

Zeitschrift: Ferrum : Nachrichten aus der Eisenbibliothek, Stiftung der Georg Fischer AG
Herausgeber: Eisenbibliothek
Band: 79 (2007)

Artikel: Das Walzen als bedeutendste Umformtechnik der Industrialisierung
Autor: Lackner, Helmut
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-378426>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

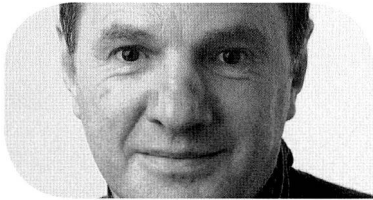
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 26.04.2026

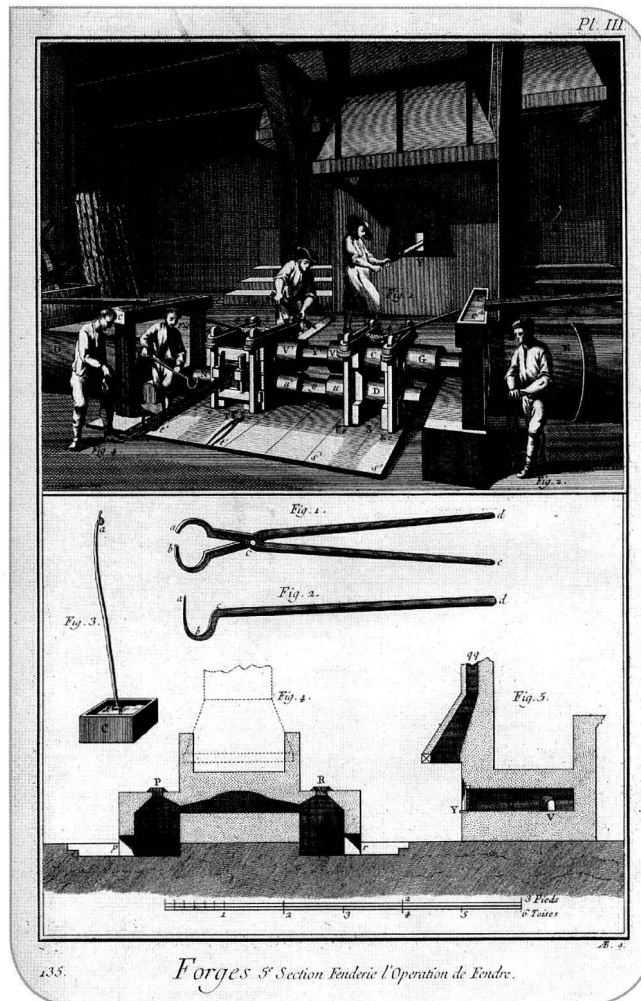
ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>



Das Walzen als bedeutendste Umformtechnik der Industrialisierung

Dr. Helmut Lackner

Geb. am 22.10.1954, Studium der Geschichte und Kunstgeschichte in Graz, 1984 bis 1991 wiss. Mitarbeiter des Ludwig Boltzmann Instituts für Stadtgeschichtsforschung in Linz, seit 1991 am Technischen Museum Wien (seit 2000 stellv. Direktor). Zahlreiche Publikationen und Ausstellungen zur Industrie- und Technikgeschichte des 19. und 20. Jahrhunderts. Zuletzt: Österreich baut auf. Wieder-Aufbau & Marshall-Plan. Eine Ausstellung des Technischen Museums Wien, 2005 (gemeinsam mit Georg Rigele).



Forges, 5^e Section, Fenderie l'Operation de Fendre. Recueil de Planches sur les Sciences, les Arts Libéraux et les Arts Mécaniques. Paris 1773, Planche 135.

90 Prozent der Metalle werden heute durch Walzverfahren in Form gebracht. Walzen ist daher die technisch und wirtschaftlich bedeutendste Umformtechnik für Metalle. Zunächst konnten nur weichere Metalle, später auch härtere wie Eisen und Stahl umgeformt werden. Der älteren Technik der Blechherstellung zwischen glatten Walzen folgte das Walzen von Profilen zwischen kalibrierten Walzen.

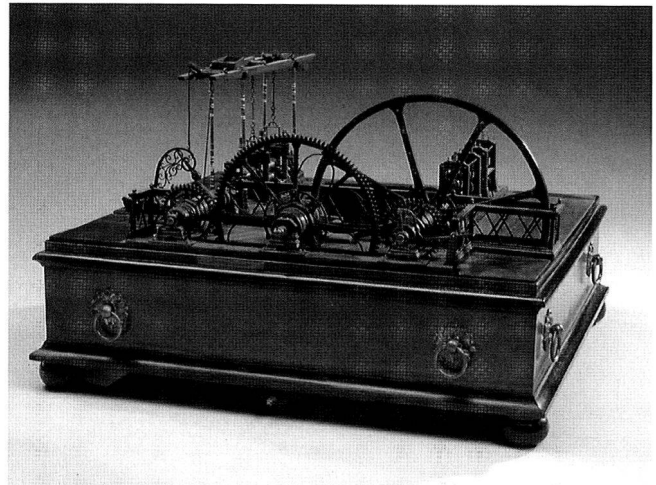
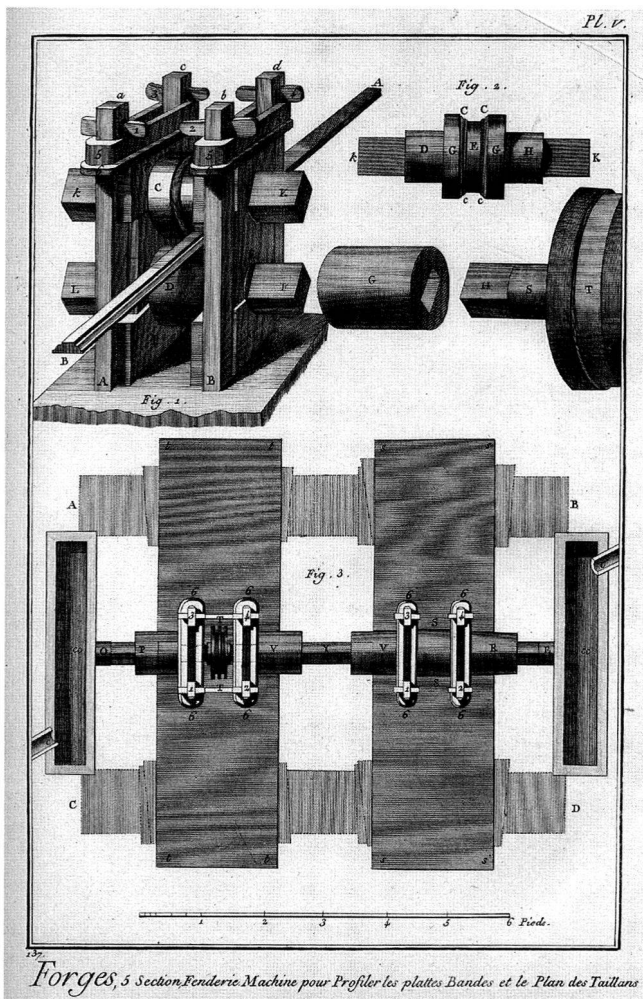
Seit dem 19. Jahrhundert ist das Walzen technische Voraussetzung für die Massenproduktion genormter Produkte aus Stahl. Bleche und Formstahl (Träger) sind wesentliches Konstruktionsmaterial für Maschinen, Brücken, Fahrzeuge, Hochbauten und Konsumgüter. Stabstahl ist Vormaterial für die spanende Weiterbearbeitung.

Eigene Walztechniken entstanden für die Herstellung von Eisenbahn-Radreifen (Tyres), nahtlosen Rohren (Mannesmann-Verfahren) und von Gasflaschen (Erhardt-Verfahren). Grobdraht wird nach dem Walzen noch durch Löcher zu Feindraht ausgezogen.

Ninety percent of all metals today are shaped by rolling. Rolling is therefore the most important forming method, from both a technological and economic point of view. Initially, only soft metals were worked, but later it became possible to shape harder metals such as iron and steel as well. The older technique of manufacturing sheets between smooth rollers was followed by profile rolling between calibrated rollers.

Since the 19th century, mass production of standardized steel products has relied on rolling technology. Sheets and profile steel (carriers) are an essential material in engineering machines, bridges, vehicles, buildings and consumer goods. Bar stock is the primary material for metal-cutting operations.

Specific rolling techniques were developed for the manufacture of rail wheel rims, seamless pipes (Mannesmann process) and gas cylinders (Erhardt process). After the rolling process, wire is reduced to fine wire by drawing it through holes in draw plates.



Blechwalzwerk der Salinenverwaltung Hall in Tirol, um 1800. Dieses Modell 1 : 10 eines frühen Walzwerks hat einen Walzenstuhl mit glatten Walzen für die Blechherstellung sowie zwei Walzenstühle mit profilierten Walzen für die Erzeugung von Formeisen. Über ein Zahnradgetriebe werden beide Walzenlinien von einem (im Modell nicht gebauten) Wasserrad angetrieben. Die Profilwalzen verfügen zusätzlich über ein grosses Schwungrad. Technisches Museum Wien, Inv. Nr. 9778.

Forges, 5 Section, Fenderie Machine pour Profiler les plattes Bandes et le Plan des Taillans et des Espartars. Recueil de Planches sur les Sciences, les Arts Libéraux et les Arts Mécaniques. Paris 1773, Planche 137.

