 | 42 | 215 | 257 | 10 | 0,1 |
| 12 | 136,8 | 4,4 | 14,1 | 9,7 | 3,0 | 10,4 | 24,5 | 25 | 148 | 173 | 12 | 0,1 |

Beispiel für Meßergebnisse: Raute-Raute

Anstichquerschnitt

$$F_n = \frac{2500}{50} \text{ mm}^2$$

| Anstichquerschnitt | Kaliber-Nr. | Stich-Nr. | Walzkraft links | Walzkraft rechts | Walzkraft gesamt | Drehmoment Oberwalze | Drehmoment Unterwalze | Drehmoment gesamt |
|---|-------------|-----------|-----------------|------------------|------------------|----------------------|-----------------------|-------------------|
| | | | P_{40} | P_{11} | P | M_{40} | M_{11} | M_g |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|  | 1 | 1 | 7,7 | 16,2 | 23,9 | 580 | 418 | 998 |
| | | 2 | 7,7 | 15,9 | 23,5 | 570 | 444 | 1014 |
| | | 5 | 7,5 | 15,9 | 23,4 | 540 | 444 | 984 |
| | | 6 | 7,7 | 15,4 | 23,1 | 522 | 470 | 992 |
| | | 9 | 7,7 | 15,0 | 22,7 | 522 | 470 | 992 |
|  | 2 | 3 | 12,5 | 13,9 | 26,4 | 702 | 690 | 1392 |
| | | 5 | 11,9 | 13,7 | 25,6 | 730 | 660 | 1390 |
| | | 7 | 12,3 | 14,0 | 26,3 | 702 | 642 | 1344 |
| | | 10 | 12,4 | 13,6 | 26,0 | 688 | 636 | 1324 |
| | | 12 | 13,0 | 14,2 | 27,2 | 758 | 576 | 1334 |
| | | 15 | 12,8 | 13,5 | 26,3 | 630 | 606 | 1236 |
|  | 3 | 8 | 16,7 | 11,3 | 28,0 | 630 | 576 | 1206 |
| | | 11 | 16,8 | 11,0 | 27,8 | 555 | 606 | 1161 |
| | | 13 | 18,0 | 11,3 | 29,3 | 600 | 555 | 1155 |
| | | 16 | 16,9 | 11,0 | 27,9 | 584 | 550 | 1134 |
| | | 18 | 17,0 | 11,0 | 28,0 | 578 | 550 | 1129 |
| | | 21 | 18,7 | 11,6 | 30,3 | 584 | 550 | 1134 |

Ofentemperatur: 1260 °C Werkstoff: MSt 3b Reihe 115 Anlage: 4 Blatt: 1

| Walzendrehzahl | Stichzeit | Drehwinkel | Walzarbeit | Spezifische Walzarbeit | Endquerschnitt | Ausgangslänge | Umgelormtes Volumen | Anstichtemperatur | Temperatur nach dem Stich | Walzeit je Stich | Gesamtwalzeit | Bemerkung |
|----------------|-----------|---------------------------------------|--------------------------|----------------------------------|-----------------|---------------|---------------------|-------------------|---------------------------|------------------|---------------|-----------|
| n | t_s | $\delta = \frac{\pi n}{60} \cdot t_s$ | $A_w = M_g \cdot \delta$ | $a_w = \frac{A_w}{F}$ | F | l_0 | $V \cdot 10^{-4}$ | θ_s | θ_e | t_w | t_g | |
| U/min | s | ° | mkg | $\frac{\text{mkg}}{\text{mm}^2}$ | mm ² | mm | mm ³ | °C | °C | s | s | |
| 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 |
| 62,0 | 0,353 | 2,29 | 2285 | 2,03 | 1900 | 450 | 11,25 | 1250 | 1196 | | | |
| 62,0 | 0,306 | 1,98 | 2015 | 2,01 | - | 450 | 10,0 | | 1208 | | | |
| 62,6 | 0,310 | 2,01 | 1980 | 1,98 | | | | | | | | |
| 63,0 | 0,269 | 1,78 | 1765 | 2,02 | | | | | | | | |
| 63,4 | 0,271 | 1,80 | 1785 | 2,04 | | | | | | | | |
| 62,6 | 0,409 | 2,68 | 3730 | 3,73 | 1552 | 400 | 10,0 | | 1150 | | | |
| 62,6 | 0,409 | 2,68 | 3725 | 3,72 | 1552 | 400 | 10,0 | | 1153 | | | |
| 63,0 | 0,327 | 2,16 | 2900 | 3,32 | | | | | | | | |
| 63,4 | 0,345 | 2,29 | 3030 | 3,47 | | | | | | | | |
| 63,4 | 0,243 | 1,62 | 2315 | 3,71 | | | | | | | | |
| 63,0 | 0,254 | 1,61 | 1990 | 3,18 | | | | | | | | |
| 63,0 | 0,440 | 2,90 | 3500 | 5,00 | 1205 | 350 | 8,75 | 1255 | 1125 | | | |
| 63,0 | 0,428 | 2,82 | 3280 | 3,80 | 1203 | 350 | 8,75 | | 1150 | | | |
| 63,4 | 0,317 | 2,10 | 2525 | 3,88 | | | | | | | | |
| 63,0 | 0,312 | 2,06 | 2335 | 3,74 | | | | | | | | |
| 63,4 | 0,252 | 1,67 | 1885 | 3,77 | | | | | | | | |
| 63,4 | 0,259 | 1,66 | 1880 | 3,76 | | | | | | | | |

Beispiele für Meßergebnisse: Raute-Raute




| Anstichquerschnitt $F_0 = \frac{2500}{50} \text{ mm}^2$ | | Kaliber-Nr. | Stich-Nr. | Walzkraft links P_{0l} t | Walzkraft rechts P_{0r} t | Walzkraft gesamt P t | Drehmoment Oberwalze M_{0b} mkg | Drehmoment Unterwalze M_{0u} mkg | Drehmoment gesamt M_d mkg |
|--|--|-------------|-----------|----------------------------------|-----------------------------------|------------------------------|--|---|--------------------------------------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| | | 4 | 14 | 21,3 | 8,6 | 29,9 | 584 | 606 | 1190 |
| | | | 17 | 19,5 | 8,2 | 27,7 | 555 | 522 | 1077 |
| | | | 19 | 19,4 | 8,0 | 27,4 | 522 | 550 | 1072 |
| | | | 22 | 20,6 | 8,4 | 29,0 | 586 | 496 | 1082 |
| | | | 25 | 21,0 | 8,6 | 29,6 | 555 | 550 | 1105 |
| | | | 26 | 21,4 | 8,7 | 30,1 | 570 | 504 | 1074 |
| | | 5 | 20 | 25,8 | 6,9 | 32,7 | 630 | 548 | 1178 |
| | | | 23 | 27,6 | 7,2 | 34,8 | 590 | 606 | 1196 |
| | | | 25 | 28,2 | 7,4 | 35,6 | 600 | 602 | 1202 |
| | | | 27 | 28,3 | 7,8 | 36,1 | 630 | 576 | 1206 |

Ofentemperatur: 1260 °C Werkstoff: MSt 3b Reihe: 115 Anlage: 4 Blatt: 2

| Walzendrehzahl n U/min | Stichzeit t_s s | Drehwinkel $\delta = \frac{\pi n}{30} \cdot t_s$ δ | Walzarbeit $A_w = M_d \cdot \delta$ A_w mkg | Spezifische Walzarbeit $a_w = \frac{A_w}{V}$ a_w $\frac{\text{mkg}}{\text{mm}^3}$ | Endquerschnitt F F mm^2 | Ausgangslänge vor 1. Stich l_0 l_0 mm | Umgeformtes Volumen $V \cdot 10^{-3}$ $V \cdot 10^{-3}$ mm^3 | Anstich- temperatur θ_A θ_A °C | Temperatur nach dem Stich θ_s θ_s °C | Walzzeit je Stich t_c t_c s | Gesamtwalzzeit t_g t_g s | Bemerkung |
|--------------------------------|-------------------------|---|--|--|---|---|---|--|--|--|---------------------------------------|-----------|
| 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 |
| 63,4 | 0,388 | 2,58 | 3070 | 4,91 | 958 | 250 | 6,25 | 1240 | 1095 | | | |
| 63,4 | 0,391 | 2,60 | 2800 | 4,48 | 965 | 250 | 6,25 | | 1086 | | | |
| 63,0 | 0,312 | 2,06 | 2210 | 4,42 | | | | | | | | |
| 63,4 | 0,311 | 2,07 | 2240 | 4,48 | | | | | | | | |
| 65,4 | 0,292 | 2,00 | 2210 | 4,42 | | | | | | | | |
| 65,4 | 0,234 | 1,61 | 1725 | 4,60 | | | | | | | | |
| 63,0 | 0,400 | 2,64 | 3110 | 6,22 | 730 | 200 | 5,00 | 1240 | 1076 | | | |
| 63,0 | 0,402 | 2,65 | 3170 | 6,35 | 740 | 200 | 5,00 | | 1060 | | | |
| 65,4 | 0,374 | 2,56 | 3080 | 6,16 | 736 | 200 | 5,00 | | 1030 | | | |
| 65,4 | 0,291 | 1,99 | 2400 | 6,40 | 743 | 150 | 3,75 | | 1035 | | | |

Beispiele für Meßergebnisse: Raute-Raute




Anstichquerschnitt
 $F_0 = 751 \text{ mm}^2$

| Kaltber-Nr. | Stich-Nr. | Walzkraft links | Walzkraft rechts | Walzkraft gesamt | Drehmoment Oberwalze | Drehmoment Unterwalze | Drehmoment gesamt | |
|---|--|-----------------|------------------|------------------|----------------------|-----------------------|-------------------|-----|
| | | P_{10} t | P_{11} t | P t | M_{10} mkg | M_{11} mkg | M_d mkg | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | |
|  | 1 | 5,9 | 12,8 | 18,7 | 426 | 316 | 742 | |
| | 2 | 6,0 | 12,1 | 18,1 | 432 | 316 | 748 | |
| | 3 | 5,9 | 13,3 | 19,2 | 428 | 365 | 792 | |
| | 4 | 5,8 | 12,6 | 18,4 | 396 | 333 | 729 | |
| | 7 | 6,2 | 12,3 | 18,5 | 410 | 307 | 717 | |
| | 10 | 6,0 | 12,8 | 18,8 | 444 | 316 | 760 | |
| |  | 4 | 8,7 | 9,8 | 18,5 | 362 | 266 | 628 |
| | | 6 | 8,8 | 9,8 | 18,6 | 362 | 266 | 628 |
| | | 8 | 8,3 | 10,4 | 18,7 | 346 | 290 | 636 |
| | | 11 | 8,0 | 9,8 | 17,8 | 346 | 299 | 645 |
| 13 | | 9,2 | 10,2 | 19,4 | 358 | 290 | 648 | |
| 16 | | 8,3 | 10,0 | 18,3 | 362 | 243 | 605 | |
|  | 9 | 13,1 | 9,7 | 22,8 | 380 | 299 | 679 | |
| | 12 | 13,0 | 9,5 | 22,5 | 362 | 310 | 672 | |
| | 14 | 15,9 | 9,5 | 25,4 | 380 | 290 | 670 | |
| | 17 | 12,7 | 9,5 | 22,2 | 362 | 274 | 636 | |
| | 19 | 12,5 | 7,9 | 20,4 | 362 | 267 | 629 | |

Ofentemperatur: 1080 °C Werkstoff: MSt 3b Reihe: 115 Anlage: 4 Blatt: 3

| Walzendrehzahl | Stichzeit | Drehwinkel $\delta = \frac{\pi n}{60} \cdot t_s$ | Walzarbeit $A_w = M_d \cdot \delta$ | Spezifische Walzarbeit $a_w = \frac{A_w}{V}$ | Endquerschnitt | Ausgangslänge vor 1. Stich | Umgeformtes Volumen | Anstichtemperatur | Temperatur nach dem Stich | Walzzeit je Stich | Gesamtwalzzeit | Bemerkung |
|----------------|------------|---|--|--|----------------------|----------------------------|------------------------------------|-------------------|---------------------------|-------------------|----------------|-----------|
| n U/min | t_s s | δ | A_w mkg | $a_w \cdot 10^3$ $\frac{\text{mkg}}{\text{mm}^3}$ | F mm^2 | l_0 mm | $V \cdot 10^{-3}$ mm^3 | θ_A °C | θ_s °C | t_w s | t_g s | |
| 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 |
| 79,6 | 0,304 | 2,51 | 1862 | 6,24 | 376 | 402 | 2,98 | 1090 | 1034 | | | |
| 78,8 | 0,301 | 2,51 | 1877 | 6,28 | 376 | 404 | 2,99 | | 1046 | | | |
| 79,8 | 0,264 | 2,20 | 1742 | 6,70 | | | | | | | | |
| 79,8 | 0,258 | 2,15 | 1567 | 6,03 | | | | | | | | |
| 79,6 | 0,222 | 1,84 | 1319 | 5,94 | | | | | | | | |
| 79,6 | 0,226 | 1,87 | 1421 | 6,40 | | | | | | | | |
| 79,8 | 0,326 | 2,72 | 1708 | 6,57 | 454 | 351 | 2,60 | | 1006 | | | |
| 79,6 | 0,322 | 2,66 | 1670 | 6,42 | 447 | 351 | 2,60 | | 1024 | | | |
| 79,6 | — | — | — | — | | | | | | | | |
| 79,8 | 0,282 | 2,35 | 1516 | 6,83 | | | | | | | | |
| 79,8 | 0,236 | 1,97 | 1276 | 6,85 | | | | | | | | |
| 79,8 | 0,232 | 1,94 | 1174 | 6,31 | | | | | | | | |
| 79,8 | 0,346 | 2,89 | 1962 | 8,85 | 358 | 299 | 2,22 | 1070 | 970 | | | |
| 79,8 | 0,348 | 2,90 | 1949 | 8,77 | 355 | 299 | 2,22 | | 978 | | | |
| 79,8 | 0,292 | 2,44 | 1635 | 8,79 | | | | | | | | |
| 79,8 | 0,280 | 2,34 | 1488 | 8,00 | | | | | | | | |
| 79,6 | 0,230 | 1,90 | 1195 | 8,07 | | | | | | | | |

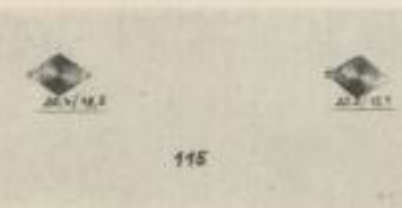
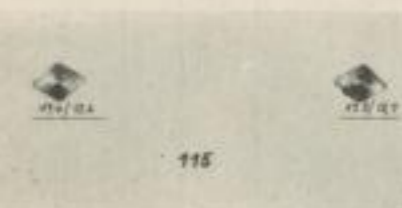
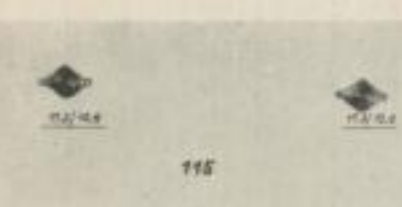
Beispiel für Meßergebnisse: **Raute-Raute**

| Anstichquerschnitt $F_a = 741 \text{ mm}^2$ | | Kathode-Nr. | Stich-Nr. | Walzkraft links P_{00} t | Walzkraft rechts P_{21} t | Walzkraft gesamt P t | Drehmoment Oberwalze M_{00} mkg | Drehmoment Untervalze M_{20} mkg | Drehmoment gesamt M_g mkg |
|---|--|-------------|-----------|----------------------------------|-----------------------------------|------------------------------|--|---|--------------------------------------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|  | | 9 | 15 | 12,0 | 6,2 | 18,2 | 312 | 266 | 578 |
| | | | 18 | 11,7 | 6,0 | 17,7 | 294 | 235 | 529 |
| | | | 20 | 11,5 | 6,2 | 17,7 | 278 | 235 | 513 |
| | | | 22 | 12,0 | 6,0 | 18,0 | 278 | 235 | 513 |
| | | | 24 | 11,9 | 5,8 | 17,7 | 276 | 220 | 496 |
| | | | 26 | 11,9 | 5,8 | 17,7 | 276 | 220 | 496 |
| | | | 27 | 10,8 | 5,5 | 16,3 | 284 | 213 | 497 |
|  | | 10 | 21 | 13,9 | 5,4 | 19,3 | 296 | 220 | 516 |
| | | | 23 | 14,8 | 5,4 | 20,2 | 280 | 228 | 508 |
| | | | 25 | 13,8 | 5,4 | 19,2 | 278 | 205 | 483 |
| | | | 28 | 12,5 | 5,2 | 17,7 | 296 | 205 | 501 |
| | | | 30 | 13,0 | 5,4 | 18,4 | 286 | 220 | 506 |
| | | | 32 | 10,8 | 5,4 | 16,2 | 284 | 213 | 497 |
| | | | 32 | 10,8 | 5,4 | 16,2 | 284 | 213 | 497 |
|  | | 11 | 26 | 14,5 | 4,2 | 18,7 | 260 | 200 | 460 |
| | | | 29 | 13,9 | 4,1 | 18,0 | 270 | 205 | 475 |
| | | | 31 | 12,4 | 3,8 | 16,2 | 260 | 195 | 455 |
| | | | 33 | 13,0 | 4,3 | 17,3 | 260 | 205 | 465 |
| | | | 34 | 12,9 | 4,0 | 16,9 | 244 | 190 | 434 |
| | | | 35 | 13,3 | 4,2 | 17,5 | 260 | 197 | 457 |
| | | | 35 | 13,3 | 4,2 | 17,5 | 260 | 197 | 457 |

Ofentemperatur: 1080 °C Werkstoff: **MS1 3b** Reihe: 115 Anlage: 5 Blatt: 4

| Walzdrehzahl n U/min | Stichzeit t_s s | Drehwinkel $\delta = \frac{\pi \cdot n}{30} \cdot t_s$ | Walzarbeit $A_w = M_g \cdot \delta$ mkg | Spezifische Walzarbeit $a_w = \frac{A_w}{V}$ $\frac{\text{mkg}}{\text{mm}^3} \cdot 10^3$ | Endquerschnitt F mm^2 | Ausgangslänge vor 1. Stich l_a mm | Ungelagertes Volumen $V \cdot 10^{-3}$ mm^3 | Anstichtemperatur θ_A °C | Temperatur nach dem Stich θ_s °C | Walzzeit je Stich t_w s | Gesamtwalzzeit t_g s | Bemerkung |
|------------------------------|-------------------------|---|---|--|--|--|---|---------------------------------------|--|---------------------------------|------------------------------|-----------|
| 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 |
| 79,6 | 0,362 | 2,99 | 1728 | 9,28 | 295 | 251 | 1,86 | | 944 | | | |
| 79,6 | 0,360 | 2,98 | 1576 | 8,46 | 298 | 251 | 1,86 | | 950 | | | |
| 79,6 | 0,291 | 2,41 | 1236 | 8,35 | | | | | | | | |
| 79,6 | 0,288 | 2,38 | 1221 | 8,15 | | | | | | | | |
| 79,6 | 0,214 | 1,79 | 888 | 7,86 | | | | | | | | |
| 79,4 | 0,214 | 1,78 | 885 | 7,83 | | | | | | | | |
| 79,4 | 0,358 | 2,97 | 1533 | 10,37 | 230 | 200 | 1,58 | | 924 | | | |
| 79,6 | 0,356 | 2,94 | 1594 | 10,61 | 238 | 202 | 1,50 | | 894 | | | |
| 79,6 | 0,271 | 2,24 | 1081 | 9,58 | | | | | | | | |
| 79,4 | 0,270 | 2,23 | 1122 | 9,92 | | | | | | | | |
| 79,4 | — | — | — | — | | | | | | | | |
| 79,6 | 0,262 | 2,17 | 1078 | 9,70 | | | | | | | | |
| 79,4 | 0,326 | 2,71 | 1247 | 11,01 | 192 | 152 | 1,13 | 1076 | 886 | | | |
| 79,6 | 0,322 | 2,66 | 1264 | 11,18 | 192 | 152 | 1,13 | | 910 | | | |
| 79,6 | 0,328 | 2,71 | 1233 | 11,11 | 189 | 150 | 1,11 | | 910 | | | |
| 79,4 | 0,312 | 2,59 | 1204 | 10,85 | 188 | 150 | 1,11 | | 878 | | | |
| 79,4 | 0,326 | 2,71 | 1176 | 10,40 | | 153 | 1,13 | | 894 | | | |
| 79,4 | 0,322 | 2,68 | 1225 | 11,05 | | 150 | 1,11 | | 900 | | | |

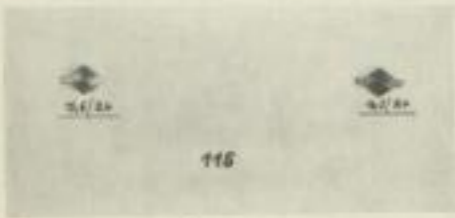


Beispiel für Meßergebnisse: Raute-Raute

| Anstichquerschnitt $F_a = 190 \text{ mm}^2$ | Kaliber-Nr. | Stich-Nr. | Walzkraft links | Walzkraft rechts | Walzkraft gesamt | Drehmoment Oberwalze | Drehmoment Unterwalze | Drehmoment gesamt |
|--|-------------|-----------|-----------------|------------------|------------------|-------------------------|--------------------------|----------------------|
| | | | P_{11} | P_{12} | P | M_{11} | M_{12} | M_d |
| | | | t | t | t | mkg | mkg | mkg |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|  <p>115</p> | 12 | 1 | 6,0 | 7,4 | 13,4 | 164 | 150 | 314 |
| | | 2 | 4,3 | 7,9 | 12,2 | 144 | 150 | 294 |
| | | 3 | 4,3 | 7,9 | 12,2 | 150 | 138 | 288 |
| | | 4 | 3,7 | 7,3 | 11,0 | 137 | 134 | 271 |
| | | 6 | 3,7 | 8,1 | 11,8 | 142 | 145 | 287 |
| | | 8 | 4,3 | 8,1 | 12,4 | 138 | 146 | 284 |
|  <p>115</p> | 13 | 5 | 3,9 | 5,0 | 8,9 | 98 | 117 | 215 |
| | | 7 | 4,2 | 5,3 | 9,5 | 108 | 114 | 222 |
| | | 9 | 4,2 | 5,2 | 9,4 | 107 | 120 | 227 |
| | | 10 | 4,4 | 4,9 | 9,3 | 98 | 117 | 215 |
| | | 12 | 4,2 | 5,5 | 9,7 | 122 | 110 | 232 |
| | | 14 | 4,3 | 5,5 | 9,8 | 116 | 113 | 229 |
|  <p>115</p> | 14 | 11 | 7,2 | 4,8 | 12,0 | 128 | 110 | 238 |
| | | 13 | 7,5 | 4,8 | 12,3 | 137 | 120 | 257 |
| | | 15 | 7,5 | 4,9 | 12,4 | 125 | 124 | 249 |
| | | 16 | 6,6 | 4,8 | 11,4 | 115 | 124 | 239 |
| | | 18 | 6,9 | 4,7 | 11,6 | 115 | 120 | 235 |
| | | 20 | 6,7 | 4,6 | 11,3 | 115 | 117 | 232 |

Ofentemperatur: 930 °C Werkstoff: MSt 3b Reihe: 115 Anlage: 4 Blatt: 5

| Walzendrehzahl | Stichbreite | Drehwinkel $\delta = \frac{\pi \cdot n}{30} \cdot t_s$ | Walzarbeit $A_w = M_d \cdot \delta$ | Spezifische Walzarbeit $a_w = \frac{A_w}{V}$ | Endquerschnitt | Ausgangslänge vor 1. Stich | Umgeformtes Volumen | Anstichtemperatur | Temperatur nach dem Stich | Walzzeit je Stich | Gesamtwalzzeit | Bemerkung |
|----------------|-------------|---|--|---|----------------|----------------------------|---------------------|-------------------|---------------------------|-------------------|----------------|-----------|
| n | t_s | δ | A_w | $a_w \cdot 10^3$ | F | l_s | $V \cdot 10^{-4}$ | θ_z | θ_z | t_w | t_g | |
| U/min | s | ° | mkg | $\frac{\text{mkg}}{\text{mm}^3}$ | mm^2 | mm | mm^3 | °C | °C | s | s | |
| 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 |
| 101 | 0,325 | 3,66 | 1149 | 13,54 | 142 | 450 | 0,86 | | | | | |
| 101 | 0,323 | 3,43 | 1084 | 12,67 | 146 | 450 | 0,86 | | | | | |
| 101 | 0,323 | 3,43 | 988 | 11,56 | 146 | 450 | 0,86 | | | | | |
| 101 | 0,246 | 2,61 | 707 | 10,63 | | | | | | | | |
| 101 | 0,244 | 2,59 | 743 | 11,17 | | | | | | | | |
| 101 | 0,250 | 2,65 | 647 | 9,73 | | | | | | | | |
| 101 | 0,296 | 3,14 | 675 | 10,15 | 119 | 350 | 0,67 | | | | | |
| 101 | 0,308 | 3,27 | 726 | 10,92 | 119 | 350 | 0,67 | | | | | |
| 101 | 0,312 | 3,31 | 751 | 11,30 | 120 | 350 | 0,67 | | | | | |
| 101 | 0,219 | 2,32 | 499 | 10,51 | | | | | | | | |
| 102 | 0,219 | 2,38 | 552 | 11,62 | | | | | | | | |
| 102 | 0,221 | 2,37 | 543 | 11,43 | | | | | | | | |
| 102 | 0,271 | 2,90 | 690 | 14,53 | 94 | 250 | 0,48 | | | | | |
| 102 | 0,281 | 3,01 | 774 | 16,29 | 96 | 250 | 0,48 | | | | | |
| 102 | 0,275 | 2,95 | 735 | 15,47 | 97 | 250 | 0,48 | | | | | |
| 102 | 0,221 | 2,37 | 566 | 15,13 | | | | | | | | |
| 102 | 0,211 | 2,26 | 531 | 14,20 | | | | | | | | |
| 102 | 0,219 | 2,38 | 552 | 14,76 | | | | | | | | |

Beispiel für Meßergebnisse: Raute-Raute

| Austichquerschnitt $F_0 = 190 \text{ mm}^2$ | | Kaliber-Nr. | Stück-Nr. | Walzkraft links P_{00} t | Walzkraft rechts P_{11} t | Walzkraft gesamt P t | Drehmoment Oberwalze M_{00} mkg | Drehmoment Unterwalze M_{11} mkg | Drehmoment gesamt M_d mkg |
|--|--|-------------|-----------|----------------------------------|-----------------------------------|------------------------------|--|---|--------------------------------------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|  <p>148</p> | | 15 | 17 | 7,1 | 3,7 | 10,8 | 122 | 114 | 236 |
| | | | 19 | 7,0 | 3,6 | 10,6 | 125 | 115 | 250 |
| | | | 21 | 7,2 | 3,7 | 10,9 | 117 | 120 | 237 |
| | | | 22 | 7,7 | 3,8 | 11,5 | 128 | 120 | 248 |
| | | | 24 | 8,3 | 4,3 | 12,6 | 137 | 124 | 261 |
| | | | 25 | 7,8 | 3,5 | 11,3 | 118 | 120 | 238 |
| | | | 26 | 7,8 | 3,5 | 11,3 | 118 | 120 | 238 |
|  <p>149</p> | | 16 | 23 | 6,6 | 3,1 | 9,7 | 95 | 108 | 202 |
| | | | 25 | 7,2 | 2,8 | 10,0 | 100 | 96 | 196 |
| | | | 27 | 6,0 | 2,7 | 8,7 | 91 | 85 | 178 |
| | | | 28 | 6,7 | 2,4 | 9,1 | 87 | 82 | 169 |
| | | | 30 | 6,6 | 2,3 | 8,9 | 83 | 87 | 170 |
| | | | 31 | 6,3 | 2,3 | 8,6 | 85 | 79 | 164 |
| | | | 32 | 6,3 | 2,3 | 8,6 | 85 | 79 | 164 |
|  <p>150</p> | | 17 | 29 | 5,5 | 2,3 | 7,8 | 58 | 72 | 130 |
| | | | 31 | 5,5 | 1,9 | 7,4 | 58 | 84 | 132 |
| | | | 33 | 6,3 | 2,3 | 8,6 | 58 | 76 | 134 |

Ofentemperatur: 930 C^o Werkstoff: MSt 3b Reihe: 115 Anlage: 5 Blatt: 6

| Walzen-drehzahl n U/min | Stichzeit t_s s | Drehwinkel $\delta = \frac{\pi \cdot n}{30} \cdot t_s$ | Walzarbeit $A_w = M_d \cdot \delta$ mkg | Spezifische Walzarbeit $a_w = \frac{A_w}{V}$ $\frac{\text{mkg}}{\text{mm}^3}$ | Endquerschnitt F mm^2 | Ausgangslänge vor 1. Stich l_0 mm | Umgeformtes Volumen $V \cdot 10^{-3}$ mm^3 | Austich-temperatur θ_A °C | Temperatur nach dem Stich θ_s °C | Walzzeit je Stich t_w s | Gesamtwalzzeit t_g s | Bemerkung |
|---------------------------------|-------------------------|---|---|---|--|---|---|--|---|---------------------------------|------------------------------|-----------|
| 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 |
| 102 | 0,281 | 3,01 | 710 | 18,98 | 77 | 197 | 0,37 | | | | | |
| 102 | 0,269 | 2,88 | 691 | 18,58 | 76 | 197 | 0,37 | | | | | |
| 102 | 0,281 | 3,01 | 713 | 19,06 | 76 | 197 | 0,37 | | | | | |
| 102 | 0,279 | 2,99 | 702 | 19,53 | | | | | | | | |
| 102 | 0,269 | 2,88 | 752 | 19,79 | | | | | | | | |
| 102 | 0,284 | 3,04 | 724 | 19,05 | | | | | | | | |
| 102 | 0,327 | 3,50 | 707 | 18,61 | 65 | 200 | 0,38 | | | | | |
| 102 | 0,323 | 3,46 | 678 | 17,84 | 66 | 200 | 0,38 | | | | | |
| 102 | 0,329 | 3,52 | 627 | 16,50 | 62 | 200 | 0,38 | | | | | |
| 102 | 0,198 | 2,12 | 358 | 16,13 | | | | | | | | |
| 102 | 0,200 | 2,14 | 364 | 16,40 | | | | | | | | |
| 102 | 0,196 | 2,10 | 344 | 15,50 | | | | | | | | |
| 104 | 0,235 | 2,58 | 335 | 15,09 | 53 | 117 | 0,22 | | | | | |
| 102 | 0,240 | 2,57 | 339 | 15,27 | 53 | 117 | 0,22 | | | | | |
| 104 | 0,236 | 2,58 | 346 | 15,59 | 54 | 117 | 0,22 | | | | | |

Beispiel für Rechnungsergebnisse: **Raute-Raute**

| Kaliber-Nr. | Walzkraft (Mittelwert) P t | Drehmoment (Mittelwert) M_d mkg | Spez. Walzarbeit (Mittelwert) $a_w \cdot 10^3$ mkg/mm ² | Hobelarm $a = \frac{M_d}{P}$ mm | Hobelarm- verhältnis a/l_d | Mittl. Querschnitt F mm ² | Streckung je Strich $\lambda_{Stich} = \frac{F_n}{F_{n-1}}$ | Gesamtstreckung $\lambda_{Ges} = \frac{F_1}{F_n}$ | log. Streckung in λ_{Stich} φ_1 | Mittlere Ausgangshöhe h_{0m} mm | Mittlere Endhöhe h_{1m} mm |
|-------------|---------------------------------------|--|---|---------------------------------------|------------------------------------|--|--|--|---|--|------------------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| 1 | 23,3 | 998 | 2,02 | 21,4 | 0,353 | 1900 | 1,32 | 1,32 | 0,278 | 35,7 | 26,9 |
| 2 | 26,2 | 1352 | 3,52 | 25,8 | 360 | 1552 | 1,23 | 1,61 | 207 | 36,7 | 26,6 |
| 3 | 28,4 | 1153 | 3,82 | 20,3 | 335 | 1204 | 1,29 | 2,08 | 254 | 33,8 | 22,9 |
| 4 | 28,9 | 1100 | 4,55 | 19,0 | 317 | 962 | 1,25 | 2,60 | 322 | 29,5 | 20,3 |
| 5 | 34,8 | 1196 | 6,38 | 17,2 | 290 | 737 | 1,30 | 3,40 | 262 | 27,2 | 16,8 |
| 6 | 18,6 | 748 | 6,27 | 20,1 | 0,382 | 576 | 1,28 | 4,34 | 0,247 | 23,9 | 15,9 |
| 7 | 18,6 | 632 | 6,60 | 17,0 | 376 | 451 | 1,28 | 5,55 | 247 | 21,0 | 13,7 |
| 8 | 22,7 | 657 | 8,50 | 14,5 | 332 | 357 | 1,26 | 7,01 | 231 | 18,4 | 11,7 |
| 9 | 17,6 | 521 | 8,32 | 14,8 | 340 | 297 | 1,20 | 8,42 | 182 | 16,5 | 11,4 |
| 10 | 18,5 | 502 | 10,0 | 13,6 | 353 | 234 | 1,27 | 10,7 | 239 | 15,3 | 9,5 |
| 11 | 17,4 | 458 | 11,1 | 13,2 | 332 | 190 | 1,23 | 13,2 | 207 | 13,5 | 8,52 |
| 12 | 11,8 | 289 | 11,5 | 12,0 | 0,354 | 144 | 1,32 | 17,4 | 0,278 | 12,2 | 7,00 |
| 13 | 9,4 | 223 | 11,0 | 11,9 | 365 | 119 | 1,21 | 21,0 | 191 | 10,5 | 6,80 |
| 14 | 11,7 | 242 | 15,1 | 10,3 | 342 | 96 | 1,24 | 26,1 | 215 | 9,46 | 5,55 |
| 15 | 11,3 | 243 | 19,2 | 10,7 | 327 | 76 | 1,26 | 32,9 | 231 | 8,90 | 4,85 |
| 16 | 9,2 | 180 | 16,8 | 9,9 | 320 | 64 | 1,19 | 39,1 | 174 | 8,10 | 4,41 |
| 17 | 7,9 | 132 | 15,3 | 8,4 | 0,356 | 53 | 1,21 | 47,2 | 0,191 | 7,36 | 4,42 |

Werkstoff: **MSt 3b**

Reihe: 115

Anlage: 4

Blatt: 7

| Höhenverhältnis $\frac{h_{1m}}{h_{0m}}$ | Hauptform- änderung $\varphi_k = \ln \frac{h_{1m}}{h_{0m}}$ | Bezogene mittlere Formänderung $\epsilon = \frac{h_{0m} - h_{1m}}{h_{0m}} \cdot 100$ % | Mittlere Form- änderungsgeschw. $\dot{\varphi} = \frac{\varphi_k}{t}$ s ⁻¹ | Gedrückte Fläche F_d mm ² | Formänderungs- widerstand $k_w = P/F_d$ kg/mm ² | Formänderungs- widerstand $k'_w = 1000 \cdot \frac{\epsilon}{\dot{\varphi}}$ kg/mm ² | Formänderungs- widerstands- verhältnis k_w/k'_w | Bemerkung |
|--|---|---|--|--|---|--|--|-----------|
| 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 |
| 1,33 | 0,285 | 24,7 | 6,20 | 2818 | 8,25 | 7,10 | 1,16 | |
| 1,38 | 322 | 27,5 | 6,10 | 2925 | 9,00 | 10,9 | 0,83 | |
| 1,47 | 385 | 32,3 | 8,80 | 2154 | 13,2 | 9,90 | 1,33 | |
| 1,45 | 372 | 31,2 | 8,75 | 1920 | 15,0 | 12,2 | 1,23 | |
| 1,62 | 482 | 38,2 | 11,7 | 1777 | 19,5 | 13,0 | 1,50 | |
| 1,51 | 0,412 | 33,5 | 9,05 | 1325 | 14,0 | 15,2 | 0,92 | |
| 1,53 | 425 | 34,8 | 10,8 | 1029 | 18,1 | 15,5 | 1,17 | |
| 1,57 | 451 | 36,3 | 14,2 | 922 | 24,6 | 18,8 | 1,31 | |
| 1,45 | 372 | 31,2 | 12,2 | 788 | 22,3 | 22,4 | 1,00 | |
| 1,61 | 476 | 38,0 | 18,3 | 668 | 27,7 | 21,9 | 1,26 | |
| 1,58 | 457 | 37,0 | 16,6 | 620 | 28,1 | 21,5 | 1,31 | |
| 1,74 | 0,554 | 52,2 | 23,1 | 490 | 24,1 | 20,8 | 1,16 | |
| 1,54 | 432 | 35,2 | 18,9 | 403 | 23,4 | 25,5 | 1,92 | |
| 1,71 | 536 | 41,3 | 25,8 | 362 | 32,3 | 28,1 | 1,15 | |
| 1,83 | 604 | 45,1 | 26,8 | 361 | 31,3 | 31,7 | 0,99 | |
| 1,68 | 519 | 40,7 | 24,4 | 295 | 31,2 | 32,4 | 0,96 | |
| 1,66 | 0,507 | 50,0 | 31,7 | 202 | 39,0 | 30,2 | 1,29 | |

Deutsches
Brennstoffinstitut
Freiberg/Sa.

