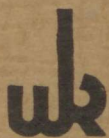
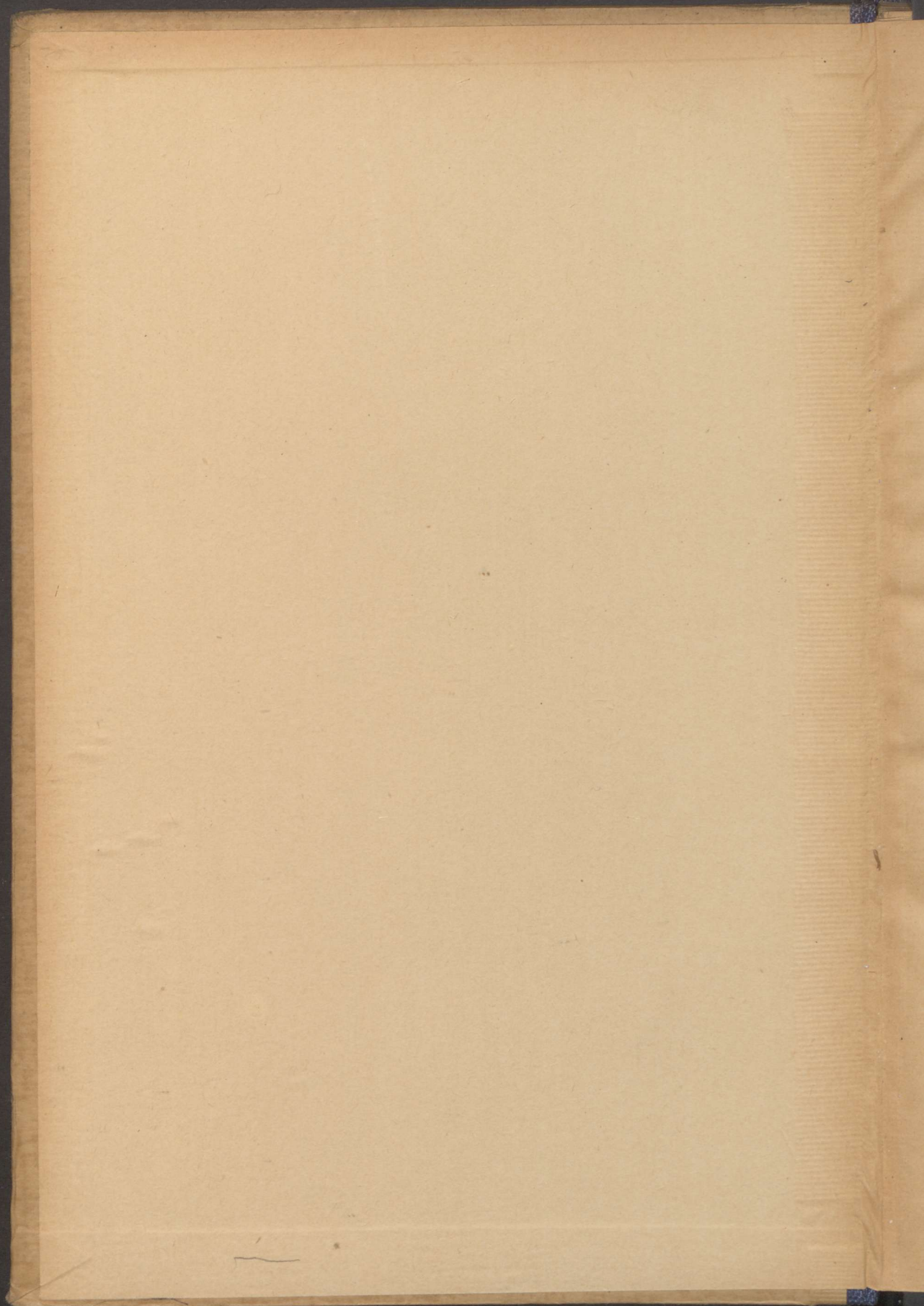


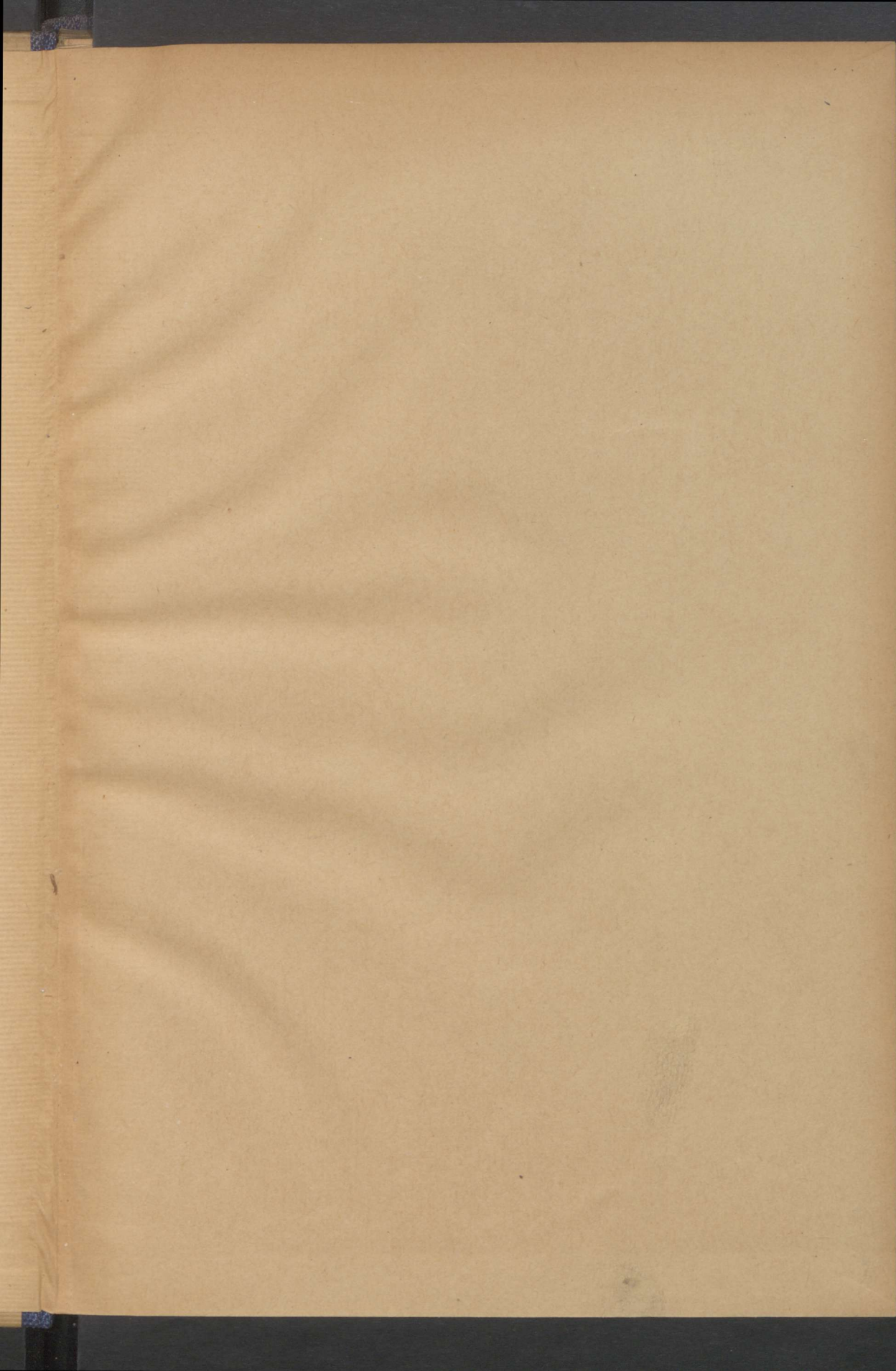
OC
24073

E. Cotel

Die Grundlagen des Walzens







1879-1955

Die Grundlagen des Walzens

Von

Prof. Dipl.-Ing. Ernst Cotel

Zweite Auflage

Mit 74 Abbildungen und 17 Zahlentafeln



VERLAG VON WILHELM KNAPP • HALLE (SAALE) 1951

Copyright 1951 by Wilhelm Knapp, Halle (Saale)

Printed in Germany 1951

OL 24073



Országos Széchényi Könyvtár
Leltári szám

B 5081 1960.

Druck: (31) Verlagsdruckerei Wilhelm Knapp, Halle (Saale), Mühlweg 19
Verlagslizenz Nr. 159 — 380/22/50

Vorwort zur ersten Auflage

Die Fachliteratur ist an selbständigen, systematischen Arbeiten im Bereich des Walzens überall ziemlich arm. Wenn die vorliegende bescheidene Arbeit zufälligerweise doch kurz nach einer außerordentlich wertvollen Bereicherung dieses Gebietes („Walzwerkswesen“, I. Bd., von J. Puppe und G. Stauber 1929) herausgegeben wird, so bedeutet dies nur so viel, daß das vorliegende Buch im Ausland bereits um zwei Jahre vor dem oben erwähnten großen Werk erschienen ist, ferner daß die Grundsätze des Walzens in der deutschen Fachliteratur — in selbständiger Arbeit — bisher noch nicht ausführlich behandelt worden waren. Diese Arbeit will keinesfalls ein Handbuch des Walzwerkswesens, sondern eine möglichst klare und einfache Bearbeitung der Grundsätze des Walzens sein. Verfasser stellt sich den Zweck seines Buches so vor, daß dieses die Arbeit der Studierenden und jüngeren Fachleute erleichtern soll, bevor sie ein großes Handbuch zu studieren hätten. Es kann daher die Handbücher nicht ersetzen und hat vielmehr die Aufgabe, den Weg der Fachbildung im Gebiet des Walzwerkswesens sicherer und einfacher zu machen.

Verfasser — bevor er Professor ward — war lange Zeit hindurch Walzwerksleiter bzw. Direktor eines Stahl- und Walzwerkes. Es wird daher sein stetes Bestreben, die Theorien des Walzvorganges mit den Ansprüchen des Walzbetriebes auch in dieser Arbeit in Einklang zu bringen, wohl verständlich sein.

Sopron (Oedenburg), März 1930.

Vorwort zur zweiten Auflage

In der neuen Auflage dieser Arbeit blieb die Mehrheit der Abschnitte beinahe unverändert bzw. erfuhren diese nur kleinere Ergänzungen. Es wurden dagegen die Abschnitte VI und VII — die Begleiterscheinungen: Längung, Breitung und Voreilung — ausgiebig ergänzt und verbessert. Es besteht nämlich die Erfahrung, daß die je gründlichere Erkenntnis dieser Erscheinungen wohl die Hauptbedingung der selbständigen Arbeit im Gebiet der Walzenkalibrierung und Betriebsführung ist.

Möge dem jungen Walzwerker auch diese zweite Auflage behilflich sein.

Budapest, Oktober 1950.

Der Verfasser.

Inhaltsverzeichnis

I. Begriff des Walzvorganges	1
II. Stoff- und Arbeitsgebiet des Walzens	3
III. Die Walzen	9
IV. Die Walzenzeichnung	13
V. Art und Wirkung des Walzdruckes	21
VI. Die Begleiterscheinungen des Walzvorganges. Längung und Breitung des gewalzten Stabes	29
VII. Das Voreilen	53
VIII. Die Grundsätze der Walzenkalibrierung	61
A) Materialfluß, allgemeine Grundlagen	62
B) Grundlagen für rechnerische und graphische Kalibrierungen	72
C) In den Walzbetrieben übliche Art der Kalibrierung	74
IX. Entwerfen der gangbarsten Walzquerschnitte	78
A) Querschnitte der Vorstreckwalzen	78
1. Vierkantkaliber (Kastenkiliber)	79
2. Spitzbogenkaliber	80
3. Spießkantkaliber (Raute, rhombisches Kaliber)	81
4. Kaliberreihe aus Quadrat - Oval - Streckkalibern	81
B) Quadrat- und Rundeisenkaliber	82
1. Quadrateisen aus freier Hand	82
2. Quadrateisen aus Führung	83
3. Rundeisen aus freier Hand	83
4. Rundeisen aus Führung	83
C) Kalibrierung des Flacheisens	84
D) Querschnitte der gangbarsten Formeisengattungen	85
1. Trägerkaliber	85
2. U-Eisen	88
3. Schienen	91
4. Winkeleisen	94
5. Kalibrierung spezieller Formeisen	97
X. Arbeitsbedarf beim Walzen	98
Literaturübersicht	113
Namen- und Sachverzeichnis	120

I. Begriff des Walzvorganges

Der allgemeine Zweck des Walzens ist die Massenerstellung verschiedenster Querschnitte aus bildsamen, meistens warmbildsamen, Metallen bzw. Legierungen durch Anwendung bildsamer Formänderung. Diese Formänderung besteht in einer bleibenden Verschiebung der Stoffteilchen ohne Unterbrechung im Zusammenhang des Stoffes.

Der allgemeine Zweck des Walzens stimmt also mit dem Zweck des Schmiedens eigentlich vollkommen überein und weicht von diesem nur in bezug auf die in der Zeiteinheit herstellbare Menge ab.

Der besondere Zweck eines einzelnen Walzstiches ist die mit planmäßiger Querschnittminderung verbundene planmäßige Formänderung verschiedenster Stabquerschnitte, welche zwischen die zusammenarbeitenden Walzen in das Kaliber eingeschoben werden¹⁾.

Der Begriff des so umschriebenen Walzvorganges besitzt bisher keine einwandfreie, in der mechanischen Technologie vollkommen begründete Bestimmung. Hieraus ergibt sich deutlich scharf der große Unterschied zwischen der hohen Entwicklungsstufe des großgewerblichen Walzwesens und der verhältnismäßig zurückgebliebenen Entwicklung der wissenschaftlichen Erforschung der Walzvorgänge. Die großgewerbliche Entwicklung des Walzwesens blickt auf weit mehr als 100 Jahre zurück — die wissenschaftliche Erforschung des Walzvorganges hingegen nur auf höchstens etwa 60 Jahre. Nachdem ein Vergleich der verschiedenen Begriffsbestimmungen für den jüngeren Walzwerker allerdings nur lehrreich sein kann, so folgen weiter unten die bekanntesten Begriffsbestimmungen, und zwar der Reihe nach, in welcher sie in der Fachliteratur erschienen sind.

P. Maringer schreibt in seinem im Jahre 1918 erschienenen Buch „Les théories du laminage à chaud“: „Das Walzen ist ein Arbeitsvorgang, der den Block zur fertigen Walzware umgestalten soll, und zwar derart, daß der erhitzte Stab zwischen zwei umlaufenden Walzen hindurchläuft.“ Diese Begriffsbestimmung kann nur als eine einfache Beschreibung des Walzens betrachtet werden und beweist deutlich die verhältnismäßig geringe Entwicklung der französischen Fachliteratur über das Walzwesen, ein Umstand, der auch im Vorwort des Ma-

1) Unter „Kaliber“ versteht man die Höhlung, welche — als Arbeitsraum bzw. Arbeitsfläche eines Stiches — derart entstand, daß ein Teil dieser Höhlung planmäßig in die eine, der übrige Teil in die andere Walze — mittels Dreharbeit — eingeschnitten wurde. (Vgl. Abschnitt IV, „Walzenzeichnung“.)

ringerschen Buches hervorgehoben wird unter gleichzeitiger Erwähnung zahlreicher deutschen Forscher dieses Gebietes.

Zur gleichen Zeit stellt Professor A. Rejtö folgendes fest²⁾: „Wenn zur Beißbeanspruchung umlaufende Walzen verwendet werden, so entsteht das Walzen. Das Walzen ist somit ein Beißvorgang, bei welchem die Beißwerkzeuge umlaufende Walzen sind.“ Diese Begriffsbestimmung des Walzvorganges ist klar, einfach und macht den Vorgang recht anschaulich.

Im Jahre 1920 beschäftigte sich auch Verfasser mit der Begriffsbestimmung des Walzvorganges³⁾ und führte aus, daß das Walzen eine entwickeltere Form des Schmiedevorganges ist, was aus der vollkommenen Gleichheit des Wesens und der Begleiterscheinungen beider Verformungsarten klar hervorgeht.

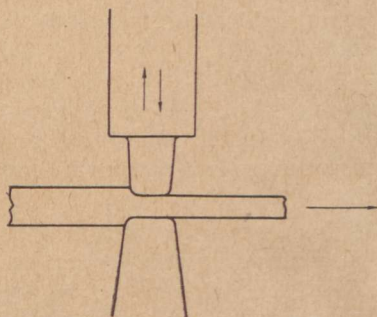


Abb. 1. Der Schmiedevorgang.

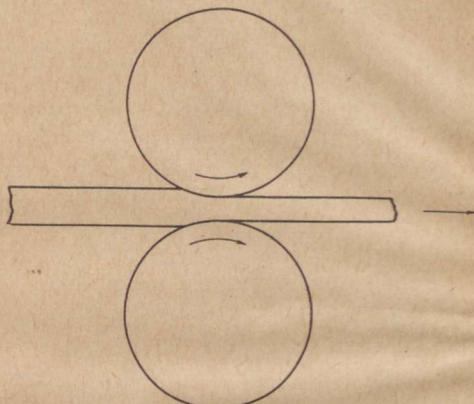


Abb. 2. Der Walzvorgang.

Der Walzvorgang drückt sich nämlich — ebenso wie der Schmiedevorgang beim Reckschmieden — in einer wesentlichen Verlängerung und in einer geringen Breitung aus. Der Walzvorgang kann somit nichts anderes als ein infolgeder umlaufenden Bewegung ununterbrochen wirkender Schmiedevorgang sein, mathematisch gesagt: ein integrierter Schmiedevorgang. Ein zwingender Beweis für die vollkommene Gleichheit des Wesens beider Verformungsarten bringt uns die Tatsache, daß die äußeren und inneren, durch Ätzung hervorgerufenen Fließfiguren bzw. Verdrängungsfiguren gewalzter und geschmiedeter (gestreckter) Stäbe vollkommen gleich sind (vgl. Abschnitt V). Die vollkommene Gleichheit der Beanspruchung des geschmiedeten und gewalzten Stabes ist aus den Abb. 1 u. 2 ersichtlich.

Es kommt noch immer wieder vor, daß das Walzverfahren auch mit dem Ziehprozeß erläutert wird, obwohl schon Fink den

2) A. Rejtö, Mechanische Technologie, II. Bd., Budapest 1918. Deutsche Ausgabe: Einige Prinzipien der theoretisch-mechanischen Technologie der Metalle, VDI-Verlag, Berlin 1927, S. 345—360.

3) E. Cotel, Über die Grundsätze der neuzeitlichen Walztechnik: „Montan. Rundschau“, Wien 1920, Nr. 20.

grundsätzlichen Unterschied zwischen Walzen und Ziehen festgestellt hatte ⁴⁾).

Bei dieser Gelegenheit kann auf folgende Unterschiede zwischen Walzen und Ziehen hingewiesen werden:

1. Verformungsart bzw. Verformungswerkzeuge der Zieh- und Walzvorgänge weichen voneinander grundsätzlich und tiefgreifend ab.

2. Bei dem Walzvorgang entsteht im allgemeinen eine Verdichtung des Werkstoffes, beim Ziehvorgang hingegen eine Zerrung.

3. Die Stoffteilchen des richtig gewalzten Stabes gleiten aufeinander ab, was bei der Verformungsart des Ziehvorganges meist nicht möglich ist, daher die Zerrung des gezogenen Stabstoffes!

4. Das Kleingefüge des Stabstoffes ändert sich ebenfalls mit der Verformungsart der in Rede stehenden zwei Vorgänge. Die Gestalt der Stoffteilchen bleibt beim Walzen unverändert, beim Ziehen werden sie meist gestreckt.

Früher hat man den Walzvorgang auch mit dem Preßverfahren verglichen, obwohl das Pressen vom Walzen ganz grundverschieden ist. Der Grund dieses Vergleiches war die Annahme, daß der bildsame Stoff von dem vorstehenden Teil der einen Walze in die Vertiefung der anderen Walze hineingepreßt werde, was in der Tat nicht der Fall ist. Der grundsätzliche Unterschied zwischen dem Walz- und Preßvorgang besteht darin, daß die Stoffteilchen beim Pressen nach allen Richtungen frei ausweichen können, bei dem Walzvorgang hingegen, von der geringen Breitung abgesehen, nur in der Längsrichtung des Walzstabes. Trotz des gänzlich unrichtigen Vergleiches des Walzvorganges mit dem Preßverfahren ist es noch heute üblich, die mit vorwiegend vorstehenden, stärkeren Kaliberteilen versehene Walze als Patrizwalze und die mit vertieften Kaliberteilen bearbeitete als Matrizwalze zu bezeichnen. Trotz dieser allgemein üblichen Benennung von Walzen der zusammenarbeitenden Walzenpaare besteht die Tatsache des grundsätzlichen Unterschiedes zwischen Walzen und Pressen unverändert.

II. Stoff und Arbeitsgebiet des Walzens

Walzbar sind alle jene bildsamen Stoffe der Eisen- und Nichteisenlegierungen und reiner Metalle, welche sich in den Temperaturgrenzen des Walzvorganges im Zustand der wirklichen und unbeschränkten Schmiedbarkeit befinden. In dem eisenhütten-technischen Walzwesen z. B. können nicht alle Gattungen des „theoretisch“ schmiedbar genannten Stahles, d. h. nicht alle Gattungen der Stähle mit höchstens 1,7 % Kohlenstoffgehalt, als Werkstoffe der Walzwerke dienen, da ein Stahl den Bedingungen der unbeschränkten Schmiedbarkeit nur mit einem bedeutend unter 1,7 % liegenden Kohlenstoffgehalt entsprechen kann. Die Walzbarkeit bedingt eine sehr starke Verschiebung der Stoffteilchen und die größte Geschwindigkeit der

4) Karl Fink, „Theorie der Walzarbeit“, „Zeitschr. f. d. Berg-, Hütten- u. Salinenw.“, Berlin 1874.

Verformung. In den Stahlwalzwerken können daher regelmäßig nur Stähle mit größter Warmbildsamkeit verarbeitet werden⁵⁾.

Der höchste Kohlenstoffgehalt, bei welchem die Kohlenstoffstähle noch unbeschränkt und regelrecht walzbar sind, beträgt 0,95 %, also rund 1 %, d. h.: man kann zu den zusammengesetzteren Querschnittsformen mit gutem Erfolg nur solche Stähle walzen, in deren Gefüge Zementit bei keiner Temperatur der Verformung, also auch nicht im Fall einer Abkühlung bis zu der eutektoiden Linie, erscheinen kann. Der Bedingung der unbeschränkten Walzbarkeit entsprechen daher nur Stähle, welche höchstens einen Kohlenstoffgehalt des reinen Perlitgefüges enthalten⁶⁾.

Nachdem jedoch eigentlich der ganze Bereich der festen Lösung jenes Arbeitsfeld ist, im welchen sich sämtliche Vorgänge der warmbildsamen Verformungsarten, also auch diejenigen des Walzverfahrens, abspielen⁷⁾, so müssen selbstverständlich bei Verwendung besonderer Walzverfahren und entsprechender Vorsicht bzw. genügender praktischer Erfahrung auch Stähle mit mehr als 1 % Kohlenstoffgehalt walzbar sein, wenn auch nur in beschränktem Maße. Aber selbst diese beschränkte Walzbarkeit bleibt ziemlich tief unter der theoretischen Kohlenstoffgrenze des schmiedbaren Eisens von 1,7 % und reicht auch in diesen besonderen Fällen höchstens bis zu einem Kohlenstoffgehalt von rund 1,3 %⁸⁾.

Die Schmiedbarkeit und Walzbarkeit werden auch von anderen Begleitelementen wesentlich beeinflusst. Mit W und hauptsächlich mit Ni legierte Stähle z. B. zeigen erhöhte Warmbildsamkeit bzw. kleineren Widerstand gegen Warmverformung. Die Begleitelemente S, O, As und Cu dagegen rufen eine Verschlechterung im Formveränderungsvermögen des Stahles hervor und können im äußersten Fall den betreffenden Stahl derart rotbrüchig machen, daß die Walzbarkeit eines solchen Stahles vollkommen vernichtet wird⁹⁾.

Da der Widerstand des Werkstoffes gegen Verformung mit der Geschwindigkeit des Verformungsvorganges wächst, so ist es ratsam, härtere, höher gekohlte Stähle mit hoher Festigkeit und niedriger Dehnung unter Anwendung kleinerer Querschnittsvermindierungen und geringerer Walzgeschwindigkeit zu walzen.

Aus dem bisher Gesagten folgt und wird auch von der allgemeinen technischen Erfahrung bestätigt, daß der allgemein verwendbare Werkstoff des eisenhüttentechnischen, also des wichtigsten Teiles des Walzwesens in den Stählen gegeben ist, in welchen der Kohlenstoffgehalt werden, wie bereits erwähnt, nur für ganz besondere

5) E. Cotel, Der Siemens-Martin-Ofen, Verlag Otto Spamer, Leipzig 1927, S. 129.

6) E. Cotel, „Die Grenze der Warmbildsamkeit des Stahles“, „Zeitschr. f. d. Berg-, Hütten- u. Salinenw.“, Berlin 1925, Bd. 73, ferner E. Cotel, „Limite de la malléabilité à chaud de l'acier“, „Revue Univ. d. Mines“, Bruxelles 1926, Heft 1.

7) Dr. P. Oberhoffer, Das technische Eisen, II. Aufl., Berlin 1925, S. 399 bis 400, und Dr. G. Mars, Die Spezialstähle, II. Aufl., S. 109.

8) Vgl. oben erwähnte Arbeiten von Verfasser, ferner Dr. M. von Schwarz, Eisenhüttenkunde, Verlag W. d. Gruyter, Berlin, II. Bd., S. 11.

9) Werkstoffhandbuch Stahl und Eisen, 1927, E. I. 2.

Zwecke und unter Anwendung besonderer Walzverfahren (Rasierklängen usw.) ausgewalzt. So ist z. B. auch in der „Eisenhütte“¹⁰⁾ Kohlenstoffgehalt 1% nicht überschreitet. Die Stähle mit 1,0 — 1,3% eine Zusammenstellung der gewerblichen bzw. technischen Walzwaren zu finden, und obwohl sie recht ausgedehnt ist, bleibt der höchste Kohlenstoffgehalt der angeführten härtesten Walzwaren unter 1% (siehe Zahlentafel 1). Die der „Hütte“ entnommene Zahlentafel wurde, unseren Zwecken angepaßt, stark vereinfacht.

Zahlentafel 1

Zusammenstellung der gangbarsten Walzerzeugnisse aus Kohlenstoffstahl

C-Gehalt %	Festigkeit kg/mm ²	Dehnung %	Verwendung
0,06	34—35	30—34	Draht, Fein- und Stanzbleche, Rohre, Nieteisen, Ketten
0,09	35—37	30—32	Bleche, Stabeisen, Draht, Drahtstifte, Bandeisen
0,12	38—40	28—30	Wie in voriger Reihe. Ferner: Bau- stahl, Handelseisen, Kesselbleche
0,16	40—42	28	Unterlagsplatten, Schrauben, Kessel- bleche, Schaufel
0,20	47	26	Schwellen, Achsen, Schmiedestücke, Gabe n
0,25	52	24	Achsen, Radreifen, Gubenschienen
0,35	60	20	Schienen, Radreifen, Pflugschare
0,45	70	16	Schienen, Hämmer, Sensen, Hacken, Scherenmesser, Federn
0,55	78	12	Straßenbahnschienen, Kaltmeißel, Sensen, Seildraht
0,65	87	9	Geschosse, Gewehrläufe, Sägebleche, Gesteinsbohrer
0,75	96	6	Geschosse, selbsthärtende Werkzeuge, Feilen
0,80	100—105	1—5	Meißel, Feilen, Kugeln für Kugelmöhlen, Regenschirmdraht

Diese Zahlentafel, welche sämtliche wichtigeren gewalzten Stahl-erzeugnisse umfaßt, stellt nicht nur einen Beweis dafür dar, daß die obere Grenze der unbeschränkten Walzbarkeit bei rund 0,8% C-Gehalt liegt, sondern sie zeigt auch, daß das Walzen des schmiedbaren Eisens mit mehr als 0,8% C nur ausnahmsweise in Frage kommen kann. Nach unten gibt es bezüglich des C-Gehaltes keine Grenze; je weicher bzw. C-ärmer der Stahl und überhaupt je ärmer er an Begleitelementen ist, desto leichter und mit desto weniger Gefahr läßt er sich walzen. In den Stahlgattungen des verbreitetsten Stahlherstellungsverfahrens, des Siemens-Martin-Verfahrens, beträgt der in der Regel erreichbare niedrigste C-Gehalt ungefähr 0,05%¹¹⁾.

10) „Hütte“, Taschenb. f. Eisenhüttenl., IV. Aufl., S. 735.

11) Die Erzeugnisse jeglicher Art der Flußeisenerzeugung, seien sie noch so weich, an C noch so arm, müssen nach der allein richtigen und zweckmäßigen neueren Benennung ausnahmslos Stahl genannt werden. Kommt in dieser Arbeit hier und da doch „Eisen“ vor, so geschieht dies nur mit verallgemeinernder, keinesfalls aber mit der Absicht, den Werkstoff oder seine Eigenschaften näher zu bezeichnen.

Den in der Zahlentafel 1 angegebenen C-Werten entsprechen, wie man sieht, genau abgegrenzte Festigkeitswerte. Da die Festigkeit außer vom C-Gehalt auch vom Mn-, Si- und P-Gehalt des Stahles beeinflusst wird, so wird in Wirklichkeit einem bestimmten C-Gehalt nicht immer genau dieselbe Festigkeit und Dehnung entsprechen, welche in der Zahlentafel angegeben ist. Der Unterschied ist jedoch erfahrungsgemäß ganz unbedeutend, so daß die Zahlentafel für den Walzbetrieb voll-

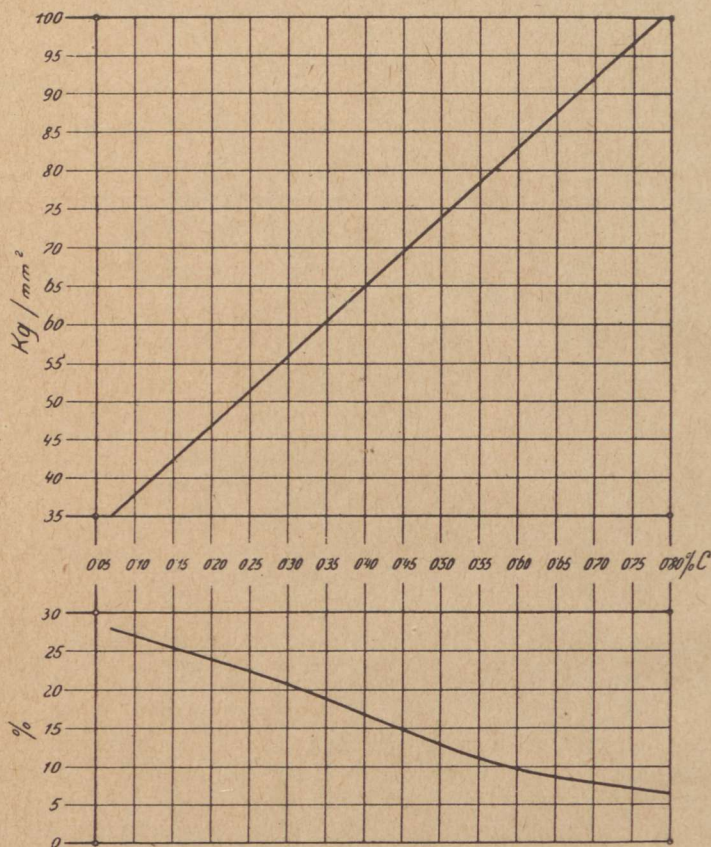


Abb. 3. Festigkeits- und Dehnungsschaubild gewalzter Stähle.

ständig ausreicht. Die Bestimmung der den zwischenliegenden C-Gehalten entsprechenden Festigkeit und Dehnung ist einfach. Die zwischenliegenden Werte kann man ohne Berechnung dem vom Verfasser auf Grund von mehr als 600 Zerreißversuchen an gewalzten Waren zusammengestellten Festigkeits- und Dehnungs-Schaubild Abb. 3 entnehmen. Dieses Schaubild hat sich seit 1915 stets sehr gut bewährt¹²⁾.

Da das Stahlwerk so genau abgegrenzte Vorschriften für den C-Gehalt nicht annimmt und auch nicht annehmen kann, so muß das Walz-

12) Dieses Schaubild Abb. 3 erschien auch im Buch „Der Siemens-Martin-Ofen“ des Verfassers auf Seite 132; es wird auf die dort abgedruckten weiteren Bemerkungen verwiesen.

werk seine Stoffe mit einem gewissen Spielraum bezüglich des C-Gehaltes bestellen. Es ist fast allgemein üblich geworden, die für das Walzwerk bestimmten ganz weichen Stahlgattungen mit einem C-Spielraum von 0,05 %, die härteren Stähle mit einem solchen von 0,1 % zu bestellen.

Bei Stahlbestellungen muß also sozusagen immer ein Spielraum bezüglich des C-Gehaltes von rund 0,10 % oder aber eine Spanne für die Festigkeit von 10 kg ausbedungen werden. Dieser Spielraum wurde während des Krieges und seither von sämtlichen stahlverarbeitenden Unternehmungen angenommen; dadurch wurde die Aufgabe der Stahlwerke leichter und ihre Arbeit sicherer. Bestellt also eine stahlverarbeitende Maschinenfabrik oder ein Preßwerk Walzstäbe mit einem C-Gehalt von z. B. 0,35 % oder mit einer Festigkeit von 60 kg, so muß bei der Bestätigung der Bestellung ein Kohlenstoffgehalt von 0,30 bis 0,40 % bzw. eine Festigkeit von 55 bis 65 kg ausbedungen werden.

Das Walzen geschieht im glühenden Zustand des schmiedbaren Eisens bzw. Stahles. Es ist deshalb notwendig, auch die physikalischen Eigenschaften des in glühendem Zustand befindlichen Stahles zu berücksichtigen. Der Walzvorgang spielt sich zwischen den Temperaturgrenzen von etwa 1300 und 900 ° C ab. Nach Möglichkeit muß also das Walzen bei der höchsten Temperatur begonnen werden, welche der zu verwalzende Stoff zu ertragen vermag, während bei Temperaturen unterhalb 900 ° C nur dann gewalzt wird, wenn die Temperatur des in Bearbeitung befindlichen Walzgutes während des Walzvorganges so tief gesunken ist. Die Beendigung des Walzens bei höherer Temperatur ist jedoch nicht nur deshalb wünschenswert, weil die Bildsamkeit des Stahles, diese Grundbedingung des folgerichtigen Walzens, bei höheren Temperaturen viel größer ist, sondern auch deshalb, weil das Walzen bei niedrigeren Temperaturen viel größeren Kraftaufwand erfordert, das abgekühlte Eisen die Kaliber sehr schnell zerstört, ferner weil in den unter 900 ° C abgekühlten Walzstäben oft starke Spannungen entstehen, da der Werkstoff die erforderliche Bildsamkeit infolge der Abkühlung schon größtenteils verloren hat.

Nach Geuze und Riedel bewegen sich die Festigkeitswerte des glühenden Stahles zwischen ungefähr 2,0 und 10,0 kg/mm². Sie sind von 50 zu 50 ° in der Zahlentafel 2 zusammengestellt¹³⁾.

Zahlentafel 2
Festigkeitswerte des glühenden Stahles

Wärmegrad °C	Zugfestigkeit kg/mm ²	Druckfestigkeit kg/mm ²
800	—	10,3
850	8,50—11,25	—
900	7,94—10,50	8,1
950	6,96—9,20	—
1000	5,75—7,60	6,1
1050	4,45—5,95	—
1100	3,30—4,40	4,4
1150	2,30—3,10	—
1200	1,55—2,08	3,0
über 1200	—	2,0

13) „Hütte“, Taschenb. f. Eisenhüttenl., III. Aufl., S. 732.

Aus Zahlentafel 2 ergibt sich, daß bei der unteren Temperaturgrenze des Walzens die (Druck-) Festigkeit des glühenden Stahles rund fünfmal so groß ist als bei der oberen Temperaturgrenze, so daß der Beginn des Walzens und seine möglichst rasche Beendigung bei erreichbar höchster Temperatur unbedingt wünschenswert, ja sogar notwendig ist, wie dies bereits hervorgehoben wurde.

Die mit fallender Temperatur rasch zunehmende Druckfestigkeit des schmiedbaren Eisens, also der zunehmende Kraftbedarf und die abnehmende Bildsamkeit, bilden den Grund und zugleich die Erklärung jener Walzregel, daß die Werte der Querschnittsvermindierungen der aufeinander folgenden Stiche in entsprechendem Maße ebenfalls stufenweise zu verkleinern sind.

Was den Arbeitsbereich, das Arbeitsprogramm des eisengewerblichen Walzwesens anbelangt, so hat dessen Ausdehnung in den letzten Jahrzehnten bedeutend zugenommen und zeigt auch heute eine stets steigende Richtung.

Der Arbeitsbereich des Walzwesens kann nicht genau abgegrenzt werden. Zwei praktische Gesichtspunkte müssen aber in dieser Hinsicht allerdings maßgebend sein. Der eine ist der Gesichtspunkt der Wettbewerbsfähigkeit, auf Grund dessen man jedes Profil walzen können muß, das infolge seiner Gangbarkeit im Eisenhandel bereits eingeführt ist und dort dauernd in entsprechend großen Mengen verlangt wird; der andere Gesichtspunkt ist, daß ein Walzwerk bei dem starken Wettbewerb nur in dem Fall zielbewußtes Vorgehen zeigt, wenn es auch solche Querschnitte herstellen kann, welche von den übrigen Werken nicht erzeugt werden können oder an deren Einführung sie nicht gedacht haben. Hierzu muß der Walzwerksleiter bzw. der Walzwerksingenieur die Anforderungen des Eisenhandels bzw. diejenigen der stahlverarbeitenden Gewerbe gründlich kennen. Der Walzwerker muß ferner guter Kenner des Stahlwerksbetriebes, insbesondere seiner Leistungsfähigkeit bezüglich der Stahlbeschaffenheit, sowie schließlich der Abnahmebedingungen der fertigen Walzerzeugnisse sein.

Um bezüglich der Querschnittsform der Walzbarkeit doch eine Abgrenzung zu geben, so kann man sagen, daß alle jene „Profile“ walzbar sind, deren Querschnitt in die Körper der miteinander arbeitenden beiden Walzen derart eingedreht werden kann, daß der entsprechend vorbereitete Stab von den Walzen in die so entstandene Aushöhlung (das Kaliber) der Walzen hineingezogen und — infolge des Durchganges — gemäß der Kaliberumrisse entsprechend verformt werden kann, und zwar ohne Überschuß und ohne Mängel. Diese Feststellung macht scheinbar weitere Erläuterungen notwendig. Es ist jedoch gewiß, daß, wer sich die beiden zusammenarbeitenden Walzen und die in sie eingedrehten Kaliberteile richtig vorstellt, bald sicher bestimmen kann, welche Querschnittsformen nicht walzbar sind. Es ist selbstverständlich, daß ein walzbarer Querschnitt (richtiger: die Kaliber desselben) an den senkrechten oder nahezu senkrechten Grenzlinien keine Ver-

tiefungen oder hervorspringenden Stellen haben darf, da solche Querschnittsformen in den Walzenkörper nicht eingedreht werden können, schon weil die Stoffverdrängung beim Walzen eine Ausbildung bzw. Ausfüllung solcher Vertiefungen und Erhöhungen unmöglich macht. Ein Beispiel dafür ist das Walzen der sogenannten Rillen- oder Phoenix-Schiene, wo die Ausbildung der Rille nur durch Anwendung einer sich um eine senkrechte Achse drehenden Hilfswalze ermöglicht wird.

Außer diesem technischen Gesichtspunkt der Walzbarkeit spielt auch die Frage der Wirtschaftlichkeit eine wichtige Rolle. Es lohnt sich nämlich nur, solche Profile in das Walzprogramm aufzunehmen, deren Einrichtung (Walzen, Führung usw.) sich möglichst schnell bezahlt macht, worauf man nur dann Aussicht hat, wenn das betreffende Profil vom Markt in größeren oder kleineren Mengen ständig verlangt wird. Es lassen sich also viele, sonst zum Walzen geeignete Profile vorstellen, die der Bedingung der Wirtschaftlichkeit nicht entsprechen.

Die Grundlage des Walzbetriebes bilden die Träger, Bauprofile, Gruben- und Eisenbahnschienen, Schwellen und Handelsstabeisen. Diese in wettbewerbsfähiger Ausführung und für einen wettbewerbsfähigen Preis herzustellen, ist die „conditio sine qua non“ des Walzens. Kann ein Walzwerk außer diesen noch gut lohnende, besondere neuzeitliche Querschnittsformen genau und wirtschaftlich herstellen, so ist dies stets ein Beweis für die Geschicklichkeit der Walzwerksleitung.

Der stets schwerer werdende wirtschaftliche Wettlauf der heutigen Zeit mahnt die Walzwerke nachdrücklich daran, den Rahmen ihres Walzprogrammes möglichst eng zu halten. Es ist nicht zu bezweifeln, daß die Wirtschaftlichkeit eines Walzwerkes in erster Linie davon abhängt, ob es von zahlreichen Profilen kleine Mengen herzustellen gewungen oder ob es in der Lage ist, von wenigen Querschnittsformen große Mengen zu walzen. Der letzte Fall wird nicht nur häufigen Walzenwechsel ersparen, sondern auch eine technische und wirtschaftliche Vervollkommenung der verschiedenen Walzverfahren im Gefolge haben.

III. Die Walzen

Die Beschreibung und Bemessung der Einrichtungen von Walzwerken gehört in den Bereich der Hüttenmaschinenkunde, weshalb über diese in der vorliegenden Arbeit nicht viel gesagt wird. Es könnte aus denselben Gründen vielleicht auch die Besprechung der Walzen vermieden werden; es scheint jedoch zweckmäßig, auf diesen entscheidend wichtigen Bestandteil der Walzwerke auch hier etwas näher einzugehen. In wichtigen Dingen ist es immer gut, wenn der junge Fachmann mehrere Ansichten kennt, um ihn zum Denken und selbständigen Handeln zu veranlassen.

Es gibt Aufgaben im Walzwesen, für welche nur Stahlwalzen verwendet werden können, andere, die gußeiserne Walzen verlangen. Schließlich gibt es sehr viele Walzerzeugnisse, für welche stählerne und gußeiserne Walzen gleich gut geeignet sind.

Man nimmt im allgemeinen zu gröberen Walzarbeiten, für Vorstreckwalzen, große Drücke, für Walzen mit tiefen Einschnitten und großen Abmessungen gewöhnlich **Stahlgußwalzen**, zu allen übrigen Walzarbeiten gewöhnlich **gußeiserne Walzen**. Die Erklärung dieses Grundsatzes besteht darin, daß die Stahlwalze infolge ihrer viel höheren Festigkeit, besonders aber infolge ihrer größeren Dehnung bzw. Zähigkeit zur Aufnahme größter Walzdrücke geeignet ist, während die gußeiserne Walze diesen hohen Beanspruchungen nicht gewachsen ist. Andererseits ist jedoch die Stahlgußwalze in der Regel nur zu gröberen Arbeiten geeignet, da der Stahl, der bis zu einem gewissen Grad auch im kalten Zustand bildsam ist, von den abgekühlten und daher fester gewordenen Stäben Eindrücke erleidet und den bei hoher Temperatur gewalzten Stäben gegenüber eine gewisse Neigung zum Schweißen zeigt, so daß die Oberfläche der Stahlgußwalze in ungehärtetem Zustand in verhältnismäßig kurzer Zeit rau und narbig wird, so daß auch die darauf gewalzte Ware mit rauher Oberfläche herauskommt.

Die Walzen können in Hinsicht auf ihren Stoff und auf ihre Herstellungsweise in folgende Gruppen eingeteilt werden:

- | | |
|------------------------|---|
| 1. Gußeiserne Walzen | { a) gewöhnliche Graugußwalzen,
b) halbharte Walzen,
c) Hartgußwalzen, |
| 2. Stahlwalzen | { d) Stahlgußwalzen,
e) geschmiedete Stahlwalzen,
f) gehärtete Stahlwalzen. |

Der größte Teil der Handelsstabeisen und die leichteren Walzprofile werden in der Regel auf gußeisernen Walzen hergestellt, die schwereren Querschnitte in dem einen Walzwerk auf gußeisernen, im anderen hingegen auf Stahlwalzen erzeugt. Die größeren Vorstreckwalzen und Blockwalzen sind fast ausschließlich Stahl- bzw. Stahlgußwalzen. Die Entscheidung darüber, ob Stahl- oder Graugußwalzen bei den einzelnen Walzarbeiten zu verwenden seien, kann nach dem oben Gesagten auf keine Schwierigkeiten mehr stoßen. Die Frage des Walzenstoffes muß auch der Anfänger richtig entscheiden können. Hier können keine allgemein gültigen starren Grundsätze aufgestellt werden, da die Frage des Walzenstoffes — abgesehen von der unerläßlichen Voraussetzung der sauberen Oberfläche des fertigen Walzgutes — in erster Reihe eine betriebswirtschaftliche Frage ist. Es kann nicht selten beobachtet werden, daß von einem Walzwerk Stahlwalzen mit einwandfreiem technischem und wirtschaftlichem Erfolg zu einem Zweck angewendet werden, zu dem von einem anderen Walzwerk gußeiserne Walzen mit ebenfalls gutem Erfolg angewendet werden. In Hinsicht auf die Auswahl des Werkstoffes der Walze ist also nicht so sehr ein Grundsatz, sondern vielmehr der Umstand maßgebend, inwieweit das Walzwerk stählerne oder gußeiserne Walzen in besserer Beschaffenheit und zu günstigeren Preisen beschaffen kann. Das Walzwerk verwendet aus mehreren Gründen stets gern im eigenen Betrieb hergestellte Walzen. Man kann jedoch in dieser Hinsicht niemals genügend vorsichtig sein. Sind die in eigener Gießerei gegossenen Walzen nicht ganz einwandfrei, so können diese den teureren, jedoch besseren Walzen fremder Herkunft

gegenüber niemals billig genug sein. Die Verwendung von Walzen bester Beschaffenheit ist um so mehr dringend zu empfehlen, als die etwaige Unzulänglichkeit des Stoffes der verwendeten Walzen ihre nachteilige Wirkung nicht nur in den Gesteungskosten, sondern auch auf der Oberfläche des gewalzten Gutes ausüben wird.

Was nun die chemische Zusammensetzung des Walzenwerkstoffes anbelangt, so lassen sich allgemein gültige Regeln nicht aufstellen; es ist aber zweckmäßig, gewisse Grenzen nicht zu überschreiten.

Als Stoff der gewöhnlichen Graugußwalzen hat sich ein Gußeisen folgender Zusammensetzung gut bewährt:

C	2,6 — 2,85 %,
Mn	0,7 — 0,90 %,
Si	0,5 — 0,90 %,
P	unter 0,5 %.

Es ist wichtig, den Si-Gehalt innerhalb des obigen Spielraumes möglichst niedrig zu halten, um eine glatte und dichte Oberfläche der bearbeiteten Walze und damit glatte und saubere Oberflächen der Fertigware zu sichern. Bei niedrigem Si-Gehalt und einer glatten und dichten Oberfläche wird auch die Abnutzung der Walze entsprechend kleiner. Die besten Walzen werden in der Regel aus dem Flammofen gegossen¹⁴⁾.

Die halbharten Walzen werden in mit Lehm ausgeschmierten Eisenformen gegossen und hauptsächlich zum Auswalzen von Formeisen auf Feinstrecken verwendet, die Hartgußwalzen meist zu den Fertigstichen der Flacheisenstäbe und insbesondere zum Walzen von Blechen.

Der Werkstoff der Stahlwalzen für Fertigwalzwerke enthält in der Regel 0,6 — 0,8 % C. Der C-Gehalt der Blockwalzen soll möglichst unter 0,45 — 0,50 % bleiben, da der C-reichere Stahl der Blockwalzen infolge der Einwirkung des Kühlwassers oder der Kühlluft viel leichter und rascher Risse erhält. Geschmiedete Stahlwalzen werden nur ausnahmsweise, und zwar dann verwendet, wenn das Verhältnis des Walzdruckes und des Walzendurchmessers besonders ungünstig ist. Gehärtete Stahlwalzen benutzt man zum Kaltwalzen.

Man kann nicht oft genug betonen, daß der Walzwerksingenieur über sämtliche Walzen seiner Straßen, also über sein ganzes Walzenlager bzw. seinen Walzenvorrat, ein nach Walzenstraßen geordnetes Walzenstammbuch führt. In diesem hat jede einzelne Walze ein eigenes Stammbblatt. Die Angaben eines solchen Stammbblattes sind z. B. folgende:

1. Name der Walzengießerei;
2. chemische Analyse der Walze;
3. Durchmesser der Walze, stets in demselben Kaliber gemessen;
4. das Gewicht der auf der Walze zwischen zwei aufeinanderfolgenden Nachdrehungen erzeugten Warenmenge;
5. Zeitpunkt und Ursachen von Zapfenbrüchen, Zeitpunkt und Art des Zapfenschweißens und andere ähnliche Angaben.

¹⁴⁾ B. Osann, Lehrb. d. Eisen- u. Stahlgießerei, V. Aufl., W. Engelmann, Leipzig 1922, S. 160.

Für die Blätter des Walzenstammbuches kann eine Einteilung nach Zahlentafel 3 benutzt werden. Jeder Walzwerksleiter kann sich danach hinsichtlich der günstigsten chemischen Zusammensetzung und der zuverlässigsten Walzengießereien bald ein ganz klares Bild machen. Ein solches Stammbuch zeigt auch, in welchem Maße der Walzendurchmesser abnimmt, so daß sich die Neuanschaffung von Walzen notwendig macht. Sicher ist die Walze die beste, mit welcher die größte

Zahlentafel 3

Stammbblatt der Walzen

Benennung der Walze:

Stoff der Walze:

Gewicht der Walze:

Zeichen der Walze	Firma der Walzengießerei	Chemische Analyse					Durch- messer im Kaliber mm	Beim letzten Einbau gewalzt t	Anmerkung
		%							
		C	Mn	Si	S	P			

Menge einwandfreies Walzgut mit der geringsten Nachdrehung, also der kleinsten Verminderung des Durchmessers, erzeugt wird. Dieser Forderung kann nur ein dichter, möglichst porenfreier Walzenwerkstoff mit glatter Oberfläche und mit gleichmäßigem Gefüge entsprechen, worauf bereits vorher hingewiesen wurde.

Die Bearbeitung, das Abdrehen der Walzen in gewissen zeitlichen Abständen, ist eine der wichtigsten Aufgaben des Walzwerkes; eben darum ist es durchaus unrichtig, wenn die Walzendreherei nicht zum Walzwerk gehört. Lassen die Platzverhältnisse eine Vereinigung der Walzendreherei mit dem Walzwerk nicht zu, liegen die Betriebe sogar weit voneinander entfernt, so soll wenigstens die Walzenabteilung der Dreherei der unmittelbaren Leitung des Walzwerksleiters unterstehen. Es ist unrichtig, sehr schwere Walzen von ihrem Gerüst auf größere Entfernungen zum Nachdrehen oder Schleifen zu bewegen; vielmehr muß auf geringe Entfernung zwischen Gerüsten und Werkzeugmaschine gesehen werden. Das Walzenlager soll übersichtlich und so angelegt sein, daß die Walzen darin mit wenig Handarbeit und vollkommen gefahrlos behandelt werden können.

Bezüglich der Walzenabmessungen soll auf die Angaben der Eisenhütte hingewiesen werden. Es schien aber dennoch zweckmäßig, in Zahlentafel 4 die bewährten Walzenabmessungen einiger Walzenstraßen zusammenzustellen.

Zahlentafel 4

Bewährte Walzenabmessungen einiger Walzenstraßen
(in Millimeter)

Straße	Benennung	Ballen-		Laufzapfen-		Kuppelzapfen-	
		länge	durch- messer	länge	durch- messer	länge	durch- messer
Grob	Blockwalze	2500	900	450	480	290	450
	Umkehr-Fertigwalze	2000	770	400	400	250	380
Mittel	Trio-Vorwalze	1800	600	310 u. 360	340	200	320
	Polierwalze	600	470	250	250	170	235
	Fertigwalze	1100	—	—	—	—	—
		1200	470	250	250	170	235
		1250	—	—	—	—	—
		1400	—	—	—	—	—
Fein	I. Trio-Vorwalze	1300	530	250 u. 310	265	200	235
	II. Trio-Vorwalze	1150	400	190	220	130	192
	Polierwalze	500	280	170	156	120	150
	Fertigwalze	500	280	170	156	120	150
		800	—	—	—	—	—

IV. Die Walzenzeichnung

Die Walzenzeichnung ist nicht eine Darstellung einer einzelnen Walze, sondern eine eigenartig ausgeführte gemeinsame Vorderansicht der in demselben Gerüst miteinander arbeitenden sämtlichen Walzen. Die Walzenzeichnung stellt also im Fall von Duowalzen zwei, im Fall von Triowalzen drei und im Fall von Doppel-Duowalzen vier Walzen in gemeinsamer Vorderansicht dar. Die Walzenzeichnung wird zum Teil für die Walzengießerei, hauptsächlich aber für die Walzendreherei angefertigt. Die Walzenzeichnung hat demnach keine weiteren Angaben zu enthalten als sämtliche Durchmesser des Walzenballens, Querschnitte und Abmessungen der Walzenringe und der diesen entsprechenden Vertiefungen, sowie die Umrisse sämtlicher Kaliber bzw. Kaliberteile in jeder Walze. Da es sich aber in diesem Fall um einen Körper mit kreisrundem Querschnitt handelt, so können sämtliche Abmessungen in einer einzigen Vorderansicht angegeben werden, zumal da in der Walzenzeichnung nur der Walzenballen ohne den Zapfen dargestellt zu werden braucht. Abmessungen und Querschnitt der Lauf- und Kuppelzapfen sind nämlich für sämtliche Walzen derselben Straße gleich und immer unverändert, so daß Abmessungen und Querschnitte der Walzenzapfen in der Walzengießerei und Walzendreherei ständig bekannt sind.

In Abb. 4—10 werden die Walzenzeichnungen verschiedener Vor- und Fertigwalzen gezeigt. Diese Abbildungen sollen für die Anfertigung von Walzenzeichnungen allgemeine Fingerzeige geben.

Man sieht, daß die zwischen zwei benachbarten Kalibern liegenden Teile der Walze einmal einen größeren, das andere Mal einen kleineren Durchmesser haben als die unmittelbar benachbarten Kaliberteile. Die an beiden Enden des Walzenballens befindlichen Ringe sind am meisten in zwei Stufen ausgebildet, um die Lage der Walzen in waagerechter Richtung möglichst sicher halten zu können. Abb. 4, 5 u. 6 zeigen, daß

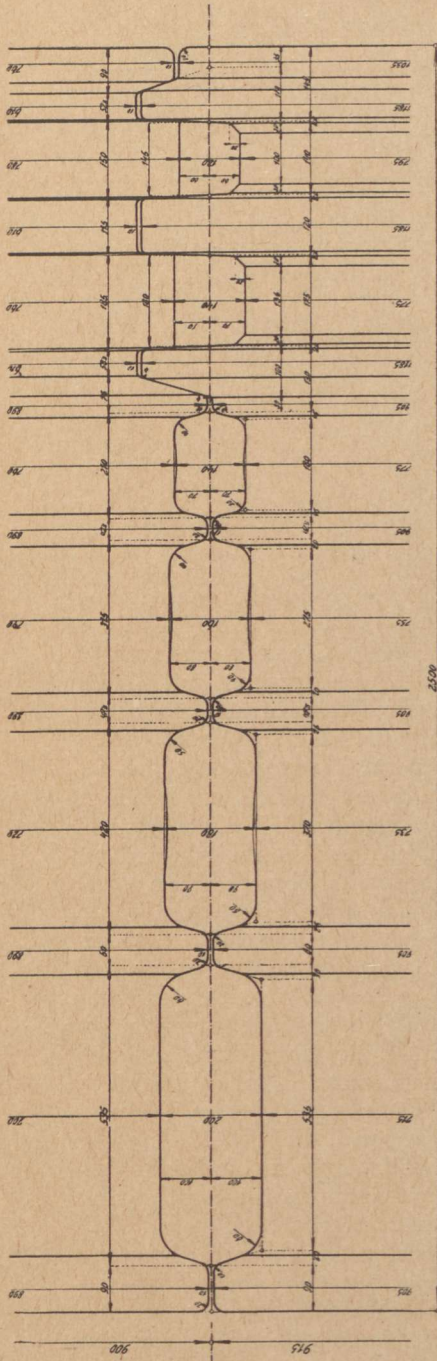


Abb. 4. Walzenzeichnung von Blockwalzen.

