

Heinrich G. Bauer  
Wolfgang Schadt *Hrsg.*

# Walzen von Flachprodukten

---

# Walzen von Flachprodukten

---

Heinrich G. Bauer · Wolfgang Schadt  
(Hrsg.)

# Walzen von Flachprodukten

*Herausgeber*

Heinrich G. Bauer  
Fertigungsdurchführung Kaltverformung  
VACUUMSCHMELZE GmbH & Co. KG  
Hanau, Deutschland

Wolfgang Schadt  
Fertigungstechnik Kaltverformung  
VACUUMSCHMELZE GmbH & Co. KG  
Hanau, Deutschland

ISBN 978-3-662-48090-8

ISBN 978-3-662-48091-5 (eBook)

DOI 10.1007/978-3-662-48091-5

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

© Springer-Verlag GmbH Deutschland 2017

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen. Der Verlag bleibt im Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutionsadressen neutral.

Planung: Dr. Rainer Münz

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier.

Springer ist Teil von Springer Nature

Die eingetragene Gesellschaft ist Springer-Verlag GmbH Deutschland

Die Anschrift der Gesellschaft ist: Heidelberger Platz 3, 14197 Berlin, Germany

# Vorwort

Der DGM-Fachausschuss-Walzen veranstaltete im Rahmen des Symposiums „Umformtechnik“ zur Werkstoffwoche 2015 in Dresden, das öffentliche Forum „Walzen von Flachprodukten“. Etwa alle 10 Jahre, geben anerkannte Experten Einblicke in zahlreiche neue wissenschaftliche Erkenntnisse sowie in technologische Neuerungen und zeigen deren Zusammenhänge auf. Beispielsweise erzeugt die konsequente Einbindung physikalischer Modelle sowie der Simulationsverfahren und computergestützter Mess- und Regeltechnik in den Walzprozess, höhere Anforderungen an den klassischen Walzwerksmaschinenbau sowie an die verwendeten Betriebsstoffe. Das erfolgreiche Zusammenspiel von Innovation und Tradition ist Basis und Voraussetzung für Flachprodukte mit neuen, einzigartigen geometrischen und legierungsspezifischen Eigenschaften. Deshalb ist auch zur Einführung ein historischer Blick auf den Walzprozess im Allgemeinen gestattet. War es zum Beispiel vor rund 100 Jahren die Aufgabe eine industrielle Folienproduktion zu entwickeln, so sind es heute Flachprodukte aus weitaus komplexeren Werkstoffen und Werkstoffsystemen mit neuen Eigenschaften, die von den Anwendern gefordert werden. Aktuelle Entwicklungen in der Walzwerkstechnik geben hierauf nicht nur Antworten sondern auch zusätzliche Inspiration. Ein breites Spektrum neuartiger, hybrider Werkstoffkombinationen die durch Walzplattieren entstehen, sowie deren vielfältige Anwendung wird präsentiert. Gleichfalls findet die Wärmebehandlung, einer der wichtigsten Begleitprozesse bei der Halbzeugherstellung, zur gezielten Gefüge- und Eigenschaftseinstellung seine entsprechende Beachtung. Aufgrund der heute ausnahmslos geforderten, hohen Produktqualität, wird dem Messen, Prüfen und der Auswertung dieser Daten, vor allem zur online Walzprozesssteuerung und -regelung, aber auch zur Bestimmung der Prozesssicherheit eine immer größer werdende Bedeutung und Aufmerksamkeit zuteil. Aktuelle Verfahren und neueste Entwicklungen werden vorgestellt. Angesprochen werden Technologieunternehmen, die sich als Betreiber, Hersteller und Ausrüster von Walzwerken und der zugehörigen Bandanlagen über die zuvor erwähnten Entwicklungen informieren möchten. Mit eingeschlossen sind hierbei Hochschulinstitute der metallischen Umformung. Anwender von Flachprodukten, Kollegen der weiterverarbeitenden Industrie sind eingeladen sich über den Stand der Herstellungsmöglichkeiten und Trends im Bereich der Flachprodukte zu informieren und kompetente Ansprechpartner zu finden.

Heinrich G. Bauer,

Leiter DGM Fachausschuss Walzen

# Inhaltsverzeichnis

## **1 Herstellung von Flachprodukten – Vom Handwerk zum industriellen Walzprozess 4.0 1**

- 1.1 Metalle und ihre Verarbeitung 1
  - 1.1.1 Einblick in Mythos und Historie 1
  - 1.1.2 Die Anfänge des Walzens – Handwerk und Fabrik 2
- 1.2 Industrialisierung des Walzens 4
  - 1.2.1 Erste industrielle Revolution des Walzens – Walzprozess 1.0 4
  - 1.2.2 Zweite industrielle Revolution des Walzens – Walzprozess 2.0 6
  - 1.2.3 Dritte industrielle Revolution des Walzens – Walzprozess 3.0 7
  - 1.2.4 Vierte industrielle Revolution des Walzens – Walzprozess 4.0 8
- Literatur 9

## **Teil I: Anlagentechnik und Bandherstellung 11**

### **2 Modellbasierte Auslegung und Optimierung von Kaltwalzwerken 12**

- 2.1 Universelles Planheitsmodell für beliebige Walzgerüste 12
  - 2.1.1 Technologische Teilmodelle 14
  - 2.1.2 Planheitsmodell für 20-Rollen-Gerüste 16
- 2.2 Stellfeldberechnung und -optimierung 17
- 2.3 Geometrieoptimierung 19
- 2.4 Ausblick 20
- Literatur 21