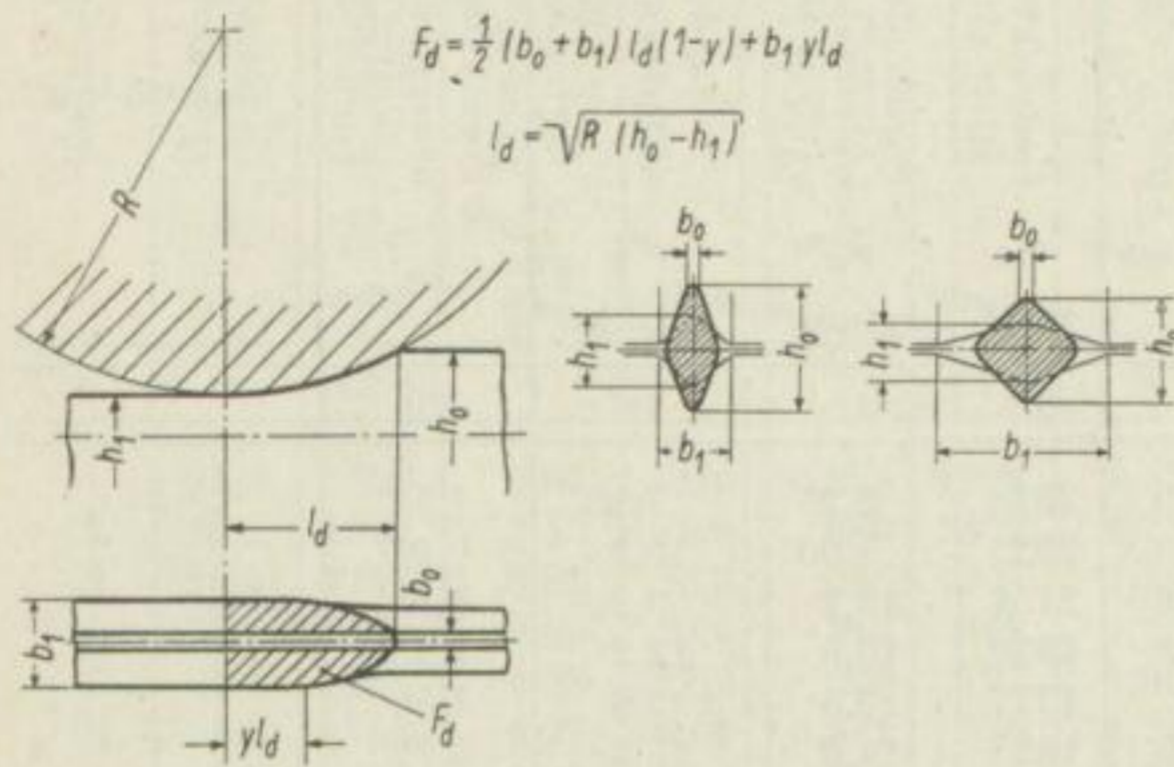
Ermittlung der gedrückten Fläche Stichfolge: **Raute-Raute**

Werkstoff: **MSt 3b**

Reihe: 115

Anlage: 4

Blatt: 8



$$F_d = \frac{1}{2} (b_0 + b_1) l_d (1 - y) + b_1 y l_d$$

$$l_d = \sqrt{R (h_0 - h_1)}$$

$$F_d = \frac{1}{2} (b_0 + b_1) l_d (1 - y) + b_1 y l_d$$

$$l_d = \sqrt{R (h_0 - h_1)}$$

$y_1 =$ (Raute-Raute) aus Versuch

$y_2 =$ (Quadrat-Raute) aus Versuch

| Kaliber | Raute-Raute R mm | Quadrat-Raute R mm | $h_0 - h_1$ mm | h_0 mm | h_1 mm | b_0 mm | b_1 mm | $\frac{b_0 + b_1}{2}$ mm | l_d mm | y_1 | y_2 | F_d mm ² |
|---------|------------------------|--------------------------|-------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-----------------------------|-------------|-------|-------|--------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
| 1 | 203,5 | 207,5 | 18,1 | 70 | 51,9 | 2,5 | 70,6 | 36,25 | 60,6 | 0,3 | 0,28 | 2818 |
| 2 | 206,5 | 206,2 | 24,6 | 70,6 | 46 | 4,0 | 58,35 | 31,17 | 71,9 | 0,35 | 0,26 | 2925 |
| 3 | 208,0 | 213,0 | 17,6 | 58,35 | 40,75 | 4,0 | 52,55 | 28,28 | 60,6 | 0,3 | 0,28 | 2154 |
| 4 | 212,0 | 211,5 | 17,15 | 52,55 | 35,4 | 3,5 | 47,35 | 25,42 | 60,4 | 0,3 | 0,26 | 1920 |
| 5 | 214,0 | 217,0 | 16,45 | 47,35 | 30,9 | 4,0 | 43,9 | 23,95 | 59,4 | 0,3 | 0,28 | 1777 |
| 6 | 167,5 | 216,0 | 16,5 | 43,9 | 27,4 | 4,0 | 36,55 | 20,28 | 52,7 | 0,3 | 0,26 | 1325 |
| 7 | 169,2 | 172,0 | 12,1 | 36,55 | 24,45 | 4,0 | 32,8 | 18,4 | 45,3 | 0,3 | 0,28 | 1029 |
| 8 | 170,1 | 171,1 | 11,25 | 32,8 | 21,55 | 3,7 | 30,5 | 17,1 | 43,7 | 0,3 | 0,26 | 922 |
| 9 | 171,8 | 174,5 | 11,1 | 30,5 | 19,4 | 3,0 | 26,1 | 14,55 | 43,7 | 0,3 | 0,28 | 788 |
| 10 | 173,0 | 173,8 | 8,55 | 26,2 | 17,35 | 3,8 | 24,65 | 14,22 | 38,5 | 0,3 | 0,26 | 668 |
| 11 | 174,0 | 140,5 | 9,05 | 24,65 | 15,6 | 3,25 | 22,3 | 12,78 | 39,7 | 0,3 | 0,28 | 620 |
| 12 | 133,6 | 134,5 | 8,6 | 22,3 | 13,7 | 3,3 | 20,5 | 11,9 | 33,9 | 0,3 | 0,26 | 490 |
| 13 | 134,4 | 136,2 | 7,9 | 20,5 | 12,6 | 2,8 | 17,5 | 10,15 | 32,6 | 0,3 | 0,28 | 403 |
| 14 | 135,1 | 135,5 | 6,7 | 17,5 | 10,8 | 2,3 | 17,3 | 9,8 | 30,1 | 0,3 | 0,26 | 362 |
| 15 | 135,7 | — | 7,9 | 17,3 | 9,4 | 2,4 | 15,7 | 9,05 | 32,7 | — | 0,28 | 361 |
| 16 | 136,3 | — | 7,0 | 15,7 | 8,7 | 2,6 | 13,3 | 7,95 | 30,9 | — | 0,26 | 295 |
| 17 | 136,0 | — | 4,1 | 13,3 | 9,2 | 2,2 | 12,0 | 7,1 | 23,6 | — | 0,28 | 202 |

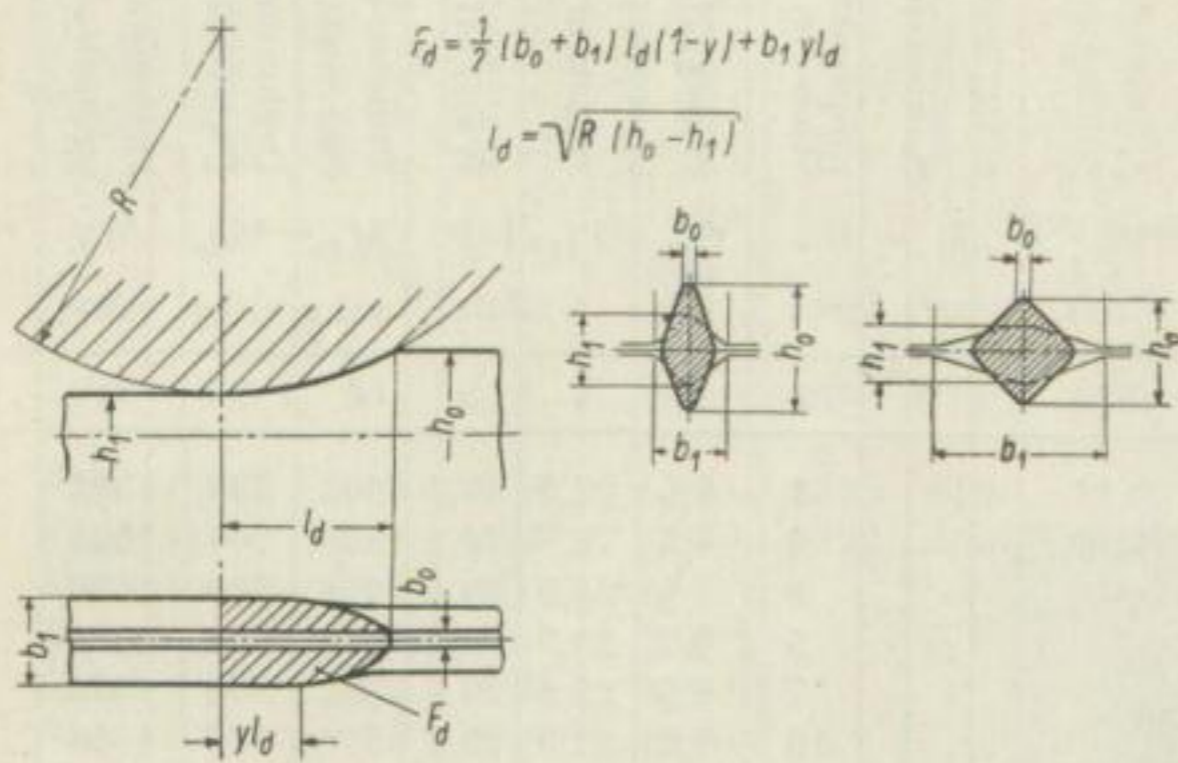
Deutscher
Brennstoff
Kongress

Ermittlung der gedrückten Fläche Stichfolge: **Quadrat-Raute**Werkstoff: **MSt 3b**

Reihe: 116

Anlage: 5

Blatt: 1



$$F_d = \frac{1}{2} (b_0 + b_1) l_d (1 - y) + b_1 y l_d$$

$$l_d = \sqrt{R (h_0 - h_1)}$$

$$F_d = \frac{1}{2} (b_0 + b_1) l_d (1 - y) + b_1 y l_d$$

$$l_d = \sqrt{R (h_0 - h_1)}$$

y_1 = (Raute-Raute) aus Versuch

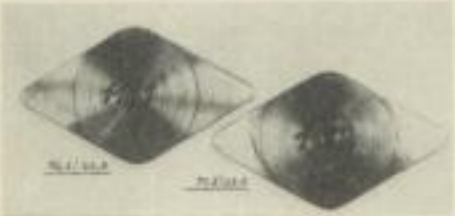

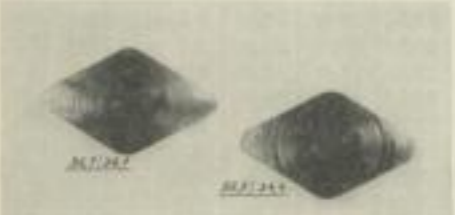
y_2 = (Quadrat-Raute) aus Versuch

| Kaliber | Raute-Raute R mm | Quadrat-Raute R mm | $h_0 - h_1$ mm | h_0 mm | h_1 mm | b_0 mm | b_1 mm | $\frac{b_0 + b_1}{2}$ mm | l_d mm | y_1 | y_2 | F_d mm ² |
|---------|------------------------|--------------------------|-------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-----------------------------|-------------|-------|-------|--------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
| 1 | 203,5 | 207,5 | 26,75 | 70,7 | 43,95 | 2,5 | 74,3 | 38,4 | 74,5 | 0,3 | 0,28 | 3612 |
| 2 | 206,5 | 206,2 | 26,85 | 74,3 | 47,45 | 4,5 | 51,45 | 28,0 | 74,5 | 0,35 | 0,26 | 2542 |
| 3 | 208,0 | 213,0 | 17,20 | 51,45 | 34,25 | 5,0 | 56,1 | 30,55 | 60,55 | 0,3 | 0,28 | 2281 |
| 4 | 212,0 | 211,5 | 19,1 | 56,1 | 37,0 | 5,0 | 41,85 | 23,43 | 63,6 | 0,3 | 0,26 | 1795 |
| 5 | 214,0 | 217,0 | 15,45 | 41,85 | 26,4 | 5,0 | 47,55 | 26,27 | 57,9 | 0,3 | 0,28 | 1867 |
| 6 | 167,5 | 216,0 | 18,80 | 47,55 | 28,75 | 5,0 | 34,14 | 19,6 | 63,75 | 0,3 | 0,26 | 1491 |
| 7 | 169,2 | 172,0 | 14,21 | 34,14 | 19,93 | 5,0 | 38,77 | 21,9 | 49,4 | 0,3 | 0,28 | 1315 |
| 8 | 170,1 | 171,1 | 16,37 | 38,77 | 22,4 | 3,4 | 25,23 | 14,3 | 53,0 | 0,3 | 0,26 | 909 |
| 9 | 171,8 | 174,5 | 10,13 | 25,23 | 15,1 | 5,0 | 29,0 | 17,0 | 42,08 | 0,3 | 0,28 | 857 |
| 10 | 173,0 | 173,8 | 11,12 | 29,0 | 17,88 | 4,1 | 20,45 | 12,3 | 44,0 | 0,3 | 0,26 | 634 |
| 11 | 174,0 | 140,5 | 9,55 | 20,45 | 10,9 | 5,0 | 25,0 | 15,0 | 36,6 | 0,3 | 0,28 | 651 |
| 12 | 133,6 | 134,5 | 11,9 | 25,0 | 13,1 | 3,1 | 16,7 | 9,9 | 40,0 | 0,3 | 0,26 | 458 |
| 13 | 134,4 | 136,2 | 6,6 | 16,7 | 10,1 | 4,0 | 17,8 | 10,9 | 28,6 | 0,3 | 0,28 | 367 |
| 14 | 135,1 | 135,5 | 5,9 | 17,8 | 11,9 | 3,4 | 12,8 | 8,1 | 28,3 | 0,3 | 0,26 | 263 |
| 15 | 135,7 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 0,28 | — |
| 16 | 136,3 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 0,26 | — |
| 17 | 136,0 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 0,28 | — |

Beispiel für Meßergebnisse: Raute-Quadrat

Anstichquerschnitt

$$F_0 = \frac{2500}{50 \sqrt{2}} \text{ mm}^2$$

| Kaliber-Nr. | Stich-Nr. | Walzkraft links | Walzkraft rechts | Walzkraft gesamt | Drehmoment Oberwalze | Drehmoment Unterwalze | Drehmoment gesamt | |
|---|--|-----------------|------------------|------------------|----------------------|-----------------------|-------------------|------|
| | | P_{30} | P_{15} | P | M_{30} | M_{15} | M_g | |
| t | t | t | t | t | mkp | mkp | mkp | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | |
|  | 1 | 7,4 | 12,8 | 30,2 | 902 | 690 | 1592 | |
| | 2 | 7,2 | 22,7 | 29,9 | 720 | 704 | 1424 | |
| | 3 | 7,4 | 23,0 | 30,4 | 926 | 710 | 1636 | |
| | 5 | 7,7 | 23,7 | 31,4 | 912 | 718 | 1630 | |
| | 7 | 6,9 | 22,6 | 29,5 | 872 | 704 | 1576 | |
| | 10 | 7,2 | 22,9 | 29,2 | 776 | 782 | 1558 | |
| |  | 4 | 12,7 | 17,6 | 30,3 | 920 | 710 | 1630 |
| | | 6 | 10,7 | 15,4 | 26,1 | 792 | 662 | 1454 |
| | | 8 | 10,4 | 15,2 | 25,6 | 792 | 736 | 1528 |
| | | 11 | 12,1 | 17,7 | 29,8 | 856 | 754 | 1610 |
| 13 | | 10,2 | 15,7 | 25,9 | 792 | 720 | 1512 | |
| 16 | | 10,7 | 15,1 | 25,8 | 760 | 785 | 1545 | |
|  | 9 | 17,5 | 15,4 | 32,9 | 790 | 612 | 1402 | |
| | 12 | 20,6 | 18,2 | 38,8 | 828 | 880 | 1708 | |
| | 14 | 16,3 | 14,7 | 31,0 | 788 | 756 | 1544 | |
| | 17 | 17,6 | 15,7 | 33,3 | 772 | 692 | 1464 | |
| | 19 | 17,2 | 13,5 | 30,7 | 618 | 692 | 1310 | |
| | 22 | 18,1 | 15,1 | 33,2 | 760 | 632 | 1392 | |

Ofentemperatur: 1260° C Werkstoff: MSt 3b Reihe: 116 Anlage: 5 Blatt: 2

| Walzenrehzahl | Stichzeit | Drehwinkel $\delta = \frac{\pi n}{30} \cdot t_s$ | Walzarbeit $A_w = M_g \cdot \delta$ | Spezifische Walzarbeit $a_w = \frac{A_w}{V}$ | Endquerschnitt | Ausgangslänge vor 1. Stich | Umgelartetes Volumen | Anstichtemperatur | Temperatur nach dem Stich | Walzenzeit je Stich | Gesamtwalzenzeit | Beobachtung |
|---------------|-----------|--|-------------------------------------|--|-----------------|----------------------------|----------------------|-------------------|---------------------------|---------------------|------------------|-------------|
| n | t_s | δ | A_w | $a_w \cdot 10^8$ | F | l_0 | $V \cdot 10^{-4}$ | θ_A | θ_s | t_w | t_g | |
| U/min | s | ° | mkp | $\frac{\text{mkp}}{\text{mm}^3}$ | mm ² | mm | mm ³ | °C | °C | s | s | |
| 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 |
| 62,0 | 0,362 | 2,35 | 3740 | 3,32 | 1835 | 650 | 11,25 | 1232 | 1200 | | | |
| 62,4 | 0,369 | 2,35 | 3350 | 2,98 | 1822 | 650 | 11,25 | 1237 | 1208 | | | |
| 62,4 | 0,322 | 2,15 | 3518 | 3,52 | | | | | | | | |
| 62,4 | 0,333 | 2,18 | 3559 | 3,56 | | | | | | | | |
| 62,4 | 0,280 | 1,84 | 2795 | 3,20 | | | | | | | | |
| 62,4 | 0,282 | 1,85 | 2781 | 3,18 | | | | | | | | |
| 62,0 | 0,417 | 2,71 | 4420 | 4,42 | 1466 | 600 | 10,00 | | 1109 | | | |
| 62,4 | 0,418 | 2,71 | 3990 | 3,99 | 1457 | 600 | 10,00 | | 1153 | | | |
| 62,0 | 0,361 | 2,35 | 3584 | 4,10 | | | | | | | | |
| 62,0 | 0,372 | 2,42 | 3898 | 4,45 | | | | | | | | |
| 62,0 | 0,256 | 1,67 | 2520 | 4,03 | | | | | | | | |
| 62,0 | 0,254 | 1,65 | 2550 | 4,08 | | | | | | | | |
| 62,2 | 0,465 | 3,03 | 4250 | 4,86 | 1120 | 350 | 8,75 | | 1109 | | | |
| 62,2 | 0,453 | 2,95 | 5030 | 5,75 | 1124 | 350 | 8,75 | | 1046 | | | |
| 62,0 | 0,326 | 2,12 | 3279 | 5,24 | | | | | | | | |
| 62,0 | 0,320 | 2,08 | 3047 | 4,88 | | | | | | | | |
| 62,2 | 0,255 | 1,66 | 2175 | 4,35 | | | | | | | | |
| 62,2 | 0,257 | 1,68 | 2335 | 4,67 | | | | | | | | |

Beispiel für Meßergebnisse: **Raute-Quadrat**

Anstichquerschnitt

$$F_0 = \frac{2500}{50} \text{ mm}^2$$

| Anstichquerschnitt | Kathoden-Nr. | Stich-Nr. | Walzkraft links | Walzkraft rechts | Walzkraft gesamt | Drehmoment Oberwalze | Drehmoment Unterwalze | Drehmoment gesamt |
|--------------------|--------------|-----------|-----------------|------------------|------------------|----------------------|-----------------------|-------------------|
| | | | P_{wl} | P_{wr} | P | M_{ob} | M_{un} | M_g |
| | | | t | t | t | mkg | mkg | mkg |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | |
| | 5 | 15 | 19,0 | 8,8 | 27,8 | 656 | 662 | 1318 |
| | | 18 | 20,0 | 9,8 | 29,8 | 712 | 668 | 1380 |
| | | 20 | 24,0 | 10,6 | 34,6 | 808 | 804 | 1612 |
| | | 23 | 19,5 | 9,2 | 28,7 | 692 | 634 | 1326 |
| | | 25 | 17,2 | 8,6 | 25,8 | 616 | 624 | 1240 |
| | | 28 | 17,2 | 9,0 | 26,2 | 652 | 604 | 1256 |
| | | 31 | 19,6 | 9,5 | 29,1 | 682 | 682 | 1364 |
| | 5 | 21 | 30,4 | 8,7 | 39,1 | 688 | 668 | 1356 |
| | | 24 | 24,0 | 7,2 | 31,2 | 548 | 546 | 1094 |
| | | 26 | 22,5 | 7,2 | 29,7 | 602 | 592 | 1094 |
| | | 29 | 24,0 | 8,2 | 32,2 | 614 | 560 | 1174 |
| | | 32 | 25,3 | 7,9 | 33,2 | 592 | 564 | 1086 |
| | | 34 | 23,0 | 7,5 | 30,5 | 538 | 498 | 1036 |
| | | 36 | 24,8 | 8,3 | 33,1 | 612 | 520 | 1132 |
| | 6 | 27 | 27,7 | 5,1 | 32,8 | 754 | 674 | 1418 |
| | | 30 | 29,8 | 5,3 | 35,1 | 750 | 632 | 1372 |
| | | 33 | 27,6 | 4,8 | 32,4 | 662 | 630 | 1292 |
| | | 35 | 24,7 | 4,0 | 28,7 | 570 | 518 | 1088 |
| | | 37 | 24,4 | 4,0 | 28,4 | 644 | 558 | 1202 |
| | | | | | | | | |

Ofentemperatur: 1260° C Werkstoff: **MSt 3b** Reihe: 116 Anlage 5: Blatt: 3

| Walzendrehzahl | Stichzeit | Drehwinkel | Walzarbeit | Spezifische Walzarbeit | Eindringquerschnitt | Ausgangslänge vor 1. Stieh | Umgeformtes Volumen | Anstichtemperatur | Temperatur nach dem Stieh | Walzzeit je Stieh | Gesamtwalzzeit | Bemerkung |
|----------------|-----------|------------|------------|----------------------------------|---------------------|----------------------------|---------------------|-------------------|---------------------------|-------------------|----------------|-----------|
| n | t_s | δ | A_w | $a_w \cdot 10^3$ | F | l_0 | $V \cdot 10^{-3}$ | θ_A | θ_s | t_w | t_y | |
| U/min | s | ° | mkg | $\frac{\text{mkg}}{\text{mm}^2}$ | mm ² | mm | mm ³ | °C | °C | s | s | |
| 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 |
| 62,0 | 0,418 | 2,72 | 3580 | 5,73 | 875 | 250 | 6,25 | | 1065 | | | |
| 62,2 | 0,400 | 2,60 | 3595 | 5,75 | 886 | 250 | 6,25 | | 1080 | | | |
| 62,3 | 0,326 | 2,12 | 3422 | 6,84 | | | | | | | | |
| 62,2 | 0,326 | 2,12 | 2810 | 5,62 | | | | | | | | |
| 62,4 | 0,282 | 1,85 | 2290 | 5,09 | | | | | | | | |
| 62,2 | 0,285 | 1,85 | 2321 | 5,16 | | | | | | | | |
| 62,4 | 0,293 | 1,92 | 2618 | 5,81 | | | | | | | | |
| 62,0 | 0,391 | 2,54 | 3440 | 6,88 | 700 | 200 | 5,00 | | 970 | | | |
| 62,4 | 0,395 | 2,58 | 2830 | 5,66 | 698 | 200 | 5,00 | | 1045 | | | |
| 62,4 | 0,370 | 2,42 | 2650 | 5,89 | | | | | | | | |
| 62,2 | 0,369 | 2,40 | 2820 | 6,27 | | | | | | | | |
| 62,2 | 0,359 | 2,35 | 2538 | 5,64 | | | | | | | | |
| 62,4 | 0,370 | 2,42 | 2505 | 5,56 | | | | | | | | |
| 62,4 | 0,369 | 2,42 | 2740 | 6,09 | | | | | | | | |
| 62,4 | 0,478 | 3,13 | 4430 | 9,85 | 525 | 180 | 4,50 | | 989 | | | |
| 62,4 | 0,468 | 3,06 | 4210 | 9,36 | 532 | 180 | 4,50 | | 964 | | | |
| 62,4 | 0,457 | 2,99 | 3865 | 8,60 | 562 | 180 | 4,50 | | 982 | | | |
| 62,4 | 0,468 | 3,06 | 3330 | 7,40 | 548 | 180 | 4,50 | | 1023 | | | |
| 62,4 | 0,456 | 2,99 | 3595 | 7,98 | 553 | 180 | 4,50 | | 970 | | | |

Beispiel für Meßergebnisse: Raute-Quadrat

| Anstichquerschnitt $F_0 = 570 \text{ mm}^2$ | | Kaliber-Nr. | Stich-Nr. | Walzkraft links P_{90} t | Walzkraft rechts P_{11} t | Walzkraft gesamt P t | Drehmoment Oberwalze M_{ob} mkg | Drehmoment Unterwalze M_{un} mkg | Drehmoment gesamt M_g mkg |
|--|------|-------------|-----------|----------------------------------|-----------------------------------|------------------------------|--|---|--------------------------------------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| | | 7 | 1 | 9,3 | 21,6 | 30,9 | 555 | 382 | 937 |
| | | 2 | 8,1 | 20,5 | 28,6 | 508 | 409 | 917 | |
| | | 3 | 8,5 | 21,1 | 29,6 | 524 | 400 | 924 | |
| | | 4 | 6,2 | 16,4 | 22,6 | 396 | 380 | 776 | |
| | | 6 | 7,4 | 18,2 | 25,6 | 476 | 335 | 811 | |
| | | 8 | 5 | 7,0 | 10,4 | 17,4 | 314 | 316 | 630 |
| | | 7 | 7,0 | 10,2 | 17,2 | 312 | 316 | 628 | |
| | | 9 | 7,0 | 10,3 | 17,3 | 328 | 290 | 618 | |
| | | 10 | 6,9 | 10,0 | 16,9 | 296 | 268 | 564 | |
| | | 12 | 7,0 | 10,8 | 17,8 | 346 | 332 | 678 | |
| | | 8 | 11 | 12,2 | 11,0 | 23,2 | 396 | 316 | 712 |
| | | 13 | 12,2 | 11,2 | 23,4 | 396 | 335 | 731 | |
| | | 15 | 12,6 | 11,0 | 23,6 | 410 | 325 | 735 | |
| | | 16 | 12,2 | 11,0 | 23,2 | 396 | 316 | 712 | |
| | | 18 | 11,8 | 10,7 | 22,5 | 378 | 292 | 670 | |
| 20 | 11,8 | 10,4 | 22,2 | 380 | 290 | 670 | | | |

Ofentemperatur: 1050 °C Werkstoff: MSt 3b Reihe: 116 Anlage: 5 Blatt: 4

| Walzendrehzahl U/min | Stichzeit t_s s | Drehwinkel $\delta = \frac{r_n}{R_0} \cdot t_s$ δ | Walzarbeit $A_w = M_g \cdot \delta$ mkg | Spezifische Walzarbeit $a_w = \frac{A_w}{V}$ $\frac{\text{mkg}}{\text{mm}^3}$ | Endquerschnitt F mm^2 | Ausgangslänge vor 1. Stich l_b mm | Umgeformtes Volumen $V \cdot 10^{-4}$ mm^3 | Anstich- temperatur θ_a °C | Temperatur nach dem Stich θ_s °C | Walzzeit je Stich t_w s | Gesamtwalzzeit t_g s | Bemerkung |
|-------------------------|-------------------------|--|---|---|--|--|--|--|--|---------------------------------|------------------------------|-----------|
| 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 |
| 81,0 | 0,304 | 2,59 | 2427 | 10,64 | 419 | 600 | 2,28 | 1034 | — | | | |
| 82,0 | 0,326 | 2,81 | 2577 | 11,27 | 413 | 600 | 2,28 | — | 1034 | | | |
| 84,0 | 0,316 | 2,79 | 2578 | 11,27 | 412 | 600 | 2,28 | — | 1034 | | | |
| 84,2 | 0,261 | 2,31 | 1793 | 9,01 | | | | | | | | |
| 84,4 | 0,264 | 2,34 | 1898 | 9,54 | | | | | | | | |
| 84,4 | 0,268 | 2,38 | 1906 | 9,57 | | | | | | | | |
| 84,4 | 0,326 | 2,80 | 1821 | 9,16 | 323 | 350 | 1,99 | | 978 | | | |
| 84,4 | 0,348 | 3,08 | 1934 | 9,71 | 324 | 350 | 1,99 | | 990 | | | |
| 84,4 | 0,351 | 3,11 | 1922 | 9,66 | 322 | 349 | 1,99 | | 1000 | | | |
| 84,6 | 0,250 | 2,22 | 1252 | 8,28 | | | | | | | | |
| 84,4 | — | — | — | — | | | | | | | | |
| 84,4 | 0,261 | 2,31 | 1603 | 11,38 | | | | | | | | |
| 84,6 | 0,316 | 2,81 | 2001 | 13,98 | 254 | 250 | 1,43 | 1046 | 964 | | | |
| 84,4 | 0,330 | 2,92 | 2135 | 15,23 | 251 | 245 | 1,40 | | 970 | | | |
| 84,4 | — | — | — | — | 250 | 248 | 1,41 | | — | | | |
| 84,4 | 0,326 | 2,80 | 2058 | 14,11 | | | | | | | | |
| 84,4 | 0,316 | 2,80 | 1876 | 13,30 | | | | | | | | |
| 84,4 | 0,330 | 2,92 | 1956 | 13,85 | | | | | | | | |


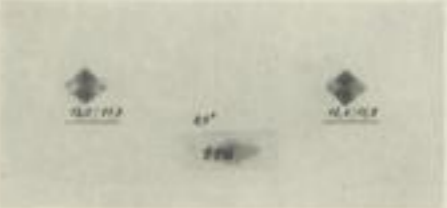
Beispiel für Meßergebnisse: Raute-Quadrat

| Anstichquerschnitt $F_0 = 570 \text{ mm}^2$ ab 12. Kaliber $F_0 = 205 \text{ mm}^2$ | | Kaliber-Nr. | Stich-Nr. | Waldkraft links P_{08} t | Waldkraft rechts P_{11} t | Waldkraft gesamt P t | Drehmoment Oberwalze M_{08} mkg | Drehmoment Unterwalze M_{11} mkg | Drehmoment gesamt M_d mkg |
|--|--|-------------|-----------|----------------------------------|-----------------------------------|------------------------------|--|---|--------------------------------------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| | | 10 | 17 | 8,8 | 6,3 | 15,1 | 295 | 226 | 520 |
| | | | 19 | 8,8 | 6,0 | 14,8 | 280 | 212 | 492 |
| | | | 21 | 8,3 | 6,1 | 14,5 | 260 | 212 | 472 |
| | | | 22 | 8,8 | 6,0 | 14,8 | 276 | 212 | 488 |
| | | | 23 | 8,8 | 6,3 | 15,1 | 278 | 204 | 482 |
| | | | 24 | 9,2 | 6,3 | 15,5 | 257 | 204 | 462 |
| | | 11 | 1 | 7,2 | 12,2 | 19,4 | 198 | 198 | 396 |
| | | | 2 | 7,5 | 12,5 | 20,0 | 211 | 206 | 417 |
| | | | 3 | 6,9 | 11,8 | 18,7 | 210 | 178 | 388 |
| | | | 5 | 7,2 | 12,5 | 19,7 | 210 | 204 | 414 |
| | | | 7 | 7,8 | 12,4 | 20,2 | 200 | 192 | 392 |
| | | | 10 | 7,6 | 7,7 | 15,3 | 224 | 189 | 413 |
| | | 12 | 4 | 5,8 | 6,0 | 10,8 | 154 | 127 | 281 |
| | | | 6 | 6,6 | 6,1 | 12,7 | 153 | 148 | 301 |
| | | | 8 | 6,5 | 6,3 | 12,8 | 154 | 151 | 295 |
| | | | 11 | 6,5 | 3,8 | 10,3 | 154 | 148 | 302 |
| | | | 13 | 6,0 | 6,3 | 12,3 | 163 | 143 | 306 |
| | | | 16 | 6,0 | 5,5 | 11,5 | 152 | 148 | 300 |