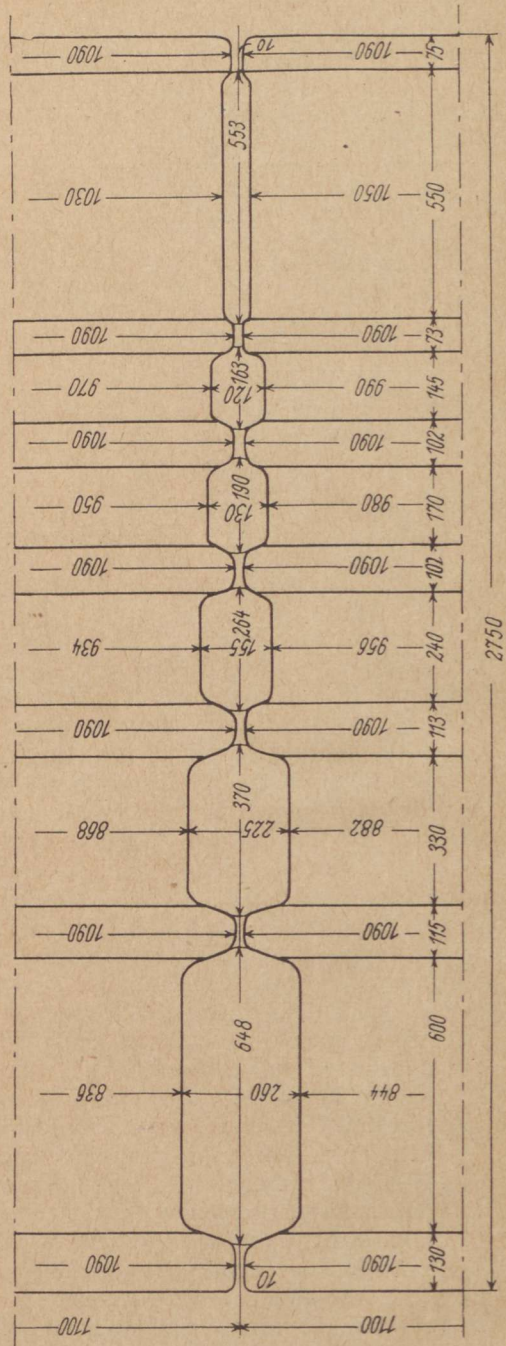


Abb. 5. Blockwalze nach M. Holzweiler. („Stahl u. Eisen“ 1947, S. 317.)

solche stufenartigen Ringe nicht nur an den Walzenenden, sondern insbesondere bei Formeisenwalzen auch zwischen den Kalibern angewendet werden. Bei dem vorläufigen Entwerfen einer Walzenzeichnung darf nicht außer acht gelassen werden, daß die Zahl der Walzenringe stets um eins größer ist als die der Kaliber. Die Walzenringe haben den Zweck, die Kaliberteile abzugrenzen und den waagerechten Seitendruck des Stiches ohne Bruchgefahr aufzunehmen.

Die Abmessungen der Ringe werden dennoch nicht auf Grund einer Berechnung des Seitendruckes bestimmt, da der Seitendruck des Walzens sich nicht messen läßt. Die Bemessung der Ringe geschieht im allgemeinen auf Grund einer bewährten alten Regel, nach welcher die Ringbreite der gußeisernen Walzen wenigstens so groß sein muß wie die volle Höhe der anschließenden größeren Aushöhlung, d. h. (siehe Abb. 11):

$$s = \text{wenigstens } m + z.$$

Da diese waagerechten Abmessungen der Ringe auf Kosten der Ballenlänge gehen und deshalb einer günstigen Ausnutzung der Ballenlänge oft im Wege stehen, so kann man die oben angeführte Faustregel nicht immer ganz streng einhalten. So kann die Breite der Ringe z. B. ohne Gefahr unter den Wert von $m + z$ vermindert werden bei Kalibrierung sämtlicher Querschnitte einfacher Form und überhaupt dort, wo der Ring einen kräftigen Anzug hat bzw. wo die Ecke des benachbarten Kalibers entsprechend abgeschrägt oder abgerundet werden kann. Es darf jedoch nicht vergessen werden, daß ein übertriebenes Sparen mit der Ringbreite sich schwer rächen, d. h. der schwache Ring abbrechen und dadurch die ganze Walze unbrauchbar werden kann.

Bei zähen Stahlgußwalzen genügen als Breitenabmessung für den Ring auch zwei Drittel der Einschnitthöhe, falls die Breitung des anschließenden Kalibers — mit Rücksicht auf die möglichst ausgiebige Verminderung des Seitendruckes — reichlich genug bemessen wurde.

Außer dem bisher Gesagten müssen in einer Walzenzeichnung noch unbedingt dargestellt sein: der Sprung, das Maß des Kaliberanzuges, die stufenweise Abnahme der Höhenabmessungen in den wichtigsten Kaliberteilen sowie die stufenweise Zunahme der Kaliberbreite.

Der „Sprung“ ist die freie Spalte oberhalb der Rippen und bezweckt einestheils die Vermeidung, die zu starke Berührung der Walzen untereinander, besonders auf größere Längen, bzw. der überflüssigen Reibung der Walzenoberflächen, andererseits die Erleichterung der Verstellbarkeit der Kaliberhöhen. Die Größe des Sprunges bewegt sich zwischen 1 und 5 mm und steht ungefähr in geradem Verhältnis zur Größe der Walzendurchmesser.

Unter Kaliberanzug wird eine solche Gestaltung der Kaliberumrisse verstanden, daß die seitlichen (rechten und linken) Grenzlinien des Kalibers zusammenlaufen bzw. sich voneinander entfernen. Der Kaliberanzug bedeutet also die gegenseitige Abneigung bzw. die Größe dieser Abneigung der äußersten seitlichen Grenzlinien im Kaliber. Der Kaliberanzug hat den Zweck, die Einführung des Walzgutes in das Kaliber, alsdann nach dem Stich das Loslösen von dem Kaliber zu erleichtern, ferner die infolge der Walzenabnutzung entstandene Kaliberbreitung wirkungslos zu machen, d. h. die Wiederherstellung der ur-

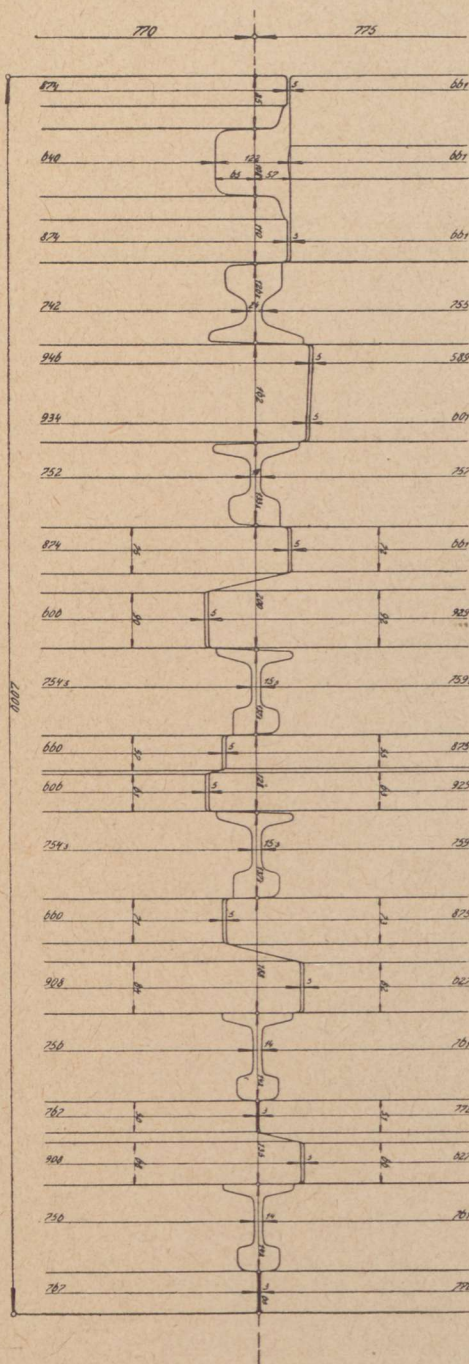


Abb. 6. Walzenzeichnung von Schienen-Fertigwalzen einer Grobstraße.

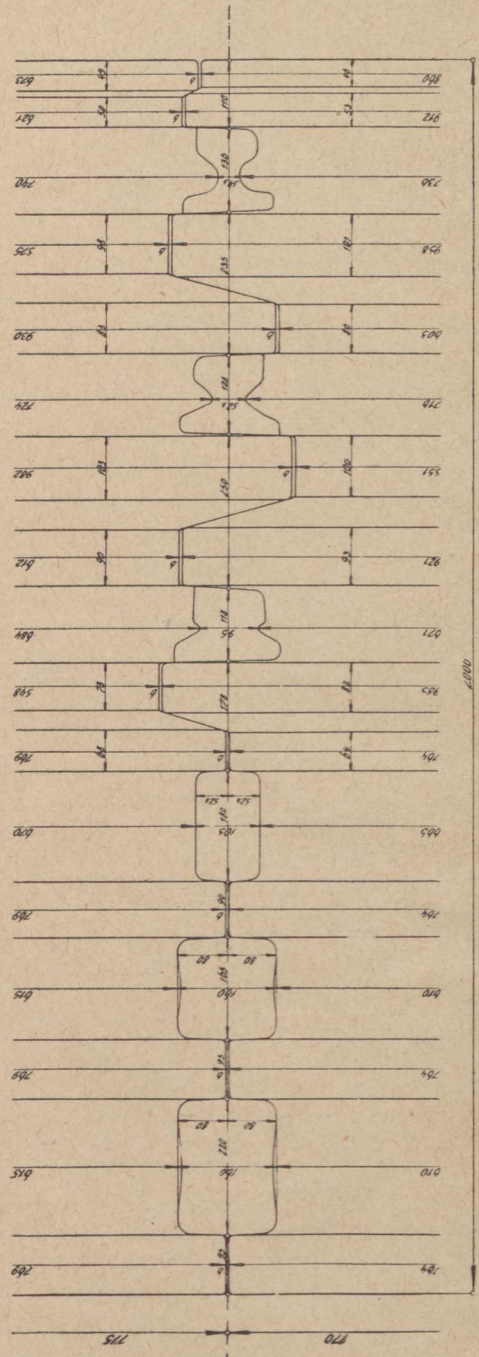


Abb. 7. Walzenzeichnung von Schienen-Vorstreckwalzen.

sprüngen Kaliberbreite mit einem möglichst kleinen Durchmesser-
verlust zu ermöglichen. Es kann daher nicht zweifelhaft sein, daß die
Anwendung des Kaliberanzuges im Fertig- oder diesem nahestehenden
Kaliber auf Kosten der Vollkommenheit des Querschnittes gehen kann,
falls in den fraglichen Querschnitten die äußersten seitlichen Grenz-
linien eigentlich gleichlaufend sind bzw. diese mit den waagerechten
Grenzlinien des Querschnittes ein Rechteck bilden. Eben darum ist es
unbedingt notwendig, daß die Größe des Kaliberanzuges mit dem Fort-
schreiten des Walzens bzw. bei der Annäherung an das Fertigkaliber

Abb. 7. Walzenzeichnung von Schienen-Vorstreckwalzen.

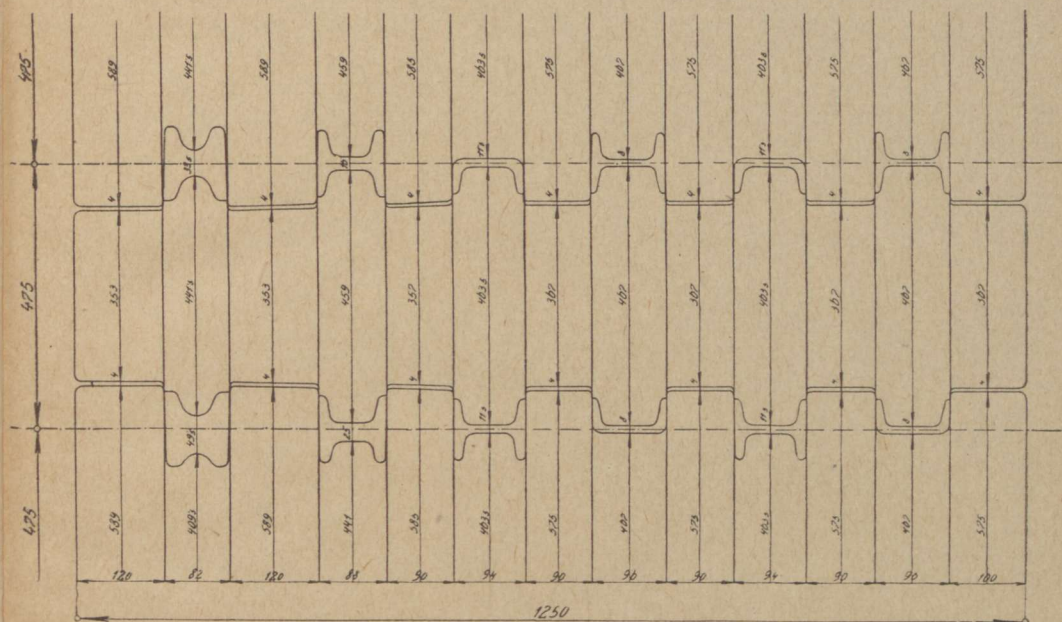


Abb. 8. Walzenzeichnung von Träger-Vorstreckwalzen einer Triostraße.

allmählich vermindert werde. Aus demselben Grunde pflegt die
Größe des Kaliberanzuges in Vorstreckkalibern
3—10%, in Fertigkalibern jedoch 2—3% zu betragen.
Der Kaliberanzug ist bei größeren, in der Mitte waagrecht geteilten
Kalibern größer als bei den sogenannten geschlossenen Ka-
libern, die nur an ihren oberen oder unteren Ecken offen sind, und
ebenfalls ist der Kaliberanzug bei dünneren Querschnitten kleiner als
bei stärkeren.

Die Darstellung der Höhen- und Breitenabmessungen
der Kaliber in den Walzenzeichnungen bedarf kaum einer näheren
Erläuterung. Da auf Grund der genau gezeichneten Kaliberumrisse für
die Walzendreherei Zinkblechschablonen gemacht werden, so werden
die Höhenabmessungen in der Regel nur in jene Kaliberteile eingetragen,
wo diese auf die Druckverhältnisse (Abnahmeverhältnisse) bezeichnend
hinweisen.

Unter Walzlinie wird die in der Ebene der Walzenzeichnung
gelegene gerade gemeinsame Linie der zusammenarbeitenden zwei

ideellen kreiszylindrischen Walzen verstanden, in welcher die gedachten kreiszylindrischen Mäntel der zusammenarbeitenden Walzen sich berühren. Die Lage der Walzlinie ist auf den ganzen Aufbau der Walzenzeichnung von entscheidendem Einfluß, weshalb sie mit Sorgfalt festzustellen ist.

Nach dem bisher Gesagten ist es selbstverständlich, daß die Arbeit der Walzenzeichnung mit der Bestimmung der Walzendurchmesser bzw. mit dem Einzeichnen der Walzlinien begonnen werden muß. Es ist weiter klar, daß man für ein Duo eine, für ein Trio oder Doppelduo je zwei Walzlinien haben muß. Die Arbeit wird mit der Verteilung der Kaliber an der Walzlinie unter Benutzung der bereits angefertigten Blebschablonen bzw. mit der Festlegung der Form und Abmessungen der Ringe auf Grund der bereits bekannten Grundsätze fortgesetzt, womit die Konstruktionsarbeit der Walzenzeichnung eigentlich beendet ist.

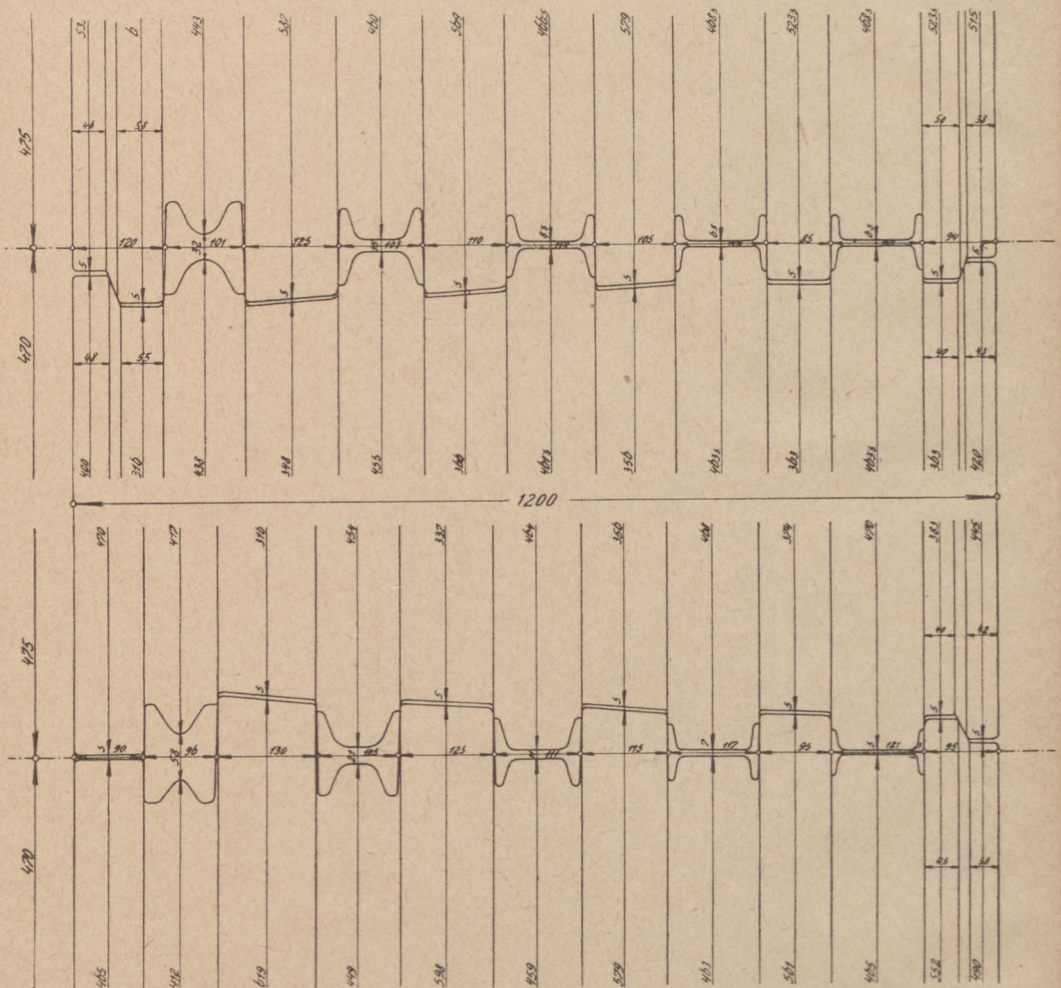


Abb. 9. Walzenzeichnung von Träger-Fertigwalzen einer Doppelduostraße.

Die Walzenzeichnung wird dadurch vervollständigt, daß sämtliche Werte der Durchmesser und Breitung genau ermittelt, geprüft und in Millimeter an den entsprechenden Stellen verzeichnet werden (Abb. 4—10).

Die Festlegung der Lage der Walzlinie geschieht nach dem Ober- oder Unterdruck. Unter Ober- oder Unterdruck versteht man den größeren Durchmesser der oberhalb bzw. unterhalb der Walzlinie dargestellten Walze. Der in Millimeter ausgedrückte Unterschied dieser Abmessungen wird zum zahlenmäßigen Ausdruck des Ober- oder Unterdruckes benutzt. Die Größe des Ober- oder

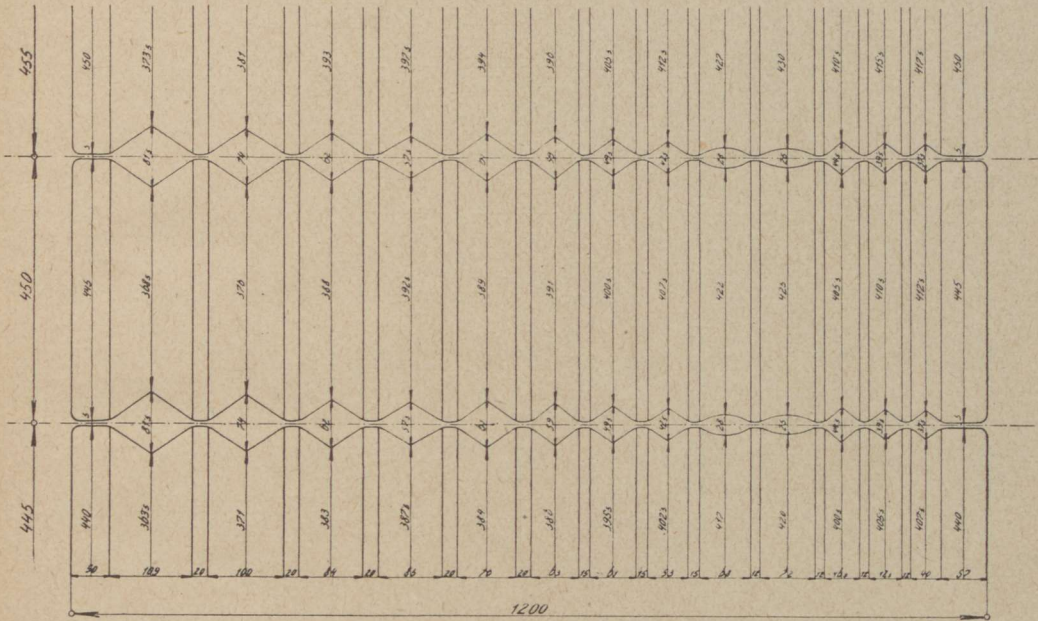


Abb. 10. Walzenzeichnung von Trio-Vorstreckwalzen.

Unterdruckes beträgt im Verhältnis zur Größe des Walzendurchmessers ungefähr 5—35 mm. In der Regel bleibt jedoch der Ober- oder Unterdruck — Blockwalzen ausgenommen — unter 10 mm.

Die Anwendung von Ober- oder Unterdruck ist deshalb notwendig, weil man das aus dem Kaliber herauskommende Werkstück einmal von der oberen, das andere Mal von der unteren Walze nehmen will. Dies kann mit dem Ober- oder Unterdruck einfach erreicht werden, da sich von einer stärkeren Walze — zufolge ihres größeren Umfanges — in der Zeiteinheit eine größere Stablänge abwickelt als von einer schwächeren Walze, so daß der Stab eine sich von der stärkeren zur schwächeren Walze neigende Form erhält (siehe Abb. 12). Diese Abnahme des Stabes ist notwendig, um dem allzu starken Anhaften an das Kaliber entgegenzuwirken und das Stück zwangsläufig auf die Abstreifmeißel zu treiben, oder aber um die Rollen bzw. ihre Laufzapfen und Lager gegen die Schläge des sonst prall auf sie fallenden oft sehr schweren Walzstabes zu schützen.

Beim Entwurf der Walzenzeichnungen für Formeisen darf nie vergessen werden, daß von den Ringen wenigstens zwei entgegengesetzt gestuft werden müssen, um den waagerechten Schub der Walzen gegen-

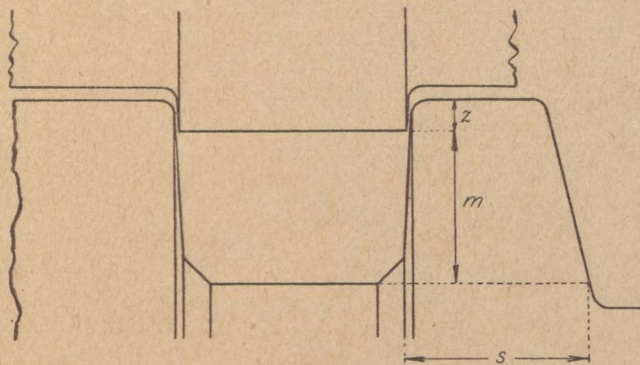


Abb. 11. Die Bemessung der Walzenringe.

einander aufzunehmen. Ist eine solche Ausbildung der Ringe aus irgendeinem Grunde nicht möglich, so müssen wenigstens die beiden Schlußringe entgegengesetzt gestuft und genügend breit ausgebildet werden.

Beim Walzen spielt noch ein wichtiger Umstand eine wichtige Rolle, der

beim Entwurf von Walzenzeichnungen berücksichtigt werden muß: die Anordnung der Kaliber auf der Walzlinie in der Höhenrichtung. Die Kaliber müssen auf der Walzlinie derart untergebracht werden, daß das Kaliber von der Walzlinie so geteilt wird, daß zwischen die Umfangsgeschwindigkeiten die mit denselben Stabteilen in Berührung stehenden, jedoch zu zwei Walzenballen gehörenden Walzenoberflächen ungefähr gleich sind. Sind die Geschwindigkeitsunterschiede zu groß, so nimmt das Walzgut die infolge ihres kleineren Durchmessers langsam laufende Walze mit, so daß in der Walzenstraße starke Spannungen entstehen, die sich im Augenblick des Auslaufens des Stabes in einem heftigen Stoß, dem „Rückschlag“, äußert, der oft Brüche verursacht. Dieser mit weit hörbarem Knall verbundene Rückschlag entsteht in der Weise, daß die durch das Walzstück schneller geschleppten Walzen im Augenblick des Auslaufens plötzlich stehenbleiben, während die der An-

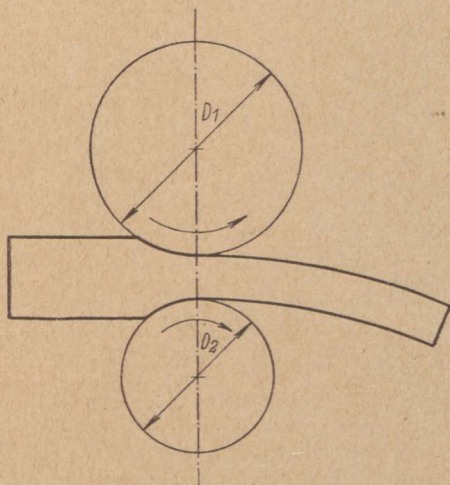


Abb. 12. Die Wirkung des Unterschiedes von Walzendurchmesser.

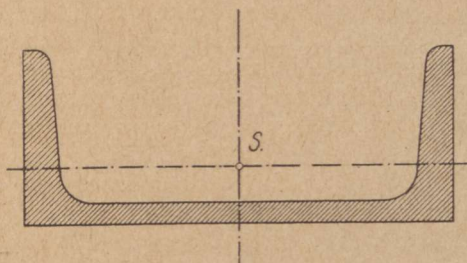


Abb. 13. Die Lage eines U-Eisen-Querschnittes auf der Walzlinie.

triebsmaschine näherliegenden Walzen und Kupplungen unter der Einwirkung der von der Maschine weiterbetrie- benen Kupplungen mit voller Geschwin- digkeit auf diese stehengebliebene schwere Masse aufschlagen. In solchen Fällen können mehrere Teile des Walzwerkes gleichzeitig und augenblicklich zu Bruch gehen. Diese gefährlichen Geschwindig- keitsunterschiede können in der Regel dadurch vermieden werden, daß die Schwerpunktlinie der Kaliber mit der Walzlinie zusammenfällt. Die Schwerpunktlinie kann mit einer für unsere Zwecke ausreichenden Genauigkeit schnell in der Weise bestimmt werden, daß man die Blech- schablonen des Kalibers auf einer scharfen Kante eines feststehenden, geeigneten Gegenstandes, z. B. eines Dreikant-Maßstabes, in derselben Lage, wie sie auch auf der Walzlinie zu liegen kommen, in Gleich- gewichtslage richtet (siehe Abb. 13 u. 14).

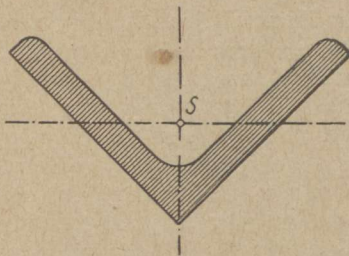


Abb. 14. Die Lage eines Winkelisen- Querschnittes auf der Walzlinie.

V. Art und Wirkung des Walzdruckes

Es wurde im Abschnitt I bereits festgestellt, daß das Walzen eigentlich ein ununterbrochen gestalteter Schmiedevorgang ist, da es sich um vollkommen gleiche Verformungsarten handelt. Die genaue und zu- verlässige theoretische Untersuchung der Beanspruchungsverhältnisse von Walzvorgängen stößt dennoch auf sehr große Schwierigkeiten, und zwar erstens weil bei dem Walzvorgang elastische und bildsame Ver- formungen nebeneinander und gleichzeitig auftreten, zweitens weil wir es in dem Walzvorgang auch mit räumlichen Spannungs- und Form- änderungszuständen zu tun haben¹⁵⁾. Da eine genaue theoretische Er- mittlung der Bedingungen bildsamer Verformungen auch in dem Fall nicht möglich ist, wenn wir Einfachheit halber annehmen, daß sich der Fluß des Stoffes nur in einer einzigen Ebene abspielt, so ist für die Untersuchung der Art und Wirkung des Walzdruckes die Darstellung der durch Ätzverfahren entwickelten Gleitlinien im Stoff der gewalzten Stäbe das geeignetste Untersuchungsmittel.

Diese Art der Untersuchung wurde zuerst von Hollenberg an- gewendet¹⁶⁾. In dem Versuchsstab wurden in Abständen von 25 mm eine Reihe Bohrlöcher von 6 bis 7 mm Durchmesser angebracht, die mit abgedrehtem, stark sehnigem Rundeisen wieder geschlossen wurden. Die Walzen wurden während des Durchganges abgekuppelt, so daß der Stab in der Walze stecken blieb. Durch die gemeinsame senkrechte Ebene der Bolzen wurde nun eine Schnitt- bzw. Schliff-Fläche hergestellt und das Bild der verformten Bolzen durch Ätzung hervorgerufen. Da das Ergebnis der Arbeit von Hollenberg nur zeichnerisch dargestellt ist, so hat Verfasser diese Abbildung ganz naturgetreu zusammen mit

15) Friedr. Körber und Erich Siebel, „Über die Beanspruchungs- verhältnisse beim Schmieden und Walzen“, „Mitteilungen aus dem K.-W.-Institut f. Eisenforschung“, Düsseldorf 1928, Bd. 10, Lief. 2, S. 15—22.

16) „Stahl u. Eisen“ 1883, Heft 2.

den entscheidend wichtigen drei Zeilen übernommen (Abb. 15). Aus diesen drei Zeilen der Hollenbergschen Arbeit geht klar hervor, daß diese Abbildung nicht eine genaue Darstellung des Versuchsstabes, sondern nur eine aus der Erinnerung angefertigte flüchtige Skizze ist. Nachdem die Versuche von Hollenberg lange Zeit hindurch nicht wiederholt wurden, hat man die Verdrängungsfiguren des Hollenberg-Versuches als richtig angenommen. Man übersah dabei aber die Tatsache, daß die Skizze der verformten Bolzengestalt nur aus der Erinnerung,

Die vorliegende, aus der Erinnerung gezeichnete Skizze zeigt die nach dem ersten Durchgange gewonnene Beizstelle des Stabes.

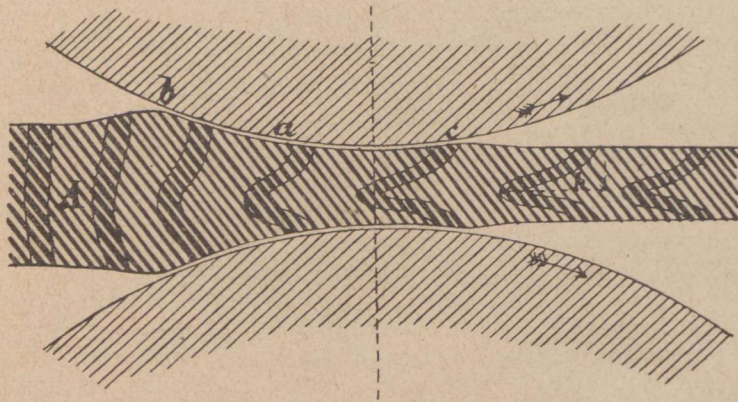


Abb. 15. Hollenbergsche Figuren der verformten Bohrungen eines Walzstabes
(Photographiert aus „Stahl u. Eisen“ 121, Jahrg. 1883).

noch dazu wahrscheinlich bedeutend später als der Versuch, gemacht wurde.

J. Benzenleitner war der erste, der die Richtigkeit des Hollenberg-Versuches überprüfte bzw. den Versuch wiederholte. Benzenleitner arbeitete nicht mit Bohrungen und Stiften, sondern mit geraden und miteinander gleichlaufenden Einkerbungen¹⁷⁾.

Da jedoch die verformten Einkerbungen auf der Lichtbildaufnahme Benzenleitners infolge größeren Durchmesserunterschiedes der Walzen oder infolge stark ausgelaufener Lagerschalen etwas schief stehen, so soll hier nicht die Aufnahme dieses Betriebsversuches, sondern ein im Institut des Verfassers im Eisenhüttenmännischen Institut der Hochschule zu Sopron ausgewalzter Probestab dargestellt werden (Abb. 16). Durch das Lichtbild des eingekerbten Versuchsstabes wird mit voller Deutlichkeit bewiesen, daß die Einkerbungen nach dem Durchgang wieder zum vollständigen Geradewerden neigen, weiter daß

17) E. Cotel, „Über die Begleiterscheinungen des Walzvorganges“, „Montan. Rundschau“, Wien-Berlin 1924, S. 636.

selbst die am stärksten gekrümmten Einkerbungen des Überganges keine trichterähnliche Gestalt annehmen können. Es besteht vielmehr die Wahrscheinlichkeit, daß im Fall eines entsprechend großen Walzdruckes bzw. einer entsprechend kleineren Stabdicke die Ein-

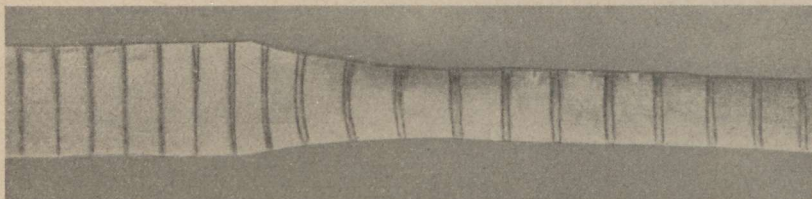


Abb. 16. Die verformten senkrechten Einkerbungen des gewalzten Stabes (Aufnahme und Versuch des Verfassers).

kerbungen wieder vollkommen gerade, senkrecht und miteinander gleichläufig werden. Verfasser hatte im Betrieb sowie in seinem jetzigen Institut sehr oft Gelegenheit, dies zu beweisen.

Daß die Einkerbungen des Walzstabes nach dem Durchgang eigentlich immer wieder gerade werden müssen, wird auch auf Grund theoretischer Erwägungen bestätigt. Die Stoffteile des Stabes weichen nämlich unter der Einwirkung des Walzdruckes (nach den Ausführungen von J. Finkey) in der Richtung des Walzenhalbmessers bzw. in der Verlängerung desselben aus¹⁸⁾. Infolgedessen müssen die Krümmungshalbmesser der Einkerbungen, wie Abb. 17 zeigt, um so größer werden, je näher die Einkerbungen dem engsten Teil der Walzenspalte kommen. Es geht hieraus klar

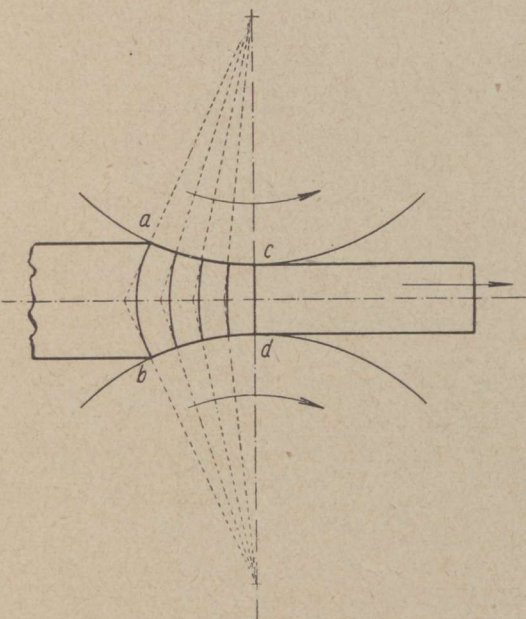


Abb. 17. Die stufenweise Verminderung der Krümmungshalbmesser der Einkerbungen.

hervor, daß die ursprünglich geraden Einkerbungen die Walzen wiederum als gerade Linien verlassen müssen, nachdem der Krümmungshalbmesser in der senkrechten Ebene der Walzenachsen unendlich groß wird.

Dies geschieht in Wirklichkeit, wie die Betriebserfahrungen und Versuche lehren, nur in den Fällen entsprechend großen Walzdruckes

18) Vgl. des Verfassers oben erwähnte Arbeit in der „Montan. Rundschau“, Wien-Berlin 1924, S. 636; ferner Dr. Puppe-Stauber, Walzwerkswesen, Bd. 1, Berlin-Düsseldorf 1929, S. 635.

bzw. entsprechend kleiner Stabdicke genau in der oben festgestellten Weise. Die Wirkung des Walzdruckes kann nämlich nur bei diesen letztgenannten Bedingungen entsprechend tief bzw. bis in die Mitte der Stabdicke reichen, um die Wirkung des Druckes in der ganzen Stabdicke gleichmäßig verteilen zu können. In diesem Fall verlassen die

Einkerbungen die Walzen tatsächlich wieder als gerade Linien, wie in Abb. 18 dargestellt.

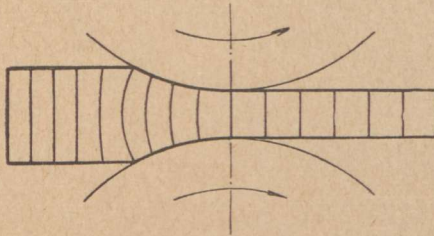


Abb. 18. Die Verformung der Einkerbungen bei kleiner Stabdicke.

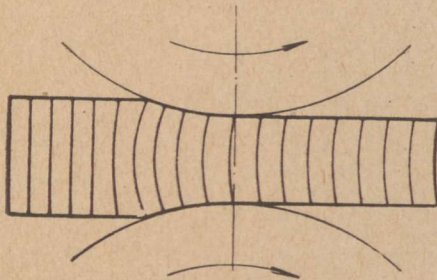


Abb. 19. Die Verformung der Einkerbungen bei großer Stabdicke.

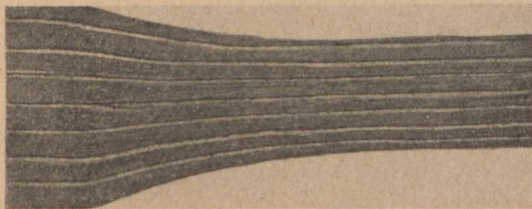


Abb. 20. Die Verteilung des Walzdruckes in der Stabhöhe. Versuch von Benzenleitner.

Ist der Walzdruck nicht groß oder die Stabdicke nicht klein genug, so kann der Druck in der Stabhöhe nicht genug tief wirken, so daß die der Mitte der Stabdicke zunächst liegenden Stoffschichten ohne Druck bzw. ohne Streckung laufen und infolgedessen etwas zurückbleiben müssen. Groß kann dieses Zurückbleiben nicht sein, da infolge des innigen Zusammenhanges mit den stärker gestreckten Schichten auch die ohne Druck gebliebenen Stoffschichten der Stabmitte mit vorwärtsgerissen werden. In solchen Fällen bekommen die Einkerbungen ihren geraden Verlauf nicht mehr vollständig zurück; die Gestalt der Einkerbungen wird vielmehr nach dem hinteren Stabende eine nach Abb. 19 gebogene sein. Im Walz-

betrieb wird dieser Vorgang betrieb wird dieser Vorgang ähnliche Gestaltung der Stabenden verhältnismäßig schwach gedrückter Walzerzeugnisse bestätigt.

Es ergibt sich aus dem Vorstehenden, daß die geradlinigen Einkerbungen nach dem Durchgang höchstens schwach

bogenförmig, jedoch nie trichterähnlich sein können. Es gibt keinen Anlaß für die Annahme, daß die Einkerbungen zu Inflexionskurven verformt werden.

Daß sich die Wirkung des Walzdruckes in der Stabhöhe (Stabdicke) nicht gleichmäßig verteilt, sondern sie in den äußeren Stoffschichten bedeutend größer ist als in den mittleren, war von früher her bekannt; zahlenmäßig wurde die Tatsache im Rahmen eines Walzversuches ebenfalls von Benzenleitner geprüft und bestätigt¹⁹⁾. Der Stab

19) „Montan. Rundschau“, Wien-Berlin 1924, S. 637.

war bei diesem Versuch mit waagerechten Einkerbungen derart eingeteilt, daß die Stabhöhe von 40 mm in acht waagerechte Schichten von je genau 5 mm Stärke geteilt wurde (Abb. 20). Es wurde bei dem Versuch festgestellt, daß sich die Entfernungen der Einkerbungen von-

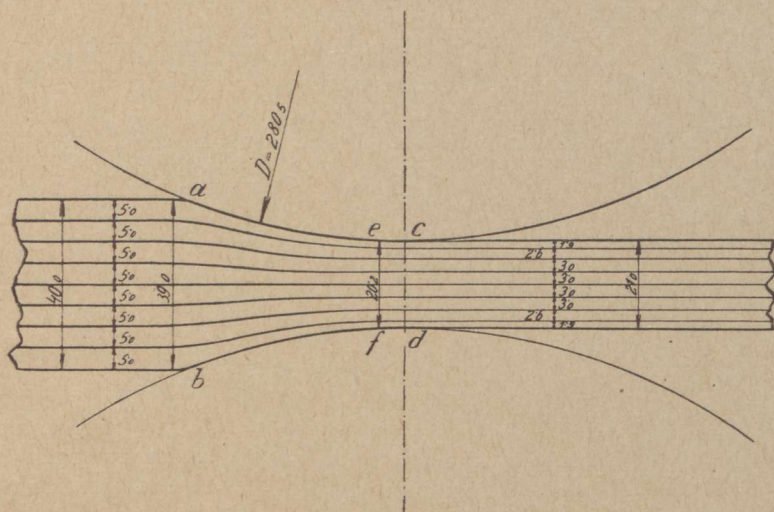


Abb. 21. Die zahlenmäßige Darstellung der Abb. 20.

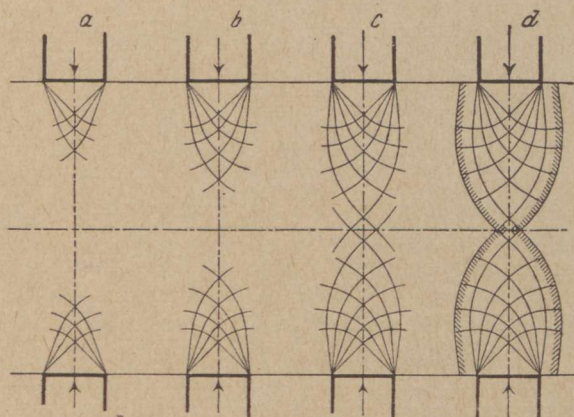


Abb. 22. Gleitlinien in dem gedrückten Stab („Mitteilungen aus dem K. W. Institut f. Eisenforschung“, Düsseldorf, Bd. 10, Lief. 2).

einander nach dem Durchgang so geändert haben, daß die oberen und unteren, d. h. den Walzen zunächst liegenden Stoffschichten bedeutend schwächer geworden waren als die in der Stabmitte. Die einzelnen Stoffschichten zeigen von oben oder von unten nach der Stabmitte zu nacheinander folgende Höhenabmessungen: 1,9, 2,6, 3,0 mm (Abb. 21).

Die zahlenmäßige Größe der Höhenabmessungen in den Querschnitten a—b und e—f (Abb. 21) wird in den nachfolgenden Ab-

schnitten besprochen. Hier soll erwähnt werden, daß Schmiedeversuche mit ähnlich gekerbten Probestäben ergaben, daß die Einkerbungen vollständig gleiche Verformungen erfahren, wie die der gewalzten Stäbe. Dies bezieht sich natürlich nur auf das sogenannte Reckschmieden: ein weiterer Beweis für die grundsätzliche Gleichheit beider Verformungsarten!

Was nun die Gleitflächen bzw. Gleitlinien anbelangt, auf welchen die Stoffteilchen des Stabes während des Walzvorganges aufeinander abgleiten, so seien hier in erster Reihe die einschlägigen grundlegenden Arbeiten von H. Henky²⁰⁾, L. Prandtl²¹⁾, H. Meyer und F. Nehl²²⁾ sowie F. Körber und E. Siebel²³⁾ genannt.

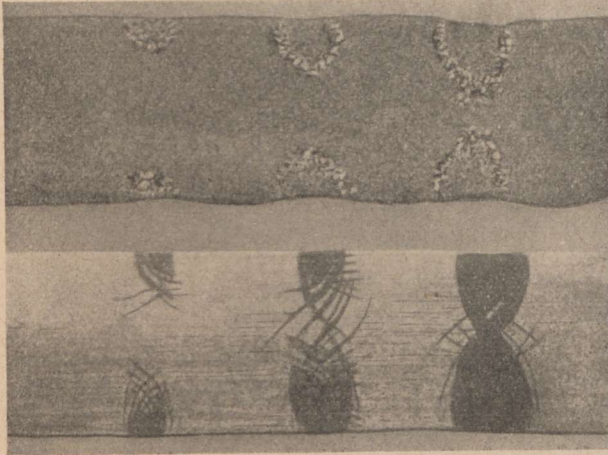


Abb. 23. Gleitlinien eines gedrückten Versuchsstabes aus weichem Flußeisen („Mitteilungen aus dem K.-W.-Institut f. Eisenforschung“, Bd. 10, Lief. 2).

Von Henky und Prandtl wurden auf Grund theoretischer Erwägungen Gleitlinien-Schaubilder konstruiert für Stäbe, welche in einer gemeinsamen Ebene von zwei Seiten gedrückt werden. Körber und Siebel setzten bearbeitete Stäbe aus weichem Flußeisen von beiden Seiten der Druckwirkung schmaler Preßbahnen aus. Die so entstandenen Gleitflächen bzw. Schnittlinien derselben in der

geschliffenen Ebene wurden mittels Fryscher Ätzung sichtbar gemacht. In Abb. 22 sind diese Gleitlinienbündel in ihrer konstruktiven bzw. grundsätzlichen Form zu sehen. Abb. 23 stellt dagegen das Bild der in den Probestäben aus weichem Flußeisen tatsächlich hervorgerufenen Gleitlinienbündel dar. Die Gleitlinien dringen, wie Abb. 23 zeigt, um so tiefer in den Stab ein, je größer der Druck war; sie gehen sogar bei entsprechender Steigerung des Druckes ineinander über, und zwar in allmählich größer werdendem Maße. Die Erscheinung, daß die Gesamtfläche der einzelnen Gleitlinienbündel etwas größer ist, als auf Grund der Abb. 21 zu erwarten wäre, ergibt sich ebenfalls aus Abb. 22. Die

20) H. Henky, „Einige Fälle des Gleichgewichtes in plastischen Körpern“, „Zeitschr. f. angew. Math. u. Mech.“ 1923, S. 241.

21) L. Prandtl, „Anwendungsbeispiele zu einem Henkyschen Satz“, ebenda, S. 401 (1923).

22) H. Meyer und F. Nehl, „Die grundlegenden Vorgänge der bildsamen Verformung“, „Stahl u. Eisen“ 1925, Nr. 48.

23) F. Körber u. E. Siebel, „Über die Beanspruchungsverhältnisse beim Schmieden und Walzen“, „Mitteilungen aus dem K.-W.-Institut f. Eisenforschung“ 1928, S. 15.

Ursache dieser Erscheinung ist die Mitwirkung des Stoffzusammenhangs an der linken und rechten Seite des druckausübenden Werkzeuges. Die Druckwirkung dehnt sich nämlich infolge der Bildsamkeit des Stabstoffes auf etwas größere Breite als die der Preßbahnen aus, so daß die Breite der hervorgerufenen Verformung (des Eindrucks) etwas größer sein muß als die Breite der Preßbahnen. Man kann diese Erscheinung in Abb. 23 an beiden Stäben klar feststellen.

Daß die Gleitlinien auch beim Walzen von ganz ähnlicher Form sein müssen, folgt einerseits aus der grundsätzlichen Gleichheit der beiden Verformungsarten, andererseits aus der täglichen Erfahrung im Walzbetrieb, wo die Grenzlinien des Zunderabfalls auf der Seite des gewalzten Stabes den besprochenen Gleitlinien des Reckschmiedens vollkommen ähnlich sind. Die Druckfläche (schlechthin: die Preßbahn) rollt jedoch bei dem Walzvorgang ununterbrochen weiter, so daß sich

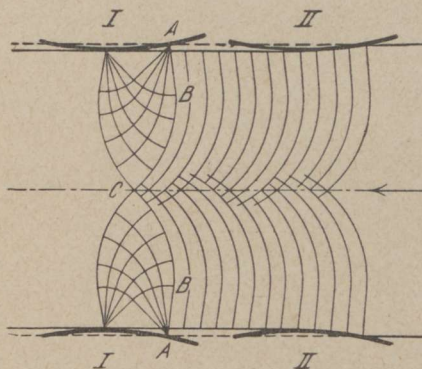


Abb. 24. Die Gleitlinien beim Walzen („Mitteilungen aus dem K. W. Institut f. Eisenforschung“, Bd. 10, Lief. 2).

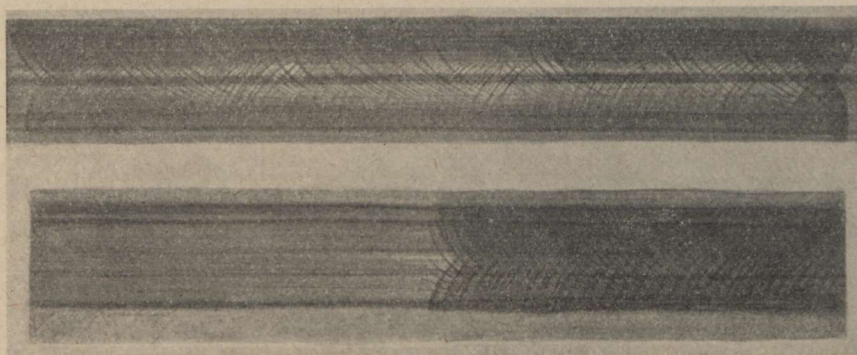


Abb. 25. Die Gleitlinien eines gewalzten Stabes nach dem Versuch von Meyer und Neh („Stahl u. Eisen“, Heft 48, 1925).

im gewalzten Stab hintereinander sehr viele Gleitlinien anhäufen werden. Abb. 24 zeigt die Entstehung der ersten (I) sowie der nachfolgenden (II) Gleitlinien des gewalzten Stabes. Ist der Walzdruck klein, so erscheinen die mit Fryscher Ätzung sichtbar gemachten Gleitlinien

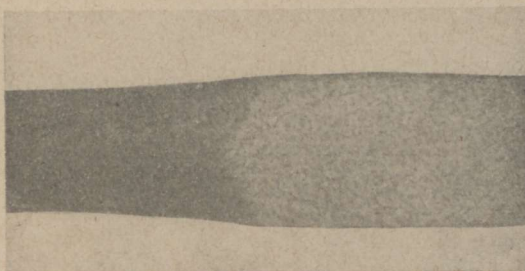


Abb. 26. Das Bild der Gleitflächen in stark gedrückten Stäben (Versuch und Aufnahme des Verfassers).

voneinander unabhängig, wie dies nach dem Versuch von H. Meyer und F. Nehl in Abb. 25 dargestellt ist. Bei einem größeren Walzdruck

häufen sich die Gleitlinien im gewalzten Stab so dicht aufeinander, daß sie bei der Ätzung zu einer einzigen Gleitfläche verwischt erscheinen, wie dies Abb. 26 zeigt. Die Grenzlinien dieser Gleitfläche weisen jedoch auch hier dieselbe Form wie die einzelnen Gleitlinien auf (Abb. 25).

Der Werkstoff muß beim Walzen nach allen vier Richtungen ausweichen, vorwiegend jedoch in oder entgegengesetzt der Walzrichtung. Die Trennungslinie im Walzspalt ist die Fließscheide (in der Abb. 42 a EC und EM). In dieser Linie hat der Werkstoff die gleiche Geschwindigkeit wie die Walzenoberfläche. Das Walzgut muß am Anfang des Walzspaltes in der Walzrichtung langsamer, an seinem Ende dagegen schneller fließen, als der Umfangsgeschwindigkeit der Walzen entspricht, wodurch Verlangsamung bzw. Voreilen entsteht. Das Walzgut gleitet also beiderseits der Fließscheide auf der Walze. (Aus diesem Grunde nannte der Verfasser diese Erscheinungen in seinem ungarischen Buch über das Walzen bereits im Jahre 1928 als „Rückwärtsgleiten“ bzw. „Vorwärtsgleiten“.) In der Fließscheide können nur Bewegungen quer zur Walzrichtung eintreten, d. h. von der Stabmitte nach den Rändern des Stabes; so entsteht die Breitung. Die Reibung wirkt vor der Fließscheide als einziehende, hinter der Fließscheide aber als ausstoßende Kraft²⁴⁾.

Es ist klar, daß in den Fällen allzu großer Walzdrücke auch die Risse des gewalzten Stabstoffes in den Linien der Gleitschichten entstehen müssen.

An dieser Stelle muß erwähnt werden, daß die verschiedene Form der Stabenden beim Walzen mit der besprochenen Art und Weise der Stoffverdrängung in engem Zusammenhang steht. Die verschiedene Form der Stabenden ist nämlich eine unmittelbare Folge der

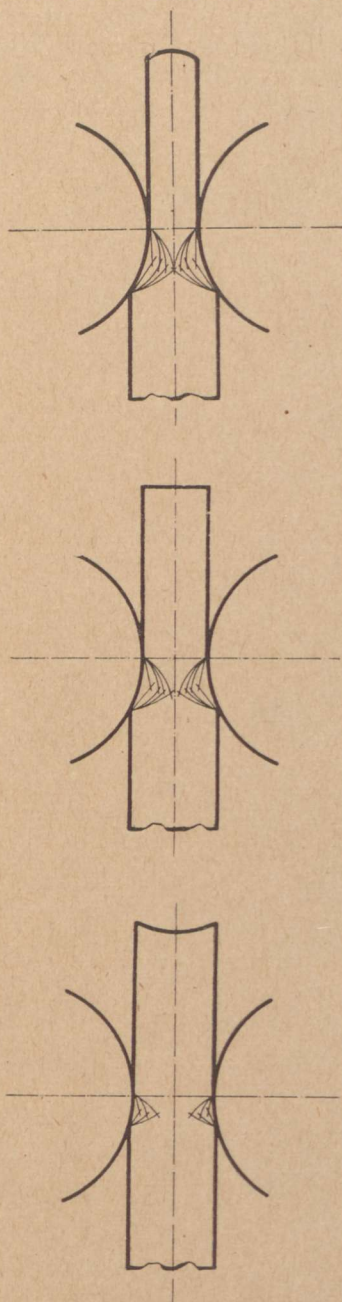


Abb. 27. Die Gestaltung der Stabenden beim Walzen.

24) Th. Dahl, „Erkenntnisstand auf dem Gebiete der Warmverformung“, „Stahl u. Eisen“ 1948, S. 333 ff.

