

Merkblatt 180

Walzprofilieren von Flacherzeugnissen aus Stahl



Stahl-Informations-Zentrum

Stahl-Informations-Zentrum

Das Stahl-Informations-Zentrum ist eine Gemeinschaftsorganisation Stahl erzeugender und verarbeitender Unternehmen. Markt- und anwendungsorientiert werden firmenneutrale Informationen über Verarbeitung und Einsatz des Werkstoffs Stahl bereitgestellt.

Verschiedene **Schriftenreihen** bieten ein breites Spektrum praxisnaher Hinweise für Konstrukteure, Entwickler, Planer und Verarbeiter von Stahl. Sie finden auch Anwendung in Ausbildung und Lehre.

Vortragsveranstaltungen schaffen ein Forum für Erfahrungsberichte aus der Praxis.

Messen und Ausstellungen dienen der Präsentation neuer Werkstoffentwicklungen und innovativer, zukunftsweisender Stahlanwendungen.

Als **individueller Service** werden auch Kontakte zu Instituten, Fachverbänden sowie Spezialisten aus Forschung und Industrie vermittelt.

Die **Pressearbeit** richtet sich an Fach-, Tages- und Wirtschaftsmedien und informiert kontinuierlich über neue Werkstoffentwicklungen und -anwendungen.

Das Stahl-Informations-Zentrum zeichnet besonders innovative Anwendungen mit dem **Stahl-Innovationspreis** (www.stahl-innovationspreis.de) aus. Er ist einer der bedeutendsten Wettbewerbe seiner Art und wird alle drei Jahre ausgelobt.

Die **Internet-Präsentation** (www.stahl-info.de) informiert über aktuelle Themen und Veranstaltungen und bietet einen Überblick über die Veröffentlichungen des Stahl-Informations-Zentrums. Publikationen können hier bestellt oder als PDF-Datei heruntergeladen werden. Anmeldungen zu Veranstaltungen sind ebenfalls online möglich.

Der **Newsletter** informiert Abonnenten per E-Mail über Neuerscheinungen, Veranstaltungen und Wissenswertes.

Mitglieder des Stahl-Informations-Zentrums:

- AG der Dillinger Hüttenwerke
- ArcelorMittal Bremen GmbH
- ArcelorMittal Commercial RPS S.à.r.l.
- ArcelorMittal Duisburg GmbH
- ArcelorMittal Eisenhüttenstadt GmbH
- Benteler Steel Tube GmbH
- Gebr. Meiser GmbH
- Georgsmarienhütte GmbH
- Outokumpu VDM GmbH
- Remscheider Walz- und Hammerwerke Böllinghaus GmbH & Co. KG
- Saarstahl AG
- Salzgitter AG
- ThyssenKrupp Bautechnik GmbH
- ThyssenKrupp Electrical Steel GmbH
- ThyssenKrupp Rasselstein GmbH
- ThyssenKrupp Steel Europe AG
- Wickedder Westfalenstahl GmbH

Impressum

Merkblatt 180
„Walzprofilieren von Flach-
erzeugnissen aus Stahl“
Ausgabe 2013
ISSN 0175-2006

Herausgeber:
Stahl-Informations-Zentrum,
Postfach 10 48 42,
40039 Düsseldorf

Autoren:
Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wirtsch.-Ing.
Peter Groche,
Dipl.-Ing. Christian Müller
Institut für Produktionstechnik
und Umformmaschinen (PtU),
Fachbereich Maschinenbau der
TU Darmstadt,
64287 Darmstadt

In Zusammenarbeit mit:
European Cold Rolled Section
Association (ECRA),
40474 Düsseldorf

Redaktion:
Stahl-Informations-Zentrum

Die dieser Veröffentlichung zugrunde liegenden Informationen wurden mit größter Sorgfalt recherchiert und redaktionell bearbeitet. Eine Haftung ist jedoch ausgeschlossen.

Ein Nachdruck – auch auszugsweise – ist nur mit schriftlicher Genehmigung des Herausgebers und bei deutlicher Quellenangabe gestattet.

Titelbild:
Tillmann Profil GmbH,
59846 Sundern



Abb. 1: Walzprofilerte Bauteile für verschiedene Industriezweige [60]

Inhalt

	Seite		Seite		Seite
1	Einleitung	4	3	Fertigungsgerechte Profilgestaltung	17
2	Verfahrenstechnologie	4	3.1	Auslegungskriterien für Profilbauteile	17
2.1	Einordnung und Beschreibung	4	3.2	Prinzip der gleichen Gestaltfestigkeit	20
2.2	Wirtschaftliche Aspekte ..	6	3.3	Prinzip der direkten und kurzen Kraftleitung	20
2.3	Halbzeuge für das Walzprofilieren	7	3.4	Prinzip der abgestimmten Verformung	21
2.4	Aufbau typischer Profilieranlagen	8	3.5	Aufgabenintegration bei unterschiedlichen Funktionen	21
2.5	Umwelt- und Ressourcenschonung	11	4	Spezielle Verfahren und Entwicklungen	21
2.6	Prozessentwicklung für das Walzprofilieren	11	4.1	Einleitung	21
2.7	Zusatzoperationen	15	4.2	Bauteiloptimierung durch hoch- und höchstfeste Stähle	21
2.8	Qualitätssicherung	16	4.3	Bauteiloptimierung durch Kombination von Walz- und Walzprofilierverfahren	22
2.9	Breitbandprofilieren	17	4.3.1	Tailored Blanks	22
			4.3.2	Tailored Strips	23
			4.3.3	Spaltprofilieren	24
			4.3.4	Spaltbiegen	25
			4.4	Flexibles Walzprofilieren	27
			4.5	Herstellung von multifunktionalen Blechbauteilen	28
			4.6	Bauteiloptimierung durch innovative Umformtechnik	29
			5	Literaturverzeichnis ...	29
			6	Weiterführende Literatur	31