Ofentemperatur: 1050 °C (930 °C) Werkstoff: MSt 3b Reihe: 116 Anlage: 5 Blatt: 5

| Walzendrehzahl n U/min | Stichzeit t_s s | Drehwinkel $\delta = \frac{\pi \cdot n}{30} \cdot t_s$ | Walzarbeit $A_w = M_d \cdot \delta$ mkg | Spezifische Walzarbeit $a_w = \frac{A_w}{V}$ $\frac{\text{mkg}}{\text{mm}^3}$ | Endquerschnitt F mm^2 | Ansungslänge vor 1. Stich l_s mm | Umgeformtes Volumen $V \cdot 10^{-3}$ mm^3 | Arostb- temperatur θ_A °C | Temperatur nach dem Stich θ_s °C | Walzeit je Stich t_w s | Gesamtwalzeit t_g s | Bemerkung |
|--------------------------------|-------------------------|---|---|---|--|---|--|---|--|--------------------------------|-----------------------------|-----------|
| 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 |
| 85,6 | 0,380 | 3,38 | 1758 | 12,36 | 206 | 219 | 1,52 | 1050 | 916 | | | |
| 85,6 | — | — | — | — | 202 | 217 | 1,51 | | 938 | | | |
| 85,6 | 0,392 | 3,48 | 1643 | 11,54 | 209 | 258 | 1,51 | | 950 | | | |
| 85,6 | 0,502 | 3,57 | 1752 | 12,51 | 203 | 244 | 1,39 | | 930 | | | |
| 85,6 | 0,337 | 2,99 | 1441 | 12,53 | | 200 | 1,14 | | 938 | | | |
| 85,6 | — | — | — | — | | 200 | 1,14 | | 930 | | | |
| 100 | 0,362 | 3,79 | 1500 | 16,1 | 144 | 655 | 0,93 | | | | | |
| 100 | 0,354 | 3,71 | 1546 | 16,6 | 146 | 655 | 0,93 | | | | | |
| 100 | 0,313 | 3,28 | 1272 | 15,5 | | | | | | | | |
| 100 | 0,323 | 3,38 | 1397 | 17,0 | | | | | | | | |
| 100 | 0,281 | 2,94 | 1152 | 16,0 | | | | | | | | |
| 100 | 0,271 | 2,84 | 1170 | 16,3 | | | | | | | | |
| 100 | 0,506 | 4,25 | 1110 | 13,5 | 117 | 600 | 0,82 | | | | | |
| 100 | 0,512 | 4,32 | 1300 | 15,9 | 115 | 600 | 0,82 | | | | | |
| 100 | 0,356 | 3,73 | 1098 | 15,3 | | | | | | | | |
| 100 | 0,368 | 3,86 | 1166 | 16,2 | | | | | | | | |
| 100 | 0,158 | 1,66 | 509 | 16,5 | | | | | | | | |
| 102 | 0,144 | 1,54 | 462 | 15,1 | | | | | | | | |

Beispiel für Meßergebnisse: Rauten-Quadrat

| Anstichquerschnitt $F_a = 205 \text{ mm}^2$ | Kaliber-Nr. | Stich-Nr. | Walzkraft links | Walzkraft rechts | Walzkraft gesamt | Drehmoment Oberwalze | Drehmoment Unterwalze | Drehmoment gesamt |
|--|-------------|-----------|-----------------|------------------|------------------|----------------------|-----------------------|-------------------|
| | | | P_{10} | P_{11} | P | M_{10} | M_{11} | M_g |
| | | | t | t | t | mkg | mkg | mkg |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|  | 13 | 9 | 8,0 | 5,7 | 13,7 | 123 | 97 | 220 |
| | | 12 | 7,2 | 3,6 | 10,8 | 126 | 87 | 213 |
| | | 14 | 7,2 | 5,5 | 12,7 | 124 | 144 | 238 |
| | | | 6,7 | 4,9 | 11,6 | 113 | 107 | 220 |
|  | 14 | 15 | 5,5 | 2,4 | 7,9 | 84 | 81 | 165 |
| | | 17 | 4,8 | 1,7 | 6,5 | 68 | 123 | 191 |

Ofentemperatur: 930 °C Werkstoff: MSt 3b Reihe: 116 Anlage: 5 Blatt: 6

| Walzendrehzahl | Stichzeit | Drehwinkel $\delta = \frac{\pi n}{30} \cdot t_s$ | Walzarbeit $A_w = M_g \cdot \delta$ | Spezifische Walzarbeit $\alpha_w = \frac{A_w}{V}$ | Endquerschnitt | Ausgangslänge vor 1. Stich | Umgeformtes Volumen | Anstichtemperatur | Temperatur nach dem Stich | Walzzeit je Stich | Gesamtwalzzeit | Bemerkung |
|----------------|-----------|---|--|--|----------------|----------------------------|---------------------|-------------------|---------------------------|-------------------|----------------|-----------|
| n | t_s | δ | A_w | $\alpha_w \cdot 10^3$ | F | l_g | $V \cdot 10^{-3}$ | θ_A | θ_s | t_w | t_g | |
| U/min | s | | mkg | $\frac{\text{mkg}}{\text{mm}^3}$ | mm^2 | mm | mm^3 | °C | °C | s | s | |
| 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 |
| 100 | 0,437 | 4,58 | 1007 | 14,0 | 97 | 350 | 0,72 | | | | | |
| 100 | 0,431 | 4,52 | 963 | 13,4 | 94 | 350 | 0,72 | | | | | |
| 100 | 0,167 | 1,75 | 416 | 13,5 | | | | | | | | |
| 102 | 0,177 | 1,89 | 416 | 13,5 | | | | | | | | |
| 102 | 0,198 | 2,12 | 350 | 11,4 | 83 | 150 | 0,31 | | | | | |
| 102 | 0,219 | 2,34 | 448 | 14,6 | 84 | 150 | 0,31 | | | | | |

Beispiel für Rechnungsergebnisse: **Quadrat-Raute**

| Kaliber-Nr. | Walzkraft (Mittelwert) P t | Drehmoment (Mittelwert) M_d mkg | Spez. Walzsch. (Mittelwert) $a_w \cdot 10^3$ mkg/mm ² | Hebelarm $a = \frac{M_d}{2P}$ mm | Hebelarm- verhältnis a/l_d | Mittl. Querschnitt F mm ² | Streckung je Strich $\lambda_{St} = \frac{F_s}{F_v^{1/2}}$ λ_{Stich} | Gesamtstreckung $\lambda_{Ges} = \frac{F_s}{F_v}$ λ_{Ges} | log. Streckung in λ_{Stich} φ | Mittlere Ausgangshöhe h_{am} mm | Mittlere Endhöhe h_{em} mm |
|-------------|---------------------------------------|--|---|--|------------------------------------|--|--|---|---|--|------------------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| 1 | 30,1 | 1569 | 3,29 | 26,1 | 0,350 | 1829 | 1,37 | 1,37 | 0,315 | 35,3 | 25,6 |
| 2 | 27,3 | 1513 | 4,18 | 27,7 | 302 | 1462 | 1,25 | 1,71 | 223 | 41,6 | 28,4 |
| 3 | 33,3 | 1470 | 4,96 | 22,1 | 365 | 1122 | 1,30 | 2,23 | 262 | 30,8 | 20,0 |
| 4 | 28,9 | 1371 | 5,71 | 23,7 | 373 | 882 | 1,28 | 2,84 | 247 | 32,8 | 21,1 |
| 5 | 32,6 | 1139 | 6,06 | 17,5 | 302 | 699 | 1,26 | 3,58 | 231 | 23,8 | 14,7 |
| 6 | 31,5 | 1254 | 8,64 | 19,9 | 0,312 | 544 | 1,28 | 4,60 | 247 | 26,5 | 15,9 |
| 7 | 27,1 | 861 | 10,2 | 15,9 | 0,321 | 415 | 1,38 | 6,02 | 0,322 | 18,9 | 10,7 |
| 8 | 17,3 | 639 | 9,64 | 18,5 | 349 | 323 | 1,28 | 7,74 | 247 | 29,8 | 12,8 |
| 9 | 23,0 | 705 | 14,1 | 15,3 | 364 | 252 | 1,28 | 9,93 | 247 | 14,4 | 8,68 |
| 10 | 15,0 | 484 | 12,3 | 16,1 | 367 | 205 | 1,23 | 12,2 | 207 | 16,7 | 10,0 |
| 11 | 18,9 | 403 | 16,2 | 10,7 | 0,291 | 145 | 1,41 | 17,3 | 343 | 11,5 | 5,80 |
| 12 | 11,7 | 294 | 15,5 | 12,6 | 0,314 | 116 | 1,35 | 21,6 | 223 | 13,3 | 6,95 |
| 13 | 12,2 | 223 | 13,6 | 9,15 | 320 | 95 | 1,22 | 26,2 | 191 | 8,86 | 5,36 |
| 14 | 7,2 | 178 | 13,0 | 12,4 | 0,437 | 84 | 1,15 | 29,9 | 0,131 | 9,46 | 6,52 |

Werkstoff: **MSt 3b**

Reihe: 116

Anlage: 5
















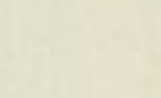
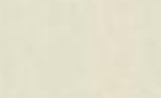


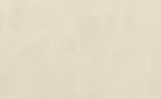
Blatt: 7

| Höhenverhältnis $\frac{h_{em}}{h_{am}}$ | Hauptform- änderung $\varphi = \ln \frac{h_{am}}{h_{em}} \cdot 100$ % | Bezugene mittlere Formänderung $\epsilon = \frac{h_{am} - h_{em}}{h_{am}} \cdot 100$ % | Mittlere Form- änderungsgeschw. $\dot{\varphi} = \frac{\epsilon}{t} \cdot \varphi$ s ⁻¹ | Gedrückte Fläche F_d mm ² | Formänderungs- widerstand $k_w = P/F_d$ kg/mm ² | Formänderungs- widerstand $k'_w = 1000 \cdot \frac{a_w}{\varphi}$ kg/mm ² | Formänderungs- widerstands- verhältnis k_w/k'_w | Bemerkung |
|--|--|---|---|--|---|---|--|-----------|
| 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 |
| 1,44 | 0,361 | 30,3 | 6,6 | 3620 | 8,32 | 9,12 | 0,91 | |
| 1,47 | 382 | 31,7 | 6,9 | 2542 | 10,3 | 11,0 | 0,94 | |
| 1,54 | 432 | 35,1 | 9,9 | 2281 | 14,6 | 11,5 | 1,27 | |
| 1,55 | 438 | 35,6 | 9,5 | 1795 | 16,1 | 13,0 | 1,24 | |
| 1,62 | 482 | 38,3 | 11,8 | 1867 | 17,5 | 12,4 | 1,41 | |
| 1,67 | 0,510 | 40,0 | 11,3 | 1591 | 20,1 | 17,6 | 1,19 | |
| 1,77 | 0,571 | 43,3 | 17,1 | 1315 | 20,6 | 17,9 | 1,15 | |
| 1,63 | 480 | 38,4 | 13,9 | 909 | 19,1 | 19,7 | 0,97 | |
| 1,66 | 504 | 39,5 | 18,4 | 857 | 26,8 | 28,0 | 0,96 | |
| 1,67 | 513 | 40,1 | 17,7 | 634 | 23,6 | 23,9 | 0,99 | |
| 1,97 | 678 | 49,5 | 27,2 | 651 | 29,0 | 23,8 | 1,21 | |
| 1,91 | 647 | 47,3 | 22,8 | 458 | 25,6 | 23,9 | 1,08 | |
| 1,65 | 501 | 39,4 | 25,2 | 367 | 33,2 | 27,2 | 1,22 | |
| 1,65 | 0,372 | 31,6 | 19,0 | 236 | 30,5 | 35,0 | 0,87 | |

Reihe: **Rund-Oval**

Werkstoff: MSt 3b









Anlage 6 / Tabelle 1

| Kallber | Abmessung mm × mm | Quer- schnitt mm ² | Tempe- ratur °C | Walz- kraft t | Dreh- moment mkg | Gedr. Fläche mm ² | k_w kg/mm ² | a_w mmkg/ mm ² |  | 0 |
|---------|----------------------|-------------------------------------|-----------------------|---------------------|------------------------|------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|---|----|
| 0 | 50,0 Ø | 1963 | 1220 | | | | | |  | 1 |
| 1 | 56,7 × 31,7 | 1388 | 1211 | 25,0 | 1480 | 2692 | 9,3 | 4,0 |  | 2 |
| 2 | 37,6 Ø | 1126 | 1147 | 18,6 | 1220 | 1653 | 11,3 | 4,4 |  | 3 |
| 3 | 47,5 × 22,3 | 801 | 1138 | 24,6 | 1235 | 2059 | 12,0 | 6,0 |  | 4 |
| 4 | 28,4 Ø | 648 | 1098 | 15,3 | 919 | 1204 | 12,7 | 5,4 |  | 5 |
| 5 | 38,9 × 16,8 | 494 | 1060 | 26,9 | 1083 | 1443 | 18,6 | 7,9 |  | 6 |
| 6 | 22,4 Ø | 400 | 1016 | 19,2 | 978 | 952 | 18,4 | 9,0 |  | 7 |
| 7 | 30,0 × 13,4 | 295 | 1037 | 19,3 | 592 | 866 | 22,2 | 9,6 |  | 8 |
| 8 | 18,0 Ø | 245 | 976 | 10,7 | 394 | 521 | 20,5 | 8,2 |  | 9 |
| 9 | 24,6 × 11,2 | 203 | 974 | 15,5 | 384 | 595 | 26,0 | 8,5 |  | 10 |
| 10 | 14,5 Ø | 162 | 950 | 12,8 | 309 | 347 | 29,3 | 8,9 |  | 11 |
| 11 | 19,0 × 9,9 | 128 | 908 | 14,4 | 261 | 402 | 35,8 | 9,2 |  | 12 |
| 12 | 12,3 Ø | 114 | 900 | 8,6 | 200 | 277 | 31,0 | 8,1 |  | 13 |
| 13 | 16,6 × 7,8 | 89 | 940 | 10,1 | 179 | 289 | 35,0 | 11,8 |  | 14 |
| 14 | 9,4 Ø | 76 | 894 | 8,7 | 180 | 210 | 41,5 | 14,7 |  | 15 |
| 15 | 13,5 × 6,4 | 60 | 820 | 11,1 | 171 | 213 | 52,1 | 17,4 |  | 16 |
| 16 | 7,8 Ø | 50 | 770 | 6,2 | 144 | 143 | 43,3 | 16,0 |  | 17 |
| 17 | 10,9 × 5,5 | 42 | — | 7,4 | 141 | 138 | 53,6 | 17,6 |  | 18 |
| 18 | 6,6 Ø | 36 | — | 5,1 | 106 | 110 | 46,1 | 14,2 |  | 19 |

Reihe: **Rund-Oval**

Werkstoff: MSt 3b












Anlage 6 / Tabelle 2

| Kallber | Abmessung mm × mm | Quer- schnitt mm ² | Tempe- ratur °C | Walz- kraft t | Dreh- moment mkg | Gedr. Fläche mm ² | k_w kg/mm ² | a_w mmkg/ mm ² |  | 19 |
|---------|----------------------|-------------------------------------|-----------------------|---------------------|------------------------|------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|---|----|
| 0 | 50,0 Ø | 1963 | 1200 | | | | | |  | 20 |
| 1 | 60,2 × 32,1 | 1429 | 1162 | 30,7 | 1995 | 2737 | 11,2 | 4,63 |  | 21 |
| 2 | 37,7 Ø | 1140 | 1100 | 21,3 | 1347 | 1680 | 12,7 | 4,90 |  | 22 |
| 3 | 48,7 × 22,6 | 825 | 1104 | 31,2 | 1510 | 2189 | 14,3 | 7,54 |  | 23 |
| 4 | 28,5 Ø | 662 | 1085 | 18,8 | 1065 | 1272 | 14,8 | 6,64 |  | 24 |
| 5 | 39,6 × 17,3 | 509 | 1053 | 26,7 | 1095 | 1452 | 18,4 | 8,62 |  | 25 |
| 6 | 22,5 Ø | 417 | 1024 | 16,7 | 847 | 980 | 17,3 | 8,27 |  | 26 |

Reihe: **Rund-Oval**

Werkstoff: MSt 3b

Anlage 6 / Tabelle 3

| Kallber | Abmessung mm × mm | Quer- schnitt mm ² | Tempe- ratur °C | Walz- kraft t | Dreh- moment mkg | Gedr. Fläche mm ² | k_w kg/mm ² | a_w mmkg/ mm ² |  | 17 |
|---------|----------------------|-------------------------------------|-----------------------|---------------------|------------------------|------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|---|----|
| 0 | 50,0 Ø | 1963 | 1140 | | | | | |  | 18 |
| 1 | 61,0 × 31,5 | 1406 | 1125 | 40,1 | 1975 | 2814 | 14,3 | 5,28 |  | 19 |
| 2 | 37,0 Ø | 1113 | 1076 | 25,9 | 1425 | 1690 | 15,3 | 4,98 |  | 20 |
| 3 | 50,2 × 22,0 | 809 | 1066 | 39,5 | 1735 | 2133 | 18,6 | 7,93 |  | 21 |
| 4 | 27,9 Ø | 642 | 1036 | 23,4 | 1174 | 1300 | 18,0 | 6,90 |  | 22 |
| 5 | 39,6 × 16,8 | 493 | 1020 | 34,8 | 1244 | 1465 | 23,7 | 9,14 |  | 23 |
| 6 | 21,8 Ø | 403 | 982 | 21,2 | 951 | 982 | 21,6 | 8,54 |  | 24 |
| 7 | 29,9 × 13,4 | 304 | 944 | 22,6 | 715 | 866 | 26,0 | 11,2 |  | 25 |
| 8 | 18,3 Ø | 253 | 934 | 12,8 | 531 | 528 | 24,6 | 10,2 |  | 26 |
| 9 | 26,2 × 10,8 | 198 | 915 | 23,6 | 643 | 662 | 39,7 | 15,6 |  | 27 |

Reihe: **Rund-Oval**

Werkstoff: MSt 3b

Anlage 6 / Tabelle 3 (Forts.)

| Kaliber | Abmessung mm × mm | Quer- schnitt mm ² | Tempe- ratur- °C | Walz- kraft t | Dreh- moment mkg | Gedr. Fläche mm ² | k_w kg/mm ² | a_w mmkg/ mm ² |
|---------|----------------------|-------------------------------------|------------------------|---------------------|------------------------|------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|
| 10 | 14,5 Ø | 163 | 905 | 12,1 | 421 | 410 | 27,7 | 12,8 |
| 11 | 19,4 × 9,7 | 133 | 894 | 15,6 | 338 | 405 | 38,8 | 12,4 |
| 12 | 12,2 Ø | 116 | 868 | 10,5 | 341 | 274 | 38,0 | 12,4 |
| 13 | 17,2 × 8,0 | 88 | — | 12,7 | 234 | 308 | 41,3 | 16,1 |
| 14 | 9,41 Ø | 71 | — | 9,0 | 191 | 216 | 41,7 | 16,0 |
| 15 | 14,3 × 6,3 | 59 | — | 11,0 | 157 | 217 | 50,7 | 16,3 |
| 16 | 7,8 Ø | 50 | — | 6,6 | 137 | 149 | 44,3 | 16,8 |
| 17 | 10,9 × 5,6 | 42 | — | 8,5 | 107 | 144 | 59,0 | 15,3 |
| 18 | 6,6 Ø | 37 | — | 6,2 | 135 | 115 | 53,9 | 22,2 |

Reihe: **Rund-Oval**

Werkstoff: CK 45

Anlage 6 / Tabelle 4

| | | | | | | | | |
|---|-------------|------|------|------|------|------|------|------|
| 0 | 50,0 Ø | 1963 | 1227 | | | | | |
| 1 | 56,6 × 31,4 | 1377 | 1210 | 23,3 | 1385 | 2670 | 8,7 | 3,76 |
| 2 | 36,9 Ø | 1113 | 1150 | 17,0 | 1095 | 1660 | 10,3 | 3,70 |
| 3 | 45,8 × 22,2 | 784 | 1145 | 22,1 | 1072 | 1963 | 11,3 | 4,98 |
| 4 | 28,1 Ø | 646 | 1103 | 14,3 | 842 | 1190 | 12,0 | 4,47 |
| 5 | 39,2 × 16,9 | 490 | 1075 | 25,8 | 1045 | 1469 | 17,6 | 7,83 |
| 6 | 22,1 Ø | 402 | 1028 | 16,1 | 807 | 951 | 16,9 | 7,28 |

Reihe: **Rund-Oval**

Werkstoff: CK 45

Anlage 6 / Tabelle 5

| | | | | | | | | |
|----|-------------|------|------|------|------|------|------|------|
| 0 | 50,0 Ø | 1963 | 1182 | | | | | |
| 1 | 58,3 × 31,6 | 1396 | 1182 | 29,7 | 1713 | 2730 | 10,9 | 4,70 |
| 2 | 37,5 Ø | 1129 | 1112 | 19,5 | 1306 | 1638 | 11,9 | 4,52 |
| 3 | 48,6 × 22,5 | 818 | 1095 | 26,8 | 1440 | 2021 | 13,3 | 6,79 |
| 4 | 28,4 Ø | 656 | 1071 | 16,7 | 958 | 1234 | 13,5 | 5,72 |
| 5 | 39,5 × 17,4 | 510 | 1045 | 25,9 | 1068 | 1433 | 18,1 | 7,98 |
| 6 | 22,4 Ø | 416 | 1020 | 16,0 | 865 | 938 | 16,1 | 8,03 |
| 7 | 30,5 × 13,4 | 311 | 982 | 21,6 | 690 | 905 | 23,8 | 10,6 |
| 8 | 18,1 Ø | 258 | 970 | 11,7 | 478 | 540 | 21,7 | 9,12 |
| 9 | 26,0 × 10,6 | 202 | 950 | 22,3 | 605 | 658 | 33,8 | 14,2 |
| 10 | 14,4 Ø | 166 | 928 | 11,8 | 444 | 416 | 28,2 | 11,8 |
| 11 | 19,1 × 9,7 | 133 | 910 | 15,1 | 329 | 407 | 37,2 | 11,5 |
| 12 | 12,0 Ø | 117 | 905 | 11,7 | 282 | 318 | 36,8 | 10,7 |
| 13 | 15,9 × 7,7 | 85 | 946 | 10,0 | 194 | 285 | 35,1 | 12,9 |
| 14 | 9,3 Ø | 73 | 850 | 8,5 | 184 | 191 | 44,5 | 14,5 |
| 15 | 14,0 × 6,3 | 57 | 838 | 11,5 | 178 | 217 | 53,0 | 18,3 |
| 16 | 7,8 Ø | 50 | 775 | 6,6 | 155 | 148 | 44,6 | 19,0 |
| 17 | 10,6 × 5,5 | 43 | — | 8,2 | 141 | 145 | 56,6 | 19,4 |
| 18 | 6,6 Ø | 36 | — | 6,6 | 118 | 108 | 61,1 | 18,6 |

Reihe: **Rund-Oval**

Werkstoff: St 7

Anlage 6 / Tabelle 6

| Kaliber | Abmessung mm × mm | Quer- schnitt mm ² | Tempe- ratur °C | Walz- kraft t | Dreh- moment mkg | Gedr. Fläche mm ² | k_{te} kg/mm ² | a_{te} mmkg/ mm ² |
|---------|----------------------|-------------------------------------|-----------------------|---------------------|------------------------|------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------------|
| 0 | 50,0 Ø | 1963 | 1224 | | | | | |
| 1 | 58,4 × 31,4 | 1379 | 1207 | 25,0 | 1426 | 2739 | 9,13 | 4,40 |
| 2 | 36,8 Ø | 1100 | 1163 | 17,3 | 1066 | 1740 | 10,1 | 3,75 |
| 3 | 46,0 × 21,9 | 768 | 1137 | 25,0 | 1254 | 1985 | 12,6 | 6,21 |
| 4 | 28,0 Ø | 635 | 1082 | 16,4 | 887 | 1170 | 14,0 | 5,46 |
| 5 | 39,4 × 16,8 | 492 | 1065 | 25,9 | 967 | 1438 | 18,0 | 7,72 |
| 6 | 21,8 Ø | 391 | 1028 | 15,8 | 788 | 958 | 16,5 | 7,38 |
| 7 | 30,0 × 13,4 | 290 | 1040 | 17,2 | 515 | 880 | 19,6 | 8,25 |
| 8 | 18,0 Ø | 246 | 1015 | 9,8 | 385 | 520 | 18,8 | 7,50 |
| 9 | 26,1 × 10,7 | 191 | 1003 | 19,9 | 510 | 655 | 30,4 | 12,3 |
| 10 | 15,4 Ø | 158 | 970 | 10,2 | 357 | 388 | 26,2 | 10,7 |
| 11 | 19,5 × 9,8 | 129 | 954 | 14,2 | 318 | 396 | 35,8 | 11,1 |
| 12 | 12,1 Ø | 111 | 910 | 9,9 | 283 | 274 | 35,8 | 12,0 |
| 13 | 16,3 × 7,6 | 85 | 936 | 7,8 | 192 | 282 | 27,7 | 14,1 |
| 14 | 9,3 Ø | 73 | 890 | 7,3 | 191 | 200 | 36,5 | 16,5 |
| 15 | 14,0 × 6,2 | 56 | 842 | 10,1 | 186 | 218 | 46,3 | 20,3 |
| 16 | 7,6 Ø | 49 | 781 | 6,2 | 157 | 148 | 41,9 | 20,3 |
| 17 | 10,5 × 5,5 | 41 | — | 7,3 | 127 | 139 | 52,4 | 19,9 |
| 18 | 6,5 Ø | 37 | — | 7,2 | 133 | 113 | 63,7 | 23,6 |

Reihe: **Rund-Oval**

Werkstoff: St 7

Anlage 6 / Tabelle 7

| | | | | | | | | |
|---|-------------|------|------|------|------|------|------|------|
| 0 | 50,0 Ø | 1963 | 1208 | | | | | |
| 1 | 58,6 × 31,4 | 1383 | 1185 | 29,8 | 1655 | 2740 | 10,9 | 4,88 |
| 2 | 36,9 Ø | 1110 | 1135 | 20,3 | 1134 | 1644 | 12,4 | 4,18 |
| 3 | 47,8 × 22,0 | 786 | 1107 | 29,4 | 1424 | 2033 | 14,5 | 7,22 |
| 4 | 27,8 Ø | 636 | 1082 | 18,6 | 955 | 1224 | 15,2 | 6,07 |
| 5 | 38,9 × 16,8 | 490 | 1063 | 29,9 | 1070 | 1438 | 20,8 | 8,46 |
| 6 | 21,9 Ø | 395 | 1000 | 18,5 | 887 | 956 | 19,4 | 8,22 |

Reihe: **Rund-Oval**

Werkstoff: St 7

Anlage 6 / Tabelle 8

| | | | | | | | | |
|----|-------------|------|------|------|------|------|------|------|
| 0 | 50,0 Ø | 1963 | 1140 | | | | | |
| 1 | 60,3 × 31,4 | 1405 | 1119 | 39,8 | 2130 | 2904 | 14,2 | 5,88 |
| 2 | 36,3 Ø | 1100 | 1081 | 25,5 | 1485 | 1682 | 15,2 | 5,33 |
| 3 | 48,6 × 21,9 | 794 | 1051 | 37,0 | 1685 | 2055 | 18,0 | 8,10 |
| 4 | 27,8 Ø | 636 | 1044 | 21,5 | 1110 | 1245 | 17,3 | 6,73 |
| 5 | 39,7 × 16,7 | 488 | 1028 | 32,2 | 1230 | 1454 | 22,2 | 9,38 |
| 6 | 21,7 Ø | 395 | 988 | 19,9 | 980 | 974 | 20,3 | 9,32 |
| 7 | 29,6 × 13,1 | 295 | 950 | 21,9 | 700 | 866 | 25,3 | 10,9 |
| 8 | 18,4 Ø | 250 | 934 | 12,2 | 475 | 497 | 24,6 | 9,10 |
| 9 | 25,4 × 10,7 | 194 | 920 | 23,7 | 598 | 634 | 37,4 | 13,9 |
| 10 | 14,5 Ø | 157 | 910 | 12,8 | 415 | 391 | 32,6 | 12,4 |
| 11 | 19,2 × 9,8 | 133 | 882 | 16,8 | 350 | 383 | 43,7 | 12,4 |
| 12 | 12,2 Ø | 116 | 852 | 12,5 | 308 | 275 | 45,4 | 12,4 |

Reihe: **Rund-Oval**

Werkstoff: St 52

Anlage 6 / Tabelle 9

| Kaliber | Abmessung mm × mm | Quer- schnitt mm ² | Tempe- ratur °C | Walz- kraft t | Dreh- moment mkg | Gedr. Fläche mm ² | k_{se} kg/mm ² | a_{se} mmkg/ mm ² |
|---------|----------------------|-------------------------------------|-----------------------|---------------------|------------------------|------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------------|
| 0 | 50,0 Ø | 1963 | 1123 | | | | | |
| 1 | 58,0 × 31,1 | 1357 | 1221 | 25,3 | 1460 | 2738 | 9,3 | 4,08 |
| 2 | 36,8 Ø | 1102 | 1178 | 18,2 | 1030 | 1645 | 11,0 | 3,54 |
| 3 | 47,0 × 21,7 | 770 | 1141 | 26,3 | 1285 | 2010 | 13,1 | 6,12 |
| 4 | 27,8 Ø | 637 | 1098 | 16,8 | 898 | 1210 | 13,9 | 5,30 |
| 5 | 40,1 × 16,6 | 483 | 1065 | 27,8 | 1043 | 1473 | 18,9 | 7,73 |
| 6 | 21,8 Ø | 397 | 1017 | 17,2 | 891 | 982 | 17,5 | 8,25 |

Reihe: **Rund-Oval**

Werkstoff: St 52

Anlage 6 / Tabelle 10

| | | | | | | | | |
|----|-------------|------|------|------|------|------|------|------|
| 0 | 50,0 Ø | 1963 | 1191 | | | | | |
| 1 | 59,0 × 31,4 | 1388 | 1176 | 31,0 | 1715 | 2747 | 11,3 | 4,76 |
| 2 | 37,1 Ø | 1111 | 1143 | 21,0 | 1326 | 1679 | 12,5 | 4,58 |
| 3 | 47,8 × 21,9 | 783 | 1124 | 31,2 | 1505 | 1211 | 14,8 | 6,97 |
| 4 | 27,9 Ø | 637 | 1089 | 19,1 | 1025 | 1228 | 15,5 | 6,11 |
| 5 | 39,1 × 16,8 | 488 | 1055 | 29,2 | 1130 | 1436 | 20,3 | 8,39 |
| 6 | 21,6 Ø | 394 | 1008 | 18,4 | 890 | 974 | 19,9 | 8,23 |
| 7 | 29,8 × 13,2 | 293 | 995 | 20,3 | 675 | 878 | 23,1 | 10,5 |
| 8 | 17,9 Ø | 248 | 988 | 10,6 | 445 | 525 | 20,1 | 8,46 |
| 9 | 25,6 × 10,6 | 192 | 970 | 21,2 | 546 | 641 | 32,6 | 12,8 |
| 10 | 14,5 Ø | 156 | 950 | 11,0 | 398 | 393 | 28,0 | 11,6 |
| 11 | 19,3 × 9,7 | 130 | 938 | 14,4 | 313 | 389 | 37,0 | 10,8 |
| 12 | 12,0 Ø | 114 | 905 | 9,6 | 267 | 276 | 34,6 | 10,8 |
| 13 | 17,0 × 7,3 | 80 | 944 | 12,8 | 243 | 317 | 40,4 | 18,6 |
| 14 | 9,2 Ø | 68 | 882 | 7,8 | 178 | 200 | 39,0 | 18,1 |
| 15 | 13,2 × 6,1 | 51 | 839 | 10,5 | 159 | 208 | 50,5 | 19,8 |
| 16 | 6,6 Ø | 48 | 786 | 7,0 | 131 | 133 | 52,6 | 18,2 |
| 17 | 10,4 × 5,5 | 40 | — | 8,6 | 112 | 135 | 63,6 | 16,6 |
| 18 | 6,5 Ø | 35 | — | 7,5 | 114 | 102 | 72,6 | 19,4 |

Reihe: **Rund-Oval**

Werkstoff: St 52

Anlage 6 / Tabelle 11

| | | | | | | | | |
|---|-------------|------|------|------|------|------|------|------|
| 0 | 50,0 Ø | 1963 | 1147 | | | | | |
| 1 | 60,5 × 31,1 | 1386 | 1125 | 39,3 | 2170 | 2877 | 13,7 | 6,00 |
| 2 | 36,9 Ø | 1114 | 1086 | 24,0 | 1380 | 1656 | 14,5 | 4,82 |
| 3 | 49,8 × 22,0 | 801 | 1067 | 39,0 | 1710 | 1211 | 18,5 | 7,73 |
| 4 | 28,0 Ø | 639 | 1029 | 22,7 | 1190 | 1263 | 18,0 | 7,00 |
| 5 | 40,0 × 16,8 | 492 | 1019 | 34,1 | 1300 | 1466 | 23,2 | 9,66 |
| 6 | 21,8 Ø | 402 | 980 | 21,2 | 983 | 982 | 21,3 | 9,20 |

Reihe: **Rund-Oval**

Werkstoff: 16 Mn Cr 5

Anlage 6 / Tabelle 12

| Kaliber | Abmessung mm × mm | Quer- schnitt mm ² | Tempe- ratur °C | Walz- kraft t | Dreh- moment mkg | Gedr. Fläche mm ² | k_w kg/mm ² | a_w mmkg/ mm ² |
|---------|----------------------|-------------------------------------|-----------------------|---------------------|------------------------|------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|
| 0 | 50,0 Ø | 1963 | | | | | | |
| 1 | 62,4 × 31,5 | 1415 | 1209 | 33,5 | 1755 | 2858 | 11,4 | 4,55 |
| 2 | 37,0 Ø | 1116 | 1163 | 21,6 | 1295 | 1715 | 12,6 | 4,61 |
| 3 | 50,2 × 21,6 | 790 | 1143 | 32,7 | 1480 | 2154 | 15,2 | 7,15 |
| 4 | 27,8 Ø | 628 | 1105 | 19,0 | 980 | 1272 | 14,9 | 6,04 |
| 5 | 39,3 × 16,5 | 476 | 1090 | 29,6 | 1086 | 1459 | 20,3 | 8,18 |
| 6 | 21,6 Ø | 393 | 1017 | 17,9 | 887 | 946 | 18,9 | 8,56 |
| 7 | | | | | | | | |
| 8 | | | | | | | | |
| 9 | | | | | | | | |
| 10 | | | | | | | | |
| 11 | | | | | | | | |
| 12 | | | | | | | | |
| 13 | 16,9 × 7,7 | 85 | 936 | 10,6 | 231 | 304 | 35,0 | 15,6 |
| 14 | 9,3 Ø | 75 | 894 | 7,1 | 193 | 213 | 33,4 | 15,5 |
| 15 | 11,4 × 6,2 | 58 | 842 | 9,2 | 176 | 227 | 40,5 | 18,0 |
| 16 | 7,6 Ø | 49 | 776 | 5,2 | 156 | 153 | 34,8 | 19,2 |
| 17 | 10,5 × 5,6 | 42 | — | 7,2 | 126 | 138 | 52,1 | 19,0 |
| 18 | 6,5 Ø | 36 | — | 5,2 | 132 | 106 | 49,2 | 22,0 |