Druckwirkung des Walzvorganges bzw. der verschiedenen Tiefe dieser Druckwirkung in den verschiedenen Stabhöhen. Schon in Verbindung mit Abb. 19 war festgestellt worden, daß das auslaufende (vordere) Ende des Stabes im Fall kleiner Walzdrücke bzw. geringer Stabhöhen eine etwas nach rückwärts ausbauchende Krümmung zeigt. Die Erfahrungen im Walzbetrieb bestätigen, daß bei richtig gewähltem Walzdruck bzw. bei mittleren Stabhöhen die Walzenden mit senkrechten geraden Linien abschließen, wie dies nach der Abb. 18 auch zu erwarten ist. Ist der Walzdruck verhältnismäßig sehr groß, so daß die Gleitlinienbündel stark ineinander übergehen, wobei etwa auch die Bildsamkeit der Stabmitte infolge hoher Temperaturen größer ist als unter gewöhnlichen Verhältnissen, so können auch Fälle vorkommen, daß die Stabenden in der Walzrichtung ausgebauchte Krümmung zeigen. Auf die Ursachen dieser Erscheinungen wurde bereits oben hingewiesen; in Abb. 27 soll dies zeichnerisch dargestellt werden ²⁵⁾.

VI. Die Begleiterscheinungen des Walzvorganges

Längung und Breitung des Walzstabes

Die unmittelbare Folge des Walzdruckes ist die Abnahme der Querschnittsfläche und im Zusammenhang mit dieser Abnahme die Zunahme der Stablänge. Da das spezifische Gewicht und der Rauminhalt des Stabes unverändert bleiben (die geringe Zunahme der Dichte ist praktisch nicht wichtig), so ist es klar, daß der Stab nach dem Stich um so viel Prozent länger sein wird, als die Fläche des ursprünglichen Querschnittes größer war als die des fertigen Querschnittes, d. h.: die Stablängen vor und nach dem Stich verhalten sich umgekehrt wie die Querschnittsflächen vor und nach dem Stich. Bedeuten nämlich F die Fläche des ursprünglichen, f die Fläche des fertigen Querschnittes, L die ursprüngliche Länge, l die Länge des fertigen Stabes, so ist auf Grund des unveränderten Rauminhaltes

$$F \cdot L = f \cdot l,$$

woraus folgt, daß

$$\frac{F}{f} = \frac{l}{L}.$$

Mit der Größe der Querschnittsabnahme haben wir also stets einen sicheren Wert für die Bestimmung der Stablänge nach dem Stich. Dieser Wert ändert sich nie, ob es sich um eine einfachere oder um eine zusammengesetztere Querschnittsform handelt. Die Fläche zusammengesetzterer Querschnittsformen wird in der Regel planimetrisch bestimmt.

Man darf jedoch nicht glauben, daß die Feststellung dieses klaren und gesetzmäßigen Zusammenhanges zugleich bedeutet, daß sämtliche Teile des Querschnittes ihre Länge immer in gleichem Prozentverhältnis vergrößern. Dies ist nur dann möglich, wenn sämtliche Querschnittsteile dieselbe prozentuale Querschnittsverminderung erleiden. Mit anderen Worten: Die dem Teildruck zahlenmäßig genau entsprechende

²⁵⁾ Vgl. auch Dr. Puppe und Stauber, Walzwerkswesen, Düsseldorf-Berlin 1929, S. 635.

Längung der einzelnen Querschnittsteile ist nur im Fall ganz einfacher Querschnitte möglich, obwohl man auf möglichst gleichmäßigen Druck- bzw. Abnahmeverteilung stets sorgfältig achten muß.

Man kann sich leicht vorstellen, daß gewisse Teile zusammen- gesetzter Querschnittsformen, z. B. Füße, Flanschen und Stege, keinen so großen Druck erhalten können als die den größten Teil der Querschnittsfläche ausmachenden waagerecht liegenden und einfacher gestalteten übrigen Querschnittsteile. So erhalten z. B. die Füße der Schienen und Flanschen der Träger nur geringen Druck, während die damit zusammenhängenden Stege der Schienen bzw. Träger gleichzeitig mit verhältnismäßig großem Druck in demselben Kaliber laufen. Die

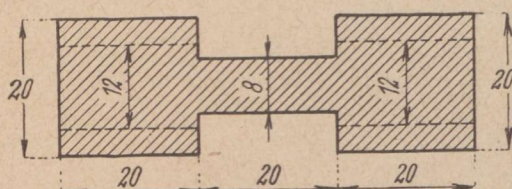


Abb. 28. Walzquerschnitt mit ungleichmäßig verteilterm Walzdruck.

gestreckte ganze Länge des Stabes wird zwar auch in diesem Fall der verminderten Gesamtfläche genau entsprechen, nur hat sich, wenn die einzelnen Querschnittsteile für sich betrachtet werden, der Fuß viel stärker, der Steg viel schwächer verlängert, als es

seinem eigenen Druck, der partiellen, in Prozent ausgedrückten Abnahme wirklich entsprechen würde.

Zur Klärung dieser eigenartigen Erscheinung des Walzvorganges diene folgendes Beispiel: Es soll als äußerster Fall ein 1 m langer Stab der Querschnittsform Abb. 28 in einem einzigen Stich derart ausgewalzt werden, daß der mittlere, dünnere Teil gar keinen Druck erhält, die seitlichen, stärkeren Teile jedoch von 20 mm auf 12 mm vermindert werden. Dieser Stich wird selbstverständlich zur Folge haben, daß die ursprüngliche Querschnittsfläche von 960 mm² auf 640 mm² vermindert wird, so daß der ursprünglich 1 m lange Stab

$$\frac{960}{640} = 1,5 \text{ m}$$

lang geworden ist; d. h. das Verhältnis der Querschnittsflächen und die Verlängerung entsprechen einander auch in diesem Fall ganz genau. Während jedoch die stark gedrückten (40 %) seitlichen Teile von 1,0 m Länge auf 1,5 m gestreckt wurden, war gleichzeitig der mit ihnen zusammenhängende, überhaupt nicht gedrückte mittlere Teil ebenfalls gezwungen, sich auf 1,5 m zu verlängern. Auf Grund unserer Berechnung kann auch festgestellt werden, daß die Seitenteile im Fall freier, unabhängiger Bewegungsmöglichkeit eigentlich eine Länge von

$$\frac{20}{12} = 1,66 \text{ m}$$

erreicht hätten.

Die miteinander zusammenhängenden und unter verschiedenem Druck laufenden Querschnittsteile üben also auf ihre gegenseitige Umformung eine bedeutende und wichtige Wirkung aus: Von unter großem Druck laufenden Teilen wird der schwach

oder gar nicht gedrückte benachbarte Teil sich mit zu verlängern gezwungen, während von diesem die freie Verlängerung des ersteren behindert wird. Der stark gedrückte, in seiner freien Verlängerung jedoch behinderte Teil neigt zu größerer Dichte und stärkerer Breitung, der schwach gedrückte, mitgerissene, d. i. ohne walztechnische Bearbeitung ausgestreckte Teil nimmt in allen seinen übrigen Abmessungen ab. Auf Grund der beim Walzen von derart gewalzten Formeisen oft beobachteten, „unerwarteten“ Verkürzung gewisser Querschnittsteile wurde früher oft gesagt, daß „das Eisen aus den schwach gedrückten Teilen in die stark gedrückten Teile wandert“, was selbstverständlich unmöglich ist. Die Erscheinung ist nichts anderes als die natürliche Folge der oben beschriebenen gegenseitigen Beeinflussung miteinander zusammenhängender benachbarter Teile. Die Kenntnis der gegenseitigen Beeinflussung solcher Querschnittsteile ist für das Kalibrieren der Formeisen von grundlegender Bedeutung.

Die ungleiche Verlängerung der einzelnen Querschnittsteile bzw. das Strecken derselben ohne entsprechenden Walzdruck ist mit Gefahren verbunden. In derart fehlerhaft gewalzten Stäben treten Spannungen auf, welche Risse, manchmal sogar Brüche verursachen können. Beim Walzen von Formeisen ist daher der richtigen Druck- bzw. Abnahmeverteilung besonders große Aufmerksamkeit zu schenken.

Es wurde bereits erwähnt, daß die in ihrer freien Verlängerung behinderten Teile zu einer stärkeren Breitung neigen. Schon hieraus kann festgestellt werden, daß die Breitung des gewalzten Stabes eine Erscheinung ist, welche im allgemeinen dann auftritt, wenn der ganz freien Verlängerung irgendein Hindernis im Wege steht. Die Breitung selbst äußert sich derart, daß die Breite des auslaufenden Stabteiles größer ist als die Breite des einlaufenden Stabteiles. Während also der Stab mit den umlaufenden Walzen in Berührung stand, wurde nicht nur sein Querschnitt kleiner und seine Länge größer, sondern es hat sich auch seine Breite verändert.

Beim eisengewerblichen Walzen tritt die Breitung immer auf, und so muß mit ihr auch stets gerechnet werden. Leider kann die Größe der Breitung durch Berechnung nicht genau bestimmt werden, da die Größe der Breitung außer von der Größe des Druckes hauptsächlich von dem Bildsamkeitsgrad des Stoffes abhängig ist, welcher wiederum eine Funktion der während des Walzens rasch fallenden Temperatur ist. Die Breitung selbst ist vom Standpunkt der mechanischen Technologie nichts anderes als die Folge einer Stauchung, welche, da sie sich nur in der Richtung der Breite geltend machen kann, sich in der Zunahme der Stabbreite äußern muß. Die Stauchung tritt deshalb auf, weil die Teilchen der nebeneinander stehenden senkrechten Stoffschichten infolge der verhältnismäßig geringeren Bildsamkeit des Stahles aus den gedrückten Querschnitten mit einer nicht vollkommen entsprechenden Geschwindigkeit heraustreten, so daß hinter der senkrechten Ebene der Walzenachsen, d. h. in dem

kleinsten Querschnitt folgenden Übergangsquerschnitten, mit zunehmender Dicke eine Stoffanhäufung entsteht, welche bei der gegebenen einzigen Möglichkeit sich nur in der Zunahme der Stabbreite, also in der *Breitung* äußern kann. Daß dies wirklich so ist, davon kann man sich in der Weise überzeugen, daß man das Walzen eines mit größerem Druck laufenden Flacheisens ungefähr in der Mitte der Stablänge zum Stehen bringt. Man wird in diesem Fall beobachten, daß die Breitung einige Millimeter hinter den senkrechten Ebene der Walzenachsen bereits ihren vollen Wert erreicht hat. Dadurch, daß bei solchen

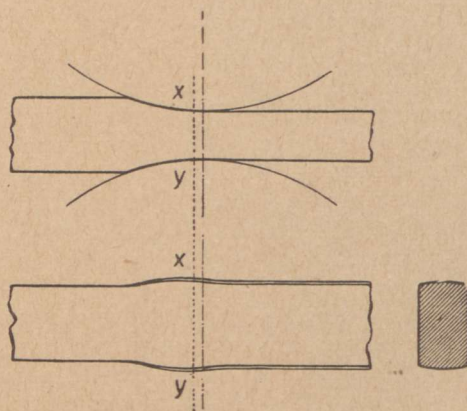


Abb. 29. Die Breitung des gewalzten Stabes.

zwischen den Walzen stecken-gebliebenen Stücken die Breite, wie auch in Abb. 29 gezeigt, $x-y$ sogar größer als die Breite des austretenden Teiles ist, wird an dem Wesen der Erscheinung nichts geändert, sondern bloß die Tatsache bestätigt, daß eben dieser Querschnitt die Stelle der größten Stauchung ist.

Die mit der Breitung verbundenen Verformungen können am zweckmäßigsten auf dem Lichtbild eines Übergangsstückes geprüft werden. In der Abb. 30 sind

drei solche Aufnahmen desselben Übergangsstückes zu sehen. Der 20-mm-Quadratstab aus ganz weichem Stahl wurde unter dem beträchtlichen Druck von 66 % Höhenabnahme zwischen glatten Walzen gewalzt und zwischen den Walzen stecken bleiben gelassen.

Auf der Abb. 30 sind folgende Erscheinungen deutlich bemerkbar: Größe und Gestalt der beiderseitigen Stoffverdrängung, welche die Breitung zustande gebracht hat. Die Seitenansicht veranschaulicht die beträchtliche Höhenabnahme des Stabes. In der Oberansicht des ausgelaufenen Teiles zeigt die Entfernung der inneren geraden Seitenlinien voneinander jene Längengröße, in der die Stoffteilchen quer der Walzrichtung geglitten sind. Der Überschuss — in derselben Richtung — ist die *Ausbauchung* der Stabseiten. Die Form und Größe dieser Ausbauchung kommt in der Hinteransicht des Bildes (aufgenommen in der Achse der Walzrichtung) am klarsten zum Vorschein. Diese Form der Ausbauchung entsteht als Folge des Umstandes, daß die Breitung an der oberen und unteren Staboberfläche — der starken Reibung zufolge — kleiner ist als in der Stabmitte, wo die Breitung (zwischen kaliberlosen Walzen) unbehindert ist. Die wellenartige Linienbildung zwischen den Stabkanten und dem Höhepunkt der Ausbauchung ist ein gutes Beispiel der gegenseitigen Beeinflussung benachbarter Querschnitte.

An dieser Stelle muß auf das mit $e-f$ bezeichnete Maß der Stabdicken in Abb. 21 sowie auf das Maß $a-b$ derselben Abbildung zurückgegriffen werden. Das Maß $e-f$ bezeichnet die Stabdicken desselben

Querschnittes, dessen Breite in Abb. 29 mit $x-y$ bezeichnet wurde. Dieser Stabquerschnitt besitzt bei zwischen den Walzen stecken-gebliebenen Stäben die besondere Eigentümlichkeit, daß ihre Höhe (Dicke) etwas kleiner ist als die Dicke des auslaufenden Stabteiles, seine Breite hingegen etwas größer als die Breite des auslaufenden fertigen Stabteiles. Dieser auffallenden Erscheinung kommt jedoch keine besondere Bedeutung zu, da beim fortlaufenden Walzen die erwähnten geringen Unterschiede dieser Abmessungen in dem Augenblick, wo der Stab die engste Stelle der Spalte, also die senkrechte Ebene der Walzen-

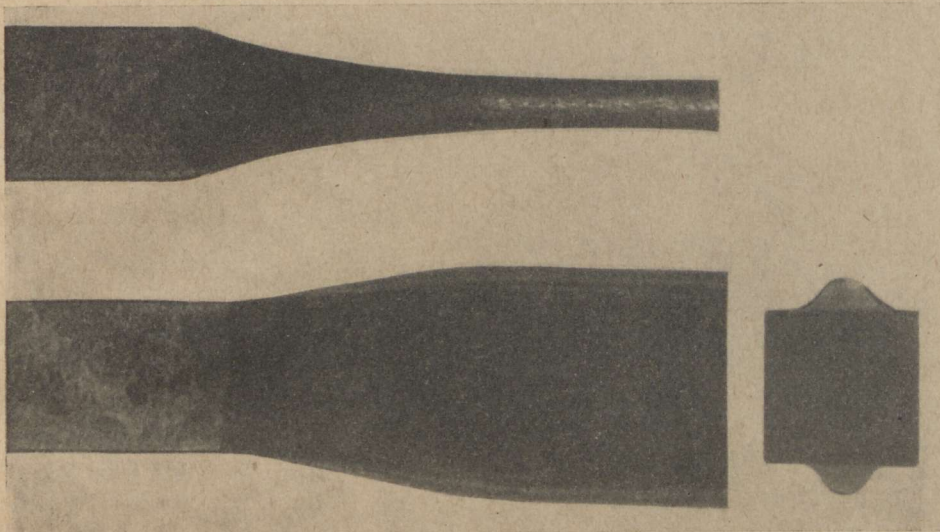


Abb. 30. Übergangsstück in drei Aufnahmen.

achsen verläßt, infolge der elastischen Formänderungen wiederum verschwinden.

Streng genommen gehört es zwar nicht in diesen Abschnitt, aber im Zusammenhang mit den zu Abb. 20 gemachten obigen Bemerkungen sei doch hier erwähnt, daß die erwähnte Größe des Maßes $a-b$ in Abb. 21 eine durch Versuch festgestellte Tatsache, Beweis dafür ist, daß die Dicke des gewalzten Stabes bereits etwas vor den ersten Berührungspunkten, also bereits etwas vor dem tatsächlich angegriffenen größten bzw. höchsten Stabquerschnitt, abzunehmen beginnt. Dies ist lediglich eine Folge der Bildsamkeit der miteinander verbundenen benachbarten Stoffteile bzw. die gegenseitige Rückwirkung, welche aus der Untersuchung der Erscheinungen des in Abb. 22 dargestellten Druckversuches bereits bekannt ist. Tafel nimmt diesbezüglich auch in der neuen Ausgabe seines erwähnten Werkes den unhaltbaren Standpunkt ein, daß unmittelbar vor dem größten gedrückten Querschnitt die Stabdike zunimmt. Als Beweis für diese Behauptung erwähnt Tafel nur die aus der Erinnerung gezeichnete, offenbar unrichtige Zeichnung Hollenbergs, mit den Worten: „auch der Versuch

von Hollenberg deutet auf einen Rückstau“ (S. 26 der zweiten Auflage).

Die Breitung bedeutet infolge der Zunahme einer Abmessung (der Breite) des gewalzten Stabquerschnittes für die rasche und ausgiebige Querschnittminderung, das eigentliche Ziel des Walzens, eine nicht unbeträchtliche Hemmung. Die Breitung ist somit für den Walzvorgang eher als eine lästige als günstige Begleiterscheinung zu betrachten. Es gibt jedoch Möglichkeiten zur Nutzbarmachung dieser sonst unerwünschten Erscheinung durch entsprechende Bemessung der Kaliberbreiten — zum Zweck des richtigen bzw. scharfkantigen Füllens.

Was nun die in dem Walzbetrieb beobachtete Größe der Breitung anbelangt, so hat Geuze²⁶⁾ gefunden, daß die ungehinderte Breitung im allgemeinen

$$B = 0,35 (h_1 - h_2)$$

ist, worin h_1 die Höhenabmessung des Stabes vor und h_2 nach dem Stich sind. Die Temperatur ist also hier nicht berücksichtigt, sondern bloß der Druck bzw. die Höhenabnahme. Die Formel von Geuze stellt daher fest, daß die Größe der Breitung rund ein Drittel der Höhenabnahme des Stabes beträgt. Ganz genaue Werte kann diese Formel nicht liefern. Trotzdem kommen die mit ihr berechneten Werte den im Walzbetrieb gemessenen Breitungen sehr nahe. Wird zum Zweck des richtigen Füllens für die „geschlossenen“ Kaliber mit einem Wert von 0,20 bis 0,30 ($h_1 - h_2$) gerechnet, so ist ein Irrtum nicht möglich. Bei stärkeren oder kühleren Stäben benutzt man zur Bestimmung der Kaliberbreite den oberen, bei dünneren oder wärmeren Stäben den unteren Wert der Formel. Im Betrieb wird im allgemeinen stets auf Grund einer nach der Geuze-Formel bestimmten Breitung gearbeitet, da diese Formel äußerst einfach ist und in der großen Mehrheit der Fälle verlässliche Werte liefert.

Aus den Breitungsformeln der jüngsten Zeit sollen in der Reihenfolge ihrer Entstehung die Formeln von Siebel, Sedlaczek und Metz erwähnt werden, wozu allerdings zu bemerken ist, daß das Metz'sche Verfahren zur Vorausbestimmung der Breitung mehr eine graphische als rechnerische Lösung der Frage ist.

Die Breitungsformel von E. Siebel²⁷⁾ lautet:

$$B = C \frac{h_1 - h_2}{h_1} \sqrt{(h_1 - h_2)r},$$

worin unter den bisher noch nicht erwähnten Werten r = den Halbmesser der Walze und C einen Erfahrungskoeffizienten bedeuten. Der Mittelwert von C beträgt 1 : 3,2²⁸⁾.

Die Formel von Sedlaczek²⁹⁾ lautet:

$$B = \frac{h_1 - h_2}{6} \sqrt{\frac{r}{h_1}},$$

worin also der Wert C fehlt.

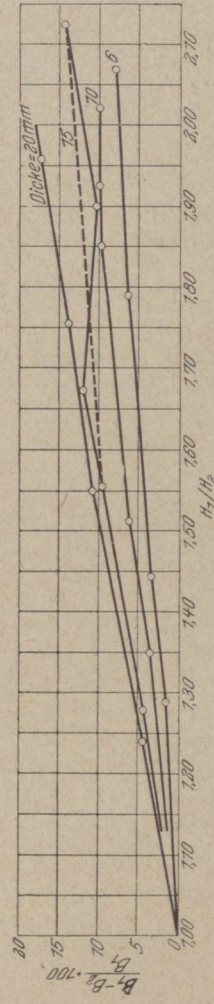
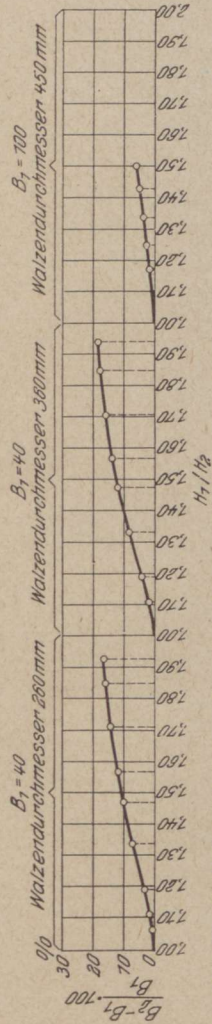
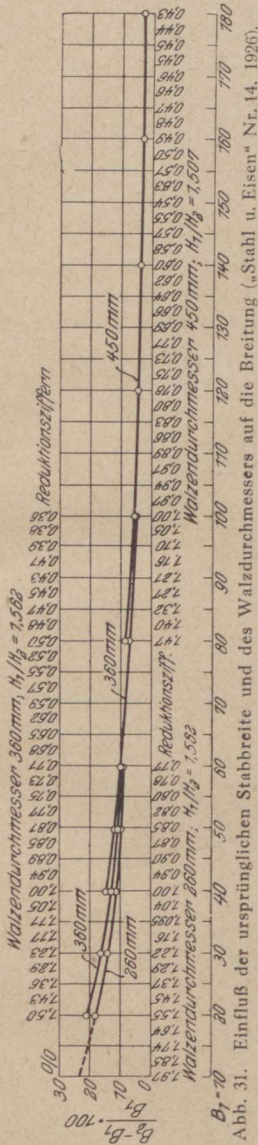
26) L. Geuze, *Laminage du fer et de l'acier*, Paris 1900, II., 1921.

27) Bericht d. Walzwerksausschusses Nr. 28 (1922).

28) W. Tafel und F. Anke, „Zeitschr. f. Metallk.“ 1927, S. 225.

29) W. Tafel und H. Sedlaczek, „Das Breiten beim Walzen“, „Stahl u. Eisen“ 1925, S. 190.

In den neueren Formeln kommt also bereits zum Ausdruck, daß die Breitung nicht nur mit der Zunahme des Druckes, sondern auch mit der Zunahme der Größe der Walzendurchmesser zunimmt.



Das Verfahren von Metz³⁰⁾ gestaltet sich wie folgt: Metz faßt die Ergebnisse seiner Versuche, nach den ursprünglichen Stabdicke

30) Norb. Metz, „Experimentelle Untersuchungen über den Walzvorgang“, „Stahl u. Eisen“ 1926, S. 476—478, bzw. die Originalarbeit in der „Revue de Metallurgie“ 66 (1925).

und nach den Walzendurchmessern getrennt, in drei bzw. vier Schaubildern zusammen, die in Abb. 31—34 dargestellt sind. Zur Vorausbestimmung der Breitung an Hand dieser Schaubilder empfiehlt er folgendes Verfahren: Die ursprüngliche Stabbreite außer acht lassend, wird in Abb. 32 die der betreffenden Höhenabnahme und dem betreffenden Walzendurchmesser entsprechende Breitungszahl ermittelt. Die so gefundene, einer ursprünglichen Breite von 40 bzw. 100 mm entsprechende Zahl wird nun für die tatsächliche Anfangsbreite in der Weise umgerechnet, daß man aus Abb. 31 den zu dieser Anfangsbreite gehörenden Breitungswert ermittelt, diesen durch den ihm zwischen den Anfangsbreiten von 40 bzw. 100 mm entsprechenden Wert teilt und die so erhaltene Zahl mit dem aus dem Schaubild der Abb. 32 gewonnenen Wert multipliziert.

Bei geringeren ursprünglichen Stabbreiten, unter 20 mm, muß der aus dem nächsten Schaubild Abb. 33 ermittelte Wert noch durch die aus Abb. 32 zu entnehmende Reduktionszahl geteilt werden.

Das Verfahren von Metz ist umständlich, und da vergleichende Berechnungen bzw. Versuche ergaben, daß die Metz'schen Breitungswerte von den Ergebnissen der außerordentlich einfachen Geuze'schen Formel nur um 0,1 bis 0,2 mm abweichen, wird man kaum eine starke Verbreiterung in den Walzbetrieben zur Vorausbestimmung der Breitung erwarten können.

Durch die Versuchsreihen von Metz wurden übrigens die folgenden, größtenteils auch bisher schon bekannten Breitungserscheinungen bestätigt:

1. Die Größe der Breitung ist von der ursprünglichen Breite des Stabes unabhängig, wenn diese größer ist als die Anfangsdicke;
2. die Breitung steigt mit der Zunahme des Walzendurchmessers;
3. die senkrechten Längsseiten des Stabes bauchen sich kaum aus, wenn der Druck gering ist, bei stärkerem Druck bauchen sie sich stärker aus;
4. die Größe der Breitung nimmt mit der Zunahme der Walzgeschwindigkeit ab.

In den Kreisen der Walzwerksingenieure ist die Annahme, daß die Breitung des Walzstabes nicht proportional der Stabbreite (vor dem Stich), sondern von ihr unabhängig sei, fast allgemein geworden. Die bekannteste Breitungsformel von L. Geuze³¹⁾:

$$B_1 = B + 0,35 (H - h)$$

sowie die Formel von W. Tafel und H. Sedlaczek³²⁾:

$$B_1 = B + \frac{H-h}{6} \sqrt{\frac{r}{H}}$$

wurden gleichfalls auf Grund dieser Annahme aufgebaut:

Trotzdem muß diese Annahme als irrig angesehen werden³³⁾. Die Unhaltbarkeit der Voraussetzung, daß die Breitung nicht proportional

31) Laminage du fer, Paris 1900, S. 6.

32) „Stahl u. Eisen“, Bd. 1 (1925), S. 190.

33) E. Cotel, „Zusammenhang zwischen den Stabbreiten vor und nach dem Stich“, „Zeitschr. f. Metallk.“ 1943, S. 231.

der Stabbreite (vor dem Stich), sondern von ihr ganz unabhängig sei, geht bereits aus der Tatsache hervor, daß eine beliebig große Breitung des Stabes unmöglich ist. Ein Stabquerschnitt von 100×100 mm z. B.

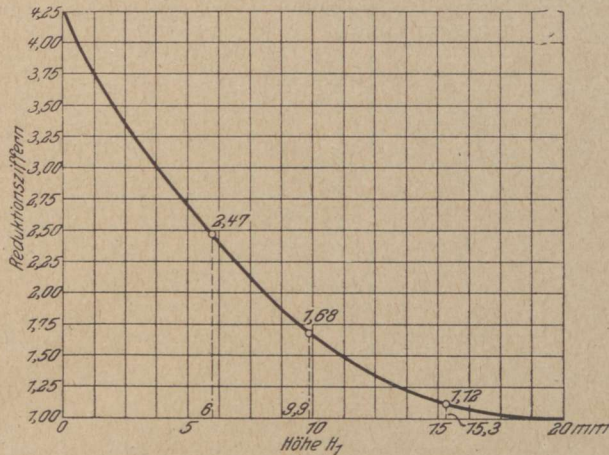


Abb. 34. Reduktionsziffer für die Breitungswerte schmaler Stäbe („Stahl u. Eisen“ Nr. 14. 1926).

kann weder in einem noch in mehreren Stichen auf eine Stabbreite von 150 mm ausgewalzt werden. Diese Tatsache beweist jedoch nur die Unmöglichkeit der Unabhängigkeit der Breitung von der Anfangsbreite des Stabes. Weiter unten werden die positiven Beweise der Abhängigkeit und die Gesetzmäßigkeiten zwischen den Stabbreiten vor und nach dem Durchgang ausführlich dargelegt.

Beim Studium der Breitung wurden im Laufe von Jahrzehnten zahlreiche einschlägige Versuche durchgeführt³⁴⁾. Die Ergebnisse dieser Versuche sowie mit denen der genannten beiden anderen Breitungformeln führten zu der Erkenntnis jener wichtigen Tatsache, daß zwischen der Stabbreite und der Tangente des Winkels von 45 bis 51° ein ständiger, gesetzmäßiger, sozusagen natürlicher Zusammenhang besteht, wodurch die nach dem Stich zu erwartende Stabbreite im voraus genau bestimmt ist. Damit stellte sich auch heraus, daß die allgemein verbreitete Annahme, als ob die Breitung nicht proportional der Stabbreite, sondern von ihr praktisch unabhängig wäre, irrig ist.

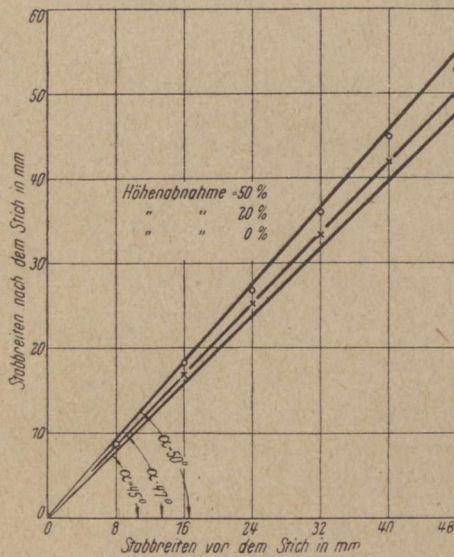


Abb. 35.

34) E. Cotel, „Montan. Rundschau“, Bd. 636 (1924).

Wählt man aus den Brei­ tungsversuchen des Verfassers diejenige heraus, welche bereits früher veröffentlicht wurden, so geht z. B. daraus hervor, daß die Brei­ tungen der verschieden breiten Stabstreifen auf solchen geraden Linien liegen, welche mit der Waagerechten einen Winkel von 45 bis 51° bilden, wie dies aus Abb. 35 zu ersehen ist. Die Linie des Winkels von 45° bedeutet die unveränderten Stabbreiten bzw. die Höhenabnahme von 0%. Prüft man diese Brei­ tungsverhältnisse näher, so stellt sich heraus, daß die Brei­ tungswerte der 50 prozentigen Höhenabnahme auf der Linie des Winkels von 50°, die der 40 prozentigen Höhenabnahme auf der Linie des Winkels von 49° usw. liegen, so daß die Brei­ tungswerte der 10 prozentigen Höhenabnahme die Linie des Winkels von 46° bedeuten. Es ist aus Abb. 35 ersichtlich, daß die Stabbreiten nach dem Stich

$$B_1 = B \cdot \operatorname{tg} \alpha$$

sein müssen, wo B die Stabbreite vor dem Stich bedeutet. Die Winkelgröße von α bewegt sich in der Regel zwischen 45 und 51° gemäß Zahlen­ tafe! 5.

Zahlentafel 5
Winkel α und Höhenabnahme

α in Grad	Höhenabnahme in Prozent	α in Grad	Höhenabnahme in Prozent
45	0	49	40
46	10	50	50
47	20	51	60
48	30		

Diese Winkelgrößen sind jedoch ohne Korrektur nur für die quadratischen Anfangsquerschnitte gültig. Erleidet z. B. ein Quadratstab von 50 × 50 mm eine Höhenabnahme von 50%, wird er also in einem Stich auf 25 mm herabgedrückt, so beträgt die Stabbreite nach dem Stich auf Grund der neuen Formel:

$$B_1 = B \cdot \operatorname{tg} 50 = 50 \cdot 1,19 = 59,5 \text{ mm.}$$

Dieselbe Stabbreite soll nach L. Geuze

$$B_1 = B + 0,35 (H - h) = 50 + 0,35 (50 - 25) = 58,7 \text{ mm}$$

betragen.

Handelt es sich um einen Fall, in welchem die Stabhöhe kleiner ist als die fragliche Anfangsbreite des Stabes, so muß man die für diesen Fall gültige Winkelgröße folgendermaßen bestimmen bzw. korrigieren: Besitzt z. B. ein ebenfalls 50 mm breiter Walzstab nur 30 mm Höhe (Dicke), d. h. nur 60% der in dem obigen Fall erwähnten Quadratstab­ höhe, so wird die gültige Winkelgröße bei einer ebenfalls 50 prozentigen Höhenabnahme nicht mehr 50, sondern nur 48° betragen, weil von dem Unterschied der Winkelgrößen 50 und 45 nur 60% in Betracht kommen können. In diesem zweiten Fall ist also die korrigierte, wirksame Winkelgröße nur 48°, so daß die Stabbreite nach dem Stich

$$B_1 = B \cdot \operatorname{tg} 48 = 50 \cdot 1,11 = 55,5 \text{ mm}$$

betragen wird. Dieselbe Stabbreite nach L. Geuze sollte

$$B_1 = 50 + 0,35/30 - 15 = 55,3 \text{ mm}$$

betragen (siehe in Zahlentafel 6 die Zeilen 5 u. 6).

Ist die Stabhöhe dagegen größer als die Quadratseite bzw. größer als die Anfangsbreite des Walzstabes, so ist die Korrektur der wirklichen Winkelgröße derart vorzunehmen, daß sie im Verhältnis des Unterschiedes zwischen Quadratseite und tatsächlicher Stabhöhe entsprechend vergrößert wird. Ein solcher Fall ist in der letzten Zeile der Zahlentafel 6 angeführt und dient zum Vergleich mit den zwei anderen Breitungsfällen der 500 mm breiten Walzstäbe bzw. Blöcke. Viel einfacher gestaltet sich die Korrektur, wenn die Werte der Tangenten von Winkeln mit $45-51^{\circ}$ in Zehntelgraden in einer Zahlentafel vorher zusammengestellt werden.

Zahlentafel 6

Breitung in Abhängigkeit von den Stababmessungen und dem Walzgrad

B mm	H mm	h mm	H-h mm	H-h ‰	α in Grad	B ₁ in Millimeter	
						B · tg α	B + 0,35 (H-h)
20	20	10	10	50	50,0	23,8	23,1
20	10	7	3	30	46,5	21,0	21,0
30	15	7,5	7,5	50	47,5	32,7	32,6
30	24	12	12	50	49,0	34,5	34,2
50	50	25	25	50	50,0	59,5	58,7
50	30	15	15	50	48,0	55,5	55,3
60	60	30	30	50	50,0	71,4	70,5
60	48	24	24	50	49,0	69,0	68,4
100	100	50	50	50	50,0	119,0	117,5
100	60	30	30	50	48,0	111,0	110,5
100	100	40	60	60	51,0	123,0	121,0
200	50	25	25	50	46,3	209,4	208,8
200	200	100	100	50	50,0	238,0	235,0
200	100	50	50	50	47,5	218,0	217,5
280	70	35	35	50	46,25	292,3	292,3
400	400	320	80	20	47,0	428,8	428,0
400	100	50	50	50	46,3	418,8	417,5
400	200	160	40	20	46,0	414,0	414,0
500	500	400	100	20	47,0	536,0	535,0
500	250	200	50	20	46,0	517,5	517,5
500	600	480	120	20	47,4	543,5	541,0

Zahlentafel 7

Witkowitz Blockversuche mit glatter Bahn
(vgl. „Stahlu. Eisen“, Bd. 1 [1925], S. 190).

Versuchs- Nr	H mm	h mm	H-h		α in Grad	B mm	Breite nach dem Stich B ₁		
			mm	‰			wirklich	B · tg α	B + 0,35 (H-h)
2	180	100,5	79,5	44,0	49,4	180	210,6	209,9	207,4
3	180	97,5	82,5	45,8	49,6	180	212,2	211,8	208,8
11	180	138,5	41,5	23,0	47,3	180	196,3	195,3	194,5
18	180	145,8	34,2	19,0	46,9	180	189,2	192,2	191,9
20	180	151,7	28,3	15,7	46,6	180	187,0	189,9	189,9
23	180	157,8	22,2	12,3	46,3	180	188,4	188,2	187,7
30	180	86,5	93,5	51,9	50,2	180	214,2	215,8	212,2

In Zahlentafel 6 sind die Breitungen bzw. die Stabbreiten nach dem Stich für möglichst viele in der Betriebspraxis vorkommende Walz-

aufgaben zusammengestellt; die Errechnung erfolgte auf Grund der eigenen sowie der Geu z e s c h e n Formel. Es kann durch beliebig gewählte vergleichende Rechnungen bzw. Breitungsfälle festgestellt werden, daß die neue Breitungformel vollkommen richtig und unbedingt verläßlich ist. Die mit dieser Formel berechneten Werte stimmen mit den Breitungswerten von L. Geu z e im allgemeinen überein.

Die neue Formel bedeutet für die Praxis keine besonderen Vorteile, weil sie mit der außerordentlich einfachen Formel von L. Geu z e nicht wetteifern kann. Die neue Formel hat jedoch eine grundsätzliche Bedeutung und kann als Beweis des neuen Grundsatzes gelten, wonach zwischen den Stabbreiten vor und nach dem Stich wohl ein gesetzmäßiges Verhältnis besteht.

Noch eine Bemerkung scheint hier angebracht zu sein. Nachdem die Tangente mit der Zunahme des Winkels stärker wächst als der Winkel selbst, ist es wohl verständlich, daß die Werte der Tangente zwischen 49° und 50° etwas größer sind als z. B. zwischen 45° und 46° . Dieser Umstand ist vom Standpunkt der Brauchbarkeit der neuen Formel jedoch nur von entschiedenem Vorteil, weil es allgemein bekannt ist, daß die Breitungen bei größeren Höhenabnahmen bzw. bei größeren Walzendurchmessern immer höher ausfallen, als es auf Grund der Geu z e s c h e n Formel zu erwarten wäre. Auch die in der Zahlentafel 6 auffindbaren Breitungswerte der neuen Formel beweisen dies.

In dem bereits erwähnten Aufsatz von W. Tafel und H. Sedlaczek stehen zum Vergleich Betriebsversuche zur Verfügung, in welchen mit quadratischen Walzstäben bzw. Blockknüppeln gearbeitet wurde. Aus diesen Breitungsversuchen wurden sieben ausgewählt, und zwar derart, daß sie die verschiedensten Höhenabnahmen — zwischen 10 und 52% — vertreten. Die Ergebnisse dieser in Witkowitz gemachten Breitungsversuche sind in Zahlentafel 7 aufgeführt und wurden mit den Breitewerten des Verfassers und jenen von L. Geu z e ergänzt. Es ist aus den Ergebnissen dieser Versuche klar ersichtlich, daß die nach dem Verfasser berechneten Stabbreiten mit den wirklichen Stabbreiten sozusagen vollkommen gleich sind bzw. den wirklichen Breiten durchweg viel näher kommen als die nach L. Geu z e berechneten. Eine einzige Ausnahme bildet die des Versuches Nr. 20, wo die wirkliche Stabbreite (oder aber die Höhenabnahme) unbedingt fehlerhaft gemessen wurde, was bereits allein aus dem Umstand festgestellt werden kann, daß der nächstfolgende Versuch Nr. 23 bei entschieden geringerer Höhenabnahme eine größere (und zwar richtige) Stabbreite ergab.

Es kann auf Grund der obigen Ausführungen festgestellt werden, daß die neue Formel vollkommen verlässliche Breitungswerte liefert.

Zeichnet man nun die den verschiedenen Stabhöhen ($H=0,1$; B bis $H=B$) entsprechenden Tangentenwerte auf, so entfaltet sich (Abb. 36) ein sehr interessantes Bild des Zusammenhanges zwischen der prozentualen Höhenabnahme und der prozentualen Breitenzunahme. Man kann aus dieser Darstellung alle in den Walzbetrieben möglichen Breitungen mit vollkommen guter Genauigkeit unmittelbar ablesen.

Hieraus geht klar hervor, daß die Breitung in Prozent der Stabbreite vor dem Stich beim Auswalzen quadratischer Stäbe ($H=B$) das 0,384 fache (38,4 %) der prozentualen Höhenabnahme beträgt. Auf Grund von Abb. 36 entsteht folgende Breitenformel:

$$B_1 = B \left(1 + 0,384 \frac{H-h}{H} \cdot \frac{H}{B} \right).$$

Diese Formel gestaltet sich nach der Durchführung der Multiplizierung und Vereinfachung wie folgt:

$$B_1 = B + 0,384 (H - h),$$

d.h. man kann zu der Geuzeschen Formelgestalt gelangen, jedoch mit der nicht unbedeutenden Änderung, daß der richtige unveränderliche Faktor nicht 0,35, sondern 0,384 sein muß. Die vollkommene Richtigkeit dieser Unveränderlichen im Wert von 0,384 ist durch die folgerichtige und genaue Übereinstimmung der Ergebnisse der neuen Grundformel:

$$B_1 = B \cdot \operatorname{tg} \alpha_{(45-51)}$$

mit den wirklichen Breitungen der Witkowitzers Versuche wohl bestätigt. Abb. 36 ist übrigens auch in weiterer Beziehung lehrreich. Sie stellt die Tatsache anschaulich dar, daß z. B. ein Walzstab, dessen Dicke nur ein Zehntel der Stabbreite beträgt, auch im Fall der größtmöglichen

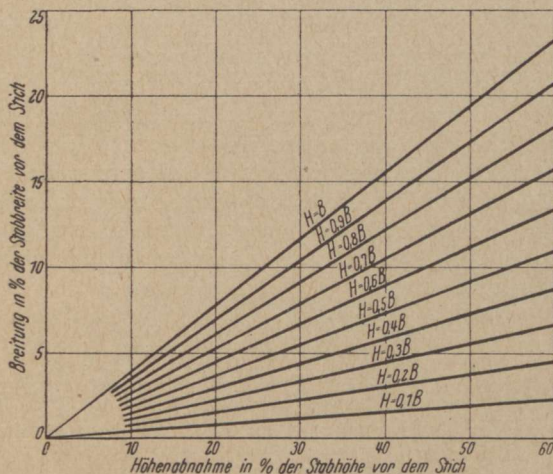


Abb. 36.

Höhenabnahmen (etwa 60 %) nur höchstens um 2 % seine Breite vergrößern kann. In dem Fall, in dem die Stabdicke 50 % der Stabbreite (vor dem Stich) ausmacht, erreicht die Breitenzunahme höchstens 11 % der ursprünglichen Stabbreite.

Es sei noch auf den interessanten Zusammenhang, welcher aus der Gleichwertigkeit der beiden Breitenformeln entsteht, hingewiesen. Aus der Gleichwertigkeit dieser Ausdrücke folgt, daß für die quadratischen Walzstäbe

$$B \cdot \operatorname{tg} \alpha = B + 0,384 (H - h)$$

ist. Dividiert man nun diese Gleichung durch B , so entsteht die Gleichung:

$$\operatorname{tg} \alpha = 1 + \frac{0,384 (H - h)}{B}$$

und folglich

$$\operatorname{tg} \alpha - \frac{0,384 (H - h)}{B} = 1,$$

wo sich die Werte von α zwischen 45 und 52° bewegen, entsprechend den prozentualen Höhenabnahmen. Es ist somit klar ersichtlich, daß sich der Wert des Ausdruckes

$$\frac{0,384 (H - h)}{B}$$

stets zwischen 0 und 0,3 bewegt bzw. stets den gleichen Wert haben muß, wie

$$\operatorname{tg} \alpha - 1,$$

d.h. immer dieselbe Zahl ist, welche im Wert von $\operatorname{tg} \alpha$ hinter der Einheit (1) steht.

Inzwischen ergab sich die Frage, ob die oben erwähnten Formeln auch in den Fällen sehr großer (z. B. 50—80 %) Höhenabnahmen ihre Gültigkeit bzw. Brauchbarkeit beibehalten können. Diese außerordentlich großen Höhenabnahmen kommen zwar bei Walzbetrieben in der Regel nicht vor, sind aber grundsätzlich denkbar.

Um in dieser Frage Klarheit schaffen zu können, wurden entsprechende Walzversuche gemacht. Die Versuche wurden mit genau bearbeiteten, weichen Stahlstäben zwischen 650-mm-Durchmesser-Blechwalzen durchgeführt. Es wurden je vier solche Stäbe von 30 × 30 bzw. 40 × 40 und 50 × 50 mm Quadratquerschnitt mit 51—80 % Höhenabnahme in je einem Stich ausgewalzt. Die Versuchsergebnisse sind in der Zahlentafel 8 zusammengestellt³⁵⁾. Aus dieser Zahlentafel ist er-

Zahlentafel 8
Breitungsversuche mit 51—80 % Höhenabnahmen
(Walzendurchmesser 650 mm)

Ver- suchs- Nr.	Stabquerschnitte vor dem Stich (mm)					
	30×30		40×40		50×50	
	Stabquerschnitte nach dem Stich (mm)					
	Breite	Höhe	Breite	Höhe	Breite	Höhe
1	48,9	14,7	64,2	15,2	77,0	15,1
	47,5	14,7	63,5	15,1	77,0	15,3
	48,0	14,7	65,0	15,1	73,0	15,3
	49,9	14,6	60,5	15,1	72,0	15,2
2	54,5	10,2	64,5	11,2	76,0	11,2
	54,1	10,2	64,5	11,3	73,5	11,2
	55,5	10,3	64,0	11,3	73,0	11,1
	57,0	10,4	64,5	11,1	81,0	11,3

sichtlich, daß die wirklichen Stabbreiten durchweg beträchtlich größer sind als die auf Grund der bisherigen Breitungsformeln errechneten Stabbreiten. Die Geuzeschen Breitungswerte bleiben am stärksten zurück.

³⁵⁾ E. Cotel, „Mitteilungen d. berg- u. hüttenm. Abteilung d. Pal.-Joseph-Universität zu Sopron“, Bd. XV.

Aus den zahlenmäßigen Ergebnissen dieser Brei- tungsversuche ist die Tatsache klar ersichtlich, daß der Walzendurchmesser bzw. das Verhältnis zwischen Walzendurchmesser und Stabhöhe vor dem Stich $\left(\frac{D}{H}\right)$ bei solchen außerordentlich großen Höhenabnahmen (50 — 80 %) entscheidenden Einfluß hat. Das Verhältnis zwischen dem Durchmesser (650 mm) und der Stabhöhe (vor dem Stich) beträgt im Fall des 30 × 30-mm-Stabes 21,7, beim 40 × 40-mm-Stab 16,2 und beim 50 × 50-mm-Stab 13,0. Der Verfasser stellte nun für die Fälle der übergroßen (50 — 80 %) Höhenabnahmen eine neuere Brei- tungsformel auf, welche auch dem Ein- fluß des Verhältnisses $\frac{D}{H}$ Rechnung trägt.

Faßt man nun die weiteren Regelmäßigkeiten dieser Versuchs- ergebnisse ins Auge (siehe Zahlentafel 9), so muß man feststellen, daß der Wert von Quotienten

$$\frac{D}{H} \cdot \frac{B_1 - B}{H - h}$$

eine unveränderliche Größe (rund = 17) ist.

Aus dieser Regelmäßigkeit ergab sich eine neue Formel für die Brei- tung der stark gedrückten Qua- dratstäbe bzw. sie ist in dieser Regelmäßigkeit bereits gegeben. Nachdem der Wert des Quotienten

$$\frac{D}{H} \cdot \frac{B_1 - B}{H - h} = 17$$

ist, ergibt sich daraus die neue Brei- tungsformel:

$$B_1 = B + 0,06 \frac{D}{H} \cdot (H - h),$$

wo H die Stabhöhe vor dem Stich, h die Stabhöhe nach dem Stich be- deutet ³⁶⁾.

Diese neue Formel liefert Breitewerte, welche mit den in der Zahlen- tafel zusammengestellten Versuchsergebnissen bzw. mit den wirklichen Stabbreiten (nach dem Stich) gut übereinstimmen:

Eine Breite von		ergab der wirklichen Breite gegenüber
Nr. 1 (30 × 30)	49,5 mm	47,5 — 49,9 mm
Nr. 1 (40 × 40)	64,0 mm	60,5 — 65,0 mm
Nr. 1 (50 × 50)	77,0 mm	72,0 — 77,0 mm
Nr. 2 (30 × 30)	54,3 mm	54,1 — 57,0 mm
Nr. 2 (40 × 40)	67,8 mm	64,0 — 64,5 mm
Nr. 2 (50 × 50)	80,0 mm	73,0 — 81,0 mm

Um die Stichhaltigkeit dieser neuen Brei- tungsformel noch näher prüfen zu können, wurde auf derselben Walzenstraße ein weiterer Ver-

36) Es wurde in den bereits erwähnten drei Arbeiten des Verfassers fest- gestellt, daß diese Formel in den Fällen der mittelstarken Walzen (300—700 mm Durchmesser) die volle Gültigkeit besitzt. Für schwächere Walzen soll in die Formel 0,05, für stärkere dagegen 0,07 als Multiplikationsfaktor eingesetzt werden.

such gemacht, und zwar mit je drei 20×20 -mm-Quadratstäben. Es wurde diesmal bereits vor dem Versuch festgestellt bzw. errechnet, daß im Fall einer Höhenabnahme von 70 % der 20×20 -mm-Quadratstab nach dem Durchgang:

$$B_1 = B + 0,06 \cdot \frac{D}{H} \cdot (H - h) = 20 + 0,06 \cdot \frac{650}{20} \cdot 14 = 47,3 \text{ mm}$$

Breite erreichen muß. Der Versuch bestätigte diese Erwartung restlos, indem sich die wirklichen Stabbreiten zwischen 47,0 und 49,5 mm bewegten bei einer fertigen Stabhöhe von 5,8 bis 5,9 mm.

Zahlentafel 9

Regelmäßigkeiten in den Breitungen verschieden starker Stäbe (Walzendurchmesser 650 mm)

Versuchs-Nr.	Dimension	Stabquerschnitt vor dem Stich (mm)			
		20×20	30×30	40×40	50×50
1	D				
	H	32,5	21,7	16,2	13,0
	H—h	6,5	15,4	24,9	34,8
	B ₁ —B	4,2	18,0	24,0	25,0
	$\frac{B_1 - B}{H - h}$	1,95	1,17	0,96	0,72
	$\frac{D}{H} \cdot \frac{B_1 - B}{H - h}$	16,7	18,6	16,8	18,1
2	H—h	—	19,3	28,7	38,8
	B ₁ —B	—	25,0	24,5	27,0
	$\frac{B_1 - B}{H - h}$	—	1,29	0,86	0,7
	D				
	$\frac{D}{H} \cdot \frac{B_1 - B}{H - h}$	—	16,8	18,4	18,6

Die neue Breitungformel hat sich sehr gut bewährt. Die Versuchsergebnisse z. B., welche mit genau bearbeiteten Stäben auf der Feinstraße der Rimamurányer Eisenwerks A.G. in Ózd gewonnen wurden, bestätigen es restlos. Wir entnehmen aus dem amtlichen Bericht des Betriebes folgende Sätze:

„Rechnen wir die Breitungen auf Grund der neuesten Formel

$$B_1 = B + 0,05 \frac{D}{H} \cdot (H - h)$$

aus, so erfährt man, daß die Rechnungsergebnisse dieser sechs Versuche mit den Versuchsergebnissen fast vollkommen genau übereinstimmen; die Abweichungen betragen nur einige Zehntelmillimeter. Die Ergebnisse dieser Versuche bestätigen wohl die Richtigkeit der neuen Breitungformel.“ Die Angaben der Ózder Versuche wurden in der Zahlentafel 10 zusammengefaßt.

Zahlentafel 10

Ergebnisse der Brei tungsversuche in Ö z d

Versuchs- Nr.	Stabquerschnitt (mm)		$\frac{D}{H}$	B_1 gerechnet
	H×B	h×B ₁		
1	30×30	14,8×37,2	9,66	37,3
2	30×30	13,2×34,0		38,1
3	30×30	11,6×39,0		38,9
4	35×35	17,5×42,0	8,29	42,3
5	35×35	15,0×43,0		43,3
6	35×35	13,0×44,0		44,1

Die Ergebnisse der sehr gewissenhaften Csepeler Versuche weisen — wie schon erwähnt — auch auf die Tatsache hin, daß die verbesserte Formel von Ge u z e sowie jene des Verfassers:

$$B_1 = B \cdot \operatorname{tg} \alpha,$$

bei sehr großen (über 50 %) Höhenabnahmen nur in solchen Walzfällen richtige Ergebnisse liefern, bei welchen

$$\frac{D}{H} = 6,4$$

oder noch kleiner ist.

Um die Unterschiede zwischen den Ergebnissen der verschiedenen Brei tungsformeln auch zahlenmäßig darstellen zu können, wurden in der Zahlentafel 11 die mit den verschiedenen Formeln erhaltenen Stabbreiten für eine Reihe ausgewählter Walzaufgaben zusammengestellt. Es tritt in dieser Zusammenstellung die relative Starrheit der älteren Formeln und die große Elastizität der neuen Brei tungsformel klar hervor.

Zahlentafel 11

Zusammenstellung der Ergebnisse verschiedener Brei tungsformeln

B	H	D	$\frac{D}{H}$	H—h		tg α	Berechnete fertige Stabbreite (mm) nach der Formel			
							$B_1 = B \cdot \operatorname{tg} \alpha^1)$	$B_1 = B + 0,384 (H - h)$	$B_1 = B + \frac{H-h}{6} \sqrt{\frac{r}{H}}$	$B_1 = B + 0,06 \frac{D}{H} \cdot (H - h)$
mm	mm	mm		mm	%					
150	150	1000	6,6	50	33	1,12	168	169	165	170
150	120	1000	8,3	30	25	1,09	161	161	160	165
120	100	900	7,5	50	50	1,19	139	139	137	142
100	100	700	7,0	60	60	1,23	123	123	119	125
100	70	700	7,0	30	43	1,16	111	111	111	112
80	60	600	7,5	20	33	1,12	87	87	87	89
50	60	450	9,0	30	50	1,19	61	61	60	66
40	40	280	7,0	28	70	1,30	52	52	49	52
40	40	480	12,0	28	70	1,30	52	52	52	60
20	20	200	10,0	10	50	1,10	24	24	23	26
20	20	500	25,0	14	70	1,28	26	26	28	41
10	10	200	20,0	5	50	1,19	12	12	12	16

1) Bzw. für die nichtquadratischen Querschnitte: $B_1 = B + (\operatorname{tg} \alpha - 1) H$.

Sucht man nun die eigentliche Stelle bzw. die Ausdehnung der Seitenfläche, wo das Breiten unmittelbar bei seiner Entstehung in die Augen springt, so gelangt man zu der Lage, welche in der Abb. 37 dargestellt ist. Diese Lage ist aus der Voraussetzung hervorgegangen, daß die

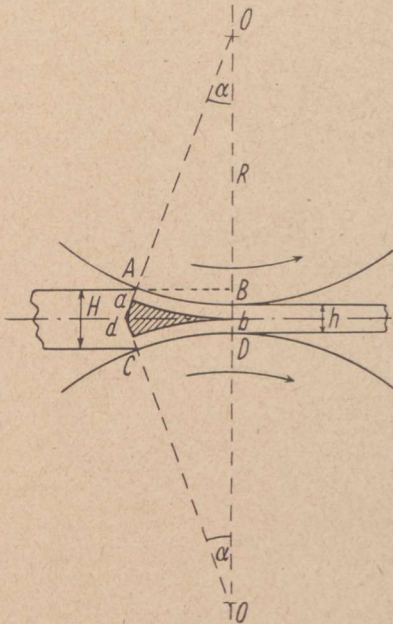


Abb. 37. Die Stelle der breitenden Stoffmenge.

mit a b c d bezeichnete Fläche diejenige Stoffmenge vertritt, welche in die Breite gehen muß. Nach näherer Prüfung der bezeichneten Flächengrößen A B C D und a b c d bzw. nach Prüfung verschiedener Breitenversuche gelangt man zu der Tatsache, daß diese Voraussetzung vollkommen richtig war. Aus dieser Tatsache geht hervor, daß man auf Grund des Verhältnisses zwischen A B C D und a b c d zu einer neuen Breitenformel gelangen kann. Diese Formel lautet:

$$B_1 - B = \frac{0,7 (H - h)}{H + h}$$

Vergleichende Proberechnungen mit dieser Breitenformel (siehe Zahlentafel 12) beweisen die Verlässlichkeit der Formel. Obwohl diese Breitenformel nicht die äußerst einfache Gestalt hat wie z. B. die Formel von Geuze, so ist sie doch von

Zahlentafel 12

Vergleichung der Ergebnisse zweier Formeln

Lfd. Nr.	Ausgangs- querschnitt mm	Höhen- abnahme mm	Breitezunahme in Millimeter auf Grund der Formel:	
			$B_1 - B = B \cdot \frac{0,7(H-h)}{H+h}$	$B_1 - B = 0,384(H-h)$
1	100	50	23	19
2	90	45	21	17
3	90	30	12,6	12
4	80	20	8	8
5	60	30	14	12
6	60	20	8,4	8
7	30	15	7	6
8	30	10	4,2	4
9	30	20	10,5	8
10	10	4	1,7	1,5

grundsätzlicher Bedeutung. Diese Bedeutung folgt aus dem Umstand, daß sie aus der Natur bzw. aus dem Wesen des Walzvorganges hervorgegangen ist. Diese Formel besitzt jedoch auch aus einem anderen Gesichtspunkt Bedeutung. Es ist nämlich aus den Breitenwerten der Zahlentafel 12 klar erkennbar, daß diese neue Formel bei den größeren (45—70 %) Höhenabnahmen höhere

Breitungswerte ergibt als die Geuzesche Formel. Es wurden in den Arbeiten des Verfassers bereits früher bewiesen, daß die Geuzeschen Breitungswerte bei den größeren Höhenabnahmen nicht verläßlich sind bzw. zu niedrig ausfallen³⁷⁾. Aus dem Gesagten folgt, daß die eben besprochene Breitungformel lediglich nur in den Fällen größerer (über 40 %) Höhenabnahmen Bedeutung besitzt.