### **3 Wärmeübergang bei der Walzenkühlung mit Walzöl 22**

- 3.1 Einleitung 22
- 3.2 Spraykühlung 23

## VIII | Inhaltsverzeichnis

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| 3.2.1    | Größen und Definitionen bei der Spraykühlung   | 23        |
| 3.2.2    | Bestimmung des Wärmeübergangs in der Literatur   | 25        |
| 3.3      | Messaufbau und Versuchsdurchführung  | 26        |
| 3.3.1    | Versuchsaufbau   | 26        |
| 3.3.2    | Versuchsdurchführung   | 27        |
| 3.4      | Versuchsergebnisse   | 29        |
| 3.4.1    | Wärmeübergang des abfließenden Öls   | 29        |
| 3.4.2    | Wärmeübergang des Sprays   | 31        |
| 3.5      | Anwendung und Validierung der Ergebnisse   | 33        |
|          | Literatur  | 35        |
|          | Danksagung   | 35        |
| <b>4</b> | <b>Technologieentwicklung zum Gieß- und Bandwalzen von Magnesiumlegierungen</b>  | <b>36</b> |
| 4.1      | Einleitung   | 36        |
| 4.2      | Pilotanlage zur Entwicklung der Gieß- und Bandwalztechnologie am Institut für Metallformung der TU Bergakademie Freiberg | 37        |
| 4.2.1    | Gießwalzanlage und Gießwalzprozess   | 39        |
| 4.2.2    | Erwärmung und Homogenisierungsbehandlung des gießgewalzten Vorbandes   | 43        |
| 4.2.3    | Eigenschaften des Gießwalzbandes   | 44        |
| 4.3      | Bandwalzanlage und Bandwalzprozess   | 47        |
| 4.3.1    | Eigenschaften des gewalzten Bandes   | 52        |
| 4.4      | Zusammenfassung  | 54        |
|          | Literatur  | 55        |
| <b>5</b> | <b>Übertragung der Oberfläche von EDT-Walzen auf Aluminiumband unter verschiedenen tribologischen Bedingungen</b>        | <b>56</b> |
| 5.1      | Einleitung   | 56        |
| 5.2      | Der Nachwalzprozess von Aluminium  | 57        |
| 5.3      | Versuchsaufbau und -durchführung   | 58        |
| 5.3.1    | Streifenwalzwerk   | 58        |
| 5.3.2    | Oberflächenmessung   | 60        |
| 5.3.3    | Streifenziehyanlage  | 60        |
| 5.4      | Versuchsergebnisse und Diskussion  | 61        |
| 5.4.1    | Oberflächenübertragung   | 61        |
| 5.4.2    | Reibungsmessung  | 65        |
| 5.5      | Zusammenfassung  | 66        |
|          | Literatur  | 66        |

## Teil II: Walzplattieren 67

### 6 Anwendungsorientierte Funktionswerkstoffe mittels Walzplattieren 68

- 6.1 Einleitung 69
- 6.2 Plattieren 69
  - 6.2.1 Allgemeines 69
  - 6.2.2 Walzplattieren 71
- 6.3 Anwendungsbeispiele 73
  - 6.3.1 Lotwerkstoffe 73
  - 6.3.2 Gleitlager 77
  - 6.3.3 Weitere Anwendungen 79
- 6.4 Zusammenfassung 82
- Literatur 82

### 7 Haftfestigkeit und Stofffluss beim Walzplattieren sowie Walzen von Werkstoffverbunden – Theorie und Experiment 83

- 7.1 Einleitung 83
- 7.2 Walz- und Plattiermodell 85
- 7.3 Parameterstudien 92
  - 7.3.1 Allgemeine Zusammenhänge 93
  - 7.3.2 Fazit 98
- 7.4 Vergleichsrechnung für das Walzplattieren anhand der Plattierung Al/Cu 99
- 7.5 Vergleich der Abhängigkeiten ausgewählter Kaltwalzplattierungen 106
- 7.6 Walzen 114
- 7.7 Zusammenfassung 115
- Danksagung 117
- Literatur 117

## Teil III: Modellierung und Simulation 121

### 8 Walzkonzepth für die Kalt- und Warmumformung neuer metastabiler Stähle auf der Flachbahn 122

- 8.1 Einleitung 123
- 8.2 Der metastabile Stahl 16-7-6 125
  - 8.2.1 Fließspannung und Modellansatz 125
  - 8.2.2 Werkstoffkennndaten 128
- 8.3 Berechnungsmodell und Stichplanerstellung 129

## X | Inhaltsverzeichnis

- 8.3.1 Berechnungsmodell 129
- 8.3.2 Stichplanerstellung 130
- 8.4 Versuchsdurchführung 132
- 8.5 Ergebnisse und Diskussion 132
  - 8.5.1 Warmumformung 132
  - 8.5.2 Kaltumformung 139
- 8.6 Zusammenfassung 144
- Danksagung 145
- Literatur 145

## 9 Prozessmodellierung der Wärmebehandlung 149

- 9.1 Einleitung 149
- 9.2 Physikalische Grundlagen des Modells 152
  - 9.2.1 Der erste Hauptsatz der Thermodynamik 152
  - 9.2.2 Der konvektive Wärmeübergang 153
  - 9.2.3 Abschrecken mit Nebel und Wasser 155
  - 9.2.4 Wärmestrahlung 156
  - 9.2.5 Wärmeleitung 157
- 9.3 Modellierung der Wärmebehandlung 157
  - 9.3.1 Modellierung 157
  - 9.3.2 Rezeptgenerator 158
- Literatur 160

## 10 Kurzzeitwärmebehandlung kaltgewalzter metallischer Halbzeuge im Werkstofflabor unter Glühbedingungen wie in Banddurchlaufanlagen 161

- 10.1 Einleitung 161
- 10.2 Die Kurzzeitwärmebehandlung in einem Banddurchlaufofen 162
- 10.3 Der WSP/ITP Glühsimulator 166
- 10.4 Glühbeispiele 169
- 10.5 Zusammenfassung 175
- 10.6 Ausblick: Glühsimulator für Stahl 176

## Teil IV: Messen, Prüfen, Auswerten – Qualität von Flachprodukten 177

### 11 Weiterentwicklung der Banddickenmessung: Laserbasierte Banddickenmessung mit VTLG 178

- 11.1 Bisheriger Standard 178
- 11.2 VTLG: Laserbasierte Banddickenmessung im Kaltwalzgerüst ist möglich 179

- 11.3 Wesentliche Entwicklungsergebnisse 180
  - 11.3.1 Messfrequenz und Lasersteuerung 180
  - 11.3.2 Temperaturmanagement 181
  - 11.3.3 Optik/Sensorik 182
  - 11.3.4 Freiblasung 183
  - 11.3.5 Selbstkalibrierung 183
- 11.4 Aufbau des VTLG 184
  - 11.4.1 C-Rahmen mit Einhausung 184
  - 11.4.2 Bedieneinrichtung/HMI 185
  - 11.4.3 Steuerkasten 185
  - 11.4.4 Serienfertigung 185
- 11.5 Ausblick 186
  
- 12 2D und 3D online Oberflächeninspektionssysteme 187**
  - 12.1 Anforderung 187
  - 12.2 Lösung 189
    - 12.2.1 Messverfahren Laserlichtschnitt 189
    - 12.2.2 Auslegung Messbügel 189
  - 12.3 Zusammenfassung 190
  