Die Techniken des Druck- und Zugdruckumformens

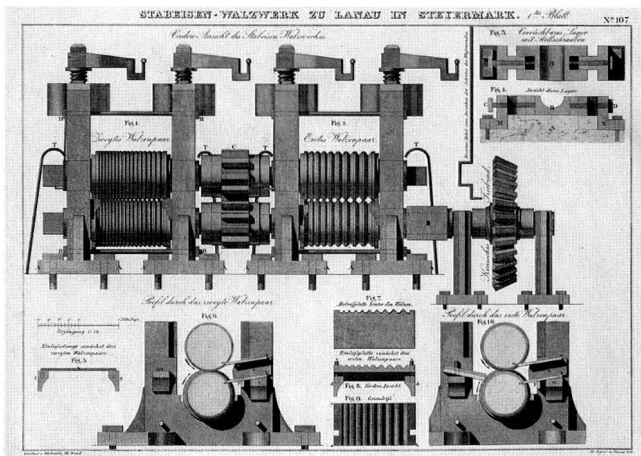
Beim Walzen wird das Metall zwischen rotierenden Zylindern verformt. Das zu walzende Metall wird dabei von den sich gegenläufig drehenden Walzen erfasst und mit den auf das Walzgut ausgeübten Reibungskräften in den Walzspalt hineingezogen. «Die Unterwalze vertritt beim Walzen die Stelle des Amboß, die Oberwalze diejenige des Hammers oder der Preßplatte»,¹ so ein Vergleich Ledeburs mit der Schmiedearbeit. Durch die trichterförmige Verengung des Walzspalts und den Druck der Walzen wird der Querschnitt des Walzguts verringert und seine Länge vergrößert. Für grosse Querschnittsänderungen wird Stahl auf eine Walzhitze von 800 bis 1150 °C erwärmt.

Grundsätzlich wird zwischen dem Walzen von Halbzeug (Vorbramme und -block, Knüppel, Platine) und von Fertigerzeugnissen unterschieden. Die Halbzeuge zum Walzen kommen heute vorwiegend aus Strangguss-Anlagen. Das Walzen der Fertigerzeugnisse aus den erwärmten Halbzeugen teilt sich in die Flachprodukte (Bleche und Bänder) und

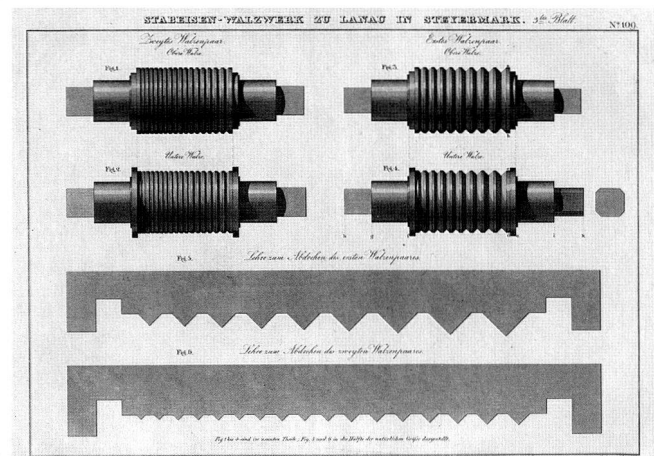
in die Langprodukte oder Profile (Träger, Schienen, Draht, Rohre).²

Zur Herstellung grosser Mengen von Langprodukten mit geometrisch geformten Querschnitten sind in den Walzen die Konturen konzentrisch eingedreht. Die Festlegung der Umformstufen, also die Anzahl der «Stiche» vom Rohblock zum Endprodukt, erfolgt durch das Kalibrieren. Ziel ist die Herstellung eines massgenauen, fehlerfreien Walzprodukts mit möglichst wenigen «Stichen» und geringem Walzenverschleiss. Pro «Stich» ist jeweils nur eine bestimmte Änderung in der Höhe und Breite möglich, ohne das Gefüge des Walzguts zu zerstören.³

Auf das Warmwalzen folgte in vielen Fällen, vor allem bei der Herstellung von Blechen für Konsumgüter, das Kaltwalzen zu Feinblech. Es ermöglicht Massgenauigkeit und hohe Oberflächenqualitäten; Voraussetzung dafür sind fehlerfrei gegossene oder geschmiedete Walzen. Kaltgewalztes Feinblech erhält zumeist noch eine metallische und/oder organische Oberflächenbeschichtung gegen Korrosion. Dazu



Zweigerüstiges Stabeisen-Walzwerk Lanau bei Neuberg (Steiermark). Gerstner Franz Joseph von: Kupfertafeln zum Handbuche der Mechanik. Prag 1831, Nr. 107.



Zwei Profilwalzenpaare und die dazugehörigen Lehren zum Abdrehen (Kalibrieren) der Walzen des Stabeisen-Walzwerks Lanau bei Neuberg (Steiermark). Gerstner Franz Joseph von: Kupfertafeln zum Handbuche der Mechanik. Prag 1831, Nr. 109.

zählen u.a. verzinkte und kunststoffbeschichtete Bleche für die Haushaltsgeräte- und Automobilindustrie.

Anfänge und Vorteile⁴

Seit dem Mittelalter konnten weichere Metalle wie Gold, Silber, Zink, Zinn, Messing oder Blei zu dünnen Streifen kalt gewalzt werden. Anwendungen fand das Walzen bei der Münzprägung oder zur Herstellung von Fensterblei und von Orgelpfeifen.⁵ Ein auf diese Traditionen verweisendes, eingerüstiges Zinkblechwalzwerk aus der Mitte des 19. Jahrhunderts, angetrieben von einem unterschlächtigen Wasserrad, zeigt das Westfälische Freilichtmuseum Technischer Kulturdenkmale in Hagen.⁶

Im Laufe des 18. Jahrhunderts gelang auch das Walzen von weichem Schmiedeeisen, allerdings im warmen Zustand.⁷ Die Vorteile gegenüber dem Schmieden waren beeindruckend: Ein Walzwerk ersetzte 10 bis 12 Hammerwerke.

Die weitgehende Ablösung von Hammerwerken durch Walzwerke ist ein Beispiel für die von Historikern diskutierte Anwendung des Rotationsprinzips an Stelle der Hin- und Herbewegung.⁸

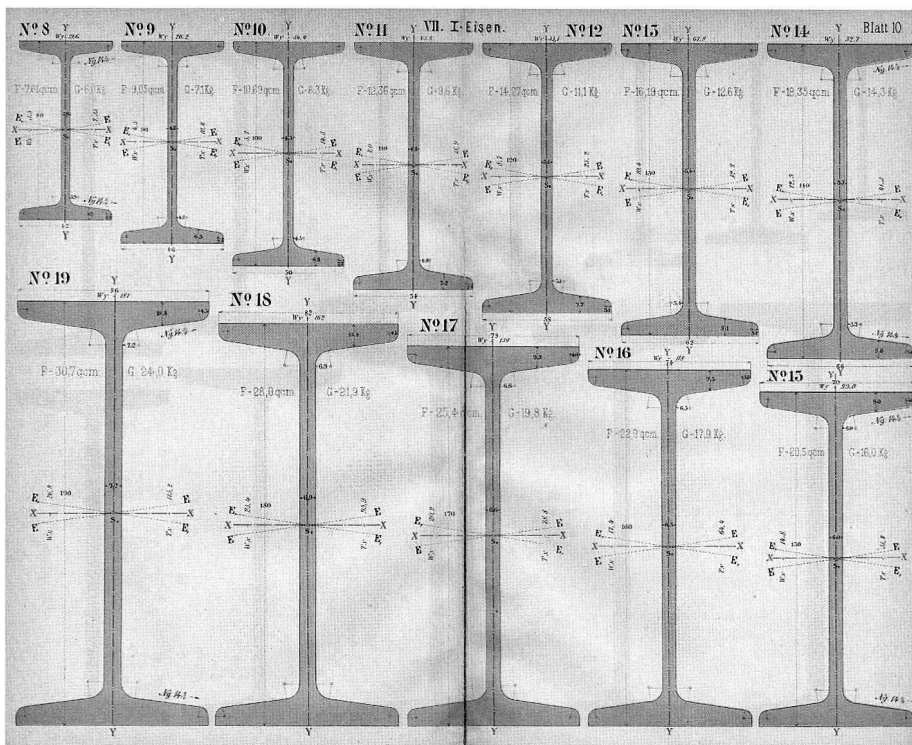
Walzwerke ermöglichten also die Erzeugung grosser Mengen in kürzerer Zeit und in immer gleicher Qualität: «Nur mit Walzwerken ist man in der Lage, Hunderte von Centnern einer Ware in ganz gleichen Dimensionen und in kurzer Zeit herzustellen»,⁹ beschreibt Peter Tunner 1839 die Vorteile des Walzens für die Massenproduktion. Ein Walzwerk mit 12 Beschäftigten und einer Antriebskraft von 20 PS erzeugte dasselbe Tagwerk wie 10 bis 12 Hammerwerke mit insgesamt 36 Beschäftigten und 80 PS.¹⁰

Auf den entscheidenden Qualitätsvorteil bei gleichzei-

tiger Massenproduktion verwies 1823 der Österreicher Stephan von Keeß: «... gewalztes Schwarzblech ... behauptet vor dem geschlagenen in Ansehung der gleichförmigen Dicke, Höhe und Breite große Vorzüge.»¹¹ Deshalb, so bereits lange vor Keeß der Schwede Sven Rinman, übertrifft «kein Blech in Schönheit und Politur [...], welches blos durch Walzwerk bereitet ist.»¹²

Am Ende seiner Beschreibung des ärarischen Walzwerks Lanau bei Neuberg (Steiermark) fasste 1831 der Direktor des k.k. polytechnischen Instituts in Prag und Professor für Mechanik Franz Joseph von Gerstner «die Vortheile des Walzwerkes gegen die früher bestandenen Streckhämmer» in drei Punkten zusammen: «1. Die Ersparung an Brennmaterial [...]. 2. Im Walzwerke können weit minder geschickte Leute ... verwendet werden [...]. 3. Mit einem Streckwalzwerk können ... ganz außerordentliche Leistungen bewirkt werden.»¹³

Auch wenn das industrialisierte Walzen seinen Anfang in England nahm, kennen wir sehr frühe Nachrichten aus dem 18. Jahrhundert aus Frankreich und Schweden. Die Französische Enzyklopädie¹⁴ beschreibt unter dem Stichwort «Forges» (Schmieden) und zeigt in den Tafelbänden in den 1760er Jahren verschiedene Walzwerke. U.a. eine Walzmühle mit Pferdegepöl zur Münzprägung, ein Bleiplattenwalzwerk mit Wasserrad, ein Walz- und Schneidwerk zur Umformung von Eisenbarren in Stangen bzw. Stäben sowie ein bereits modern anmutendes Walzgerüst zur Walzung von Eisenprofilen. «Zur Erleichterung und Abkürzung vieler Arbeiten, hat man in Schweden», berichtet 1777 die Oeconomische Encyclopädie von Krünitz, «besondere Walzwerke angelegt, welche durch das Wasser getrieben werden. Ein solches Walzwerk geht so geschwind, daß es 10 bis 20, und, nach



Normalprofile für I-Träger,
Nr. 8–15, Höhe 8 cm bis 15 cm.
Heinzerling, Intze (wie Anm. 55),
Blatt 10.