Reihe: **Rund-Oval**

Werkstoff: 16 Mn Cr 5

Anlage 6 / Tabelle 13

| | | | | | | | | |
|----|-------------|------|------|------|------|------|------|------|
| 0 | 50,0 Ø | 1963 | 1207 | | | | | |
| 1 | 62,1 × 31,6 | 1421 | 1170 | 37,3 | 1890 | 2816 | 13,3 | 5,15 |
| 2 | 37,1 Ø | 1123 | 1133 | 24,0 | 1395 | 1715 | 14,0 | 4,95 |
| 3 | 50,2 × 22,2 | 813 | 1119 | 36,8 | 1665 | 2131 | 17,3 | 7,65 |
| 4 | 28,1 Ø | 643 | 1074 | 21,3 | 1165 | 1281 | 16,6 | 6,93 |
| 5 | 39,8 × 16,9 | 498 | 1052 | 31,1 | 1150 | 1441 | 21,6 | 8,51 |
| 6 | 21,9 Ø | 393 | 1015 | 19,9 | 934 | 962 | 20,7 | 8,78 |
| 7 | 29,8 × 13,5 | 300 | 1011 | 22,5 | 702 | 872 | 25,8 | 11,2 |
| 8 | 18,3 Ø | 259 | 964 | 12,8 | 511 | 510 | 25,1 | 9,80 |
| 9 | 26,4 × 10,7 | 202 | 974 | 23,2 | 611 | 667 | 34,7 | 14,8 |
| 10 | 14,6 Ø | 164 | 941 | 12,2 | 425 | 389 | 31,2 | 12,6 |
| 11 | 19,5 × 9,7 | 136 | 916 | 15,0 | 327 | 410 | 36,6 | 11,5 |
| 12 | 12,1 Ø | 116 | 878 | 10,3 | 281 | 284 | 36,1 | 11,8 |
| 13 | 17,4 × 7,8 | 88 | — | 13,6 | 229 | 304 | 44,8 | 15,2 |
| 14 | 9,4 Ø | 72 | — | 11,1 | 223 | 211 | 52,6 | 18,3 |
| 15 | 13,8 × 6,5 | 58 | — | 13,2 | 179 | 209 | 63,0 | 18,4 |
| 16 | 7,8 Ø | 48 | — | 8,9 | 168 | 148 | 60,2 | 20,1 |
| 17 | 10,5 × 5,7 | 42 | — | 10,3 | 130 | 131 | 78,5 | 18,4 |
| 18 | 6,7 Ø | 37 | — | 7,7 | 112 | 110 | 70,0 | 18,1 |

Reihe: **Rund-Oval**

Werkstoff: 16 Mn Cr 5

Anlage 6 / Tabelle 14

| Kaliber | Abmessung mm × mm | Quer- schnitt mm ² | Tempe- ratur °C | Walz- kraft t | Dreh- moment mkg | Gedr. Fläche mm ² | k_w kg/mm ² | a_w mmkg/ mm ³ |
|---------|----------------------|-------------------------------------|-----------------------|---------------------|------------------------|------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|
| 0 | 50,0 Ø | 1963 | 1135 | | | | | |
| 1 | 62,4 × 31,3 | 1408 | 1103 | 49,0 | 2365 | 2884 | 16,9 | 6,51 |
| 2 | 37,1 Ø | 1118 | 1084 | 28,7 | 1545 | 1679 | 17,1 | 5,84 |
| 3 | 50,6 × 22,1 | 808 | 1069 | 45,8 | 1865 | 2137 | 21,3 | 8,95 |
| 4 | 28,0 Ø | 643 | 1043 | 25,0 | 1300 | 1292 | 19,3 | 7,83 |
| 5 | 39,8 × 16,9 | 494 | 1028 | 36,3 | 1300 | 1459 | 24,2 | 9,99 |
| 6 | 21,9 Ø | 402 | 993 | 22,9 | 1010 | 989 | 23,2 | 9,50 |

Reihe: **Rund-Oval**

Werkstoff: 100 Cr 6

Anlage 6 / Tabelle 15

| | | | | | | | | |
|----|-------------|------|------|------|------|------|-------|------|
| 0 | 50,0 Ø | 1963 | 1200 | | | | | |
| 1 | 60,2 × 31,6 | 1400 | 1186 | 27,3 | 1566 | 2779 | 9,82 | 3,94 |
| 2 | 37,0 Ø | 1102 | 1140 | 18,3 | 1165 | 1680 | 10,9 | 4,04 |
| 3 | 50,3 × 22,0 | 795 | 1134 | 29,1 | 1364 | 2112 | 13,8 | 6,36 |
| 4 | 27,8 Ø | 636 | 1103 | 17,0 | 988 | 1308 | 13,0 | 5,32 |
| 5 | 38,8 × 16,7 | 475 | 1078 | 24,8 | 1025 | 1417 | 17,5 | 7,86 |
| 6 | 21,6 Ø | 391 | 1027 | 16,2 | 843 | 968 | 16,8 | 8,08 |
| 7 | 30,0 × 13,3 | 294 | 1038 | 18,4 | 593 | 867 | 21,2 | 9,85 |
| 8 | 17,8 Ø | 247 | 996 | 10,2 | 422 | 524 | 19,5 | 8,55 |
| 9 | 25,8 × 10,6 | 186 | 997 | 19,8 | 518 | 661 | 30,0 | 13,3 |
| 10 | 14,5 Ø | 158 | 955 | 10,0 | 375 | 386 | 26,0 | 11,2 |
| 11 | 19,0 × 9,6 | 122 | 948 | 13,7 | 310 | 393 | 35,0 | 11,2 |
| 12 | 11,9 Ø | 107 | 912 | 11,1 | 310 | 274 | 40,5 | 12,7 |
| 13 | 17,5 × 7,3 | 84 | — | 12,6 | 282 | 306 | 41,2 | 20,5 |
| 14 | 9,2 Ø | 64 | — | 8,2 | 191 | 199 | 41,2 | 17,5 |
| 15 | 13,1 × 6,1 | 53 | — | 10,1 | 162 | 187 | 54,0 | 18,1 |
| 16 | 7,4 Ø | 48 | — | 7,8 | 162 | 137 | 56,9 | 19,2 |
| 17 | 10,9 × 5,6 | 43 | — | 9,5 | 120 | 138 | 68,8 | 16,7 |
| 18 | 6,5 Ø | 37 | — | 11,8 | 188 | 109 | 108,0 | 31,9 |

Reihe: **Rund-Oval**

Werkstoff: 100 Cr 6

Anlage 6 / Tabelle 16

| | | | | | | | | |
|---|-------------|------|------|------|------|------|------|------|
| 0 | 50,0 Ø | 1963 | 1190 | | | | | |
| 1 | 61,0 × 31,3 | 1400 | 1168 | 31,3 | 1740 | 2806 | 11,2 | 4,70 |
| 2 | 36,9 Ø | 1101 | 1125 | 21,5 | 1101 | 1700 | 12,7 | 4,83 |
| 3 | 49,7 × 21,9 | 793 | 1098 | 32,1 | 1546 | 2098 | 15,3 | 7,45 |
| 4 | 27,8 Ø | 628 | 1076 | 18,9 | 1030 | 1292 | 14,6 | 6,32 |
| 5 | 39,5 × 16,7 | 485 | 1050 | 27,4 | 1058 | 1425 | 19,2 | 8,23 |
| 6 | 21,8 Ø | 394 | 1010 | 16,8 | 835 | 975 | 17,2 | 8,03 |

Reihe: **Rund-Oval**

Werkstoff: 100 Cr 6

Anlage 6 / Tabelle 17

| Kaliber | Abmessung mm × mm | Quer- schnitt mm ² | Tempe- ratur °C | Walz- kraft t | Dreh- moment mkg | Gedr. Fläche mm ² | k_w kg/mm ² | a_w mmkg/ mm ³ |
|---------|----------------------|-------------------------------------|-----------------------|---------------------|------------------------|------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|
| 0 | 50,0 Ø | 1963 | 1144 | | | | | |
| 1 | 62,1 × 30,9 | 1373 | 1116 | 39,7 | 2090 | 2910 | 13,7 | 5,54 |
| 2 | 36,8 Ø | 1090 | 1083 | 23,4 | 1302 | 1650 | 14,2 | 4,73 |
| 3 | 50,6 × 21,7 | 790 | 1074 | 39,7 | 1695 | 2175 | 18,2 | 7,98 |
| 4 | 27,9 Ø | 634 | 1036 | 22,2 | 1123 | 1280 | 17,4 | 6,88 |
| 5 | 39,0 × 16,6 | 483 | 1028 | 32,9 | 1255 | 1465 | 22,5 | 9,74 |
| 6 | 21,7 Ø | 394 | 993 | 20,7 | 970 | 965 | 21,5 | 9,40 |
| 7 | 29,6 × 13,4 | 306 | 948 | 24,1 | 770 | 854 | 28,3 | 12,7 |
| 8 | 18,1 Ø | 255 | 930 | 13,3 | 515 | 526 | 25,3 | 10,8 |
| 9 | 25,7 × 10,8 | 194 | 934 | 25,0 | 678 | 659 | 38,0 | 16,6 |
| 10 | 14,5 Ø | 168 | 923 | 13,8 | 460 | 400 | 34,5 | 14,1 |
| 11 | 19,2 × 9,7 | 134 | 886 | 17,8 | 367 | 410 | 43,4 | 13,0 |
| 12 | 12,1 Ø | 115 | 841 | 12,8 | 337 | 274 | 46,7 | 14,3 |
| 13 | 16,8 × 7,9 | 91 | — | 14,7 | 242 | 305 | 48,2 | 16,7 |
| 14 | 9,4 Ø | 72 | — | 12,0 | 223 | 203 | 59,1 | 18,9 |
| 15 | 13,5 × 6,3 | 56 | — | 15,7 | 198 | 206 | 76,2 | 20,3 |
| 16 | 7,8 Ø | 51 | — | 11,8 | 178 | 140 | 84,3 | 22,2 |
| 17 | 10,4 × 5,8 | 44 | — | 12,5 | 128 | 136 | 91,9 | 18,6 |
| 18 | 6,8 Ø | 38 | — | 12,0 | 183 | 107 | 112,0 | 31,5 |

Reihe: **Rund-Oval**

Werkstoff: 55 Si Mn 7

Anlage 6 / Tabelle 18

| | | | | | | | | |
|----|-------------|------|------|------|------|------|------|------|
| 0 | 50,0 Ø | 1963 | 1224 | | | | | |
| 1 | 57,4 × 30,7 | 1330 | 1210 | 23,9 | 1425 | 2749 | 8,7 | 4,62 |
| 2 | 36,6 Ø | 1091 | 1170 | 17,0 | 1062 | 1592 | 10,7 | 4,10 |
| 3 | 49,0 × 21,9 | 788 | 1138 | 28,8 | 1410 | 2059 | 14,0 | 7,54 |
| 4 | 29,7 Ø | 629 | 1079 | 16,1 | 928 | 1244 | 13,0 | 6,11 |
| 5 | 39,0 × 16,7 | 480 | 1059 | 27,1 | 1060 | 1421 | 19,1 | 8,44 |
| 6 | 21,7 Ø | 390 | 1021 | 16,2 | 832 | 958 | 16,9 | 8,54 |
| 7 | 29,4 × 13,3 | 299 | 1052 | 18,2 | 573 | 862 | 21,1 | 9,40 |
| 8 | 18,0 Ø | 254 | 995 | 10,8 | 430 | 513 | 21,1 | 8,20 |
| 9 | 26,1 × 10,7 | 194 | 1009 | 21,1 | 551 | 705 | 29,9 | 13,4 |
| 10 | 14,4 Ø | 160 | 933 | 11,3 | 414 | 392 | 28,8 | 12,3 |
| 11 | 19,1 × 9,7 | 129 | 938 | 14,9 | 327 | 398 | 37,4 | 11,3 |
| 12 | 12,0 Ø | 113 | 916 | 10,3 | 313 | 275 | 37,4 | 12,5 |
| 13 | 17,4 × 7,6 | 82 | 947 | 11,5 | 253 | 307 | 37,5 | 19,3 |
| 14 | 9,2 Ø | 66 | 889 | 8,5 | 202 | 208 | 40,9 | 19,0 |
| 15 | 13,3 × 6,2 | 56 | 842 | 10,8 | 186 | 194 | 55,7 | 20,6 |
| 16 | 7,6 Ø | 48 | 781 | 7,2 | 154 | 144 | 50,0 | 20,4 |
| 17 | 10,5 × 5,5 | 40 | — | 9,3 | 126 | 137 | 68,0 | 19,2 |
| 18 | 6,6 Ø | 35 | — | 8,1 | 109 | 118 | 69,0 | 18,2 |

Reihe: **Rund-Oval**

Werkstoff: 55 Si Mn 7

Anlage 6 / Tabelle 19

| Kaliber | Abmessung mm × mm | Quer- schnitt mm ² | Tempe- ratur °C | Walz- kraft t | Dreh- moment mkg | Gedr. Fläche mm ² | k_w kg/mm ² | a_w mmkg/ mm ² |
|---------|----------------------|-------------------------------------|-----------------------|---------------------|------------------------|------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|
| 0 | 50,0 Ø | 1963 | 1181 | | | | | |
| 1 | 59,1 × 30,8 | 1345 | 1173 | 31,0 | 1745 | 2794 | 11,1 | 5,37 |
| 2 | 36,5 Ø | 1081 | 1130 | 19,5 | 1335 | 1628 | 12,0 | 5,16 |
| 3 | 49,8 × 21,8 | 788 | 1105 | 32,8 | 1667 | 2071 | 15,8 | 8,69 |
| 4 | 27,7 Ø | 630 | 1051 | 19,3 | 1110 | 1270 | 15,2 | 7,26 |
| 5 | 39,3 × 16,7 | 480 | 1041 | 30,4 | 1205 | 1434 | 21,2 | 10,6 |
| 6 | 21,7 Ø | 385 | 1017 | 17,8 | 895 | 954 | 18,6 | 9,28 |

Reihe: **Rund-Oval**

Werkstoff: 55 Si Mn 7

Anlage 6 / Tabelle 20

| | | | | | | | | |
|----|-------------|------|------|------|------|------|------|------|
| 0 | 50,0 Ø | 1963 | 1139 | | | | | |
| 1 | 62,2 × 30,9 | 1385 | 1128 | 41,7 | 2150 | 2908 | 14,4 | 6,53 |
| 2 | 37,4 Ø | 1097 | 1098 | 23,8 | 1482 | 1690 | 14,1 | 5,80 |
| 3 | 50,3 × 22,0 | 802 | 1068 | 39,0 | 1780 | 2106 | 18,5 | 9,27 |
| 4 | 28,4 Ø | 634 | 1039 | 22,2 | 1275 | 1305 | 17,0 | 8,44 |
| 5 | 39,4 × 16,8 | 483 | 1008 | 32,0 | 1295 | 1433 | 22,3 | 11,0 |
| 6 | 22,3 Ø | 316 | 1000 | 18,0 | 980 | 985 | 18,3 | 10,2 |
| 7 | 29,8 × 13,5 | 302 | 947 | 23,1 | 710 | 850 | 27,2 | 11,6 |
| 8 | 17,9 Ø | 250 | 938 | 13,6 | 545 | 527 | 24,8 | 10,8 |
| 9 | 26,2 × 10,6 | 192 | 941 | 25,3 | 676 | 668 | 37,9 | 16,5 |
| 10 | 14,5 Ø | 166 | 906 | 13,8 | 480 | 397 | 34,8 | 14,6 |
| 11 | 19,2 × 9,7 | 130 | 897 | 17,5 | 378 | 411 | 42,5 | 13,3 |
| 12 | 12,0 Ø | 113 | 839 | 11,9 | 332 | 278 | 42,8 | 13,8 |
| 13 | 17,1 × 7,9 | 87 | | 13,9 | 249 | 291 | 47,7 | 17,7 |
| 14 | 9,7 Ø | 73 | | 10,1 | 209 | 212 | 47,6 | 18,5 |
| 15 | 14,1 × 6,3 | 60 | | 13,0 | 190 | 216 | 60,3 | 20,9 |
| 16 | 8,1 Ø | 51 | | 8,8 | 163 | 153 | 57,7 | 21,1 |
| 17 | 10,7 × 5,6 | 42 | | 11,5 | 140 | 142 | 81,0 | 20,8 |
| 18 | 6,8 Ø | 36 | | 10,2 | 107 | 119 | 85,9 | 18,0 |

Reihe: **Rund-Oval**

Werkstoff: Reinaluminium

Anlage 6 / Tabelle 21

| | | | | | | | | |
|---|-------------|------|-----|-------|-----|------|------|------|
| 0 | 50,0 Ø | 1963 | 470 | | | | | |
| 1 | 62,6 × 31,5 | 1419 | 452 | 9,36 | 472 | 2877 | 3,25 | 1,27 |
| 2 | 37,6 Ø | 1107 | 421 | 6,06 | 376 | 1729 | 3,51 | 1,38 |
| 3 | 50,5 × 21,8 | 802 | 395 | 10,8 | 475 | 2133 | 5,06 | 2,39 |
| 4 | 28,4 Ø | 633 | 364 | 6,39 | 357 | 1231 | 5,18 | 2,27 |
| 5 | 40,5 × 16,5 | 490 | 362 | 10,77 | 426 | 1479 | 7,28 | 3,47 |
| 6 | 22,4 Ø | 395 | 352 | 6,31 | 293 | 984 | 6,41 | 2,98 |
| 7 | 29,3 × 14,3 | 328 | 390 | 4,55 | 180 | 808 | 5,63 | 2,73 |
| 8 | 18,8 Ø | 277 | 360 | 3,30 | 156 | 528 | 6,25 | 2,76 |
| 9 | 25,6 × 11,5 | 218 | 332 | 5,90 | 179 | 665 | 8,90 | 4,03 |

Reihe: **Rund-Oval**

Werkstoff: Reinaluminium

Anlage 6 / Tabelle 21 (Forts.)

| Kaliber | Abmessung mm × mm | Quer- schnitt mm ² | Tempe- ratur °C | Walz- kraft t | Dreh- moment mkg | Gedr. Fläche mm ² | k_w kg/mm ² | a_w mmkg/ mm ² |
|---------|----------------------|-------------------------------------|-----------------------|---------------------|------------------------|------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|
| 10 | 15,3 Ø | 183 | 320 | 3,80 | 147 | 403 | 9,40 | 4,28 |
| 11 | 20,7 × 10,5 | 153 | 290 | 4,10 | 123 | 409 | 10,0 | 4,10 |
| 12 | 13,0 Ø | 132 | 268 | 2,90 | 100 | 303 | 9,6 | 3,77 |
| 13 | 18,2 × 8,5 | 104 | 400 | 2,30 | 47 | 310 | 7,43 | 2,69 |
| 14 | 10,5 Ø | 86 | 390 | 3,00 | 57 | 209 | 14,4 | 3,94 |
| 15 | 15,2 × 7,0 | 71 | 340 | 2,60 | 53 | 237 | 11,0 | 4,42 |
| 16 | 8,8 Ø | 60 | 270 | 2,40 | 52 | 186 | 12,9 | 4,95 |
| 17 | 12,0 × 6,4 | 54 | 195 | 1,90 | 32 | 158 | 12,0 | 3,42 |
| 18 | 7,7 Ø | 47 | 150 | 1,80 | 41 | 140 | 12,8 | 5,03 |

Reihe: **Rund-Oval**

Werkstoff: Kupfer

Anlage 6 / Tabelle 22

| | | | | | | | | |
|---|-------------|------|-----|------|------|------|------|------|
| 0 | 50,0 Ø | 1963 | 830 | | | | | |
| 1 | 59,8 × 30,6 | 1360 | 804 | 24,9 | 1452 | 2835 | 8,8 | 4,42 |
| 2 | 36,8 Ø | 1093 | 794 | 13,3 | 880 | 1630 | 8,2 | 3,29 |
| 3 | 48,8 × 21,8 | 785 | | 21,2 | 1000 | 2056 | 10,3 | 5,08 |
| 4 | 28,0 Ø | 635 | 837 | 12,1 | 697 | 1212 | 10,0 | 4,83 |
| 5 | 39,2 × 16,6 | 487 | | 18,9 | 745 | 1437 | 13,2 | 6,32 |
| 6 | 22,5 Ø | 397 | | 11,3 | 610 | 965 | 11,7 | 6,50 |

Reihe: **Rund-Oval**

Werkstoff: Kupfer








Anlage 6 / Tabelle 23

| | | | | | | | | |
|----|-------------|------|-----|------|-----|------|------|------|
| 0 | 50,0 Ø | 1963 | 926 | | | | | |
| 1 | 58,0 × 30,4 | 1335 | 916 | 16,0 | 990 | 2778 | 5,76 | 3,29 |
| 2 | 37,3 Ø | 1065 | 880 | 10,6 | 654 | 1578 | 6,70 | 2,52 |
| 3 | 46,7 × 21,6 | 763 | 838 | 15,0 | 748 | 1958 | 7,44 | 4,12 |
| 4 | 28,4 Ø | 618 | 802 | 8,1 | 503 | 1175 | 6,86 | 3,58 |
| 5 | 38,5 × 16,3 | 468 | | 12,9 | 528 | 1382 | 9,33 | 4,65 |
| 6 | 22,3 Ø | 394 | | 6,7 | 418 | 920 | 7,28 | 4,54 |
| 7 | 30,2 × 13,4 | 301 | 593 | 12,2 | 421 | 843 | 14,5 | 6,58 |
| 8 | 17,9 Ø | 252 | 595 | 7,4 | 313 | 524 | 14,1 | 5,88 |
| 9 | 26,7 × 10,5 | 194 | 495 | 14,6 | 403 | 683 | 21,4 | 9,80 |
| 10 | 14,4 Ø | 163 | 470 | 7,2 | 277 | 400 | 18,0 | 8,20 |
| 11 | 19,5 × 9,7 | 132 | 455 | 9,4 | 232 | 465 | 20,2 | 8,60 |
| 12 | 12,0 Ø | 113 | 442 | 7,4 | 213 | 282 | 26,3 | 8,95 |
| 13 | 17,8 × 7,8 | 91 | | 10,6 | 167 | 304 | 35,0 | 11,9 |
| 14 | 9,8 Ø | 75 | | 8,4 | 159 | 213 | 39,4 | 14,3 |
| 15 | 13,6 × 6,5 | 59 | | 8,1 | 113 | 209 | 38,7 | 10,4 |
| 16 | 8,1 Ø | 51 | 410 | 7,0 | 112 | 155 | 45,2 | 14,6 |
| 17 | 11,8 × 5,7 | 44 | 380 | 7,9 | 71 | 153 | 51,6 | 10,9 |
| 18 | 7,0 Ø | 39 | 400 | 7,5 | 99 | 127 | 59,2 | 23,7 |

Reihe: **Quadrat-Oval**

Werkstoff: MSt 3b

Anlage 7 / Tabelle 1

| Kaliber | Abmessung mm × mm | Quer- schnitt mm ² | Tempe- ratur °C | Walz- kraft t | Dreh- moment mkg | Gedr. Fläche mm ² | k_w kg/mm ² | a_w mmkg/ mm ² |  | 0 |
|---------|----------------------|-------------------------------------|-----------------------|---------------------|------------------------|------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|---|---|
| 0 | 50,0 □ | 2500 | 1282 | | | | | |  | 1 |
| 1 | 59,8 × 25,2 | 1198 | 1132 | 37,0 | 2668 | 4320 | 8,6 | 9,47 | | |
| 2 | 31,1 □ | 854 | 1080 | 23,7 | 1234 | 1778 | 13,3 | 6,10 |  | 2 |
| 3 | 46,3 × 14,8 | 485 | 1040 | 42,2 | 1704 | 2340 | 18,0 | 14,5 | | |
| 4 | 24,3 □ | 376 | 996 | 15,0 | 576 | 964 | 15,6 | 6,02 | | |
| 5 | 36,2 × 10,2 | 273 | 1000 | 36,0 | 1027 | 1362 | 26,5 | 14,1 |  | 3 |
| 6 | 15,0 □ | 218 | 953 | 18,5 | 538 | 692 | 26,7 | 9,82 | | |
| 7 | 23,1 × 10,5 | 159 | 970 | 19,4 | 493 | 579 | 36,5 | 14,8 | | |
| 8 | 11,5 □ | 130 | 938 | 12,2 | 316 | 372 | 33,8 | 11,7 | | |
| 9 | 17,6 × 7,4 | 97 | 916 | 11,7 | 270 | 377 | 31,1 | 17,0 |  | 4 |
| 10 | 8,9 □ | 78 | 874 | 11,6 | 245 | 245 | 47,4 | 19,0 | | |
| 11 | 15,1 × 5,2 | 52 | 809 | 15,9 | 283 | 288 | 55,2 | 31,8 |  | 5 |
| 12 | 6,6 □ | 45 | — | 8,2 | 144 | 162 | 50,6 | 19,0 |  | 6 |

Reihe: **Quadrat-Oval**

Werkstoff: MSt 3b







Anlage 7 / Tabelle 2

| Kaliber | Abmessung mm × mm | Quer- schnitt mm ² | Tempe- ratur °C | Walz- kraft t | Dreh- moment mkg | Gedr. Fläche mm ² | k_w kg/mm ² | a_w mmkg/ mm ² | a_1 | a_2 | k'_{sen} kg/mm ² | k_{sem} kg/mm ² |
|---------|----------------------|-------------------------------------|-----------------------|---------------------|------------------------|------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|-------|-------|----------------------------------|---------------------------------|
| 0 | 50,0 □ | 2500 | | | | | | | | | | |
| 1 | 62,2 × 25,3 | 1228 | 1151 | 48,9 | 3310 | 4350 | 11,3 | 12,6 | 1,1 | 1,25 | 10,0 | 13,7 |
| 2 | 30,2 □ | 879 | 1038 | 31,5 | 1540 | 1911 | 16,5 | 7,6 | 1,1 | 1,25 | 14,5 | 19,9 |
| 3 | 50,3 × 15,0 | 504 | 973 | 48,9 | 2000 | 2510 | 19,5 | 16,7 | 1,1 | 1,25 | 20,0 | 27,5 |
| 4 | 20,4 □ | 375 | 973 | 16,5 | 650 | 1627 | 16,0 | 7,2 | 1,1 | 1,25 | 19,5 | 26,8 |
| 5 | 35,7 × 10,4 | 275 | 937 | 35,3 | 1035 | 1347 | 26,1 | 15,3 | 1,1 | 1,25 | 22,8 | 31,3 |
| 6 | 15,1 □ | 219 | 831 | 19,3 | 561 | 687 | 28,1 | 10,5 | 1,1 | 1,25 | 25,0 | 34,4 |
| 7 | 22,0 × 10,5 | 159 | 934 | 21,1 | 562 | 565 | 37,4 | 16,6 | 1,1 | 1,25 | 23,5 | 32,3 |
| 8 | 11,6 □ | 131 | 882 | 12,6 | 339 | 351 | 36,0 | 12,4 | 1,1 | 1,25 | 25,0 | 34,4 |
| 9 | 17,8 × 7,3 | 99 | 904 | 13,6 | 294 | 384 | 35,5 | 18,7 | 1,1 | 1,25 | 26,0 | 35,7 |
| 10 | 8,8 □ | 77 | 864 | 12,9 | 261 | 259 | 49,8 | 20,2 | 1,1 | 1,25 | 25,0 | 34,4 |
| 11 | 14,9 × 5,6 | 61 | 795 | 15,7 | 254 | 274 | 57,2 | 24,7 | 1,1 | 1,25 | 24,5 | 33,7 |
| 12 | 7,0 □ | 49 | — | 9,4 | 156 | 171 | 55,0 | 18,8 | 1,1 | 1,25 | | |

Reihe: **Quadrat-Oval**

Werkstoff: CK 45

Anlage 7 / Tabelle 3

| Kaliber | Abmessung mm × mm | Quer- schnitt mm ² | Tempe- ratur- °C | Walz- kraft t | Dreh- moment mkg | Gedr. Fläche mm ² | k_w kg/mm ² | a_w mmkg/ mm ² |  | 7 |
|---------|----------------------|-------------------------------------|------------------------|---------------------|------------------------|------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|---|----|
| 0 | 50,0 □ | 2500 | — | | | | | |  | 8 |
| 1 | 60,2 × 24,9 | 1200 | 1150 | 37,3 | 2510 | 4350 | 8,6 | 9,37 |  | 9 |
| 2 | 30,0 □ | 864 | 1112 | 23,1 | 1187 | 1888 | 12,2 | 5,89 |  | 10 |
| 3 | 49,7 × 14,8 | 495 | 1058 | 40,0 | 1600 | 2440 | 16,4 | 13,5 |  | 11 |
| | | | | | | | | |  | 12 |

Reihe: **Quadrat-Oval**

Werkstoff: CK 45

Anlage 7 / Tabelle 3 (Forts.)

| Kaliber | Abmessung mm × mm | Quer- schnitt mm ² | Tempe- ratur °C | Walz- kraft t | Dreh- moment mkg | Gedr. Fläche mm ² | k_w kg/mm ² | a_w mmkg/ mm ² |
|---------|----------------------|-------------------------------------|-----------------------|---------------------|------------------------|------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|
| 4 | 20,2 □ | 373 | — | 14,4 | 604 | 1038 | 14,0 | 6,74 |
| 5 | 36,7 × 10,3 | 275 | — | 33,5 | 955 | 1355 | 24,7 | 14,0 |
| 6 | 15,0 □ | 218 | — | 18,2 | 566 | 721 | 24,3 | 10,4 |
| 7 | 23,0 × 10,5 | 155 | 980 | 21,0 | 584 | 584 | 36,0 | 18,0 |
| 8 | 11,5 □ | 129 | 958 | 12,6 | 392 | 381 | 33,1 | 14,8 |
| 9 | 17,2 × 7,7 | 101 | 931 | 13,0 | 292 | 355 | 36,6 | 18,1 |
| 10 | 9,0 □ | 80 | 885 | 13,4 | 254 | 248 | 54,1 | 19,2 |
| 11 | 15,6 × 5,8 | 61 | 824 | 17,4 | 289 | 286 | 60,8 | 28,3 |
| 12 | 7,1 □ | 53 | — | 9,8 | 188 | 187 | 52,4 | 22,6 |

Reihe: **Quadrat-Oval**

Werkstoff: CK 45

Anlage 7 / Tabelle 4

| | | | | | | | | |
|----|-------------|------|------|------|------|------|------|------|
| 0 | 50,0 □ | 2500 | 1190 | | | | | |
| 1 | 62,2 × 15,4 | 1239 | 1179 | 46,7 | 3225 | 4380 | 10,7 | 11,5 |
| 2 | 30,2 □ | 877 | 1140 | 31,3 | 1523 | 1997 | 15,7 | 7,16 |
| 3 | 53,1 × 14,9 | 504 | 1110 | 54,1 | 2132 | 2360 | 21,2 | 16,9 |
| 4 | 20,2 □ | 388 | 1062 | 19,1 | 793 | 1158 | 18,1 | 8,31 |
| 5 | 35,7 × 10,4 | 281 | 1016 | 39,0 | 1140 | 1356 | 28,8 | 15,8 |
| 6 | 15,1 □ | 219 | 978 | 17,8 | 614 | 725 | 24,5 | 10,9 |
| 7 | 22,7 × 10,7 | 160 | 936 | 24,8 | 676 | 583 | 42,5 | 22,2 |
| 8 | 11,6 □ | 130 | 900 | 15,8 | 447 | 377 | 40,8 | 15,2 |
| 9 | 18,4 × 7,4 | 96 | 927 | 15,5 | 332 | 394 | 39,4 | 21,1 |
| 10 | 8,7 □ | 71 | 846 | 13,5 | 281 | 263 | 51,3 | 22,2 |
| 11 | 15,5 × 5,8 | 57 | 805 | 16,1 | 245 | 262 | 61,5 | 27,2 |
| 12 | 6,9 □ | 49 | — | 10,6 | 176 | 173 | 61,2 | 21,9 |

Reihe: **Quadrat-Oval**

Werkstoff: MK 73

Anlage 7 / Tabelle 5

| | | | | | | | | |
|----|-------------|------|------|------|------|------|------|------|
| 0 | 50,0 □ | 2500 | — | | | | | |
| 1 | 58,2 × 25,0 | 1147 | 1218 | 30,6 | 2056 | 4210 | 7,72 | 7,34 |
| 2 | 30,0 □ | 836 | 1174 | 20,7 | 1012 | 1911 | 11,4 | 5,01 |
| 3 | 45,0 × 14,4 | 446 | 1136 | 34,2 | 1271 | 2345 | 14,6 | 10,9 |
| 4 | 20,1 □ | 361 | 1086 | 12,4 | 486 | 939 | 13,9 | 5,31 |
| 5 | 35,3 × 10,3 | 255 | 1052 | 28,7 | 841 | 1315 | 21,8 | 11,6 |
| 6 | 15,0 □ | 213 | 987 | 17,6 | 564 | 718 | 24,5 | 10,1 |
| 7 | 23,0 × 10,5 | 155 | 990 | 19,4 | 585 | 579 | 33,5 | 18,5 |
| 8 | 11,5 □ | 126 | 952 | 12,2 | 377 | 376 | 32,5 | 13,8 |
| 9 | 18,4 × 7,1 | 93 | 930 | 12,9 | 293 | 399 | 32,3 | 17,5 |
| 10 | 8,7 □ | 74 | 893 | 11,6 | 258 | 253 | 45,8 | 19,2 |
| 11 | 14,3 × 5,6 | 56 | 830 | 14,4 | 254 | 263 | 54,8 | 25,9 |
| 12 | 6,9 □ | 47 | — | 9,2 | 174 | 159 | 57,9 | 21,9 |

Reihe: **Quadrat-Oval**

Werkstoff: MK 73

Anlage 7 / Tabelle 6

| Kaliber | Abmessung mm × mm | Quer- schnitt mm ² | Tempe- ratur °C | Walz- kraft t | Dreh- moment mkg | Gedr. Fläche mm ² | k_w kg/mm ² | a_w mmkg/ mm ² |
|---------|----------------------|-------------------------------------|-----------------------|---------------------|------------------------|------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|
| 0 | 50,0 □ | 2500 | 1210 | | | | | |
| 1 | 59,9 × 24,8 | 1110 | 1180 | 38,2 | 2740 | 4270 | 8,95 | 9,73 |
| 2 | 30,0 □ | 845 | 1152 | 25,0 | 1235 | 1904 | 13,1 | 6,02 |
| 3 | 42,3 × 14,5 | 452 | 1117 | 34,4 | 1445 | 2242 | 15,4 | 12,2 |
| 4 | 20,1 □ | 377 | 1046 | 15,0 | 573 | 959 | 15,7 | 6,59 |
| 5 | 35,5 × 10,4 | 264 | — | 29,9 | 955 | 1320 | 22,6 | 13,6 |
| 6 | 15,0 □ | 215 | 968 | 17,2 | 597 | 706 | 24,3 | 11,0 |
| 7 | 21,5 × 10,6 | 162 | 910 | 23,8 | 616 | 548 | 43,4 | 18,5 |
| 8 | 11,6 □ | 130 | 880 | 15,4 | 404 | 350 | 44,0 | 14,6 |
| 9 | 18,3 × 7,3 | 97 | 931 | 15,7 | 346 | 406 | 38,7 | 20,9 |
| 10 | 8,8 □ | 74 | 855 | 13,2 | 277 | 262 | 50,4 | 20,1 |
| 11 | 14,8 × 5,7 | 58 | 795 | 16,4 | 288 | 262 | 62,6 | 30,1 |
| 12 | 7,0 □ | 58 | — | 10,7 | 174 | 164 | 65,3 | 20,7 |