- 13 Optische Messung: Camera-Cluster-Systeme 191**
  - 13.1 Hunderte von Mini-Kameras im Einsatz bei der Spaltbandfertigung 192
  - 13.2 Die wahrscheinlich längste Kamera der Welt detektiert Kantenrisse, Löcher und erfasst gleichzeitig exakt die Bandbreite 193
  - 13.3 CCS-Kamera mit dem „Mikroskop Auge“ detektiert Feinstlöcher (Pinholes) 195
  - 13.4 Mini-Kameras und mehrere Laserpaare vermessen die Planheit und Ebenheit von Flachprodukten 197
  
- 14 Radarsystem zur Breitenmessung in Warmbandstraßen 199**
  - 14.1 Breitenregelung in Warmwalzwerken 199
  - 14.2 Funktionsweise und Aufbau des Radarsystems 201
    - 14.2.1 Messprinzip 201
    - 14.2.2 Radar-Parameter 201
    - 14.2.3 Laborergebnisse 201
    - 14.2.4 Aufbau für den Einsatz im Warmwalzwerk 202
  - 14.3 Einsatz im Warmwalzwerk 202

## **XII | Inhaltsverzeichnis**

- 14.3.1 Integration in die Walzstraße 202
- 14.3.2 Erste Messergebnisse 203
- 14.4 Zusammenfassung und Ausblick 204
- Literatur 204

## **15 Qualitätsdaten speichern und auswerten – MEVInet-Q und -QDS 205**

- 15.1 Einführung 206
- 15.2 Speicherung von Mess- und Technologiedaten 207
- 15.3 Materialverfolgung 208
- 15.4 Visualisierung und statistische Auswertung 208
  - 15.4.1 DataViewer – Merkmale 210
- 15.5 Produktvorschau 210
- 15.6 Qualitätsdatenbewertung – MEVInet-QDS 211
  - 15.6.1 Regelstruktur 211
  - 15.6.2 Regeleditor 212
  - 15.6.3 Versionsverwaltung 212
  - 15.6.4 Simulation 213
  - 15.6.5 Online-Bewertung 213
- 15.7 Realisierung im Werk 215

**Poster: Nullfehler-Philosophie für NE-Walzprodukte –  
Ankündigung der gleichnamigen Broschüre 219**

# 1 Herstellung von Flachprodukten – Vom Handwerk zum industriellen Walzprozess 4.0

**Heinrich G. Bauer und Wolfgang Schadt, VACUUMSCHMELZE GmbH & Co. KG**

Walzen – seit Jahrhunderten bekannt – ist heute das wichtigste Umformverfahren zur Erzeugung eigenschafts- und abmessungsoptimierter metallischer Flachprodukte. Für hunderte weiterverarbeitende Industrien und Anwender stellen sie die Grundlage ihrer Produkte dar. Die weltweit bestehenden Bedürfnisse nach neuen Materialeigenschaften verbinden die MatWerk untrennbar mit den prozessorientierten Entwicklungen. Mit diesem Einführungsvortrag zum Forum „Walzen von Flachprodukten“ wird ein kleiner historischer Einblick in die Entwicklung des Walzprozesses sowie des Produktspektrums gegeben. Der Stand der Technik und zukünftige Möglichkeiten spiegeln sich hierzu in den im Forum präsentierten Fachbeiträgen wider. Automatisierung, Modellierung, Simulation von Walzprozessen und Produkten führen bereits heute zu einzigartigen metallischen und hybriden Flachprodukten. Automatisierte und robuste Walzprozesse, die mitunter bereits heute das Prädikat 4.0 besitzen, sind innerhalb der nach Lean-Prinzipien optimierten Wertschöpfungskette die Grundlage bzw. die Voraussetzung einer zukünftigen Industrie 4.0.

## 1.1 Metalle und ihre Verarbeitung

### 1.1.1 Einblick in Mythos und Historie

Nach der Vorstellung der antiken Griechen sollte die Metallverarbeitung den Göttern vorbehalten bleiben. Aber gegen den Willen des Göttervaters Zeus wurde sie den Menschen übergeben. Dies vor allem durch den Feuer- und Schmiedegott Hephaistos sowie dem Technik-Titanen Prometheus. Hephaistos, der im Olymp für das Waffenarsenal des Helden Achilles, den Brustpanzer der Athene, für Zepter und Donnerkeil des Zeus oder für die Liebespfeile des Eros sorgte, verhalf der Menschheit zu dem zuvor von Zeus befürchteten Machtgewinn. Die göttliche Aufgabe der Schmiedekunst übernahm Vulcanus bei den Römern und Wieland der Schmiedegott bei den Germanen [1].

## 2 | 1 Herstellung von Flachprodukten

So nahm über Jahrtausende die Verarbeitung der Metalle in allen Kulturen ihren besonderen Platz ein. Epochen erhielten den Namen des Werkstoffes aus welchem Waffen und Werkzeuge hergestellt wurden - Kupfer, Bronze, Eisen. Das Schmiedehandwerk in und aus der Hitze bis hin zu den Hammerwerken des 19. Jahrhunderts waren hierbei wortwörtlich die treibende Kraft für die Verarbeitung, die Nutzbarmachung der Metalle sowie auch für das Zeitgeschehen.

Allgemein wird angenommen, dass Gold das erste Metall war, das durch den Menschen bearbeitet und von ihm genutzt wurde, aber dies reichte nicht, um zwischen der Jungsteinzeit und der Kupferzeit eine Goldzeit einzufügen, da Gold neben seiner Seltenheit, vor allem aufgrund seiner Eigenschaften nie für Waffen und Werkzeuge genutzt werden konnte. Auch ist es aus wissenschaftlicher Sicht stets sinnvoll die Epochen mit einer Region in Verbindung zu bringen. So begann beispielsweise in der Balkanregion die Kupferzeit mehrere tausend Jahre früher als in Mitteleuropa [2]. Und entsprechend ist der Rückschluss erlaubt, dass man - gleichsam wie Zeus - den technologischen Vorsprung der Metallverarbeitung so lange wie möglich nicht aus dem eigenen Kulturkreis bzw. Machtbereich hinaus gegeben hat.