Beschaffenheit des Wassertriebes, wohl noch mehr Stangen Bändeisen zu Tonnenbändern und allerley Beschlägen, in eben der Zeit pressen kann, in welcher der Kneiphammer nur Eine ausreckt.»¹⁵ Von solchen Walzwerken berichteten zuvor bereits die Schweden Christoph Polhem (1761)¹⁶ und Sven Rinman (1776 und 1790)¹⁷, und Emanuel Swedenborg (1734) bringt davon einen Kupferstich.¹⁸ Die Vorteile des Walzens blieben auf dieser Energiegrundlage bis zur Mitte des 19. Jahrhunderts allerdings von den Launen der Natur abhängig.¹⁹

Über Verwendung von Walzwerken in England berichtete 1777 einer der vielen deutschen Englandreisenden, Friedrich Wilhelm von Taube: «Eine der nützlichsten Maschinen ist die Streckmühle (Flattning Mill), mit welcher man durch zwei Walzen oder Cylinder, Silber, Meßing, Tomback, Kupfer, Zinn, ja sogar Eisen ohne Hammer in Blech verwandelt.»²⁰

Das Puddel- und Walzwerk

Der eigentliche Beginn der Anwendung des Walzens als Formgebungstechnik in der Eisen- und Stahlindustrie geht parallel mit dem Beginn des Puddelns zur Schmiedeeisen- und Stahlerzeugung. Das vom Engländer Henry Cort 1784 patentierte neue Verfahren ermöglichte erstmals in kürzerer Zeit die Erzeugung grösserer Mengen als Voraussetzung etwa für das Auswalzen von Eisenbahnschienen. Neue Techniken der Stahlerzeugung (Puddeln) und der Formgebung

(Walzen) schufen die technische Basis, die gesellschaftliche Nachfrage nach beschleunigtem Verkehr gab zu Beginn des 19. Jahrhunderts den eigentlichen Anstoss zum Bau der Eisenbahnen, einem Leitsektor der Industrialisierung.

Puddeln und Walzen, also «Feuer und Maschinerie», waren bereits für Henry Cort eine Einheit: «... diese Art der Verarbeitung jeder Eisensorte, in Weiß- oder Schweißglut, mit gefurchten Walzen, ist ganz und gar meine Erfindung.»²¹ Die «gefurchten Walzen» hatte sich Cort 1783 patentieren lassen, obwohl ihm sein Landsmann John Purnell 1753 damit vorausgegangen war. Damit markiert das Puddel- und Walzwerk zwar den Beginn der Industrialisierung, der weitgehend auf Erfahrung beruhende, mehrstufige, aufwendige Prozess stiess jedoch bald an seine Kapazitätsgrenzen. Da eine Puddelluppe mit rund 50 kg beschränkt war, ermöglichte erst das mehrmalige Paketieren, Schweißen und Auswalzen der Stäbe oder Platten die Erzeugung längerer und schwererer Schienen. Zusätzlich konnte durch deren Anordnung die Qualität im Querschnitt beeinflusst werden, indem für die Kopfplatte die besten Qualitäten Puddelstahl Verwendung fanden.²²

Zum System des in England entstandenen und weiterentwickelten Puddel- und Walzwerks gehörte nicht mehr das Wasserrad, sondern die (liegende) Dampfmaschine als Antriebsenergie. Philipp Andreas Nemnich besuchte 1807 u.a. die Bradley Iron Works von John Wilkinson. Hier wurden «die gedachten Lumps erst durch ungeheure, und von einer Dampfmaschine getriebene Walzen (The Rolls)» in Form

gebracht.²³ Für mehr als ein Jahrhundert war damit der Grundtypus des Dampfwalzwerks ausgebildet.

Englandreisende verbreiteten die Kenntnis über die neuen Puddel- und Walzwerke am Kontinent, wo um 1800 bald die ersten Werke entstanden.

Für Deutschland und Österreich berichtet früh Zedlers Universal-Lexicon 1747 über das Walzen. Die Notiz bezieht sich jedoch auf die Anwendung von Walzwerken im Zusammenhang mit der Münzprägung und auf den tierischen Antrieb mittels Pferdegepöpel: «Waltzen, sind in der Müntze von Stahl bey den Druckwercken, wodurch die Silberzaine gezogen, und durch die Pferde umgetrieben werden.»²⁴

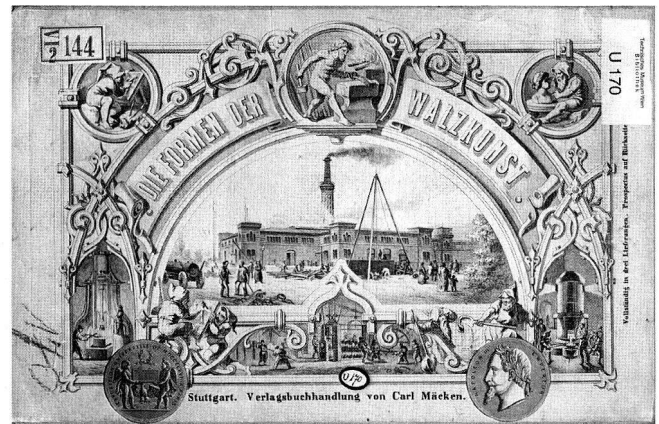
Wenige Jahre später (1753) berichten bergamtliche Quellen in der Steiermark im Zusammenhang mit der «Steinkohlen»-Anwendung über die gescheiterten Versuche der Anwendung eines Walzwerks im Hammerwerk Trieben (Steiermark) des im Montanwesen besonders engagierten obersteirischen Benediktinerstiftes Admont: «Herr Prälatz zu Admont hatte ehedessen in seinem Hammer zu Trieben eine Druckmühle, wo mann Eisen Blech zwischen zwey Walzen auß zu trücken vor hatte, ein solches aber wider rückstellen musste, weilen wegen des oftmahligen Verbruchs deren Walzen und anderen machinen viel Unkosten und Teyerungen unterliefen, das es nicht à Conto tounirete.» Die Versuche scheiterten, «weillen der Steyerische Eißen soviel Stahel haltig mithin so fest gewesen, daß alles darueber zu Grund gehen muessen, und die Blech selbste ehedem geberset waren.»²⁵

Nach solchen gescheiterten Versuchen nahmen Heinrich Wilhelm und Carl Wilhelm Remy in den 1770er Jahren das erste Blechwalzwerk Deutschlands am Rasselstein in Neuwied und Max Thaddäus Graf Egger 1793 in Lippitzbach (Kärnten) das erste in Österreich in Betrieb.²⁶ Zur selben Zeit hatte noch Schlözer's Staats-Anzeiger von «neue[n] und außer England unbekante[n] Einrichtungen von Walzwerken» geschrieben.²⁷

Die Herstellung der Walzen

Die Quelle aus dem Jahr 1753 verweist auch auf das Problem der Herstellung und Qualität der Walzen als Voraussetzung für die erfolgreiche Anwendung der neuen Technik. Im Falle von Admont kamen die damals gusseisernen Walzen aus Lüttich, da der Berichterstatter Spreitzer gute Kontakte in die Niederlande hatte. 20 Jahre später lieferte das Gusswerk Mariazell in der Steiermark solche Walzen für Thomas Lightowlers Messingwalzwerk in Wien. Die besten Walzen erzeugte damals das Gusswerk im böhmischen Hořowitz. Es gehörte aber nach Sven Rinmann immer noch zu den «schwersten Dingen ... vollkommen gute Walzen zu bekommen»²⁸.

In den 1840er Jahren bezog das Kärntner Puddel- und



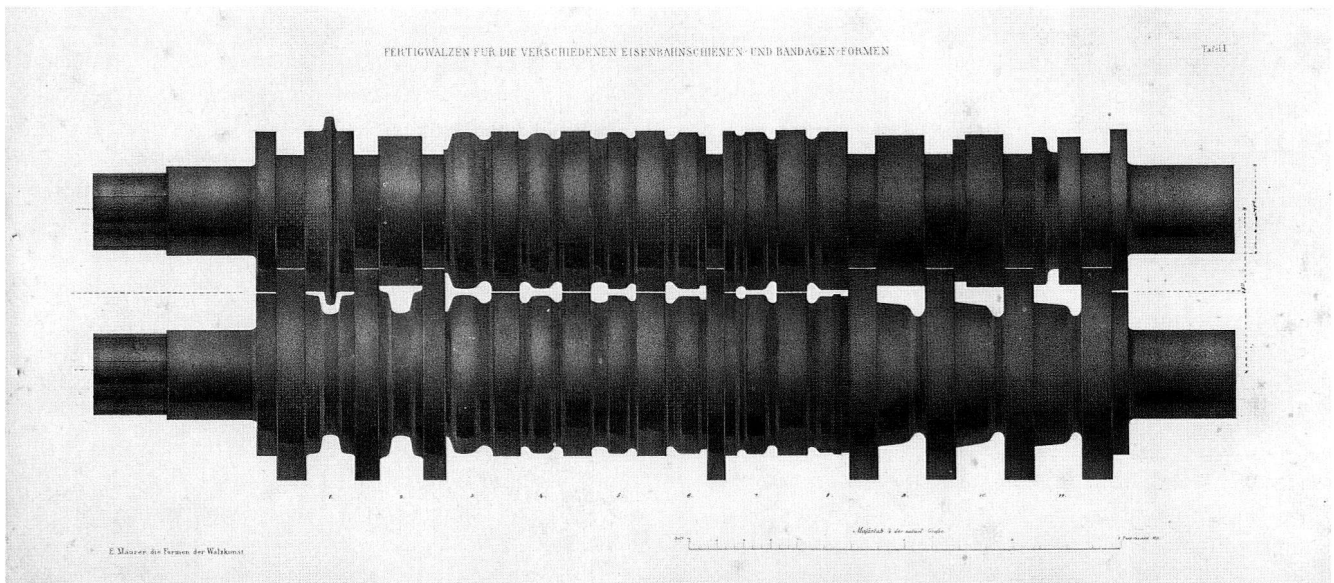
Mäurer, Eduard: Acht- und sechzig Tafeln zu: Die Formen der Walzkunst und das Façoneisen. Ein Hilfs- und Musterbuch für die Praxis der gesamten Eisenbranche, historisch, technisch und statistisch dargestellt. Stuttgart 1865.