Reihe: **Quadrat-Oval**

Werkstoff: St 52

Anlage 7 / Tabelle 7

| Kaliber | Abmessung mm × mm | Quer- schnitt mm ² | Tempe- ratur °C | Walz- kraft t | Dreh- moment mkg | Gedr. Fläche mm ² | k_w kg/mm ² | a_w mmkg/ mm ² |
|---------|----------------------|-------------------------------------|-----------------------|---------------------|------------------------|------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|
| 0 | 50,0 □ | 2500 | 1230 | | | | | |
| 1 | 59,2 × 24,3 | 1160 | 1215 | 35,0 | 2600 | 4300 | 8,1 | 8,95 |
| 2 | 30,0 □ | 861 | 1175 | 21,6 | 1380 | 1790 | 12,0 | 6,38 |
| 3 | 46,3 × 14,6 | 480 | 1157 | 36,7 | — | 2320 | 15,8 | — |
| 4 | 20,2 □ | 371 | 1092 | 15,2 | 775 | 977 | 15,5 | 7,90 |
| 5 | 35,2 × 10,4 | 270 | 1068 | 34,0 | 1270 | 1305 | 26,1 | 16,6 |
| 6 | 15,0 □ | 220 | 1000 | 20,2 | 775 | 717 | 28,1 | 13,2 |
| 7 | 23,2 × 10,6 | 158 | 951 | 21,8 | 515 | 580 | 37,6 | 15,2 |
| 8 | 11,6 □ | 127 | 926 | 12,7 | 351 | 382 | 33,1 | 13,0 |
| 9 | 17,8 × 7,2 | 97 | 931 | 12,8 | 274 | 386 | 33,1 | 17,9 |
| 10 | 8,7 □ | 72 | 875 | 10,4 | 226 | 245 | 42,5 | 18,3 |
| 11 | 14,3 × 5,8 | 59 | 836 | 11,2 | 221 | 286 | 39,1 | 22,1 |
| 12 | 7,0 □ | 47 | — | 8,1 | 141 | 156 | 51,9 | 16,8 |

Reihe: **Quadrat-Oval**

Werkstoff: St 52

Anlage 7 / Tabelle 8

| Kaliber | Abmessung mm × mm | Quer- schnitt mm ² | Tempe- ratur °C | Walz- kraft t | Dreh- moment mkg | Gedr. Fläche mm ² | k_w kg/mm ² | a_w mmkg/ mm ² |
|---------|----------------------|-------------------------------------|-----------------------|---------------------|------------------------|------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|
| 0 | 50,0 □ | 2500 | 1200 | | | | | |
| 1 | 61,8 × 25,1 | 1215 | 1186 | 47,2 | 3380 | 4350 | 10,8 | 11,5 |
| 2 | 30,2 □ | 875 | 1143 | 31,5 | 1620 | 1958 | 16,1 | 7,73 |
| 3 | 51,0 × 14,8 | 500 | 1095 | 48,7 | 2020 | 2490 | 19,6 | 16,6 |
| 4 | 20,1 □ | 373 | 1063 | 18,2 | 800 | 1054 | 17,3 | 8,53 |
| 5 | 35,8 × 10,4 | 277 | 1032 | 37,9 | 1146 | 1317 | 28,8 | 16,2 |
| 6 | 15,0 □ | 220 | 980 | 20,4 | 697 | 733 | 27,8 | 13,0 |
| 7 | 24,0 × 10,3 | 153 | 940 | 27,6 | 718 | 608 | 45,4 | 22,1 |
| 8 | 11,6 □ | 126 | 886 | 11,4 | 342 | 357 | 31,8 | 13,0 |
| 9 | 18,3 × 7,3 | 93 | — | 14,8 | 308 | 401 | 37,2 | 19,8 |
| 10 | 8,8 □ | 78 | 813 | 13,5 | 270 | 260 | 51,9 | 21,7 |
| 11 | 14,8 × 5,6 | 59 | 800 | 15,6 | 258 | 275 | 56,7 | 23,5 |
| 12 | 7,0 □ | 53 | — | 11,0 | 182 | 173 | 63,5 | 21,8 |

Reihe: **Quadrat-Oval**

Werkstoff: 16 Mn Cr 5

Anlage 7 / Tabelle 9

| Kaliber | Abmessung mm × mm | Quer- schnitt mm ² | Tempe- ratur °C | Walz- kraft t | Dreh- moment mkg | Gedr. Fläche mm ² | k_{re} kg/mm ² | a_{re} mmkg/ mm ² |
|---------|----------------------|-------------------------------------|-----------------------|---------------------|------------------------|------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------------|
| 0 | 50,0 □ | 2500 | 1254 | | | | | |
| 1 | 60,5 × 25,1 | 1200 | 1217 | 37,0 | 2540 | 4280 | 8,64 | 8,98 |
| 2 | 30,2 □ | 869 | 1177 | 23,4 | 1195 | 1858 | 12,6 | 5,59 |
| 3 | 48,7 × 15,5 | 526 | 1147 | 35,5 | 1518 | 2357 | 15,1 | 11,6 |
| 4 | 20,3 □ | 388 | 1111 | 17,3 | 662 | 1115 | 15,5 | 6,5 |
| 5 | 36,4 × 10,5 | 282 | 1056 | 35,8 | 1061 | 1383 | 25,8 | 13,9 |
| 6 | 15,3 □ | 224 | 1000 | 16,1 | 550 | 714 | 22,6 | 9,3 |
| 7 | 23,8 × 10,5 | 160 | 994 | 22,6 | 620 | 618 | 36,5 | 17,9 |
| 8 | 11,6 □ | 127 | 964 | 13,0 | 396 | 397 | 32,8 | 14,3 |
| 9 | 16,2 × 8,1 | 104 | 920 | 11,9 | 290 | 329 | 36,2 | 17,5 |
| 10 | 8,8 □ | 76 | 862 | 12,6 | 256 | 224 | 56,2 | 21,3 |
| 11 | 15,0 × 5,7 | 62 | 827 | 13,8 | 258 | 266 | 51,8 | 24,9 |
| 12 | 7,1 □ | 48 | — | 9,9 | 192 | 172 | 57,5 | 22,7 |

Reihe: **Quadrat-Oval**

Werkstoff: 16 Mn Cr 5

Anlage 7 / Tabelle 10

| | | | | | | | | |
|----|-------------|------|------|------|------|------|------|------|
| 0 | 50,0 □ | 2500 | 1207 | | | | | |
| 1 | 63,5 × 25,0 | 1233 | 1187 | 49,2 | 3420 | 4295 | 1,51 | 12,2 |
| 2 | 30,4 □ | 884 | 1138 | 31,2 | 1518 | 1966 | 15,9 | 6,78 |
| 3 | 51,7 × 15,6 | 538 | 1114 | 52,0 | 2118 | 2473 | 21,0 | 14,4 |
| 4 | 20,4 □ | 398 | 1079 | 20,8 | 876 | 1229 | 16,9 | 8,38 |
| 5 | 37,1 × 10,6 | 282 | 1060 | 33,5 | 1058 | 1372 | 24,4 | 13,9 |
| 6 | 15,3 □ | 228 | 1020 | 17,3 | 582 | 759 | 22,8 | 10,1 |
| 7 | 23,0 × 10,4 | 158 | 940 | 25,9 | 668 | 542 | 47,8 | 19,5 |
| 8 | 11,6 □ | 128 | 885 | 16,2 | 434 | 398 | 40,7 | 16,3 |
| 9 | 18,4 × 7,3 | 101 | — | 15,2 | 298 | 399 | 38,1 | 19,5 |
| 10 | 8,8 □ | 78 | 795 | 15,2 | 280 | 258 | 58,9 | 23,0 |
| 11 | 14,8 × 5,7 | 63 | 800 | 17,5 | 271 | 270 | 64,8 | 28,4 |
| 12 | 7,0 □ | 50 | — | 10,7 | 148 | 174 | 61,5 | 19,4 |

Reihe: **Quadrat-Oval**

Werkstoff: 100 Cr 6

Anlage 7 / Tabelle 11

| | | | | | | | | |
|----|-------------|------|------|------|------|------|------|------|
| 0 | 50,0 □ | 2500 | 1227 | | | | | |
| 1 | 65,5 × 25,0 | 1220 | 1207 | 33,6 | 2250 | 4390 | 7,66 | 7,21 |
| 2 | 30,3 □ | 870 | 1170 | 22,2 | 1058 | 1867 | 11,9 | 4,62 |
| 3 | 46,4 × 14,8 | 494 | 1139 | 40,6 | 1538 | 2290 | 17,7 | 11,0 |
| 4 | 20,4 □ | 384 | 1086 | 18,7 | 728 | 1067 | 17,5 | 6,86 |
| 5 | 37,5 × 10,3 | 275 | 1043 | 34,9 | 1051 | 1340 | 26,0 | 13,3 |
| 6 | 15,4 □ | 221 | 987 | 16,1 | 506 | 809 | 19,8 | 8,30 |
| 7 | 23,4 × 10,6 | 163 | 968 | 24,2 | 630 | 615 | 39,4 | 18,3 |
| 8 | 11,5 □ | 129 | 951 | 13,6 | 379 | 389 | 35,0 | 13,8 |
| 9 | 17,8 × 7,3 | 104 | 934 | 15,4 | 348 | 387 | 39,8 | 20,8 |
| 10 | 8,7 □ | 77 | 900 | 13,3 | 312 | 218 | 61,0 | 21,3 |
| 11 | 14,3 × 5,6 | 58 | 851 | 16,3 | 282 | 260 | 62,3 | 28,4 |
| 12 | 6,9 □ | 49 | — | 11,3 | 191 | 190 | 59,5 | 22,9 |

Reihe: **Quadrat-Oval**

Werkstoff: 100 Cr 6

Anlage 7 / Tabelle 12

| Kaliber | Abmessung mm × mm | Quer- schnitt mm ² | Tempe- ratur °C | Walz- kraft t | Dreh- moment mkg | Gedr. Fläche mm ² | k_w kg/mm ² | a_w mmkg/ mm ² |
|---------|----------------------|-------------------------------------|-----------------------|---------------------|------------------------|------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|
| 0 | 50,0 □ | 2500 | 1183 | | | | | |
| 1 | 65,4 × 25,4 | 1250 | 1167 | 40,6 | 3110 | 4500 | 9,02 | 9,89 |
| 2 | 30,6 □ | 883 | 1146 | 25,9 | 1390 | 1867 | 13,9 | 6,47 |
| 3 | 53,1 × 15,5 | 541 | 1126 | 44,5 | 1890 | 2515 | 17,7 | 12,8 |
| 4 | 20,7 □ | 399 | 1082 | 19,8 | 783 | 1252 | 15,8 | 6,95 |
| 5 | 37,0 × 11,1 | 295 | 1056 | 32,9 | 995 | 1300 | 25,3 | 11,5 |
| 6 | 15,8 □ | 237 | 993 | 15,9 | 463 | 740 | 21,5 | 7,69 |
| 7 | 23,5 × 10,6 | 158 | 934 | 29,4 | 786 | 645 | 45,2 | 23,9 |
| 8 | 11,6 □ | 130 | 921 | 15,9 | 473 | 394 | 40,3 | 17,9 |
| 9 | 18,0 × 7,2 | 96 | 910 | 16,1 | 331 | 395 | 55,9 | 21,3 |
| 10 | 8,8 □ | 82 | 874 | 14,6 | 281 | 246 | 69,8 | 22,6 |
| 11 | 14,7 × 5,8 | 62 | 814 | 16,2 | 269 | 260 | 86,2 | 28,2 |
| 12 | 7,0 □ | 49 | — | 10,4 | 172 | 180 | 68,4 | 21,4 |

Reihe: **Quadrat-Oval**

Werkstoff: 65 Si 7

Anlage 7 / Tabelle 13

| | | | | | | | | |
|----|-------------|------|------|------|------|------|------|------|
| 0 | 50,0 □ | 2500 | 1230 | | | | | |
| 1 | 61,4 × 25,0 | 1199 | 1212 | 37,6 | 2613 | 4230 | 8,66 | 7,34 |
| 2 | 30,1 □ | 855 | 1170 | 23,4 | 1223 | 1840 | 12,7 | 5,80 |
| 3 | 49,7 × 15,5 | 524 | 1132 | 41,9 | 1815 | 2390 | 17,5 | 13,3 |
| 4 | 20,3 □ | 389 | 1064 | 21,6 | 983 | 1157 | 18,6 | 9,51 |
| 5 | 37,6 × 10,6 | 287 | 1018 | 40,2 | 1307 | 1466 | 27,4 | 17,1 |
| 6 | 15,3 □ | 220 | 980 | 18,6 | 679 | 725 | 25,7 | 11,6 |
| 7 | 22,9 × 10,5 | 158 | 1000 | 25,0 | 672 | 603 | 41,5 | 21,7 |
| 8 | 11,5 □ | 128 | 947 | 15,0 | 404 | 381 | 39,4 | 16,2 |
| 9 | 18,2 × 7,2 | 93 | 940 | 16,2 | 361 | 393 | 41,2 | 22,2 |
| 10 | 8,6 □ | 75 | 900 | 13,9 | 288 | 259 | 53,7 | 22,6 |
| 11 | 14,3 × 5,7 | 61 | 840 | 16,8 | 280 | 256 | 65,6 | 28,0 |
| 12 | 6,9 □ | 49 | — | 11,6 | 179 | 163 | 71,2 | 20,5 |

Reihe: **Quadrat-Oval**

Werkstoff: 65 Si 7

Anlage 7 / Tabelle 14

| | | | | | | | | |
|----|-------------|------|------|------|------|------|------|------|
| 0 | 50,0 □ | 2500 | 1190 | | | | | |
| 1 | 62,2 × 25,0 | 1203 | 1182 | 45,3 | 3125 | 4370 | 10,4 | 10,4 |
| 2 | 30,3 □ | 840 | 1134 | 30,6 | 1490 | 1879 | 16,2 | 6,56 |
| 3 | 53,2 × 15,3 | 530 | 1096 | 48,3 | 2035 | 2513 | 19,2 | 14,4 |
| 4 | 20,4 □ | 391 | 1060 | 20,3 | 862 | 1227 | 16,6 | 8,13 |
| 5 | 37,7 × 10,5 | 283 | 1029 | 36,9 | 1220 | 1396 | 26,4 | 15,3 |
| 6 | 15,0 □ | 210 | 987 | 21,2 | 706 | 804 | 26,4 | 11,3 |
| 7 | 22,1 × 10,8 | 157 | 925 | 30,1 | 761 | 550 | 54,7 | 23,7 |
| 8 | 11,6 □ | 126 | 902 | 17,9 | 454 | 363 | 49,3 | 17,8 |
| 9 | 18,1 × 7,3 | 94 | 914 | 16,8 | 338 | 393 | 42,7 | 22,3 |
| 10 | 8,7 □ | 75 | 860 | 14,7 | 288 | 258 | 57,0 | 23,3 |
| 11 | 14,8 × 5,8 | 58 | 824 | 17,7 | 265 | 258 | 68,6 | 28,1 |
| 12 | 7,0 □ | 51 | — | 11,4 | 145 | 184 | 62,0 | 18,0 |

12*

Reihe: **Quadrat-Oval**

Werkstoff: Kupfer

Anlage 7 / Tabelle 15

| Kaliber | Abmessung mm × mm | Quer- schnitt mm ² | Tempe- ratur °C | Walz- kraft t | Dreh- moment mkg | Gedr. Fläche mm ² | k_w kg/mm ² | a_w mmkg/ mm ² |
|---------|----------------------|-------------------------------------|-----------------------|---------------------|------------------------|------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|
| 0 | 50,0 □ | 2500 | 893 | | | | | |
| 1 | 65,2 × 25,2 | 1256 | 770 | 28,2 | 2147 | 4345 | 6,50 | 6,89 |
| 2 | 30,2 □ | 842 | 730 | 14,1 | 961 | 1766 | 8,0 | 4,62 |
| 3 | 50,3 × 14,8 | 490 | 680 | 30,3 | 1352 | 2385 | 12,7 | 10,9 |
| 4 | 20,4 □ | 365 | 580 | 9,1 | 529 | 921 | 9,87 | 6,03 |
| 5 | 35,2 × 10,3 | 271 | 555 | 21,2 | 695 | 1342 | 15,8 | 10,2 |
| 6 | 15,2 □ | 215 | 500 | 9,1 | 440 | 649 | 14,8 | 8,58 |
| 7 | 23,0 × 10,4 | 150 | 590 | 12,0 | 362 | 605 | 19,8 | 11,4 |
| 8 | 11,5 □ | 123 | 570 | 7,62 | 252 | 358 | 21,3 | 9,85 |
| 9 | 17,9 × 7,2 | 99 | 600 | 13,2 | 261 | 382 | 34,6 | 21,3 |
| 10 | 8,7 □ | 77 | 580 | 5,2 | 134 | 277 | 18,8 | 10,8 |
| 11 | 15,4 × 5,7 | 62 | 530 | 7,1 | 156 | 279 | 25,4 | 12,5 |
| 12 | 6,9 □ | 51 | 480 | 3,7 | 83 | 182 | 20,5 | 8,9 |

Reihe: **Quadrat-Oval**

Werkstoff: Aluminium

Anlage 8 / Tabelle 1

| | | | | | | | | |
|----|-------------|------|-----|------|------|------|-------|------|
| 0 | 50,0 □ | 2500 | — | | | | | |
| 1 | 77,6 × 26,7 | 1432 | 455 | 21,7 | 1323 | 4890 | 4,43 | 3,32 |
| 2 | 32,7 □ | 1017 | 415 | 8,53 | 632 | 2104 | 4,06 | 2,41 |
| 3 | 51,8 × 18,4 | 687 | 385 | 13,8 | 607 | 2515 | 5,49 | 3,31 |
| 4 | 23,4 □ | 524 | 355 | 6,43 | 335 | 1303 | 4,93 | 2,38 |
| 5 | 39,7 × 12,8 | 382 | 348 | 11,6 | 444 | 1555 | 7,44 | 4,17 |
| 6 | 18,5 □ | 311 | 338 | 5,12 | 240 | 835 | 6,12 | 2,99 |
| 7 | 31,3 × 10,8 | 220 | 370 | 7,50 | 231 | 966 | 7,80 | 5,00 |
| 8 | 13,6 □ | 180 | 350 | 4,00 | 137 | 468 | 8,55 | 3,84 |
| 9 | 22,3 × 8,5 | 130 | 315 | 4,90 | 120 | 527 | 9,30 | 5,39 |
| 10 | 10,5 □ | 108 | 305 | 2,40 | 63 | 307 | 7,82 | 3,67 |
| 11 | 14,8 × 7,7 | 94 | 250 | 3,00 | 61 | 261 | 11,50 | 4,19 |
| 12 | 8,7 □ | 77 | 233 | 2,15 | 52 | 173 | 12,40 | 4,27 |

Reihe: **Quadrat-Oval**

Werkstoff: MSt 3b

Anlage 8 / Tabelle 2

| | | | | | | | | |
|----|-------------|------|------|------|------|------|------|------|
| 0 | 50,0 □ | 2500 | 1210 | | | | | |
| 1 | 59,1 × 25,6 | 1220 | 1180 | 33,4 | 2379 | 4185 | 7,98 | 8,62 |
| 2 | 32,2 □ | 933 | 1096 | 17,4 | 858 | 1556 | 11,2 | 4,35 |
| 3 | 45,0 × 17,4 | 590 | 1076 | 29,4 | 1193 | 2276 | 12,9 | 8,10 |
| 4 | 22,4 □ | 471 | 980 | 17,4 | 629 | 1074 | 16,2 | 5,73 |
| 5 | 36,3 × 12,4 | 347 | 967 | 31,8 | 1015 | 1392 | 22,8 | 11,7 |
| 6 | 17,0 □ | 278 | 886 | 21,3 | 706 | 791 | 26,9 | 10,4 |
| 7 | 22,6 × 10,0 | 171 | 973 | 21,2 | 635 | 743 | 28,5 | 16,2 |
| 8 | 12,7 □ | 133 | 935 | 13,5 | 408 | 363 | 37,2 | 12,4 |
| 9 | 19,9 × 7,6 | 110 | 947 | 16,6 | 323 | 516 | 32,4 | 17,5 |
| 10 | 9,7 □ | 91 | 917 | 8,0 | 174 | 257 | 32,1 | 12,0 |
| 11 | 14,1 × 6,8 | 76 | 828 | 10,6 | 173 | 258 | 41,1 | 14,3 |
| 12 | 8,3 □ | 65 | 807 | 6,3 | 116 | 173 | 36,4 | 11,6 |

Reihe: **Quadrat-Oval**

Werkstoff: MSt 3b

Anlage 8 / Tabelle 3

| Kaliber | Abmessung mm × mm | Quer- schnitt mm ² | Tempe- ratur °C | Walz- kraft t | Dreh- moment mkg | Gedr. Fläche mm ² | k_w kg/mm ² | a_w mmkg/ mm ² | a_1 | a_2 | k_{sem} kg/mm ² | k_{sem} kg/mm ² |
|---------|----------------------|-------------------------------------|-----------------------|---------------------|------------------------|------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|-------|-------|---------------------------------|---------------------------------|
| 0 | 50,0 □ | 2500 | 1162 | | | | | | | | | |
| 1 | 61,1 × 26,4 | 1285 | 1157 | 44,0 | 3040 | 4210 | 10,5 | 10,3 | 1,1 | 1,25 | 9,5 | 13,1 |
| 2 | 32,8 □ | 988 | 1047 | 23,5 | 1250 | 1717 | 13,7 | 5,1 | 1,1 | 1,25 | 12,5 | 17,2 |
| 3 | 44,2 × 17,9 | 614 | 1042 | 35,3 | 1540 | 2270 | 15,5 | 9,43 | 1,1 | 1,25 | 15,5 | 21,3 |
| 4 | 23,0 □ | 492 | 1021 | 19,4 | 758 | 1067 | 18,2 | 5,80 | 1,1 | 1,25 | 16,5 | 22,7 |
| 5 | 38,0 × 12,6 | 363 | 1015 | 35,8 | 1240 | 1560 | 23,0 | 13,0 | 1,1 | 1,25 | 19,0 | 26,1 |
| 6 | 17,0 □ | 287 | 950 | 21,8 | 775 | 870 | 28,1 | 10,6 | 1,1 | 1,25 | 22,5 | 30,9 |
| 7 | 27,7 × 10,6 | 198 | 954 | 29,0 | 833 | 820 | 35,3 | 19,6 | 1,1 | 1,25 | 22,5 | 30,9 |
| 8 | 12,7 □ | 152 | 930 | 15,7 | 476 | 466 | 33,7 | 14,5 | 1,1 | 1,25 | 25,0 | 34,4 |
| 9 | 20,3 × 7,5 | 107 | 917 | 17,3 | 408 | 480 | 36,0 | 23,7 | 1,1 | 1,25 | 25,5 | 35,1 |
| 10 | 9,8 □ | 91 | 883 | 8,3 | 193 | 263 | 31,7 | 14,2 | 1,1 | 1,25 | 25,5 | 35,1 |
| 11 | 13,8 % 7,0 | 72 | 817 | 10,8 | 187 | 253 | 42,7 | 15,9 | 1,1 | 1,25 | 24,5 | 33,7 |
| 12 | 8,3 □ | 65 | | 6,8 | 129 | 173 | 39,5 | 13,1 | 1,1 | 1,25 | | |

Reihe: **Quadrat-Oval**

Werkstoff: CK 45

Anlage 8 / Tabelle 4

| | | | | | | | | | | | | |
|----|-------------|------|------|------|------|------|------|------|-----|------|------|------|
| 0 | 50,0 □ | 2500 | 1240 | | | | | | | | | |
| 1 | 58,8 × 25,6 | 1216 | 1222 | 35,1 | 2360 | 4170 | 8,4 | 8,13 | 1,1 | 1,25 | 10,0 | 13,7 |
| 2 | 32,2 □ | 944 | 1172 | 18,1 | 923 | 1571 | 11,5 | 4,18 | 1,1 | 1,25 | 10,5 | 14,4 |
| 3 | 43,5 × 17,3 | 586 | 1147 | 27,9 | 1126 | 2340 | 11,9 | 7,77 | 1,1 | 1,25 | 17,5 | 24,1 |
| 4 | 22,4 □ | 475 | 1112 | 16,1 | 581 | 1051 | 15,3 | 5,04 | 1,1 | 1,25 | 18,5 | 25,5 |
| 5 | 36,9 × 12,4 | 352 | 1072 | 31,4 | 985 | 1410 | 22,3 | 11,2 | 1,1 | 1,25 | 21,5 | 29,6 |
| 6 | 17,0 □ | 280 | 1005 | 17,5 | 572 | 794 | 22,0 | 8,25 | 1,1 | 1,25 | 23,0 | 31,7 |
| 7 | 27,0 × 10,2 | 190 | 976 | 29,4 | 850 | 830 | 35,4 | 20,2 | 1,1 | 1,25 | 25,5 | 35,1 |
| 8 | 12,7 □ | 153 | 940 | 16,2 | 514 | 466 | 34,7 | 16,0 | 1,1 | 1,25 | 28,0 | 38,5 |
| 9 | 21,4 × 7,6 | 104 | 943 | 21,7 | 441 | 491 | 44,2 | 24,4 | 1,1 | 1,25 | 29,0 | 39,9 |
| 10 | 9,7 □ | 88 | 908 | 8,7 | 195 | 268 | 32,5 | 14,0 | 1,1 | 1,25 | 30,5 | 42,0 |
| 11 | 14,2 × 6,8 | 74 | 840 | 11,1 | 189 | 259 | 42,9 | 16,3 | 1,1 | 1,25 | 39,0 | 53,6 |
| 12 | 8,1 □ | 63 | 804 | 6,0 | 119 | 182 | 33,0 | 11,7 | 1,1 | 1,25 | 40,5 | 55,7 |

Reihe: **Quadrat-Oval**

Werkstoff: CK 45

Anlage 8 / Tabelle 5

| Kaliber | Abmessung mm × mm | Quer- schnitt mm ² | Tempe- ratur °C | Walz- kraft t | Dreh- moment mkg | Gedr. Fläche mm ² | k_w kg/mm ² | a_w mmkg/ mm ² |
|---------|----------------------|-------------------------------------|-----------------------|---------------------|------------------------|------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|
| 0 | 50,0 □ | 2500 | 1188 | | | | | |
| 1 | 63,0 × 26,4 | 1308 | 1180 | 48,8 | 3086 | 4340 | 11,2 | 10,3 |
| 2 | 32,8 □ | 1003 | 1135 | 23,4 | 1288 | 1762 | 13,3 | 5,5 |
| 3 | 51,1 × 18,1 | 668 | 1088 | 47,5 | 1982 | 2495 | 19,0 | 12,1 |
| 4 | 23,0 □ | 503 | 1058 | 23,8 | 876 | 1265 | 18,8 | 7,2 |
| 5 | 36,7 × 12,8 | 369 | 1034 | 36,4 | 1176 | 1420 | 25,6 | 12,3 |

Reihe: **Quadrat-Oval**

Werkstoff: CK 45

Anlage 8 / Tabelle 5 (Forts.)

| Kaliber | Abmessung mm × mm | Quer- schnitt mm ² | Tempe- ratur °C | Walz- kraft t | Dreh- moment mkg | Gedr. Fläche mm ² | k_w kg/mm ² | a_w mmkg/ mm ² |
|---------|----------------------|-------------------------------------|-----------------------|---------------------|------------------------|------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|
| 6 | 17,8 \square | 299 | 992 | 18,7 | 618 | 785 | 23,8 | 8,1 |
| 7 | 27,3 × 10,4 | 194 | 914 | 33,2 | 938 | 886 | 37,0 | 22,2 |
| 8 | 12,8 \square | 158 | 902 | 19,0 | 580 | 481 | 39,5 | 17,8 |
| 9 | 20,9 × 7,8 | 106 | 913 | 21,9 | 488 | 482 | 45,5 | 26,8 |
| 10 | 9,8 \square | 91 | 875 | 8,9 | 217 | 263 | 33,9 | 15,6 |
| 11 | 13,9 × 6,9 | 74 | 819 | 11,4 | 213 | 260 | 43,9 | 17,2 |
| 12 | 8,4 \square | 67 | | 7,6 | 123 | 171 | 44,7 | 14,1 |

Reihe: **Quadrat-Oval**

Werkstoff: MK 73

Anlage 8 / Tabelle 6

| | | | | | | | | |
|----|----------------|------|------|------|------|------|------|------|
| 0 | 50,0 \square | 2500 | 1233 | | | | | |
| 1 | 59,7 × 25,4 | 1212 | 1217 | 30,1 | 2045 | 4200 | 7,26 | 7,64 |
| 2 | 32,3 \square | 950 | 1174 | 16,0 | 813 | 1596 | 10,0 | 3,74 |
| 3 | 44,8 × 17,5 | 593 | 1135 | 24,8 | 1075 | 2480 | 10,0 | 7,46 |
| 4 | 22,4 \square | 456 | 1102 | 14,4 | 558 | 1063 | 13,5 | 4,96 |
| 5 | 36,5 × 12,3 | 345 | 1062 | 28,0 | 785 | 1395 | 20,1 | 9,11 |
| 6 | 17,4 \square | 285 | 999 | 14,5 | 700 | 732 | 19,7 | 10,0 |
| 7 | 29,7 × 10,2 | 198 | 978 | 28,6 | 809 | 908 | 31,5 | 19,7 |
| 8 | 12,7 \square | 154 | 954 | 14,0 | 450 | 489 | 28,6 | 14,1 |
| 9 | 20,0 × 7,7 | 110 | 943 | 19,5 | 379 | 477 | 40,8 | 20,2 |
| 10 | 9,7 \square | 93 | 897 | 9,1 | 202 | 253 | 36,0 | 13,8 |
| 11 | 14,0 × 6,8 | 74 | 831 | 12,8 | 216 | 254 | 50,4 | 18,4 |
| 12 | 8,4 \square | 66 | 795 | 7,0 | 144 | 143 | 49,0 | 14,1 |

Reihe: **Quadrat-Oval**

Werkstoff: MK 73

Anlage 8 / Tabelle 7

| | | | | | | | | |
|----|----------------|------|------|------|------|------|------|------|
| 0 | 50,0 \square | 2500 | — | | | | | |
| 1 | 61,4 × 26,5 | 1282 | 1173 | 37,9 | 2590 | 4210 | 9,01 | 8,49 |
| 2 | 32,8 \square | 977 | 1148 | 18,9 | 1016 | 1701 | 11,1 | 4,22 |
| 3 | 46,1 × 18,1 | 624 | 1108 | 26,3 | 1276 | 2262 | 11,6 | 8,07 |
| 4 | 23,2 \square | 490 | 1062 | 15,2 | 569 | 1056 | 14,4 | 4,58 |
| 5 | 37,1 × 13,1 | 365 | 1037 | 28,4 | 945 | 1440 | 19,7 | 9,92 |
| 6 | 17,7 \square | 290 | 998 | 14,3 | 519 | 732 | 19,6 | 6,68 |
| 7 | 29,3 × 10,4 | 200 | 944 | 32,2 | 974 | 916 | 35,1 | 23,9 |
| 8 | 12,9 \square | 157 | 926 | 18,5 | 579 | 490 | 37,8 | 18,4 |
| 9 | 20,0 × 7,7 | 109 | 905 | 20,3 | 423 | 522 | 38,9 | 24,1 |
| 10 | 9,8 \square | 93 | 878 | 9,1 | 215 | 256 | 35,7 | 14,1 |
| 11 | 14,0 × 7,0 | 77 | 803 | 12,6 | 205 | 242 | 52,0 | 17,4 |
| 12 | 8,3 \square | 64 | 775 | 8,0 | 130 | 173 | 46,0 | 12,6 |

Reihe: **Quadrat-Oval**

Werkstoff: St 52

Anlage 8 / Tabelle 8

| Kaliber | Abmessung mm × mm | Quer- schnitt mm ² | Tempe- ratur °C | Walz- kraft t | Dreh- moment mkg | Gedr. Fläche mm ² | k_w kg/mm ² | a_w mmkg/ mm ² |
|---------|----------------------|-------------------------------------|-----------------------|---------------------|------------------------|------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|
| 0 | 50,0 □ | 2500 | 1230 | | | | | |
| 1 | 60,1 × 25,0 | 1240 | 1220 | 34,2 | 2475 | 4073 | 8,41 | 8,45 |
| 2 | 32,4 □ | 945 | 1180 | 18,3 | 984 | 1606 | 11,4 | 4,63 |
| 3 | 44,2 × 17,5 | 592 | 1138 | 29,5 | 1300 | 2263 | 13,0 | 8,92 |
| 4 | 22,5 □ | 480 | 1086 | 17,4 | 690 | 1095 | 15,8 | 5,97 |
| 5 | 36,3 × 12,3 | 346 | 1067 | 30,1 | 990 | 1404 | 21,3 | 11,0 |
| 6 | 17,2 □ | 284 | 1008 | 17,3 | 641 | 765 | 22,6 | 9,24 |
| 7 | 29,8 × 10,3 | 201 | 984 | 28,2 | 807 | 897 | 31,5 | 18,8 |
| 8 | 12,7 □ | 156 | 946 | 15,1 | 467 | 508 | 29,7 | 13,8 |
| 9 | 20,0 × 8,0 | 106 | 940 | 19,7 | 371 | 466 | 42,3 | 20,1 |
| 10 | 9,8 □ | 92 | 862 | 8,8 | 192 | 258 | 34,1 | 12,7 |
| 11 | 14,1 × 6,9 | 76 | 827 | 11,3 | 191 | 263 | 43,0 | 15,7 |
| 12 | 8,1 □ | 63 | 795 | 6,3 | 120 | 177 | 35,6 | 12,3 |

Reihe: **Quadrat-Oval**

Werkstoff: St 52

Anlage 8 / Tabelle 9

| | | | | | | | | |
|----|-------------|------|------|------|------|------|------|------|
| 0 | 50,0 □ | 2500 | 1192 | | | | | |
| 1 | 62,3 × 26,3 | 1295 | 1183 | 48,4 | 3285 | 4280 | 11,3 | 10,6 |
| 2 | 32,8 □ | 1002 | 1142 | 24,0 | 1285 | 1179 | 13,5 | 5,30 |
| 3 | 49,0 × 18,0 | 645 | 1100 | 37,6 | 1625 | 2420 | 15,5 | 10,2 |
| 4 | 22,9 □ | 497 | 1049 | 19,7 | 780 | 1188 | 16,6 | 6,30 |
| 5 | 37,1 × 12,8 | 364 | 1028 | 33,9 | 1165 | 1435 | 23,6 | 12,2 |
| 6 | 17,9 □ | 298 | 981 | 15,5 | 620 | 764 | 20,3 | 8,50 |
| 7 | 29,7 × 10,3 | 197 | 957 | 32,9 | 920 | 920 | 35,8 | 20,9 |
| 8 | 12,8 □ | 157 | 928 | 18,1 | 562 | 498 | 36,4 | 17,0 |
| 9 | 21,0 × 7,3 | 109 | 911 | 19,3 | 381 | 505 | 38,2 | 22,4 |
| 10 | 9,8 □ | 92 | 873 | 8,0 | 184 | 270 | 29,7 | 12,9 |
| 11 | 14,2 × 7,0 | 76 | 814 | 11,0 | 187 | 254 | 43,4 | 15,3 |
| 12 | 8,3 □ | 65 | 780 | 6,7 | 130 | 178 | 37,5 | 12,6 |