Das althochdeutsche Wort „Hamar“ stammt aus dem Altgermanischen und bedeutet ursprünglich „Stein“ [3]. Und man darf davon ausgehen, dass es auch Steine waren, die man für das Schlagen und Hämmern der ersten Metallklumpen verwendet hat, um sie für die Verwendung im täglichen Leben nutzbar zu machen. Noch im 14. Jahrhundert wird immer wieder von der schweren Arbeit des Hämmerns per Hand berichtet. Eine fühlbare Erleichterung trat erst ein, als man gelernt hatte, die Wasserkraft für den Antrieb von Arbeitsmaschinen zu nutzen. Auf dem Metallsektor zu Beginn des 15. Jahrhunderts, zuerst bei der Gewinnung zur Betätigung der Blasebälge und erst etliche Jahrzehnte später fand die Wasserkraft Einzug in die Hammerhütten, wo das in der Blashütte erzeugte Roheisen zu Schmiedeeisen oder Stahl weiterverarbeitet wurde [4].

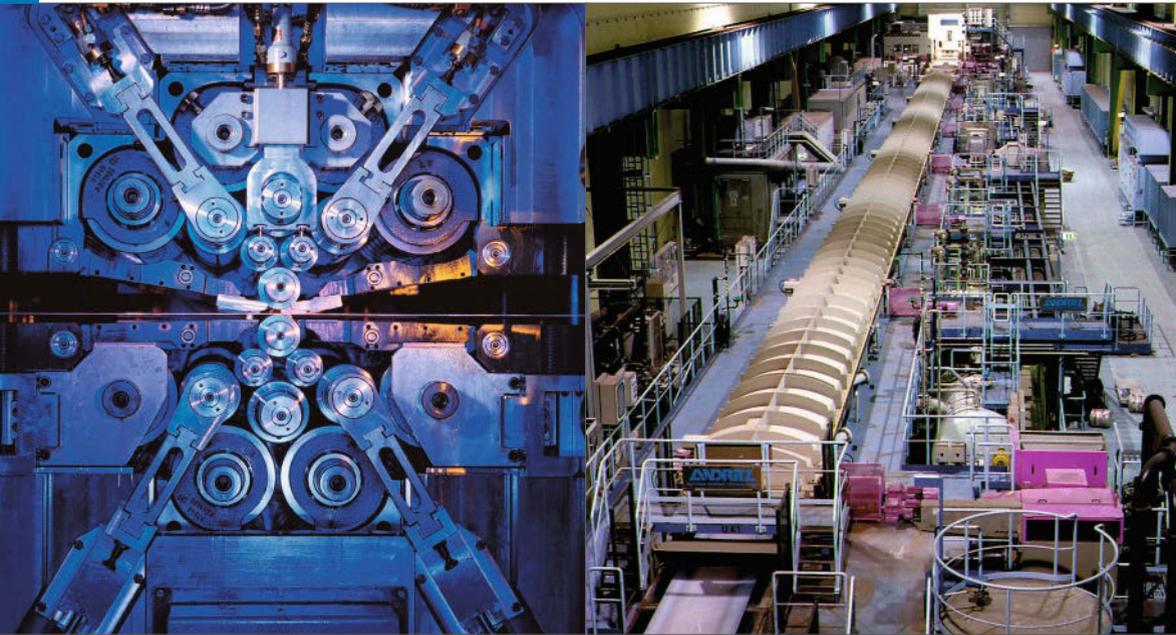
### 1.1.2 Die Anfänge des Walzens – Handwerk und Fabrik

Auch wenn Aristoteles (384–322 v. Chr.) in seinen „Mechanischen Problemen“ neben Kurbeln, Rollen und Zahnräder aus Nichteisenmetall und Eisen auch die „Walze“ erwähnt, so bleibt es ungeklärt wo und wann erstmals ein metallisches Walzgut in einer Vorrichtung zwischen zwei Walzen verformt wurde [5].

Es bedurfte mehr als weitere tausend Jahre und die Genialität eines Leonardo da Vinci, der 1495 konkret ein Walzwerk erwähnte und mit einer Skizze erläuterte [6]. Seine Notizen hierzu waren: „Art, eine dünne und gleichmäßige Zinnplatte zu machen. Die Walzen sollen aus Glockenmetall sein und mit eisernen Achsen versehen werden. Indem eine Walze die andere umdreht, strecken sie eine Platte, die etwa eine halbe Elle breit ist, aus.“ Weitere Walzwerksskizzen

# Metals experience

## Kompetenz aus einer Hand



**ANDRITZ METALS zählt zu den weltweit führenden Lieferanten von kompletten Linien für die Herstellung und Weiterverarbeitung von Kaltband aus Edelstahl, Kohlenstoffstahl und Nichteisenmetall.**

Diese Linien bestehen aus Anlagen zum Kaltwalzen, zur Wärmebehandlung, Oberflächenveredelung, Bandbeschichtung und -veredelung, zum Stanzen und Tiefziehen sowie zum Regenerieren von Beizsäuren. Darüber hinaus liefert

ANDRITZ METALS schlüsselfertige Industrieofenanlagen für die Stahl-, Kupfer- und Aluminiumindustrie sowie Laser- und Rollnaht-Widerstandsschweißsysteme für die Metall verarbeitende Industrie.

**ANDRITZ AG**  
Eibesbrunnengasse 20  
1120 Wien, Österreich  
Tel.: +43 50805 0  
metals.at@andritz.com

**ANDRITZ Sundwig GmbH**  
Stephanopeler Strasse 22  
58675 Hemer, Deutschland  
Tel.: +49 (2372) 54 0  
sundwig\_welcome@andritz.com

**ANDRITZ Maerz GmbH**  
Corneliusstr. 36  
40215 Düsseldorf, Deutschland  
Tel.: +49 (211) 38425 0  
welcome-maerz@andritz.com



zum Walzen von Gold und Fensterblei oder daubenförmiger Eisenstäbe zum Bau von Geschützen folgten aus seiner Feder. Wann und in welcher Folge diese Gedanken zur Ausführung gekommen sind, ist uns heute leider nicht bekannt.

Der Übergang vom Hämmern von Platten und Blechen zum gleichmäßigeren Walzen ging langsam von statten. Anfänglich wurden kleine handbetriebene Walzwerke zum Auswalzen vorgehämmerter Bleche und Streifen verwendet. Goldschmiede und Glaser machten sich dieses neue Verfahren gerne zu Eigen. Mit der Einführung von Göpeln und Wasserräder ließen größerer Konstruktionen nicht lange auf sich warten und die Entwicklung vom anfänglichen Walzhandwerk zum Fabrikbetrieb wurde in Gang gesetzt.