Walzwerk Lippitzbach seine Hartwalzen aus England und aus Gleiwitz. Die Kaliber zum Profilwalzen wurden vor Ort eingedreht.²⁹ In diesen Jahren wurde angesichts der Walzenimporte, auf die auch Peter Tunner kritisch hingewiesen hatte,³⁰ der innerösterreichische Industrieverein aktiv und schrieb, so wie einige Jahre vorher das Königreich Preussen, einen Preis zur Erzeugung «dauerhafter Walzen» im Inland aus.³¹

Gegossene und geschmiedete glatte und kalibrierte Walzen werden auf Walzendrehbänken abgedreht, geschliffen und poliert.³² Da dies direkt die Qualität der gewalzten Produkte beeinflusst, handelt es sich um hohe Anforderungen an die Präzision. Die stark beanspruchten Walzen mussten auch während der Arbeit «von Zeit zu Zeit» abgedreht werden, wenn sie «rauh und uneben geworden sind»³³. Und damit die Walzen «nicht zu heiß werden», wurden sie wiederholt mit Leinöl übergossen.³⁴ Übergrosse Beanspruchung oder Materialfehler können zum Bruch von Walzen führen. In solchen Fällen oder bei Änderung des Walzprogramms werden die Walzen eines Gerüsts mittels Walzenwechsel-Maschinen getauscht.

Walzwerksarbeit³⁵

Puddel- und Walzmeister zählten zu den höchstbezahlten Arbeitskräften der Hüttenindustrie. Beide Prozesse hingen wesentlich von deren Erfahrungswissen ab. Die Arbeit im Walzwerk gehörte allerdings zu den gefährlichsten überhaupt. Ständige Unfallgefahren bestanden bei der Manipulation mit dem rotglühenden Walzgut in Verbindung mit den rasch laufenden Walzen und Zahnrädern im Walzgerüst, vor allem bis zur Einführung mechanischer Walzwerksarmaturen, wie alle Einrichtungen zum Transport des Walzgutes, wie Rollgänge, Walztische, Wippen und Ein- und Ausfüh-



Fertigwalzen für die verschiedenen Eisenbahnschienen- und Bandagen-Formen.

Mäurer, Eduard: Acht- und sechzig Tafeln zu: Die Formen der Walzkunst und das Façoneisen. Ein Hilfs- und Musterbuch für die Praxis der gesamten Eisenbranche, historisch, technisch und statistisch dargestellt. Stuttgart 1865, Tafel I.

runghunde (Führungen) sowie Kantvorrichtungen genannt werden: Die auf Walzhitze erwärmten Grobeisenstücke werden, so Franz Joseph von Gerstner um 1830, «mit der Zange ergriffen und vor dem Vorwalzer auf der Einlaßseite zwischen die größten Kaliber eingelassen, von dem auf der entgegengesetzten Seite stehenden Arbeiter, welcher sie mit einer zweiten Zange ergriffen und über die Walzen dem Vorwalzer zugereicht, welche sie mit seiner Zange sogleich wieder ergreift, und durch das nächste kleinere Kaliber gehen lässt»³⁶. Mit jedem «Stich» beschleunigte sich der Vorgang und wurde gefährlicher. Das betraf vor allem das Drahtwalzen.

Um 1900 fasste der Berliner Arzt Theodor Sommerfeld die ausserordentlichen Ansprüche an die Walzwerksarbeit aus arbeitsmedizinischer Sicht zusammen: «Die Thätigkeit an Walzwerken erfordert große Umsicht und Geschicklichkeit und nur durch die Verwendung umfangreicher Schutzvorrichtungen an den Antriebsmaschinen, den Kammwalzen und Walzenkupplungen, sowie der grössten Aufmerksamkeit und Schulung des Arbeiters gelingt es, die Zahl der Unfälle auf ein bescheidenes Mass herabzumindern. Neben der Unfallgefahr kommen die körperliche Anstrengung beim Einführen und Hinüberziehen des Walzgutes und die intensive dem letzteren entstrahlende Hitze in Betracht.»³⁷

Technische Basisinnovationen

Reversierwalzwerke und elektrischer Antrieb

Einfache Walzgerüste bestehen aus zwei Arbeitswalzen.

Ist grosser Walzdruck, z.B. beim Walzen von Brammen- und Panzerplatten oder beim Kaltwalzen, gefordert, so kommen Quartogerüste mit zwei zusätzlichen Stützwalzen zur Anwendung. Musste anfänglich nach einem Walzvorgang das Walzgut über das Gerüst zurückgereicht werden, ordnete man in der Folge mehrere Gerüste nebeneinander an. Triogerüste mit drei Walzen übereinander ermöglichten bereits das Hin- und Herwalzen ohne Reversierbetrieb. Beim Lauth'schen Triogerüst, entwickelt 1864 und benannt nach dem belgischen Ingenieur Bernhard Lauth, sind Ober- und Unterwalze angetrieben und – bei Blechwalzwerken – die kleinere Mittelwalze (Schleppwalze) höhenverstellbar.³⁸

Erst die Einführung der dampf- und später elektrisch betriebenen Umkehr- bzw. Reversierwalzgerüste beschleunigte den Walzvorgang, der jedoch weiterhin, bis zur grosstechnischen Reife des Dünnbrammengiessens und Giesswalzens («Endless Strip Production»), ein diskontinuierlicher Prozess blieb. Die Konstruktion der seit der Mitte des 19. Jahrhunderts gebauten dampfbetriebenen Reversierwalzwerke orientierte sich am Vorbild der Dampflokomotive. Allerdings waren bei jedem Richtungswechsel bei hohen Geschwindigkeiten grosse Widerstände, verbunden mit hohen Energieverlusten, zu überwinden.³⁹ «Reversiermaschinen gewöhnlicher Bauart ... stehen als Dampfresser wohl an der Spitze aller Dampfmaschinen.»⁴⁰ In Neuberg in der Steiermark erreichte die Österreichisch-Alpine Montangesellschaft Ende der 1880er Jahre mit der von Ing. Otto H. Mueller geplanten Aufstellung einer Kondensation und dem Umbau in eine Compoundmaschine einige Erfolge.⁴¹

Gerade beim energieaufwendigen Walzwerksantrieb erwies sich die Anwendung der Elektrizität nach 1900 als langfristiger Problemlöser. Für eine verlustarme Drehzahlregelung und die Reversierbarkeit kamen nur Gleichstrommotoren in Frage. Die technischen Voraussetzungen dafür lieferte um 1900 der Amerikaner Ward Leonard. Sein Antrieb bestand aus einem Drehstrommotor – nur Drehstrom war über grössere Strecken transportierbar –, der einen Steuergenerator treibt. Dieser liefert die Spannung für den Gleichstrom-Antriebsmotor, dessen Drehzahl und -richtung veränderbar sind. Damit wird das Walzwerk stufenlos regulier- und umkehrbar. Der Österreicher Carl Ilgner ergänzte den Generator mit einem Schwungrad, um Belastungsschwankungen des Netzes und Stösse des Walzwerks abzufangen.⁴² Erste elektrische Reversierwalzwerke standen 1906 in der Hildegardhütte in Trzynietz/Třinec (Tschechien), in der Georgsmarienhütte (Niedersachsen) und bei der Witkowitz Bergbau- und Eisenhütten-Gesellschaft in Witkowitz/Vitkovic (Tschechien).⁴³ Ein Vorführmodell im Massstab 1:10 des Witkowitz Duo-Blockwalzwerks mit acht «Stichen» für Quadrateisen befindet sich im Technischen Museum Wien.⁴⁴

Etwa gleichzeitig mit der Elektrifizierung der Walzwerke erfolgte die Aufstellung der ersten elektrischen Gleichstromfördermaschinen im Bergbau. Die heute in der Zentrale des Westfälischen Industriemuseums in der Zeche II/IV in Dortmund wieder in Funktion zu sehende Anlage wurde 1902 auf der Düsseldorfer Industrie- und Gewerbeausstellung präsentiert, bevor sie in die Maschinenhalle der Zeche kam.⁴⁵

Genormte Profile

Henry Cort hatte sich bereits 1783 in Kombination mit dem Puddelverfahren «gefurchte Walzen» patentieren lassen. Abgesehen von der Herstellung verschieden geformter Stabeisen stellte die Erzeugung von Eisenbahnschienen die grösste Herausforderung für die frühen Puddel- und Walzwerke dar.