Reihe: **Quadrat-Oval**

Werkstoff: 16 Mn Cr 5

Anlage 8 / Tabelle 10

| | | | | | | | | |
|----|-------------|------|------|------|------|------|------|------|
| 0 | 50,0 □ | 2500 | 1240 | | | | | |
| 1 | 59,4 × 25,8 | 1225 | 1213 | 36,7 | 2410 | 4170 | 8,80 | 8,20 |
| 2 | 32,4 □ | 985 | 1178 | 19,1 | 968 | 1637 | 11,7 | 4,10 |
| 3 | 50,0 × 17,6 | 635 | 1140 | 34,5 | 1488 | 2495 | 13,8 | 9,67 |
| 4 | 23,0 □ | 495 | 1076 | 14,4 | 666 | 1186 | 12,1 | 5,65 |
| 5 | 36,5 × 12,9 | 365 | 1074 | 27,4 | 884 | 1411 | 19,4 | 9,20 |
| 6 | 17,9 □ | 300 | 1022 | 14,6 | 522 | 746 | 19,6 | 6,92 |
| 7 | 30,2 × 10,1 | 197 | 952 | 32,7 | 878 | 966 | 33,8 | 20,4 |
| 8 | 12,7 □ | 155 | 938 | 17,1 | 514 | 522 | 32,7 | 15,7 |
| 9 | 21,0 × 7,6 | 110 | 940 | 20,5 | 413 | 486 | 42,2 | 22,2 |
| 10 | 9,8 □ | 92 | 893 | 9,1 | 201 | 259 | 35,2 | 13,2 |
| 11 | 14,4 × 6,9 | 74 | 849 | 11,3 | 189 | 264 | 39,0 | 15,5 |
| 12 | 8,2 □ | 61 | 785 | 7,3 | 129 | 175 | 41,3 | 12,6 |

Reihe: **Quadrat-Oval**

Werkstoff: 16 Mn Cr 5

Anlage 8 / Tabelle 11

| Kaliber | Abmessung mm × mm ² | Quer- schnitt mm ² | Tempe- ratur °C | Walz- kraft t | Dreh- moment mkg | Gedr. Fläche mm ² | k_w kg/mm ² | a_w mmkg/ mm ² |
|---------|-----------------------------------|-------------------------------------|-----------------------|---------------------|------------------------|------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|
| 0 | 50,0 □ | 2500 | 1194 | | | | | |
| 1 | 61,3 × 26,0 | 1265 | 1188 | 44,5 | 2904 | 4240 | 10,5 | 9,15 |
| 2 | 32,5 □ | 976 | 1140 | 22,6 | 1131 | 1719 | 13,1 | 5,02 |
| 3 | 51,2 × 17,7 | 645 | 1119 | 48,7 | 1740 | 2480 | 19,6 | 10,8 |
| 4 | 23,0 □ | 495 | 1065 | 25,1 | 1021 | 1196 | 21,0 | 7,60 |
| 5 | 36,3 × 12,9 | 372 | 1050 | 40,6 | 755 | 1411 | 28,75 | 12,3 |
| 6 | 17,9 □ | 302 | 1014 | 20,4 | 589 | 741 | 27,5 | 7,87 |
| 7 | 29,5 × 10,5 | 201 | 962 | 37,3 | 1180 | 945 | 39,5 | 27,1 |
| 8 | 12,8 □ | 160 | 936 | 19,5 | 683 | 511 | 38,2 | 20,2 |
| 9 | 20,9 × 7,7 | 111 | 920 | 21,1 | 454 | 488 | 43,3 | 28,6 |
| 10 | 9,8 □ | 91 | 912 | 8,4 | 176 | 263 | 32,0 | 14,5 |
| 11 | 14,0 × 6,8 | 76 | 851 | 12,3 | 187 | 262 | 47,0 | 17,4 |
| 12 | 8,2 □ | 66 | 793 | 7,4 | 132 | 173 | 42,8 | 12,8 |

Reihe: **Quadrat-Oval**

Werkstoff: 100 Cr 6

Anlage 8 / Tabelle 12

| Kaliber | Abmessung mm × mm ² | Quer- schnitt mm ² | Tempe- ratur °C | Walz- kraft t | Dreh- moment mkg | Gedr. Fläche mm ² | k_w kg/mm ² | a_w mmkg/ mm ² |
|---------|-----------------------------------|-------------------------------------|-----------------------|---------------------|------------------------|------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|
| 0 | 50,0 □ | 2500 | 1243 | | | | | |
| 1 | 69,3 × 25,5 | 1290 | 1212 | 27,7 | 1720 | 4600 | 6,02 | 5,44 |
| 2 | 31,9 □ | 960 | 1176 | 17,1 | 852 | 1892 | 9,03 | 3,36 |
| 3 | 49,2 × 17,4 | 620 | 1130 | 35,7 | 1500 | 2390 | 14,9 | 8,85 |
| 4 | 22,7 □ | 485 | 1098 | 15,9 | 641 | 1166 | 13,7 | 4,90 |
| 5 | 36,4 × 12,6 | 362 | 1066 | 28,0 | 860 | 1412 | 19,8 | 8,73 |
| 6 | 17,6 □ | 300 | 1024 | 14,6 | 460 | 786 | 18,6 | 5,92 |
| 7 | 30,5 × 10,1 | 194 | 994 | 32,3 | 980 | 950 | 34,0 | 23,0 |
| 8 | 12,7 □ | 156 | 954 | 16,6 | 556 | 510 | 32,5 | 17,6 |
| 9 | 21,5 × 7,5 | 107 | 950 | 20,8 | 444 | 504 | 41,3 | 24,5 |
| 10 | 9,7 □ | 89 | 924 | 7,8 | 194 | 272 | 28,7 | 12,5 |
| 11 | 13,7 × 6,8 | 73 | 883 | 10,9 | 181 | 253 | 43,2 | 14,5 |
| 12 | 8,3 □ | 64 | 813 | 6,8 | 134 | 172 | 39,5 | 13,4 |

Reihe: **Quadrat-Oval**

Werkstoff: 100 Cr 6

Anlage 8 / Tabelle 13

| Kaliber | Abmessung mm × mm ² | Quer- schnitt mm ² | Tempe- ratur °C | Walz- kraft t | Dreh- moment mkg | Gedr. Fläche mm ² | k_w kg/mm ² | a_w mmkg/ mm ² |
|---------|-----------------------------------|-------------------------------------|-----------------------|---------------------|------------------------|------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|
| 0 | 50,0 □ | 2500 | 1195 | | | | | |
| 1 | 64,7 × 26,3 | 1318 | 1185 | 40,5 | 2590 | 4380 | 9,25 | 7,38 |
| 2 | 32,7 □ | 998 | 1148 | 20,7 | 1055 | 1798 | 11,5 | 4,10 |
| 3 | 51,2 × 18,0 | 660 | 1117 | 39,8 | 1655 | 2430 | 16,4 | 9,04 |
| 4 | 22,8 □ | 498 | 1090 | 19,2 | 785 | 1275 | 15,1 | 5,90 |
| 5 | 37,0 × 12,9 | 365 | 1060 | 31,9 | 1000 | 1345 | 23,7 | 10,1 |
| 6 | 17,8 □ | 293 | 987 | 15,4 | 507 | 726 | 21,2 | 6,38 |
| 7 | 29,4 × 10,4 | 204 | 942 | 37,2 | 1077 | 918 | 40,5 | 25,5 |
| 8 | 12,8 □ | 157 | 927 | 18,6 | 610 | 518 | 35,8 | 19,3 |
| 9 | 21,3 × 7,5 | 108 | 912 | 22,1 | 438 | 479 | 46,2 | 23,0 |
| 10 | 9,6 □ | 87 | 867 | 9,1 | 208 | 260 | 35,0 | 13,8 |
| 11 | 14,2 × 6,7 | 72 | 831 | 11,0 | 182 | 258 | 42,7 | 14,1 |
| 12 | 8,2 □ | 63 | 786 | 6,7 | 135 | 177 | 37,9 | 13,5 |

Reihe: **Quadrat-Oval**

Werkstoff: 65 Si 7

Anlage / 8 Tabelle 14

| Kaliber | Abmessung mm × mm | Quer- schnitt mm ² | Tempe- ratur °C | Walz- kraft t | Dreh- moment mkg | Gedr. Fläche mm ² | k_w kg/mm ² | a_w mmkg/ mm ² |
|---------|----------------------|-------------------------------------|-----------------------|---------------------|------------------------|------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|
| 0 | 50,0 □ | 2500 | 1230 | | | | | |
| 1 | 60,6 × 25,5 | 1225 | 1218 | 35,1 | 2390 | 4220 | 8,31 | 7,60 |
| 2 | 32,3 □ | 953 | 1177 | 18,5 | 1032 | 1641 | 11,3 | 4,30 |
| 3 | 45,0 × 17,3 | 600 | 1154 | 28,3 | 1330 | 2310 | 12,3 | 8,47 |
| 4 | 22,9 □ | 477 | 1100 | 13,7 | 589 | 1051 | 13,0 | 4,62 |
| 5 | 35,9 × 12,9 | 360 | 1070 | 28,6 | 973 | 1410 | 20,3 | 9,84 |
| 6 | 17,8 □ | 293 | 1021 | 15,1 | 547 | 737 | 20,5 | 6,88 |
| 7 | 30,0 × 10,1 | 194 | 990 | 33,4 | 980 | 957 | 35,0 | 23,3 |
| 8 | 12,8 □ | 154 | 964 | 16,7 | 523 | 512 | 32,6 | 15,8 |
| 9 | 21,0 × 7,3 | 105 | 947 | 21,6 | 479 | 502 | 43,1 | 26,8 |
| 10 | 9,8 □ | 87 | 915 | 8,8 | 218 | 263 | 33,5 | 15,5 |
| 11 | 14,0 × 6,8 | 74 | 890 | 12,4 | 200 | 256 | 48,4 | 15,4 |
| 12 | 8,2 □ | 63 | 828 | 7,2 | 149 | 175 | 41,2 | 15,0 |

Reihe: **Quadrat-Oval**

Werkstoff: 56 Si 7

Anlage 8 / Tabelle 15

| | | | | | | | | |
|----|-------------|------|------|------|------|------|------|------|
| 0 | 50,0 □ | 2500 | 1187 | | | | | |
| 1 | 59,6 × 26,1 | 1249 | 1185 | 40,9 | 2860 | 4180 | 9,77 | 8,88 |
| 2 | 32,6 □ | 974 | 1148 | 21,5 | 1231 | 1659 | 13,0 | 4,92 |
| 3 | 48,0 × 18,5 | 648 | 1112 | 36,2 | 1570 | 2336 | 15,5 | 9,06 |
| 4 | 23,1 □ | 503 | 1093 | 17,6 | 788 | 1208 | 14,6 | 5,72 |
| 5 | 38,0 × 12,9 | 378 | 1058 | 31,5 | 1065 | 1467 | 21,5 | 10,1 |
| 6 | 17,9 □ | 308 | 1007 | 15,9 | 568 | 820 | 19,5 | 6,78 |
| 7 | 30,3 × 10,6 | 211 | 950 | 41,7 | 1235 | 940 | 44,4 | 30,8 |
| 8 | 12,9 □ | 159 | 929 | 22,0 | 739 | 531 | 41,4 | 22,9 |
| 9 | 21,5 × 7,9 | 115 | 919 | 24,6 | 533 | 498 | 49,3 | 28,8 |
| 10 | 9,8 □ | 93 | 882 | 11,2 | 231 | 271 | 41,4 | 16,0 |
| 11 | 14,3 × 6,9 | 76 | 842 | 14,4 | 226 | 255 | 56,5 | 18,6 |
| 12 | 8,3 □ | 66 | 776 | 9,3 | 142 | 179 | 52,0 | 13,9 |

Reihe: **Quadrat-Oval**

Werkstoff: Kupfer

Anlage 8 / Tabelle 16

| | | | | | | | | |
|----|-------------|------|-----|------|------|------|------|------|
| 0 | 50,0 □ | 2500 | 897 | | | | | |
| 1 | 66,2 × 25,6 | 1273 | 852 | 25,1 | 1920 | 4420 | 5,67 | 6,14 |
| 2 | 32,3 □ | 932 | 826 | 10,7 | 689 | 1601 | 6,67 | 3,07 |
| 3 | 48,0 × 17,4 | 612 | 801 | 19,8 | 925 | 2400 | 8,24 | 5,94 |
| 4 | 22,4 □ | 470 | | 9,8 | 526 | 1883 | 9,05 | 4,56 |
| 5 | 36,6 × 12,0 | 335 | | 18,0 | 684 | 1450 | 12,4 | 7,91 |
| 6 | 17,0 □ | 275 | | 8,2 | 421 | 746 | 11,0 | 5,97 |
| 7 | 27,5 × 10,0 | 187 | 560 | 14,8 | 466 | 812 | 18,2 | 11,9 |
| 8 | 12,6 □ | 145 | 510 | 7,1 | 280 | 455 | 15,5 | 9,2 |
| 9 | 21,0 × 7,6 | 109 | 600 | 9,1 | 190 | 489 | 18,6 | 12,8 |
| 10 | 9,8 □ | 92 | 580 | 8,2 | 178 | 258 | 31,8 | 10,0 |
| 11 | 14,6 × 6,7 | 74 | 530 | 9,6 | 182 | 264 | 36,4 | 15,2 |
| 12 | 8,0 □ | 64 | 482 | 5,1 | 121 | 172 | 29,7 | 14,7 |

Reihe: **Quadrat-Raute**

Werkstoff: MSt 3 b

Anlage 9 / Tabelle 1

| Kaliber | Abmessung mm × mm | Quer- schnitt mm ² | Tempe- ratur °C | Walz- kraft t | Dreh- moment mkg | Gedr. Fläche mm ² | k_w kg/mm ² | a_w mmkg/ mm ² | a_1 | a_2 | k'_{wm} kg/mm ² | k_{wm} kg/mm ² |
|---------|----------------------|-------------------------------------|-----------------------|---------------------|------------------------|------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|-------|-------|---------------------------------|--------------------------------|
| 0 | 50,0 □ | 2500 | 1235 | | | | | | | | | |
| 1 | 74,3 × 44,0 | 1835 | 1204 | 30,1 | 1569 | 3620 | 8,32 | 3,29 | 1,1 | 1,25 | 7,5 | 10,3 |
| 2 | 39,2 □ | 1457 | 1131 | 27,3 | 1513 | 2542 | 10,3 | 4,18 | 1,1 | 1,25 | 9,0 | 12,4 |
| 3 | 55,5 × 34,3 | 1120 | 1109 | 33,3 | 1470 | 2281 | 14,6 | 4,96 | 1,1 | 1,25 | 10,5 | 14,4 |
| 4 | 30,5 □ | 875 | 1073 | 28,9 | 1371 | 1795 | 16,1 | 5,71 | 1,1 | 1,25 | 12,0 | 16,5 |
| 5 | 47,3 × 26,5 | 698 | 1007 | 32,6 | 1139 | 1867 | 17,5 | 6,06 | 1,1 | 1,25 | 18,0 | 24,7 |
| 6 | 23,3 □ | 548 | 986 | 31,5 | 1254 | 1491 | 20,1 | 8,64 | 1,1 | 1,25 | 19,5 | 26,8 |
| 7 | 38,7 × 20,0 | 413 | 1034 | 27,1 | 861 | 1315 | 20,6 | 10,2 | 1,1 | 1,25 | 17,0 | 23,4 |
| 8 | 18,0 □ | 323 | 990 | 17,3 | 639 | 909 | 19,1 | 9,64 | 1,1 | 1,25 | 19,0 | 26,1 |
| 9 | 29,0 × 15,1 | 251 | 966 | 23,0 | 705 | 857 | 26,8 | 14,1 | 1,1 | 1,25 | 20,5 | 28,2 |
| 10 | 14,3 □ | 206 | 938 | 15,0 | 484 | 634 | 23,6 | 12,3 | 1,1 | 1,25 | 23,0 | 31,6 |
| 11 | 25,2 × 10,9 | 145 | | 18,9 | 403 | 651 | 29,0 | 16,2 | 1,1 | 1,25 | | |
| 12 | 10,0 □ | 116 | | 11,7 | 294 | 458 | 25,6 | 15,4 | 1,1 | 1,25 | | |
| 13 | 17,9 × 10,1 | 94 | | 12,2 | 223 | 367 | 33,2 | 13,6 | 1,1 | 1,25 | | |
| 14 | 8,9 □ | 84 | | 7,2 | 178 | 236 | 30,5 | 13,0 | 1,1 | 1,25 | | |



Reihe: **Quadrat-Raute**

Werkstoff: MSt 3 b

Anlage 9 / Tabelle 2

| Kaliber | Abmessung mm × mm | Quer- schnitt mm ² | Tempe- ratur °C | Walz- kraft t | Dreh- moment mkg | Gedr. Fläche mm ² | k_w kg/mm ² | a_w mmkg/ mm ² |
|---------|----------------------|-------------------------------------|-----------------------|---------------------|------------------------|------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|
| 0 | 50,0 □ | 2500 | 1200 | | | | | |
| 1 | 74,8 × 43,8 | 1862 | 1181 | 36,4 | 1903 | 3714 | 9,80 | 4,17 |
| 2 | 39,2 □ | 1480 | 1115 | 29,6 | 1636 | 2558 | 11,5 | 4,52 |
| 3 | 56,2 × 34,2 | 1132 | 1095 | 36,2 | 1426 | 2310 | 15,7 | 5,07 |
| 4 | 30,5 □ | 898 | 1070 | 30,2 | 1253 | 1759 | 17,2 | 5,42 |
| 5 | 46,3 × 26,9 | 722 | 1035 | 35,3 | 1157 | 1766 | 20,0 | 6,11 |
| 6 | 24,3 □ | 587 | 977 | 29,7 | 1170 | 1361 | 21,8 | 7,63 |

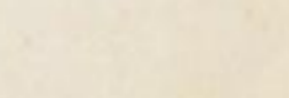
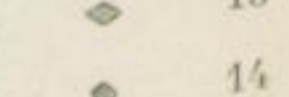


Reihe: **Quadrat-Raute**

Werkstoff: MSt 3 b

Anlage 9 / Tabelle 3

| Kaliber | Abmessung mm × mm | Quer- schnitt mm ² | Tempe- ratur °C | Walz- kraft t | Dreh- moment mkg | Gedr. Fläche mm ² | k_w kg/mm ² | a_w mmkg/ mm ² |
|---------|----------------------|-------------------------------------|-----------------------|---------------------|------------------------|------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|
| 0 | 50,0 □ | 2500 | 1138 | | | | | |
| 1 | 74,8 × 44,0 | 1877 | 1104 | 45,2 | 2160 | 3698 | 12,2 | 4,66 |
| 2 | 39,4 □ | 1498 | 1065 | 35,5 | 1786 | 2582 | 13,7 | 4,95 |
| 3 | 57,5 × 34,1 | 1138 | 1058 | 43,2 | 1664 | 2341 | 18,5 | 5,91 |
| 4 | 30,7 □ | 908 | 1040 | 32,3 | 1446 | 1754 | 18,5 | 6,26 |
| 5 | 46,3 × 26,9 | 710 | 1000 | 37,9 | 1196 | 1746 | 21,7 | 6,24 |
| 6 | 24,5 □ | 580 | 973 | 29,5 | 1130 | 1358 | 21,7 | 7,16 |
| 7 | 38,9 × 20,2 | 414 | 962 | 32,0 | 927 | 1267 | 25,3 | 10,7 |
| 8 | 18,0 □ | 306 | 928 | 20,8 | 652 | 906 | 23,0 | 9,15 |
| 9 | 29,2 × 15,2 | 254 | 910 | 27,7 | 738 | 849 | 32,6 | 15,2 |
| 10 | 14,0 □ | 210 | 884 | 17,4 | 494 | 643 | 27,1 | 12,4 |
| 11 | 25,2 × 11,2 | 156 | | 21,6 | 441 | 632 | 34,2 | 17,4 |
| 12 | 10,5 □ | 123 | | 11,5 | 302 | 447 | 25,7 | 14,5 |
| 13 | 17,8 × 10,5 | 101 | | 11,6 | 219 | 363 | 32,0 | 13,0 |
| 14 | 9,0 □ | 95 | | 6,9 | 175 | 278 | 24,8 | 12,6 |



Reihe: **Quadrat-Raute**

Werkstoff: CK 45

Anlage 9 / Tabelle 4

| Kaliber | Abmessung mm × mm | Quer- schnitt mm ² | Tempe- ratur °C | Walz- kraft t | Dreh- moment mkg | Gedr. Fläche mm ² | k_w kg/mm ² | a_w mmkg/ mm ² | a_1 | a_2 | k'_{wm} kg/mm ² | k_{wm} kg/mm ² |
|---------|----------------------|-------------------------------------|-----------------------|---------------------|------------------------|------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|-------|-------|---------------------------------|--------------------------------|
| 0 | 50,0 □ | 2500 | 1237 | | | | | | | | | |
| 1 | 74,5 × 43,7 | 1822 | 1202 | 27,8 | 1700 | 3703 | 7,51 | 3,60 | 1,1 | 1,25 | 8,0 | 11,0 |
| 2 | 39,2 □ | 1426 | 1133 | 23,2 | 1551 | 2519 | 8,86 | 4,11 | 1,1 | 1,25 | 10,3 | 14,2 |
| 3 | 55,8 × 34,0 | 1112 | 1109 | 29,5 | 1398 | 2243 | 13,2 | 4,71 | 1,1 | 1,25 | 12,0 | 16,5 |
| 4 | 30,5 □ | 879 | 1100 | 24,2 | 1191 | 1713 | 14,1 | 5,04 | 1,1 | 1,25 | 12,5 | 17,2 |
| 5 | 46,2 × 26,8 | 710 | 1050 | 31,4 | 1162 | 1718 | 18,3 | 6,06 | 1,1 | 1,25 | 18,0 | 24,8 |
| 6 | 24,3 □ | 574 | 990 | 25,4 | 1116 | 1336 | 19,0 | 7,35 | 1,1 | 1,25 | 18,5 | 25,5 |
| 7 | 39,0 × 20,0 | 404 | 1020 | 32,0 | 1011 | 1258 | 25,4 | 11,9 | 1,1 | 1,25 | 21,0 | 28,9 |
| 8 | 18,0 □ | 321 | 1000 | 18,5 | 688 | 940 | 19,7 | 10,6 | 1,1 | 1,25 | 21,7 | 29,9 |
| 9 | 29,2 × 15,1 | 248 | 924 | 24,6 | 711 | 885 | 27,9 | 14,1 | 1,1 | 1,25 | 28,0 | 38,5 |
| 10 | 14,3 □ | 202 | 930 | 15,1 | 504 | 622 | 24,3 | 12,1 | 1,1 | 1,25 | 27,7 | 38,1 |
| 11 | 24,5 × 11,2 | 151 | | 20,7 | 446 | 616 | 33,6 | 18,5 | | | | |
| 12 | 10,5 □ | 121 | | 11,9 | 309 | 496 | 25,6 | 15,3 | | | | |
| 13 | 17,6 × 10,5 | 101 | | 13,6 | 231 | 359 | 37,9 | 14,2 | | | | |
| 14 | 9,0 □ | 87 | | 9,5 | 188 | 264 | 36,0 | 13,0 | | | | |

Reihe: **Quadrat-Raute**

Werkstoff: CK 45

Anlage 9 / Tabelle 5

| Kaliber | Abmessung mm × mm | Quer- schnitt mm ² | Tempe- ratur- °C | Walz- kraft t | Dreh- moment mkg | Gedr. Fläche mm ² | k_w kg/mm ² | a_w mmkg/ mm ² |
|---------|----------------------|-------------------------------------|------------------------|---------------------|------------------------|------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|
| 0 | 50,0 □ | 2500 | 1170 | | | | | |
| 1 | 74,2 × 43,9 | 1860 | 1153 | 36,3 | 2013 | 3673 | 9,88 | 4,59 |
| 2 | 39,2 □ | 1464 | 1083 | 29,5 | 1709 | 2546 | 11,6 | 4,69 |
| 3 | 55,3 × 34,1 | 1114 | 1070 | 36,2 | 1586 | 2283 | 15,9 | 5,34 |
| 4 | 30,5 □ | 892 | 1050 | 28,6 | 1411 | 1733 | 16,4 | 6,04 |
| 5 | 46,2 □ 26,8 | 706 | 1032 | 34,5 | 1269 | 1766 | 19,6 | 6,79 |
| 6 | 24,3 □ | 574 | 977 | 27,5 | 1247 | 1342 | 20,5 | 8,11 |

Reihe: **Quadrat-Raute**

Werkstoff: CK 45

Anlage 9 / Tabelle 6

| | | | | | | | | |
|----|-------------|------|------|------|------|------|------|------|
| 0 | 50,0 □ | 2500 | 1126 | | | | | |
| 1 | 74,5 × 44,0 | 1860 | 1092 | 44,8 | 2292 | 3682 | 12,2 | 5,34 |
| 2 | 39,4 □ | 1462 | 1071 | 36,7 | 1929 | 2545 | 14,4 | 5,56 |
| 3 | 56,0 × 34,3 | 1124 | 1018 | 44,3 | 1848 | 2278 | 19,5 | 6,44 |
| 4 | 30,5 □ | 898 | 1026 | 35,6 | 1542 | 1743 | 20,4 | 6,92 |
| 5 | 46,7 × 27,1 | 706 | 1003 | 38,2 | 1275 | 1773 | 21,6 | 7,09 |
| 6 | 24,3 □ | 578 | 977 | 30,9 | 1209 | 1344 | 23,0 | 8,72 |
| 7 | 38,0 × 19,8 | 406 | 958 | 36,4 | 1046 | 1233 | 29,4 | 12,5 |
| 8 | 18,0 □ | 322 | 926 | 21,9 | 697 | 893 | 24,6 | 10,4 |
| 9 | 29,0 × 15,0 | 246 | 910 | 26,8 | 734 | 872 | 30,7 | 14,4 |
| 10 | 14,3 □ | 195 | 905 | 15,9 | 449 | 625 | 25,4 | 10,8 |
| 11 | 25,0 × 11,2 | 154 | | 21,8 | 483 | 630 | 34,6 | 19,8 |
| 12 | 10,5 □ | 123 | | 12,3 | 337 | 454 | 27,1 | 16,7 |
| 13 | 17,7 × 10,7 | 104 | | 12,3 | 246 | 361 | 34,0 | 14,9 |
| 14 | 9,0 □ | 92 | | 8,8 | 203 | 275 | 31,9 | 14,0 |

Reihe: **Quadrat-Raute**

Werkstoff: MK 73

Anlage 9 / Tabelle 7

| Kaliber | Abmessung mm × mm | Quer- schnitt mm ² | Tempe- ratur °C | Walz- kraft t | Dreh- moment mkg | Gedr. Fläche mm ² | k_w kg/mm ² | a_w mmkg/ mm ² |
|---------|----------------------|-------------------------------------|-----------------------|---------------------|------------------------|------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|
| 0 | 50,0 □ | 2500 | 1220 | | | | | |
| 1 | 43,5 × 73,9 | 1798 | 1206 | 28,5 | 1594 | 3578 | 7,9 | 3,33 |
| 2 | 38,8 □ | 1433 | 1158 | 21,9 | 1333 | 2514 | 8,7 | 3,61 |
| 3 | 57,1 × 33,9 | 1098 | 1142 | 26,6 | 1123 | 2325 | 11,4 | 3,80 |
| 4 | 30,2 □ | 879 | 1107 | 21,3 | 1017 | 1789 | 11,9 | 4,33 |
| 5 | 46,3 × 26,6 | 696 | 1085 | 27,5 | 960 | 1781 | 15,4 | 5,03 |
| 6 | 24,2 □ | 566 | 1024 | 21,1 | 852 | 1331 | 15,8 | 5,37 |
| 7 | 38,2 × 20,0 | 400 | 1028 | 26,4 | 879 | 1208 | 21,8 | 10,2 |
| 8 | 18,0 □ | 324 | 996 | 17,7 | 650 | 889 | 19,9 | 9,71 |
| 9 | 29,3 × 15,1 | 245 | 958 | 23,4 | 706 | 897 | 24,1 | 13,6 |
| 10 | 14,3 □ | 200 | 931 | 14,4 | 483 | 647 | 22,3 | 11,4 |
| 11 | 23,4 × 11,5 | 160 | | 17,9 | 412 | 590 | 30,3 | 16,5 |
| 12 | 10,0 □ | 125 | | 13,9 | 348 | 486 | 28,6 | 18,5 |
| 13 | 16,8 × 10,3 | 102 | | 13,4 | 252 | 391 | 34,2 | 15,6 |
| 14 | 8,8 □ | 87 | | 10,0 | 198 | 251 | 39,8 | 14,7 |

Reihe: **Quadrat-Raute**

Werkstoff: MK 73

Anlage 9 / Tabelle 8

| | | | | | | | | |
|---|-------------|------|------|------|------|------|------|------|
| 0 | 50,0 □ | 2500 | 1170 | | | | | |
| 1 | 74,0 × 43,9 | 1845 | 1130 | 30,9 | 1788 | 3561 | 8,68 | 3,92 |
| 2 | 39,0 □ | 1458 | 1107 | 25,0 | 1480 | 2516 | 9,95 | 4,29 |
| 3 | 56,4 × 34,1 | 1120 | 1105 | 31,4 | 1331 | 2399 | 13,1 | 4,63 |
| 4 | 30,5 □ | 888 | 1075 | 27,2 | 1168 | 1761 | 15,4 | 5,25 |
| 5 | 46,2 × 26,8 | 693 | 1061 | 30,7 | 1082 | 1736 | 17,7 | 5,83 |
| 6 | 24,2 □ | 568 | 1010 | 24,3 | 1035 | 1238 | 19,6 | 7,08 |

Reihe: **Quadrat-Raute**

Werkstoff: MK 73

Anlage 9 / Tabelle 9

| | | | | | | | | |
|----|-------------|------|------|------|------|------|------|------|
| 0 | 50,0 □ | 2500 | 1153 | | | | | |
| 1 | 74,6 × 43,8 | 1855 | 1116 | 35,0 | 2008 | 3589 | 9,75 | 4,29 |
| 2 | 39,0 □ | 1464 | 1061 | 28,7 | 1695 | 2556 | 11,2 | 4,85 |
| 3 | 54,9 × 34,1 | 1117 | 1065 | 37,2 | 1617 | 2344 | 15,8 | 5,99 |
| 4 | 30,5 □ | 883 | 1038 | 28,9 | 1273 | 1673 | 17,3 | 5,66 |
| 5 | 46,1 × 27,4 | 747 | 992 | 33,8 | 1167 | 1758 | 19,2 | 6,37 |
| 6 | 24,3 □ | 573 | 971 | 26,4 | 1085 | 1346 | 19,6 | 7,33 |
| 7 | 38,5 × 19,7 | 405 | 968 | 33,4 | 1075 | 1256 | 26,6 | 12,4 |
| 8 | 18,0 □ | 321 | 940 | 20,4 | 739 | 930 | 21,9 | 11,3 |
| 9 | 29,0 × 15,0 | 245 | 926 | 26,1 | 756 | 884 | 29,5 | 14,8 |
| 10 | 14,3 □ | 198 | 900 | 16,1 | 535 | 621 | 25,9 | 12,6 |
| 11 | 24,3 × 11,2 | 153 | | 21,1 | 463 | 612 | 34,5 | 17,9 |
| 12 | 10,5 □ | 122 | | 11,9 | 311 | 443 | 26,9 | 15,0 |
| 13 | 17,5 × 10,5 | 104 | | 12,7 | 233 | 361 | 35,2 | 13,4 |
| 14 | 9,0 □ | 88 | | 9,4 | 192 | 265 | 35,4 | 13,4 |

Reihe: **Quadrat-Raute**

Werkstoff: St 52

Anlage 9 / Tabelle 10

| Kaliber | Abmessung mm × mm | Quer- schnitt mm ² | Tempe- ratur °C | Walz- kraft t | Dreh- moment mkg | Gedr. Fläche mm ² | k_w kg/mm ² | a_w mmkg/ mm ² |
|---------|----------------------|-------------------------------------|-----------------------|---------------------|------------------------|------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|
| 0 | 50,0 □ | 2500 | 1188 | | | | | |
| 1 | 75,3 × 44,0 | 1860 | 1173 | 33,4 | 1968 | 3610 | 9,26 | 4,04 |
| 2 | 39,0 □ | 1468 | 1135 | 29,4 | 1760 | 2627 | 11,0 | 4,78 |
| 3 | 55,8 × 34,3 | 1124 | 1100 | 36,9 | 1622 | 2294 | 16,1 | 5,36 |
| 4 | 30,5 □ | 900 | 1070 | 28,8 | 1312 | 1754 | 16,4 | 5,54 |
| 5 | 47,3 × 26,7 | 712 | 1070 | 34,5 | 1156 | 1833 | 18,8 | 6,03 |
| 6 | 24,3 □ | 572 | 1007 | 26,8 | 1033 | 1387 | 19,3 | 6,79 |
| 7 | 38,9 × 19,9 | 410 | 1027 | 33,1 | 980 | 1274 | 26,0 | 10,9 |
| 8 | 18,0 □ | 318 | 1004 | 19,1 | 684 | 952 | 20,1 | 9,77 |
| 9 | 28,8 × 15,2 | 244 | 938 | 24,5 | 684 | 889 | 27,6 | 13,2 |
| 10 | 14,3 □ | 204 | 930 | 15,0 | 495 | 630 | 23,8 | 11,5 |
| 11 | 24,5 × 11,1 | 154 | | 20,3 | 429 | 624 | 32,5 | 17,5 |
| 12 | 10,0 □ | 126 | | 12,2 | 316 | 468 | 26,1 | 15,9 |
| 13 | 17,6 × 10,2 | 99 | | 12,5 | 231 | 387 | 32,3 | 14,8 |
| 14 | 8,9 □ | 81 | | 7,5 | 158 | 253 | 29,6 | 11,5 |