Hans Hermann Stopsack berichtet in seinem Buch „Vom Wasserrad zur Fabrik“, dass bereits Walzwerke in Frankreich und „Deutschland“ im ersten Drittel des 16. Jahrhunderts bekannt waren [7]. Belegbar findet sich aus dieser Zeit, dass um das Jahr 1550 in der Münze Hall in Tirol ein mit Pferden angetriebenes Walzenprägewerk aufgestellt und betrieben wurde. Die damalige Neuerung bestand darin, dass das Münzblech zwischen zwei eisernen Walzen auf die gewünschte Dicke ausgewalzt wurde. Später ließ man gleichzeitig mit dem Durchlauf durch die Walzen das Münzbild auf die Bleche prägen [8] und nicht mehr im Münzstempel zwischen Hammer und Amboss. Eine Weiterentwicklung zum bekannten „Taschen-Münzwerk“ folgte, dieses war wesentlich kleiner, konnte mit der Kraft eines Mannes betrieben werden und verbreitete sich schnell im damaligen Europa.

Früheste Hinweise auf weitere walzwerksähnliche Maschinen erhalten wir bereits 1532 von Eobanus Hessus bei der Beschreibung der Nürnberger Eisen(draht)mühle. Max Schwab aus Augsburg fertigte 1550 für Heinrich II. ein Walzwerk an, das später im Louvre zur Herstellung von Münzen aufgestellt wurde [9]. Ausführlicher hat Vittorio Zonca im Jahre 1607 ein Walzwerk zum „Aushöhlen von Fensterblei“ beschrieben und 1615 entwarf De Caus [10] in seinem Werk „Les raisons des forces mouvantes“ ein handbetriebenes Walzwerk für Blei und Zinn zur Herstellung von Blech für Orgelpfeifen, dessen Walzen bereits durch zwei Schraubenspindeln angestellt wurden. Seit 1645 sollen in Frankreich die Platten für die Münzfabrikation standardmäßig nicht mehr gehämmert sondern gewalzt worden sein [11].

Ein in Deptford, England, im Jahre 1670 von Thomas Haie errichtetes Umkehrwalzwerk für Bleiplatten, gilt als erstes seiner Art und wurde von 6 Pferden angetrieben. Mit einem baugleichen Walzwerk wurden in Hamburg 1730 Kupferbleche für Schiffsböden gewalzt. Und Ende des 17. Jahrhunderts schlossen sich an die Hammerwerke oft Eisenwalz- und Schneidwerke an, die durch die mit Wasserkraft betriebene Hammerwelle mit angetrieben wurden.

Es wurden hierbei die geschmiedeten Platten in Streifen geteilt und anschließend ausgewalzt. Die älteste Abbildung eines Eisenwalz- und Schneidwerkes

## 4 | 1 Herstellung von Flachprodukten

findet sich in Swedenborgs „De Ferro“ vom Jahre 1734. Swedenborg sagt, dass man diese Werke an verschiedenen Stellen der Umgebung von Lüttich, aber auch in Deutschland und England findet [12].

In Franz Feldhaus technischer Enzyklopädie von 1914 finden wir viele weitere Patente und Beschreibungen von Walzwerken aus Frankreich, England und Deutschland, welche die Grundlage der folgenden Industrialisierung darstellen. Jedoch bleiben viele der damaligen bekannten und vermuteten Produktionsstandorte bezüglich ihrer Produkte und Mengen unbeschrieben, so dass auch Schlussfolgerungen auf Walzgerüstdimensionen und Antriebsarten kaum möglich sind.

Nach persönlicher Rücksprache mit Herrn Dr. Wilhelm Bolte als Vertreter des Deutschen Kaltwalzmuseums Hohenlimburg, führt eine interessante Spur über den Kanal in das „Science Museum London“, eine weitere in das Hagener Stadtarchiv, dem im vergangenen Jahr sechs Ordner gefüllt mit Recherchen zur Geschichte des Walzens von Herrn Wilhelm Bleicher überstellt wurden. Demnach wird diesem Kapitel bei Gelegenheit noch einiges Interessantes anzufügen sein, um damit nach Möglichkeit diese historische Lücke zu füllen.

## 1.2 Industrialisierung des Walzens

### 1.2.1 Erste industrielle Revolution des Walzens – Walzprozess 1.0

Bis zur Mitte des 18. Jahrhunderts hatte sich das Walzen von Metallen mehr und mehr verbreitet. Das Walzen trug gegenüber dem Hämmern deutlich mehr Verfahrensmerkmale, die für eine Industrialisierung kennzeichnend waren. Der eigentliche Verformungsvorgang lief gegenüber einer Vielzahl von Hammer schlägen kontinuierlich ab. Das gewalzte Blech war deutlich gleichmäßiger in seiner Dicke und das Endergebnis deutlich weniger vom Geschick und der Aufmerksamkeit des Werkers abhängig. Die Form der Walzen und die Einstellung des Walzspaltes waren jetzt bestimmend für die Qualität des fertigen Bleches [13]. Und zu guter Letzt war ein deutlicher Kostenvorteil mit all diesen Verfahrensmerkmalen verbunden.

Das Walzen von Eisenblech war zuerst in England z. B. für die Weißblechfabrikation eingeführt worden. Schwarzblech gebeizt und verzinkt wurde zu Weißblech und war die Grundlage unzähliger Haushaltsgüter und speziell der Geschirrproduktion.

Die durch das Walzen verbesserte und verbilligte Fabrikation basierte auf der Erfindung von Major Hanbury von dessen Erfindung bereits 1697 berichtet wird [14] und der Patentanmeldung durch John Payne am 21. November 1728.

Eine weitere Verbesserung im Walzen glatter Feinbleche führte folgend John Baskerville mit seinem Patent vom 16. Januar 1742 ein [15].