Vergleichen wir nun die Breitungswerte der letztgenannten Formel mit denen der Geuzeschen Formel auch diagrammatisch, so gelangt man zu der Breitungskurve der Abb. 38, wo die Kurve der neuen Formel und die gerade Linie der Geuzeschen Werte nebeneinander zu sehen sind. Man sieht, daß die Kurve der besprochenen Formel um so steiler wird bzw. um so stärker von der Linie der Geuzeschen Werte abbiegt, desto mehr die Höhenabnahme über 40—45 % gestiegen ist. Man kann wohl feststellen, daß die Breitungswerte der Höhenabnahmen bis 40—45 % Punkte einer Tangentlinie, über 45 % dagegen Punkte einer Sekantlinie sind.

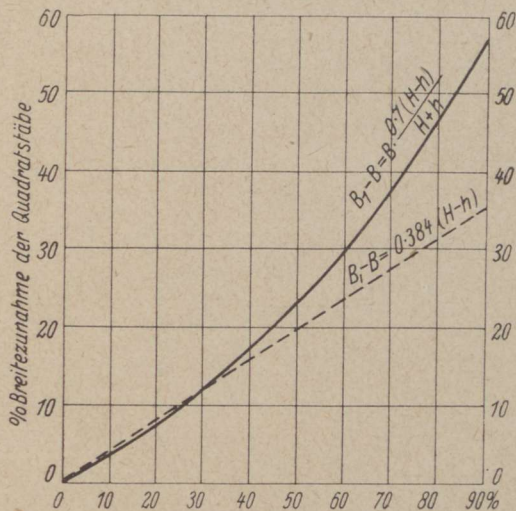


Abb. 38. Die Linien der Geuzeschen und der neuen Formel.

Es wurde bereits erwähnt, daß die Breitungformel

$$B_1 - B = B \cdot \frac{0,7 (H - h)}{H + h}$$

nur für quadratische Ausgangsquerschnitte gültig ist. Handelt es sich um Querschnitte von allgemeinem Viereck, so gestaltet sich die Formel folgenderweise:

$$B_1 - B = H \cdot \frac{0,7 (H - h)}{H + h}.$$

Verfasser fühlt sich bei dieser Gelegenheit veranlaßt, auch auf einen weiteren Zusammenhang zwischen Breitung und Höhenabnahme bzw. zwischen der Breitung und des Zentriwinkels der Walzenquerschnitte hinzuweisen.

In der Abb. 39 sind die Längen, welche im Fall eines Einheitshalbmessers (=1) die Kosinus- und Tangenswerte des Zentriwinkels und damit auch die Größe der Bearbeitung des Stabes darstellen, mit starken Linien bezeichnet. Prüft man nun die verschiedensten Walzaufgaben aus diesem Gesichtspunkt, so erfährt

37) Vgl. E. Cotel, „Weitere Zusammenhänge zwischen den Stabbreiten vor und nach dem Stich“, „Mitteilungen der Universität Sopron“, Bd. XV (1943).

man, daß die Summe der Kosinus- und Tangenslänge genau in demselben Verhältnis größer ist als die Einheit (bzw. als der jeweilige Walzenhalbmesser), wie es zwischen der fertigen und anfänglichen Breite von Quadratstäben besteht. Es muß somit heißen:

$$B_1 = B (\cos \alpha + \operatorname{tg} \alpha).$$

Zahlentafel 13 zeigt die Summen der Kosinus- und Tangensfunktionen derjenigen Zentriwinkelgrößen, welche beim Walzverfahren gewöhnlich in Betracht kommen. Diese Zahlen sind in einem die

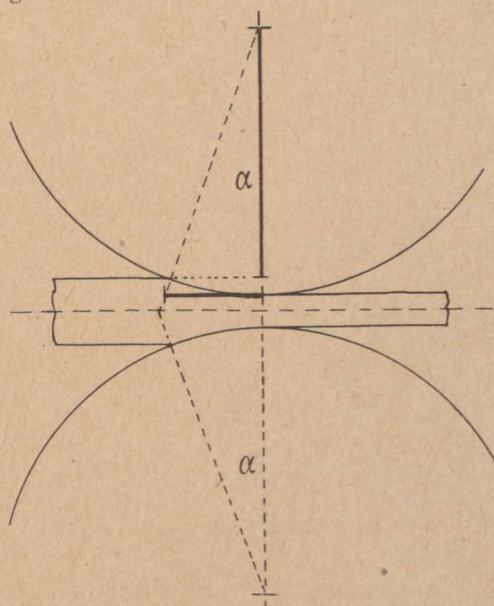


Abb. 39. Die Größe der Bearbeitung, dargestellt durch $\cos \alpha + \operatorname{tg} \alpha$.

Breitungswerte bzw. die Multiplikationsfaktoren der Quadratstäbe, welche unter den angeführten Zentriwinkelgrößen in einem Stich ausgewalzt wurden. Dies bedeutet, daß z. B. ein 60-mm-Quadratstab — unter einem Zentriwinkel von 20° ausgewalzt — nach dem Stich eine fertige Breite von $60 \times 1,3 = 78$ mm haben wird. Geht man nun noch einen Schritt weiter, so kann man auch sagen, daß die Breitung der Quadratstäbe, in Prozent ausgedrückt, um anderthalbmal (1,5 mal) größer ist als der in Graden ausgedrückte Zentriwinkel, d. h. ein Quadratstab — ausgewalzt unter einem Zentri-

winkel von 20° — nach dem Durchgang um 30% breiter wird, als seine Anfangsbreite war. Die auf Grund dieser Zahlentafel 13

Zahlentafel 13

Zusammenhang zwischen Zentriwinkel und Breitung

Grad des Zentriwinkels	$\cos \alpha + \operatorname{tg} \alpha$	Grad des Zentriwinkels	$\cos \alpha + \operatorname{tg} \alpha$
8	1,13	20	1,30
10	1,16	22	1,33
12	1,19	24	1,35
14	1,22	26	1,38
16	1,25	28	1,41
18	1,27	30	1,44

bzw. auf Grund des reinen Zentriwinkels gewonnenen Breitungswerte können nur als annähernde Werte betrachtet werden, und zwar darum, weil bei den Walzaufgaben die Zentriwinkelgrößen nur selten bestimmt

werden, weiter weil dieselben Walzaufgaben unter verschiedenen Winkelgrößen ausgeführt werden können. Die Abweichungen sind jedoch nicht groß. Drückt man z. B. einen 20-mm-Quadratstab einmal zwischen $D=280$ mm starken Walzen, ein anderes Mal zwischen $D=200$ mm starken Walzen auf 10 mm fertige Höhe ab, so wird die Zentriwinkelgröße in dem ersten Fall 15° , in dem zweiten dagegen 18° betragen, so daß die fertige Stabbreite:

$$\begin{aligned} &\text{in dem ersten Fall} \quad \dots \quad 20 \times 1,23 = 24,6 \text{ mm,} \\ &\text{in dem zweiten Fall} \quad \dots \quad 20 \times 1,27 = 25,4 \text{ mm} \end{aligned}$$

betragen würde. Die Abweichung ist um so größer, je größer die Abmessungen der Walzen und der Stäbe sind. Doch wird es in der Wirklichkeit nur sehr selten Anlaß geben, andere als die richtige bzw. gewöhnliche Walzenstärke zu wählen.

Die Abweichungen der verschiedenen Breitewerte, welche mit den drei letzteren Formeln gewonnen werden können, sind durchweg annehmbar. Dies geht aus den Ergebnissen der untenstehenden Probe-rechnungen klar hervor: Es sollen 80- und 60-mm-Quadratstäbe zwischen Walzen von 700 mm ϕ einförmig auf 40 mm fertige Höhe in je einem Stich ausgewalzt werden. Bei der Bestimmung der Zentriwinkelgröße ergeben sich der Reihe nach 20 und 14° . Es ergibt sich somit für den 80-mm-Stab auf Grund der unten folgenden Formel eine fertige Breite von:

$$1. \quad B_1 = B + B \frac{0,7 (H - h)}{H + h} = 80 + 80 \frac{0,7 \cdot 40}{120} = 99 \text{ mm;}$$

$$2. \quad B_1 = B + 0,07 \frac{D}{H} \cdot (H - h) = 80 + 0,07 \cdot 8,7 \cdot 40 = 104 \text{ mm;}$$

$$3. \quad B_1 = B (\cos \alpha + \operatorname{tg} \alpha) = 80 \cdot 1,30 = 104 \text{ mm;}$$

$$4. \quad (B_1 - B) \% = 20 \cdot 1,5 = 30\%, \text{ d. h. } B_1 = 104 \text{ mm}$$

und für den 60-mm-Stab der Reihe nach 78, 76, 73 und 73 mm.

Rechnet man die Breitungen der Ö z der Versuche (siehe Zahlen-
tafel 10) auf Grund der letztbesprochenen drei Formeln aus, so erhält
man eine Reihe der Breitungswerte, welche in der Zahlentafel 14 zu-

Zahlentafel 14

Rechnungsergebnisse verschiedener Formeln, verglichen
mit den wirklichen Breitungen (vgl. Zahlentafel 10)

Lfd. Nr.	Querschnitt		Höhen- abnahme %	Zentri- winkel Grad	Breite nach dem Stich in Millimeter			
	vor dem Stich mm	nach dem Stich mm			wirklich	gerechnet mit		
						1.	2.	3.
II	30 × 30	13,2 × 38	56,0	20	38	39	38	39
III	30 × 30	11,6 × 39	61,4	20,5	39	39	39	39
IV	30 × 35	13 × 14	62,8	22	44	46	46	46

sammengestellt sind, wobei zu bemerken ist, daß in dieser Zahlentafel
die Formel:

+ Cotel, Grundlagen des Walzens

$$B_1 = B (\cos \alpha + \operatorname{tg} \alpha) \quad . \quad . \quad . \quad \text{mit } 1,$$

$$B_1 = B + B \frac{0,7 (H - h)}{H + h} \quad . \quad . \quad . \quad \text{„ } 2$$

und

$$\frac{(B_1 - B)}{B} = 1,5 \alpha^0 \quad . \quad . \quad . \quad \text{„ } 3$$

bezeichnet wurde. Es geht aus dieser Zahlentafel klar hervor, daß die gerechneten Werte der Formeln mit den wirklichen Breitungen gut übereinstimmen.

Zusammenfassend kann in bezug der Anwendbarkeit von Breitungsfarmeln gesagt werden, daß für geringere Höhenabnahmen (unter 45 %) alle besprochenen Formeln gut entsprechen. Für größere Höhenabnahmen (über 45 %) sind die Formeln:

$$B_1 = B + 0,06 \frac{D}{H} \cdot (H - h)$$

und

$$B_1 = B \cdot \frac{0,7 (H - h)}{H + h}$$

zu empfehlen. Ist der Wert des $\frac{D}{H}$ -Quotienten zu groß (etwa über 10), so ist die erstgenannte Formel zu wählen.

Die Breitung wächst bei gleicher Stichabnahme nahezu geradlinig mit dem Walzendurchmesser (siehe Versuchsergebnisse „Stahl u. Eisen“ 1948, S. 344). Dies deutet auf die größere Streckwirkung der dünnen Walzen klar hin. Es ist doch zu beachten, daß die Tiefenwirkung mit kleiner werdendem Walzenhalbmesser abnimmt und daß ganz allgemein die Verformung auf einem kurzen Wege mit einem ungleichmäßigen Stoff-Fluß verbunden ist. Aus diesem Grunde werden die Mehrrollen-Walzwerke fast ausschließlich zum Auswalzen von verhältnismäßig dünnen Blechen und Bändern benutzt³⁸⁾.

K. Hopfer führte in neuester Zeit Breitungsversuche aus, um einestails die verschiedenen Breitungsfarmeln, anderenteils die Einflüsse der Temperatur und Stoffbeschaffenheit auf die Breitung zu prüfen³⁹⁾. Aus dieser Versuchsreihe geht hervor, daß „bei Walzungen mit Zwischenwärmung bedeutend bessere Streckungen und geringere Breitungen desselben Werkstoffes erzielt werden können als bei Walzungen ohne Zwischenwärmung. Siemens-Martin-Stahl mit 0,45 % C ergab in den Endquerschnitten geringere Streckung und größere Breitung“. Es ist deshalb nicht überraschend, wenn Hopfers Kraftbedarfsversuche gleichzeitig beweisen, daß die Walzung der Siemens-Martin-Stähle mit 0,45 % C den höchsten Arbeitsbedarf erfordern.

38) Th. Dahl, „Erkenntnisstand auf dem Gebiete der Warmverformung“, „Stahl u. Eisen“ 1948, S. 333 ff.

39) Kurt Hopfer, „Der Einfluß der Walztemperatur auf die Streckung, Breitung usw.“, „Mitteilungen aus dem K.-W.-Institut f. Eisenforschung“ 1928, S. 283 — 299.



Es muß noch die Art und Weise der Fortpflanzung der Breitung in der Stabbreite erwähnt werden. Noch vor nicht langer Zeit waren noch viele der Meinung, daß die äußeren Stoffschichten der Stabbreite sich stärker breiten als die des mittleren Teiles. Vom Verfasser wurde bewiesen, daß es beim Walzen sehr viele Fälle gibt, in denen ausschließlich die mittleren Teile sich breiten! Diese Fälle sind deshalb so zahlreich, weil das ausschließliche Breiten in den mittleren Teilen beim Walzen aller jener Formeisenquerschnitte eintritt, welche auf ihren beiden Seitenflächen sich flußartig verbreitern. Solche Fälle sind die Walzungen sämtlicher U-Eisen, Träger, Schienen, Laufschiene und zahlreicher ähnlicher Querschnitte. Diese Feststellung kann nicht bezweifelt werden, da beim Walzen von Formeisen die größte Breitung dort eintritt, wo der am stärksten gedrückte waagerecht oder nahezu waagerecht liegende, flacheisenähnliche Querschnittsteil liegt. Dies ist auch aus dem Grunde klar, weil die einem mittelbaren, indirekten, waagerechten Druck ausgesetzten Querschnittsteile sich nicht breiten können, die flacheisenartigen, waagerecht liegenden Querschnittsteile dagegen sich breiten müssen ganz unabhängig davon, ob sie an den Seitenrändern oder in der Mitte des gewalzten Querschnittes liegen!

Die Verteilung der Breitung in der Stabbreite beim Auswalzen rein flacheisenartiger Querschnitte (Vierkant- und Flacheisengattungen) ist getrennt zu prüfen. Daß die Breitung an den Seitenrändern auch in diesem Fall nicht größer ist, kann auch aus der bekannten Tatsache gefolgert werden, daß die in Prozent der ursprünglichen Querschnittsbreite ausgedrückte Breitung bei sehr schmalen Flacheisenstäben stets größer ist als bei breiteren Stäben.

Um weitere Anhaltspunkte zu erhalten, hat Verfasser neun gleiche Breitungsversuche in drei verschiedenen Walzwerken so durchführen lassen, daß jedem Werk die gleiche, aus je drei Stäben bestehende Versuchsreihe übertragen wurde. Die Bohrungen und die Breitungen der Versuchsstäbe sind in Abb. 40 dargestellt. Jedes Werk hat je drei solche Stäbe bei einer Temperatur von 1100°C derart ausgewalzt, daß der erste Stab eine Höhenabnahme von 20 %, der zweite von etwa 35 % und der dritte von 50 % erfuhr.

Durch das Ergebnis von allen neun Versuchen wird bestätigt, daß die durch die Bohrungen entstandenen je 4 mm breiten Stoffstreifen sich um so mehr breiten, je näher sie der Stabmitte liegen. Diese Tatsache ergab sich aus allen neun Versuchen. Die Breitung ist also auch beim Walzen von Flacheisen nicht an den Rändern, sondern im Gegenteil gerade in den mittleren Teilen am größten und nimmt nach den Rändern zu allmählich ab. Diese Erscheinung stimmt auch mit der Tatsache überein, daß der schmalere Stab in Prozent der ursprünglichen Breite sich stärker breitet als der breite Stab ⁴⁰⁾. Metz gelangte zu denselben Ergebnissen ⁴¹⁾.

40) E. Cotel, „Die Begleiterscheinungen des Walzvorganges“, „Montan-Rundschau“, Wien 1924, Nr. 22.

41) Norbert Metz, „Recherches experimentales sur le laminage du fer a chaud“, „Revue de Metallurgie“, Paris 1925, Nr. 1 u. 2.

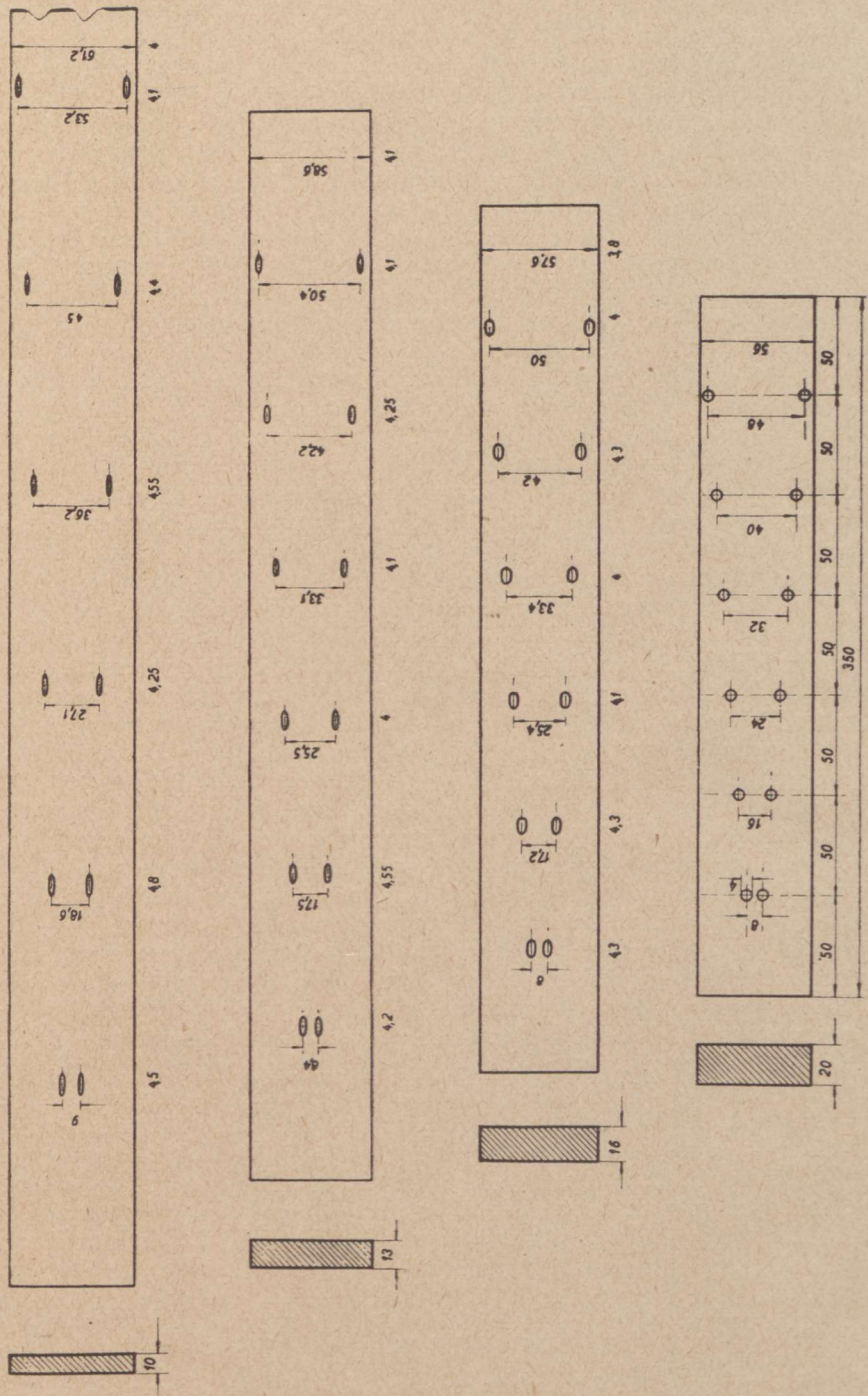


Abb. 40. Verteilung der Breite in der Stabbreite bei Höhenabnahmen von 20—50 %

VII. Das Voreilen

Das Voreilen ist die eigenartige Begleiterscheinung des Walzvorganges, welche sich derart äußert, daß der auslaufende Teil des gewalzten Stabes in vielen Fällen eine etwas größere Geschwindigkeit besitzt als die Umfangsgeschwindigkeit der Walzen. Die Erscheinung des Voreilens wurde zuerst von Blaß festgestellt und in folgender Weise erklärt: Wird ein fester Körper einem Druck unterworfen, so entsteht im gedrückten Körper unter der Druckfläche ein keilförmiger Teil, welcher die Druckfläche zur Grundfläche hat und an der Formänderung nicht teilnimmt (Abb. 41). Ist der Körper bildsam, so fließen die außerhalb dieses keilförmigen Körpers liegenden Teile an dem Keil herab (Gleitlinien, Gleitschichten, vgl. Abschnitt V). Ist jedoch der Stoff des gedrückten Körpers starrer, fester, so bildet die Oberfläche des keilförmigen Körpers die Bruchfläche. So zeigt sich z. B. beim Schlagversuch des Tiegelschalles, daß der Probestab nicht rechtwinklig zur Richtung der biegenden Kraft bricht, sondern dazu neigt, oben einen Keil herauszudrücken und unten einen ebensolchen herauszureißen, wenn der Druck von oben angreift.

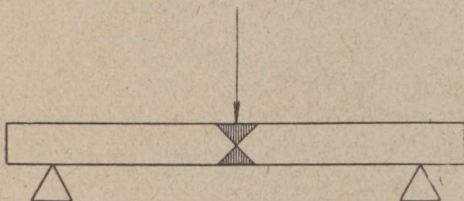


Abb. 41. Keilbildung im gedrückten festen Körper.

Nimmt man nun an, daß beim Walzen die Gleitkeile (Rutschkeile) in der Weise entstehen, daß die Spitzen der Keile in den Punkt E zu fallen kommen (Abb. 42 a), wo sich die zu dem Winkel $\frac{\alpha}{2}$ gehörenden

Halbmesser schneiden und ihre Grundflächen die Berührungsflächen von Walze und Walzgut sind, so muß offenbar, wenn der Punkt M von M nach B kommt, eine der Fläche BMECD entsprechende Menge des Stabstoffes durch die Mittellinie der Walzen hindurchtreten. Da nun aber diese Fläche größer ist als ein Rechteck mit der Höhe h und Seitenlänge $B M = \frac{B K}{2}$, so muß das gewalzte Stück unbedingt mit

einer größeren Geschwindigkeit aus der Walze kommen, als die Umfangsgeschwindigkeit der Walze im betreffenden Kaliber beträgt. In diesem Fall muß also ein Voreilen entstehen. Man kann dies auch dadurch feststellen, daß man die Walze einkerbt. Die Entfernungen der auf dem gewalzten Stab zurückgebliebenen Spuren dieser Einkerbung voneinander sind dann etwas größer als der Walzenumfang in dem entsprechenden Kaliberteil.

In der neueren Zeit haben sich P u p p e mit der ausführlichen Untersuchung dieser Erscheinung befaßt. P u p p e hat viele genaue Versuche durchgeführt und die Ergebnisse in der Zeitschrift „Stahl u. Eisen“ 1909, Heft 5, veröffentlicht.

Über die Voreilung hat P u p p e folgende Feststellungen gemacht: Bei Temperaturen von 1160 bis 1180° C tritt kein Voreilen mehr auf, wie groß auch der Druck ist; über-

steigt die Temperatur des Walzgutes 1160—1180° C, so wird die Geschwindigkeit des heraustretenden Teiles kleiner als die Umfangsgeschwindigkeit der Walze, d. h. es tritt ein Nacheilen ein. Es wurde von Puppe ferner festgestellt, daß bei einer kleineren Höhenabnahme als 16% ebenfalls kein Voreilen stattfindet. Das Aufhören des Voreilens und das Nacheilen wird von Puppe in der Weise erklärt, daß bei höheren Temperaturen der Stahl seine Festigkeit allmählich verliert, so daß die Bildung der Fließkeile nicht so ausgeprägt ist wie in Abb. 42a, vielmehr etwa so verläuft (siehe Abb. 42b), daß oberhalb 1160—1180° C ME bzw. CE₁ so klein werden, daß die Fläche ME GB + CE₁ JD gleich groß oder kleiner wird als das Rechteck von der Höhe h und der Länge $BM = \frac{BK}{2}$. Dieser Umstand

muß sich derart äußern, daß die Geschwindigkeit des auslaufenden Stabteiles im ersten Fall gleich groß, im zweiten Fall jedoch kleiner wird als die Umfangsgeschwindigkeit des entsprechenden Walzenteiles. Warum bei kleinerem Druck als 16% kein Voreilen eintritt, ist von Puppe nicht erklärt.

Als Endergebnis zieht Puppe aus seinen Versuchen folgende Schlüsse:

1. Die Austrittsgeschwindigkeit des Walzgutes ist von einer gewissen Höhenabnahme an und unterhalb einer bestimmten Höchsttemperatur größer als die Umfangsgeschwindigkeit der Walzen im arbeitenden Kaliber. Die Erscheinung heißt Voreilen.

2. Das Verhältnis zwischen Austrittsgeschwindigkeit und Umfangsgeschwindigkeit wird um so größer, je niedriger die Temperatur des Walzgutes, je größer die Höhe nach dem Durchgang, je größer die Höhenabnahme und je kleiner der Walzendurchmesser ist.

3. Das Voreilen tritt erst von einer Höhenabnahme von ungefähr 15% an auf und nähert sich von hier rasch einem Höchstwert.

4. Dieser Höchstwert beträgt bei einer Temperatur von 1150° C ungefähr 0,7% und bei 950° C ungefähr 10%.

5. Jeder Temperatur des Walzgutes entspricht ein Höchstwert für das Voreilen, auf den die Höhenabnahme ohne wesentlichen Einfluß ist.

6. Die Beschaffenheit des Stabstoffes hat wahrscheinlich keinen Einfluß auf die Größe des Voreilens.

7. Die Größe des Voreilens wird auch von der rauhen oder glatten Oberfläche des Kalibers beeinflusst.

Die Arbeit von W. Lueg und A. Pomp über „Die Bestimmung der Voreilung bei Warmwalzversuchen“⁴²⁾ hat neuerdings die Aufmerksamkeit wieder auf diese sehr interessante Begleiterscheinung des Walzens gelenkt. Merkwürdig ist es übrigens, daß das eigentliche Wesen der Voreilung beim Walzen noch immer nicht völlig geklärt ist, obwohl die grundlegende Arbeit über diese Er-

42) „Mitteilungen aus dem K.-W.-Institut f. Eisenforschung“, Jahrg. 1939, Bd. XXI, S. 163—170.

scheinung von E. Blaß bereits vor fast 70 Jahren erschien⁴³⁾. Es ist zwar wohl bekannt, in welchen Fällen und zwischen welchen Grenzen die Voreilung erfolgen kann, doch ist die eigentliche Ursache bzw. die Art und Weise der Entstehung des Voreilens nicht restlos geklärt. Verfasser hat sich mit dieser Frage ebenfalls befaßt⁴⁴⁾, und das ist eben der Grund für seinen jetzigen Versuch, einen weiteren Beitrag zur Klärung dieser Frage zu geben.

Zweifellos ist das Bestreben von Blaß, die Erscheinung des Voreilens mit den sich unter der Druckfläche bildenden Fließkeilen zu erklären, vollkommen richtig bzw. logisch. Doch ist die Frage damit nicht restlos geklärt, nachdem eben die Entstehung der Fließkeile um so unsicherer bzw. schwächer wird, je höher die Temperatur und damit die Bildsamkeit des gewalzten Stabes ist. Daß jedoch die Entstehung der Fließkeile die richtige Grundlage der Erklärung des Voreilens ist, geht schon allein aus der Tatsache klar hervor, daß die größtmögliche Voreilung (rund 10 %) und der größte Unterschied zwischen den gedrückten und den tatsächlich durchgelaufenen Flächen des Längsschnittes zahlenmäßig fast

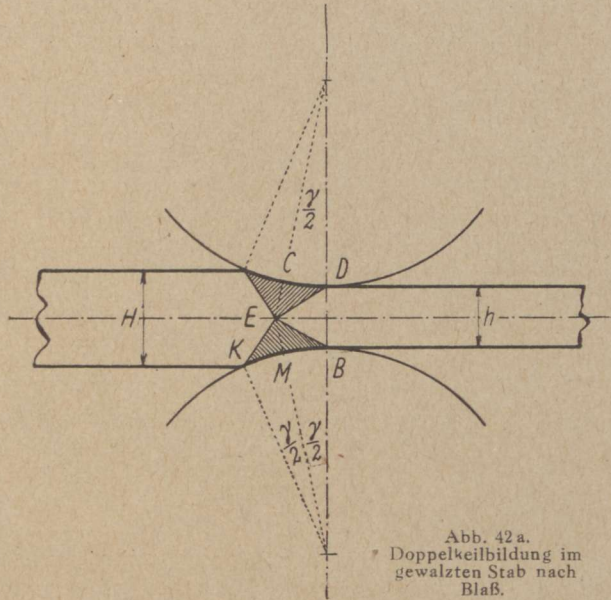


Abb. 42a.
Doppelkeilbildung im
gewalzten Stab nach
Blaß.

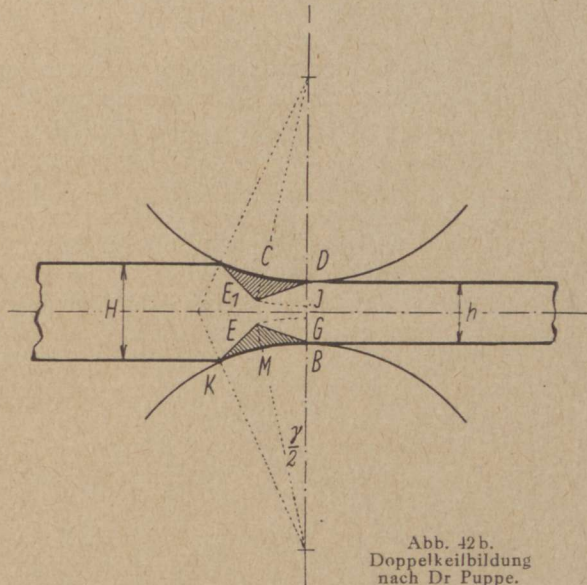


Abb. 42b.
Doppelkeilbildung
nach Dr. Puppe.

43) E. Blaß: „Zur Theorie des Walzprozesses“, „Stahl u. Eisen“ 2 (1882), S. 283—93.

44) E. Cotel: „Über die Streckung beim Walzen“, „Stahl u. Eisen“ 28 (1908), S. 162/164. „Die Begleiterscheinungen des Walzvorganges“, „Montan. Rundschau“, Wien 1924, S. 636.

genau gleich groß sind. Die Richtigkeit der Blaßschen Theorie ist somit durch die Tatsachen der Betriebspraxis bewiesen.

Es bleibt nur noch die Frage klarzustellen, ob die Veränderungen der Voreilungswerte (zwischen 0 und 10 %) überhaupt regelmäßig sind, und wenn ja, welcher Regelmäßigkeit sie entsprechen. Die älteren Formeln zur Vorausbestimmung des Voreilens, in welchen nur Walzendurchmesser (bzw. Walzenradius) und Stabhöhe eine Rolle spielen, sind vollständig unbrauchbar. Die zahlreichen Versuchsergebnisse bestätigen nämlich einwandfrei, daß die Erscheinung des Voreilens erstens nicht unbedingt auftritt, und zweitens seine Größe äußerst veränderlich ist. Diese Tatsachen schließen die Anwendbarkeit einer Formel erwähnter Gestalt vollständig aus. Stehen die Werte dieser älteren Formeln hier und da auch den wirklichen Voreilungsgrößen nahe, so ist dies die Folge des glücklichen Umstandes, daß der Walzenhalbmesser in diesen Formeln als Nenner eine günstige Rolle spielen kann. Es ist nämlich wohl allgemein bekannt, daß die Walzen mit kleineren Durchmessern besser strecken und somit größere Voreilung ergeben, doch fehlen in den älteren Formeln die Ausdrücke der Querschnittsverminderung und der Temperatur (bzw. Bildsamkeit), d. h. der ausgiebigsten Quellen des Voreilens, vollkommen.

Der erste, der den Zusammenhang zwischen Abnahme und Voreilen bzw. Temperatur und Voreilen klar dargelegt hatte, war J. Puppe. Er stellte auf Grund seiner groß angelegten Versuchsreihe fest, daß die Voreilung um so größer wird,

1. je niedriger die Temperatur des Walzgutes,
2. je größer die Höhenabnahme, und
3. je kleiner der Walzenradius ist ⁴⁵⁾.

Es fiel jedoch bereits zur Zeit des Erscheinens der oben erwähnten Puppeschen Arbeit auf, daß die zahlenmäßigen Ergebnisse Puppes Durchschnittswerte solcher Teilergebnisse sind, welche untereinander oft um 100 % abweichen! Dies war ein klarer Beweis dafür, daß auf die Voreilung auch weitere Faktoren Einfluß haben müssen.

Um diese weiteren, die Größe des Voreilens beeinflussenden Bedingungen zu entdecken, habe ich Walzversuche gemacht, welche den Zweck hatten, die Größe des Voreilens bei verschiedener Walzgeschwindigkeit zu bestimmen. Die Ergebnisse dieser Versuche haben gezeigt, daß die Voreilung (an glatten Walzen) um so größer wird, je größer die Walzgeschwindigkeit ist. Die zahlenmäßigen Ergebnisse dieser Versuche zeigen die nachstehenden Tabellen.

Aus Versuch 1 geht klar hervor, daß zweimal größere Walzgeschwindigkeiten (Umdrehungszahlen) fast genau zweimal größere Voreilungen ergaben. Die Ergebnisse von Versuch 2 beweisen außerdem, daß bei diesen Stäben (Platinen) das Voreilen bei jeder Umdrehung andere Werte hatte, und zwar

⁴⁵⁾ J. Puppe: „Über das Voreilen beim Walzen“, „Stahl u. Eisen“ 1909, S. 169.

Versuch 1

Lfd. Nr.	Querschnitt		Walzen- umfang mm	Abstand der Spuren mm	Voreilen		Um- drehungs- zahl je Minute n
	vor dem Stich mm	nach dem Stich mm			mm	%	
1	13,8×23,4	8,6×26,5	oben 745,7 unten 745,7	763,1	17,4	2,1	190
2	13,8×23,4	8,7×26,8	oben 745,7 unten 745,7	754,4	8,7	1,1	70

Versuch 2

Walzenumfang: 1570; Walzgut: Platine 160 mm breit;
Abnahme 40 %

Stab- Nr.	Abstand der Spuren in Millimeter bei allmählicher Verminderung der Walzgeschwindigkeiten von 4 auf 2 m je Sekunde				
1	1618	1616	1601	1603	1597
2	1653	1645	1630	1618	1608

zahlenmäßig ausgedrückt 48, 46, 41, 33, 27 mm (Stab 1) bzw. 83, 75, 60, 48, 38 mm (Stab 2). Es kann also festgestellt werden, daß die Werte des Voreilens auch bei einem und demselben Stab mehr als 100 % voneinander abweichen können bzw. müssen, wenn die Walzgeschwindigkeit (während des Walzens) allmählich gesteigert oder vermindert wird. Ebenso ändert sich die Größe des Voreilens an einem und demselben Stab, wenn die Temperaturen der Stabenden bzw. Stabhälften voneinander stark abweichen. In meinem Versuch Nr. 2 war die Temperatur entlang der Stäbe vollkommen gleichmäßig, die Temperatur der Platine 1 jedoch bedeutend höher. In beiden Fällen des Versuches Nr. 2 war die Walzgeschwindigkeit vom Anfang bis zum Ende des Stiches gleichmäßig von 4 m auf 2 m je Sekunde vermindert.

Nach Feststellung des regelmäßigen Zusammenhanges zwischen Walzgeschwindigkeit (bzw. Umdrehungszahl) und Voreilen machte Verfasser den Versuch, zur Bestimmung des Voreilens eine Formel aufzustellen, welche möglichst sämtlichen bisher beobachteten Umständen dieser Erscheinung Rechnung trägt.

In Erwägung der Frage, mit welchem allgemein bekannten mechanischen Vorgang die Erscheinung des Voreilens zu vergleichen bzw. gleichzustellen wäre, scheint mir die Bezugnahme, die auf den Vorgang der Arbeit des Nagelns gerechtfertigt. Treibt man nämlich einen Nagel mit Hammerschlägen in eine Mauer oder Holz, so „eilt“ der Nagel regelmäßig im Verhältnis der Zahl der Hammerschläge in die Mauer bzw. in das Brett „v o r“. Die Gleichstellung beider Erscheinungen scheint um so richtiger zu sein, da die gespitzte Gestalt des Nagels sowohl grundsätzlich als auch hinsichtlich der Gestalt dem von den Walzen gespitzten Ende des zwischen die Walzen eingezogenen Stabes vollkommen entspricht. Der sekundlichen Hammerschlagszahl entspricht dagegen die Zahl der sekundlichen Walzenumdrehungen. Man

weiß, daß das „Voreilen“ des Nagels um so größer wird, je größer die Zahl der Hammerschläge in der Zeiteinheit ist. Die Ergebnisse meiner Walzversuche haben nun bewiesen, daß die Größe des Voreilens ebenfalls um so größer wird, je größer die Walzgeschwindigkeit bzw. die Umdrehungszahl in der Zeiteinheit ist. Die grundsätzliche Identität beider Vorgänge liegt also auf der Hand! Man bedenke nur, wie oft der Walzstab tatsächlich zugespitzt werden muß, um seine Einführung in den Spalt der verhältnismäßig schwachen (dünnen) Walzen zu ermöglichen.

Auf Grund dieser Ausführungen muß die Formel des Voreilens (in Prozent) als Produkt zweier Faktoren entstehen, deren einer die sekundliche Umdrehungszahl der Walzen und der anderen die Höhenabnahme des Stabes ist, d. h.

$$V_{\%} = \frac{n}{60} \cdot \frac{H}{h}$$

Nachdem jedoch

$$\frac{n}{60} = \frac{v}{U}$$

kann auch geschrieben werden:

$$V_{\%} = \frac{v}{U} \cdot \frac{H}{h}$$

wo v die Walzgeschwindigkeit und U den Walzenumfang bedeutet, beide in der gleichen Maßeinheit (Millimeter oder Zentimeter) ausgedrückt. Es ist wohl klar, daß in beiden Gestalten der Formel Walzendurchmesser und sekundliche Umdrehungszahl, sowie Höhenabnahme gleichartig zur Geltung kommen müssen ⁴⁶⁾.

In der so gestalteten Formel fehlt noch der Ausdruck des Einflusses der Walztemperatur. Der obige Stamm der Formel ergibt die größten Werte des Voreilens, d. h. jene, welche im Fall der niedrigsten Walztemperatur entstehen. Es muß daher die Formel noch mit einem Temperaturfaktor ergänzt werden, dessen größter Wert 1 (bei den niedrigsten Walztemperaturen) und dessen kleinster Wert 0 ist, wobei letzterer für Walztemperaturen von etwa 1200 ° C oder mehr gültig ist.

Bezeichnet man den Temperaturfaktor mit C , so wird dieser bei verschiedenen Walztemperaturen folgende Werte haben:

bei 800 ° C	1,00,
bei 900 ° C	0,75,
bei 1000 ° C	0,50,
bei 1100 ° C	0,25,
bei 1200 ° C	0,00.

Diese geradlinige Wertverminderung des Temperaturfaktors stützt sich auf die Ergebnisse bzw. auf die Abb. 5 der P u p p e schen Arbeit ⁴⁷⁾.

46) E. Cotel, „Zur Bestimmung des Voreilens“, „Mitteilungen der hüttenm. Abteilung“, Sopron, Bd. 1941.

47) J. Puppe, „Über das Voreilen beim Walzen“, „Stahl u. Eisen“ 1909, S. 168.

Die so ergänzte Formel zur Vorausbestimmung des Voreilens lautet somit:

$$V\% = \frac{n}{60} \cdot \frac{H}{h} \cdot C,$$

oder

$$V\% = \frac{v}{U} \cdot \frac{H}{h} \cdot C.$$

Macht man Proberechnungen mit dieser Formel, so zeigt sich eine durchschnittlich gute Übereinstimmung mit den Ergebnissen der mehrmals erwähnten ausgedehnten Versuchsreihe von Dr. J. P u p p e. Diese

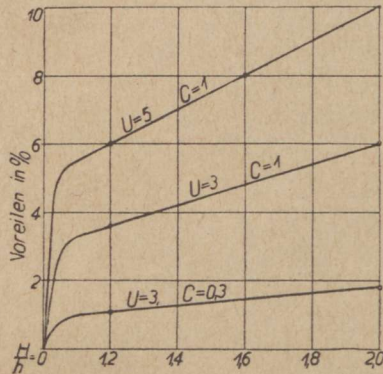


Abb. 43.
Zusammenhang zwischen Voreilen und Höhenabnahme.

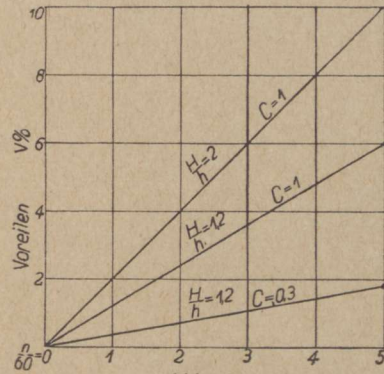


Abb. 44.
Zusammenhang zwischen Voreilen und sekundlicher Umdrehungszahl.

Übereinstimmung muß als um so befriedigender betrachtet werden, als die Versuche von P u p p e die genauesten und gewissenhaftesten Walzversuche sind, welche diesbezüglich jemals gemacht wurden.

Um eine breitere Übersicht gewinnen zu können, wurden die Ergebnisse meiner Formel auf möglichst alle Betriebsfälle ausgerechnet und in Zahlentafel 15 zusammengestellt:

Zahlentafel 15

Umdrehungs- zahl je Sekunde $\frac{n}{60}$	Voreilen in Prozent des Walzenumfanges bei den Temperaturfaktorwerten 0,3 und 1,0					Temperatur- faktor
1	0,36 1,20	0,42 1,40	0,48 1,60	0,54 1,80	0,60 2,00	0,3 1,0
2	0,72 2,40	0,84 2,80	0,96 3,20	1,08 3,60	1,20 4,00	0,3 1,0
3	1,08 3,60	1,26 4,20	1,44 4,80	1,62 5,40	1,80 6,00	0,3 1,0
4	1,44 4,80	1,68 5,60	1,92 6,40	2,16 7,20	2,40 8,00	0,3 1,0
5	1,80 6,00	2,10 7,00	2,40 8,00	2,70 9,00	3,00 10,00	0,3 1,0
Höhen- abnahme $\frac{H}{h}$	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	—

Auf Grund dieser Zahlenwerte wurden die in den Abb. 43, 44 u. 45 dargestellten Schaubilder entworfen, welche die Zusammenhänge der auf das Voreilen Einfluß nehmenden Faktoren noch anschaulicher machen.

Um die Stichhaltigkeit dieser Voreilungsformel im Walzbetrieb prüfen zu können, wurden im Monat Februar 1946 auf der Feinstraße der Rimamurányer Eisenwerke in Ózd Versuche gemacht, deren Ergebnisse in der Zahlentafel 16 zusammen-

gestellt wurden. Man sieht, daß sich die Werte der Voreilungen zwischen 2,8 und 4,3 % bewegen, d. h. die Voreilung im Mittel 3,6 % beträgt. Auf Grund der Voreilungsformel würde die Voreilung für die obigen Versuche durchschnittlich:

$$V_{\%} = \frac{n}{60} \cdot \frac{H}{h} \cdot C = \frac{314}{60} \cdot \frac{35}{17} \cdot 0,3 = 3,2\%$$

ausmachen; wohl eine gute Übereinstimmung mit dem Mittelwert der Versuche, deren Anfangstemperatur 1100 ° C war. Es sei noch folgendes bemerkt: Die Durchschnittswerte eines Versuches besitzen fast nirgends so große Bedeutung wie bei der Bestimmung des Voreilens. Die Markenabstände verändern sich nämlich auf einem und demselben Stab so stark, daß die Voreilungen an dem-

selben Stab Abweichungen auch um 150 % voneinander erscheinen ließen. (Dies war bereits bei den ersten Pupp e s c h e n Versuchen oft zu beobachten.) Trotzdem zeigen die ausgewalzten Versuchsstäbe des Verfassers die Regelmäßigkeit, daß die Markenabstände nach dem hinteren Ende zu im allgemeinen allmählich kleiner werden, wohl im Einklang mit der sich vermindern den Walzgeschwindigkeit, als Folge des verhältnismäßig großen Walzdruckes.

Zahlentafel 16

Voreilungsversuche in Ózd (Rimamurányer Eisenwerks A. G.).
Walzendurchmesser = 290, Walzenumfang = 911 mm und n = 314

Lfd. Nr.	Stabquerschnitt		Höhen- abnahme %	Durchschnitt der Marken- abstände mm	Voreilen		Mittelwert %
	vor dem Stich mm	nach dem Stich mm			mm	‰	
1	30 × 30	14,8 × 37,2	50,7	936,5	25,5	2,8	3,3
2	30 × 30	13,2 × 38,0	56,0	949,3	38,3	4,2	
3	30 × 30	11,6 × 39,0	61,4	939,0	28,0	3,1	
4	35 × 35	17,5 × 42,0	50,0	945,8	34,8	3,8	4,0
5	40 × 40	20,5 × 49,0	48,8	944,8	33,8	3,7	
6	40 × 40	20,0 × 49,0	50,0	950,4	39,3	4,3	

Der Höchstwert der Voreilung beträgt nach Dahl:

$$V_{\max} = 3\mu^2 \frac{1}{h} \frac{0}{2r},$$

wobei μ den Beiwert der gleitenden Reibung zwischen Walze und Walzgut bedeutet. Die Voreilung ist also ein Maß für die Größe der Reibungszahl⁴⁸⁾.

Zusammenfassend muß festgestellt werden, daß das Voreilen ein häufiger Begleiter des Walzvorganges ist, obwohl es, wie bereits besprochen, in vielen Fällen nicht auftritt, aber durchaus nicht in ganz regelmäßiger und ständiger Form bzw. Größe. Das Voreilen ist übrigens bei den Walzungen im Betrieb nicht wahrnehmbar, so daß es beim Entwerfen von Kalibrierungen mit Ausnahme der sogenannten periodischen Querschnitte ganz unberücksichtigt bleiben kann.

VIII. Die Grundlagen der Walzenkalibrierung

A) Materialfluß, allgemeine Grundlagen

Die „Kalibrierung“ der Walzen ist eine Konstruktionsarbeit, deren Ziel die Bestimmung der Abmessungen und Form derjenigen Kaliber ist, welche zwischen dem fertigen Querschnitt und dem in der Regel vierkantförmigen Anfangsquerschnitt (Block oder Knüppel) stehen. Die Tatsache, daß der wirtschaftliche Erfolg des Walzens, die mehr oder minder richtige Form des fertigen Querschnittes, die Sauberkeit der Oberfläche des Walzgutes, die Tageserzeugung und sogar der Walzenverschleiß in engstem Zusammenhang mit der angewendeten Kalibrierungsart stehen, erübrigt jede weitere Betonung der großen Wichtigkeit des Kalibrierens.

Die Bedingung einer vollkommen sicheren Kalibrierungsarbeit wäre die zahlenmäßig genaue Kenntnis der Stoffbewegungen innerhalb der Querschnittsfläche, d. h. in der Ebene des gewalzten Querschnittes. Leider ist diese Bewegung der Stoffteilchen innerhalb der Querschnittsebene bis heute noch nicht genügend gründlich studiert, so daß wir im Fall zusammengesetzter Querschnitte oft nicht in der Lage sind, genau zu beurteilen, wieviel Material von einem Querschnittsteil in den anderen „fließt“. In den Abschnitten V, VI u. VII haben wir zwar einige Arten des Materialflusses, der Stoffwanderung, besprochen, doch fielen diese Stoffbewegungen fast ausschließlich in die Walzrichtung und hingen alle mit der Streckung des Stabes zusammen. Nur die Breitung spielte sich innerhalb der Querschnittsebene ab und gab bereits dort (Abschnitt VI) einige Fingerzeige für die Kalibrierungsarbeit.

Die Kenntnis der in den Abschnitten V—VII besprochenen Stoffbewegungen sind für die Kalibrierung Querschnitte einfacher Form (Vierkant, Flacheisen usw.), bei welchen die Höhenabnahmen in der ganzen Querschnittsbreite stets gleichmäßig

48) Th. Dahl, „Arch. f. d. Eisenhüttenw.“ 1935/36, S. 15—21.

ist, ziemlich ausreichend. Sie reichen jedoch für eine ganz sichere Kalibrierungsarbeit zusammengesetzter Querschnitte nicht aus. Dies ist der Grund dafür, daß wir beim Kalibrieren der Formeisen-gattungen bis heute noch oft ältere ähnliche Kalibrierungen weiter-entwickeln, schlechtweg nachahmen müssen.

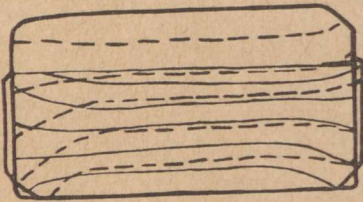
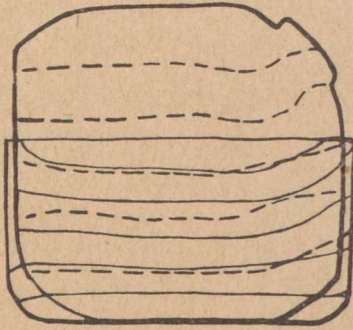


Abb. 46. Schweißlinien einer Flacheisen-
walzung (Versuch von Gálocsy).

Daher gebührt den Forschern des Materialflusses im Stabquerschnitt der Formeisen größter Dank. Der erste, der auf diesem Gebiet teilweise zahlenmäßig genaue und planmäßig geordnete Versuchsergebnisse veröffentlicht hatte, war Metz⁴⁹. Die Versuchsergebnisse von Metz sind außerordentlich wertvoll, ja bahnbrechend (vgl. Abschnitt IX unter D, 1), beschränken sich jedoch auf eine Gruppe der Formeisen.

In neuester Zeit veröffentlichte A. Gálocsy ähnliche Versuchsergebnisse der Stoffbewegung⁵⁰. Der ausgezeichnete Fachmann hat seine Versuche mit verschiedensten Querschnitten durchgeführt und überließ dem Verfasser die Originalaufnahmen der Probestücke in lebenswürdiger Weise. Die Abb. 46—53 wurden der Arbeit von Gálocsy entnommen. Gálocsy führte die Versuche folgenderweise aus: Die Probestäbe wurden paarweise aus gut schweißbaren, gleichstarken weichen Schweißeisenplatten zusammengesetzt und geschweißt. Die Auswalzung dieser geschweißten Probestäbe geschah derart, daß einer der Stäbe in die Formkaliber mit senkrecht stehenden Schweißlinien, der zweite Probestab hingegen in dieselben Kaliber mit waagerecht liegenden Schweißlinien gesteckt wurde. Nach jedem Stich

wurden Querschnittproben genommen, poliert und geätzt. Diese Proben wurden alsdann photographiert oder in genau ausgeführter Zeichnung derart dargestellt, daß die Schweißlinien der Probequerschnitte auf Strohpapier aufgenommen und mittels Kohlenstoffpapieres in die Zeichnung übertragen wurden. Sämtliche Querschnitte kommen in den Abb. 46—53 zweimal vor: einmal in Verbindung mit dem Stab-

49) N. Metz, „Experimentelle Untersuchungen des Materialflusses beim Walzen von Trägern“, „Stahl u. Eisen“ 1926, S. 1577—1582.

50) Arpád Gálocsy, „Walzenkalibrierung“, „Ung. Zeitschr. f. Berg- u. Hüttenwesen“ 1929, Nr. 17—19.

querschnitt des vorangehenden, das zweite Mal mit dem Stabquerschnitt des nächstfolgenden Kalibers.

Abb. 46 stellt die Verformung der waagerechten Schweißlinien einer Flacheisenwalzung dar. Sie zeigt, wie zu erwarten, keine Be-

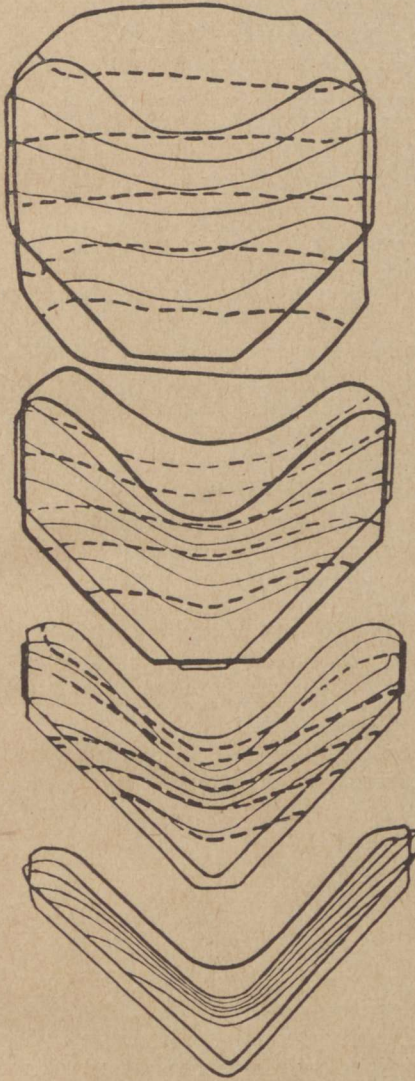


Abb. 47. Walzung von Winkeleisen mit anfangs waagerecht liegenden Schweißlinien (Versuch von Gálöcsy).