Reihe: **Quadrat-Raute**

Werkstoff: St 52

Anlage 8 / Tabelle 11

| | | | | | | | | |
|----|-------------|------|------|------|------|------|------|------|
| 0 | 50,0 □ | 2500 | 1157 | | | | | |
| 1 | 75,7 × 44,0 | 1860 | 1137 | 39,1 | 2233 | 3641 | 10,7 | 4,56 |
| 2 | 39,3 □ | 1476 | 1087 | 33,2 | 1951 | 2638 | 12,6 | 5,33 |
| 3 | 56,0 × 34,3 | 1128 | 1063 | 41,0 | 1772 | 2328 | 17,6 | 5,95 |
| 4 | 30,5 □ | 899 | 1040 | 30,9 | 1405 | 1745 | 17,7 | 5,91 |
| 5 | 45,2 × 27,0 | 714 | 1024 | 36,5 | 1265 | 1720 | 21,2 | 6,49 |
| 6 | 24,3 □ | 580 | 983 | 28,8 | 1155 | 1268 | 22,7 | 6,61 |
| 7 | 38,6 × 20,0 | 414 | 971 | 36,1 | 1110 | 1232 | 29,2 | 13,7 |
| 8 | 18,2 □ | 321 | 944 | 22,2 | 776 | 872 | 25,4 | 12,7 |
| 9 | 29,4 × 15,2 | 252 | 914 | 27,4 | 761 | 900 | 30,4 | 15,3 |
| 10 | 14,0 □ | 198 | 885 | 16,6 | 524 | 632 | 28,8 | 13,4 |
| 11 | 24,5 × 11,1 | 156 | | 14,5 | 363 | 577 | 25,2 | 14,0 |
| 12 | 10,0 □ | 132 | | 9,7 | 270 | 414 | 23,4 | 12,1 |
| 13 | 17,6 × 10,2 | 108 | | 9,1 | 190 | 336 | 27,0 | 10,2 |
| 14 | 8,9 | 100 | | 6,0 | 133 | 240 | 25,0 | 8,2 |

Reihe: **Quadrat-Raute**

Werkstoff: 16 Mn Cr 5

Anlage 9 / Tabelle 12

| | | | | | | | | |
|---|-------------|------|------|------|------|------|------|------|
| 0 | 50,0 □ | 2500 | 1210 | | | | | |
| 1 | 75,8 × 44,0 | 1854 | 1175 | 35,1 | 1910 | 3650 | 9,62 | 3,84 |
| 2 | 39,0 □ | 1443 | 1145 | 28,1 | 1632 | 2642 | 10,6 | 4,34 |
| 3 | 56,1 × 34,1 | 1115 | 1114 | 35,1 | 1542 | 2326 | 15,1 | 5,16 |
| 4 | 30,5 □ | 890 | 1090 | 26,6 | 1212 | 1784 | 14,9 | 5,14 |
| 5 | 47,6 × 26,8 | 702 | 1068 | 31,7 | 1088 | 1736 | 18,3 | 5,79 |
| 6 | 24,0 □ | 570 | 1010 | 24,9 | 1039 | 1305 | 19,1 | 7,01 |

Reihe: **Quadrat-Raute**

Werkstoff: 16 Mn Cr 5

Anlage 9 / Tabelle 13

| Kaliber | Abmessung mm × mm ² | Quer- schnitt mm ² | Tempe- ratur °C | Walz- kraft t | Dreh- moment mkg | Gedr. Fläche mm ² | k_w kg/mm ² | a_w mmkg/ mm ² |
|---------|-----------------------------------|-------------------------------------|-----------------------|---------------------|------------------------|------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|
| 0 | 50,0 □ | 2500 | 1250 | | | | | |
| 1 | 75,4 × 43,7 | 1844 | 1200 | 30,5 | 1575 | 3627 | 8,41 | 3,44 |
| 2 | 39,0 □ | 1412 | 1190 | 24,2 | 1353 | 2623 | 9,22 | 3,73 |
| 3 | 56,5 × 33,9 | 1120 | 1170 | 30,7 | 1278 | 2308 | 13,3 | 4,39 |
| 4 | 30,7 □ | 894 | 1131 | 24,4 | 1098 | 1770 | 13,8 | 4,60 |
| 5 | 47,2 × 26,9 | 709 | 1093 | 30,2 | 1056 | 1771 | 17,1 | 5,61 |
| 6 | 24,3 □ | 572 | 1019 | 22,9 | 964 | 1475 | 15,5 | 6,36 |
| 7 | 39,8 × 19,6 | 393 | 1032 | 34,4 | 1101 | 1290 | 26,6 | 13,9 |
| 8 | 17,5 □ | 301 | 996 | 21,9 | 831 | 988 | 22,1 | 13,8 |
| 9 | 29,6 × 14,7 | 228 | 954 | 23,3 | 732 | 902 | 25,8 | 15,6 |
| 10 | 14,0 □ | 186 | 936 | 13,9 | 465 | 603 | 23,1 | 12,3 |
| 11 | 25,0 × 11,4 | 152 | | 22,0 | 455 | 600 | 36,7 | 19,1 |
| 12 | 10,5 □ | 123 | | 11,7 | 282 | 449 | 26,1 | 14,7 |
| 13 | 18,0 × 10,4 | 103 | | 12,4 | 214 | 368 | 33,7 | 13,4 |
| 14 | 9,0 □ | 88 | | 8,3 | 161 | 280 | 29,6 | 11,7 |

Reihe: **Quadrat-Raute**

Werkstoff: 16 Mn Cr 5

Anlage 9 / Tabelle 14

| | | | | | | | | |
|----|-------------|------|------|------|------|------|------|------|
| 0 | 50,0 □ | 2500 | 1165 | | | | | |
| 1 | 75,6 × 43,8 | 1836 | 1130 | 40,3 | 2128 | 3638 | 11,1 | 4,44 |
| 2 | 39,2 □ | 1448 | 1102 | 33,6 | 1898 | 2614 | 13,3 | 5,11 |
| 3 | 55,9 × 34,2 | 1102 | 1066 | 42,0 | 1839 | 2302 | 18,2 | 6,30 |
| 4 | 30,1 □ | 884 | 1048 | 30,7 | 1402 | 1787 | 17,2 | 5,95 |
| 5 | 47,1 × 26,8 | 708 | 1025 | 37,2 | 1344 | 1806 | 20,6 | 6,85 |
| 6 | 24,0 □ | 575 | 990 | 26,5 | 1076 | 1393 | 19,0 | 6,85 |
| 7 | 39,3 × 20,0 | 409 | 970 | 36,2 | 1183 | 1252 | 28,9 | 14,4 |
| 8 | 18,0 □ | 317 | 944 | 22,5 | 786 | 955 | 23,6 | 13,1 |
| 9 | 29,5 × 15,1 | 248 | 896 | 29,0 | 788 | 910 | 31,8 | 15,7 |
| 10 | 14,2 □ | 201 | 882 | 17,4 | 567 | 655 | 25,6 | 14,3 |
| 11 | 23,4 × 11,8 | 163 | | 15,3 | 331 | 584 | 26,2 | 14,2 |
| 12 | 11,0 □ | 130 | | 10,0 | 294 | 403 | 24,8 | 12,7 |
| 13 | 17,8 × 11,4 | 115 | | 9,9 | 218 | 328 | 30,1 | 11,2 |
| 14 | 10,0 □ | 101 | | 6,7 | 161 | 262 | 25,6 | 9,4 |

Reihe: **Quadrat-Raute**

Werkstoff: 100 Cr 6

Anlage 9 / Tabelle 15

| | | | | | | | | |
|---|-------------|------|------|------|------|------|------|------|
| 0 | 50,0 □ | 2500 | 1244 | | | | | |
| 1 | 76,0 × 43,4 | 1807 | 1196 | 26,6 | 1388 | 3684 | 7,20 | 2,91 |
| 2 | 38,7 □ | 1430 | 1171 | 22,0 | 1272 | 2620 | 8,40 | 3,56 |
| 3 | 55,1 × 33,9 | 1085 | 1130 | 29,8 | 1282 | 2286 | 13,0 | 4,54 |

Reihe: **Quadrat-Raute**

Werkstoff: 100 Cr 6

Anlage 9 / Tabelle 15 (Forts.)

| Kaliber | Abmessung mm × mm | Quer- schnitt mm ² | Tempe- ratur °C | Walz- kraft t | Dreh- moment mkg | Gedr. Fläche mm ² | k_w kg/mm ² | a_w mmkg/ mm ² |
|---------|----------------------|-------------------------------------|-----------------------|---------------------|------------------------|------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|
| 4 | 30,3 □ | 866 | 1107 | 22,0 | 1036 | 1682 | 13,1 | 4,49 |
| 5 | 46,4 × 26,7 | 692 | 1082 | 26,5 | 898 | 1837 | 14,4 | 4,73 |
| 6 | 24,5 □ | 562 | 1020 | 20,5 | 865 | 1339 | 15,3 | 5,60 |
| 7 | 38,6 × 20,0 | 401 | 1018 | 30,1 | 987 | 1238 | 24,3 | 12,2 |
| 8 | 18,0 □ | 315 | 990 | 17,6 | 672 | 925 | 19,0 | 10,9 |
| 9 | 28,8 × 15,1 | 250 | 942 | 22,2 | 747 | 868 | 25,6 | 15,4 |
| 10 | 14,4 □ | 198 | 924 | 14,6 | 484 | 613 | 23,8 | 12,5 |
| 11 | 24,4 × 10,9 | 152 | | 20,2 | 440 | 617 | 32,8 | 18,5 |
| 12 | 10,0 □ | 122 | | 11,9 | 303 | 452 | 26,3 | 16,6 |
| 13 | 17,3 × 10,0 | 103 | | 13,3 | 241 | 324 | 41,1 | 15,9 |
| 14 | 8,9 □ | 91 | | 7,6 | 155 | 249 | 30,5 | 12,2 |

Reihe: **Quadrat-Raute**

Werkstoff: 100 Cr 6

Anlage 9 / Tabelle 16

| | | | | | | | | |
|---|-------------|------|------|------|------|------|------|------|
| 0 | 50,0 □ | 2500 | 1211 | | | | | |
| 1 | 74,0 × 43,4 | 1796 | 1172 | 28,3 | 1568 | 3592 | 7,90 | 3,28 |
| 2 | 38,8 □ | 1420 | 1138 | 23,0 | 1334 | 2533 | 9,07 | 3,65 |
| 3 | 57,0 × 33,7 | 1087 | 1125 | 30,2 | 1298 | 2355 | 12,8 | 4,59 |
| 4 | 30,0 □ | 871 | 1078 | 23,2 | 1047 | 1789 | 13,0 | 4,48 |
| 5 | 46,3 × 26,7 | 690 | 1058 | 28,1 | 995 | 1728 | 16,3 | 5,23 |
| 6 | 24,0 □ | 561 | 1029 | 20,3 | 882 | 1327 | 15,3 | 5,76 |

Reihe: **Quadrat-Raute**

Werkstoff: 100 Cr 6

Anlage 9 / Tabelle 17

| | | | | | | | | |
|----|-------------|------|------|------|------|------|------|------|
| 0 | 50,0 □ | 2500 | 1157 | | | | | |
| 1 | 74,5 × 43,5 | 1822 | 1120 | 33,8 | 1930 | 3606 | 9,37 | 4,30 |
| 2 | 38,7 □ | 1423 | 1071 | 27,8 | 1726 | 2530 | 11,0 | 4,80 |
| 3 | 55,3 × 33,8 | 1074 | 1085 | 37,3 | 1728 | 2266 | 16,5 | 6,06 |
| 4 | 30,2 □ | 876 | 1035 | 27,5 | 1320 | 1699 | 16,2 | 5,65 |
| 5 | 45,6 × 26,8 | 699 | 1006 | 33,3 | 1213 | 1701 | 19,6 | 6,46 |
| 6 | 24,2 □ | 570 | 990 | 24,5 | 1020 | 1295 | 18,9 | 6,67 |
| 7 | 38,8 × 20,0 | 406 | 976 | 36,1 | 1249 | 1240 | 29,1 | 15,3 |
| 8 | 18,0 □ | 323 | 954 | 20,6 | 800 | 932 | 22,1 | 13,2 |
| 9 | 29,3 × 15,0 | 246 | 930 | 26,8 | 809 | 918 | 29,2 | 17,5 |
| 10 | 14,0 □ | 207 | 905 | 17,2 | 602 | 633 | 27,2 | 15,5 |
| 11 | 23,0 × 11,7 | 158 | | 16,5 | 434 | 566 | 29,1 | 16,1 |
| 12 | 11,0 □ | 128 | | 10,6 | 312 | 393 | 27,0 | 14,3 |
| 13 | 17,3 × 11,3 | 113 | | 10,4 | 226 | 322 | 32,2 | 12,1 |
| 14 | 9,9 □ | 100 | | 7,1 | 162 | 245 | 29,0 | 10,2 |

Reihe: **Quadrat-Raute**

Werkstoff: 65 Si 7

Anlage 9 / Tabelle 18

| Kaliber | Abmessung mm × mm | Quer- schnitt mm ² | Tempe- ratur °C | Walz- kraft t | Dreh- moment mkg | Gedr. Fläche mm ² | k_w kg/mm ² | a_w mmkg/ mm ² |
|---------|----------------------|-------------------------------------|-----------------------|---------------------|------------------------|------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|
| 0 | 50,0 □ | 2500 | 1200 | | | | | |
| 1 | 75,0 × 43,5 | 1830 | 1160 | 38,0 | 2137 | 3618 | 10,5 | 4,70 |
| 2 | 38,8 □ | 1434 | 1124 | 32,5 | 1845 | 2571 | 12,6 | 5,18 |
| 3 | 56,5 × 33,9 | 1092 | 1090 | 41,8 | 1760 | 2345 | 17,8 | 6,24 |
| 4 | 30,7 □ | 884 | 1053 | 31,2 | 1445 | 1739 | 18,0 | 6,42 |
| 5 | 46,5 × 27,0 | 702 | 1018 | 36,6 | 1226 | 1713 | 21,3 | 6,70 |
| 6 | 24,4 □ | 573 | 1000 | 29,4 | 1140 | 1184 | 24,8 | 7,82 |
| 7 | 38,6 × 19,7 | 397 | 1037 | 34,6 | 1044 | 1266 | 27,3 | 12,2 |
| 8 | 18,0 □ | 316 | 1002 | 20,6 | 702 | 927 | 22,2 | 11,5 |
| 9 | 28,9 × 15,1 | 244 | 944 | 26,6 | 756 | 876 | 30,4 | 14,7 |
| 10 | 14,2 □ | 198 | 930 | 16,4 | 478 | 635 | 25,8 | 11,6 |
| 11 | 24,2 × 11,3 | 152 | | 23,9 | 501 | 616 | 38,8 | 19,8 |
| 12 | 10,4 □ | 122 | | 12,8 | 333 | 679 | 22,1 | 15,3 |
| 13 | 17,6 × 10,4 | 101 | | 13,9 | 249 | 366 | 38,0 | 14,2 |
| 14 | 9,0 □ | 86 | | 9,6 | 193 | 262 | 36,7 | 14,2 |

Reihe: **Quadrat-Raute**

Werkstoff: 65 Si 7

Anlage 9 / Tabelle 19

| | | | | | | | | |
|----|-------------|------|------|------|------|------|------|------|
| 0 | 50,0 □ | 2500 | 1140 | | | | | |
| 1 | 75,5 × 43,7 | 1832 | 1131 | 45,0 | 2460 | 3667 | 12,2 | 5,46 |
| 2 | 39,0 □ | 1437 | 1090 | 36,2 | 2170 | 2670 | 13,6 | 6,14 |
| 3 | 55,2 × 34,0 | 1105 | 1072 | 44,9 | 1995 | 2156 | 20,8 | 6,98 |
| 4 | 30,6 □ | 880 | 1043 | 33,7 | 1600 | 1703 | 19,8 | 7,23 |
| 5 | 46,4 × 27,0 | 707 | 1005 | 39,5 | 1401 | 1727 | 22,9 | 7,68 |
| 6 | 24,5 □ | 572 | 980 | 31,8 | 1292 | 1319 | 24,1 | 8,78 |
| 7 | 38,6 × 20,0 | 402 | 974 | 40,5 | 1386 | 1228 | 33,0 | 17,3 |
| 8 | 18,0 □ | 314 | 953 | 25,8 | 910 | 959 | 26,9 | 15,3 |
| 9 | 29,2 × 15,2 | 249 | 924 | 31,4 | 853 | 883 | 35,5 | 17,7 |
| 10 | 14,0 □ | 198 | | 18,3 | 577 | 637 | 28,7 | 14,7 |
| 11 | 23,1 × 11,8 | 163 | | 18,4 | 452 | 565 | 32,6 | 17,0 |
| 12 | 11,0 □ | 137 | | 11,5 | 320 | 401 | 28,6 | 14,7 |
| 13 | 17,5 × 11,2 | 112 | | 11,7 | 239 | 331 | 35,3 | 12,6 |
| 14 | 9,3 □ | 97 | | 8,2 | 166 | 254 | 32,2 | 10,2 |

Reihe: **Quadrat-Raute**

Werkstoff: Aluminium

Anlage 9 / Tabelle 20

| | | | | | | | | |
|---|-------------|------|-----|-----|-----|------|------|------|
| 0 | 48,0 □ | 2304 | 490 | | | | | |
| 1 | 70,6 × 43,4 | 1802 | 474 | 5,8 | 404 | 3330 | 1,70 | 0,89 |
| 2 | 38,8 □ | 1441 | 448 | 5,3 | 397 | 2189 | 2,40 | 1,09 |
| 3 | 53,5 × 33,6 | 1099 | 438 | 7,9 | 420 | 2297 | 3,40 | 1,35 |
| 4 | 30,4 □ | 895 | 412 | 4,9 | 294 | 1613 | 3,00 | 1,27 |

Reihe: **Quadrat-Raute**

Werkstoff: Aluminium

Anlage 9 / Tabelle 20 (Forts.)

| Kaliber | Abmessung mm × mm | Quer- schnitt mm ² | Tempe- ratur °C | Walz- kraft t | Dreh- moment mkg | Gedr. Fläche mm ² | k_w kg/mm ² | a_w mmkg/ mm ³ |
|---------|----------------------|-------------------------------------|-----------------------|---------------------|------------------------|------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|
| 5 | 44,7 × 26,5 | 695 | 392 | 6,7 | 305 | 1671 | 4,00 | 1,62 |
| 6 | 24,2 ◻ | 569 | 375 | 5,5 | 258 | 1238 | 4,40 | 1,69 |
| 7 | 39,3 × 20,0 | 415 | 375 | 6,9 | 261 | 1208 | 5,70 | 2,93 |
| 8 | 18,6 ◻ | 337 | 332 | 4,7 | 217 | 904 | 5,20 | 3,17 |
| 9 | 29,0 × 15,6 | 571 | 308 | 5,1 | 239 | 840 | 6,07 | 4,38 |
| 10 | 15,0 ◻ | 218 | 290 | 3,7 | 187 | 624 | 5,94 | 4,25 |
| 11 | 23,7 × 12,6 | 177 | 300 | 3,2 | 95 | 568 | 5,64 | 3,36 |
| 12 | 11,6 ◻ | 150 | 280 | 2,5 | 86 | 437 | 5,21 | 3,76 |
| 13 | 17,9 × 12,8 | 128 | | 2,0 | 61 | 352 | 5,68 | 3,12 |
| 14 | 10,9 ◻ | 115 | | 1,0 | 39 | 258 | 3,88 | 2,27 |

Reihe: **Quadrat-Raute**

Werkstoff: Aluminium

Anlage 9 / Tabelle 21

| | | | | | | | | |
|---|-------------|------|-----|------|-----|------|-----|------|
| 0 | 48,0 ◻ | 2304 | 450 | | | | | |
| 1 | 73,0 × 43,4 | 1829 | 418 | 9,7 | 538 | 3390 | 2,9 | 1,19 |
| 2 | 39,0 ◻ | 1433 | 405 | 8,5 | 531 | 2335 | 3,6 | 1,53 |
| 3 | 53,4 × 33,8 | 1092 | 375 | 11,3 | 555 | 1996 | 5,7 | 2,00 |
| 4 | 30,2 ◻ | 884 | 375 | 7,4 | 400 | 1569 | 4,7 | 1,74 |
| 5 | 43,8 × 26,6 | 692 | 355 | 9,0 | 396 | 1582 | 5,7 | 2,13 |
| 6 | 24,4 ◻ | 571 | 350 | 6,5 | 353 | 1212 | 5,4 | 2,03 |

Reihe: **Raute-Raute**

Werkstoff: MSt 3b






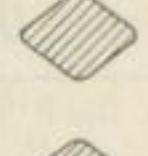
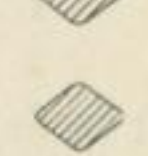
Anlage 10 / Tabelle 1

| | | | | | | | | |
|----|-------------|------|------|------|------|------|------|------|
| 0 | 50 ◻ | 2500 | 1240 | | | | | |
| 1 | 70,6 × 51,9 | 1900 | 1200 | 23,3 | 998 | 2818 | 8,25 | 2,02 |
| 2 | 58,2 × 46,0 | 1552 | 1146 | 26,2 | 1352 | 2925 | 9,00 | 3,52 |
| 3 | 52,6 × 40,7 | 1204 | 1132 | 28,4 | 1153 | 2154 | 13,2 | 3,82 |
| 4 | 47,0 × 35,4 | 958 | 1090 | 28,9 | 1100 | 1920 | 15,0 | 4,55 |
| 5 | 43,8 × 30,9 | 736 | 1050 | 34,8 | 1196 | 1777 | 19,5 | 6,38 |
| 6 | 36,5 × 27,4 | 576 | 1040 | 18,6 | 748 | 1325 | 14,0 | 6,27 |
| 7 | 32,8 × 24,4 | 454 | 1015 | 18,6 | 632 | 1029 | 18,1 | 6,60 |
| 8 | 30,5 × 21,6 | 355 | 974 | 22,7 | 657 | 922 | 24,6 | 8,50 |
| 9 | 26,2 × 19,4 | 295 | 946 | 17,6 | 521 | 788 | 22,3 | 8,32 |
| 10 | 24,6 × 17,3 | 230 | 904 | 18,5 | 502 | 668 | 27,7 | 10,0 |
| 11 | 22,3 × 15,6 | 192 | 894 | 17,4 | 458 | 620 | 28,1 | 11,1 |
| 12 | 20,4 × 13,5 | 146 | | 11,8 | 283 | 490 | 24,1 | 11,5 |
| 13 | 17,4 × 12,6 | 119 | | 9,4 | 223 | 403 | 23,4 | 11,0 |
| 14 | 17,3 × 10,8 | 96 | | 11,7 | 242 | 362 | 32,3 | 15,1 |
| 15 | 15,6 × 9,4 | 76 | | 11,3 | 243 | 361 | 31,3 | 19,2 |
| 16 | 13,0 × 8,7 | 65 | | 9,2 | 180 | 295 | 31,2 | 16,8 |
| 17 | 6,7 ◻ | 53 | | 7,9 | 132 | 202 | 39,0 | 15,3 |

Reihe: Raute-Raute

Werkstoff: MSt 3b

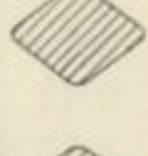
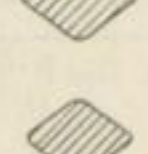

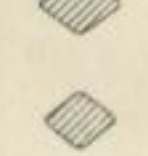

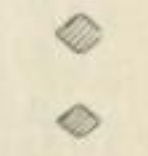


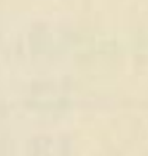

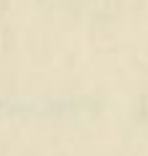

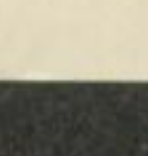
Anlage 10 / Tabelle 2

| Kalter | Abmessung mm × mm | Querschnitt mm ² | Temperatur °C | Walzkraft t | Drehmoment mkg | Gedr. Fläche mm ² | k_w kg/mm ² | a_w mmkg/mm ² |  | 0 |
|--------|----------------------|--------------------------------|------------------|----------------|-------------------|---------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|---|---|
| 0 | 50 \square | 2500 | 1196 | | | | | |  | 1 |
| 1 | 71,5 × 52,2 | 1970 | 1160 | 24,9 | 1126 | 2845 | 8,75 | 2,22 |  | 2 |
| 2 | 58,8 × 46,0 | 1568 | 1131 | 31,3 | 1586 | 2906 | 10,8 | 4,12 |  | 3 |
| 3 | 53,6 × 41,0 | 1218 | 1090 | 33,4 | 1379 | 2194 | 15,2 | 4,34 |  | 4 |
| 4 | 47,8 × 35,5 | 980 | 1045 | 32,8 | 1373 | 1990 | 16,5 | 5,38 |  | 5 |
| 5 | 44,0 × 31,0 | 740 | 1000 | 35,6 | 1319 | 1800 | 19,7 | 6,60 |  | 6 |

Reihe: Raute-Raute

Werkstoff: MSt 3b

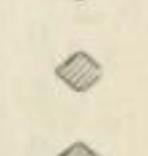


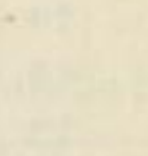
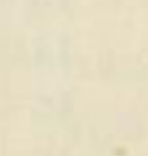
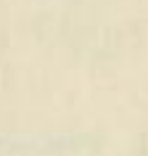

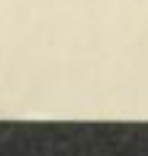

Anlage 10 / Tabelle 3

| Kalter | Abmessung mm × mm | Querschnitt mm ² | Temperatur °C | Walzkraft t | Drehmoment mkg | Gedr. Fläche mm ² | k_w kg/mm ² | a_w mmkg/mm ² |  | 4 |
|--------|----------------------|--------------------------------|------------------|----------------|-------------------|---------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|---|----|
| 0 | 50 \square | 2500 | 1160 | | | | | |  | 5 |
| 1 | 70,7 × 52,4 | 2022 | 1125 | 29,6 | 1114 | 2803 | 10,5 | 2,22 |  | 6 |
| 1 | 59,0 × 46,1 | 1580 | 1100 | 34,6 | 1548 | 2937 | 11,8 | 3,97 |  | 7 |
| 3 | 53,4 × 41,0 | 1227 | 1076 | 36,8 | 1337 | 2222 | 16,6 | 4,39 |  | 8 |
| 4 | 48,0 × 35,5 | 972 | 1045 | 34,6 | 1244 | 2038 | 17,0 | 5,15 |  | 9 |
| 5 | 44,4 × 31,1 | 744 | 1030 | 39,4 | 1309 | 1834 | 21,5 | 6,83 |  | 10 |
| 6 | 36,2 × 27,5 | 582 | 978 | 22,8 | 904 | 1326 | 17,2 | 7,58 |  | 11 |
| 7 | 33,2 × 24,3 | 458 | 947 | 23,5 | 708 | 1032 | 22,7 | 7,99 |  | 12 |
| 8 | 30,6 × 21,4 | 349 | 934 | 25,3 | 762 | 922 | 27,4 | 10,1 |  | 13 |
| 9 | 26,3 × 19,2 | 288 | 917 | 19,4 | 548 | 801 | 24,2 | 9,11 |  | 14 |
| 10 | 24,4 × 17,3 | 235 | 897 | 19,2 | 503 | 670 | 28,7 | 10,2 |  | 15 |
| 11 | 22,0 × 15,5 | 188 | 905 | 17,9 | 437 | 604 | 29,7 | 11,1 |  | 16 |

Reihe: Raute-Raute

Werkstoff: CK 45

Anlage 10 / Tabelle 4

| Kalter | Abmessung mm × mm | Querschnitt mm ² | Temperatur °C | Walzkraft t | Drehmoment mkg | Gedr. Fläche mm ² | k_w kg/mm ² | a_w mmkg/mm ² |  | 12 |
|--------|----------------------|--------------------------------|------------------|----------------|-------------------|---------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|---|----|
| 0 | 50 \square | 2500 | 1250 | | | | | |  | 13 |
| 1 | 71,0 × 51,7 | 1914 | 1208 | 21,9 | 936 | 2848 | 7,69 | 1,18 |  | 14 |
| 2 | 57,8 × 45,6 | 1510 | 1185 | 23,1 | 1156 | 2890 | 8,00 | 2,97 |  | 15 |
| 3 | 52,2 × 40,7 | 1190 | 1146 | 25,3 | 975 | 2024 | 12,5 | 3,13 |  | 16 |
| 4 | 47,5 × 35,2 | 936 | 1120 | 24,5 | 891 | 1889 | 13,0 | 3,65 |  | 17 |
| 5 | 44,2 × 30,8 | 734 | 1088 | 29,4 | 982 | 1747 | 20,3 | 5,14 |  | 18 |
| 6 | 36,2 × 27,4 | 580 | 1027 | 20,5 | 823 | 1314 | 15,6 | 7,27 |  | 19 |
| 7 | 32,4 × 24,5 | 456 | 980 | 21,0 | 695 | 1005 | 20,9 | 7,73 |  | 20 |
| 8 | 30,6 × 21,6 | 352 | 927 | 24,1 | 690 | 909 | 26,6 | 8,98 | | 21 |
| 9 | 26,4 × 19,4 | 290 | 944 | 18,3 | 554 | 778 | 23,5 | 9,39 | | 22 |
| 10 | 24,6 × 17,3 | 233 | 914 | 19,9 | 529 | 681 | 29,2 | 10,9 | | 23 |
| 11 | 22,3 × 15,4 | 188 | 900 | 19,4 | 485 | 619 | 31,4 | 12,3 | | 24 |
| 12 | 19,7 × 14,0 | 150 | | 12,6 | 316 | 464 | 27,2 | 12,8 | | 25 |
| 13 | 17,5 × 12,7 | 120 | | 10,0 | 243 | 379 | 26,4 | 12,2 | | 26 |
| 14 | 17,4 × 12,8 | 96 | | 12,6 | 269 | 358 | 35,2 | 17,7 | | 27 |
| 15 | 15,6 × 9,6 | 78 | | 12,5 | 278 | 347 | 36,0 | 22,2 | | 28 |
| 16 | 14,1 × 8,5 | 65 | | 11,7 | 255 | 313 | 37,4 | 24,8 | | 29 |
| 17 | 6,8 \square | 55 | | 9,0 | 167 | 214 | 42,0 | 19,3 | | 30 |

Reihe: **Raute-Raute**

Werkstoff: CK 45

Anlage 10 / Tabelle 5

| Kaliber | Abmessung mm × mm | Quer- schnitt mm ² | Tempe- ratur °C | Walz- kraft t | Dreh- moment mkg | Gedr. Fläche mm ² | k_w kg/mm ² | a_w mmkg/ mm ² |
|---------|----------------------|-------------------------------------|-----------------------|---------------------|------------------------|------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|
| 0 | 50 \square | 2500 | 1195 | | | | | |
| 1 | 70,5 × 52,0 | 1978 | 1173 | 26,3 | 1081 | 2834 | 9,28 | 2,26 |
| 2 | 58,3 × 45,9 | 1538 | 1132 | 29,7 | 1386 | 2932 | 10,1 | 3,66 |
| 3 | 53,8 × 40,9 | 1204 | 1088 | 31,7 | 1257 | 2200 | 14,4 | 4,18 |
| 4 | 47,7 × 35,4 | 971 | 1076 | 29,3 | 1090 | 1991 | 14,7 | 4,44 |
| 5 | 44,0 × 31,0 | 744 | 1066 | 34,4 | 1199 | 1797 | 19,1 | 6,70 |

Reihe: **Raute-Raute**

Werkstoff: CK 45

Anlage 10 / Tabelle 6

| | | | | | | | | |
|----|---------------|------|------|------|------|------|------|------|
| 0 | 50 \square | 2500 | 1160 | | | | | |
| 1 | 71,0 × 52,2 | 1995 | | 29,1 | 1293 | 2830 | 10,3 | 2,48 |
| 2 | 59,0 × 46,0 | 1564 | | 36,0 | 1804 | 2961 | 12,1 | 4,49 |
| 3 | 53,6 × 41,1 | 1225 | | 39,2 | 1682 | 2224 | 17,6 | 5,61 |
| 4 | 47,9 × 35,6 | 968 | | 34,9 | 1471 | 1997 | 17,5 | 6,04 |
| 5 | 43,6 × 30,7 | 726 | | 40,3 | 1579 | 1792 | 22,5 | 8,63 |
| 6 | 36,4 × 27,5 | 576 | | 24,5 | 960 | 1321 | 18,7 | 8,70 |
| 7 | 33,0 × 24,3 | 443 | 960 | 25,7 | 853 | 1029 | 25,0 | 9,25 |
| 8 | 30,0 × 21,5 | 351 | 927 | 27,6 | 838 | 921 | 30,0 | 11,8 |
| 9 | 26,0 × 19,3 | 287 | 910 | 20,8 | 620 | 770 | 27,0 | 10,7 |
| 10 | 24,0 × 17,1 | 228 | 910 | 19,7 | 516 | 664 | 29,7 | 11,2 |
| 11 | 22,0 × 15,5 | 185 | 890 | 18,1 | 476 | 585 | 30,9 | 12,9 |
| 12 | 20,4 × 13,6 | 141 | | 13,3 | 338 | 478 | 27,8 | 14,6 |
| 13 | 17,5 × 12,7 | 117 | | 9,7 | 263 | 397 | 24,5 | 14,1 |
| 14 | 17,0 × 10,6 | 102 | | 12,7 | 275 | 360 | 35,3 | 18,0 |
| 15 | 15,4 × 9,4 | 75 | | 12,7 | 275 | 354 | 35,8 | 22,9 |
| 16 | 14,4 × 8,2 | 61 | | 11,2 | 263 | 292 | 38,4 | 27,0 |
| 17 | 6,7 \square | 51 | | 6,7 | 150 | 192 | 35,0 | 17,8 |

Reihe: **Raute-Raute**

Werkstoff: MK 73

Anlage 10 / Tabelle 7

| | | | | | | | | |
|---|--------------|------|------|------|------|------|-------|------|
| 0 | 50 \square | 2500 | 1240 | | | | | |
| 1 | 70,7 × 51,8 | 1951 | 1222 | 18,5 | 964 | 2873 | 6,45 | 1,96 |
| 2 | 58,0 × 45,7 | 1554 | 1170 | 20,8 | 1221 | 2940 | 7,07 | 3,33 |
| 3 | 53,0 × 41,0 | 1227 | 1146 | 22,2 | 1065 | 2086 | 10,6 | 3,56 |
| 4 | 46,4 × 35,0 | 937 | 1125 | 26,5 | 1142 | 1805 | 14,7 | 4,85 |
| 5 | 43,3 × 30,6 | 717 | 1087 | 29,4 | 1061 | 1684 | 17,43 | 5,65 |
| 6 | 35,0 × 28,0 | 591 | 1034 | 15,5 | 669 | 1226 | 12,7 | 5,79 |
| 7 | 33,1 × 25,0 | 474 | 1009 | 17,6 | 623 | 956 | 18,4 | 6,72 |
| 8 | 30,8 × 21,9 | 364 | 967 | 21,0 | 650 | 938 | 22,4 | 8,99 |

13*

Reihe **Raute-Raute**

Werkstoff: MK 73

Anlage 10 / Tabelle 7 (Forts.)

| Kaliber | Abmessung mm × mm | Quer- schnitt mm ² | Tempe- ratur °C | Walz- kraft t | Dreh- moment mkg | Gedr. Fläche mm ² | k_{se} kg/mm ² | a_{se} mmkg/ mm ² |
|---------|----------------------|-------------------------------------|-----------------------|---------------------|------------------------|------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------------|
| 9 | 27,0 × 19,5 | 295 | 938 | 19,0 | 553 | 817 | 23,3 | 9,06 |
| 10 | 24,8 × 17,3 | 235 | 913 | 20,5 | 532 | 704 | 29,1 | 11,2 |
| 11 | 22,2 × 15,7 | 192 | 894 | 19,2 | 500 | 675 | 28,5 | 12,4 |
| 12 | 19,7 × 13,5 | 139 | | 12,9 | 321 | 481 | 26,8 | 12,7 |
| 13 | 17,0 × 12,6 | 119 | | 10,0 | 244 | 383 | 26,1 | 11,9 |
| 14 | 16,9 × 10,8 | 93 | | 12,3 | 264 | 348 | 35,3 | 16,0 |
| 15 | 16,0 × 9,5 | 77 | | 12,3 | 264 | 333 | 37,0 | 20,0 |
| 16 | 13,0 × 9,7 | 62 | | 9,5 | 208 | 297 | 32,0 | 18,7 |
| 17 | 7 ▽ | 56 | | 8,5 | 164 | 198 | 43,0 | 17,6 |