Der industrielle Durchbruch erfolgte gleichfalls in England und begann mit der Errichtung eines Walzwerkes 1759 in Birmingham durch Matthew Boulton. Dieses Walzwerk gilt als der Ausgangspunkt einer Großindustrie des Kupfers und Messings [16] und als Meilenstein der Industrialisierung. Auch sollen hier bereits 1781 zwei Dampfmaschinen in Zusammenarbeit mit deren Erfinder Watt für ein Kupferwalzwerk eingesetzt worden sein. Unzweifelhaft hingegen ist, dass John Wilkinson um 1784 auf einer großen Eisenhütte in Bradley ein Dampfwalzwerk errichtet hat. Die Bedeutung der Dampfmaschine für das Walzen von Metallen bestand hauptsächlich darin, dass sie eine zuverlässigere und stetigere Antriebskraft darstellte, als die von der Natur abhängigen Wasserräder [17]. Mit der Dampfkraft eröffneten sich neue Möglichkeiten, um in noch größere Walzwerksdimensionen vorzustoßen und weitaus größere und gleichmäßigere Flachprodukte herzustellen. Diese Entwicklung beschleunigte sich vor allem durch die Erfindung des Puddelverfahrens durch Henry Cort, welches zu deutlich größeren Rohblöcken führte. Das zur damaligen Zeit exklusive Bedachungsmaterial aus geschmiedetem Schwarzblech aus Eisen und auch aus Kupfer oder Zink wurde aufgrund der nun wirtschaftlicheren Produktionsmöglichkeit günstiger und populärer. Mansardendächer aus Metall, Dächer mit flachen Neigungswinkeln und Dachrinnen wurden im 19. Jahrhundert zum Standard.

Beispielhaft setzte die Walzwerkstechnik in Verbindung mit der Dampfkraft große Wellen des technischen Fortschritts unmittelbar für England in Gang und mit der folgenden Abschottung der Märkte durch die Kontinentalsperre wurde der technologische Austausch gleichfalls unterbrochen, so dass der Vorsprung Englands beträchtlich wuchs [18].

In Deutschland nahmen im letzten Drittel des 18. Jahrhunderts die ersten Blechwalzwerke ihren Betrieb auf, dies nicht zuletzt durch den Qualitäts- und Kostendruck seitens des Wettbewerbers aus England.

Heinrich Wilhelm Remy, Pächter des Rasselsteins, einer Weißblechfabrik östlich von Koblenz bei Neuwied, nahm die Herausforderung an und 1769 wurden die ersten deutschen Stahlbleche am Rasselstein gewalzt [19]. Der in den ersten Jahren angefallene Ausschuss konnte sinnvollerweise in der angeschlossenen Sanitäts-Geschirr-Fabrik noch gewinnbringend verarbeitet werden, um Remys Anlaufkosten in den Lehrjahren als Blechwalzwerkseigner zu mildern. In diesem Fall war es die Weißblechproduktion, die sich in den darauf folgenden Jahren, vor allem nach der Inbetriebnahme eines Puddelofens am Rasselstein wieder behaupten konnte. Und mit einer weiteren Inbetriebnahme eines Stabeisenwalzwerkes am Rasselstein in 1824 wurde der Grundstein zur Schienenproduktion gelegt, dies für die 1835 erste deutsche Eisenbahnlinie zwischen Nürnberg und Fürth [20].

Die Zeichen der Zeit wurden nicht nur im Rheinland sondern gleichfalls in Westfalen erkannt, so dass vergleichbare arbeitsfähige Puddel- und Walzwerke von Eberhard Hoesch und von Fritz Harkort errichtet wurden.

Aber auch an weiteren Orten wie beispielsweise in Elveringsen wurde 1789 eine erste Plattenwalze und Schwarzblechfabrik angelegt und 1797 soll Christian von der Beck ein Messingplatten-Walzwerk besessen haben [21]. Bei dieser im ausgehenden 18. Jahrhundert im zunehmenden Maße stattfindenden Substituierung der Hammerwerke, durch die noch wassergetriebenen Walzwerke, konnte meist auch weiterhin das traditionell hergestellte Vormaterial wie z. B. das Plattenmessing als Rohling bzw. Bramme für den Walzprozess eingesetzt werden [22]. Die Wasserkraft wurde in Deutschland meist erst nach Mitte des 19. Jahrhunderts völlig durch Dampfkraft ersetzt. Parallel entwickelte sich bereits die Grundlage zur darauffolgenden Energieform für Kaltwalzgerüste.

### 1.2.2 Zweite industrielle Revolution des Walzens – Walzprozess 2.0

Von der Mitte des 18. Jahrhunderts bis Mitte 19. Jahrhundert verdreifachte sich nahezu die Bevölkerung Englands. „Die Welt füllte sich mit Kindern, jungen Paaren und mit Menschen im besten Arbeitsalter.“ [23] Mit der explodierenden Bevölkerung stieg entsprechend der Bedarf an industriellen Produkten, was auch rationellere Fertigungsmethoden förderte. Neben den Produkthanforderungen war es auch die zunehmende „Verwissenschaftlichung“, die ein Antrieb für optimierte Fertigungseinrichtungen und Fertigungsverfahren wurde. Wenn auch die Gründung der Berliner Technischen Hochschule auf das Jahr 1799 zurückgeht, war es die zweite Hälfte des 19. Jahrhunderts, in der die akademische Ausbildung von Ingenieuren einen bedeutenden Wirtschaftsfaktor darstellte. 1899 erhielten die entsprechenden Einrichtungen Preußens das Promotionsrecht (gegen den Widerstand der Universitäten) und waren damit den traditionellen Hochschulen gleichgestellt.[24]

Die Dampfkraft war noch nicht die ideale Energieform für Kaltwalzgerüste. 1834 entwickelte Hermann Jacobi den ersten praxistauglichen Elektromotor und nachdem Werner von Siemens 1866 seine „Dynamomaschine“ patentieren ließ, konnte man elektrische Energie in größerem Umfang erzeugen.[25] Jetzt hatte man die Energieform, die bis heute für Kaltwalzwerke bestimmend ist, aber auch diese Technik musste sich zunächst weiterentwickeln, bis sie die ältere ersetzen konnte. Erst Anfang des 20. Jahrhunderts wurde die Elektrotechnik zum Technologieschub bei Walzwerken [26]. Energieerzeugung war noch lange Zeit mit hohen Investitionen verbunden und die entsprechenden Einrichtungen waren nur mit großem Aufwand zu betreiben. Noch wurden sie deshalb zentralisiert eingesetzt und die Kraftübertragung erfolgte gewöhnlich durch Transmissionssysteme. Walzen war abgesehen vom Antrieb des Walzenstän-

ders Handarbeit. Größere Längen konnten nur bei schmalen Bändern, die sich in offenen Bündeln aufwickeln ließen, erreicht werden. Um effektiv mehrere Stiche auszuführen, fasste man mehrere Gerüste zu Staffeln zusammen. Da ein umsteuern der Walzen zu schwerfällig war, verwendete man Trio-Walzgerüste, ursprünglich schon 1810 von Elie Beaumont für das Feinwalzen erfunden, Warm- und Kaltwalzen im Reversierbetrieb war „Plattenwalzen“ mit Handzufuhr.