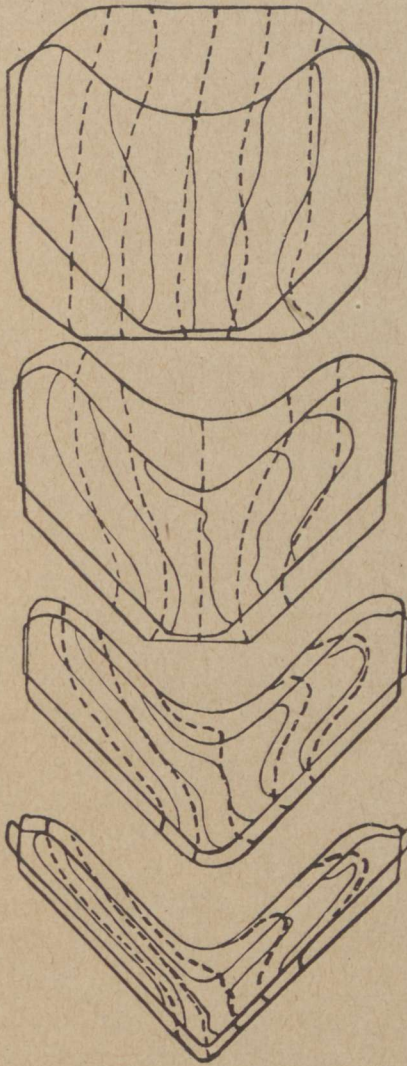


Abb. 48. Winkeleisenwalzung mit senkrechten Schweißlinien (Versuch von Gálöcsy).

sonderheiten, bestätigt aber recht klar das in den Abschnitten V u. VI Gesagte bezüglich stärkerer Streckung der oberen bzw. unteren und stärkerer Breitung der mittleren waagerechten Schichten im gewalzten Stab (vgl. Abb. 20 u. 21). Es ist auf Grund der Abb. 46 wohl zu verstehen, warum die Rändermitten des Flacheisens bei großem Walzdruck

ausbauchen müssen, wenn der ganz freien Breitung nichts im Wege steht (Abb. 29). Die vollkommen regelmäßige Verteilung der Schweißlinien zeigt übrigens ein gutes Beispiel eines planmäßigen und fehlerfreien Walzvorganges.

In Abb. 47 sind die verformten Schweißlinien eines aus sechs waagerechten Schichten, in Abb. 48 eines aus sechs senkrechten Stoff-

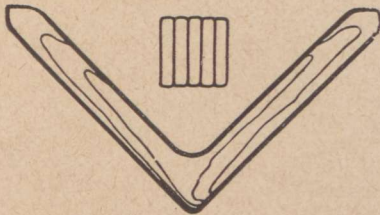


Abb. 49. Schweißlinienverformung eines fertigen Winkelleisens mit senkrechten Schweißlinien im ersten Formstich (Versuch von Gálöcsy).

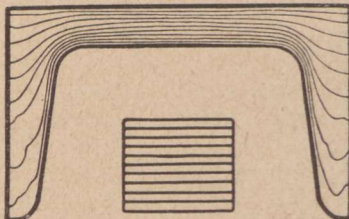


Abb. 50. Stoffverteilung des U-Eisens mit anfangs waagerechten Schweißlinien (Versuch von Gálöcsy).

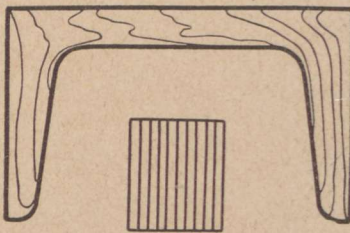


Abb. 51. Stoffverteilung des U-Eisens mit anfangs senkrechten Schweißlinien (Versuch von Gálöcsy).

schichten nur sehr selten eine vollkommen regelmäßige Linienverteilung erreichen läßt, weil im Fall einer nicht ganz engen Führung des Stabes, durch verfrühte Einwirkung einer oberen oder unteren Walze, die mittleren, stehenden Schichten mehr nach der einen oder anderen Seite gedrückt und damit auch die Nachbarschichten unregelmäßig verformt werden.

Die Stoffverteilung in den U-Eisen-Querschnitten ist in Abb. 50 u. 51 gezeigt. Das in Abb. 50 dargestellte U-Eisen wurde aus dem waagerecht geschichteten, das in Abb. 51 dargestellte aus dem

Winkelleisenwalzen wiedergegeben. Form, Lage und Abmessungen der verformten Stoffschichten in Abb. 47 zeigen deutlich die merkwürdige Erscheinung, daß die oberen Schichten größtenteils in die Schenkel bzw. Schenkelenenden gelangten, während die unterste Schicht bedeutend schmaler und ganz in der Ecke des Winkelleisens geblieben ist. Die übrigen Schichten bilden den Übergang. Es ist klar zu erkennen, daß der in den Einschnitt des Winkelleisens eindringende keilförmige Walzenteil auf die unter der Spitze des Keiles liegenden Stoffteile eine stark streckende, auf die rechts und links stehenden jedoch eine starke seitwärtsschiebende Wirkung ausübt.

Betrachten wir nun in Abb. 49 die Verformungen der anfangs senkrecht gewesenen Schweißlinien bei der Auswalzung desselben Winkelleisens, so findet man, daß die erwähnte seitwärts, nach links und rechts, schiebende Wirkung auch hier deutlich erkennbar ist. Um ein klares Bild der verformten Schweißlinien im fertigen Winkelleisen zu geben, zeigt Abb. 49 das Bild eines fertigen Winkelleisenstabes, gewalzt aus fünf Schichten in gekanteter Lage. Es ist übrigens ganz selbstverständlich, daß sich mit gekanteten, senkrechten Stoff-

senkrecht geschichteten Stab gewalzt, wie übrigens auch in den Abbildungen entsprechend zum Ausdruck gebracht. In Abb. 50 ist klar zu sehen, daß der Steg bzw. der zwischen den inneren Fußlinien liegende Teil desselben ein ausgesprochen flacheisenartiger Querschnittsteil ist, da Lage und Verteilung der Schichten in dem Stegteil des U-Eisens denen eines Flacheisens ganz gleich sind (vgl. Abb. 46). Die Schweißlinienverteilung in Abb. 51 bestätigt wiederum die einseitig verschiebende Wirkung des etwaigen zu frühen Angriffes der einen Walze: im rechten Fuß sehen wir drei Stoffschichten, im linken vier.

Merkwürdig ist die Art der Stoffverteilung bei den T-Eisenwalzungen. Abb. 52 zeigt die Stoffverteilung des fertigen T-Eisen-Querschnittes sowie die ursprüngliche Lage der Stoffschichten. Der Schenkel an der rechten Seite ist aus den zwei obersten Stoffschichten gebildet, der linke Schenkel und der Fuß aus den übrigen Schichten.

Da die T-Eisen-Walzungen vom Standpunkt der walztechnischen Grundlagen auch sonst sehr lehrreich sind, so werden in Abb. 53 Fälle gezeigt, wo sechs unter verschiedenen Bedingungen

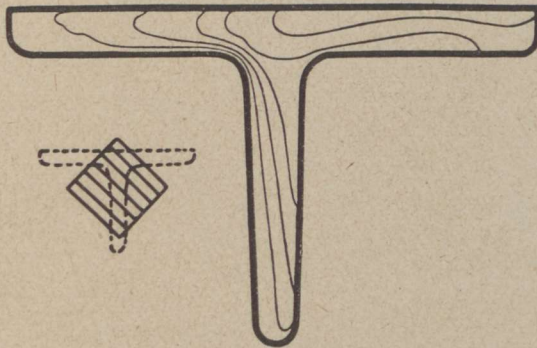


Abb. 52. Stoffverteilung in dem fertigen T-Eisen
(Versuch von Gálócsy).

vorgewalzte Stäbe in dasselbe Fertigkaliber gesteckt wurden. Das zweite Formkaliber dieses Winkeleisens wurde bei jedem nächstfolgenden Versuch um 1 mm höher geöffnet, so daß der Schenkelteil dieses Vorkalibers bei jedem nachfolgenden Versuch allmählich stärker wurde (siehe die ---Linien des Vorkalibers). Die übrigen Formkaliber blieben bei sämtlichen Versuchen in unveränderter Einstellung. Die Ergebnisse dieser Walzversuche sind folgende: Der obere Schenkelteil ist nur bei der sechsten Probe leer gegangen infolge zu großer Dicke dieses Teiles im vorgewalzten Stab. Das Kaliber war nämlich an dem oberen Schenkelteil „offen“, so daß die etwas streckende Wirkung dieser „offenen“ Kaliberteile bei den größeren Schenkelstärken des vorgewalzten Stabes imstande war, in die Schenkel genug Stoff zu schieben.

Ganz anders ist dies im unteren Schenkelteil des T-Eisens, weil es sich hier um eine geschlossene Vertiefung handelt, in welcher eine walztechnische Bearbeitung nicht möglich ist. Die Formgebung ist in solchen Kaliberteilen deshalb viel schwieriger; Abb. 53 zeigt klar, daß die unteren Schenkelteile rasch und bedeutend kürzer geworden sind.

Der Fußteil ist nur beim ersten Versuch leer gegangen.

Es fällt bei diesen Walzversuchen noch eine nennenswerte Erscheinung auf, und zwar die allmählich wachsende Stärke des oberen Schenkelteiles der fertigen Querschnitte. Die mit ---Linien bezeichneten Umrisse der fertigen Querschnitte zeigen deutlich, daß dieser Querschnittsteil um so stärker ausfiel, je stärker derselbe Teil im vorgewalzten Stab war. Der obere Schenkelteil war vom dritten Versuch

an stärker als derselbe Teil der Fertigkaliberschablone, deren Umrisse mit ausgezogenen Linien gezeichnet sind. Dieser Umstand beweist den äußerst starken Einfluß der von Vorkalibern kommenden geringeren oder überflüssigen Stoffmengen und nebenbei die Tatsache, daß bei unrichtiger Einstellung der Walzen selbst die beste Kalibrierung keine tadellosen Endquerschnitte geben kann.

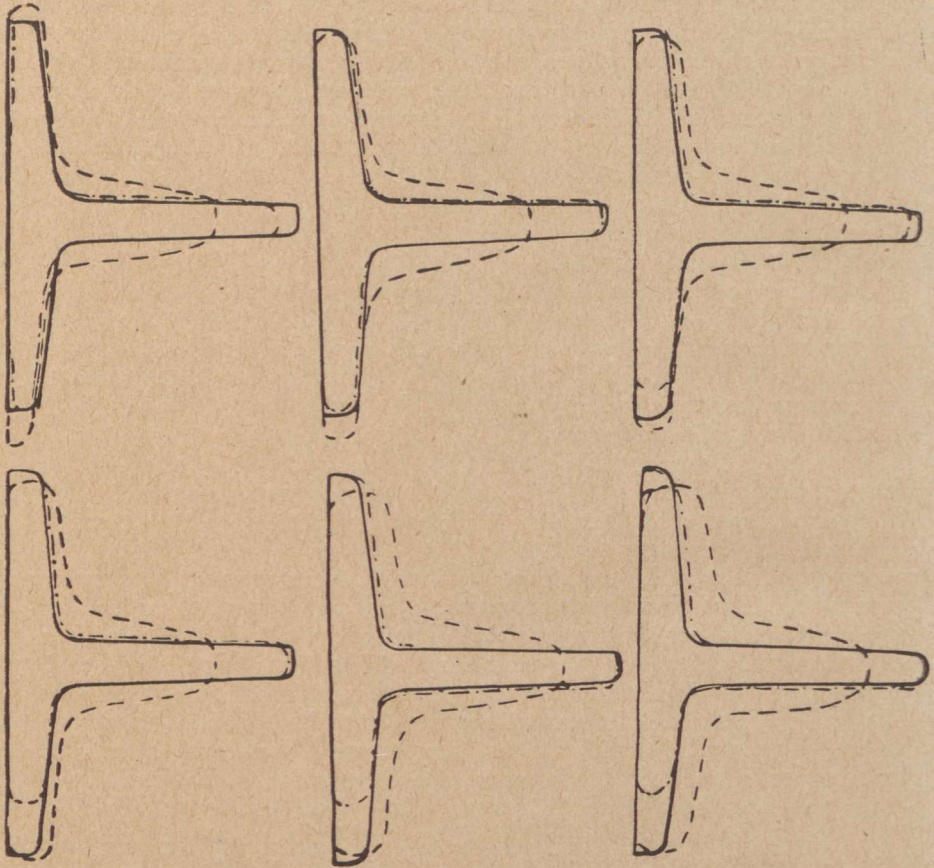


Abb. 53. Die Entwicklung der Querschnittsteile im T-Eisen bei verschiedenen Bedingungen (Versuch von Gálöcsy).

Nachstehend sollen die allgemeinen Grundlagen der Kalibrierung möglichst einheitlich zusammengefaßt werden.

Sobald festgestellt ist, daß sich ein bestimmter Querschnitt technisch und wirtschaftlich walzen läßt, so kann die Arbeit des Kalibrierens beginnen. Natürlich muß zunächst festgelegt werden, auf welcher Straße das betreffende Profil gewalzt werden soll bzw. ob eine Straße vorhanden ist, auf welcher das Profil anstandslos und wirtschaftlich gewalzt werden kann. Im allgemeinen, unter Benutzung der einschlägigen Angaben in „Hütte“, Taschenbuch für Eisenhüttenleute, wird diese Frage unter Berücksichtigung der örtlichen Betriebsverhältnisse auch

der jüngere Fachmann sicher beantworten, da nur selten Grenzfälle vorkommen, wo zwei Straßen in Frage kommen könnten.

Das Kalibrieren selbst wird mit dem Aufzeichnen des sogenannten Warmprofils begonnen, wie er das Fertigkaliber in glühendem Zustand verläßt. Die Abmessungen des Warmprofils werden in der Weise ermittelt, daß man die Abmessungen des fertigen abgekühlten Querschnittes um den Prozentwert des zu erwartenden Schwindens, also um 1,2—1,4 %, vergrößert. Bei einfacheren, schnell auswalzbaren Querschnittsformen wird der größere, bei zusammengesetzteren Formen der kleinere Wert verwendet.

Darauf wird auf Grund der Flächengröße des Knüppelquerschnittes bzw. des betreffenden Ausgangsquerschnittes und des Fertigwarmprofils ein vorläufiger Abnahmeplan gemacht, d. h. die voraussichtliche Anzahl der Stiche bestimmt. Ausgangspunkt ist immer das Fertigwarmprofil, von dem „rückwärtsgehend“ der Reihe nach sämtliche vorangehenden Kaliber zu entwerfen sind. Zuerst muß also das Vorkaliber entworfen werden, von dessen Eisen das Fertigkaliber genau, ohne Überschuß und Mangel, ausgefüllt wird. Mit Rücksichtnahme auf die während des Walzens rasch fallende Stabtemperatur wird die Fläche dieses Vorkalibers so bemessen, daß im Fertigkaliber der Druck nicht zu groß wird. Im Fertig- und in den ihm vorausgehenden Kalibern ist die Temperatur des Stoffes ja schon verhältnismäßig niedrig. In den vorausgehenden übrigen Kalibern wird also die in Prozent ausgedrückte Flächenzunahme allmählich größer bzw. nach dem Fertigkaliber hin allmählich kleiner. In den Fertigkalibern von Formeisen pflegt die Abnahme in der Regel 10—15 %, in den ersten Formkalibern 30—35 % zu betragen. Dies ist jedoch keine feste Regel. Von geübten Walzwerkern werden die Abnahmen fast ganz nach Gutdünken angewendet, selbstverständlich unter Berücksichtigung der Leistung der Antriebsmaschine, des Walzendurchmessers, der gegenseitigen Wirkung der zusammenhängenden Profileile usw.

Das nächstfolgende Vorkaliber wird auf Grund ganz ähnlicher Grundsätze bemessen; im Vorkaliber muß man jedoch bereits einen in Prozent ausgedrückten größeren Druck geben als im Fertigkaliber.

Das richtige Füllen ist auch hier wichtig, man muß sich höchstens merken, daß ein geringer Stoffmangel viel weniger unangenehm ist als Stoffüberschuß. Stoffmangel ist deshalb das kleinere Übel, weil er durch Tieferdrehen des vorangehenden Kalibers (oder eines kleineren Teiles desselben) einfach, schnell und billig behoben werden kann. Dagegen ist Stoffüberschuß (Überfüllung) nur durch Verminderung der Querschnittsfläche der Vorkaliber, dies wiederum nur durch Abdrehen des ganzen Walzenmantels zu beseitigen, was bedeutend mehr Zeit und Geld kostet und auch den Walzendurchmesser vermindert, also auf Kosten der Lebensdauer der Walze geht! So setzt man die Arbeit des Entwerfens von Vorkalibern so weit „nach rückwärts“ fort, bis man einen Anfangsquerschnitt erhält, in den das Eisen des Ausgangsquerschnittes bzw. der viereckige Querschnitt des Ausgangsblockes oder Knüppels mit

größter Wahrscheinlichkeit des richtigen Füllens eingelassen werden kann.

Es muß noch bemerkt werden, daß es, wenn man mittels Berechnung oder in einer anderen spekulativen Weise arbeitet, unbedingt notwendig ist, die entworfenen Umrisse jeden einzelnen Kalibers vorher auf durchsichtiges Pauspapier zu zeichnen, um beim Aufeinanderlegen der entsprechenden Blätter die Möglichkeit bzw. Wahrscheinlichkeit der zu erwartenden Formänderung und Füllung von Kaliber zu Kaliber

beurteilen und schätzen zu können, wie dies in Abb. 54 anschaulich gemacht ist.

Nur nach gründlicher Beurteilung solcher vorläufigen Profilumrisse kann dazu übergegangen werden, die endgültigen Kaliber auf glattem, hartem Zeichenpapier genau zu zeichnen.

Das Kalibrieren hat keine festen und allgemein gültigen einheitlichen Regeln. Damit soll jedoch nicht gesagt werden, daß der Walzwerksingenieur beim Kalibrieren ganz freie Hand hat, da auch der Walzvorgang seine strengen Regeln hat, nur sind sie uns noch nicht alle genau bekannt. Viele Walzwerker haben einzelne walztechnische Regeln in der Weise entdeckt, daß sie durch unbewußte Überschreitung einer solchen unbekannten Regel mit derselben zusammengestoßen ist. Hat das Kalibrieren auch keine einheitlich angenommenen und geschriebenen Gesetze, so muß man doch aus dem hier und in den früheren Abschnitten Gesagten folgern, daß der Walzvorgang mit gesetzmäßigen Erscheinungen verbunden ist, welche man gut und von Grund aus kennen muß, um Kalibrierungen erfolgreich durchführen zu können.

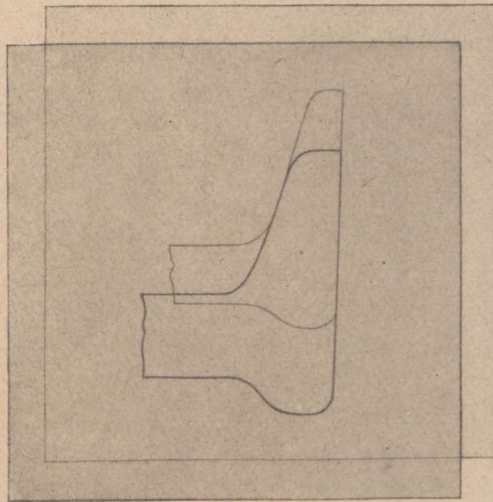


Abb. 54. Prüfung der vorläufigen Kaliberumrisse.

Die Tatsache, daß die meisten Walz- bzw. Kalibrierungsaufgaben auf verschiedene Weise gelöst werden können, beweist ein in einer Arbeit⁵¹⁾ vom Verfasser geschriebener Satz: „Die Erfindungsgabe des Walzwerksingenieurs spielt bei der Kalibrierung immer und auch dann eine große Rolle, wenn die rechnerischen Kalibrierungsverfahren von der Praxis endgültig angenommen sein werden.“

Tafel⁵²⁾ drückt denselben Gedanken folgendermaßen aus: „Bei aller Ausbildung der abstrakten rechnerischen Methoden bleibt eben das Kalibrieren wie jede Formgebungsarbeit des Ingenieurs in gewissem Sinne immer auch ein Ausdruck seiner Eigenart.“

51) E. Cotel, „Über die Grundsätze der neuzeitlichen Walztechnik“, „Montan. Rundschau“, Wien-Berlin 1920, S. 427.

52) W. Tafel, Walzen u. Walzenkalibrieren, Dortmund 1921, S. 227.

Der wichtigste allgemeine Grundsatz des Kalibrierens ist übrigens, daß die Verformung des Querschnittes möglichst wenig gewaltsam, d. h. möglichst einfach sein muß. Je gewaltsamer die Formänderung eines Querschnittes in einem einzigen Stich ist, um so größer ist der Kraftbedarf des Kalibers, um so schneller die Abnutzung des Kalibers und um so kleiner die Wahrscheinlichkeit des richtigen Ausfüllens des Kalibers.

Was nun die übrigen allgemeinen Gesichtspunkte anbelangt, so können diese etwa wie folgt zusammengefaßt werden:

1. Kommt ein Querschnittsteil aus einem Kaliber in einen von beiden Walzen umschlossenen scharfen Winkel mit mahlender Wirkung des nächstfolgenden Kalibers, so muß dieser Kaliberteil unbedingt abgerundet ausgebildet werden (Abb. 55), um ein Überfüllen, eine Gratbildung an dieser Stelle zu vermeiden. Scharfe Winkel kommen also im nächsten Kaliber in der Regel in abgerundete Teile, abgerundete Teile in scharfe Winkel und so abwechselnd weiter. Die Abrundung soll stets etwas größer als kleiner als notwendig gemacht werden, da ein zufälliger Mangel durch entsprechendes Abdrehen der Abrundung einfach aufgehoben werden kann, während im Fall eines Überfüllens die Vergrößerung der Abrundung wiederum nur durch Abdrehen des ganzen Walzenmantels erreicht werden könnte.



Abb. 55. Abrundung bzw. Abstumpfung der Kaliberecken.

Die Größe der Abrundung ist von der Querschnittsfläche abhängig und wächst bzw. vermindert sich mit dieser.

W. Tafel u. W. Knoll veröffentlichten („Stahl u. Eisen“ 1930, S. 968) die Ergebnisse ihrer Versuche zur Bestimmung von Abkantungen durch die Formel:

$$A = \left(3,61 - 0,485 \frac{B_1}{H} \right) \cdot \frac{(H - h)^3}{H^2},$$

worin A die kritische Abkantung (bzw. die Höhe einer Abkantung, die unter 45 läuft) ist, die bei einer Höhenabnahme von H auf h bei normalen Temperaturen gerade noch weggewalzt wird. Die Konstanten 3,61 und 0,485 entsprechen einem Walzendurchmesser von 450 mm. Niedrigere Temperaturen vergrößern die Breitung, verlangen also eine größere Abkantung. Falls die Abkantung durch eine Abrundung ersetzt werden soll, dann muß der Halbmesser der Abrundung $r = 1,5 A$ sein ⁵³⁾.

2. Bei Bestimmung der Kaliberhöhe muß das Greifvermögen der Walzen berücksichtigt, es muß geprüft werden, ob der Stab von einer gewissen Höhe in das nächstfolgende Kaliber hineingezogen werden kann. Die Walzen können den Stab nur dann greifen (einziehen), wenn die Dicke

53) A. E. Lendl, „Stahl u. Eisen“ 1949, S. 306.

(Höhe) des Stabes im Verhältnis zum Walzendurchmesser unterhalb einer gewissen Grenze bleibt. Von Hirst wurde gefunden, daß ein Greifvermögen noch vorhanden sein kann, wenn der in Abb. 56 mit α bezeichnete Zentriwinkel 30° nicht überschreitet, während von Geuze festgestellt wurde, daß von einem sicheren Greifen nur dann gesprochen werden kann, wenn der Zentriwinkel nicht größer als 22° ist. Die Erfahrung lehrt, daß Hirst nur dann recht hat, wenn das

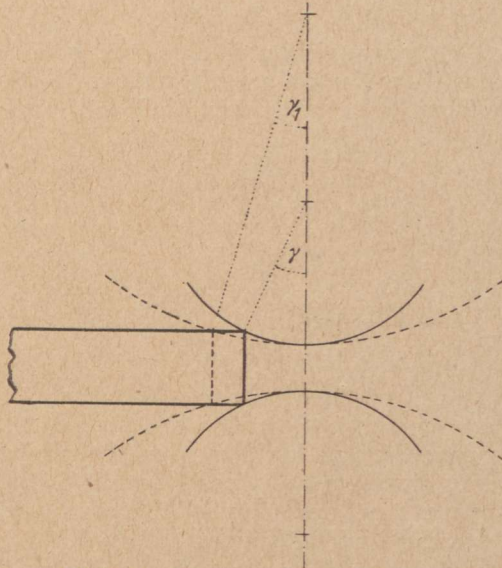


Abb. 56. Verhältnis zwischen Stabdicke und Zentriwinkel.

Werkstück vollkommen zunderfrei und die Walzenoberflächen sehr rau sind oder eben zu diesem Zweck geraut wurden. Es ist allerdings ratsam, mit dem Zentriwinkel möglichst immer unter 22° zu bleiben. Die Walzen greifen nämlich oft auch bei größeren Zentriwinkeln, aber unsicher, oft nur nach langem Warten und nach starken Stößen der Straße; auch kann dann das Walzgut im Kaliber zwei- bis dreimal, ja sogar zehnmal rutschen. Die Folgen sind Zeitverlust und Erzeugungsausfall, Abkühlung des Werkstückes, unrichtige Form der Abmessungen, Gratbildung und oft Brüche! Aus Abb. 56 kann übrigens festgestellt werden, daß bei gleicher Stabdicke eine

stärkere Walze leichter greifen muß, da der Zentriwinkel α_1 kleiner wird, wenn der Walzendurchmesser größer ist. Das Hilfsmittel, die Walzen zu rauhen, muß man möglichst vermeiden⁵⁴), da die unangenehmen Spuren des Rauhens sich oft auf der Fertigware wiederfinden bzw. bei Bearbeitung leicht zum Vorschein kommen können. Das Rauhen ist nur bei sehr großen Querschnittsflächen, bei Blockwalzen und bei den schwersten Vorstraßen sowie dort am Platze, wo nicht die ganz saubere Oberfläche, sondern das möglichst schnelle Herunterarbeiten, also sicheres und rasches Greifen, den Hauptzweck bildet.

Th. Dahl stellt fest, daß bei glatten Walzen ein größter Walzwinkel von 24° , bei gerautten Walzen von 34° noch zulässig ist (vgl. „Stahl u. Eisen“ 1948, S. 341). S. Ekelund untersuchte die Größe des Greifwinkels in Abhängigkeit von der Temperatur des Walzgutes (siehe „Jernkontorets Annaler“ 1927, S. 39—97). Auf Grund dieser Versuche wird festgestellt, daß die Reibungszahl

$$\mu = \operatorname{tg} \alpha$$

⁵⁴) Dr. H. Sedlaczek, „Vorschläge zur Vermeidung des Rauhens der Walzen“, „Stahl u. Eisen“ 1927, S. 26.

bei Temperaturen oberhalb 700°C mit steigender Temperatur abnimmt, und zwar kann sie durch folgende Gleichung ausgedrückt werden:

$$\mu = 1,05 - 0,0005 \, t \text{ für Stahlwalzen}$$

und

$$\mu = 0,8 (1,05 - 0,0005 \, t) \text{ für Hartgußwalzen.}$$

Dies macht die Tatsache, daß kältere Blöcke sicherer erfaßt werden und wassergekühlte Walzen besser fassen als warme, wohl verständlich.

3. Die Breitungen müssen in der Reihe der aufeinanderfolgenden Kaliber im Sinne der Grundsätze, welche uns bei der Erscheinung der Breitung bereits bekannt wurden, gesichert werden. Ist in irgendeinem Kaliber eine Breitung überhaupt nicht oder nur bedeutend unterhalb des erforderlichen Maßes möglich, so muß man wenigstens für reichlichen Kaliberanzug unbedingt Sorge tragen, da sonst das Walzgut in das Kaliber nicht eingeführt werden könnte. Derselbe kräftige Kaliberanzug wird dem Stück auch das Herauslaufen aus dem Kaliber erleichtern, da es in solchen Fällen, bei ungenügendem Breitungsraum, in das Kaliber stark eingeklemmt wird. Gibt man hingegen einem Kaliber bedeutend größere Breitung als notwendig, so läuft der Stab in diesem Kaliber wahrscheinlich leer und die Kanten bleiben stumpf.

4. Es muß sorgfältig erwogen werden, ob die aufeinanderfolgenden Kaliber in der Weise an der Walze geordnet werden müssen, daß das Werkstück vor bzw. nach jedem Kaliber um 180° gekantet werden muß, oder in der Weise, daß man aus diesem Gesichtspunkte den aufeinanderfolgenden Kalibern eine stets um 180° verdrehte Lage geben muß. Die erste Lösung ist vorteilhaft, wenn man über eine gut und schnell arbeitende, selbsttätige Kantvorrichtung verfügt oder das Werkstück ganz leicht ist. Bei diesem Verfahren kann die Ballenlänge der Walzen viel besser ausgenutzt werden; auch die fertige Ware hat eine saubere Oberfläche. Der sich bildende und rasch abgekühlte, also rasch erstarrte Walzsinter fällt in diesem Fall aus den tiefliegenden Profiltteilen leicht heraus, wohingegen beim Walzen ohne Kanten die Spuren des eingewalzten Zunders auch nach starkem Abblasen mit Wasser oder Dampfstrahl an den tieferen, trogförmigen Teilen der fertigen Ware oft zum Vorschein kommen. Ohne Kanten geht selbstverständlich das Walzen viel schneller und ist beim Walzen aus freier Hand für den Walzarbeiter auch bedeutend leichter, was in der heißen Sommerszeit eine Frage nicht nur der Menschlichkeit, sondern auch der Erzeugungshöhe ist.

5. Nochmals soll hier die wichtigste Regel des Kalibrierens betont werden, wonach man bestrebt sein muß, die in Prozent ausgedrückten Abnahmen der einzelnen Kaliberteile gleich- oder nahezu gleich zu halten. Von dieser Regel darf man nur in den Anfangsstichen abweichen, wo die Temperatur und Bildsamkeit des Walzgutes noch verhältnismäßig sehr hoch sind.

Sind die Kaliberumrisse unter Berücksichtigung des Gesagten und der in den nächsten Abschnitten noch folgenden Ausführungen genau ausgearbeitet worden, so ist es zweckmäßig, die mit hartem Bleistift gezeichneten Kaliberumrisse mit Tusche auszuziehen. Die so fertig ge-

gezeichneten Kaliberumrisse (Schablonenzeichnungen) kommen in die Werkstatt, wo auf Grund dieser Zeichnungen 0,5 mm starke Zinkblechschablonen zum Zweck genauer Prüfung der Dreharbeit und der Formgebung der Drehstähle angefertigt werden.

Auf Grund der Schablonenzeichnungen wird dann nach den im Abschnitt IV besprochenen Grundsätzen die Walzenzeichnung angefertigt. Die Kaliberumrisse werden in der Walzenzeichnung um die Blechschablonen gezogen, um die Kaliberumrisse nicht noch einmal konstruieren zu müssen.

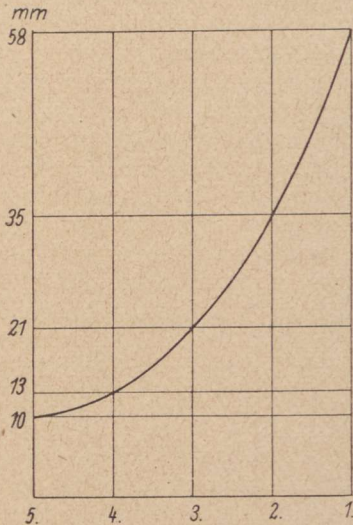


Abb. 57. Parabel der Höhenabmessungen einer Flacheisenkalibrierung.

B) Grundlagen für rechnerische und graphische Kalibrierungen

Es wurde bereits im Unterabschnitt VIII, A, auf die Tatsache hingewiesen, daß zahlenmäßige und zuverlässige Grundlagen für den Materialfluß in der Querschnittsebene der zusammengesetzteren (Formeisen-) Walzprofile heute noch nicht vorhanden sind. Dies bedeutet, daß eine vollkommen sichere Grundlage einer rechnerischen bzw. graphischen Kalibrierung der Formeisenquerschnitte ebenfalls fehlt. Trotzdem ist das Bestreben, Formeisenkalibrierungen rechnerisch oder graphisch auszuführen, von jeher rege. Es ist klar,

daß die fehlenden exakten und zahlenmäßigen Grundlagen bei solchen Bestrebungen durch Annahmen ersetzt werden müssen; daher die Schwäche solcher rechnerischen Verfahren, falls es sich um neue und zusammengesetztere Querschnittsformen handelt.

Der erste, der die heute noch zuverlässigste Grundlage für eine graphische und rechnerische Kalibrierung gegeben hatte, war Emil Kirchberg. Er stellte in seiner Arbeit⁵⁵⁾ fest, daß „viele scheinbare Unregelmäßigkeiten der Walzenkalibrierung durch die Parabel ihre gesetzmäßige Erklärung finden“. Bei der Kalibrierung der Flanschen für Träger, U-Eisen und ähnliche Formeisengattungen, einer bis dahin offen gewesenen Frage der Kalibrierung, verwendete Kirchberg die Tangente des durch die Schrägung der Flanschen gegebenen Winkels, eingesetzt in eine Parabelgleichung, als Konstruktionsgrundlage⁵⁶⁾.

Nun stellt sich auf Grund der Forschungen von Kirchberg heraus, daß die Parabel nicht nur für diese Teilaufgaben, sondern auch

55) E. Kirchberg, Grundzüge der Walzenkalibrierung, Verlag Fr. Wilh. Ruhfus, Dortmund 1905.

56) Siehe Vorwort der erwähnten Arbeit von Kirchberg. Vgl. Abschnitt IX, D, 1, vorliegender Arbeit.

für ganze Kalibrierungen als Konstruktionsgrundlage dienen kann. Es wurde nämlich festgestellt, daß die Höhenabmessungen der nacheinander folgenden Kaliber eines einfachen (viereckigen) und gutgehenden Walzquerschnittes Ordinaten einer Parabel sind, deren Abszisse aus den die zahlenmäßige Reihenfolge der Stiche darstellenden, untereinander gleichen Längen zusammengesetzt ist. Die Ordinate des Scheitelpunktes bedeutet in diesem Fall die Höhenabmessung des fertigen und die letzte Ordinate die Höhe des ersten Kalibers in der fraglichen Kaliberreihe. Da bei den Kalibrierungsarbeiten die Höhenabmessungen des fertigen bzw. Anfangsquerschnittes, ferner die ungefähre Stichzahl stets bekannt und für die Parabelkonstruktion Scheitel- und Endpunkt sowie die Achsen somit gegeben sind, so ist die zum Entwerfen notwendige Kurve vollkommen bestimmt.

Abb. 57 stellt z. B. die Parabel der Höhenabmessungen einer Flacheisenkalibrierung dar (vgl. Abschnitt IX, C). Die fertige Höhe des Flacheisens beträgt, wie die Ordinate des Scheitels zeigt, 10 mm, und die übrigen Kaliber sind der Reihe nach 13, 21, 35 und 58 mm hoch.

Geht man in dieser Richtung noch einen Schritt weiter, so ist es klar, daß die Ordinaten bzw. die Punkte der Parabel nicht nur die Höhenabmessungen, sondern auch die Flächengrößen einer Vierkantkaliberreihe bedeuten, falls die Breitungen unberücksichtigt bleiben. Sind die Teildrücke in der Querschnittsebene gleichmäßig verteilt bzw. sind die Abnahmen in Prozent der Querschnittsteile gleich, so ist diese Feststellung auch für beliebige, also auch für Formeisenquerschnitte unverändert gültig.

Die nicht unbeträchtlichen Vorteile des Kalibrierens mit der Parabel liegen auf der Hand; es ist daher wohl zu verstehen, daß der Gedanke von Kirchberg weiterentwickelt wurde.

So machte als erster Prof. Dr. G. Stauber den Vorschlag, die Kalibrierungsaufgaben graphisch zu lösen. Weißenberg faßt die Vorteile der graphischen Kalibrierung nach Stauber wie folgt zusammen⁵⁷⁾:

1. „Einer sachgemäßen Kalibrierung entspricht in einer graphischen Darstellung ein ganz bestimmter Charakter ununterbrochener Kurven.
2. Unter Zugrundelegung dieses allgemeinen Kurvenverlaufes genügt für die Aufzeichnung von Einzelkalibrierungen die Stichzahl im Zusammenhang mit dem Verhältnis des Anfangs- zum Endquerschnitt.
3. Walzdruck- und Kraftverbrauchsversuche können als Kontrolle bezüglich dieser Wahl der Stichzahlen und des Kurvencharakters mit besonderer Leichtigkeit dem Betrieb nutzbar gemacht werden.
4. Für die Betriebsleitung ergibt sich eine einfache und übersichtliche Darstellungsart des gesamten Walzenparkes und des Arbeitsvorganges für jedes einzelne Profil, die auch dem Neuling ermöglicht, sich rasch in die besonderen Eigenarten eines Betriebes einzuarbeiten.“

⁵⁷⁾ Weißenberg, „Walzbetrieb und Kalibrierung in graphischer Darstellung“, „Stahl u. Eisen“ 1911, S. 1653 — 1662.

In der neuesten Zeit stellte W. Tafel eine rechnerische Grundlage für die Kalibrierungsaufgaben auf⁵⁸⁾ und meint diese in den Walzbetrieben in folgender Weise verwenden zu können⁵⁹⁾:

1. „Die Querschnitte vor und nach dem Stich werden ineinander gezeichnet, so daß die Mittellinien zusammenfallen, ebenso die unteren Begrenzungen;

2. Teilung des Ausgangsquerschnittes in Rechtecke gleichen Flächeninhaltes;

3. Ermittlung von »natürlicher Längung« H/h sämtlicher Rechtecke und Errechnung des arithmetischen Mittels L_m ;

4. Ermittlung der mittleren Höhe des Endprofiles h_m ;

5. Prüfung, ob $H/L_m = h_m$.

Ist dies der Fall, dann ist das Kaliber gefüllt; ist $h_m > H/L_m$, dann geht es leer; ist $h_m < H/L_m$, dann wird es übertoll.

Bei obigem Verfahren bleibt die Breitung unberücksichtigt. Dies und anderes ergibt Abweichungen.“

Zu dieser Kalibrierungsart mittels Berechnung nach Tafel ist zu bemerken, daß sie sich in der Praxis kaum einbürgern kann, einestheils weil sie sehr umständlich ist, andernteils weil die Grundlage der Tafelschen Berechnung selbst unsicher ist. Die Zerlegung der verwickelteren neuen Querschnittsformen kann nämlich nur in sozusagen willkürlicher Weise erfolgen, da man über die Art und besonders über die zahlenmäßige Größe des Materialflusses in der Querschnittsebene recht wenig weiß. Das willkürliche Zerlegen der Walzquerschnitte kann somit eine Quelle zahlreicher anderer Fehler sein.

Eben deshalb ist es vollkommen berechtigt, wenn Albert Nöll bezüglich der rechnerischen Kalibrierungen folgendes feststellt⁶⁰⁾: „Wenn neuerdings gewisse Anschauungen dahin gehen, daß Kalibrieren an sich kein Kunststück sei, daß es vielmehr darauf ankomme, unter den vielen vorhandenen Möglichkeiten die herausgreifen, bei den Kraftbedarf und Walzenbeanspruchung ein Mindestmaß werden, so kann man dazu nur sagen, daß wir heute allgemein leider noch nicht so weit sind. Für gewisse einfache Querschnittsformen mag eine solche Behandlung vielleicht schon am Platze sein; für alle verwickelten Formen versagt sie, und ob hier eine bestimmte Voraussage überhaupt einmal möglich sein wird, erscheint mir tatsächlich zweifelhaft.“

C) In den Walzbetrieben übliche Art der Kalibrierung

Die Verfahren der Praxis wurden von Walzwerksleitern ausgearbeitet und ihren Nachfolgern überliefert, die das übernommene Verfahren allmählich weiterentwickelt haben. Diese Verfahren waren lange Zeit hindurch sozusagen Geheimnis der einzelnen Werke, und so ist es leicht

58) Wilh. Tafel, Walzen und Walzenkalibrierung, Dortmund 1923, II. Aufl., S. 214—226.

59) „Hütte“, Taschenb. f. Eisenhüttenl., IV. Aufl., S. 732.

60) J. Dehez, Walzenkalibrierungen, Stahleisen, Düsseldorf 1919, Nachwort.

erklärlich, daß die praktischen Verfahren des Formeisenkalibrierens nicht ganz einheitlich sind. Die bewährten Arten des Kalibrierens sind jedoch heute bereits doch so weit einheitlich, daß die Kenntnis solcher Verfahren für den Anfänger nützlich sein kann. Dem Anfänger kann übrigens kein besserer Rat gegeben werden, als je mehr um so besser bewährte Kalibrierungen unter Berücksichtigung der in den Abschnitten V, VI u. VII besprochenen Grundsätze zu untersuchen bzw. zu prüfen. Er wird bald erfahren, daß diejenige praktische Kalibrierung die beste ist, deren Verfasser, geführt von dem auf seiner eigenen Erfahrung ruhenden Gefühl, den in den obigen Abschnitten erläuterten Grundsätzen folgte.

Die praktische Kalibrierung besitzt den großen Vorteil, daß sie, wenn dem Kaliberkonstrukteur die Grundsätze des Kalibrierens schon geläufig sind, die Arbeit der Kalibrierung außerordentlich beschleunigt und vereinfacht. Es muß jedoch betont werden, daß in wichtigeren Fällen die Richtigkeit der Kalibrierung gründlich von mehreren Standpunkten aus nachgeprüft werden muß. Nach einer nicht ganz erfolgreichen Walzprobe ist dies noch dringendere Pflicht.

Der allgemeine Gang der praktischen Formeisenkalibrierung ist der folgende:

Am Fertigwarmprofil des zu walzenden Profils (man denke z. B. an die Querschnittsform eines Trägers oder einer Schiene) wird ein Querschnittsteil ausgewählt, welcher in seiner selbständigen Form als Flacheisen oder im allgemeinen als länglicher Vierkantquerschnitt angesehen werden kann und während des Walzens direkte, unmittelbare, senkrechte oder annähernd senkrechte Drücke erhalten muß, also waagrecht oder nahezu waagrecht liegt. Derartige Teile sind z. B. die Stege von U-Eisen, Trägern, Schienenprofilen. Nun wird der Abnahmeplan für diesen Querschnittsteil festgelegt. Die von Kaliber zu Kaliber zunehmenden Dicken dieses Querschnittsteiles werden für so viele Kaliber bestimmt, als man bis zum Ausgangsquerschnitt für richtig hält, um in das erste Formkaliber den Ausgangs- (Vierkant-) Querschnitt mit größter Wahrscheinlichkeit des guten Füllens einführen zu können. Diese allmählich zunehmenden Höhenabmessungen müssen im Sinne des im Abschnitt VIII, A, erwähnten Grundsatzes bestimmt werden. Die Zunahme der Kaliberhöhen muß also mit Berücksichtigung der fallenden Temperatur bzw. Abnahme der Bildsamkeit, der gegenseitigen Wirkung der verschieden stark gestreckten Nachbarteile, der Wirtschaftlichkeit des Verfahrens an Zeit, Stoff und Geld geschehen. In dieser Weise wird also, von dem Fertigkaliber ausgehend bis zum ersten Vorkaliber, die Höhe des den Grund bildenden Querschnittsteiles (nicht nur im absoluten Maß, sondern auch in Prozentverhältnissen) vergrößert. Die Parabel-Theorie Kirchbergs ist sehr geeignet, dem Anfänger bei seinen ersten Kalibrierungen einen sicheren Anhalt, einen festen Boden und ein Mittel zur Nachprüfung zu geben. Später, wenn der Walzwerker Übung hat, wird er die Parabel mehr und mehr entbehren können; denn der erfahrene Fachmann wird die Drücke in den letzten Kalibern nach seiner eigenen Auffassung bestimmen wollen; zur Bestimmung der Drücke in den ersten Kalibern genügt auch der Blick eines geübten Walzwerkers um so mehr, als bei den ersten Stichen

der Druck vom Standpunkt des Kalibrierens eine geringere Rolle spielt und nur die Art der Formänderung wichtig ist. Es bleibt aber doch Tatsache, daß bei den Kaliberabmessungen gutgehender Walzungen die große Bedeutung der Parabel stets bestätigt wird. Die Bearbeitung der zum Flacheisenteil anschließenden übrigen Querschnittsteile (Füße, Köpfe usw.) wird nun in der rückwärtsgehenden Kaliberreihe mit Berücksichtigung zweier Gesichtspunkte vorgenommen. Die Entwicklung dieser anschließenden Teile hängt davon ab, ob diese Teile in einem nur in eine Walze geschnittenen „geschlossenen“ Kaliberteil — also ganz ohne Druck — laufen oder ob sie in den von beiden Walzen umschlossenen Kaliberteil (mit Mahlwirkung) gelangen und nur mittelbar, d. h. waagerecht gedrückt werden! Der als Basis gewählte Flacheisenteil erhält, wie bereits erwähnt, nur unmittelbaren, senkrechten Druck und liegt waagerecht, in der Regel in der Walzlinie. Die Füße, Köpfe zweigen von diesem Teil rechtwinklig oder nahezu rechtwinklig aufwärts und abwärts ab und haben in diesen beiden Richtungen, entsprechend der technischen Walzbarkeit, zusammenlaufende (konvergente) Begrenzungen. Da nun solche Querschnittsteile fast ausschließlich nur mittels mittelbaren, waagerechten Druckes bearbeitet werden können, so ist es klar, daß die eine Hälfte des Kalibers (die untere oder obere) stets in geschlossenen, die andere (obere oder untere) Hälfte gleichzeitig in einem offenen, von beiden Walzen umschlossenen Kaliberteil laufen muß. Die aufeinander folgenden Kaliber müssen selbstredend in dem Sinne geöffnet sein, daß aus geschlossenen Kaliberteilen kommende Profilteile möglichst immer in einen offenen Teil und umgekehrt gehen müssen.

Es handelt sich nun nur noch darum, zu wissen, welcher Art der mittelbare indirekte Druck in der einen Kaliberhälfte sein muß und was mit dem in gleicher Zeit mit geschlossenen Kaliberteil laufenden anderen Profilteil geschieht.

Auch hier kann der Grundsatz der gleichmäßigen Druckverteilung, wonach der in Prozent ausgedrückte indirekte Druck der Abzweigungen ungefähr gleich dem Druck des Flacheisenteiles sein muß, aufrechterhalten werden; d. h. die in den offenen Teil des Fertigkalibers kommenden Profilteile des Vorkalibers können um so viel Prozent stärker bemessen werden, als die Höhenabmessung des Flacheisenteiles in Prozent zugenommen hat. Die in der Walze senkrecht stehende Längenabmessung der Abzweigung muß im Vorkaliber ungefähr 1 mm kleiner sein als der betreffende Teil des Fertigkalibers, da unter der Mahlwirkung der offenen Kaliberteile die senkrechte Abmessung dieses Teiles ein wenig vergrößert wird. Es muß betont werden, daß die waagerechte Dickenabmessung der Füße im letzten Vorkaliber bis zur genannten Grenze nur dann vergrößert werden kann, wenn die Umrisse dieser Querschnittsteile in den entsprechenden Teil des Fertigkalibers bis 0,75 der senkrecht liegenden Höhe desselben eingeschoben werden können. In den weiteren Vorkalibern, bei größerer Dicke und höherer Temperatur, kann man sich mit einem Einschieben bis 0,66 und noch weniger begnügen. Bleibt diese Vorsichtsmaßregel außer acht, so wird die Abzweigung, Fuß, Kopf usw. kurz bzw. leer bleiben. In dem

folgenden Abschnitt wird die Entwicklung dieser Querschnittsteile nach Kirchberg noch rechnerisch gezeigt werden.

Der Vorkaliberteil (Fuß), welcher in den geschlossenen Teil des Fertigkalibers kommt, erhält in seiner Dickenabmessung keinen Druck, er müßte also leer laufen, was eine Längung ohne Walzdruck und demgemäß eine Gefügeänderung bzw. schädliche Spannungen zur Folge hätte. Um dies zu vermeiden, muß man im Vorkaliber die senkrechte Höhenabmessung nach der möglichst gleichmäßig verteilten Flächenzunahme vergrößern, jedoch in der Weise, daß dieser Querschnittsteil in das Fertigkaliber ganz hineinrutscht.

In der Abb. 58 ist der während des Walzens waagerecht liegende, flacheisenartige Querschnittsteil mit I, der offene Teil mit II und der geschlossene Teil mit III bezeichnet.

Die Praxis hat gelehrt, daß die Längenzunahme der Abzweigungen (Füße) des Vorkalibers von der Fläche, also auch von der Profilgröße unabhängig gemacht werden kann. Es hat sich gezeigt, daß das Füllen richtig und ohne Spannungen verläuft, wenn diese senkrechte Verlängerung der Abzweigungen von Kaliber zu Kaliber rund 5 mm beträgt. Man erzielt so den großen Vorteil, daß die Walzprofile aus einem verhältnismäßig niedrigen, also möglichst kleinen Ausgangsquerschnitt gewalzt werden können, eine hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit der Blockerzeugung und des Vorstreckens wichtige Tatsache.

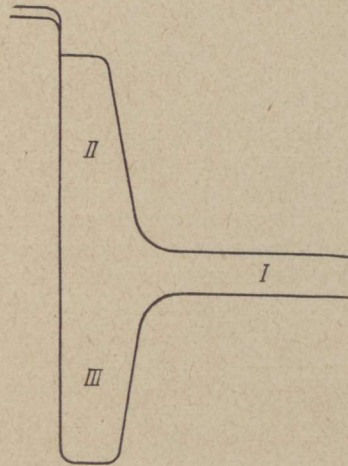


Abb. 58. Verschiedenartig bearbeitete Teile des Trägerprofils.

Das nächste und die weiteren Kaliber werden in gleicher Weise unter Berücksichtigung der allgemeinen Grundsätze angefertigt. Es muß noch hervorgehoben werden, daß die Krümmungshalbmesser der Übergangsabrundungen zwischen den einzelnen Kaliberteilen in den Vorkalibern stets in der Weise vergrößert werden müssen, daß auch diese Übergangsflächen einer ungefähr gleichen Abnahme, Längung, unterliegen wie die übrigen Profilteile.

Häufig kommt es vor, z. B. bei Schienen, daß die Abzweigungen des Flacheisenteiles in ihren senkrechten Höhenabmessungen sehr verschieden sind. Die im Kaliber senkrecht gemessene Höhenabmessung des Fußes von Schienen ist z. B. viel größer als die gleichläufige Abmessung des Kopfes. In solchen Fällen würden bei strenger Einhaltung des oben Gesagten die in der beschriebenen Weise entwickelten Abzweigungen auch in den Vorkalibern in ihren Höhenabmessungen bedeutend verschieden sein. Dies würde aber ein wesentliches Hindernis des Überganges zum viereckigen Ausgangsquerschnitt sein und könnte zu Schwierigkeiten und zu einem unvollkommenen Arbeitsgang führen. In solchen Fällen geht man so vor, daß man in den ersten zwei bis drei Formkalibern die obige Regel nicht einhält, sondern die senkrechte

Abmessung der niedrigeren Abzweigung verhältnismäßig schneller vergrößert, um zum viereckigen Querschnitt schon mit gleich oder nahezu gleich hohen Abzweigungen übergehen zu können.

Ob man nun zum viereckigen Ausgangsquerschnitt mit einem in der Mitte waagerecht geteilten, also offenen, oder mit einem geschlossenen Kaliber übergeht, ist eine Frage, deren Beantwortung hauptsächlich von der Größe der senkrechten Abmessungen der Anfangskaliber entschieden wird. Sind diese Abmessungen groß, so werden die ersten zwei Kaliber zweckmäßig als offene entworfen, d. h. in ihrer waagerechten Mittellinie derart geteilt, daß ungefähr die obere Hälfte des Kalibers in den Körper der oberen Walze, die untere Hälfte in den Körper der unteren Walze eingeschnitten wird. Diese Anordnung hat den Vorteil, daß, da die senkrechte Abmessung des Kalibers nur die Hälfte beträgt, nur halb so dicke Ringe angewendet werden können, wodurch eine viel vorteilhaftere Ausnutzung der Ballenlänge ermöglicht wird.

Würde die Walzprobe ergeben, daß das Fertigprofil unvollkommen bzw. mit Mängeln oder Überschuß belastet ist, so muß ein aus dem gewalzten Stab jedes einzelnen Kalibers auf der Warmsäge abgetrenntes Stück genau geprüft werden. Auf Grund dieser Überprüfung werden die notwendigen Umänderungen der Kaliberumrisse vorgenommen, und zwar im Sinne der in den Abschnitten V—VIII besprochenen und in dem Abschnitt IX noch zu besprechenden Grundsätze.

IX. Entwerfen der gangbarsten Walzquerschnitte

A) Querschnitte der Vorstreckwalzen

Auf den Vorstreckwalzen werden die verschiedenen Halbzeugarten hergestellt, welche wiederum als Ausgangsquerschnitte der Fertigstraßen, Schmiede- und Preßwerke weiterverarbeitet werden. Dieser Umstand bringt es mit sich, daß die Vorstreckwalzen derart kalibriert sein müssen, daß sie eine Massenerzeugung von quadratischen und Vierkantquerschnitten ermöglichen. Da jedoch die Quadrat- und Vierkantkaliber nur mit nicht allzu großen Abnahmen arbeiten können, so ist es unumgänglich notwendig, die Vorstreckwalzen auch mit anderen, größere Querschnittminderungen liefernden Kalibergattungen auszurüsten. Es kommt vor, daß in den Kaliberreihen der Vorstreckwalzen auch solche Kaliberformen Platz finden müssen, welche lediglich zum Zweck einer nachfolgenden Formbildung in der Fertigstraße dienen. Zur ersten Gruppe der Vorstreckkaliber gehören die Oval-, zur zweiten die Spießkant- und Spitzbogenkaliber. Da jedoch die Hauptaufgabe der Vorstreckwalzen eine möglichst ausgiebige und wirtschaftliche Querschnittsverminderung, also starke Streckung des Walzgutes ist, so ist es klar, daß die Ovalkaliber in den Kaliberreihen der Vorstreckwalzen eine viel größere Rolle spielen als die Spießkant- und die Spitzbogenkaliber.

Die Kaliberreihen der Vorstreckwalzen werden um so einfacher und übersichtlicher sein, je weniger quadratische Querschnitte aus den fraglichen Vorstreckwalzen zu entnehmen sind. Diese Kaliberreihen sind

derart zu entwerfen, daß die Leistungsfähigkeit jeder Vorstrecke stets etwas größer ist als die Aufnahmefähigkeit der dazugehörigen Fertigstraße.

Die Kaliberreihen der Block- und einiger Knüppelwalzen bestehen aus Vierkantkalibern (siehe Abb. 4). Die Kaliberreihen der mittelstarken Vorwalzen werden aus Vierkant-, Quadrat- und Ovalekalibern, die Kaliberreihen leichter Vorstraßen aus Spießkant- bzw. aus Quadrat- und Ovalekalibern zusammengestellt (siehe Abb. 7).

1. Vierkantkaliber (Kastenkiliber)

Diese sind meist (bei Duowalzen) in der waagerechten Kalibermitte geteilt. Werden Vierkantkaliber auch für Trio-Vorstreckwalzen angewendet, so müssen die Kaliberflächen so geteilt werden, daß der kleinere Teil derselben in die mittlere Walze zu liegen kommt, um die allzu starke Inanspruchnahme der mittleren Walze zu vermeiden. Die

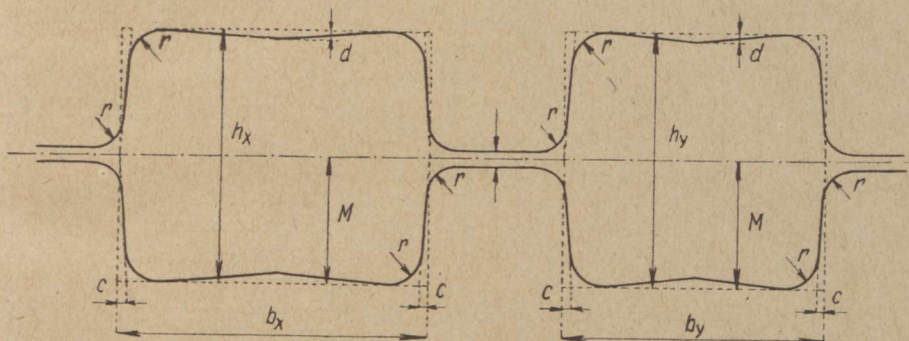


Abb. 59. Gestalt und Abmessungen der Vierkantkaliber nach Kirchberg.