Die Herstellung von Profileisen begann im frühen 19. Jahrhundert mit dem Walzen von Eisenbahnschienen und von Trägern für den Hoch- und Brückenbau. Das Walzen dieser profilierten Langprodukte (Formstahl) bedingt Walzen mit eingeschnittenen Profilen («Kalibern») zur genau abgestimmten Querschnittsänderung: «... sämtliche Kaliber bilden eine Reihe mit allmählichen Übergängen sowohl der Querschnittsgröße als Querschnittsform», und Ledebur weiter: «Beim Entwerfen der Kaliber ist nun vor allem der Umstand in Rücksicht zu ziehen, daß die Abnahme des Querschnitts nur in der Höhenrichtung, niemals in der Breite stattfinden kann.»⁴⁶ Dieses «Kalibrieren», bzw. die Wahl des geeigneten Abnahmekoeffizienten, galt im 19. Jahrhundert als «Geheimkunst ... wie die Kunst der Goldgewinnung in den Laboratorien der Alchemisten.»⁴⁷ Darauf Bezug nehmend nannte Eduard Mäurer vom Lendersdorfer Walzwerk der

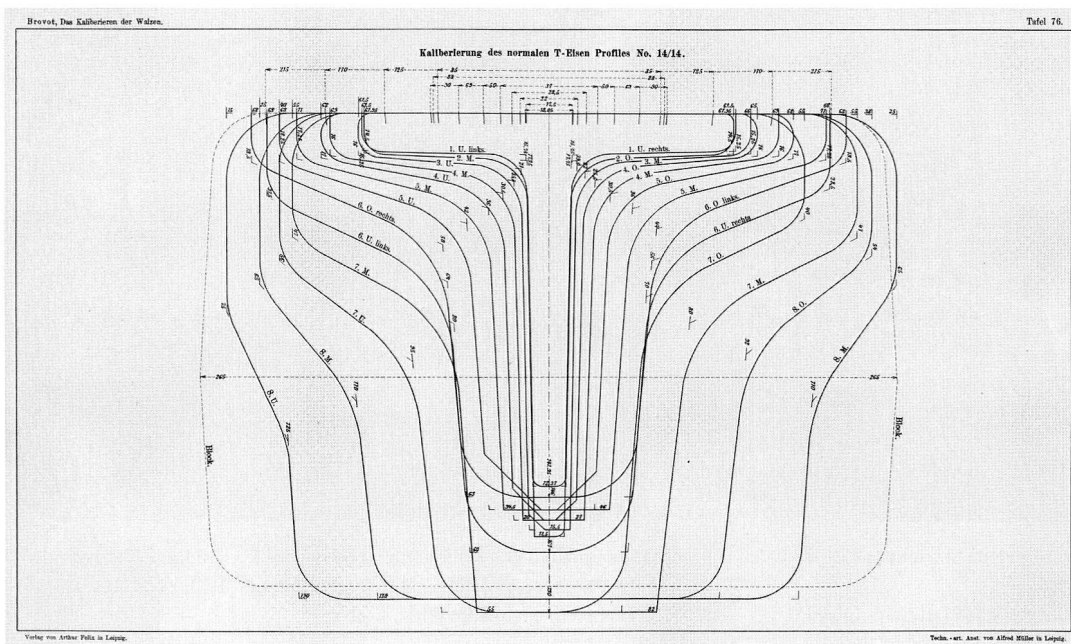
Familie Hoesch bei Düren 1865 sein Buch «Die Formen der Walzkunst».⁴⁸ Im Tafelband stellte Mäurer die gleichartigen Profile verschiedener Walzwerke zum Vergleich gegenüber und konnte sogar einen «nationalen Konstruktionsgeschmack» feststellen.⁴⁹ Kurz danach äusserte sich Peter Tunner in seiner einschlägigen Publikation zum Thema sehr abfällig über Mäurer: «... allein eine Belehrung über Walzenkaliberirung findet sich darin nicht, denn ausser einigen idealen Zeichnungen von in Wirklichkeit nie vorkommenden kalibrierten Walzen sind darin blos verschiedene Façoneisen in natürlicher Grösse dargestellt.»⁵⁰ Mäurer hatte in idealtypischer Weise unterschiedlichste Kaliber auf einer Walze zeichnerisch dargestellt.

Erst mit der Normierung der Querschnitte wurde das Kalibrieren berechenbar.⁵¹

Zu den zuerst genormten Profilen gehörte die Eisenbahnschiene.⁵² Nach gusseisernen Flachschielen und gewalzten Winkelschienen setzte sich schliesslich die um 1830 vom Amerikaner Robert L. Stevens vorgestellte und später vom Engländer Charles Vignoles verbesserte Breitflussschiene aus Puddel- und seit den 1860er Jahren aus Bessemerstahl durch. Um 1850 existierten bei den sechs österreichischen Eisenbahngesellschaften noch neun verschiedene Schienenprofile.⁵³

Das Kalibrieren beruhte nach Peter Tunner damals weniger auf Theorie als auf Erfahrung, und daher gab es bisher wenige Veröffentlichungen. Tunner war 1867 überzeugt, mit seiner Publikation über die «Walzenkaliberirung» mit vielen Planzeichnungen theoretisches und praktisches Wissen vereint zu haben. U.a. beschrieb er den Prozess der Schienenwalzung im Puddel- und Walzwerk Prävali/Prevalje (Slowenien). Um aus den im Querschnitt 21x18 cm grossen Bessemer-Vorblöcken eine 11,5 cm hohe Breitflussschiene auszuwalzen, waren insgesamt 20 «Stiche» durch 15 verschiedene Kaliber auf drei Walzgerüsten notwendig. August von Rosthorn lieferte 1837 mit seinem Puddel- und Walzwerk Prävali die ersten Schienen für die Kaiser Ferdinands Nordbahn in Wien, und in Deutschland walzte Remy am Rasselstein 1835 die ersten Schienen für die Eisenbahn Nürnberg-Fürth.⁵⁴

Nach der Walzung von L- und T-Eisen seit 1839/40 entwickelte sich seit der Mitte des 19. Jahrhunderts das Doppel-T- oder I-Eisen zum mit Abstand wichtigsten Konstruktionsmaterial. Angesichts immer noch je nach Hersteller unterschiedlicher Profile von Winkeleisen, Belageisen, U-Eisen, I-Eisen, Z-Eisen, T-Eisen publizierten die beiden Professoren der Technischen Hochschule Aachen F. Heinzerling und O. Intze im Auftrag des Verbandes deutscher Architekten- und Ingenieur-Vereine und des Vereins deutscher Ingenieure die «Deutschen Normalprofile» als Ergebnisse einer 1879/80 eingerichteten Kommission.⁵⁵ Der österreichische Ingenieur- und Architekten-Verein hatte bereits 1865 die gebräuch-



Kalibrierung des normalen T-Eisen Profiles No. 14/14.

Alb. Brovot: Das Kalibrieren der Walzen. Eine vollständige Sammlung von Kalibrierungs-Beispielen systematisch geordnet und erläutert. Als Lehrgang für den angehenden, sowie als Nachschlagbuch für den ausübenden Kalibrierer. Leipzig 1902, Lieferung 2, Tafel 76.

lichsten Typen der I-Träger im Hinblick auf ihre «Anwendung im Baufache» vereinheitlicht.⁵⁶

Universalwalzwerke

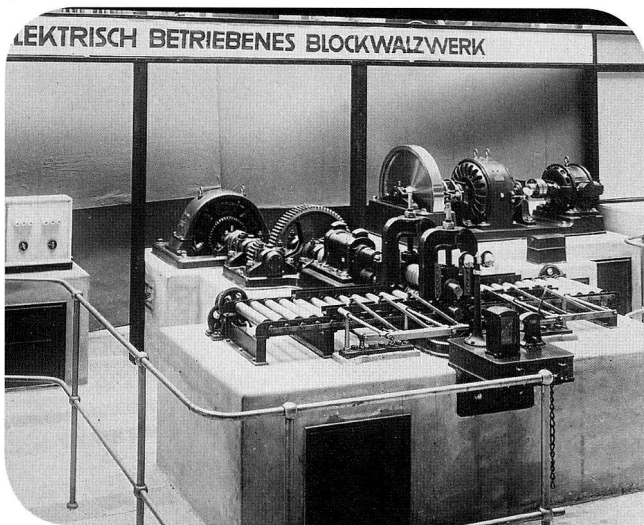
Universal-Walzgerüste verfügen über ein verstellbares horizontales und ein vertikales Walzenpaar (Stechwalzen) zur Herstellung von Bandeisen mit glatten Kanten, auch Universaleisen genannt, Blöcke rechteckigen Querschnitts und Breit- und Parallelflanschträger. Ein erstes Universalwalzwerk baute 1848 Reiner Daelen in der «Hermannshütte» in Hörde bei Dortmund.⁵⁷

Auf der Basis des Dael'schen Universalwalzwerks gelang 1901 dem anglo-amerikanischen Ingenieur Henry Grey auf der Differdinger Hütte (Luxemburg) mit der Walzung von breitflanschigen I-Trägern eine wichtige technische Innovation. Das Greyträger-Walzverfahren ermöglichte die Herstellung von Trägern grosser Höhe bei gleichzeitig minimaler Stegdicke. Das erste Gerüst, ein Universal-Walzgerüst, besteht aus einem Paar horizontaler und einem Paar vertikaler Walzen, das zweite Gerüst nur aus zwei horizontalen Walzen.⁵⁸

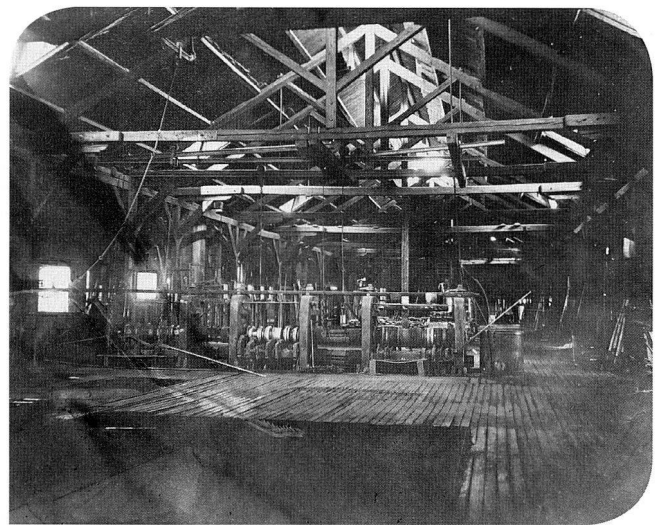
Kontinuierliche Walzwerke

Mehrere hintereinander angeordnete Walzgerüste bilden eine Walzenstrasse, bei der das Walzgut gleichzeitig – kontinuierlich – in diesen verformt wird. Der Antrieb erfolgte zunächst mit Dampfmaschinen, seit dem frühen 20. Jahrhundert mit Elektromotoren.