Mit der zunehmenden Bedeutung der Walzprodukte entstanden auch Forderungen nach gleichmäßiger Qualität, was besonders die Band- bzw. die Plattendicke betraf. Als Folge entstand das Quartowalzwerk, in dem die Durchbiegung der Arbeitswalzen durch Stützwalzen verringert werden konnte, ohne dass der Arbeitswalzendurchmesser vergrößert werden musste. Anwendungen von immer dünneren Walzprodukten, zum Beispiel für elektromagnetische Bauteile zwangen zu kleinen Arbeitswalzendurchmesser, die auch Querkräfte ohne Verbiegung auffangen mussten. Im Jahr 1930 ließ dafür Willhelm Rohn, der Gründer der Vacuumschmelze in Hanau, ein Mehrrollenwalzwerk patentieren, bei dem die beiden Arbeitswalzen jeweils durch einen Sektor von 2 Stützwalzen und einem weiteren Sektor mit 3 noch größeren Stützwalzen umgeben waren. 1932 erwarb die Firma Sundwig, die auch heute noch zu den führenden Walzwerksherstellern gehört, eine Lizenz und entwickelte diese Technik weiter. Das 1935 patentierte Sendzimier-Gerüst, bei dem die schwimmend gelagerte Arbeitswalze durch eine Sektorenfolge 2-3-4 von Stützwalzen umgeben wurde, setzte sich dann für die Zukunft durch. Gegenwärtig sind die 20-Rollen-Walzwerke für die Folienproduktion eine häufige Wahl.

### 1.2.3 Dritte industrielle Revolution des Walzens – Walzprozess 3.0

War die Elektrizität bis weit in die erste Hälfte des 20. Jahrhunderts für den Walzwerksbetrieb konzentriert auf die Antriebsenergie, führte die Entwicklung der Elektronik und der elektronischen Regelungstechnik zu einer neuen Stufe des Walzwerkbaus. Geregelt Haspelanlagen ermöglichten nun große Bandlängen. Die „Stückproduktion“ konnte durch den kontinuierlichen Prozess ergänzt bzw. ersetzt werden. Nicolas Minorsky entwickelte 1922 eine Schiffsteuerung mit PID-Regler, ein Verfahren, das sich auf die unterschiedlichsten Prozessführungen, auch auf die Steuerung eines Walzwerks übertragen ließ.[27] Elektromotoren als Einzelantrieb konnten einzelne Komponenten steuern und zusammen mit Messsystemen den Regelkreislauf bilden.

Nach dem Zweiten Weltkrieg begann dann zaghaft (hauptsächlich nach 1960) die Einführung analoger Regelungen, basierend auf den theoretischen Arbeiten von Norbert Wiener, dem Entwickler der Kybernetik, die er zum Beispiel in: „Cybernetics or Control and Communication in the Animal and the Machine“,

1948 beschrieb, die es erlaubten die Walzgeschwindigkeit mit den Haspeln zu synchronisieren und Verfahren zur Dickenreglung zu implementieren.

Digitalreglung 1969 SPS. Nach der Entwicklung der Speicherprogrammierbaren Steuerung (SPS), die auf die Arbeiten von Richard Morley und Odo J. Struger zurückgeht, löste ab Mitte der 1970er bis Anfang der 1990er Jahre die Digitaltechnik die analoge Technik ab und ermöglichte eine hochflexible Regelung und Steuerung der Walzwerke. [28]

Gegenwärtig lässt sich das vollautomatische Kaltwalzwerk realisieren. Für alle Aspekte, die die Qualität des Produkts bestimmen, gibt es automatische Messsystem-Stellglieder und Simulationsverfahren, die nach wissenschaftlichen Kriterien die Arbeitsweise optimieren. Berührungslose Dickenmessung, Messung von Planheit und Querprofil, die Bandzüge und die Walzkraft können im laufenden Betrieb in den Regelkreis eingebunden werden. Arbeitswalzen und Bandbünde lassen sich mit Robotern wechseln

### 1.2.4 Vierte industrielle Revolution des Walzens – Walzprozess 4.0

Seit der Begriff Industrie 4.0 im Jahr 2006 von einer Arbeitsgruppe der Bundesregierung als Arbeitstitel für ein staatlich gefördertes Entwicklungsprogramm geprägt wurde, das auf Basis moderner IT-Technologie die Präsenz deutscher Industrieunternehmen nachhaltig sichern und verbessern soll [29], wurden bis heute nicht wenige Verbandsausschüsse, Plattformen sowie Spitzen- und Exzellenzcluster gebildet, um die Grundlagen für eine strategische Umsetzung einer digitalisierten und vernetzten Industrie zu gestalten und sich damit im Internet der Dinge und Dienste zu etablieren.

Für sechs zentrale Branchen wird laut Bitkom eine Produktivitätssteigerung von rund 80 Mrd. € für die nächsten 10 Jahren prognostiziert. Gleichfalls erschallen aber auch die berechtigten Warnungen vor Cyberspionage und Cyberattaken.

Die Smarte-Fabrik, die eine digitale Vernetzung aller Akteure der Wertschöpfungskette - Mensch, Maschine, Produkt und Geschäftsprozesse – beinhaltet, wird z. B. ihr Energieversorgungssystem (Smart Grids) echtzeitnah nach Auftragslage und Effizienz online organisieren und Kunden werden ihre Aufträge online übermitteln und mitverfolgen.

Der heutige Status moderner Walzwerke für sich, sowie die aktuellen Entwicklungen bei Automation und Simulation - wie wir in den folgenden Beiträgen erfahren werden - verdienen mitunter bereits heute das Prädikat 4.0. Jedoch eine fabrikinterne Kommunikation, oft noch bestehend aus IT-Insellösungen und Medienbrüchen bis hin zur Datenerfassung auf Papier, ermöglicht in der Regel noch keine smarte, intelligente Fabrik.