Form der Vierkantkaliber und zwei benachbarter Glieder einer Vierkantreihe ist in Abb. 59 gezeigt.

Die Vierkantkaliber besitzen einige, nicht unbeträchtliche Vorteile. Da diese Kaliber an den Seiten, nicht an den Ecken geöffnet sind, bieten sie die Möglichkeit, die Ringbreiten recht spärlich zu bemessen, was um so leichter geht, als bei waagerecht geteilten Kaliberhöhen auch der Kaliberanzug bedeutend größer sein kann. Ein weiterer Vorteil besteht darin, daß mittels entsprechender Einschnürung der oberen und unteren Begrenzungen in den größeren Vorkalibern eine Gratbildung in den folgenden Kalibern vermieden und eine leichtere Einführung gesichert wird. Die einfache Form der Vierkant-Kaliberreihen hat auch den Vorteil, daß mehrere quadratische Zwischenquerschnitte leicht eingereiht werden können. Diese großen Vorteile sind der Grund der Beliebtheit der Vierkant-Vorwalzen, falls es nicht um zu kleine Querschnitte handelt.

Was nun die Eigenschaften und Leistungsfähigkeit der Vierkantkaliber anbelangt, so beträgt die Abnahme dieser Kaliber höchstens rund 35%. Die Breitung ist, um eine Gratbildung womöglich ausschließen zu können, mit beinahe voller Größe (80—85%) der un-

gehinderten freien Breitung in Rechnung zu stellen, der Kaliberanzug mit 6—10 %.

2. Spitzbogenkaliber

Ihre Anwendung ist heute sehr beschränkt. Sie bilden meistens die Vorkaliber des aus freier Hand gewalzten Rundeisens. Als Vorteil ist höchstens die geringe Breitung anzusehen. Dieser stehen jedoch wesentliche Nachteile gegenüber, da die Abnahme sehr gering ist und das Walzgut in dem Spitzbogenkaliber leicht umfällt. Der von W. Tafel und von der „Eisenhütte“ erwähnte angebliche Vorteil, daß infolge der stumpfen Kantenwinkel die Kantenabkühlung geringer ist,

kann überhaupt nicht in Rechnung gezogen werden, da in den Vorstraßen die Stabtemperatur noch so hoch ist, daß eine geringe Abkühlung ohne Nachteil ist. Ein umgefallener Stab bedeutet ein viel größeres Übel als die geringe Abkühlung in der Vorstraße.

Der zulässige Druck pfl egt 10—14 % der Stabhöhe zu betragen. Auch hier wird, wie in den Kastenkalibern, mit einem Kanten

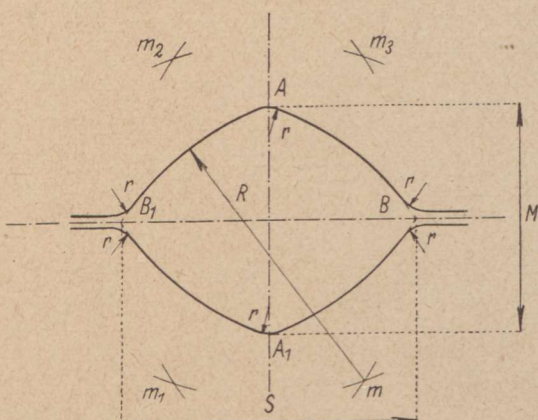


Abb. 60. Konstruktion der Spitzbogenkaliber nach W. Tafel.

um 90° von Kaliber zu Kaliber weitergegangen. Die Ringbreite ist sehr günstig: 5—10 mm. Das Entwerfen der Spitzenbogenkaliber wird nach Abb. 60 bzw. nach W. Tafel⁶¹⁾ in folgender Weise vorgenommen: $R = S$, $r = 0,1 R$ oder $0,2 M$ (man nehme lieber den höheren Wert). Man zieht von den Endpunkten der Diagonalen mit dem Halbmesser $R = S$ die vier Bogen. Die Schnittpunkte sind die Mittelpunkte der das Spitzbogenkaliber begrenzenden Bogen. Die Breitung wird bei Spitzbogenkalibern nur insofern berücksichtigt, als die Ecken A und A₁ mit dem Radius r abgerundet und die Ecken B und B₁ mit demselben Radius geöffnet werden. Es ist Regel, daß die Abmessung S gleich der noch nicht abgerundeten Höhenabmessung des Vorkalibers sein soll. Das Verhältnis der Kaliberhöhe zur Breite pfl egt $M : S = 6 : 7$ oder $8 : 9$ zu betragen.

Der Spitzbogenkaliberreihe kann eben wie der Raute jeder zwischenliegende Querschnitt entnommen werden, besonders wenn auch der Abstand der Walzenachsen verändert wird. Allerdings sind solche Querschnitte nicht genau quadratischer Form. Diese Kalibergattungen werden daher hauptsächlich dort angewendet, wo dieser Gesichtspunkt in erster Reihe in Frage kommt, da sonst die Arbeit dieser Kaliber sehr langsam und deshalb unwirtschaftlich ist.

61) „Eisenhütte“, E., Kalibrierung, IV. Aufl., S. 727.

3. Spießkantkaliber (Raute, rhombisches Kaliber)

Die Grundsätze des Entwerfens und der Anwendung der Spitzbogenkaliber sind auch für die Raute, Abb. 61, gültig, weil die allgemeine Form des Kalibers und die Lage desselben an der Walzlinie in beiden Fällen gleich ist. Infolgedessen sind die Spießkantkaliber als Vorstreckkaliber ebenfalls nicht beliebt.

4. Kaliberreihe aus Quadrat-Oval-Streckkalibern

Diese Kaliberreihe, Abb. 62, ist infolge der mittleren Breitung wie auch ihrer außerordentlich wirksamen Querschnittsverminderungsfähigkeit das wirtschaftlichste Vorstreckkalibersystem. Der zulässige Druck beträgt rund höchstens 60 %, selbstverständlich in der Weise, daß

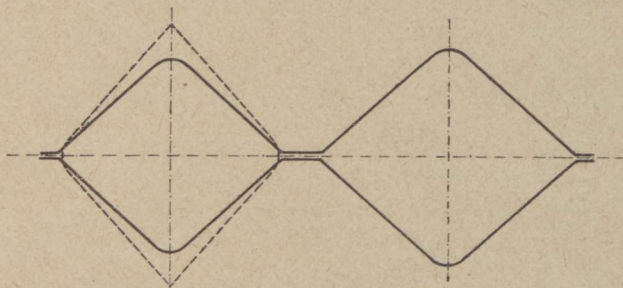


Abb. 61. Spießkant-Vorstreckkaliber.

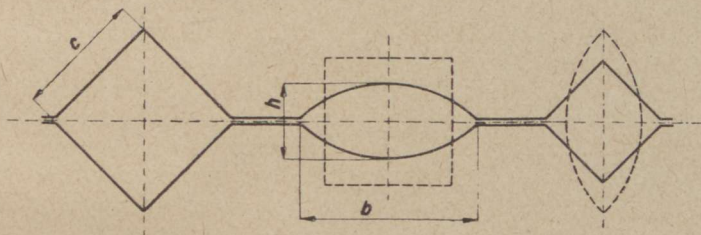


Abb. 62. Quadrat-Oval-Streckkaliberreihe.

im Oval in der Regel ein beiläufig anderthalbmal so großer Druck gegeben wird wie im Quadrat. Zur Berechnung der Abnahmeverhältnisse wird die Fläche eines Ovals mit zwei Drittel der Fläche des umhüllenden Rechtecks in Rechnung gestellt.

Eugen Mercader⁶²⁾ gibt die günstigste Breite des auf das Quadrat folgenden Streckovals auf Grund seiner Versuche und Berechnungen mit

$$b = c + \beta(2c - h)$$

an, worin

b = die gesuchte Breite des Ovals,

c = die Seitenlänge des Quadratvorkalibers,

h = die auf Grund des Abnahmeplanes angenommene Höhe des Ovals,

β = eine Konstante

⁶²⁾ „Stahl u. Eisen“ 44 (1924), Heft 14.

ist. Da von Mercader aus zahlreichen Versuchen und Ovalmessungen der Wert von

$$\beta = 0,465$$

gefunden wurde, so beträgt die Breite des auf das Quadrat folgenden Streckovals

$$b = 1,93 c - 0,465 h \text{ (vgl. Abb. 62).}$$

Bei seinen Ovalmessungen wurden von Mercader zwischen 0,43 — 0,50 schwankende β -Werte gefunden, und zwar in der Weise, daß den kleinsten Ovalabmessungen der höchste β -Wert entspricht und umgekehrt.

B) Quadrat- und Rundeisenkaliber

Quadrat- und Rundeisen können sowohl „aus freier Hand“ als auch „aus Führung“ gewalzt werden. Während des Walzens aus freier Hand wird das Walzgut vom Arbeiter nur mit der Zange gehalten und geführt, beim Walzen aus Führung werden vor den Quadrat- und Rundeisenkalibern aus hartem Material (Stahl- oder Hartguß) hergestellte Führungsbacken angebracht. Von diesen entsprechend den Abmessungen des Eisens aus dem Vorkaliber eng passend eingestellten Führungen wird die Lage des Werkstückes gesichert und sein Umfallen verhindert. Während beim Walzen aus freier Hand jedes Fertigkaliber zugleich als Vorkaliber für die darauffolgende kleinere Abmessung dient, die Walzeinrichtung also in diesem Fall billig ist und gut ausgenutzt werden kann, ist beim Walzen aus Führung für jedes Fertigkaliber ein besonderes Vorkaliber (zum Quadrat eine Raute, zum Rundeisen ein Oval) notwendig, so daß die Walzeinrichtung viel kostspieliger und das Walzenwechseln viel häufiger wird. Das Walzen aus Führung hat jedoch den großen Vorteil, daß sein Arbeitsgang infolge der zulässigen großen Drücke und großen Geschwindigkeiten viel rascher, seine Leistungsfähigkeit vielfach größer ist als die des alten freihändigen Verfahrens. Das Walzen aus freier Hand steht nur bei Quadrateisen mit großen Abmessungen in Anwendung. Bei Rundeisen für größere Abmessungen (über 100 mm ϕ) findet dieses Verfahren nur Anwendung, wenn sehr wenig Rundeisen in diesen Abmessungen erzeugt wird.

1. Quadrateisen aus freier Hand

Das Entwerfen dieser Kaliber besteht aus der Bestimmung der Abmessung der senkrechten und der waagerechten Diagonale. Die senkrechte Diagonale pflegt man der 1,4 fachen, die waagerechte der 1,42 fachen Warmabmessung der Quadratseite gleich zu wählen, wodurch sich der obere und untere Winkel zu 91° ergibt. („Eisenhütte“) Kirchberg gibt an⁶³⁾, daß man den richtigen Wert für den jeweilig benötigten Winkel erhält, indem man die waagerechte Diagonale stets um 1 mm vergrößert, wobei jedoch die senkrechte Diagonale unverändert bleibt. Die Breitung wird in der Weise berücksichtigt, daß man den an den Walzensprung anschließenden Winkel der Quadratseite mit einem Krümmungshalbmesser ausrundet, welcher ein Drittel der Quadratseite ausmacht.

63) E. Kirchberg, Grundzüge der Walzenkalibrierung, S. 58 u. 59.

2. Quadrateisen aus Führung

Bei diesem Walzverfahren sind die Fertigkaliber genaue Quadrate (Spitzenwinkel 90° , beide Diagonalen gleich). Die Abrundungen zum Walzensprung können weggelassen werden. Die Ringbreite ist auch hier 5—10 mm; der Endring soll aber so breit sein, daß der Führungskasten vor den letzten Kalibern leicht angebracht werden kann.

Das Vorkaliber des aus Führung gewalzten Quadrateisens ist eine Raute (Schlichtraute), welcher wiederum ein Quadrat vorausgeht. Die Rauten sollen an einer besonderen Walze liegen, damit ihre Querschnitte durch Verstellen des Walzensprunges verändert werden können.

Die Konstruktion der Schlichtraute (Spießkant) geschieht in folgender Weise: Die Höhenabmessung der Schlichtraute muß 1—3 mm kleiner sein als die waagerechte Abmessung des Fertigprofils. Die waagerechte Diagonale der Schlichtraute ist auf Grund des Abnahmeplanes entsprechender Flächengröße zu bestimmen.

Die Seitenlinien der Raute schneiden die Linien des Walzensprunges scharf, die Winkel der Spitzen bleiben ebenfalls ohne Abrundung.

3. Rundeisen aus freier Hand

Die Konstruktion der Kaliber besteht in diesem Fall darin, daß man den mit dem Warmdurchmesser gezogenen Kreis an den Schnittpunkten mit dem Sprung etwas ausrundet. Die Rundeisen-Fertigprofile dienen dann auch gegenseitig als Vorkaliber. Der Stab wird mehrmals in sie oder aber in die nächsten kleineren Kaliber eingeführt und zwischen zwei Stichen stets um 90° gedreht, um Gratbildung zu vermeiden und vollkommen kreisförmigen Querschnitt zu erhalten.

4. Rundeisen aus Führung

Die Fertigkaliber für kleinere Abmessungen sind hier genaue Kreisquerschnitte; höchstens an der Walzlinie werden sie etwas ausgerundet.

Das Vorkaliber des aus Führung gewalzten Rundeisens ist das Oval. Das Vorkaliber des Fertigstiches, das sogenannte Schlichtoval, ist in seinen Abmessungen genau zu bestimmen, damit die vollkommen kreisrunde Form des fertigen Stabquerschnittes in einem einzigen Fertigstich unbedingt erreicht wird.

Da die Rund- und Quadrateisen die gangbarsten Walzquerschnitte aller Stabeisengattungen sind, so ist im Laufe der Zeit eine ziemlich einheitliche Kalibrierung dieser Querschnitte entwickelt worden, so daß die Kaliberreihen der Rund- und Quadrateisengattungen nicht in jedem Fall neu entworfen zu werden brauchen. Es sollen hier die bestbewährten einschlägigen Abmessungen solcher Kaliberreihen nach Kirchberg⁶⁴⁾ und „Eisenhütte“⁶⁵⁾ erwähnt werden.

Die für das Weiterziehen (durch Zieheisen), also für Verfeinerung, bestimmten und deshalb schon beim Walzen zu Ringen gehaspelten Rundeisengattungen (in den Stärken von 4 bis 10 mm)

64) Kirchberg, Grundzüge der Walzenkalibrierung, Verlag Fr. Wilh. Ruhfus, Dortmund 1905, S. 46 u. S. 49—53.

65) „Eisenhütte“, IV. Aufl., S. 741.

werden auch als Walzdraht bezeichnet. Das Walzen der dünneren Gattungen weicht von dem der übrigen Rundeisengattungen insofern ab, als in einem Gerüst zu gleicher Zeit mehrere Stäbe laufen. Um bei der leichten Ware eine hohe Erzeugung zu erzielen, geschieht das Umführen von einem Kaliber zum anderen vollkommen selbsttätig. (Kaliberreihe einer Drahtwalzung siehe „Eisenhütte“, IV. Aufl., S. 717.)

C) Kalibrierung des Flacheisens

Flacheisen werden in den meisten Fällen so gewalzt, daß der Fertigstich im Poliergerüst, der vorausgehende Stauchstich zwischen „Staffelwalzen“ erfolgt, während die übrigen Stiche in der Regel in geschlossenen, flachen Vorkalibern (Flachkaliber, siehe Abb. 10) gemacht werden. Bei schmalen Flacheisengattungen können dieselben durchweg zwischen Staffelwalzen gewalzt werden. Allgemein üblich ist jedoch das erstgenannte Walzverfahren.

Da die verschiedenen Flacheisen ebenfalls zu den gangbarsten Querschnitten des Handelsstabeisens gehören, so ist die Kalibrierung des Flacheisens ziemlich einheitlich geworden. Bei der einfachen und rechteckigen Form des Flacheisens ist die Bestimmung des Abnahmeplanes äußerst einfach und besteht eigentlich nur aus der Bemessung der Kaliberhöhen. Hier leistet die Parabel von Kirchberg besonders gute Dienste (vgl. Abb. 57). Prüft man die Höhenabmessungen der bewährten Druckstufen verschiedener gutgehenden Flacheisenwalzungen, so wird man finden, daß die Zahlenwerte der Höhenabmessungen dieser Kaliberreihen stets Punkte einer Parabel darstellen. Die Ringe der Flacheisenwalzen müssen jedoch höher sein als gewöhnlich, weil aus einem und demselben Flachkaliber verschieden starke Gattungen gewalzt werden müssen.

Kennzeichnend sind für die Flacheisenwalzungen die Stauch- und Polierstiche. Während des Durchganges im Stauchstich (vorletzter Stich) befindet sich das Flacheisen in hochgekanteter Lage, um die Breite des Eisens genau einstellen zu können. In dieser Lage des Flacheisens ist größerer Druck nicht möglich, was übrigens im Stauchstich ohnehin zwecklos wäre. Im Polierstich läuft das Flacheisen ebenfalls mit ganz mäßigem Druck, weil die richtige Breite und noch mehr die senkrechten und geraden Begrenzungen der Querschnittsseiten nur unter dieser Bedingung gesichert werden können.

Mit den Flacheisen muß auch die Handelseisengattung erwähnt werden, welche im Eisenhandel Bandeisen genannt wird. Diese Walzquerschnitte sind im Verhältnis zur Breite sehr dünn; daher weicht ihre Walzung in einigen Punkten von den üblichen Flacheisenwalzungen ab. Das Bandeisen kühlt sich infolge seiner geringen Dicke sehr schnell ab und kann deshalb richtig und mit blauer Farbe nur dann gewalzt werden, wenn — entgegen dem gewöhnlichen Gang der übrigen Walzungen — auch im Fertig- und im vorletzten Kaliber mit hohen Drücken gearbeitet wird. Ebenso wird mit Rücksicht auf die geringe Dicke und starke Biegsamkeit mit stärkerem Kaliberanzug und ohne Stauchen kalibriert.

D) Querschnitte der gangbarsten Formeisengattungen

Alle Walzquerschnitte, welche in den Unterabschnitten A—C nicht genannt sind, sollen zweckmäßigkeitshalber als „Formeisen“-Querschnitte betrachtet werden. Die Formeisenquerschnitte sind dadurch gekennzeichnet, daß ihre zusammengesetztere Form die folgerichtige Anwendung gleichmäßig verteilter Teildrücke nicht zuläßt. Jedoch ist Berücksichtigung dieses Grundsatzes auch bei Formeisenkalibrierungen möglichst anzustreben; er kann höchstens in den ersten Formkalibern unberücksichtigt bleiben.

1. Trägerkaliber

Die walztechnische Bearbeitung der Profilform von Trägern — wie dies im folgenden Abschnitt auch zahlenmäßig bewiesen wird — hat den größten Kraftbedarf unter sämtlichen gangbaren Querschnittsformen. Die Ursache des großen Kraftbedarfs ist die vom walztechnischen Standpunkt eigenartig zusammengesetzte Querschnittsform der Träger. Im Abschnitt VIII wurden die allgemeinen Grundsätze der Bearbeitung von Formeisenflanschen besprochen, wonach die Entwicklung der Flansche nur durch mittelbaren Druck und auch dies eigentlich nur in jedem zweiten Stich möglich ist. Da die Flanschen der Träger in der Regel dünn sind und ihre Begrenzungen stets nur einen kleinen Winkel umschließen, so erklärt sich leicht der große Kraftbedarf für das Verdrängen der bedeutenden Stoffmenge des vom Steg und den inneren Seiten der Flanschen gebildeten tiefen und trogförmigen Teiles.

Im Gegensatz zu den bisher besprochenen Walzquerschnitten ist bei den Trägern eine umständlichere Stoffbewegung gegenüber den fast ausschließlich mit senkrechten, unmittelbaren Drücken und mit nahezu gleicher Abnahme der ganzen Querschnittshöhe arbeitenden Querschnitten deshalb gegeben, weil der möglichst schnellen Abnahme eines Querschnittsteiles, des Steges, das natürliche Bestreben gegenübersteht, daß die Flanschen aus ihren während des Walzens senkrecht stehenden Höhenabmessungen möglichst wenig verlieren sollen. Die schwierige Stoffbewegung in der Querschnittsebene wird dadurch hervorgerufen, daß sich an die Bearbeitung des Steges mit unmittelbarem Druck die gleichzeitige Bearbeitung der Flanschen mit mittelbarem, waagerechtem oder nahezu waagerechtem Druck anschließen muß. Außerdem kann nicht bezweifelt werden, daß, während beim Walzen der einfachen Querschnitte die Stoffteilchen sich fast ausschließlich in der Walzrichtung bewegen, sich beim Walzen von Trägern und anderen ähnlichen Walzquerschnitten ein Teil der Stoffteilchen auch in der Seitenrichtung, also in der Ebene des Querschnittes, bewegen muß, was weiteren Kraftaufwand erfordert. Die bereits erwähnte tiefe, trogförmige Aushöhlung des Trägerquerschnittes kann, hauptsächlich bei Beginn der Formgebung, also in den ersten Formkalibern nur in der Weise entstehen, daß von der Mittellinie der Vertiefung Stoff gegen die Flanschen, also gegen die Kaliberseiten gedrängt wird.

Die Art und Größe des Materialflusses beim Walzen von Trägern wurden im Rahmen genauer und planmäßiger Walzversuche von Norbert Metz⁶⁶⁾ untersucht. Metz gelangte zu folgenden Ergebnissen:

⁶⁶⁾ Norbert Metz, „Experimentelle Untersuchungen des Materialflusses beim Walzen von Trägern“, „Stahl u. Eisen“ 46 (1926), S. 1577 — 1582.

1. In den ersten Stichen steigert sich die Reibung des vorspringenden, spitzwinkligen Walzenteiles, welcher die Bearbeitung der Vertiefung beginnt, mit der Zunahme des Winkels; es erfolgt dementsprechend eine Abnahme der Höhe der Flanschenvorsprünge.

2. Die Flanschenvorsprünge nehmen mit der Höhe des Anstiches zu.

3. Die Höhe der Vorsprünge der Flanschen nimmt zu, wenn das Einschneiden des Anstiches in mehreren Stichen vorgenommen wird.

4. Zum Füllen des Einschneidekalibers muß das Verhältnis der Höhe des Anstiches zur Höhe des Flansches im ersten Kaliber 1,07—1,21 betragen.

5. Zu kleine Einschneidewinkel veranlassen Freilegung der Seigerungen.

6. Die Seigerungsform, welche im fertigen Träger zu sehen ist, hat sich bereits beim Einschneidekaliber gebildet.

Von Metz wurden zu seinen Trägerwalzversuchen Knüppel verwendet, in welche Schraubenbolzen in waagerechter und senkrechter Lage eingezogen wurden. Aus der nach dem Durchschneiden festgestellten Lage, den Abmessungen und der Formänderung der Schrauben nach den Stichen wird die Art und Größe der Stoffbewegungen bzw. Verschiebungen derart anschaulich gezeigt, daß die Versuche von Metz unter den Betriebsversuchen als klassisch zu bezeichnen sind.

Für das Entwerfen der Trägerkaliber wurden von A. Brovot, E. Kirchberg, W. Tafel und J. Dehez in ihren mehrfach erwähnten Werken verschiedene Verfahren ausgearbeitet. Brovot hat als erster eine systematische Kalibrierungsarbeit unternommen. Von Tafel wird bei seinen Kalibrierungen mit den bereits bekannten Einschränkungen der Grundsatz der gleichmäßigen Teilabnahme durchgeführt und zum Zweck der Prüfung von Füllungsmöglichkeiten seine eigene Berechnungsweise angewendet. Dehez befaßt sich größtenteils mit Walzquerschnitten, deren Gestalt und Abmessungen von den allgemein üblichen abweichen.

Gesondert muß die Formeisen- bzw. Trägerkalibrierung Kirchbergs erwähnt werden⁶⁷⁾, welche später zur graphischen Kalibrierung der Träger, U-Eisen, Schienen und anderer Formeisen führte. Kirchberg stellte durch planmäßige Untersuchung bewährter Trägerkalibrierungen fest, daß die Dickenzunahme eines offenen Flanschenteiles von der Tangente des Winkels des vorhergehenden kleineren, geschlossenen Flanschenteiles abhängig ist und daß sich dieses Verhältnis durch die Formel

$$\operatorname{tg} \alpha_1 = \operatorname{tg} \alpha (1 + \operatorname{tg} \alpha)$$

ausdrücken läßt (Abb. 63). Ferner stellte Kirchberg durch Beobachtung fest, daß der Höhenunterschied, bis zu welchem sich ein geschlossener Flanschteil in den nächsten (engeren) offenen Flanschteil zum Zweck der richtigen

67) E. Kirchberg, Grundzüge der Walzenkalibrierung, Verlag Fr. Wilh. Ruhfus, Dortmund 1905, S. 66—80.

Füllung einführen lassen muß, ungefähr dem Wert der Formel

$N = h \cdot \operatorname{tg} \alpha$
entspricht (Abb. 64).

Es folgt aus dieser Formel, daß die Einschnitte, welche dem Anstichquerschnitt gegeben werden, nur einen Winkel von höchstens 45° bilden dürfen, ohne daß die Höhenabmessungen des Anstiches am Rande, d. h. also diejenigen der Flanschen, abnehmen.

Mit Bezug auf die anderen, also geschlossenen Flanschen macht Kirchberg noch folgende Angaben:

1. Der Winkel des Flansches:

$$\operatorname{tg} \alpha_1 = \frac{m}{x - 0,5 h_1},$$

worin der bisher noch nicht vorgekommene Wert m die mittlere Dicke des Flansches, x die längere Kathete des bis zu der Spitze ergänzten Flanschwinkels bedeuten;

2. die senkrechte Höhe des Flansches:

$$h_1 = h - 1 \text{ mm.}$$

Diese Höhenbestimmung wurde bereits in dem Abschnitt VIII unter den allgemeinen praktischen Kalibrierungsgrundsätzen erwähnt.

Die von Kirchberg festgestellten gesetzmäßigen Zusammenhänge haben die Hüttenleute angeregt, die Querschnitte von Trägern, U-Eisen, Schienen und ähnliche Formeisen nach dem noch einfacheren graphischen Verfahren zu kalibrieren. Diese Bestrebungen wurden dadurch erleichtert, daß zur Zeit der Veröffentlichung der Kirchbergschen Formel die praktischen Kalibrierungen von Trägern, U-Eisen und Schienen schon insofern einheitlich waren, als die verschieden großen Trägerprofile in fast sämtlichen Walzwerken mit gleicher Stichzahl kalibriert wurden. So wird zur Zeit des Erscheinens des Kirchbergschen Werkes von Holzweiler⁶⁸⁾ mitgeteilt, daß man beim Walzen von Trägern allgemein mit folgenden Stichzahlen arbeitet:

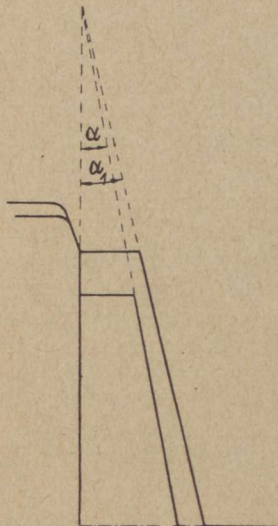


Abb. 63. Konstruktion des offenen Flanschteiles von Trägern nach E. Kirchberg.

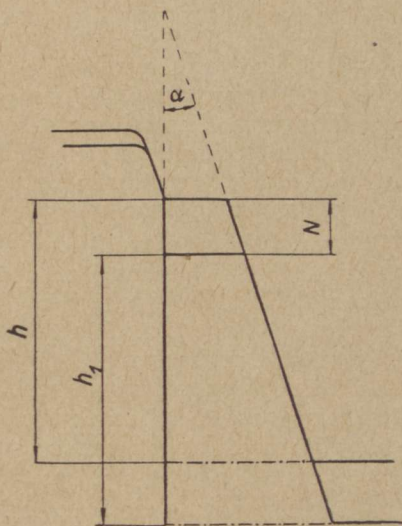


Abb. 64. Bemessung der Flanschhöhen nach E. Kirchberg.

68) Holzweiler, „Das Kalibrieren der Profilwalzen für Träger“, „Stahl u. Eisen“ 25 (1905), S. 450.

beim Walzen von 80—100 mm hohen Trägern mit 5 Formstichen,	
„ „ „ 110—200 „ „ „ „ 7 „	
„ „ „ 210—300 „ „ „ „ 9 „	
„ „ „ 320—400 „ „ „ „ 11 „	

Von B. Weißenberg wird 6 Jahre später⁶⁹⁾ ein solches erprobtes Kalibrierungsverfahren veröffentlicht, dessen Vorteile tatsächlich von Bedeutung sind (vgl. Abschnitt VIII, B).

Daß die ununterbrochenen Kurven der graphischen Kalibrierungsverfahren Parabeln oder parabelähnliche Kurven sind, folgt aus den erwähnten Feststellungen und Beobachtungen Kirchbergs. Dies gilt für sämtliche Teile des Querschnittes. Kirchberg stellt z. B. in seiner Arbeit unter anderem fest, daß die waagerechten Dickenabmessungen der geschlossenen Flanschteile zueinander in einem Verhältnis stehen, das sich durch die Parabelgleichung

$$A_1 = A + \frac{A^2}{200}$$

ausdrücken läßt (vgl. Kirchbergs Buch, S. 76).

Die Ergebnisse der Forschungen und Anregungen Kirchbergs wurden neuerdings in einer ausgezeichneten Arbeit von F. Torkar⁷⁰⁾ bestätigt und weiterentwickelt.

Ein Beispiel für die Kalibrierung von Trägerprofilen zeigt Abb. 65.

2. U-Eisen

Die Entstehung des U-Eisen-Querschnittes kann man sich so vorstellen, daß man den Trägerquerschnitt in der Mittellinie des Steges durchschneidet. Das U-Eisen ist also seinem Wesen nach ein Träger mit zwei halben gleichgerichteten Flanschen. Daraus ergibt sich auch die U-Eisen-Kalibrierung, deren Entwurf mit den Trägerkalibern im Wesen übereinstimmt, jedoch mit gewissen Unterschieden.

Zur richtigen Füllung der auf derselben Seite des Steges liegenden beiden Halbflanschen und scharfen Kantenbildung des Steges werden bei den U-Eisen-Kalibrierungen stets sogenannte Gegenflanschen angewendet, die eigentlich als Reste der fehlenden Halbflanschen zu betrachten sind und erst im Fertigkaliber oder im vorletzten Kaliber verschwinden. Sie werden angewendet, um für den unteren Teil des gegenüberliegenden Halbflansches und für den Eckteil des Steges ständig Stoffüberschuß in nächster Nähe dieser Teile zur Verfügung zu haben.

Die Anwendung der Gegenflanschen ist auch deshalb vorteilhaft, weil dadurch die Kalibrierung der U-Eisen-Flanschen und des U-Eisens selbst in derselben Weise wie bei den Trägern möglich wird. Das bezüglich des Kalibrierens der Träger Gesagte gilt also sinngemäß auch für die Kalibrierung der U-Eisen.

69) B. Weißenberg, „Walzarbeit und Kalibrierung in graphischer Darstellung“, „Stahl u. Eisen“ 31 (1911), S. 1653.

70) F. Torkar, „Über Kalibrierung von NP-Trägern“, „Archiv f. d. Eisenhüttenw.“, Verlag Stahleisen, Düsseldorf 1928, S. 155—158.

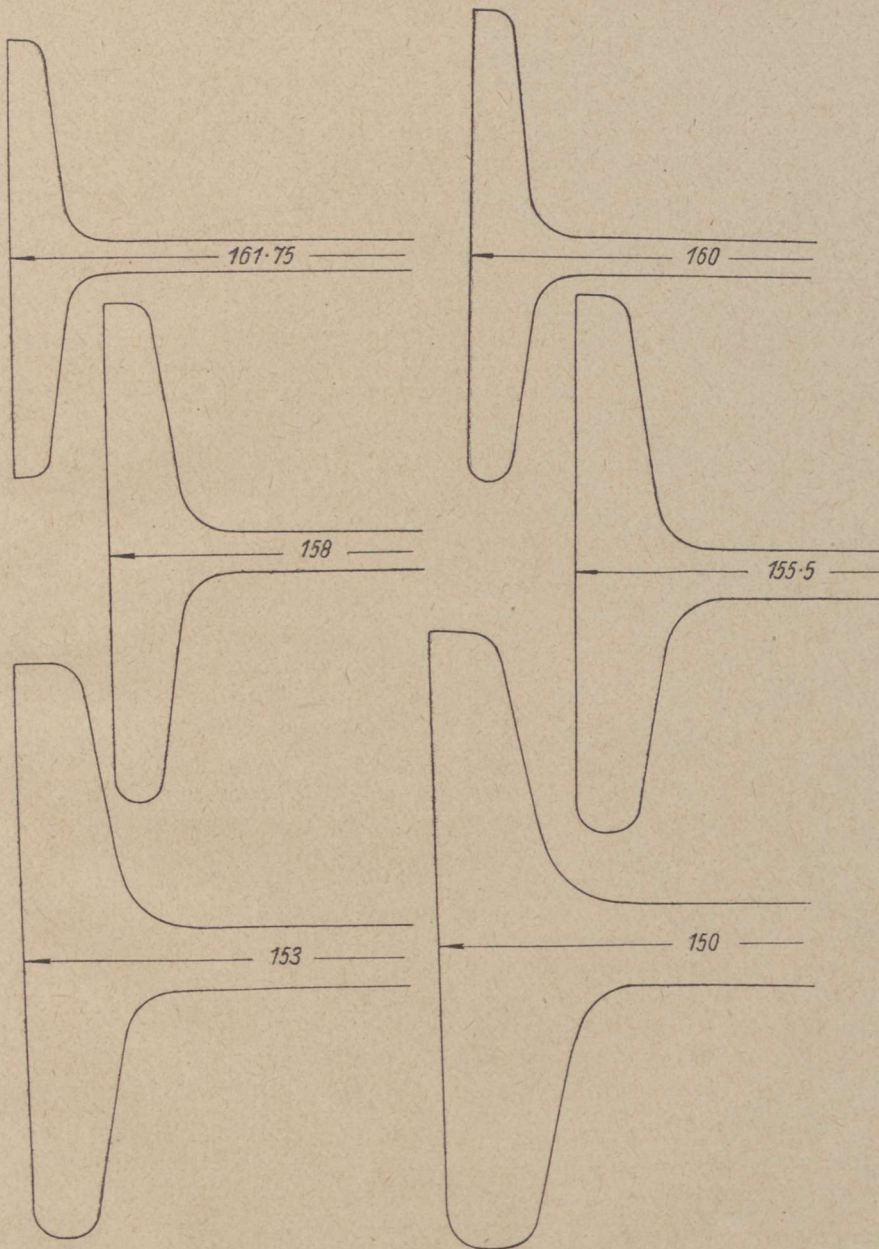


Abb. 65. Kaliberreihe einer Träger-Fertigwalze.

Die Kaliberreihe des U-Eisens weicht von der Kaliberreihe der Träger insofern ab, als das U-Eisen ein Konstruktionseisen ist, das ganz scharfkantig sein muß, während dies bei den Trägern nicht unbedingt nötig ist. Während daher die Trägerflanschen beim Walzen

stets abwechselnd aus einem offenen Kaliberteil in einen geschlossenen kommen, gelangen bei der U-Eisen-Kalibrierung die Flanschen mehrmals nacheinander oder auch einer ganzen Kaliberreihe hindurch stets in offene Kaliberteile. Dieses Verfahren sichert nicht nur das richtige Füllen der Fußenden, sondern

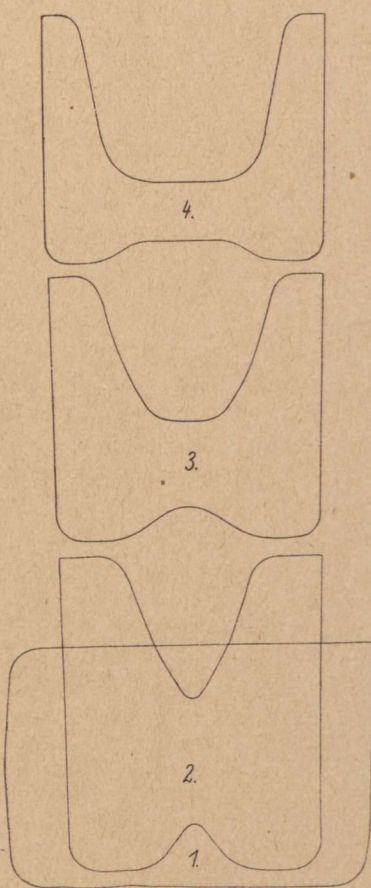


Abb. 66. Kalibrierung des 80er U-Eisens.

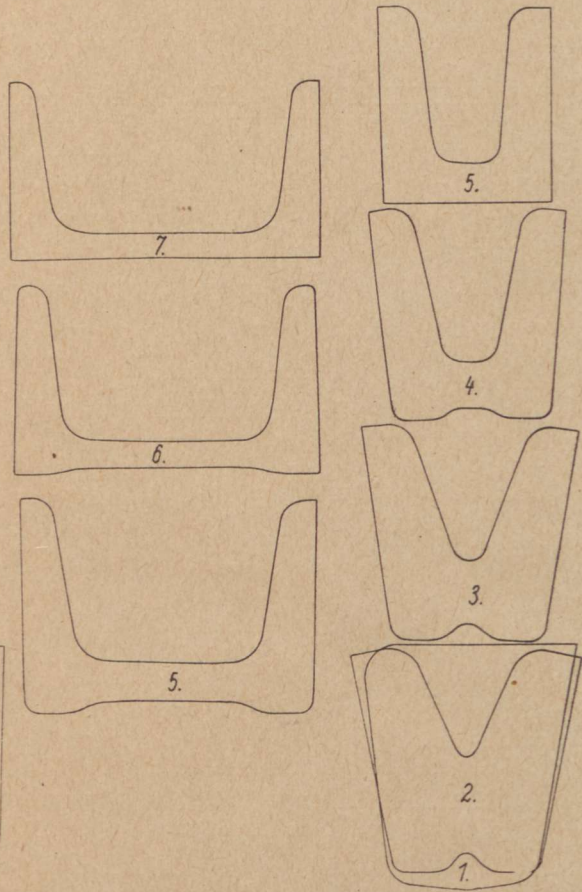


Abb. 67. Kalibrierung des 45x52mm U-Eisens (Laufschiene).

aus den bereits bekannten Gründen auch eine schnellere Formgebung der Flanschen. Wird das U-Eisen durchweg in Kalibern mit offenen Flanschen gewalzt, so wird man an den Flanschenden oft mit einer Gratbildung rechnen müssen, dessen Entfernung bei der Fertigstellung in der Zurichterei weitere Arbeitslöhne verursacht. Jedoch nimmt man lieber dieses Mehr an Bearbeitung in der Zurichterei in Kauf, als Konstruktionseisen mit stumpfen Kanten in den Handel zu bringen.

Um überflüssigen Stoffüberschuß auch ohne Aufwendung von Lohn zu vermeiden, werden die U-Eisen oft in der Weise kalibriert, daß das vorletzte Kaliber mit geschlossenen Flanschenden konstruiert wird,

während die übrigen Kaliber alle oder zum Teil mit offenen Flanschenden versehen werden. Durch eine solche Formgebung des vorletzten Kalibers wird im Fall richtiger Einstellung der Flanschhöhe in der Regel vollkommen richtige Füllung erreicht. Die Kalibrierung des in Abb. 66 dargestellten 80er U-Eisens wurde im vorletzten Kaliber ebenfalls mit geschlossenen Flanschen ausgeführt.

Die Anordnung der Flanschen an einer und derselben Seite des Steges wird auch eine solche Kalibrierung der U-Eisen mit in den Vorkalibern nach seitwärts geneigten Flanschen möglich (Abb. 67), so daß die Bildung der Flanschen beschleunigt und in wenigen Stichen durchgeführt wird. Die Formbildung erfolgt in dieser Lage schneller, da in geneigter Lage der Flanschen der schwächer wirkende mittelbare Druck durch unmittelbaren Druck (bzw. eine Komponente desselben) ergänzt wird.

U-förmige Walzquerschnitte mit kleinerer Steghöhe, die aus der Gruppe der genormten U-Eisen herausfallen und als Laufrinnen von Schiebetüren (z. B. an Eisenbahnwagen) verwendet werden, bezeichnet man als *Laufschienen*. Sie werden im Eisenhandel viel verlangt. Die Form und Abmessungen ihrer Flanschen machen die geneigte Lage der Flanschen in den Vorkalibern noch mehr erwünscht, wie aus der in Abb. 67 dargestellten Kaliberreihe der 45×52 -mm-Laufschiene ersichtlich.

3. Schienen

Die Kalibrierung von Schienenquerschnitten ist, wenn die Kalibrierung von Trägern und U-Eisen bekannt ist, mit keinen besonderen Schwierigkeiten verbunden. Da der Schienenkopf wenigstens bei den sogenannten Vignol-Schienen zur Mittellinie des Steges symmetrisch ist, werden die entsprechenden halben Kopfteile der Schienen als eine Art Flansch angesehen und nach denselben Grundsätzen kalibriert wie die Halbflanschen von Trägern und U-Eisen. Die ersten Formkaliber der Schienen weichen von den ersten Formkalibern der Träger und U-Eisen nicht wesentlich ab. Der Unterschied besteht höchstens darin, daß die Höhe der Fußseite auch im ersten Stich größer ist als die Höhe der Kopfseite. Dies ist kennzeichnend für die ersten Formkaliber der Schienen, im Gegensatz zu den Kalibern der Träger und U-Eisen, deren erste Formkaliber sind dadurch gekennzeichnet, daß die ersten Vorkaliber der Träger sowohl in senkrechter als auch in waagerechter Richtung, die ersten Formkaliber der U-Eisen jedoch nur für die senkrechte Mittellinie eine symmetrische Flächen- bzw. Mengenverteilung haben.

Die sonstigen Abweichungen der Schienenkalibrierung sind Folgen einesteils der größeren Härte des Schienenmaterials, anderenteils der Anforderungen an Querschnittsform, Abmessungen und Metergewicht der fertigen Schienen infolge der strengen Abnahmebedingungen.

Das Schienenmaterial besitzt infolge seines höheren C- und Mn-Gehaltes auch zwischen den Temperaturgrenzen des Walzvorganges eine höhere Druckfestigkeit als der Werkstoff der C- und Mn-armen Formeisen. Wenn auch dieser Unterschied nur etwa $1-2 \text{ kg/mm}^2$ beträgt, so bedeutet dies doch, in Prozent der Quetschgrenze des glühenden

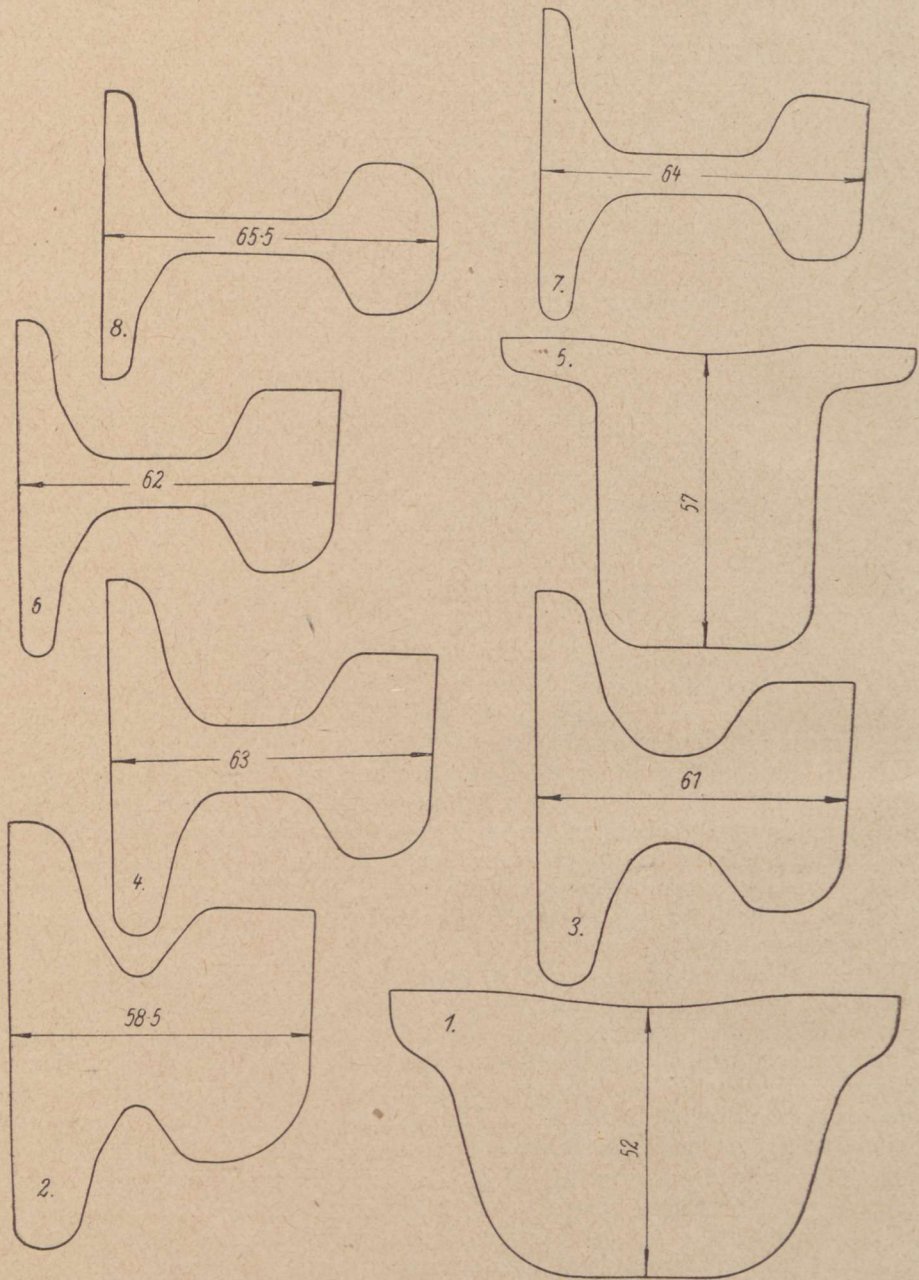


Abb. 68. Kalibrierung eines Schienenprofils.

Weichstahls ausgedrückt, einen wesentlichen Unterschied. Es empfiehlt sich daher, die Schienen mit etwas kleineren Drücken zu kalibrieren als die aus weichem Stoff zu erzeugenden Formeisengattungen.

Durch die strengen Abnahmebedingungen wird das Kalibrierungsverfahren deshalb beeinflusst, weil im Fertigprofil der Schienen weder ein Materialmangel noch eine Überfüllung, Grat, zulässig ist. Da aber die Formbildung des Schienenkopfes ohne Mangel und Überschuß infolge seiner günstigen, starken Form keine Schwierigkeiten verursacht, so ist nur für den Schienenfuß ein besonderes Kaliber für die Regelung der Stoffmenge erforderlich: das sogenannte Stauchkaliber, das in eine Schienenkaliberreihe an einer oder zwei Stellen eingeschaltet wird. Das Stauchkaliber,

welches übrigens für die Schienenkalibrierung allgemein kennzeichnend ist, ist glockenförmig und bearbeitet bloß die beiden Flügel des Schienenfußes, diese aber desto ausgiebiger, während die übrigen Teile des Profils im Stauchkaliber leer laufen (siehe das Stauchkaliber der Schienenkalibrierung in Abb. 68). Da die Fläche der gedrückten Querschnittsteile im Verhältnis zur Fläche der leerlaufenden Teile sehr klein ist, so widerspricht die Anwendung eines solchen Stauchkalibers dem Grundsatz der gleichen Druckverteilung, ja sogar selbst dem

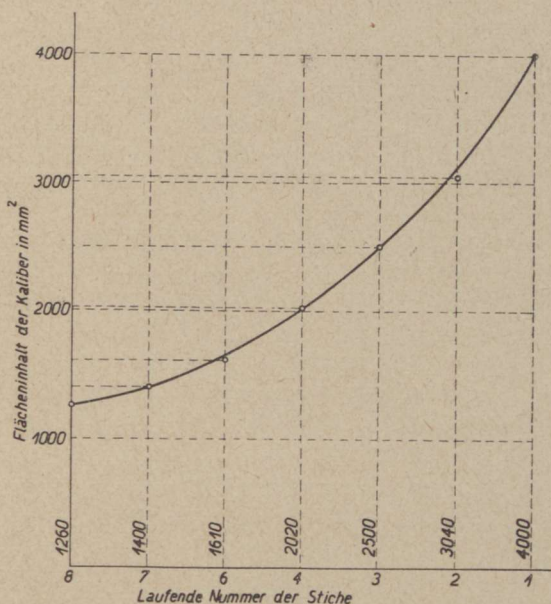


Abb. 69. Parabel der Schienenkaliberreihe nach Abb. 68.

Grundsatz des Walzvorganges überhaupt. Das Stauchkaliber der Schienenkalibrierungen ist eben nur als ein Hilfsmittel zu betrachten, zu dem der Schienenkalibreur nur auf Grund einer alten Tradition und jedenfalls nur unter Preisgabe des wichtigsten Grundsatzes greift. Das Aufgeben des wichtigsten Grundsatzes, wenn auch nur in einem einzigen Kaliber, äußert sich für die nichtgedrückten Teile infolge des Ausbleibens der wärmeentwickelnden Wirkung im Stauchkaliber in einer ziemlichen Abkühlung, so daß die Schiene aus dem Stauchkaliber nicht selten schraubenförmig herauskommt. Infolge der ungleichen Druckverteilung entstehen oft kleinere oder größere Spannungen.

Die Schienenkalibrierungen werden auch dadurch gekennzeichnet, daß die Fertigungskaliber an der Kopfseite in der waagerechten Mittelebene des Profils geöffnet werden, also an einer Stelle, wo im Gegensatz zu den bisher besprochenen Kalibergattungen am Fertigprofil kein eckiger Teil vorhanden ist. Dies ergibt sich dadurch, daß der Kopf der meisten Schienenquerschnitte von einer einzigen ununterbrochenen Kurve begrenzt wird, so daß die Linie der Lafoberfläche in die übrigen Begrenzungen des Kopfes stets mit einem

Kreisbogen übergeht. Ist es schon beim Walzen jedes schwierigen Profils wichtig, das Fertigkaliber doppelt einzuschneiden, so ist es beim Walzen der Schienen eine unbedingte Notwendigkeit; man versieht daher die Fertigwalze sowohl mit doppeltem Fertigkaliber als auch mit doppeltem vorletztem Kaliber, da diese beim Walzen des harten Schienenstoffes von stärker als notwendig abgekühlten Stäben außerordentlich schnell abgenutzt werden, so daß die Genauigkeit des Fertigprofils leiden muß.

Die in Abb. 68 dargestellte Schienenkalibrierung, die sich im Betrieb sehr gut bewährt hat und ein sehr genaues Fertigprofil lieferte, ist ebenfalls ein Beweis dafür, daß die Flächeninhalte der aufeinander folgenden Kaliber, ohne das Stauchkaliber, eine parabolische Kurve darstellen. In Abb. 69 sind die Flächeninhalte dieser Kaliberreihe dargestellt; von diesen liegt nur der Flächeninhalt des zweiten Kalibers außerhalb der Kurve und auch dieser nur um etwa 2,5 %.

4. Winkeleisen

Formbildung der Abmessungen, Anzahl und gegenseitige Lage der Querschnittsteile sind bei Winkeleisenwalzungen von den bereits besprochenen sämtlichen Querschnittsformen sehr verschieden. Daher muß auch ein anderes Kalibrierungsverfahren angewendet werden. Die Winkeleisen werden in der Weise kalibriert, daß man beiden Schenkeln gleichen Druck gibt.

Es gibt für die Winkeleisenwalzungen zwei Kalibrierungsarten:

Bei der ersten, älteren Kalibrierungsart bleibt der Winkel an der Spitze durch die ganze Kalibrierung hindurch 90° oder nahezu 90° . Um die Schenkel von Kaliber zu Kaliber bearbeiten zu können, werden diese gleich von der Spitze angefangen oder in kleinerem oder größerem Abstand von der Spitze stufenweise ausgebreitet und die ausgebreiteten Schenkelteile mit der Spitze durch flache Kreisbogen verbunden. Es ist klar, daß die Schenkel bei dieser Kalibrierungsart stufenweise aufzubiegen sind; die waagerechte Breite der Kaliber nimmt also beim Walzen von Kaliber zu Kaliber ab, wodurch das Einführen des Walzgutes in die Kaliber erschwert wird.

Dieses Kalibrierungsverfahren findet heute kaum mehr Anwendung, da die Schenkelenden dabei schwer zu füllen sind.

Beim zweiten Kalibrierungsverfahren vergrößert man den Winkel von Kaliber zu Kaliber. Bei diesem Verfahren können die Schenkelenden viel genauer geformt werden, besonders wenn im vorletzten Kaliber Stoffüberschuß vorhanden ist, so daß im Fertigstich Gratbildung entsteht. Wird dieser Grat auf der Abgratmaschine entfernt, so erhält man scharfkantige und an den Schenkelenden vollkommen ausgefüllte Winkeleisen.

Dieses Verfahren ist sowohl für gleichschenklige als auch für ungleichschenklige Winkeleisen geeignet. Zwischen den Kalibrierungen dieser Winkeleisenprofile besteht ein Unterschied nur darin, daß bei ungleichschenkligen Winkeleisen sich die

Walzen in waagerechter Richtung viel leichter verschieben als bei gleichschenkligen. Zum Ausgleich des Schübes gibt man bei der Kalibrierung ungleichschenkliger Winkeleisen dem kürzeren Schenkel etwas größeren Druck als dem längeren. Dieser Druckunterschied beträgt in der Regel höchsten 2 mm und ist um so größer, je größer der Unterschied zwischen den Schenkellängen ist.

Obwohl der Druck in den Schenkeln eigentlich ein Übergang vom unmittelbaren zum mittelbaren Walzdruck ist, so kann man die Druckverteilung bei den Winkeleisen doch ebenfalls auf Grund der Parabel vornehmen.

Die Breitung wird nicht aus der Breitung der Schenkel, etwa unter Berücksichtigung ihrer geneigten Lage, bestimmt, da in den Winkeleisenkalibern die Breitung der Schenkel nur gering ist. Wird aber doch diese Breitung in Betracht gezogen, so ist es viel wichtiger, dem Walzgut eine sichere seitliche Führung zu geben, indem man die größte Breite des Stabes gleich oder nur ein wenig kleiner bemißt als die Breite des folgenden Kalibers, in welche sich der eingeführte Stab mit seiner erwähnten größten Breite hineinlegt. Mit Rücksicht auf die Breitung wird jedoch den Kalibern stets ein kräftiger Anzug gegeben.

Der Winkel des Fertigkalibers ist gleich 90° . Der des vorletzten Kalibers kann nicht größer als 93° — 94° gemacht werden, weil das Eisen hier bereits nicht mehr sehr bildsam ist. In den übrigen Kalibern nimmt dieser Winkel rasch zu. Der Winkel des Anstiches ist um so größer, je größer das Profil, je größer also die Stichzahl ist.

Der Halbmesser der Abrundungen an den Stegenden vergrößert sich von Kaliber zu Kaliber, damit auch der in Krümmung befindliche Stoff die gleiche Bearbeitung erfährt wie die Schenkel. Die Flanschenden werden ebenfalls mit Bogen von zunehmenden Halbmessern abgerundet (siehe die Winkeleisenkalibrierung in Abb. 70).

Ganz kleine Winkeleisen werden in der Regel mit drei, mittlere mit fünf und die größten mit sieben bis neun Stichen kalibriert. Dies ist selbstredend keine allgemeine Regel, da die Stichzahl auch von der Leistung der Walzenzugmaschine, von der Schenkeldicke des Winkeleisens usw. abhängig ist.

Die Winkeleisen müssen bei gleicher Schenkellänge in mehreren Stärken hergestellt werden. Durch Heben der Walzen des Fertigprofils kann die Schenkeldicke geregelt werden; dies ist jedoch nur bis ± 1 mm zulässig; aus einem 10 mm dicken Kaliber können also nur 9—11 mm starke Winkeleisen gewalzt werden. Will man aus demselben Kaliber auch dickere Profile walzen, so muß sich auch die Schenkellänge ändern. Deshalb werden die Fertigkaliber mit Dickenstufen von je 2 mm in ein besonderes Walzenpaar, in das Fertigduo, eingedreht.