Reihe: **Raute-Raute**

Werkstoff: MK 73

Anlage 10 / Tabelle 8

| | | | | | | | | |
|---|-------------|------|------|------|------|------|------|------|
| 0 | 50 ▽ | 2500 | 1208 | | | | | |
| 1 | 70,8 × 52,1 | 1983 | 1179 | 21,5 | 985 | 2745 | 7,87 | 2,01 |
| 2 | 59,0 × 45,9 | 1530 | 1136 | 25,2 | 1353 | 2940 | 8,58 | 3,68 |
| 3 | 52,8 × 40,9 | 1196 | 1097 | 27,5 | 1178 | 2287 | 12,0 | 3,94 |
| 4 | 47,5 × 35,3 | 960 | 1087 | 27,1 | 1133 | 1855 | 14,6 | 4,46 |
| 5 | 43,7 × 30,9 | 732 | 1063 | 32,0 | 1140 | 1517 | 21,1 | 5,69 |

Reihe: **Raute-Raute**

Werkstoff: MK 73

Anlage 10 / Tabelle 9

| | | | | | | | | |
|----|-------------|------|------|------|------|------|------|------|
| 0 | 50 ▽ | 2500 | 1140 | | | | | |
| 1 | 70,3 × 52,2 | 2000 | | 23,4 | 1168 | 2798 | 8,32 | 2,32 |
| 2 | 59,0 × 46,1 | 1556 | | 29,2 | 1591 | 2894 | 10,1 | 4,16 |
| 3 | 53,2 × 41,0 | 1210 | | 32,4 | 1447 | 2196 | 14,8 | 4,72 |
| 4 | 47,5 × 35,5 | 966 | | 32,6 | 1417 | 1944 | 06,8 | 5,84 |
| 5 | 43,5 × 30,8 | 734 | | 37,1 | 1401 | 1750 | 21,2 | 7,11 |
| 6 | 35,3 × 27,4 | 570 | 976 | 20,1 | 840 | 1264 | 15,9 | 7,17 |
| 7 | 33,0 × 24,2 | 445 | 967 | 21,7 | 755 | 991 | 21,9 | 8,17 |
| 8 | 30,5 × 21,4 | 345 | 956 | 23,4 | 726 | 931 | 25,2 | 10,3 |
| 9 | 26,2 × 19,0 | 285 | 951 | 19,3 | 571 | 797 | 24,3 | 10,0 |
| 10 | 24,0 × 17,2 | 235 | 916 | 19,0 | 515 | 661 | 28,8 | 10,9 |
| 11 | 22,0 × 15,5 | 190 | 905 | 17,8 | 487 | 593 | 30,0 | 12,9 |
| 12 | 20,2 × 13,5 | 143 | | 15,6 | 395 | 486 | 32,1 | 16,8 |
| 13 | 17,3 × 12,2 | 112 | | 11,9 | 309 | 423 | 28,2 | 16,4 |
| 14 | 15,4 × 10,4 | 88 | | 12,8 | 300 | 350 | 36,6 | 21,2 |
| 15 | 13,4 × 9,0 | 66 | | 11,9 | 274 | 300 | 39,6 | 25,3 |
| 16 | 13,7 × 8,0 | 57 | | 11,5 | 265 | 288 | 40,0 | 29,6 |
| 17 | 6,7 ▽ | 49 | | 7,5 | 162 | 196 | 38,3 | 21,0 |

Reihe: Raute-Raute

Werkstoff: St 52

Anlage 10 / Tabelle 10

| Kaliber | Abmessung mm × mm | Quer- schnitt mm ² | Tempe- ratur °C | Walz- kraft t | Dreh- moment mkg | Gedr. Fläche mm ² | k_w kg/mm ² | a_w mmkg/ mm ³ |
|---------|----------------------|-------------------------------------|-----------------------|---------------------|------------------------|------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|
| 0 | 50 ∇ | 2500 | 1200 | | | | | |
| 1 | 71,3 × 52,0 | 1998 | 1184 | 26,1 | 1208 | 2857 | 9,15 | 2,37 |
| 2 | 59,5 × 46,0 | 1575 | 1136 | 30,8 | 1695 | 2995 | 10,3 | 4,43 |
| 3 | 53,6 × 41,0 | 1223 | 1118 | 32,1 | 1513 | 2240 | 14,3 | 4,91 |
| 4 | 47,6 × 35,5 | 968 | 1087 | 31,8 | 1425 | 2240 | 14,3 | 5,89 |
| 5 | 44,2 × 31,0 | 736 | 1064 | 36,3 | 1401 | 1786 | 20,3 | 7,23 |
| 6 | 37,0 × 27,3 | 580 | 1037 | 21,2 | 806 | 1356 | 15,6 | 7,24 |
| 7 | 33,8 × 24,2 | 450 | 1009 | 21,5 | 693 | 1028 | 20,9 | 7,28 |
| 8 | 30,8 × 21,4 | 347 | 990 | 22,3 | 684 | 984 | 22,7 | 9,16 |
| 9 | 26,2 × 19,2 | 282 | 960 | 17,5 | 507 | 835 | 21,0 | 8,76 |
| 10 | 24,3 × 17,2 | 230 | 948 | 18,3 | 492 | 676 | 27,1 | 9,87 |
| 11 | 2,1 × 15,5 | 185 | 918 | 17,0 | 444 | 611 | 27,8 | 11,1 |
| 12 | 20,0 × 13,8 | 143 | | 11,4 | 288 | 469 | 24,3 | 12,0 |
| 13 | 16,8 × 10,9 | 120 | | 9,2 | 220 | 386 | 23,9 | 11,3 |
| 14 | 17,3 × 12,6 | 95 | | 12,5 | 251 | 356 | 35,1 | 16,1 |
| 15 | 15,7 × 9,5 | 80 | | 12,1 | 256 | 350 | 34,6 | 19,8 |
| 16 | 13,3 × 9,0 | 66 | | 9,6 | 191 | 295 | 31,9 | 18,1 |
| 17 | 6,9 ∇ | 59 | | 9,0 | 162 | 202 | 44,6 | 17,7 |

Reihe: Raute-Raute

Werkstoff: St 52

Anlage 10 / Tabelle 11

| | | | | | | | | |
|----|--------------|------|------|------|------|------|------|------|
| 0 | 50 ∇ | 2500 | 1140 | | | | | |
| 1 | 71,9 × 52,4 | 2004 | | 31,6 | 1288 | 2821 | 11,2 | 2,54 |
| 2 | 60,0 × 46,2 | 1564 | | 36,5 | 1717 | 3039 | 11,7 | 4,38 |
| 3 | 54,0 × 41,1 | 1232 | | 39,9 | 1512 | 2306 | 17,3 | 5,00 |
| 4 | 48,3 × 35,6 | 972 | | 35,8 | 1358 | 2033 | 17,6 | 5,62 |
| 5 | 44,2 × 31,1 | 740 | | 41,8 | 1460 | 1822 | 23,0 | 7,66 |
| 6 | 37,1 × 27,5 | 580 | 1006 | 24,7 | 926 | 1338 | 18,4 | 8,11 |
| 7 | 33,5 × 24,3 | 453 | 974 | 24,6 | 797 | 1074 | 22,9 | 9,04 |
| 8 | 30,8 × 21,3 | 340 | 948 | 25,9 | 763 | 965 | 26,8 | 10,8 |
| 9 | 26,2 × 19,0 | 281 | 938 | 19,2 | 564 | 808 | 23,8 | 7,52 |
| 10 | 24,0 × 17,1 | 227 | 931 | 19,3 | 497 | 670 | 28,8 | 10,8 |
| 11 | 22,3 × 15,6 | 189 | 907 | 17,7 | 446 | 601 | 29,5 | 12,4 |
| 12 | 20,6 × 13,5 | 142 | | 13,4 | 315 | 485 | 27,6 | 13,1 |
| 13 | 17,2 × 12,6 | 117 | | 10,0 | 355 | 392 | 25,5 | 13,1 |
| 14 | 16,9 × 10,7 | 93 | | 12,8 | 368 | 349 | 36,7 | 17,9 |
| 15 | 15,7 × 9,3 | 74 | | 11,8 | 261 | 352 | 33,6 | 22,0 |
| 16 | 14,2 × 8,2 | 60 | | 10,1 | 240 | 327 | 30,9 | 24,8 |
| 17 | 6,7 ∇ | 52 | | 6,1 | 144 | 225 | 27,1 | 17,9 |

Reihe: Raute-Raute

Werkstoff: 16 Mn Cr 5

Anlage 10 / Tabelle 12

| Kaliber | Abmessung mm × mm | Quer- schnitt mm ² | Tempe- ratur °C | Walz- kraft t | Dreh- moment mkg | Gedr. Fläche mm ² | k_w kg/mm ² | a_w mmkg/ mm ² |
|---------|----------------------|-------------------------------------|-----------------------|---------------------|------------------------|------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|
| 0 | 50 \square | 2500 | 1252 | | | | | |
| 1 | 71,4 × 51,9 | 1958 | 1208 | 23,3 | 1019 | 2896 | 8,05 | 2,08 |
| 2 | 58,8 × 46,2 | 1588 | 1168 | 27,6 | 1377 | 3021 | 9,15 | 3,59 |
| 3 | 53,3 × 40,9 | 1202 | 1163 | 29,3 | 1265 | 2250 | 13,0 | 4,16 |
| 4 | 46,8 × 35,1 | 948 | 1135 | 29,9 | 1240 | 1986 | 15,1 | 5,16 |
| 5 | 44,3 × 30,8 | 736 | 1114 | 32,6 | 1233 | 1787 | 18,2 | 6,46 |
| 6 | 37,3 × 27,4 | 573 | 1040 | 20,6 | 701 | 1343 | 15,3 | 6,02 |
| 7 | 33,2 × 24,2 | 448 | 1021 | 20,7 | 691 | 1070 | 19,4 | 7,49 |
| 8 | 30,7 × 21,3 | 348 | 992 | 22,6 | 680 | 952 | 23,7 | 9,50 |
| 9 | 26,5 × 19,1 | 286 | 980 | 18,2 | 515 | 806 | 22,6 | 8,82 |
| 10 | 24,2 × 17,0 | 226 | 951 | 18,2 | 465 | 673 | 27,1 | 9,63 |
| 11 | 22,3 × 15,5 | 190 | 917 | 17,9 | 447 | 603 | 29,7 | 11,3 |
| 12 | 19,8 × 13,9 | 145 | | 12,2 | 305 | 465 | 26,3 | 11,8 |
| 13 | 17,4 × 12,6 | 120 | | 10,3 | 237 | 386 | 26,7 | 11,0 |
| 14 | 17,1 × 11,0 | 96 | | 13,2 | 264 | 353 | 37,4 | 15,6 |
| 15 | 15,8 × 9,5 | 77 | | 12,8 | 268 | 348 | 36,8 | 20,1 |
| 16 | 14,3 × 8,5 | 64 | | 10,5 | 217 | 304 | 34,6 | 20,2 |
| 17 | 6,8 \square | 56 | | 8,6 | 162 | 215 | 40,0 | 17,4 |

Reihe: Raute-Raute

Werkstoff: 16 Mn Cr 5

Anlage 10 / Tabelle 13

| | | | | | | | | |
|---|--------------|------|------|------|------|------|------|------|
| 0 | 50 \square | 2500 | 1208 | | | | | |
| 1 | 72,2 × 52,4 | 1988 | 1181 | 26,6 | 1086 | 2873 | 9,25 | 2,14 |
| 2 | 59,8 × 46,0 | 1545 | 1129 | 33,5 | 1542 | 3050 | 11,0 | 3,93 |
| 3 | 54,0 × 41,2 | 1228 | 1108 | 35,3 | 1399 | 2269 | 15,6 | 4,46 |
| 4 | 48,1 × 35,5 | 970 | 1085 | 34,1 | 1298 | 2014 | 16,9 | 5,29 |
| 5 | 44,4 × 30,9 | 741 | 1060 | 38,6 | 1292 | 1797 | 21,5 | 6,77 |

Reihe: Raute-Raute

Werkstoff: 16 Mn Cr 5

Anlage 10 / Tabelle 14

| | | | | | | | | |
|---|--------------|------|------|------|------|------|------|------|
| 0 | 50 \square | 2500 | 1149 | | | | | |
| 1 | 72,5 × 52,3 | 2002 | 1125 | 30,9 | 1275 | 2884 | 10,7 | 2,61 |
| 2 | 59,8 × 46,0 | 1573 | 1100 | 34,8 | 1726 | 3056 | 11,3 | 4,23 |
| 3 | 53,9 × 41,1 | 1235 | 1069 | 38,1 | 1533 | 2318 | 16,4 | 4,88 |
| 4 | 48,2 × 35,6 | 982 | 1053 | 36,6 | 1407 | 2039 | 18,0 | 5,62 |
| 5 | 44,3 × 31,1 | 743 | 1026 | 42,4 | 1490 | 1843 | 23,0 | 7,64 |
| 6 | 37,6 × 27,6 | 575 | 978 | 24,6 | 952 | 1375 | 17,9 | 8,40 |
| 7 | 33,3 × 24,3 | 458 | 964 | 24,9 | 819 | 1122 | 22,2 | 9,49 |
| 8 | 30,8 × 21,3 | 351 | 944 | 25,3 | 784 | 959 | 26,4 | 11,1 |

Reihe: **Raute-Raute**

Werkstoff: 16 Mn Cr 5

Anlage 10 / Tabelle 14 (Forts.)

| Kaliber | Abmessung mm × mm | Quer- schnitt mm ² | Tempe- ratur °C | Walz- kraft t | Dreh- moment mkg | Gedr. Fläche mm ² | k_w kg/mm ² | a_w mmkg/ mm ² |
|---------|----------------------|-------------------------------------|-----------------------|---------------------|------------------------|------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|
| 9 | 27,2 × 18,6 | 276 | 927 | 19,9 | 592 | 836 | 23,8 | 11,3 |
| 10 | 24,3 × 17,0 | 226 | 940 | 18,7 | 506 | 699 | 26,8 | 10,9 |
| 11 | 21,7 × 15,6 | 190 | 920 | 17,6 | 461 | 600 | 29,3 | 12,3 |
| 12 | 20,4 × 13,7 | 145 | | 13,3 | 318 | 477 | 27,9 | 12,6 |
| 13 | 17,8 × 12,4 | 118 | | 10,3 | 260 | 405 | 25,5 | 13,3 |
| 14 | 17,0 × 10,7 | 92 | | 13,2 | 275 | 369 | 35,7 | 17,4 |
| 15 | 17,0 × 8,0 | 72 | | 13,7 | 287 | 392 | 35,0 | 23,6 |
| 16 | 14,8 × 8,0 | 57 | | 11,6 | 266 | 352 | 33,0 | 27,4 |
| 17 | 6,7 \square | 51 | | 7,4 | 163 | 198 | 37,4 | 19,2 |

Reihe: **Raute-Raute**

Werkstoff: 100 Cr 6

Anlage 10 / Tabelle 15

| | | | | | | | | |
|----|---------------|------|------|------|------|------|------|------|
| 0 | 50 \square | 2500 | 1238 | | | | | |
| 1 | 71,0 × 51,8 | 1958 | 1200 | 16,9 | 1010 | 2830 | 6,00 | 1,99 |
| 2 | 58,8 × 45,6 | 1538 | 1175 | 23,2 | 1186 | 2999 | 7,80 | 3,13 |
| 3 | 52,5 × 40,5 | 1164 | 1130 | 26,3 | 1213 | 2164 | 12,1 | 4,03 |
| 4 | 47,4 × 35,2 | 937 | 1106 | 28,0 | 1196 | 1929 | 14,5 | 5,16 |
| 5 | 43,7 × 30,7 | 720 | 1086 | 31,6 | 1221 | 1787 | 17,7 | 6,64 |
| 6 | 36,7 × 27,1 | 563 | | 21,0 | 826 | 1333 | 15,8 | 7,74 |
| 7 | 32,8 × 24,1 | 439 | 1000 | 21,1 | 696 | 1045 | 20,2 | 7,91 |
| 8 | 30,4 × 21,1 | 355 | 978 | 21,5 | 643 | 946 | 22,7 | 9,72 |
| 9 | 26,2 × 18,9 | 277 | 947 | 17,2 | 519 | 795 | 21,6 | 9,08 |
| 10 | 24,1 × 17,0 | 222 | 954 | 17,7 | 475 | 666 | 26,2 | 10,1 |
| 11 | 21,8 × 15,3 | 182 | 907 | 17,3 | 450 | 599 | 28,9 | 11,6 |
| 12 | 20,0 × 13,8 | 150 | | 12,6 | 314 | 456 | 27,6 | 12,8 |
| 13 | 17,2 × 12,5 | 118 | | 10,6 | 250 | 381 | 27,8 | 12,5 |
| 14 | 17,0 × 10,9 | 96 | | 13,6 | 287 | 357 | 38,1 | 17,9 |
| 15 | 15,4 × 9,3 | 75 | | 12,9 | 282 | 354 | 36,5 | 22,5 |
| 16 | 12,7 × 9,7 | 64 | | 9,5 | 201 | 286 | 33,3 | 19,0 |
| 17 | 6,7 \square | 55 | | 10,6 | 184 | 184 | 57,6 | 20,3 |

Reihe: **Raute-Raute**

Werkstoff: 100 Cr 6

Anlage 10 / Tabelle 16

| | | | | | | | | |
|---|--------------|------|------|------|------|------|------|------|
| 0 | 50 \square | 2500 | 1184 | | | | | |
| 1 | 71,4 × 52,0 | 1960 | 1158 | 22,6 | 1060 | 2865 | 7,90 | 2,11 |
| 2 | 58,5 × 45,8 | 1547 | 1113 | 26,1 | 1387 | 2918 | 8,95 | 3,70 |
| 3 | 53,0 × 40,5 | 1289 | 1109 | 28,7 | 1273 | 2176 | 13,2 | 4,19 |
| 4 | 47,4 × 35,2 | 936 | 1090 | 28,9 | 1261 | 1918 | 15,1 | 5,18 |
| 5 | 43,2 × 30,8 | 728 | 1068 | 34,2 | 1257 | 1795 | 19,0 | 6,53 |

Reihe: **Raute-Raute**

Werkstoff: 100 Cr 6

Anlage 10 / Tabelle 17

| Kaliber | Abmessung mm × mm | Quer- schnitt mm ² | Tempe- ratur °C | Walz- kraft t | Dreh- moment mkg | Gedr. Fläche mm ² | k_w kg/mm ² | a_w mmkg/ mm ² |
|---------|----------------------|-------------------------------------|-----------------------|---------------------|------------------------|------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|
| 0 | 50 □ | 2500 | 1167 | | | | | |
| 1 | 70,4 × 52,0 | 1964 | 1132 | 25,6 | 1173 | 2834 | 9,0 | 2,30 |
| 2 | 58,6 × 46,0 | 1542 | 1092 | 30,5 | 1551 | 2943 | 10,3 | 3,95 |
| 3 | 53,0 × 40,8 | 1204 | 1073 | 33,4 | 1430 | 2150 | 15,5 | 4,54 |
| 4 | 47,8 × 35,4 | 964 | 1051 | 31,7 | 1270 | 1962 | 16,1 | 5,12 |
| 5 | 44,0 × 30,7 | 721 | 1030 | 37,5 | 1350 | 1800 | 20,9 | 6,93 |
| 6 | 36,0 × 27,1 | 562 | 1000 | 23,2 | 937 | 1310 | 17,7 | 8,19 |
| 7 | 32,7 × 24,2 | 450 | 995 | 22,6 | 791 | 1025 | 22,0 | 8,94 |
| 8 | 30,3 × 21,1 | 345 | 974 | 24,4 | 758 | 967 | 25,2 | 11,0 |
| 9 | 26,0 × 19,0 | 275 | 970 | 18,4 | 545 | 795 | 23,2 | 9,61 |
| 10 | 24,1 × 17,0 | 219 | 934 | 18,2 | 508 | 677 | 26,9 | 11,2 |
| 11 | 21,6 × 15,4 | 183 | 944 | 16,8 | 460 | 589 | 28,5 | 12,5 |
| 12 | 19,9 × 13,8 | 144 | | 12,8 | 336 | 461 | 27,8 | 14,2 |
| 13 | 17,2 × 12,6 | 121 | | 10,0 | 262 | 379 | 26,4 | 13,5 |
| 14 | 17,2 × 10,7 | 96 | | 13,6 | 303 | 353 | 38,5 | 19,5 |
| 15 | 15,5 × 9,3 | 75 | | 12,6 | 294 | 353 | 35,7 | 24,3 |
| 16 | 12,9 × 8,7 | 61 | | 9,7 | 209 | 264 | 36,8 | 20,7 |
| 17 | 6,7 □ | 54 | | 10,0 | 187 | 181 | 55,3 | 21,3 |

Reihe: **Raute-Raute**

Werkstoff: 65 Si 7

Anlage 10 / Tabelle 18

| | | | | | | | | |
|----|-------------|------|------|------|------|------|------|------|
| 0 | 50 □ | 2500 | 1248 | | | | | |
| 1 | 68,6 × 51,6 | 1927 | 1188 | 22,8 | 1196 | 2785 | 8,2 | 2,45 |
| 2 | 58,7 × 45,8 | 1543 | 1155 | 26,0 | 1600 | 2820 | 9,2 | 4,25 |
| 3 | 52,7 × 40,8 | 1210 | 1138 | 29,0 | 1414 | 2163 | 13,4 | 4,89 |
| 4 | 47,3 × 35,4 | 962 | 1090 | 31,8 | 1524 | 1920 | 16,6 | 6,58 |
| 5 | 42,6 × 30,5 | 735 | 1080 | 36,3 | 1479 | 1775 | 20,5 | 7,96 |
| 6 | 36,4 × 27,6 | 581 | 1037 | 24,1 | 990 | 1313 | 18,3 | 8,89 |
| 7 | 33,2 × 24,2 | 444 | 1030 | 23,1 | 821 | 1055 | 21,9 | 9,41 |
| 8 | 30,5 × 21,3 | 336 | 1012 | 25,5 | 789 | 963 | 26,5 | 11,3 |
| 9 | 26,2 × 19,0 | 283 | 974 | 21,4 | 644 | 798 | 26,8 | 11,9 |
| 10 | 24,3 × 17,1 | 228 | 958 | 20,6 | 580 | 671 | 30,7 | 12,7 |
| 11 | 21,7 × 15,5 | 185 | 921 | 18,5 | 504 | 595 | 31,1 | 13,5 |
| 12 | 19,8 × 13,6 | 147 | | 13,9 | 335 | 461 | 30,2 | 13,9 |
| 13 | 17,1 × 12,6 | 119 | | 11,3 | 254 | 368 | 30,7 | 12,9 |
| 14 | 16,9 × 10,7 | 95 | | 14,1 | 294 | 347 | 40,6 | 18,8 |
| 15 | 15,6 × 9,4 | 77 | | 13,2 | 268 | 352 | 37,5 | 23,1 |
| 16 | 13,2 × 8,7 | 65 | | 10,2 | 203 | 285 | 35,8 | 20,4 |
| 17 | 6,8 □ | 45 | | 9,4 | 184 | 197 | 47,7 | 21,8 |

Reihe: Raute-Raute

Werkstoff: 65 Si 7

Anlage 10 / Tabelle 19

| Kaliber | Abmessung mm × mm | Quer- schnitt mm ² | Tempe- ratur °C | Walz- kraft t | Dreh- moment mkg | Gedr. Fläche mm ² | k_w kg/mm ² | a_w mmkg/ mm ² |
|---------|----------------------|-------------------------------------|-----------------------|---------------------|------------------------|------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|
| 0 | 50 \square | 2500 | 1204 | | | | | |
| 1 | 70,0 × 51,9 | 1978 | 1178 | 25,0 | 1224 | 2892 | 8,65 | 2,49 |
| 2 | 58,5 × 45,8 | 1558 | 1137 | 29,7 | 1667 | 3005 | 9,90 | 4,30 |
| 3 | 53,0 × 41,0 | 1222 | 1092 | 32,7 | 1560 | 2193 | 14,9 | 5,12 |
| 4 | 47,0 × 35,6 | 947 | 1077 | 33,5 | 1547 | 1940 | 17,2 | 6,33 |
| 5 | 43,6 × 30,8 | 746 | 1052 | 39,1 | 1586 | 1775 | 22,0 | 8,18 |

Reihe: Raute-Raute

Werkstoff: 65 Si 7

Anlage 10 / Tabelle 20

| | | | | | | | | |
|----|---------------|------|------|------|------|------|------|------|
| 0 | 50 \square | 2500 | 1140 | | | | | |
| 1 | 71,7 × 52,2 | 1937 | 1129 | 35,2 | 1667 | 2850 | 12,3 | 3,43 |
| 2 | 58,8 × 46,0 | 1544 | 1076 | 39,7 | 2148 | 2967 | 13,3 | 5,71 |
| 3 | 53,1 × 41,1 | 1195 | 1053 | 43,0 | 1881 | 2162 | 19,8 | 6,29 |
| 4 | 47,0 × 35,6 | 940 | 1022 | 40,7 | 1736 | 1938 | 21,0 | 7,29 |
| 5 | 43,6 × 31,1 | 732 | 1005 | 42,7 | 1836 | 1743 | 24,5 | 9,61 |
| 6 | 36,7 × 27,4 | 573 | 1006 | 27,5 | 1093 | 1340 | 20,5 | 9,60 |
| 7 | 33,0 × 24,2 | 443 | 983 | 26,3 | 880 | 1049 | 25,1 | 9,91 |
| 8 | 30,4 × 21,2 | 347 | 980 | 26,8 | 811 | 938 | 28,5 | 11,9 |
| 9 | 26,0 × 19,1 | 284 | 971 | 20,3 | 606 | 785 | 25,9 | 10,9 |
| 10 | 23,8 × 17,0 | 225 | 944 | 20,5 | 557 | 668 | 30,7 | 12,4 |
| 11 | 21,7 × 15,4 | 180 | 937 | 18,5 | 492 | 591 | 31,3 | 13,4 |
| 12 | 19,7 × 13,7 | 151 | | 14,6 | 356 | 451 | 32,4 | 15,1 |
| 13 | 17,3 × 12,4 | 121 | | 11,3 | 272 | 379 | 29,8 | 14,9 |
| 14 | 17,1 × 10,8 | 96 | | 14,5 | 327 | 352 | 41,2 | 21,8 |
| 15 | 15,4 × 9,3 | 75 | | 13,3 | 303 | 350 | 38,0 | 25,8 |
| 16 | 13,2 × 8,7 | 65 | | 10,7 | 224 | 288 | 37,2 | 23,5 |
| 17 | 6,7 \square | 53 | | 8,9 | 164 | 203 | 42,5 | 22,0 |

Reihe: Raute-Raute

Werkstoff: Aluminium

Anlage 10 / Tabelle 21

| | | | | | | | | |
|---|--------------|------|-----|-----|-----|------|------|-------|
| 0 | 48 \square | 2300 | 500 | | | | | |
| 1 | 69,0 × 51,8 | 1977 | 482 | 4,5 | 205 | 2607 | 1,72 | 0,415 |
| 2 | 57,0 × 45,7 | 1566 | 458 | 6,7 | 398 | 2690 | 2,50 | 1,09 |
| 3 | 51,7 × 40,6 | 1215 | 437 | 7,2 | 339 | 2031 | 3,55 | 1,11 |
| 4 | 46,0 × 35,1 | 962 | 413 | 7,1 | 303 | 1821 | 39,0 | 1,30 |
| 5 | 45,3 × 30,4 | 726 | 390 | 8,7 | 351 | 1680 | 5,18 | 1,81 |

Table with multiple columns and rows, likely a ledger or account book.

| 1890 | 1891 | 1892 | 1893 | 1894 | 1895 | 1896 | 1897 | 1898 |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 200 | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 |
| 300 | 300 | 300 | 300 | 300 | 300 | 300 | 300 | 300 |
| 400 | 400 | 400 | 400 | 400 | 400 | 400 | 400 | 400 |
| 500 | 500 | 500 | 500 | 500 | 500 | 500 | 500 | 500 |

| 1899 | 1900 | 1901 | 1902 | 1903 | 1904 | 1905 | 1906 | 1907 |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 600 | 600 | 600 | 600 | 600 | 600 | 600 | 600 | 600 |
| 700 | 700 | 700 | 700 | 700 | 700 | 700 | 700 | 700 |
| 800 | 800 | 800 | 800 | 800 | 800 | 800 | 800 | 800 |
| 900 | 900 | 900 | 900 | 900 | 900 | 900 | 900 | 900 |
| 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 |

| 1908 | 1909 | 1910 | 1911 | 1912 | 1913 | 1914 | 1915 | 1916 |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1100 | 1100 | 1100 | 1100 | 1100 | 1100 | 1100 | 1100 | 1100 |
| 1200 | 1200 | 1200 | 1200 | 1200 | 1200 | 1200 | 1200 | 1200 |
| 1300 | 1300 | 1300 | 1300 | 1300 | 1300 | 1300 | 1300 | 1300 |
| 1400 | 1400 | 1400 | 1400 | 1400 | 1400 | 1400 | 1400 | 1400 |
| 1500 | 1500 | 1500 | 1500 | 1500 | 1500 | 1500 | 1500 | 1500 |

FREIBERGER FORSCHUNGSHEFTE

Schriftenreihe für alle Gebiete der Montanwissenschaften

Reihe B: Metallurgie

B 35 Metallkunde

Vorträge des X. Berg- und Hüttenmännischen Tages, 28.—31. Mai 1958
in Freiberg

Format 16,7 × 24 cm — 171 Seiten — 158 Bilder — 11 Tabellen — DM 15,—
Erschienen August 1959

BECHERER/BRÜMMER/MORGENSTERN: Über die Herstellung von Aluminium-Einkristallen mit vorgegebener Orientierung für punktfokussierende Röntgenmonochromatoren — WAGNER: Stapelfehler in kubisch-flächenzentrierten Metallen als Folge einer Kaltverformung bei tiefen Temperaturen — GUINIER: Mechanismus der Entstehung von Guinier-Preston-Zonen — WANTUCHOWSKI: Die Spannung im Kriechversuch von Kupferdrähten als Funktion der Deformationsgeschwindigkeit und der Querschnittsabnahme — EDER: Erholungserscheinungen an tieftemperaturverformten Metallen — BUNGE: Zur Deformationsanisotropie übersättigter Mischkristalle mit einer Anwendung auf die Ausscheidungsisoperme (Fe-Ni-Cu) — HADAMOVSKY: Studien zum Rekristallisationsverhalten von Aluminium und Aluminiumlegierungen — BECHERER/BRÜMMER/STEPHANIK: Über die Herstellung von Einkristallen aus technischem Eisen und deren Verhalten bei der Spannungsrißkorrosion — TERMINASSOW: Röntgenographische Untersuchungen des Zerstörungsmechanismus durch Dauerbruch von Eisen- und Nichteisenein- sowie -vielkristallen — DRAPAL: Die Thermodynamik der Graphitbildung in Eisenlegierungen — BARTEL/KUSS: Einige Grundlagenversuche zur Oberflächenverformung und Pittingbildung — KRAINER: Der Anlaßvorgang bei unlegiertem und niedriglegiertem Werkzeugstahl mit etwa 1% Kohlenstoff — ROSE: Die Auflösung der Karbide bei der Bildung des Austenites.

B 50 Metallkunde

Vorträge des XI. Berg- und Hüttenmännischen Tages, 21.—23. Mai 1959
in Freiberg

Format 17 × 24 cm — 188 Seiten — 155 Bilder — 28 Tabellen — DM 16,—
Erschienen Mai 1960

MARINCEK: Sprödbbruch als Grundproblem der lokalen Sicherheit von Metallkonstruktionen — PELCZYNSKI: Über die Neigung des Stahls zu Sprödbbruch — KOMAREK: Ein Beitrag zur Untersuchung der Kerbzähigkeit und des Sprödbbruchs mittels Kerbschlagproben — SZANTO: Untersuchungen der Sprödbbruchneigung mit röntgendiffraktometrischen Verfahren — NESTLER: Gedanken und Betrachtungen über den Effekt der Anlaßsprödigkeit — HOFMANN/BURAT: Beitrag zur Bestimmung der Kohäsionsfestigkeit niedrig schmelzender Metalle — RYS: Elektronenmikroskopische Untersuchung der Kohlenstoffstähle bei Wechselbeanspruchung — KLESNIL: Verfestigung und Strukturänderung im Stahl bei Wechselbeanspruchung — TERMINASSOW/MJASNIKOW: Untersuchung der Oberflächenverfestigung von Stahl durch Kugelbestrahlung mittels röntgenographischer Methoden — GILLEMOT/TÖMÖRY: Einfluß der Oberflächenbehandlung auf Ermüdung und Sprödbbruch — ERDMANN-JESNITZER/OUVRIER: Verhalten des Einlagerungselementes Kohlenstoff in Eisen bei elektrolytischer Überführung im festen Zustand im Hinblick auf Abschreck- und Reckalterung — BUNGE: Zur Frage der Oberflächenspannung in den Antiphasengrenzen geordneter Legierungen vom Typ AuCu₂ — BLAHA: Herstellung und Eigenschaften von Whiskern — WENDE: Kombinierte anorganisch-organische Konstruktionswerkstoffe — FRECHETTE/GREENE: Über den Sprödbbruch von Glas — Entwicklungsstand der Theorie des Glasbruches in den USA.

A K A D E M I E - V E R L A G · B E R L I N

FREIBERGER FORSCHUNGSHEFTE

Schriftenreihe für alle Gebiete der Montanwissenschaften

B 39

METALLKUNDE

GÜNTHER SCHNEIDER und WALTER LAUX

Über die Anwendung eines modernen elektrischen Punktzählgerätes zur mikroskopischen Korngrößenbestimmung

Format 16,7 × 24 cm — 52 Seiten — 19 Bilder — 5 Tabellen — DM 4,—

Erschienen April 1959

Es wird am Beispiel der elektrischen Integriereinrichtung ELTINOR des VEB Rathenower Optische Werke gezeigt, wie solche Punktzählgeräte zur mikroskopischen Korngrößenmessung eingesetzt werden können. Korngrößen- und Mengenanteilbestimmung — und wenn man will, auch in bestimmtem Maße Korngrößenklassierung im mikroskopischen Größenbereich — können, falls gewünscht, nebeneinander in einem differenzierten Arbeitsgang erfolgen, das sowohl für eine als auch für mehrere Komponenten gleichzeitig. Neben den eigentlichen verfahrenstechnischen Ausführungen werden ins einzelne gehende Erörterungen über Meßunsicherheiten und die Repräsentationsfähigkeit erhaltener Mittelwerte für die untersuchten Probestücke angestellt.

A K A D E M I E - V E R L A G · B E R L I N