Mit einem Blick auf den Status Quo ist zu erkennen, dass die Weiterentwicklung der Walzprozesse bzw. der Walzgerüste zu intelligenten sich selbst steuernden Produktionsanlagen in großen Schritten in Richtung 4.0 voran geht. So gilt es heute diese Zeit mit zu nutzen, um die Robustheit dieser einzelnen, vernetzungsfähigen Produktionsprozesse in den kommenden Jahren zu steigern. Vor einer datentechnischen Verschmelzung zur Intelligenten-Fabrik, ist neben den Medienbrüchen schwerpunktmäßig die gesamte Wertschöpfungskette nach Lean-Prinzipien zu optimieren. Denn nur gut aufeinander abgestimmte Prozesse haben die Chance erwartete Produktivitätssteigerungen auf dem Weg in das Internet der Dinge und Dienste zu erbringen.

## Literatur

- [1] Raabe Dierk, Morde, Macht, Moneten, Metalle zwischen Mythos und High-Tech, WILLEY-VCH. 2001
- [2] [www.rieme.de/wiki/geschichte](http://www.rieme.de/wiki/geschichte) S. 3 vom 17.04.2015
- [3] Drosowsky G., Grebe P.: Etymologie Duden. Bibliographisches Institut. Mannheim 1963
- [4] Schmöle Carl, Von den Metallen und ihrer Geschichte Band 2 Vom Rohstoff zum Werkstoff S. 77,78,79. Menden 2000
- [5] Schmöle Carl, Von den Metallen und ihrer Geschichte Band 2 Vom Rohstoff zum Werkstoff S. 103. Menden 2000
- [6] Feldhaus, Franz M.: Leonardo da Vinci, der Techniker und Erfinder, Eug. Dietrichs. Leipzig 1992
- [7] Stopsack Hans-Hermann, Vom Wasserrad zur Fabrik S. 69, Hemer 2003
- [8] <https://de.wikipedia.org/wiki/Walzenprägung> vom 02.06.2015
- [9] [http://www.digitalis.uni-koeln.de/Feldhausm/feldhausm\\_index.html](http://www.digitalis.uni-koeln.de/Feldhausm/feldhausm_index.html) vom 03.06.2015
- [10] Feldhaus, Franz M.: Die Technik der Vorgeschichte, der geschichtlichen Zeit und der Naturvölker. Heinz Mooser Verlag. München 1965
- [11] Reichert J.W. u. Buchmann E.: Die Stahlwalzwerke in ihrer volkswirtschaftlichen und weltwirtschaftlichen Bedeutung, Walzwerkswesen, Julius Springer. Berlin 1929
- [12] Kleinen C. und Langen R., Das Zinkwalzwerk Hoesch und die Geschichte der frühen Walztechnik S. 18, v.d. Linnepe Verlag. Hagen 1981
- [13] <http://www.geschichtswerkstatt-lammersdorf.de/geschichte/wurzeln> der Otto Junker GmbH Die Stollberger Wurzeln von Friedrich Holtz, Stolberg 10.03.2015
- [14] Kleinen C. und Langen R., Das Zinkwalzwerk Hoesch und die Geschichte der frühen Walztechnik S. 18, v.d. Linnepe Verlag. Hagen 1981

## 10 | 1 Herstellung von Flachprodukten

- [15] Auszug aus Rasselstein 150 jähriges Bestehen - Rasselstein Eisenwerks Gesellschaft GmbH. 1910
- [16] J.W Reichert u. E. Buchmann: Die Stahlwalzwerke in ihrer volkswirtschaftlichen und weltwirtschaftlichen Bedeutung, Walzwerkswesen, Julius Springer. Berlin 1929
- [17] Schmöle Carl, Von den Metallen und ihrer Geschichte Band 2 Vom Rohstoff zum Werkstoff S. 111. Mendon 2000
- [18] [http://www.thyssenkrupp-rasselstein.com/fileadmin/pdf/unternehmen/Zeitstrahl\\_Druckversion/Geschichte\\_ThyssenKrupp\\_Rasselstein\\_Druckversion.pdf](http://www.thyssenkrupp-rasselstein.com/fileadmin/pdf/unternehmen/Zeitstrahl_Druckversion/Geschichte_ThyssenKrupp_Rasselstein_Druckversion.pdf) vom 14.09.2015 vom 14.09.2015
- [19] <http://de.wikipedia.org/wiki/Wei%C3%9Fblech> vom 17.04.2015
- [20] [http://www.thyssenkrupp-rasselstein.com/fileadmin/pdf/unternehmen/Zeitstrahl\\_Druckversion/Geschichte\\_ThyssenKrupp\\_Rasselstein\\_Druckversion.pdf](http://www.thyssenkrupp-rasselstein.com/fileadmin/pdf/unternehmen/Zeitstrahl_Druckversion/Geschichte_ThyssenKrupp_Rasselstein_Druckversion.pdf) vom 14.09.2015
- [21] Stopsack Hans-Hermann, Vom Wasserrad zur Fabrik S. 69. Hemer 2003
- [22] [http://www.geschichtswerkstatt-lammersdorf.de/geschichte/wurzeln\\_der\\_Otto\\_Junker\\_GmbH\\_Die\\_Stollberger\\_Wurzeln\\_von\\_Friedrich\\_Holtz,\\_Stolberg](http://www.geschichtswerkstatt-lammersdorf.de/geschichte/wurzeln_der_Otto_Junker_GmbH_Die_Stollberger_Wurzeln_von_Friedrich_Holtz,_Stolberg) 10.03.2015
- [23] Hobsbawm E.: Europäische Revolutionen, S. 333. Köln 2004
- [24] Einen ausgezeichneten Überblick über die Technikentwicklung gibt: Radkau J.: Technik in Deutschland. Frankfurt 2008
- [25] Lindner H.: Strom 1985, Reinbeck bei Hamburg, Kap. 4 und 5
- [26] Weber W.: Tagungsbericht zur 29. Technikgeschichtlichen Tagung der Eisenbibliothek 2006, erschienen in: Ferrum: Nachrichten aus der Eisenbibliothek, 79 (2007), S. 133-135
- [27] <https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Regelungstechnik&oldid=145117049> vom 16.08.2015
- [28] [https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Speicherprogrammierbare\\_Steuerung&oldid=145224449](https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Speicherprogrammierbare_Steuerung&oldid=145224449) vom 19.08.2015
- [29] Meißner Stefan, Nr. 2 Industrie 4.0 – was ist das eigentlich?, stahl und eisen 135. 2015

Teil I:

# Anlagentechnik und Bandherstellung