Das vielfach angewendete Verfahren, bei welchem jedes Fertigkaliber zum Vorkaliber der dünneren Abmessung dient, ist ebenfalls zu verwerfen, weil die Schenkelen den der so gewalzten Winkeleisen stets unvollkommen werden. Am zweckmäßigsten ist es, wenn für je zwei Fertigkaliber je ein Vorkaliber vorhanden ist, wenn die erzeugenden Schenkeldicken sich in weiten Grenzen bewegen und auch das dritte

Kaliber in zwei verschiedenen Dicken eingeschnitten wird (Abb. 70). Es ist daher am besten, wenn bei Trios die Walzen für Winkeleisen mit fünf Stichen in zwei, für Winkeleisen mit sieben bis neun Stichen in drei Gerüsten angeordnet werden. Durch diese Anordnung wird eine sehr genaue Walzeneinstellung gewährleistet. Die Fertigkaliber dürfen mit den Vorkalibern nie in einem gemein-

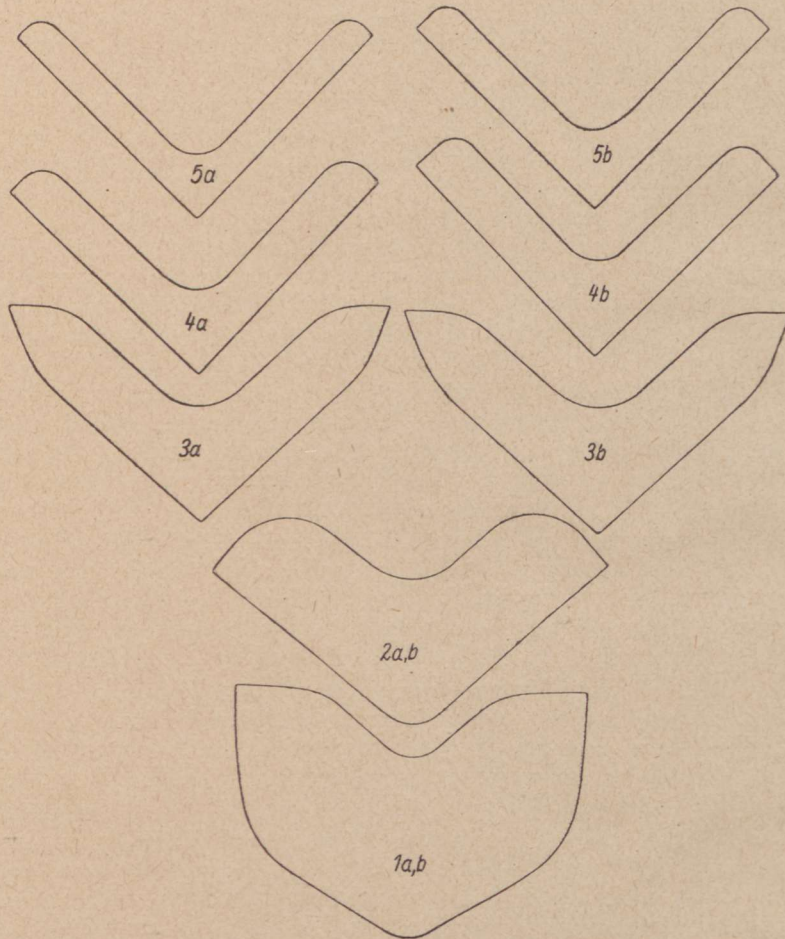


Abb. 70. Kaliberreihen des $50 \times 50 \times 7-10$ mm Winkeleisens.

samen Gerüst liegen. Beim Doppelduo muß man sich damit begnügen, nur die Fertigkaliber in einem besonderen Duo-Walzenpaar anzuordnen, während sämtliche übrigen Kaliber im Doppelduo untergebracht werden.

Die Winkeleisen eignen sich wegen ihrer einfachen und symmetrischen Querschnittsform besonders für die graphische Kalibrierung.

5. Kalibrierung spezieller Formeisen

Der Walzwerker sieht sich oft den verschiedensten, manchmal phantastisch anmutenden Wünschen gegenüber. Eine ausgezeichnete einschlägige Sammlung solcher speziellen Querschnitte ist im Werke: J. Dehez, „Walzenkalibrierungen“ enthalten, das in erster

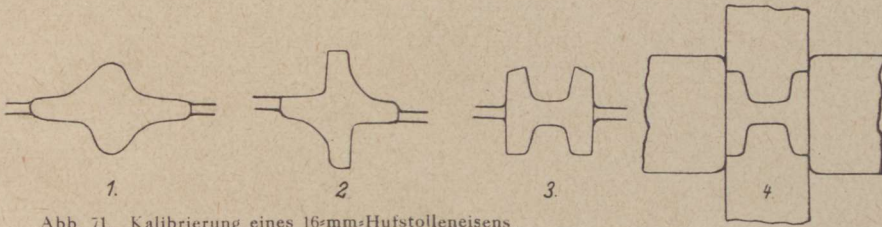


Abb. 71. Kalibrierung eines 16-mm-Hufstolleneisens.

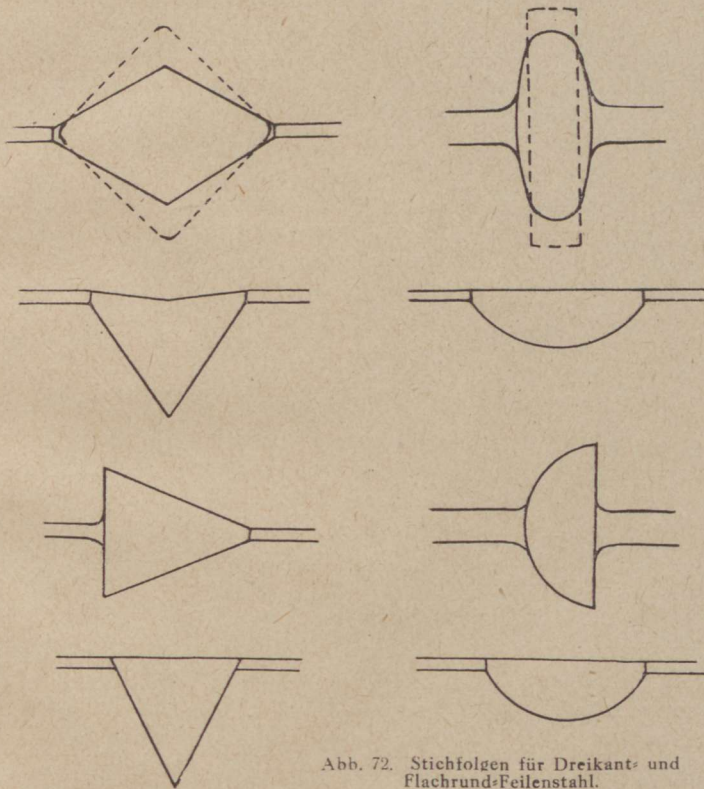


Abb. 72. Stichfolgen für Dreikant- und Flachrund-Feilenstahl.

Reihe Kalibrierungen besonderer und zusammengesetzterer Profile behandelt.

Aus den zahllosen Abarten solcher Profile wird in Abb. 71 die Kalibrierung des 16er Hufstollen gezeigt, ein gutes Beispiel dafür, daß die Art der Walzung bzw. Kalibrierung nicht nur von der Form, sondern auch von den Abmessungen des Walzquerschnittes stark be-

einflußt werden kann. Würde man dieses Profil auf Grund seiner Ähnlichkeit mit dem Trägerprofil mittels der bereits bekannten Trägerkalibrierungen kalibrieren, so würde man bald die unangenehme Erfahrung machen, daß das Walzgut die Fertig- und die vorletzten Kaliber in einem so kalten und erstarrten Zustande erreicht, daß diese innerhalb 1 bis 2 Stunden bis zur Unbrauchbarkeit abgenutzt würden und das gewalzte Profil des Stabes dem entworfenen Profil kaum ähnlich wäre. Deshalb erhalten in diesem Fall die Vorkaliber die in Abb. 71 dargestellte dickere Form, deren Abkühlung viel geringer ist als die Abkühlung gleich großer Trägerprofile. Eine entsprechende Dauerhaftigkeit des Fertigkalibers kann auch bei der dargestellten Kalibrierung nur dadurch gesichert werden, daß für das Fertigkaliber das „Universal“-Walzsystem gewählt wird und die Fertigwalzen aus Hartguß hergestellt werden.

In Amerika (USA) werden aus alten Schienen verschiedene Querschnitte, sogar auch Rohre, gewalzt. Die von einem Durchstoßofen auslaufenden Schienen werden in einem Schneidwalzwerk auf Kopf, Steg und Fuß zerteilt und unmittelbar weitergewalzt. Aus dem Kopfteil sind gewöhnlich Rund-, Sechskant- und T-Stahl sowie kleinere Laufschiene geformt. Aus dem Fußteil werden verschiedene Spezialprofile und Winkeleisen gewalzt.

Beynon bringt in seiner Arbeit eine Reihe von Kalibrierungen verschiedener Spezialprofile (z. B. Feilenstahlprofile), welche auch in dem Bericht von Th. Dahl dargestellt sind⁷¹⁾. Aus dieser Auswahl sind in der Abb. 72 zwei Feilenstahlkalibrierungen wiedergegeben.

X. Kraftbedarf beim Walzen⁷²⁾

Das Bestreben, den Wert einer gewissen Walzarbeit im vorhinein ausrechnen zu können, ist bisher noch immer nicht zur Ruhe gekommen. Der Forschung würde ein sicherer Boden geschaffen, wenn die wichtigeren Formeln zur Berechnung der Walzarbeit bzw. die geschichtliche Entwicklung des Aufbaues dieser Formeln zusammengefaßt und so auf einen neuen sichereren Weg der Berechnung der Walzarbeit gebracht werden.

Der erste, der zur Bestimmung der Walzarbeit eine auf theoretischen Überlegungen fußende Berechnung angewandt hatte, war Karl Fink; seine Formel erschien 1874 in der „Zeitschr. f. d. Berg-, Hütten- u. Salinenw. Preußens“, S. 200—220. Diese Formel Finks lautet:

$$A_{\text{mkg}} = V \cdot k \cdot \log n \frac{h_1}{h_2},$$

71) Th. Dahl, „Stabstahlwalzwerke und Kalibrierungen in Amerika“, „Stahl u. Eisen“ 1949, S. 269; nach R. E. Beynons Arbeit in „Iron and Steel Engr.“ 1943, S. 3 ff.

72) Vgl. E. Cotel u. I. von Pattantyus, „Die Berechnung der Walzarbeit“, „Mitteilungen d. berg- u. hüttenm. Abt. d. Hochschule zu Sopron (Oedenburg)“ 1929, S. 17—48.

worin

A = die zum Walzen des Stabes verbrauchte Arbeit in Meterkilogramm,

V = den Rauminhalt des Stabes in Kubikzentimeter,

k = die Quetschgrenze des glühenden Walzstoffes in Kilogramm je Quadratmillimeter,

h_1 = die Höhe des Stabes vor dem Stich,

h_2 = die Höhe des Stabes nach dem Stich
bedeuten.

Nach Fink steht also der Wert der Walzarbeit im direkten Verhältnis zum Rauminhalt des Stabes, zum Widerstand des Stoffes, d. h. zur Quetschgrenze, und zum natürlichen Logarithmus der Höhenabnahme, des Abnahmeverhältnisses.

Da die Finksche Formel nicht eine in der Sekunde zu leistende Arbeit, sondern die gesamte Arbeit für das Auswalzen eines Stabes in einem oder mehreren Stichen angibt, so mußte in die Formel die Wertzahl des Stabvolumens mit hineinkommen. Eigenartig ist hingegen, daß das Maß der Querschnittsabnahme nicht durch den unmittelbaren Wert des Höhenunterschiedes, sondern durch den natürlichen Logarithmus desselben angegeben wird. Das Wachsen der Werte der Finkschen Walzarbeit geschieht daher in größerem Ausmaß als die Zunahme der unmittelbaren Werte des Höhenunterschiedes. Will man aus der Formel die sekundliche Arbeit ermitteln, so ist der Wert durch den in Sekunden ausgedrückten Wert der gesamten Zeit des Stiches (oder der Stiche) zu teilen.

Die Formel von Fink wurde zur Berechnung und zum Entwerfen ständig angewandt und wird auch heute noch benutzt, weil sie mit den gemessenen Arbeitswerten des Walzens ziemlich gut übereinstimmende Verhältniszahlen liefert. Welchen bleibenden Wert die Berechnungsweise von Fink besitzt, wird am besten durch die neuesten Untersuchungen von Fr. Hammerschmidt und H. Babin⁷³⁾ bewiesen, welche zur Berechnung der reinen Umformungsarbeit (Walzarbeit) und zur Bestimmung sämtlicher Verluste der gemessenen Arbeitswerte diese Formel benutzten.

Einige Jahre später hat Blaß⁷⁴⁾ ein neues Verfahren für Berechnung der Walzarbeit auf Grund der Theorien von Kick und Bauschinger ausgearbeitet. Die Formel von Blaß lautet:

$$A_{\text{mkg}} = V \cdot k \cdot \frac{1 - f^2}{2 f^2} \sqrt{\frac{R}{1 - f}} \cdot \frac{1}{h_1},$$

worin die bisher noch nicht vorgekommenen Werte

R = den Halbmesser der Walze in Zentimeter,

$f = \frac{h_2}{h_1} = \frac{\text{Höhe nach dem Stich}}{\text{Höhe vor dem Stich}} = \text{Abnahmekoeffizient}$

bedeuten, dessen Wert also immer kleiner als 1 ist.

73) Fr. Hammerschmidt u. H. Babin, „Kraftbedarf und Wirkungsgrad von Blech- und Panzerplattenwalzwerken“, „Archiv f. d. Eisenhüttenw.“, Düsseldorf 1928, S. 367.

74) Blaß, „Zur Theorie des Walzprozesses“, „Stahl u. Eisen“ 1882, S. 283 — 293.

Die Formel von Blaß gibt also ebenfalls keinen sekundlichen und in PS ausgedrückten Arbeitswert an, sondern die mit einer gewissen Höhenabnahme des Stabes verknüpfte gesamte Walzarbeit in Meterkilogramm. Eine wesentliche Abweichung gegenüber Fink besteht darin, daß Blaß statt des Abnahmeverhältnisses mit dessen umgekehrtem Wert, dem Abnahmekoeffizient, arbeitet und daß in seiner Formel auch der Walzendurchmesser zum Ausdruck gelangt.

Die probeweise durchgeführten Berechnungen beweisen, daß die Ergebnisse der Finkschen Formel den tatsächlich gemessenen, reinen Arbeitswerten stets nahekommen, während die nach Blaß berechneten Werte in den meisten Fällen um rund 30% zu niedrig ausfallen. Nach unserem Wissen wurde die Formel von Blaß im allgemeinen nicht benutzt.

Es vergeht dann eine lange Zeit, bis auf dem Gebiete der theoretischen Berechnung des Walzarbeitsbedarfes etwas Bedeutendes geschaffen worden wäre. Doch sei die Tätigkeit zweier ausgezeichneten Fachleute, Kießelbach und Köttgen, erwähnt. Der erste empfiehlt zum Antrieb der Walzwerke die Dampfmaschine, der letztere den Elektromotor, sie bringen wiederholt Berechnungen zum Nachweis der Wirtschaftlichkeit dieser beiden Antriebsarten.

Einen Umschwung bedeuten auf dem Gebiete der Berechnung des Arbeitsbedarfes beim Walzen die mit besten Hilfsmitteln durchgeführten Versuchsreihen von Dr.-Ing. J. Puppe, deren Ergebnisse⁷⁵⁾ eine immer wertvolle Quelle für die Forscher des Walzarbeitsbedarfes sind. M. Herrmann war der erste, der auf Grund der Puppeschen Ergebnisse die erste brauchbare Formel aufstellte⁷⁶⁾.

Nach Herrmann ist die in PS ausgedrückte sekundliche Walzarbeit des Stiches:

$$N_{PS} = \frac{F \cdot k \cdot v}{75} \cdot 2 \frac{\alpha}{\sin \alpha}$$

In dieser Formel bedeuten:

k = die Quetschgrenze des glühenden Stoffes in Kilogramm je Quadratcentimeter,

F = die Querschnittsverminderung, d. h. die Abnahme in Quadratcentimeter,

v = die Umfangs- bzw. Auslaufgeschwindigkeit in Meter je Sekunde,

α = den Zentriwinkel des mit dem Stab in Berührung stehenden Walzenumfanges.

Die Formel von Herrmann sagt also, daß der Wert der Walzarbeit zur Abnahme, zum Widerstand des Stoffes, zur Walzgeschwindigkeit und zu einem vom Greifwinkel abhängigen Koeffizienten in direktem Verhältnis steht.

75) J. Puppe, Versuche zur Ermittlung des Kraftbedarfes an Walzwerken, Düsseldorf 1909; ferner Dr.-Ing. J. Puppe, Untersuchungen über Walzdruck und Kraftbedarf, Düsseldorf 1903.

76) M. Herrmann, „Walzarbeit und Walzdruck“, „Stahl u. Eisen“ 1911, S. 1706.

Auf dem von Herrmann ausgearbeiteten theoretischen Wege fuhr als erster Professor Karl Láng⁷⁷⁾ fort, von dem folgende Formel der in PS ausgedrückten sekundlichen Walzarbeit stammt:

$$N_{PS} = \frac{F \cdot k \cdot v}{75} \left(1 + \frac{1 - \cos \alpha}{2} \right).$$

Die Lángsche Formel kann also in Worten nur durch denselben Satz ausgedrückt werden wie die Formel von Herrmann. Die Formel von Láng ist also in derselben Weise aufgebaut wie die Formel von Herrmann, von welcher sie sich allein hinsichtlich des Wertes des vom Greifwinkel abhängigen (in Klammern stehenden) Koeffizienten unterscheidet. Leider nimmt dieser Koeffizient in der Lángschen Formel bei den in Walzwerken üblichen Betriebsverhältnissen einen Wert an, durch welchen der ganze Koeffizient eigentlich überflüssig wird. In den beim Walzen üblichen Betriebsfällen wechselt nämlich die Größe des α -Greifwinkels zwischen 10 — 15 und 22°, so daß der Koeffizient nur die Werte

1,007, 1,02 und 1,03

haben kann.

Kommen wir nun auf die Formel von Herrmann zurück, so sehen wir, daß in dieser neben der jetzt erwähnten Grundformel

$$\frac{F \cdot k \cdot v}{75}$$

ein Koeffizient $\left(2 \frac{\alpha}{\sin \alpha} \right)$ steht, dessen Wert zwischen den vorher genannten Betriebsgrenzen fast genau 2 ausmacht (2,01 — 2,05), da für so kleine Winkel die Werte des Arcus und Sinus einander fast vollkommen gleich sind. Aus alledem kann gefolgert werden, daß die aus der Lángschen Formel ermittelten Walzarbeitswerte ziemlich genau die Hälfte der aus der Formel von Herrmann mit gleichen Angaben berechneten Arbeitswerte betragen. Daß die in der Grundformel vorkommenden Werte von „k“ (Widerstand des glühenden Walzstoffes) durch Láng in einer von Herrmann abweichenden Weise bestimmt werden und dadurch vielleicht auch der Arbeitswert eine Änderung erleidet, kann an dieser Stelle aus weiter unten zu erläuternden Gründen nicht in Betracht gezogen werden.

In der zeitlichen Reihenfolge wäre des Verfassers Arbeit⁷⁸⁾ zu erwähnen, der aus den Versuchsergebnissen von Puppe die Werte der spezifischen Walzarbeit (der sekundlichen Walzarbeit in PS für 1 kg Eisen) bestimmt hatte, welche für dieselbe Kalibergattung und Temperatur gleich sind. Da es sich jedoch in dieser Arbeit eigentlich nicht um eine Formel handelt, so soll auf die Zahlenwerte dieser Arbeit nach Besprechung sämtlicher Formeln zurückgekommen werden.

77) Karl Láng, „Beiträge zur Berechnung der Walzarbeit“, „Stahl u. Eisen“ 1916, S. 10.

78) E. Cotel, „Zur Bestimmung der Walzarbeit“, „Stahl u. Eisen“ 1918, S. 336.

L á n g berechnet den Widerstand (die Quetschgrenze) des glühenden Stoffes, d. h. den „k“-Wert, einesteils in einer sehr umständlichen Weise, anderenteils aus den Pupp eschen Ergebnissen nach rückwärts. Bei diesem Verfahren müssen sämtliche zufälligen Fehler und die auf zahllose Ursachen zurückzuführenden Schwankungen der Pupp eschen Angaben alle in den „k“-Wert zusammengedrängt werden. Das Vorgehen ist auch deswegen unzulässig, weil die Umstände, welche auf das Maß des Stoffwiderstandes von Einfluß sind, neben dem entscheidenden

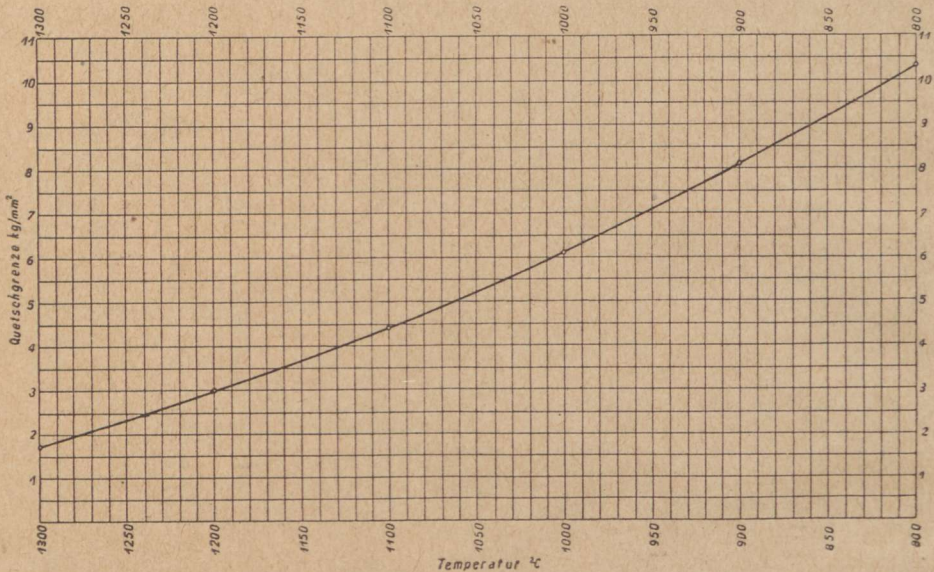


Abb. 73. Schaubild der Quetschgrenze des glühenden Stahles.

Einfluß der Temperatur, also der Größe der damit zusammenhängenden Bildsamkeit, in Wirklichkeit verschwindend klein sind.

Dieser Standpunkt wird durch die neueste Arbeit von Fr. Hammerschmidt⁷⁹⁾ vollkommen bestätigt. Hier werden als Widerstand des glühenden Stahles dieselben „k“-Werte von Fr. Riedel und E. Siebel benutzt, welche im Schaubild der Abb. 73 wiedergegeben sind. Hammerschmidt sagt übrigens wörtlich folgendes: „Die Werte der Quetschgrenze (k) von Geuze, Riedel und Siebel entstammen allerdings statischen Druckversuchen, während der Fließwiderstand mit steigender Umformungsgeschwindigkeit steigt. Die Zunahme ist jedoch bei der verhältnismäßig geringen Geschwindigkeit des Walzens sehr klein. Auch durch Verfestigung könnte der Fließwiderstand steigen. Nach Versuchen von Fr. Körber, W. Rohland und F. Sauerwald u. a. tritt aber bei Temperaturen von über 800° C keine Verfestigung mehr ein. Die Verwendung der „k“-Werte von Siebel und Riedel ist also wohl zu rechtfertigen.“

79) Fr. Hammerschmidt u. H. Babin, „Kraftbedarf und Wirkungsgrad von Walzwerken“, „Arch. f. d. Eisenhüttenw.“ 1928, S. 367.

Überblicken wir nun sämtliche besprochenen Formeln des Kraftbedarfes, so sehen wir, daß zur Berechnung der verlustlosen theoretischen Walzarbeit, der reinen Verformungsarbeit, auch heute noch die Formeln von Fink und Rejtö die geeignetsten sind, während zwischen den auf Grund der Puppischen Versuchsergebnisse aufgebauten Hermannschen und aus dieser umgearbeiteten Lángschen Formel sich ein sehr eigentümlicher Unterschied ergibt. Die Grundlage der Formel ist in beiden Fällen dieselbe, und zwar

$$F \cdot k \cdot v.$$

Diese Grundformel ist mit den Formeln von Fink bzw. Rejtö⁸⁰⁾ in vollem Einklang, indem in der letzteren der neben $k \cdot v$ stehende Ausdruck ebenfalls mit der Abnahme gleich ist:

$$Q \log n \frac{h_1}{h_2} = Q 2 \frac{h_1 - h_2}{h_1 + h_2} = F \text{ cm}^2.$$

Wird von der Breitung abgesehen, also $b_1 = b_2 = b$, so ist die Abnahme

$$F = Q_1 - Q_2 = b/h_1 - h_2/.$$

In der Formel von Rejtö ist aber

$$Q = \frac{Q_1 + Q_2}{2} = \frac{(h_1 + h_2) b}{2},$$

also

$$b = \frac{Q}{\frac{h_1 + h_2}{2}}$$

die durchschnittliche Breite.

Der vom Greifwinkel abhängige Koeffizient, welcher den Formeln dieser Grundformel zugefügt wird, ist hingegen in beiden Fällen verschieden, und zwar:

bei Hermann = 2 (tatsächlich 2,02 — 2,05),

bei Láng = 1 (tatsächlich 1,007 — 1,03).

Man sieht also, daß die Koeffizienten von Hermann und Láng unempfindlich sind. Während aber der Koeffizient von Hermann infolge seiner Größe Bedeutung hat, kann der Lángsche Koeffizient, da er gleich 1 ist, den Wert der Grundformel nicht verändern, weshalb auch seine Anwendung keinen praktischen Zweck hat.

Werden nun die Abweichungen des neben der Grundformel stehenden und von der Änderung des Wertes des Greifwinkels in verschiedener Weise abhängig gemachten Koeffizienten betrachtet, so drängt sich die Frage auf, ob es Zweck und Sinn haben kann, denselben an die Grundformel anschließenden Koeffizienten auf Grund

80) A. Rejtö, Einige Prinzipien der theoretischen mechanischen Technologie, Berlin 1927, VDI-Verlag, S. 356—359. Nach Rejtö ist:

$$N_{ps} = \frac{Q \cdot k \cdot v}{75} 2 \frac{h_1 - h_2}{h_1 + h_2}$$

verschiedener Ausgangspunkte rechnerisch zu bestimmen, obwohl wir doch genau wissen, daß die Größe des Arbeitswertes außer von der Änderung des Zentriwinkels auch von zahlreichen anderen, nicht meßbaren Umständen in bedeutendem Maße beeinflußt wird? Diese Frage wird am zutreffendsten von Fr. Riedel beantwortet, der im 27. Bericht des Walzwerkausschusses vom Jahre 1922 folgendes sagt: „Man kann sagen, daß diese Formeln den Fortschritt nicht besonders fördern. Einmal aufgestellt, ist man erfreut, daß sie innerhalb eines gewissen Bereiches ihre Schuldigkeit tun, und vergißt dann vollständig das Wesen des Walzvorganges selbst zu klären.“

Herrmann und Lång betonen übrigens einstimmig, daß ihre Formeln bloß für Stäbe mit Vierkantquerschnitt und freier Breitung gültig sind, so daß sich die aus diesen Formeln ermittelten Werte für andere Querschnittsformen sowieso nur durch praktische Koeffizienten bestimmen lassen. Da es aber ein Walzwerk, welches ausschließlich Vierkantstäbe mit freier Breitung herstellen möchte, überhaupt nicht gibt, so hat Riedel zweifellos auch in dieser Hinsicht vollständig recht.

Infolge des oben Gesagten wird man am besten so verfahren, daß die PS-Zahl der Walzarbeit in der Weise erreicht wird, daß man die Grundformel

$$F \cdot k \cdot v$$

nicht mit einem errechneten Koeffizient multipliziert, welcher nur vom Greifwinkel abhängt, sondern mit einem C-Faktor, welcher den ganzen kennzeichnenden Mehrbetrag an Reibung bzw. an Kraftbedarf im fraglichen Kaliber mit einem reinen, absoluten Zahlenwert ausdrückt. In diesem Fall wird also

$$N_{PS} = F \cdot k \cdot v \cdot C$$

den Kraftbedarf des Walzvorganges bedeuten. Die bei den verschiedenen Walzvorgängen bzw. Kalibergattungen veränderlichen Werte von C lassen sich aus der Angabensammlung der bisher am größten angelegten und peinlichst gewissenhaft ausgeführten Messungen, d. h. aus den Ergebnissen der Puppe'schen Versuche, ermitteln.

Aus der stets wertvoll bleibenden Arbeit von Puppe: „Versuche zur Ermittlung des Kraftbedarfes an Walzwerken“, kann aber auf die reine Umformungsarbeit (Eu) bloß geschlossen werden, da Puppe bei der Auswertung seiner Meßergebnisse die reine Walzarbeit (E) zugrunde legt, in welcher außer der reinen Umformungsarbeit auch eine ganze Reihe von Reibungsverlusten, in erster Linie die Arbeit der Zapfenreibung, enthalten ist. Puppe zieht nämlich die reine Walzarbeit in der Weise in Rechnung, daß er aus der von der Antriebsmaschine geleisteten Arbeit nur die Leerlaufarbeit in Abzug bringt, dagegen die Reibungsarbeit der während des Stiches auftretenden großen Kräfte außer acht läßt. Zu dem so ermittelten Arbeitswert ist noch die Arbeit des Schwungrades hinzuzurechnen, um die gesamte reine Walzarbeit zu erhalten. Infolgedessen

muß der Faktor C, welcher sich aus der Puppischen reinen Walzarbeit zurückrechnen läßt, unbedingt größer sein als in allen zur Bestimmung der theoretischen Umformungsarbeit (Eu) aufgestellten Formeln der neben der Grundformel $F \cdot k \cdot v$ stehende Koeffizient. In seiner späteren Arbeit: „Untersuchungen über Walzdruck und Kraftbedarf“ (1913), sondert Puppe die reine Umformungsarbeit (Eu) schon ab. Es stehen jedoch in dieser Arbeit, welche sich überwiegend mit dem Walzdruck befaßt, über den Kraftbedarf nur so spärliche Angaben zur Verfügung, daß allgemein gültige Schlüsse daraus allein nicht gezogen werden können. Außerdem sind die errechneten Werte der Umformungsarbeit Eu stellenweise so unwahrscheinlich, daß Puppe selbst bemerkt: „... Die Unmöglichkeit, die Reibungsverluste bei jedem Stich genau zu berechnen, besonders deswegen, weil der Reibungskoeffizient unter den im Walzwerk vorliegenden Umständen so außerordentlich schwankt, daß er nur annähernd richtig bei einzelnen Stichen eingesetzt werden kann, läßt es beinahe ausgeschlossen erscheinen, auf diesem Wege die Umformungsarbeit jemals genau zu erkennen.“ (S. 24.) Jedoch verleihen gerade die Schwierigkeiten der Verwendung aller Formeln, welche bei der Berechnung der zum Auswalzen eines Querschnittes notwendigen Arbeit von der theoretischen Umformungsarbeit ausgehen, eine rein theoretische Bedeutung. Man kommt zu viel wahrscheinlicheren und zu besonders vom Standpunkt der Betriebssicherheit richtigeren Ergebnissen, wenn man, sich auf die reinen Walzarbeitswerte von Puppe stützend, Faktoren sucht, von denen auf den größten tatsächlichen Arbeitsverbrauch der verschiedenen Kalibergattungen geschlossen werden kann.

Von dem gleichen Gesichtspunkt der größten Werte und der unbedingten Betriebssicherheit wurde Verfasser auch damals geführt, als er seine auf die Gewichtseinheit der verdrängten Eisenmenge bezogenen spezifischen Arbeitswerte in „Stahl u. Eisen“ 1918, Heft 16, veröffentlichte. Diese Werte besitzen den Vorteil, daß sie aus den tatsächlich gemessenen zahlreichen Versuchsergebnissen von Puppe entnommen sind, also unbedingt zuverlässig sein müssen. Die Stichhaltigkeit dieser Zahlenwerte wurde von Anton Schöpf in „Stahl u. Eisen 1918, Heft 27, und von A. Retjö in seinem Buche „Einige Prinzipien der theoretisch-mechanischen Technologie“ (VDI-Verlag 1927) auf S. 356 bis 359 bestätigt.

Stützt man sich auf die zur Verdrängung von 1 kg Eisen in 1 Sekunde notwendigen Arbeitswerte

$$Nf \frac{PS}{1 \text{ kg/l sec}},$$

so kann der Faktor C in der die reine Walzarbeit bestimmenden Formel

$$N = C \cdot F \cdot k \cdot v \cdot PS$$

leicht errechnet werden.

$$\text{Ist } N = G \cdot Nf, \text{ wenn } G = \frac{F \cdot v \cdot \gamma}{10} \text{ kg Eisen/sec ist,}$$

worin

F_{cm}^2 = die Abnahme,

v = die Walzgeschwindigkeit in Meter je Sekunde,

γ = das spezifische Gewicht des glühenden Stahles, 7,5 kg/dm³,
wenn im kalten Zustand

γ = 7,8 kg/dm³ ist,

k = die Quetschgrenze in Kilogramm je Quadratmillimeter

bedeuten, so ist der gesuchte Faktor

$$C = \frac{0,75 Nf}{k}$$

Die Formel der reinen Walzarbeit wird mit den in der oben angeführten Arbeit des Verfassers veröffentlichten Werten für Nf für den Faktor C Werte ergeben, deren höchste Werte der Betriebssicherheit unbedingt genügen, deren kleinste Werte hingegen auf die Größe der reinen Umformungsarbeit schließen lassen, also eine Prüfung der theoretischen Formeln auf ihre Richtigkeit gestatten.

In unseren Berechnungen wurde als niedrigster Wert

$$C = 5$$

gefunden, und zwar für die Vierkantkaliber von Vorwalzen. Es sei bemerkt, daß für unsere Berechnung die Werte k in Kilogramm je Quadratmillimeter stets den Zahlentafeln von Geuze-Riedel-Siebel bzw. der Abb. 73 entnommen wurden.

Aus den höchsten Werten der zur Verdrängung von 1 kg Eisen in einer Sekunde notwendigen spezifischen Walzarbeit kann noch eine sehr wichtige Gesetzmäßigkeit festgestellt werden. Untersucht man nämlich für Kastenkaliber, welche mit ihrer einfachen Gestalt die Werte der reinen Walzarbeit am wenigsten verändern, die Funktion $Nf = f(t^0)$, so fällt auf, daß die höchsten Werte von Nf mit der Temperatur fast geradlinig zusammenfallen. Der Zusammenhang ist annähernd durch

$$Nf = C_1 (1400 - t^0) \text{ PS/kg Eisen/sec}$$

gekennzeichnet, worin $C_1 = 0,16$ ist. Daraus folgt, daß die Temperatur auf die Größe der Walzarbeit den entscheidenden Einfluß ausübt und zahlenmäßig diese allein in unsere Berechnungen einbezogen werden kann. Die Wirkung der Änderung der den Walzvorgang beeinflussenden übrigen Umstände, wie Walzgeschwindigkeit, Walzendurchmesser, Greifwinkel, relativer Druck, und der übrigen Faktoren kann zahlenmäßig nicht ausgedrückt werden. Die Meßergebnisse von Puppe zeigen, daß die Kraftbedarfszahlen für verschiedene, bei ganz gleichen Verhältnissen durch dasselbe Kaliber durchgegangene Blöcke oft um 50% voneinander abweichen; man muß sich deshalb damit begnügen, die in den einzelnen Kalibergattungen bei verschiedenen Temperaturen gemessenen höchsten Werte der Walzarbeit zu berechnen und sich auf diese zu stützen. Man geht jedoch sicherer, wenn man nebenher auch die kleinsten Arbeitswerte bestimmt, die unter den günstigsten Verhältnissen zu erreichen wären und die jeder Walzwerker erstreben soll, und die erreichbar sind, wenn er beim Kalibrieren und bei der Einrichtung

des Walzwerkes, hauptsächlich aber bei der Zapfenlagerung der Walzen, überhaupt bei der Führung des ganzen Walzbetriebes die in der Praxis bewährten Erfahrungen und Versuchsergebnisse benutzt.

Bei Kastenkalibern wurde als kleinster Wert für den Faktor C_1 0,1 gefunden. Dieser entspricht dem Wert $C=5$ in der Formel für N . Dieser lineare Zusammenhang der spezifischen Walzarbeit mit der Temperatur setzt aber auch eine nahezu lineare Abhängigkeit der Änderung des Widerstandes des glühenden Stoffes, also seiner Quetschgrenze, von der Temperatur voraus. Untersucht man die Angaben von Riedel und Siebel in dieser Hinsicht, so findet man, daß die Kurve der Gleichung

$$k = f(t)$$

zwar eine leichte Krümmung aufweist, bei den Walztemperaturen die praktischen Fehlergrenzen jedoch nicht überschritten werden, wenn die Quetschgrenze des glühenden Stoffes durch eine lineare Gleichung

$$k = 0,015/1400 - t \text{ } ^\circ\text{kg/mm}^2$$

in die Rechnung mit einbezogen wird.

Dann besteht aber auch die Gleichung

$$Nf = C_2 \cdot k,$$

worin

$$C_2 = \frac{C_1}{0,015}.$$

Der gesuchte Faktor wird dann

$$C = 0,75 \ C_2 = 50 \ C_1,$$

d. h.: In die Formel der Walzarbeit N sind für Kastenkaliber an Stelle des Faktors C als äußerste Werte

$$\begin{aligned} C_{\max} &= 8, \\ C_{\min} &= 5 \end{aligned}$$

zu setzen.

Damit aus der wertvollen Angabensammlung von Puppe die Werte dieser Faktoren für sämtliche Kalibergattungen rasch und in übersichtlicher Weise auch unmittelbar bestimmt werden können, sollen noch folgende Zusammenhänge aufgezeigt werden, mit deren Hilfe aus den Werten

$$V_1 = \frac{V \text{ mm}^3}{E \text{ mkg}}$$

der Puppeschen Zahlentafeln, d. h. aus den Werten des mit 1 mkg reiner Walzarbeit zu verdrängenden Volumens, mit C ausgedrückt wird. Da

$$V_1 = \frac{1000}{75} Vf$$

ist, wo

$$Vf = \frac{1000}{Nf \cdot \gamma} \text{ cm}^3/\text{PS/sec}$$

bedeutet, wenn

$$\gamma = 7 \cdot 5 \text{ kg/dm}^3,$$

so ist die spezifische Walzarbeit, ausgedrückt durch V_1 ,

$$Nf = \frac{1780 \text{ PS}}{V_1 \text{ 1 kg/sec}}.$$

Dies ergibt zusammen mit den vorerwähnten für den gesuchten Faktor:

$$C = 0,75 \frac{Nf}{k} = \frac{1333}{V_1 k} = \frac{89000}{V_1 (1400 - t^0)}$$

War aber die spezifische Arbeitsleistung durch die lineare Gleichung $Nf = f(t)$ angenähert bestimmt, so ergeben sich im Sinne vorstehender Formel bei $C = \text{konstant}$ die durch Arbeit von der Größe 1 verdrängbaren Volumina als mit dem reziproken Wert des ersteren proportionale Werte eine Hyperbel der Form

$$V_1 = \frac{89000}{C (1400 - t^0)} \text{ mm}^3/\text{mkg}$$

und ebenso

$$Vf = \frac{6667}{C (1400 - t^0)} \text{ cm}^3/\text{PS} \cdot \text{sec.}$$

Diese Hyperbeln sind für den Kraftbedarf der einzelnen Kalibergattungen kennzeichnend.

Werden die Puppischen Angaben in ein Koordinatensystem $V_1 = f(t)$ oder $Vf = f(t)$ eingetragen und die umhüllenden Hyperbeln, die die aufgetragenen Punkte einschließen, ferner jene, welche durch den dichtesten Haufen der Punkte verlaufen, gesucht, so wird der Wert $C = \text{konstant}$ dem Faktor entsprechen, welcher, in die Gleichungen

$$N = C \cdot F \cdot k \cdot v$$

oder

$$N = C' \cdot F \cdot v \cdot (1400 - t^0), \text{ wo } C' = 0,015 C$$

eingesetzt, dem Häufigkeitswert (dem am meisten vorkommenden Durchschnittswert) der reinen Walzarbeit entspricht, während der höchste Wert von $C = \text{konstant}$ die für die Betriebssicherheit notwendige höchste Arbeitsleistung angibt.

Auf diese Weise wurden sämtliche Meßergebnisse von Puppe ausgewertet und zu Schaubildern verarbeitet.

Auf Grund der Schaubilder sind die Werte von C für die einzelnen Kalibergattungen in Zahlentafel 17 zusammengestellt.

Aus Zahlentafel 17 ist auch die bekannte Tatsache sicher festzustellen, daß es für den Arbeitsbedarf eines Kalibers fast gleichgültig ist, ob dieser sich am Anfang oder am Ende der Kaliberreihe befindet, also dem Abschluß des Umformungsvorganges nähert. In dieser Beziehung scheint wohl wichtig zu sein, ob die Seitendrücke im Verhältnis zu den direkten Drücken mehr oder minder hoch ausfallen. Wenn in einem Vorprofilkaliber die Seitendrücke übermäßig groß sind, was immer große Rippenreibungen verursacht, dann wird der spezifische Arbeitsbedarf eines solchen Kalibers den Bedarf eines richtig geformten Fertigkalibers nicht nur erreichen, sondern denselben sogar übersteigen.

Bei bekanntem Faktor C kann auch schon die bei den zur Verfügung stehenden N -PS und v m/sec Walzgeschwindigkeit anwendbare Abnahme berechnet werden:

$$F \text{ cm}^2 = \frac{N}{C k v} = \frac{N}{C' (1400 - t^0) v},$$

worin $C' = 0,015 C$ ist.

Um mit den Werten rasch und übersichtlich arbeiten zu können, wurde das Schaubild Abb. 74 zusammengestellt, aus dem die mit 100 PS reiner Walzleistung erreichbare Abnahme, die spezifische

Zahlentafel 17

Die Werte von C für die verschiedenen Kalibergattungen nach den Versuchsergebnissen von Puppe

Kalibergattung		Größter	Kleinsten	Häufigster
		Wert von C		
1	Vierkantkaliber im Blockwalzwerk	8	unter 5 (unsich.)	7
2	Vierkant-(Kasten-)Kaliber	10	5	7
3	Spitzbogenkaliber	10	6	8
4	Geschlossenes Flachkaliber	10	6	8
5	Ovalkaliber	12	6	8
6	Rhombus (Raute)	12	6	9
7	Stich auf Staffelwalze	12	9	10
8	Quadratkaliber	16	6,5	10
9	Winkel- eisen	in den ersten Formkalibern mit überwiegend unmittelbarem Druck		
10				
11	Gruben- schienen	in den Formkalibern m. Seitendruck		
12				
13	Schienen	in den ersten Formkalibern des Seitendruckes		
14				
15	Eisenbahn- schwellen	in den ersten Formkalibern mit überwiegend unmittelbarem Druck		
16				
17	Träger	in den Formkalibern mit größerem Seitendruck		
18				
19		in den ersten Formkalibern mit überwiegend unmittelbarem Druck in den Formkalibern mit mäßigem Seitendruck in den Formkalibern mit starkem Seitendruck und großer Reibung		

Querschnittsverminderung Ff für verschiedene Werte bei C = konstant, t^0 Walztemperatur und v m/sec Walzgeschwindigkeit unmittelbar abgelesen werden kann. Die Anwendbarkeit dieses Schaubildes sei an einigen Beispielen gezeigt.

Beispiel 1:

Welcher Querschnittsminderung kann in einem Spitzbogenkaliber bei $N = 1200$ PS reiner Walzleistung, $t = 1175^0$ C Temperatur und $v = 2,5$ m/sec Walzgeschwindigkeit angewendet werden?

Nach den Zahlentafeln ist $C_{\max} = 10$, entsprechend $Ff = 1,2 \text{ cm}^2$ je 100 PS. Die unbedingt anwendbare Abnahme beträgt also

$$F = \frac{N}{100} \cdot Ff = 14,4 \text{ cm}^2.$$

Bei günstigen Verhältnissen ist aber $C_{\min} = 5$; dann ist

$$F = 28,8 \text{ cm}^2.$$

Beispiel 2:

Es wird der Wert von N-Pferdestärken gesucht, mit dessen Hilfe bei $t = 1010^0$ C und $v = 2,6$ m/sec im letzten

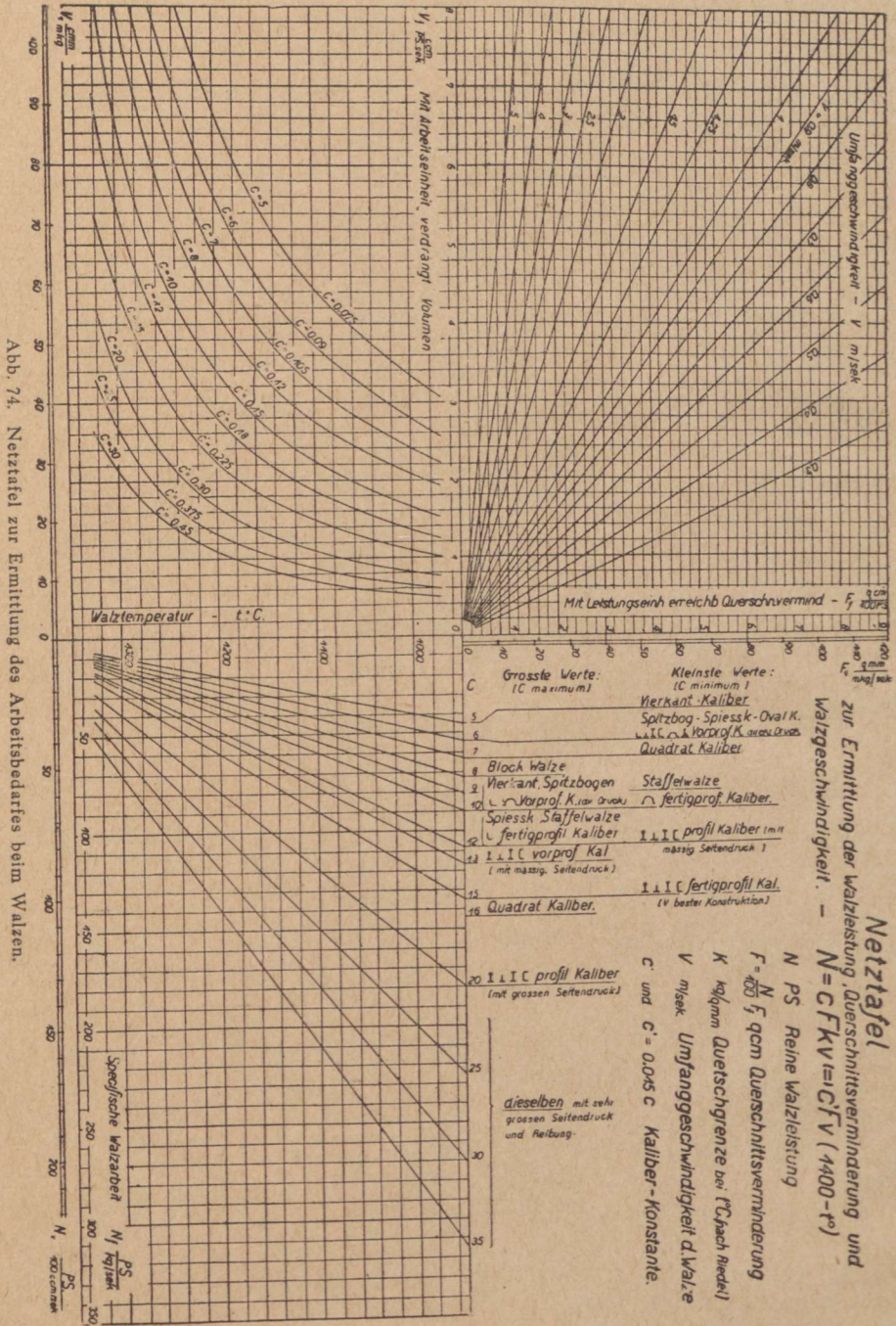


Abb. 74. Netztafel zur Ermittlung des Arbeitsbedarfes beim Walzen.

Formstich eines Winkeleisens eine Querschnittsabnahme von $F=2,9 \text{ cm}^2$ vollkommen sicher erzielt werden kann.

Bei $C_{\max}=12$ ist $F_f=0,55 \text{ cm}^2/\text{PS}$, also $N_{\max} \frac{100 F}{F_f} = 530 \text{ PS}$.

Unter den günstigsten Verhältnissen ist:

$C_{\min}=9$, dabei $F_f=0,75$, $N_{\min}=400 \text{ PS}$.

Beispiel 3:

Bei welcher durchschnittlichen Geschwindigkeit kann beim Walzen eines Blockes mit $N=2000 \text{ PS}$ und bei $t=1200^\circ \text{ C}$ eine Querschnittminderung von $F=64 \text{ cm}^2$ sicher erreicht werden?

$C_{\max}=8$, ($C_{\min}=5$);

die den Werten $F_f = \frac{100 F}{N} = 3,2 \text{ cm}^2$ und $t^0=1200$ entsprechenden

Koordinaten schneiden sich bei

$C_{\max}=8$ beim Wert $v=1,3 \text{ m/sec}$,

$C_{\min}=5$ beim Wert $v=2,1 \text{ m/sec}$.

Bei den angegebenen Verhältnissen kann also mit einer Geschwindigkeit von $1,3 \text{ m/sec}$ sicher gewalzt werden, während bei günstigen Verhältnissen die Geschwindigkeit bis $2,1 \text{ m/sec}$ gesteigert werden kann. Über $2,1 \text{ m/sec}$ wird bei einem dichten Block der Erfolg schon unsicher.

Beispiel 4:

Es soll eine I-Eisen-Kalibrierung, z. B. das vorletzte Kaliber, auf Grund des Kraftbedarfes geprüft werden. Beim Stich in dem fraglichen Kaliber wurden von den Registrierapparaten folgende Meßwerte abgelesen:

Stromzähler.

Die vom Antriebsmotor während des

Stiches verbrauchte Energie $1,79 \text{ kWh} = A = 8770 \text{ PS/sec}$,

Tachograph.

Zeitdauer des Stiches $T = 11,26 \text{ sec}$,

höchste Drehungszahl $n_{\max} = 110,9 \text{ Umdr./min}$,

kleinste „ $n_{\min} = 106,5 \text{ Umdr./min}$,

mittlere „ $n_{\text{mittl}} = 108,7 \text{ Umdr./min}$,

Pyrometer.

Temperatur gemessen auf der Oberfläche des Werkstückes $t^0 = 1096^\circ \text{ C}$.

Sonstige Meß- bzw. Betriebsangaben:

Länge des Werkstückes vor dem Stich $l = 27,32 \text{ m}$,

Querschnittminderung $F = 4,3 \text{ cm}^2$,

Leerlaufleistung bei n_{mittl} $N_1 = 144 \text{ PS}$,

Leistungsgrad des Motors bei obiger Leistung $\eta = 93\%$,

Schwungmoment des Schwungrades und sämtlicher sich drehenden Teile $GD^2 = 1\,450,000 \text{ kgm}^2$.

Aus diesen Angaben errechnet sich die vom Motor abgegebene mittlere Leistung zu

$$N_a = \eta \frac{A}{T} = 0,93 \frac{8770}{11,26} = 725 \text{ PS.}$$

Die vom Schwungrad abgegebene mittlere Leistung zu

$$N_l = \frac{GD^2}{4g} \frac{\omega_{\max}^2 - \omega_{\min}^2}{2T} = \frac{GD^2}{269000} n_{\text{mittl}} \cdot \frac{n_{\max} - n_{\min}}{T}$$

$$= \frac{1450}{269} \cdot 108,7 \cdot \frac{4,4}{11,26} = \dots \dots \dots 229 \text{ PS.}$$

die Gesamtleistung zu $\dots \dots \dots 954 \text{ PS.}$

die Leerlaufleistung N_l zu $\dots \dots \dots 144 \text{ PS.}$

die reine Walzleistung N zu $\dots \dots \dots \underline{810 \text{ PS.}}$

Mittlere Geschwindigkeit:

$$v = \frac{l}{T} = \frac{27,32}{11,26}; v = \dots \dots \dots 2,43 \text{ m/sec.}$$

Nach diesen Werten ist die spezifische Querschnittminderung

$$Ff = \frac{100 F}{N} = \frac{430}{810} = 0,53 \text{ cm}^2/100 \text{ PS.}$$

Die durch diesen Wert gehende Linie schneidet die bei $v = 2,43 \text{ m/sec}$ Geschwindigkeit in der Höhe von $t = 1096^\circ \text{ C}$ verlaufende Waagerechte in der Hyperbel $C = 18$; das Kaliber ist also gut entworfen, weil der Wert von C genügend tief unter dem Höchstwert der Zahlentafel liegt.

Betriebswirtschaftliche Gründe machen es oft notwendig, den Arbeitsbedarf eines Walzwerkes nicht für die Zeiteinheit des Walzvorganges in einer bestimmten Kalibergattung, sondern für die Gewichtseinheit des gewalzten, fertigen Erzeugnisses anzugeben. Es ist klar, daß diese Kraftbedarfswerte um so höher ausfallen müssen, je kleiner die Querschnittsfläche des fertigen Walzgutes ist. Da jedoch bei solchen Kraftbedarfswerten nicht nur die Kalibrierungsgüte, sondern auch die Geschicklichkeit der Arbeiter, die Güte der technischen Einrichtungen und andere Umstände mitsprechen, so ist es wohl zu verstehen, daß sich die Arbeitsbedarfswerte der Gewichtseinheit von Walzwaren in recht weiten Grenzen bewegen, so z. B. für die Tonne Stabeisen zwischen 50 und 100 kWh. Der Draht als ganz leichte Walzware verbraucht rund 150 kWh/t, obwohl diesbezüglich auch bedeutend günstigere Werte bekannt geworden sind. Hopfer⁸¹⁾ stellte z. B. bei Drahtwalzungen aus Weichstahl und 107facher Streckung 75—85 kWh/t und bei leicht siliziierten Gattungen 100—107,5 kWh/t fest.

Die neuesten Angaben sind die folgenden: Rund 60 kWh/t für Stabstahl der mittleren Dicke von 25 mm, rund 60 kWh/t für eine Handelseisenstraße mit kontinuierlichem Fertigstrang und 40 kWh/t für eine 350er Handelseisenstraße in Querschnitten entsprechend 30 bis 120 mm⁸²⁾.

81) Kurt Hopfer, „Der Einfluß der Walztemperatur auf die Walzarbeit verschiedener Stähle bei einer Drahtstraße“, „Mitteilungen aus dem K.-W.-Institut f. Eisenforschung“ 1928, S. 283—299.

82) W. B. Suyder, „Kraftbedarf von Feinstahl- u. Drahtstraßen“, „Iron and Coal Tr. Rev.“ 1945, S. 239.