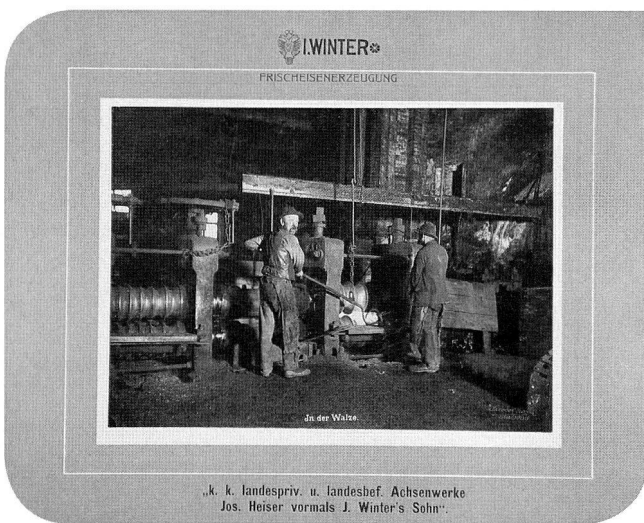
Der Bau von Universal- und kontinuierlichen Walzwerken und die nach 1900 folgende Elektrifizierung von Walzwerken, also technische Rationalisierungs-Investitionen, erfolgten auch als Reaktion auf Facharbeitermangel, auf angeblich hohes Lohnniveau sowie aus Angst der Unternehmer vor Streik und passiver Resistenz, obwohl «die Anlagkosten bedeutende waren»⁵⁹. Nach der Anordnung der Walzgerüste in einer Linie nebeneinander und der Reversierbarkeit bedeutete die Aneinanderreihung mehrerer Walzgerüste in einer Linie hintereinander einen grossen Rationalisierungsfortschritt mit der Erzeugung grösserer Mengen in kürzerer Zeit sowie mit weniger und angelernten Beschäftigten: «Der Walzarbeiter ist jetzt nicht mehr der «alte», der Arbeiter war aus einem gelernten zu einem angelernten geworden», so der Soziologe Hans Ehrenberg 1906.⁶⁰ Die neue Aufstellung bot sich zuerst bei der Drahtwalzung an, für die es der Engländer George Bedson in den 1860er Jahren realisierte.⁶¹ Noch vor der Jahrhundertwende gelang in den USA, wo die erwähnten Vorteile aus der Perspektive der Unternehmer auf besonderes Interesse stiessen, das Universalwalzen von Bandeisen, Knüppeln und von Feiblechen. «Nur in Amerika» waren die Voraussetzungen für die ständige Weiterentwicklung der Universalwalztechnik gegeben, erkannte schon 1913 Friedrich Bonte.⁶² Das betraf in der Zwischenkriegszeit vor allem den Bau von Universal-Warmbreitbandstrassen für die Automobilindustrie.⁶³ Eine der ersten kontinuierlichen (Feiblech-)Walzstrassen



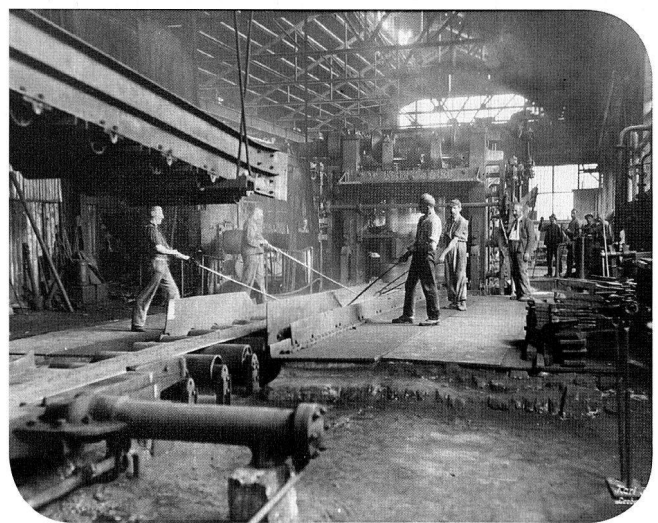
Modell 1: 10 eines der ersten elektrisch betriebenen Blockwalzwerke in Witkowitz/Vitkovice, um 1910.
Technisches Museum Wien, Inv. Nr. 9.765 (alte Aufstellung).



Innenansicht des Schienenwalzwerks der k.k. Südbahn in Graz mit drei Gerüsten und hölzernem Dachstuhl, um 1880.
Technisches Museum Wien, Archiv.



Arbeit im Blockwalzwerk, k.k. priv. Achsenwerke Jos. Heiser vorm. J. Winter's Sohn in Scheibbs (Niederösterreich), um 1900.
Technisches Museum Wien, Archiv.



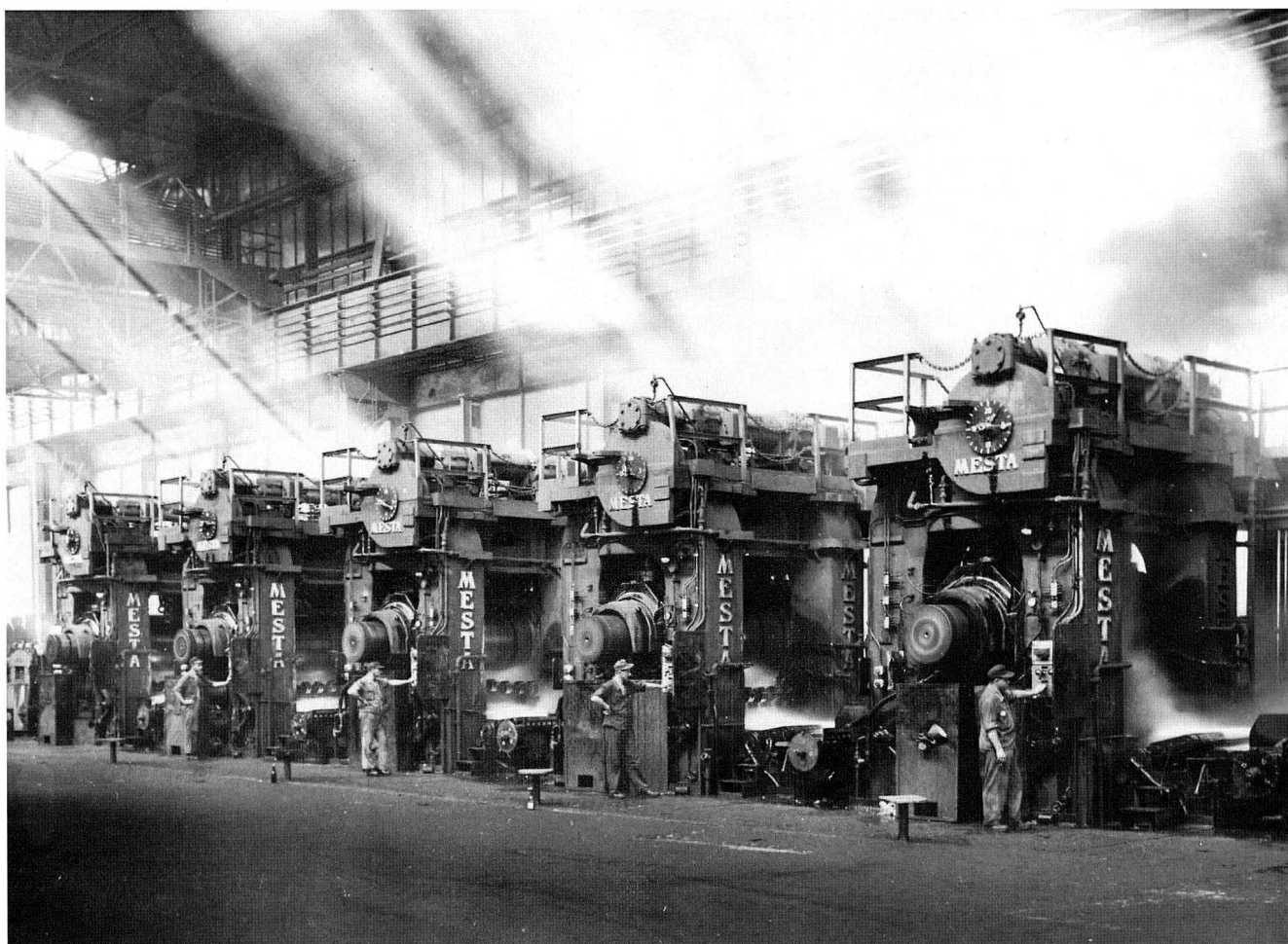
Arbeit im Trio-Universalwalzwerk der Österreichisch-Alpine Montangesellschaft in Donawitz (Steiermark), 1925.
Technisches Museum Wien, Archiv, Foto Karl Krall, Leoben.

Kontinentaleuropas nahm 1892 die Rudolfshütte in Teplitz/Teplice (Tschechien) in Betrieb.⁶⁴ Im ersten Jahrzehnt des 20. Jahrhunderts gingen die ersten Universalwalzwerke im Ruhrgebiet in Betrieb.