Literaturübersicht

- Altpeter, H., Dr.-Ing., „Die Herstellung der Flußeisen- und Stahldrähte“, „Stahl u. Eisen“ 45 (1925), S. 569 u. 614.
- Arbeitsausschuß der Walzwerkskommission, „Verdrängtes Volumen und Walzarbeit“, „Stahl und Eisen“ 34 (1914), S. 1545 u. 1575.
- Asbeck, W., „Erzeugungsplanung von Walzstahl“, „Stahl u. Eisen“ 1947, S. 389.
- Ball, Norb., „Messung und Aufzeichnung von Walzdrücken“, „Stahl u. Eisen“ 1944, S. 716.
- Bardenheuer, P., Dr.-Ing., „Eigenspannungen in Walzstäben unter besonderer Berücksichtigung der Schienen“, „Stahl u. Eisen“ 45 (1925), S. 1098.
- Becker, L., „Kalibrierung und Walzung einer Lastwagenschiene und der dazugehörigen Hakenlasche“, „Stahl u. Eisen“ 48 (1928), S. 492.
- Bencenleitner, E., „Die Wirkung der Streckwalzen“, „Ung. Zeitschr. f. d. Berg- u. Hüttenw.“ 1910, S. 273.
- Bitter, H., Dr.-Ing., „Einfluß der Wärmebehandlung von Weichstahlblöcken vor dem Auswalzen auf die Gefügebildung und Festigkeitseigenschaften des Werkstoffes“, „Stahl u. Eisen“ 48 (1928), S. 38.
- Braun, F., Dr.-Ing., „Kontinuierliche Walzwerke in Amerika“, „Stahl u. Eisen“ 44 (1924), S. 598.
- Brovot, A., Das Kalibrieren der Walzen, A. Felix, Leipzig 1902.
- Bulle, G., Dr.-Ing., „Zeitstudien und Kraftverbrauchsmessungen im Walzwerk“, „Stahl u. Eisen“ 44 (1924), S. 937; Ber. Nr. 35 d. Walzwerksausschusses.
- , „Untersuchungen und Überwachungsverfahren der Walzwerke“, „Arch. f. d. Eisenhüttenwes.“ 2 (1928/29), S. 11.
- Cotel, E., „Über die Streckung beim Walzen“, „Stahl u. Eisen“ 28 (1908), Heft 5.
- , „Über die Grundlagen der modernen Walztechnik“, „Montan. Rundschau“ 1920, Heft 20.
- , „Principles of modern rolling practice“, „The iron age“, New York 1921, Heft 7.
- , „Über die Begleiterscheinungen des Walzvorganges“, „Montan. Rundschau“ 1924, Heft 22.
- , „Die Tafelsche Theorie des Voreilens und des Kraftbedarfes beim Walzen“, „Montan. Rundschau“ 1924, S. 63.
- , „Zur Bestimmung der Walzarbeit“, „Stahl u. Eisen“ 38 (1918), S. 336.
- , „Zusammenhang zwischen den Stabbreiten vor und nach dem Stich“, „Zeitschr. f. Metallk.“ 1943, S. 231.
- , „Weitere Beiträge zur Bestimmung der Breitung“, „Mitteilungen der Universität Sopron“, Bd. 15, Jahrg. 1943.
- Cotel, E., u. Pattantys, I. v., „Die Berechnung der Walzarbeit“, „Mitteilungen d. berg- u. hüttenmänn. Abt. a. d. kgl. ung. Hochschule f. Berg- u. Forstw. in Sopron“ 1929, S. 17.
- Cramer, H., Dr.-Ing., „Zur Berechnung von Schienenkalibrierungen“, „Stahl u. Eisen“ 44 (1924), S. 1012, u. 45 (1925), S. 799.
- , „Das Vierwalzensystem für Triowalzwerke“, „Stahl u. Eisen“ 44 (1924), S. 1170.
- , „Walzenschärfen“, „Stahl u. Eisen“ 47 (1927), S. 582.
- , „Kalibrierung der Vorwalztrios unter Berücksichtigung guter Walzausnutzung“, „Stahl u. Eisen“ 47 (1927), S. 737.
- , „Die Ausnutzung der toten Kaliber bei Triowalzwerken“, „Stahl u. Eisen“ 49 (1929), S. 531.
- Cromberg, O., „Die Zeitstudie als Grundlage der Betriebsführung dargestellt an dem Beispiel einer Drahtstraße“, „Arch. f. d. Eisenhüttenw.“ 3 (1929/30), S. 597.
- Daelen, R., Die Kalibrierung der Eisenwalzen.
- , Die Konstruktion der Walzenkaliber. Berlin 1870.
- Dahl, Th., „Erkenntnisstand auf dem Gebiete der Warmverformung“, „Stahl u. Eisen“ 1948, S. 333.
- Davies, C. E., „Breitung der Metalle beim Walzen“, „Eng.“ 141 (1926), S. 598 u. 626.
- Dawson, W., „Ursachen von Walzbrüchen“, „Iron. Age“ 116 (1925), S. 1587.
- Dehez, I., Walzenkalibrierungen, Verl. Stahleisen, Düsseldorf 1919.
- Denk, F., u. Rummel, K., Dr.-Ing., „Messung und Berechnung des Kraftbedarfes beim Walzen“, „Stahl u. Eisen“ 34 (1914), S. 1578.

- Döderlein, M., „Herstellung nahtloser Rohre“, „Stahl u. Eisen“ 45 (1925), S. 1632.
- Dresden, D., „Über das Voreilen beim Walzen“, „Zeitschr. f. angew. Math. u. Mech.“ 5 (1925), S. 78.
- , „Zur Theorie des Walzvorganges“, „Zeitschr. f. angew. Math. u. Mech.“ 6 (1926), S. 176.
- Dyckerhoff, A. H., „Die Kraftbedarfsfrage bei Walzenstraßen“, „Iron Age“ 111 (1923), S. 17.
- Ekelund, S., „Einige dynamische Erscheinungen beim Walzen“, „Jernk. Ann.“ 111 (1927), S. 39.
- , „Einige allgemeine Richtlinien für das Profilwalzen“, „Jernk. Ann.“ 112 (1928), S. 67.
- Emicke, O., u. Rodenbach, M., „Formungsvorgänge beim Rundwalzen von Stahl mit wechselndem Kohlenstoffgehalt“, „Stahl u. Eisen“ 44 (1924), S. 1679.
- Esser, H., „Das Feineisenwalzwerk der Bismarckhütte, Abt. Falvahütte“, „Stahl u. Eisen“ 40 (1920), S. 1637.
- Falk, A., „Fortschritte in der Walzenkalibrierung“, „Stahl u. Eisen“ 35 (1915), S. 680.
- , „Einfluß der Endwalztemperatur auf die Güte der Eisenbahnschienen“, „Stahl u. Eisen“ 35 (1915), S. 905.
- , „Betriebsorganisation im Walzwerk“, „Stahl u. Eisen“ 35 (1915), S. 893 u. 924.
- Fey, H., „Die Entwicklung der Walzwerke für breite Streifen“, „Stahl u. Eisen“ 48 (1928), Heft 20.
- Fink, K., „Theorie der Walzarbeit“, „Zeitschr. f. d. Berg-, Hütten- u. Salinenw.“, Berlin 1874.
- Fletscher, I. E., „Plastische Formänderung und Walzen von Metall“, „Iron Coal Tr. Rev.“ 108 (1924), S. 798.
- French, H. I., u. Tucker, W. A., „Festigkeit der Stähle bei hohen Temperaturen“, „Iron Age“ 112 (1923), S. 193 u. 275.
- Ford, H., „Walzwerkuntersuchungen“, „Iron Coal Tr. Rev.“ 1947, S. 171.
- , „Einige Walzprobleme“, „Spez. Rep. Iron Steel Inst.“ Nr. 39, S. 7.
- Foster, G., „Bemerkungen zum Walzbetrieb“, „Spez. Rep. Iron Steel Inst.“ Nr. 39, S. 49.
- Fox, G., „Kraftverbrauch beim Walzen von Stahl“, „Iron Tr. Rev.“ 74 (1924), S. 1431.
- Gálócsy, A., „Walzenkalibrieren“, „Ung. Zeitschr. f. d. Berg- u. Hüttenw.“ 62 (1929), S. 371, 396 u. 418.
- Gassen, J., „Über die Lochbildung beim Schrägwalzverfahren“, „Stahl u. Eisen“ 41 (1921), S. 1767.
- , „Das Wesen des Schrägwalzens“, „Stahl u. Eisen“ 47 (1927), S. 1661.
- Geleji, S., „Berechnung der Walzarbeit usw.“, „Schweiz. Arch. f. angew. Wiss.“ 1947, S. 336.
- Golowin, A. A., „Grundzüge einer Walztheorie und der Walzenkalibrierung“, „J. Russ. Met. Ges.“ 1925, S. 114.
- Gredt, G., Dr.-Ing., „Über die Materialverschiebung beim Walzen“, „Stahl u. Eisen“ 43 (1923), S. 1443.
- Greenwood, I. Neill, „Die Stoffbewegungen bei der Warmverarbeitung des Eisens“, „Iron Coal Tr. Rev.“ 1920, S. 415.
- Grenier, G., „Das Walzen von Fein- u. Mittelblechen“, „Rew. Industr. Min. C. R.“ 1946, S. 134.
- Groza, A., u. Wasutowski, Z., „Das Vor- u. Nacheilen“, „Hutnik“ 1947, S. 512.
- Gruber, K., Dr.-Ing., „Schrägwalzverfahren von Mannesmann zur Herstellung nahtloser Rohre“, „Stahl u. Eisen“ 39 (1919), S. 1029, 1067, 1096, 1174, 1204 u. 1239.
- , „Gußeiserne Walzen“, „Iron Steel Ind.“ 2 (1928/29), S. 131 u. 163.
- Hahn, H., „Neues Universalwalzwerk von Trägern, Rillenschienen usw.“, „Stahl u. Eisen“ 48 (1928), Heft 34.
- Heinzel, A., „Über die Vorgänge beim Walzen von Eisen und Aluminium“, Göttingen 1927.
- Henky, H., „Über einige Fälle des Gleichgewichtes in plastischen Körpern“, „Zeitschr. f. angew. Math. u. Mech.“ 3 (1923), S. 241.

- , „Über langsame stationäre Strömungen in plastischen Massen mit Rücksicht auf die Vorgänge beim Walzen“, „Zeitschr. f. angew. Math. u. Mech.“ 5 (1925), S. 115.
- Herrmann, M., „Walzarbeit und Walzdruck“, „Stahl u. Eisen“ 31 (1911), S. 1706.
- Hoff, H., „Ein großes neues Walzwerk in Sheffield“, „Stahl u. Eisen“ 44 (1924), S. 49.
- Hoffman, W. F., „Walzenführungen“, „Iron Coal Tr. Rev.“ 1946, S. 703.
- Hollenberg, N., „Bemerkungen zu den Vorgängen beim Walzen“, „Stahl u. Eisen“ 3 (1883), Heft 2.
- Holmgren, F. F., „Arbeitsbedarf und Theorie des Walzens“, „Stahl u. Eisen“ 30 (1920), S. 181.
- Holverscheid, A., Die Walzwerke, Einrichtung und Betrieb. Sammlung Göschen, Berlin 1912.
- Holzweiler, C., „Kalibrieren eines Rillenschienenprofils“, „Stahl u. Eisen“ 1947, S. 223.
- Holzweiler, M., „Das Blockwalzen“, „Stahl u. Eisen“ 1947, S. 315.
- Holzweiler, K., „Das Kalibrieren der Profilwalzen für Träger“, „Stahl u. Eisen“ 25 (1905), S. 405.
- , „Über Kalibrieren verschiedener Handelseisen“, „Stahl u. Eisen“ 34 (1914), S. 1405.
- , „Bemessung von Trägerstraßen“, „Stahl u. Eisen“ 40 (1920), S. 1225.
- Hopfer, K., Der Einfluß der Walztemperatur auf Streckung, Breitung und Walzarbeit verschiedener Kohlenstoffstähle bei einer Drahtstraße. Dr.-Ing.-Diss. Aachen, Verl. Stahleisen.
- Huber, K., „Versuche zur Ermittlung der Vertikalspannungen beim Walzvorgang“, „Zeitschr. f. angew. Math. u. Mech.“ 9 (1929), S. 454.
- Hübers, K., Dr.-Ing., „Zur Mechanik des Walzvorganges“, „Stahl u. Eisen“ 43 (1923), S. 12.
- , „Das Verhalten einiger technischer Eisensorten beim Druckversuch“, Ber. Nr. 32 d. Walzwerksausschusses.
- Jänicke, W., „Einfluß der Gieß- und Walzbedingungen auf die Fußrissentfälligkeit von Schienen“, „Stahl u. Eisen“ 1947, S. 284.
- Jupp, A. E., „Herstellung von Stab- und Feineisen“, „Blast Furnace“ 1920, S. 523.
- Kármán, Th. v., „Beitrag zur Theorie des Walzvorganges“, „Zeitschr. f. angew. Math. u. Mech.“ 5 (1925), S. 139.
- Kasper, O., „Untersuchungen über die Leistung einer Walzenstraße durch Zeitstudien“, „Stahl u. Eisen“ 49 (1929), S. 1833.
- Kästner, H., „Walzen von flüssigem Stahl“, „Stahl u. Eisen“ 1947, S. 10.
- Keller, W., „Der Einfluß des Zinns auf die Beschaffenheit, vor allem die Walzbarkeit von Siemens-Martin-Flußstahl“, „Stahl u. Eisen“ 49 (1929), S. 138.
- Kelso, E. R., „Herstellung nahtloser Rohre“, „Iron Age“ 113 (1924), S. 57 u. 159.
- Kiebelbach, C., „Blockwalzen“, „Stahl u. Eisen“ 40 (1920), S. 80.
- Kirchberg, E., Grundzüge der Walzenkalibrierung. W. Ruhfus, Dortmund 1905.
- , „Vorschläge zur rechnerischen Bestimmung des Heißwalzprozesses“, „Stahl u. Eisen“ 35 (1915), S. 417.
- Knox, J. D., „Vergrößerung der Walzwerksleistung“, „Iron Tr. Rev.“ 73 (1923), S. 807.
- Kocks, F., „Schrägwalzen“, „Stahl u. Eisen“ 47 (1927), S. 433.
- Körber, F., „Der Zusammenhang zwischen Kerbzähigkeit und Gleitebenenbildung“, „Stahl u. Eisen“ 45 (1925), S. 1146.
- , „Studien über bildsame Verformungen der Metalle“, „Stahl u. Eisen“ 48 (1928), S. 1434.
- Körber, F. u. Siebel, E., „Über die Beanspruchungsverhältnisse beim Schmieden und Walzen“, „Mitteilungen aus dem K.-W.-Institut f. Eisenforschung“ 1928, Bd. 10.
- Körber, F. u. Simoneit, K., „Über den Lochvorgang im Stiefelwalzwerk“, „Mitteilungen aus dem K.-W.-Institut f. Eisenforschung“ 1929, Lfg. 21, S. 353.
- Krämer, W., „Entwicklung der Walzenanstellvorrichtungen für Feinblechwalzwerke“, „Stahl u. Eisen“ 1949, S. 86.
- , „Die Mechanisierung des Feinblechwalzwerkes“, „Stahl u. Eisen“ 1949, S. 359.
- Läng, K., „Beiträge zur Berechnung des Walzdruckes und der Walzarbeit“, „Stahl u. Eisen“ 36 (1916), S. 10.

- Larke, E. C., „Walzdrücke“, „Metal. Ind. London“ 1947, Nr. 14—16.
- Lendl, A. E., „Abkantungen beim Kalibrieren“, „Stahl u. Eisen“ 1949, S. 306.
- Liß, H., „Die Nutzarbeit des Walzvorganges“, „Stahl u. Eisen“ 1922, Nr. 18.
- Link, E., „Vier- und Sechswalzengerüste in amerikanischen Walzwerken“, „Stahl u. Eisen“ 49 (1929), S. 37.
- Lobkowitz, G. B., „Die praktische Kraftbedarfsbestimmung von Walzwerken“, „Röhrenindustrie“ 21 (1928), S. 5 u. 131.
- , „Über Walzdruck an einem Pilgerwalzwerk“, „Röhrenindustrie“ 23 (1930), S. 19, 35 u. 51.
- Longmuir, P., „Erscheinungen bei der Warmbearbeitung von Stahl“, „Iron Coal Tr. Rev.“ 108 (1924), S. 135.
- Ludwik, P., u. Scheu, R., „Vergleichende Zug-, Druck-, Dreh- und Walzversuche“, „Stahl u. Eisen“ 45 (1925), S. 373.
- Lueg, W., „Breitezunahme beim Warmwalzen“, „Arch. f. d. Eisenhüttenw.“ 1949, S. 59.
- , „Berechnung des Walzdruckes beim Bandwalzen“, „Stahl u. Eisen“ 1948, S. 304.
- Lueg, W., u. Pomp, A., „Die Bestimmung der Voreilung“, „Mitteilungen aus dem K.-W.-Institut f. Eisenforschung“ 1939, S. 163.
- Lübke, A., „Über die Lage von U- und T-Kaliber zur Walzlinie“, „Stahl u. Eisen“ 34 (1914), S. 411.
- Maringer, P., „Les théories du laminage a chaud.“ Liège 1919.
- Mathewson, C. H., „Das Fließen der Metalle während des Walzens“, „Iron Age“ 121 (1928), S. 666.
- Meerbach, K., „Rißbildung an schweren Stahlwalzen“, „Stahl u. Eisen“ 40 (1920), S. 140.
- Melaney, W. H., „Zweckmäßige und unzweckmäßige Behandlung von Hartgußwalzen“, „Blast Furnace“ 16 (1928), S. 12.
- Mercader, E., „Berechnung der Streckovalkaliber“, „Stahl u. Eisen“ 44 (1924), S. 361.
- , „Metallfluß während des Walzvorganges“, „Iron Age“ 121 (1928), S. 666 u. 710.
- Metz, N., „Experimentelle Untersuchungen des Walzvorganges“. Extrait du Congrès Scientifique International organisé par l'Association des Ing. sorties l'écol de Liège 1922. Vgl. „Stahl u. Eisen“ 43 (1923), S. 914.
- , „Experimentelle Untersuchungen über das Warmwalzen des Eisens“, „Rev. Mét.“ 22 (1925), S. 1 u. 66.
- , „Experimentelle Untersuchungen über den Walzvorgang“, „Stahl u. Eisen“ 46 (1926), S. 476.
- , „Experimentelle Untersuchung des Materialflusses beim Walzen von Trägern“, „Stahl u. Eisen“ 46 (1926), S. 1555.
- , „Experimentelle Untersuchungen über den Materialfluß beim Walzen“, „Stahl u. Eisen“ 47 (1927), S. 1872.
- Meyer, H., u. Nehl, F., „Die grundlegenden Vorgänge der bildsamen Verformung“, „Stahl u. Eisen“ 45 (1925), Heft 48.
- Moritz, W., „Untersuchungen über den Kraftverbrauch beim Schrägwalzen bei Berücksichtigung der Wirtschaftlichkeit“, „Arch. f. d. Eisenhüttenw.“ 1 (1927/28), S. 741.
- Nádai, A., Dr.-Ing., „Der bildsame Zustand der Werkstoffe.“ Berlin 1927, J. Springer.
- , „Neuzeitliche Bestrebungen im ausländischen Walzwerksbetrieb“, „Stahl u. Eisen“ 49 (1929), S. 1334, 1370 u. 1405.
- Nöll, A., „Das Wiederwalzen alter Eisenbahnschienen“, „Stahl u. Eisen“ 43 (1923), S. 619.
- , „Die Weiterentwicklung im Walzwerk“, „Ber. VDEh.“ Nr. 29, 1942.
- Oertel, W., Dr.-Ing., „Festigkeitseigenschaften von Eisen und Stahl in der Kälte und Wärme“, „Stahl u. Eisen“ 43 (1923), S. 1395.
- Oertel, W., Dr.-Ing., u. Richter, A., Dr.-Ing., „Der Einfluß der Desoxydation auf die Warmverarbeitbarkeit eines Chromnickel-Baustahles“, „Stahl u. Eisen“ 44 (1924), S. 217.
- , „Der Einfluß der Blockgröße und Warmverformung auf die Eigenschaften eines Chromnickel-Baustahles“, „Mitteilungen d. Glockenstahlwerke“, 1924; siehe auch „Stahl u. Eisen“ 44 (1924), S. 1332.
- Patt, L., „Fortschritte im ausländischen Walzwerksbetrieb“, „Stahl u. Eisen“ 49 (1929), S. 17.

- Pattantyus, I. v., u. Cotel, E., „Die Berechnung der Walzarbeit“, „Mitteilungen d. berg- u. hüttenm. Abt. a. d. kgl. ung. Hochschule f. Berg- u. Forstw. in Sopron“ 1929, S. 17.
- Phipps, G. A., „Neuzeitliche Feinwalzwerke“, „J. Iron Steel inst.“ 1947, S. 247 ff.
- Pihl, C. I., „Neuzeitliche Bestrebungen in der ausländischen, insbesondere amerikanischen Walzwerkspraxis in Hinsicht auf die Aufstellung, Kalibrierung und Erzeugung im Walzwerk“, „Jernk. Ann.“ 111 (1927), Diskussionsmötet i Jernkontoret den 28. Mai 1927, S. 243.
- Pomp, A., „Über den Kraftbedarf beim Rohrziehen“, „Stahl u. Eisen“ 47 (1927), Heft 11.
- Poncelet, E., „Geschwindigkeiten und Walzpläne von Walzenstraßen“, „Rev. Mét.“ 20 (1923), S. 27.
- , „Das Walzen von Handelsstabeisen und kleinen Profilen“, „Rev. Mét.“ 24 (1927), S. 109.
- Popp, K., „Kalibrierung der Pilgerwalzen“, „Stahl u. Eisen“ 1948, S. 274.
- Preußler, H., Dr.-Ing., „Zur Frage der bildsamen Formänderung“, „Stahl u. Eisen“ 45 (1925), S. 1422. Ber. Nr. 36 d. Walzwerkausschusses.
- Price, T., „Erfahrungen aus dem Walzwerksbetrieb“, „Iron Coal Tr. Rev.“ 107 (1923), S. 727.
- Puppe, J., Dr.-Ing., Versuche zur Ermittlung des Kraftbedarfs an Walzwerken. Düsseldorf 1909.
- , „Über das Voreilen beim Walzen“, „Stahl u. Eisen“ 29 (1909), Heft 5.
- , „Tabellarische Ausarbeitung von Kalibrierungen, im besonderen verschiedenartige Schienenkalibrierungen“, „Stahl u. Eisen“ 34 (1914), S. 797. Dazu G. Kundrat, „Stahl u. Eisen“ 34 (1914), S. 1380.
- , „Untersuchungen über Walzdrücke und Kraftbedarf beim Auswalzen von Knüppeln, Winkeln, U- und T-Eisen“, „Stahl u. Eisen“ 34 (1914), S. 12 u. 53.
- , „Beitrag über die Bestimmung der Größe des Abnahmekoeffizienten“, „Stahl u. Eisen“ 35 (1915), S. 706 u. 46 (1916), S. 1185.
- Puppe, J., Dr.-Ing., u. Monden, H., „Über den Einfluß des Blockgewichtes und der Walzgeschwindigkeit auf den Kraftbedarf beim Walzen“, „Stahl u. Eisen“ 35 (1915), S. 497 u. 527.
- Puppe, J., Dr.-Ing., u. Stauber, G., Walzwerkswesen. Düsseldorf-Berlin 1929, Stahleisen — J. Springer.
- Raabe, K., „Anregungen für die Bauart künftiger Sonderträgerstraßen auf Grund von Erfahrungen an der Differdinger Greystraße“, „Stahl u. Eisen“ 43 (1923), S. 522.
- Reichert, J. W., Dr., „Die Stabeisenpreise im In- und Ausland seit 1900“, „Stahl u. Eisen“ 45 (1925), S. 716.
- , „Die Preisbewegung führender deutscher Eisenerzeugnisse seit 1900“, „Stahl u. Eisen“ 45 (1925), S. 1242.
- Rejtö, A., Einige Prinzipien der theoretischen mechanischen Technologie der Metalle. 1927.
- Riedel, Fr., Dr.-Ing., „Über den Walzvorgang“, „Stahl u. Eisen“ 37 (1917), S. 1133.
- , „Die Lösung des Walzproblems und die Rutschflächentheorie“, Ber. Nr. 27 d. Walzwerkausschusses.
- Rohn, W., „Kontinuierliche Walzenstraßen für Werkstoffe mit hoher Warmfestigkeit“, „Stahl u. Eisen“ 49 (1929), S. 1757 u. 1793.
- Roux, J., „Das Springen der Walzen und Mittel zu seiner Behebung“, „Rev. Mét.“ 25 (1928), S. 649.
- Rummel, K., Dr.-Ing., „Amerikanische Veröffentlichungen über theoretische Untersuchungen der Vorgänge beim Walzen“, „Stahl u. Eisen“ 37 (1917), S. 208.
- , „Richtlinien für die Ermittlung der Formänderung bildsamer Körper, insbesondere des Arbeitsbedarfs beim Walzen“, „Stahl u. Eisen“ 39 (1919), S. 237, 267 u. 285.
- , „Vergleichende Zeitstudien an Walzwerken“, „Stahl u. Eisen“ 46 (1926), Heft 47.
- Rüberg, F., „Ermittlung der Stiche“, „Eisen- u. Metallverarb.“ 1949, S. 118.
- Sachs, G., Dr.-Ing., „Versuche zum Walz- und Schmiedevorgang“, „Z. Metallk.“ 19 (1927), S. 189; „Mitt. Materialprüf.“ 1929, Sonderheft 5, S. 130.

- , Mechanische Technologie der Metalle. Leipzig 1925, Akademische Verlagsgesellschaft m. b. H.
- Sahlín, I., „Über den Walzdruck, dessen Bestimmung und Bedeutung bei der Konstruktion von Walzwerken“, „Jernk. Ann.“ 112 (1928), S. 151.
- Sattmann, A., „Über Vorgänge beim Heißwalzen, mit Nutzenwendung für den Betrieb“, „Stahl u. Eisen“ 38 (1918), S. 912.
- Schmitz, C., Dr.-Ing., „Blockstraßen und Blockstraßenantrieb“, „Stahl u. Eisen“ 45 (1925), Heft 47.
- , „Vergleichende Untersuchungen auf Kraftbedarf und Walzleistung an Blockstraßen“, Ber. Nr. 40 d. Walzwerksausschusses; siehe auch „Stahl u. Eisen“ 46 (1926), S. 769.
- Schöpf, A., „Zur Bestimmung der Walzarbeit“, „Stahl u. Eisen“ 38 (1918), S. 912.
- , „Walzen von Bandeseisen“, „Stahl u. Eisen“ 40 (1920), S. 649.
- , „Kontinuierliche Walzwerke in Amerika“, „Stahl u. Eisen“ 44 (1924), S. 1290.
- Schreyer, H., „Leistung und Kraftverbrauch im Walzwerk“, „Stahl u. Eisen“ 49 (1929), S. 1312; „Arch. f. d. Eisenhüttenw.“ 3 (1929/30), S. 117.
- Schriever, A., „Herstellung von Breitflanschträgern mit vollkommen gleich dicken Flanschen“, „Stahl u. Eisen“ 39 (1919), S. 465 u. 498.
- Sedlaczek, H., „Vorschläge zur Vermeidung des Rauhens der Walzen“, „Stahl u. Eisen“ 47 (1927), Heft 26.
- Slattengren, H. A., „Walzenkalibrierung“, „Iron Age“ 122 (1928), S. 146.
- Siebel, E., Dr.-Ing., „Grundlagen zur Berechnung des Kraft- und Arbeitsbedarfes beim Schmieden und Walzen“, „Stahl u. Eisen“ 43 (1923), S. 1295.
- , „Über die Eigenschaften der Edelmehle bei den technischen Formgebungsbedingungen“, „Stahl u. Eisen“ 44 (1924), S. 1675.
- , „Kräfte und Materialfluß bei der bildsamen Formänderung“, „Stahl u. Eisen“ 45 (1925), S. 1563.
- , „Über die Voreilung beim Walzen“, „Zeitschr. f. angew. Math. u. Mech.“ 6 (1926), S. 174.
- , „Grundsätzliche Betrachtungen zum Schrägwalzverfahren“, „Stahl u. Eisen“ 47 (1927), S. 1685.
- , „Technische Stauchprobleme“, „Arch. f. d. Eisenhüttenw.“ 1 (1927/28), S. 543.
- , „Die Erfassung des Arbeitsbedarfes bei technologischen Formgebungsprozessen“, „Metall-Wirtsch.“ 8 (1929), S. 724.
- , „Der Wirkungsgrad beim Ziehen und Kaltwalzen“, „Stahl u. Eisen“ 49 (1929), S. 561.
- , „Kräfte und Materialzufluß bei der bildsamen Formänderung“, Ber. Nr. 37 d. Walzwerksausschusses.
- , „Anwendung der Henkyschen Sätze über das Gleichgewicht in plastischen Körpern“, „Ing. Arch.“ 1948, S. 164.
- , „Theorie der bildsamen Formgebung“, „Arch. f. Metallk.“ 1948, S. 248.
- Spénlé, E. A., „Die Blockstraße im Edelmehlwalzwerk“, „Stahl u. Eisen“ 1949, S. 443.
- Stoltz, G. E., „Einfluß der Walzgeschwindigkeit auf das Ausbringen“, „Iron Age“ 111 (1923), S. 411.
- Stumper, R., „Untersuchungen über den Einfluß der Walztemperatur auf die Eigenschaften der Schienen“, „Stahl u. Eisen“ 49 (1929), S. 177 u. 843.
- Snyder, W. B., „Kraftbedarf von Feinstahlstraßen“, „Iron Coal. Tr. Rew.“ 1945, S. 239.
- Tafel, W., „Walzen und Walzenkalibrieren“. 2. Aufl. Ruhfus, Dortmund.
- , „Neue Methoden zur Berechnung von Kalibrierungen“, „Stahl u. Eisen“ 29 (1909), Heft 18.
- , „Der Wirkungsgrad unserer Walzwerke“, „Stahl u. Eisen“ 39 (1919), S. 381.
- , „Voreilung und Kraftbedarf beim Walzen“, „Montan. Rundschau“ 16 (1924), S. 165.
- , „Einiges über den Walzvorgang, insbesondere die Walzarbeit und den Walzdruck“, „Zeitschr. f. Metallk.“ 16 (1924), S. 391 u. 430.
- Tafel, W., Hanemann, u. Schneider, A., „Die Rekristallisation beim Warmwalzen“, „Stahl u. Eisen“ 49 (1929), S. 7.
- Tafel, W., u. Pajunk, G., „Ermittlung des Breitungsverlaufes in den horizontalen Schichten von Walzkörpern“, „Stahl u. Eisen“ 47 (1927), S. 1562.

- Tafel, W., u. Schneider, E., „Maßstab für die Leistung unserer Walzenstraßen“, „Stahl u. Eisen“ 43 (1923), S. 370.
- , „Das Greifen von Walzen bei veränderlicher Walzgeschwindigkeit“, „Stahl u. Eisen“ 44 (1924), S. 305.
- Tafel, W., u. Sedlaczek, H., „Das Breiten beim Walzen“, „Stahl u. Eisen“ 45 (1925), S. 190.
- Tafel, W., u. Wagener, G., „Das Füllen von Kalibern“, „Stahl u. Eisen“ 50 (1930), S. 126.
- Tafel, W., u. Weiß, H., „Füllung der Walzkaliber“, „Stahl u. Eisen“ 44 (1924), S. 1243.
- Tammann, G., u. Heinzel, H., „Die Kristalliten-Orientierung gereckter und gestauchter Metalle und die kristallographische Deutung der Gleitvorgänge beim Recken, Stauchen, Walzen von Metallen“, „Stahl u. Eisen“ 48 (1928), S. 692.
- Tischbein, J. A., „Vermeidung von Walzfehlern durch richtige Kalibrierung“, „Iron Steel Engr.“ 1949, S. 57.
- Torkar, F., „Über Kalibrierung von Trägern“, „Arch. f. d. Eisenhüttenw.“ 2 (1928/29), Heft 3.
- , „Das Kalibrieren der Eisenbahnschienen“, „Centralbl. f. Hütten- u. Walzw.“ 32 (1928), S. 291.
- , „Das Walzen von Trägern NP 50 in elf Formstichen auf zwei Walzgerüsten“, „Centralbl. f. Hütten- u. Walzw.“ 32 (1928), S. 36.
- Trappiel, F., „Die Herstellung breitflanschiger Parallelträger“, „Stahl u. Eisen“ 48 (1928), S. 1543.
- Vereinigte Stahlwerke A. G. Düsseldorf. Walzprogramme, 1929, Selbstverlag.
- Versen, B., „Eine Erklärung des Walzvorganges“, „Stahl u. Eisen“ 44 (1924), S. 15.
- , „Walzen an Stelle von Schmieden“, „Iron Age“ 119 (1927), S. 1376.
- , „Walzgeschwindigkeit und Walzprogramme“, „Metallbörse“ 13 (1923), S. 333 u. 401.
- Wasutowski, L., „Grafisches Verfahren für das Kalibrieren“, „Hutnik“ 1947, S. 206.
- Weiß, L., „Die Nutzarbeit des Walzvorganges“, „Zeitschr. f. Metallk.“ 15 (1923), S. 133.
- , „Leistungsberechnung des Walzvorganges“, „Zeitschr. f. Metallk.“ 17 (1925), S. 229.
- , „Die Leistungsberechnung des Walzvorganges in Abhängigkeit vom Walzendurchmesser und ihre Anwendung auf das Vierwalzgerüst“, „Zeitschr. f. Metallk.“ 20 (1928), S. 280.
- Weiß, H., Walzen und Walzenkalibrieren“, „Zeitschr. f. Metallk.“ 16 (1924), S. 107.
- Weißenberg, B., „Walzenbetrieb und Kalibrierung in graphischer Darstellung“, „Stahl u. Eisen“ 31 (1911), S. 1653.
- Wernecke, Fr., „Form- und Stabeisen aus Altschienen“, „Stahl u. Eisen“ 49 (1929), S. 50.
- Wüst, F., u. Huntington, W. O., „Über den Einfluß des Warmwalzens auf die mechanischen Eigenschaften und das Gefüge des kohlenstoffarmen Flußeisens“, „Stahl u. Eisen“ 37 (1917), S. 829 u. 849.
- Zeitstudienausschuß, „Beispiele für kartenmäßige Betriebsaufzeichnungen in Walzwerken“, „Stahl u. Eisen“ 49 (1929), S. 1079.
- Yensen, T. D., „Die Schmiedbarkeit von Eisen-Nickel-Legierungen“, „Trans. Am. Inst. Min. Met. Eng.“ 67 (1922), S. 498.

Namen- und Sachverzeichnis

- Abnahme 32, 34, 38, 79
 Abnahmekoeffizient 99
 Abnahmeplan 67
 Abnahmeverteilung 30
 Abrundung (der Kaliber) 69, 95
 Abstreifmeißel 19
 Abzweigungen des Profils 76, 77
 Achsenstahl 5
 Analyse der Walzen 11, 12
 Anke, F. 34
 Anstich 86
 Anzug im Kaliber 15, 17, 71, 79, 84
 Arbeitsbedarf 7, 8, 90—112
 Arbeitsgebiet des Walzens 8, 9
 Ätzung der Walzstäbe 21
 Ausgangsquerschnitt 75, 77
 Aushöhlung 1, 9
 Auslaufgeschwindigkeit 57, 106

 Babin, H. 99
 Ballenlänge 71, 78
 Bandeisen 5, 84
 Bandeisenwalzung 84
 Bauschinger 99
 Baustahl 5
 Begleiterscheinungen 29—53
 Benzenleitner, J. 22
 Betriebssicherheit 108
 Bildsamkeit 7, 31, 33, 102
 Bläß, E. 53, 100
 Bleche 5
 Blockwalze 14, 19, 79, 111
 Breitung 31—52
 Breitungsformeln 34—50
 Breitungsversuche 35—45
 Brovot, A. 86

 Dahl, Thed. 28, 50, 61
 Dehez, J. 74, 86, 97
 Dickenzunahme 86
 Doppelduo 13, 18, 96
 Draht 5, 112
 Drahtstiften 5
 Drahtwalzung 84
 Druckfläche 53
 Druckstufe 84
 Druckversuche 26
 Druckverteilung 30, 93
 Druckwirkung 22—29
 Duowalzen 16, 19

 Einschneidewinkel 86
 Einschnürung 79
 Ekelund, S. 70
 Elastische Formänderung 33

 Feilenstahlkaliber 97
 Fertigkaliber 67, 75, 96
 Feste Lösung 4
 Festigkeit der Walzerzeugnisse 5—7
 Fink 2, 99
 Finkey 23
 Flacheisen 51, 63, 66, 84
 Flacheisenartiger Querschnittsteil 51, 75
 Flachkaliber 84
 Flächenzunahme 67
 Flanschen 72, 85—88, 89—91
 Flanschdicke 86, 88
 Fließfiguren 2
 Fließen 61—67
 Fließscheide 28
 Formänderungsvermögen 4—7
 Formeln der Walzarbeit 98—110
 Formeisen 31, 51, 85
 Führungen 83, 84
 Füllen 34, 67, 75, 86, 91

 Gálöcsy, A. 62—66
 Gefügeänderung 3, 77
 Gegenflanschen 88
 Geschlossene Kaliber 17, 34, 78
 Geuze, L. 34, 36, 38, 40, 41
 Gleitflächen 25—28
 Gleitkeile 55
 Gleitlinien 25—28
 Graphische Kalibrierung 72, 74
 Gratbildung 69, 79, 90, 93
 Graugußwalze 11, 15
 Greifvermögen 69
 Greifwinkel 70, 100, 101
 Grundformel der Walzarbeit 104

 Hackenstahl 5
 Halbharte Walzen 10
 Halbzeug 78
 Hammerschmidt, Fr. 99, 102
 Hämmer 5
 Hartgußwalzen 10, 11
 Henky, H. 26
 Herrmann, M. 100, 101, 103
 Hirst 70
 Höhenabnahme 61, 99
 Höhenunterschiede der Flanschteile 86
 Hollenberg 22, 33
 Holzweiler 14, 87
 Hopfer, K. 50, 112
 Hufstollen 97
 Hyperbel des Kraftbedarfes 108

 Kaliber 1
 Kaliberanzug 15, 71, 80, 84

- Kaliberschablonen 21
Kaliberumrisse 8, 78
Kalibrierung 78—98
Kanten des Walzgutes 71
Kastenkaliber 79, 107
Kiesselbach 100
Kick 99
Kirchberg, E. 72, 73, 75, 77, 83, 84
Knüppelwalzen 79
Kohlenstoffgehalt des Werkstoffes 5—7
Konstruktionseisen 89
Köttgen 100
Körber, F. 21, 26
Kraftbedarf 98—112
Kraftbedarf verschiedener Querschnitte 109, 110

Lang, K. 81, 101, 103
Längung 29—31
— (natürliche) 31
Laufschienen 91

Mahlwirkung (des Walzens) 69, 76
Matrizwalze 3
Materialfluß 61—67, 72
Maringer I
Mars, G. 4
Mercader, E. 81, 82
Metz, N. 35, 36, 52, 62
Meyer, H. 26, 28
Mittelbarer (indirekter) Druck 76, 77, 85, 91

Nacheilen 54
Natürliche Längung 74
Nehl, F. 26, 28
Nieteisen 5
Nöll, A. 74

Oberdruck 19, 20
Oberhoffer, P. 4
Offene Kaliber 17, 78
Osann, B. 11
Ovalkaliber 81, 83
Oval-Quadrat-Streckkaliber 81

Parabelkonstruktion (beim Kalibrieren) 58, 66, 72, 73, 74, 84, 93
Pattantyus, I. v. 98
Patrizwalze 3
Perlitgefüge (des Werkstoffes) 4
Phönixschiene 9
Polierstich 84
Polierwalzen 84
Prandtl, L. 26
Puppe, J. 53, 58, 100, 103, 105

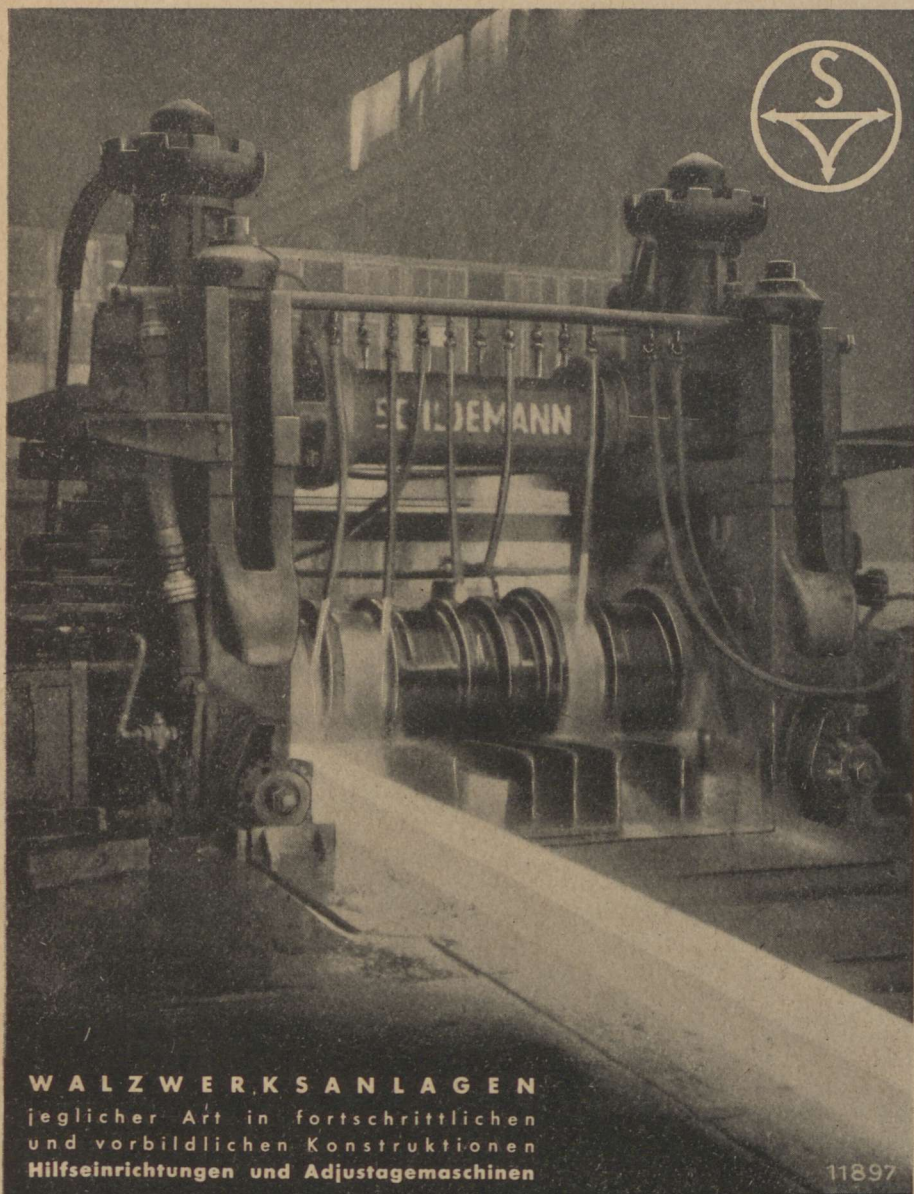
Quadratkaliber 81, 83
Quadrat-Oval-Streckkaliber 81, 82
Quetschgrenze (d. Werkstoffes) 102, 106

Rauhen (der Walze) 70
Raute (Rhomb. Kaliber) 81
Rechnerische Kalibrierung 72—74

Reckschmieden 2, 26
Reibungsverlust 105
Rejtö, A. 2, 103, 105
Riedel, Fr. 7, 102
Rillenschiene 9
Ringe der Walzen 13, 18
Ringbreiten 80, 83
Ringstufung 13, 14, 20
Risse im Walzstabe 28
Rothbruch 4
Rückschlag 20
Rundeisenkaliber 83

Sauerwald, F. 102
Schablonen (der Kaliber) 17, 21, 72
Schablonenzeichnung 71
Schaubild der Walzarbeit 110
Schauffel 5
Schienenkalibrierung 91—94
Schienenstoff 5, 91
Schlichtoval 83
Schlichtraute 83
Schlußringe 20
Schmiedbarkeit 4
Schmiedevorgang 2, 26
Schöpf, A. 105
Schrauben 5
Schwarz, M. von 4
Schweißlinien 62—66
Schwerpunktlinie 21
Schwinden 67
Sedlacek, H. 34
Seigerungen (im Werkstoffe) 86
Seildraht 5
Seitendruck 15, 57, 108
Siebel, E. 21, 26, 34, 102
Spannung im Walzstab 7, 31
Spezifische Walzarbeit 101, 104, 107
Spießkantkaliber 81, 82
Spitzbogenkaliber 80, 109
Sprung 15
Stabeisen 5, 112
Stabendenform 28, 29
Stabvolumen 99
Staffelwalzen 84
Stahlbestellungen 7
Stahlwalze 10, 11, 15
Stauber, G. 23, 29, 56
Stauchstich 84, 93
Stauchung 32
Stich 1
Stichzahl 67, 73
Stichzahl der Trägerwalzungen 87, 88
Stoffbewegung 61—66
Stoff des Walzens 4—8
Stoffmangel (im Kaliber) 8, 67, 69, 74
Stoffschichten 65
Stoffüberschuß (im Kaliber) 8, 67, 69, 74
Stoffverdrängung 9
Stoffverteilung 64
Stoffwiderstand 4, 99, 102
Stoffzusammenhang 27, 31

- Streckoval 81, 82
Streckung 31, 81
- Tafel, W. 34, 68, 80
Teildruck 30, 73, 85
Temperaturen des Walzen 7, 106
T-Eisen 65
Torkar, F. 88
Trägerkaliber 85—89, 109
Triowalzen 17, 19
- U-Eisen 64, 88—91
Umformungsarbeit 104—106
Umformungsvorgang 103
Umlaufgeschwindigkeit 100
Unmittelbarer (direkter) Druck 76, 77, 91
Ungleichmäßige Längung 30, 31
Unterdruck 19
- Verdichtung 3
Verformung (der Einkerbungen) 23
Verlängerung 29—31
Vierkantkaliber 79, 80
Voreilen 53—61
Vorstreckkaliber 78—82
Vorstreckwalzen 78—82
- Walzarbeit 98—112
Walzarbeit verschiedener Querschnitte 109
- Walzbarer Querschnitt 8, 9
Walzbarkeit 4
Walze 9—21
Walzenabmessungen 13
Walzenanalysen 11, 12
Walzenballen 13
Walzenringe 14, 15
Walzenstammbuch 12
Walzenwerkstoff 10—12
Walzenzeichnung 13—21
Walzdraht 84
Walzdruck 21, 31
Walzgeschwindigkeit 56, 100
Walzleistung 108
Walzlinie 17, 20
Walzprobe 78
Walzspalt 15
Walzvorgang 1, 3
Warmbildsamkeit 4
Warmprofil 67, 75
Weissenberg, B. 73, 88
Winkeleisen 96
Werkstoff (des Walzens) 4—8
- Zentriwinkel 46, 48, 70
Zerlegung (der Kaliberquerschnitte) 74
Zerrung 3
Ziehprozeß 2
Zunderabfall 27, 71
Zwischenwärmung 50



WALZWERKSANLAGEN
jeglicher Art in fortschrittlichen
und vorbildlichen Konstruktionen
Hilfseinrichtungen und Adjustagemaschinen

SCHLOEMANN

AKTIENGESELLSCHAFT DÜSSELDORF

Walzwerksanlagen — Hydraulische Pressen — Gegenschlaghämer

Louis Fraas & Co.

(15b) Gera

Fernsprecher: 1600



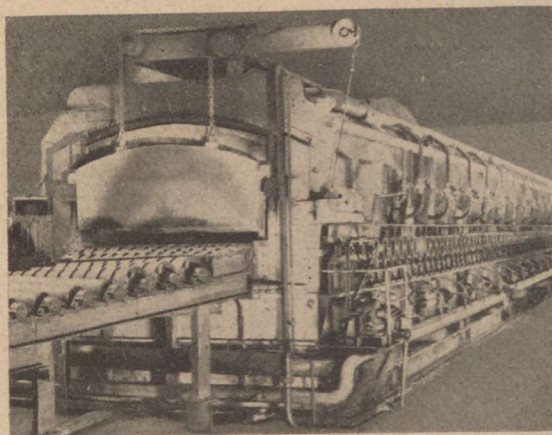
- Kessel-
Einmauerungen
- Schornsteinbau und
- Reparaturen
- Industriebau



SCHORNSTEINBAU
DAMPFKESSEL-
EINMAUERUNG
GLÜHKAMMERN
FORM-UND KERN-
TROCKENKAMMERN



CISCHATKO & UHLICH
CHEMNITZ, LEIPZIGERSTR. 102
RUF: 33623



**Lee-Wilson-
Haubenöfen,**

zum Glühen von
Bleichen, Bändern
und Ringen

Moderne Industrieöfen

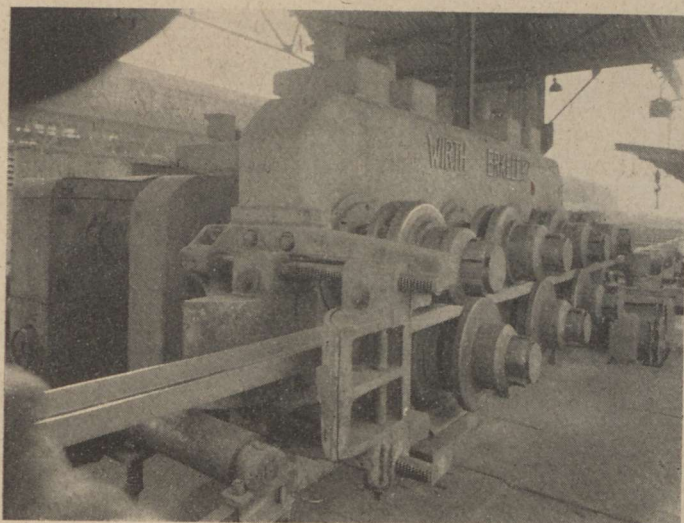
Vollautomatische Wärm-, Glüh- und Vergüte-
anlagen für Bleche, Rohre, Schmiedestücke usw.



„OFAG“ OFENBAU A.-G. DÜSSELDORF

Kaiserswerther Straße 105 · Telefon 4 12 96

WIRTH ADJUSTAGEMASCHINEN



Lieferprogramm:

Rollenrichtmaschinen / Rundstangen-Richt-,
Entzunderungs- und Poliermaschinen
Exzenter-Richtpressen, stehende und liegende
Bauart / Rohrrichtmaschinen / Rippenplatten-
fräßmaschinen / Rundblockdrehbänke
Röhrenbearbeitungsmaschinen / Schienen-
Bohr- und Sägemaschinen

ALFRED WIRTH & CO.
ERKELENZ/RHLD.

Neuere Fachbücher über

Dampfkraftanlagen und Wärmewirtschaft

Technische Wärmelehre.

Von Prof. Dr.-Ing. H. Faltin. Mit 135 Abbildungen. 261 Seiten.
DM 7,60

Einführung in die Wärmelehre.

Von Dr.-Ing. W. Savelsberg. 68 Seiten. Im Druck

Meßverfahren und Meßgeräte der Kraft- und Wärmewirtschaft

Von Prof. Dr.-Ing. H. Faltin. Mit 492 Abbildungen. 651 Seiten.
DM 27,40, geb. DM 29,80

Der wirtschaftliche Dampfkesselbetrieb.

Von Ing. H. Kolbe. Mit 327 Abbildungen. 377 Seiten.
DM 32,—, geb. DM 34,50

Dampfkessel-Instandsetzung und -Montage.

Von Obering. J. Tischbier. Mit 85 Abbildungen. 90 Seiten. DM 3,50

Instandhaltung von Dampfkraftwerken.

Von Dipl.-Ing. E. Uhthoff. Mit 71 Abbildungen. 139 Seiten.
DM 6,80, geb. DM 8,—

Hochdruck-Rohrleitungen für Dampfkraftwerke.

Von Oberingenieur E. Schwenk. Mit 108 Abbildungen. 180 Seiten.
DM 15,—, geb. DM 17,—

Vom Rohwasser zum Hochdruckdampf.

Von Ingenieur H. Reichelt. Mit 129 Abbildungen. 202 Seiten.
DM 7,50, geb. DM 9,50

Schmierstoffe und Schmierung in Kraftwerksbetrieben.

Von Dipl.-Ing. E. Uhthoff. Mit 45 Abbildungen. 98 Seiten.
DM 3,90, geb. DM 5,20

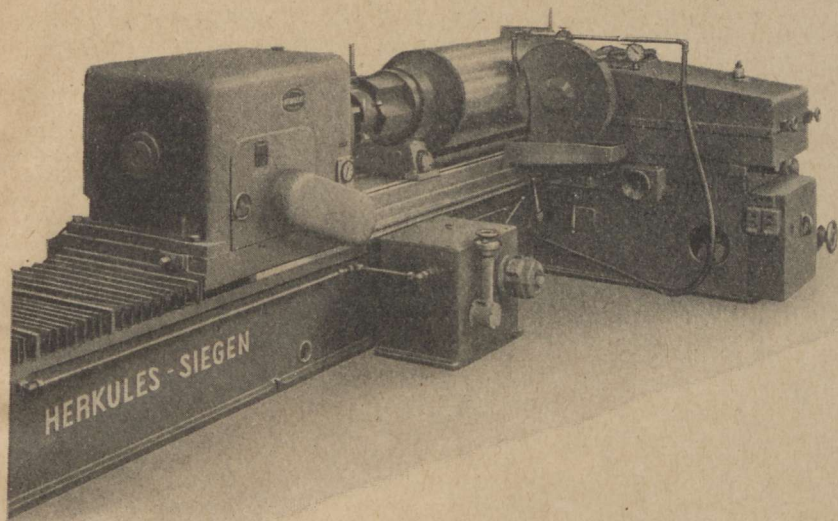
Wärmeschutztechnik.

Von Dr.-Ing. H. Balcke. 2.—3. Auflage. Mit 48 Abbildungen.
136 Seiten. DM 9,40, geb. DM 10,80

Energiewirtschaft chemischer Energiebetriebe.

Von Dr.-Ing. F. Schuster. Mit 26 Abbildungen. 112 Seiten. DM 6,40

VERLAG WILHELM KNAPP, HALLE (SAALE)



Hochleistungs-

Walzenschleifmaschinen

Walzendrehbänke

Walzenzapfenfräsmaschinen

MASCHINENFABRIK HERKULES

SIEGEN-MARIENBORN

Neuere Fachbücher über

Hüttenkunde, Metallurgie, Gießerei

Techno-Diktionär.

Deutsch - Englisch — Englisch - Deutsch. Eine Sammlung technischer Fachausdrücke aus Hütte, Gießerei, Fabrik und Werkstatt. Von Ing. H. Hermanns. 3. Auflage. 465 Seiten. ca. DM 10,—

Einführung in die Metallographie.

Von Prof. Dr. P. Goerens, Dr. P. Schafmeister und Dr.-Ing. H. J. Wiester. 7.—8. Auflage. Mit 507 Abbildungen. 470 Seiten. DM 15,50, geb. DM 17,—

Das Härungsverhalten der Edelstähle.

Von Dipl.-Ing. J. Kubasta. 2. Auflage. Mit 54 Abbildungen. 212 Seiten. DM 12,50, geb. DM 14,20

Die Metallurgie des Zinks.

Von Prof. Dr. Loskutow. Übersetzt von Dipl.-Ing. Fr. Krantz. Mit 104 Abbildungen. 304 Seiten. DM 22,20, geb. DM 24,80

Titan.

Seine metallurgische und chemische Darstellung. Von Dipl.-Ing. F. Vogel. 151 Seiten. DM 8,60, geb. DM 10,60

Neuere Wege in der Metallurgie der Lager und Weißmetalle.

Von Dipl.-Ing. F. Vogel. 2. Auflage. Mit 8 Abbildungen. 146 Seiten. DM 7,50

Der Formereibetrieb.

Von Reg.-Baumeister Dipl.-Ing. R. W. Müller. Mit 36 Abbildungen. 187 Seiten. DM 6,80

Metallguß.

Von Dr.-Ing. F. Goederitz. Teil I: Die Werkstoffe. 258 Seiten und 1 Tafel. DM 21,60, geb. DM 23,80

Die Gieß- und Anschnitt-Technik in den Gießereien.

Von Prof. E. Diepschlag und Dr.-Ing. J. Czikel. Mit 25 Abbildungen. 142 Seiten. DM 5,80

Wirtschaftliche Verwertung einiger bergmännischer und hüttenmännischer Abfallprodukte.

Von Dipl.-Ing. F. Vogel. Mit 12 Abbildungen. 202 Seiten. DM 12,60, geb. DM 15,20

VERLAG WILHELM KNAPP, HALLE (SAALE)