Sendzimir-Walzwerk

Kaltwalzgerüste können zusätzliche Stützwalzen haben. Erfordert die Verformung grossen Druck und hohe Geschwindigkeiten, dann kommt beim Kaltwalzen spezieller Blechqualitäten kleinerer Mengen, z. B. in Edelstahlwerken, das Sendzimir-Walzwerk zur Anwendung. Entwickelt in

der Zwischenkriegszeit vom polnischen Ingenieur Tadeusz Sendzimir (1894–1989),⁶⁵ üben dabei bis zu 18 Stützwalzen und -rollen den notwendigen Druck auf die kleinen Arbeitswalzen auf. Praktisch das gegenteilige Prinzip verkörpert das ebenfalls von Sendzimir entwickelte Planetenwalzwerk. Hier sind eine Vielzahl von kleinen Arbeitswalzen um die beiden grossen, angetriebenen Stützwalzen angeordnet.



Die mit ERP-Krediten 1952 in der VOEST in Linz aufgestellte fünfgerüstige, halbkontinuierliche Warmbreitbandstrasse von MESTA, Pittsburgh (USA). Geschichte-Club VOEST, Linz.

Die Technik des Zugdruckumformens: Drahtwalzen und -ziehen

Draht ist eines der wichtigsten Halbfertigprodukte. Er ist das Vormaterial für Nadeln, Nägel, Ketten, Drahtsiebe und Wollkratzen. Aus Draht werden Telegraf- und Telefonleitungen, Klaviersaiten, Schweissdrähte und Seile gefertigt. Draht für Stahlbeton muss Rippen für die Verbundwirkung erhalten. 1935 liess Rudolf Schmidt II. in Wien sein Verfahren zur Herstellung gerippten Torstahls (Baustahl) patentieren.⁶⁶ Stacheldraht besteht aus verwundenen Drähten mit Spitzen in kurzen Abständen.

Vorprodukt für das Drahtziehen ist aus quadratischen Knüppeln warmgewalzter Draht mit einem Durchmesser von 5 bis 32 mm. Der Draht verlässt dabei das letzte Gerüst der Drahtstrasse mit einer Geschwindigkeit von bis zu 300 km/h.

Wenn man den Walzdraht an beiden Enden zieht, reisst er an der schwächsten Stelle. Die Herstellung von Feindraht erfolgt daher durch Kaltziehen (Gleitziehen) mit Hilfe von

Zieheisen (Ziehstein, Ziehring) mit konischen Löchern, die eine gleichmässige Querschnittsverringering bewirken. Pro Zug kann der Draht bis zu 25 Prozent dünner werden. Da der Draht beim Ziehen hart und spröde wird, muss er nach einigen Zügen gegläht werden.

Schluss

Auch wenn in der Formgebung von Metallen das Giessen und das Schmieden die historisch weitaus ältesten Techniken waren, so konnte sich im Laufe der Industrialisierung seit dem Ende des 18. Jahrhunderts, ausgehend von England, das Walzen als überlegene Technik rasch durchsetzen, insbesondere nachdem die ältere Wasserkraft durch die Dampfkraft und diese nach 1900 von der Elektrizität als Antriebskraft abgelöst wurde.

Zwei Anwendungsbereiche bestimmten in den letzten 200 Jahren die Vorrangstellung des Walzens: die Erzeugung

von Flachprodukten (Bleche) und jene von Langprodukten (Schienen, Träger, Profile). Beide Produktfamilien trugen im Laufe der Industrialisierung wesentlich zur Ausgestaltung des Brückenbaus, des Hochbaus, des Maschinenbaus, der Automobil- und Flugzeugindustrie und der Haushaltsgeräteindustrie bei, um nur die wichtigsten ausgewählten Branchen zu nennen.

Bei der Erzeugung von Blechen zeichnet sich seit einigen Jahren ein Paradigmenwechsel in Richtung kontinuierlicher Prozesstechnik ab, indem auf der Basis des Stranggießens versucht wird, aus dem flüssigen Zustand immer mehr in Richtung Blechqualitäten zu kommen. Damit, und in Folge immer höherer Anforderungen der Verarbeitungsindustrien, erhält die Kaltwalzung und Oberflächenbeschichtung von Blechen immer größere Bedeutung.

¹ A. Ledebur: Handbuch der Eisenhüttenkunde. Für den Gebrauch im Betriebe wie zur Benutzung beim Unterrichte bearbeitet. Dritte Abteilung: Das schmiedbare Eisen und seine Darstellung. Leipzig 1908, S. 121.

² Handbuch der Fertigungstechnik. Band 2/1: Umformen. Hg. von Günter Spur und Dieter Schmoeckel. München, Wien 1983, S. 138f.

³ Handbuch Fertigungstechnik (wie Anm. 2), S. 166.

⁴ Grundsätzlich zur Geschichte des Walzens noch immer: Handbuch des Eisenhüttenwesens. Walzwerkswesen. Bd. 1–3. Düsseldorf, Berlin 1929, 1934 und 1939.

⁵ Darauf verweisen u. a. Ludwig Beck: Die Geschichte des Eisens in technischer und kulturgeschichtlicher Beziehung. 2. Abteilung: Das XVI. und XVII. Jahrhundert. Braunschweig 1893/95, S. 945–955; dessen Bruder Theodor Beck: Beiträge zur

Geschichte des Maschinenbaus. Berlin 1899, S. 347 und S. 511f und Otto Johannsen: Die geschichtliche Entwicklung der Walzwerkstechnik, in: Handbuch des Eisenhüttenwesens. Walzwerkswesen. Bd. 1. Düsseldorf, Berlin 1929, S. 253–259.

⁶ Christian Kleinert; Rainer Langen: Das Zinkwalzwerk Hoesch und die Geschichte der frühen Walztechnik (Beiträge zur Technik- und Handwerksgegeschichte Westfalens 2). Hagen 1981.

⁷ Beck, Geschichte (wie Anm. 5). Dritte Abteilung: Das XVIII. Jahrhundert. Braunschweig 1897, S. 578–601, und Johannsen (wie Anm. 5), S. 259–267.

⁸ Helmut Lackner: Das »Prinzip« Walze. Ein Beitrag zur vergleichenden Technikgeschichte, in: Blätter für Technikgeschichte 51/52 (1992), S. 97–134.

⁹ Peter Tunner: Die Walzwerke als Stellvertreter der Hämmer. Grätz 1839, S. 9.

¹⁰ Tunner (wie Anm. 9), S. 13.

¹¹ Keeß, Stephan von: Darstellung des Fabriks- und Gewerbe-Wesens im Österreichischen Kaiserstaate. Wien 1820–1824, 2 Bde. in 3 Teilen, hier 2.2 (1823), S. 554 f.

¹² Sven Rinman: Anleitung zur Kentniß der gröbern Eisen- und Stahlveredlung und deren Verbesserung. Wien 1790, S. 127.

¹³ Franz Joseph von Gerstner: Handbuch der Mechanik. Bd. 3: Beschreibung und Berechnung grösserer Maschinenanlagen, vorzüglich jener, welche bey dem Bau-, Berg- und Hüttenwesen vorkommen. Wien 1834, S. 565.

¹⁴ Denis Diderot; Jean Baptist D'Alembert: Encyclopédie, ou Dictionnaire raisonné des sciences des arts et des métiers ... Paris 1751–1772, 28 Bände (davon 11 Tafelbände).

¹⁵ Johann Georg Krünitz: Oeconomische Encyclopädie, oder allgemeines System der Land-, Haus- und Staats-Wirth-

schaft, in alphabetischer Ordnung. Zehnter Theil. Berlin 1777, S. 623.

¹⁶ Christoph Polhem: Patriotisches Testament. Graz 1761.

¹⁷ Sven Rinman: Beschreibung von Walz- und Schneidewerken mit Verbesserungen. In: Der Königl. Schwedischen Akademie der Wissenschaften Abhandlungen, aus der Naturlehre, Haushaltungskunst und Mechanik, aus dem Jahr 1772. Aus dem Schwedischen übersetzt von Abraham Gotthelf Kästner 34 (1776), S. 128–151, und ders., Anleitung (wie Anm. 12), S. 127–33 und 182–199.

¹⁸ Emanuel Swedenborg: Regnum subterraneum sive minerale de ferro. Dresden, Leipzig 1734, S. 252–252, Tafel XXIXf.

¹⁹ Joachim Radkau: Technik in Deutschland. Vom 18. Jahrhundert bis zur Gegenwart. Frankfurt/Main 1989, S. 109.

²⁰ Friedrich Wilhelm von Taube: Abschilderung der Engländischen Manufacturen, Handlung, Schifffahrt und Colonien nach ihrer jetzigen Einrichtung und Beschaffenheit. Wien 1777, S. 8.

²¹ Patent von Henry Cort, Nr. 1420/1784. Zitiert nach Akos Paulinyi: Das Puddeln. Ein Kapitel aus der Geschichte des Eisens in der Industriellen Revolution (Deutsches Museum. Abhandlungen und Berichte NF 4). München 1987, S. 158–160, allg. S. 97–128.

²² Hermann Wedding: Ausführliches Handbuch der Eisenhüttenkunde. Gewinnung des Roheisens und Darstellung des schmiedbaren Eisens in praktischer und theore-

tischer Beziehung. Dritte Abtheilung: Darstellung des schmiedbaren Eisens (John Percy: Die Metallurgie. Zweiter Band: Eisenhüttenkunde. Dritte Abtheilung). Braunschweig 1874, S. 817–822.

²³ Philipp Andreas Nernich: Neueste Reise durch England, Schottland, und Ireland, hauptsächlich in Bezug auf Produkte, Fabriken, und Handlung. Tübingen 1807, S. 332.

²⁴ Heinrich Zedler: Großes vollständiges Universal-Lexicon aller Wissenschaften und Künste. Halle 1732–1754, 64 Bde., hier 52 (1747), Sp. 1880.

²⁵ Steiermärkisches Landesarchiv, Bergamt Vordernberg, VII A, Nr. 59: Amtmann P. Spreitzer, Promemoria die Stein Kohlen und deren Gebrauch, 7. Februar 1753.

²⁶ Beck (wie Anm. 7), S. 592. Zu Rasselstein vgl. Brigitte Schröder, Der Weg zur Eisenbahnschiene. Die Familie Remy, ihre wirtschaftliche und kulturelle Bedeutung in ihrer Zeit. Neustadt a. d. Aich 1986, und zu Lippitzbach vgl. Köstler Hans Jörg, Zur metallurgisch-technischen Entwicklung der Eisenwerke Lippitzbach, Feistritz im Rosental und Freudenberg an der Gurk (Kärnten) in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts. In: Volker Benad-Wagenhoff (Hg.), Industrialisierung. Begriffe und Prozesse. Festschrift Akos Paulinyi zum 65. Geburtstag. Stuttgart 1994, S. 69–93, und Helmut Lackner, »Zur Zeit ist die Eisen-Industrie unzweifelhaft der Lebensnerv des Landes«. Das Kärntner Eisenhüttenwesen

- vom Mittelalter bis ins 20. Jahrhundert. In: Grubenhunt & Ofensau. Vom Reichtum der Erde. Landesausstellung Hüttenberg/Kärnten 1995. Klagenfurt 1995, Bd. II: Beiträge, S. 293–316.
- ²⁷ Göttinger «Staats-Anzeiger» von August Ludwig Schlözer 12 (1788), Heft 45, S. 96f.
- ²⁸ Rinman (wie Anm. 17), S. 147.
- ²⁹ Universitätsbibliothek Leoben, Sign. 321 b/2, Alois Neubauer: Bericht über die Hüttenbereitung im Studienjahr 1843/44.
- ³⁰ Peter Tunner: Kurze Uebersicht der neuern Erfahrungen, Fortschritte und Verbesserungen in der Technik des innerösterreichischen Berg- und Hüttenwesens mit besonderer Berücksichtigung des Eisenwesens. In: Die steiermärkisch-ständische montanistische Lehranstalt zu Vordernberg ... Ein Jahrbuch für den innerösterreichischen Berg- und Hüttenmann II (1842), S. 125–182, hier S. 177.
- ³¹ Mittheilungen über Gegenstände der Landwirtschaft und Industrie Kärntens 2 (1845), Nr. 11, S. 88.
- ³² Johann Georg Ludolph Blumhof: Versuch einer Encyclopädie der Eisenhüttenkunde und der davon abhängenden Künste und Handwerke. Gießen 1821, Bd. 4, S. 458.
- ³³ Gerstner (wie Anm. 13), S. 558.
- ³⁴ G.F. Wille, Nachricht von den bey Holzminden befindlichen Eisenwerken. In: Johann Joachim Beckmann: Beyträge zur Oekonomie, Technologie, Polizey- und Cameral-
- wissenschaft 12 (1791), S. 169.
- ³⁵ Vgl. Michael Mende: Schmieden und Walzen: zur Industrialisierung eines Arbeitszusammenhanges. In: Technikgeschichte als Geschichte der Arbeit. Die historisch-genetische Methode in Technikunterricht und Arbeitslehre. Hg. von Ilse Schütte. Bad Salzdetfurth 1981, 229–254.
- ³⁶ Gerstner (wie Anm. 13), S. 563.
- ³⁷ Theodor Sommerfeld: Handbuch der Gewerbekrankheiten. Bd. 1. Berlin 1898, S. 350.
- ³⁸ G. Hundt: Das Walzen von Feinblechen. In: Handbuch des Eisenhüttenwesens. Walzwerkswesen. Bd. 3. Düsseldorf, Berlin 1939, S. 112.
- ³⁹ L. Erhardt: Ueber Reversirmaschinen für Walzwerke. In: Stahl und Eisen 19 (1899), S. 859–868.
- ⁴⁰ Otto H. Mueller; Kompund-Reversirmaschine des Stahlwerkes in Neuberg. In: Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure 32 (1888), Nr. 2, S. 29–31, hier S. 29.
- ⁴¹ Mueller (wie Anm. 40).
- ⁴² A. Holverscheid: Die Walzwerke. Einrichtung und Betrieb. Leipzig 1912, S. 20–25.
- ⁴³ V. Rohde: Die Entwicklung der elektrischen Walzwerksantriebe. In: Elektrotechnische Zeitschrift 1925, Heft 7/8, S. 3–15.
- ⁴⁴ Inv. Nr. 7765.
- ⁴⁵ Norbert Tempel (Hg.): Industriekultur in Dortmund (Westfälisches Industriemuseum. Kleine Reihe 4). Dortmund 1991, S. 78–83, und Dagmar Kift: »Musterzeche« Zollern II/IV. Museum für Sozial- und Kulturgeschichte des Ruhrbergbaus. Museumsführer (Westfälisches Industriemuseum. Kleine Reihe 21). Essen 1999.
- ⁴⁶ Ledebur (wie Anm. 1), S. 151 und 155.
- ⁴⁷ Wilhelm Tafel: Walzen und Walzenkalibrieren. Einführung in die Vorgänge beim Walzen und in die Arbeit des Kalibrierens. Dortmund 1921, Vorwort.
- ⁴⁸ Eduard Mäurer: Die Formen der Walkkunst und der Façoneisen, seine Geschichte, Benutzung und Fabrikation für die Praxis der gesammten Eisenbranche. Stuttgart 1865.
- ⁴⁹ Mäurer (wie Anm. 48). Tafelband, Vorwort.
- ⁵⁰ Peter Tunner: Ueber die Walzenkalibrierung für die Eisenfabrikation. Leipzig 1867, S. VI.
- ⁵¹ Tafel (wie Anm. 47). Vorwort: «In den letzten Jahrzehnten hat sich eine Änderung zugunsten der rechnerischen Methoden vollzogen.»
- ⁵² Helmut Lackner: Probleme der Metallurgie und der Walzung von Schienen zu Beginn des Eisenbahnbaus, in: The Development of Technology in Traffic and Transport Systems. Proceedings of the XIXth ICOHTEC-Symposium Wien, 1.–6. September 1991. Ed. by Hellmut Janetschek. Wien 1992, S. 103–108. Vgl. E. Winkler, Vorträge über Eisenbahnbau. Prag 1871; Alphons Petzholdt, Fabrication, Prüfung und Uebernahme von Eisenbahn-Material. Wiesbaden 1872; ders., Die Erzeugung der Eisen- und Stahlschienen (Handbuch der chemischen Technologie 8.2). Braunschweig 1874; Rud. Paulus, Material und Fabrikation der Schienen. Probiren und Abnahme der Schienen. In: Edmund Heusinger von Waldegg (Hg.): Handbuch für spezielle Eisenbahn-Technik. Erster Band: Der Eisenbahnbau. Leipzig 1873, S. 89–130, und A. Haarmann, Das Eisenbahn-Geleise. Geschichtlicher Theil. Erste Hälfte. Leipzig 1891.
- ⁵³ Die Schienen der österreichischen Eisenbahnen. In: Zeitschrift des österreichischen Ingenieur-Vereines 1849, Nr. 22, S. 193–208, hier S. 193. Einen Überblick über Schienenwalzwerke bietet: Die deutschen und österreichischen Werke zur Eisenbahnschienen-Fabrikation. In: Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens in technischer Beziehung NF 4 (1867), S. 115–118.
- ⁵⁴ Zu Prävali vgl. Hans Jörg Köstler: Die Familie von Rosthorn im Kärntner Eisenwesen des 19. Jahrhunderts mit besonderer Berücksichtigung der Werke in Prävali und in Buchscheiden. In: Carinthia I, 179 (1989), S. 289–338, und zu Raselstein vgl. Schröder (wie Anm. 24), S. 112.
- ⁵⁵ Friedrich Heinzerling; Otto Intze: Deutsches Normalprofil-Buch für Walzeisen. Aachen 1881.
- ⁵⁶ Bericht des Comités zur Feststellung von Typen für gewalzte Eisenträger und deren Anwendung im Baufache. In: Allgemeine Bauzeitung mit Abbildungen 30 (1865), S. 417–421.
- ⁵⁷ Vgl. den Beitrag von Ulrich Troitzsch.
- ⁵⁸ Vgl. den Beitrag von Jacques Maas.
- ⁵⁹ Friedrich Bonte: Ueber kontinuierliche Walzwerke. Mit besonderer Berücksichtigung ihrer geschichtlichen Entwicklung und ihrer Bedeutung für die deutsche Eisenindustrie. Diss. TH Breslau. Düsseldorf 1913, S. 7 und 44.
- ⁶⁰ Hans Ehrenberg, Die Eisenhütten- und Hüttenarbeit. Stuttgart, Berlin 1906, S. 106.
- ⁶¹ Bonte (wie Anm. 59), S. 6.
- ⁶² Bonte (wie Anm. 59), S. 7.
- ⁶³ H.A. Brassert: Erfahrungen in amerikanischen und europäischen Hüttenwerken. In: Der Vierjahresplan 3 (1939), Nr. 4, S. 375. Vgl. auch Albert Nöll: Die Weiterentwicklung im Walzwerk. In: Aus der Facharbeit auf dem Gebiete des Eisenhüttenwesens in den Jahren 1939–1943. Auswahl von vertraulichen Berichten des Vereines deutscher Eisenhüttenleute. Düsseldorf 1953, S. 102–109, hier S. 104.
- ⁶⁴ Konrad Hofmann: Die moderne Blecherzeugung. In: Der Vierjahresplan 3 (1939), Nr. 15, S. 921.
- ⁶⁵ www.sendzimir.org.pl/tadeusz.html (zuletzt eingesehen 31.10.2006).
- ⁶⁶ Hans Reiffenstuhl: Torstahl – ein Welterfolg. Zur hundertsten Wiederkehr des Geburtstages von Rudolf Schmidt II., dem Erfinder des Torstahls, in: Blätter für Technikgeschichte 55 (1993), S. 89–99.