1 Einleitung

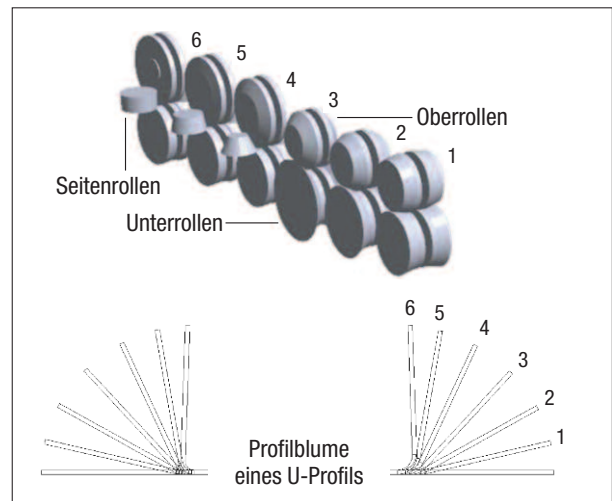
Walzprofilieren ist ein Kaltumformverfahren für die Fertigung von Profilen aus Bändern oder Blechen. Anwender dieser Technologie, die Profileure, nutzen das Verfahren vor allem für die Erzeugung dünnwandiger Profile aus Stahlwerkstoffen. Seit den ersten Anwendungen Ende des 19. Jahrhunderts hat das Walzprofilieren bis heute eine weite Verbreitung in der Serienfertigung gefunden [34].

Viele Industriezweige greifen auf durch Walzprofilieren hergestellte Produkte zurück. Dies schließt beispielsweise den Fahrzeug- und Möbelbau sowie die Bauindustrie ein. Typische Anwendungen sind Konstruktionsrohre, Stahlenschutzplanken oder Schubladenföhrungen.

Auf Walzprofilieranlagen werden sowohl offene als auch geschlossene Profile hergestellt. Zusätzlich zum Walzprofilieren ist bei geschlossenen Profilen ein Fügeprozess notwendig. Dieser besteht in den meisten Fällen aus einem Schweißvorgang. In Prozessketten aus Walzprofilieren und Schweißen entsteht der überwiegende Anteil längsnahtgeschweißter Rohre in einem kontinuierlichen Fertigungsfluss. **Abb. 1** (Seite 3) zeigt die Vielfalt von Profilbauteilen auf.

Dieses Merkblatt soll einerseits Profileuren und Konstrukteuren einen Überblick über das Verfahren Walzprofilieren und die derzeitigen Entwicklungstrends verschaffen. Andererseits zielt es darauf ab, interessierten Produktentwicklern die Möglichkeiten dieses Umformverfahrens in Verbindung mit modernen Stahlwerkstoffen aufzuzeigen. Nach einer theoretischen Beschreibung des Umformverfahrens wird der Aufbau einer typischen Anlage zum Walzprofilieren einschließlich der oft integrierten vor- und nachgelagerten Bearbeitungsstationen dargestellt. Danach folgt die Vorstellung wichtiger Regeln und Richtlinien für die

Abb. 2: Prinzip des Walzprofilierens und eine aus einzelnen Biegeschritten resultierende Profilblume



Produktgestaltung, die bei einer Herstellung durch Walzprofilieren zu beachten sind. Im letzten Teil werden aktuelle Entwicklungen im Technologiefeld Walzprofilieren dargestellt.

2 Verfahrenstechnologie

2.1 Einordnung und Beschreibung

Das Walzprofilieren wird auch als Profilieren, Längsprofilieren, Rollprofilieren [5] oder Rollformen bezeichnet. Es ist ein kontinuierliches Biegeumformverfahren und führt in der klassischen Ausprägung zu Profilen mit konstantem Querschnitt über der Länge.

Die für den Transport und die Umformung des Blechs oder Bands erforderliche Energie wird über Reibschluss von den angetriebenen Rollen auf das Blech oder Band übertragen [57].

Die für die gewollte plastische Deformation verantwortliche Biegebeanspruchung tritt in den Biegekanten auf. Beim Walzprofilieren bleibt die Blechdicke nahezu konstant [7]. Damit gehört es – trotz der sprachlichen Ähnlichkeit – nicht zu den Walzverfahren, da bei diesen eine Verringerung der Blechdicke bzw. der Querschnittsfläche erfolgt. Mit dem Walzen hat das Walzprofilieren

allerdings die prinzipielle Anordnung und Form der Werkzeuge gemein. Bei beiden wird die Umformung durch rotierende Rollenpaare hervorgerufen.

Während des Walzprofilierprozesses tritt ein ebenes Blechband durch die Spalte zwischen rotierenden Ober- und Unterrollen und wird dabei gebogen. Das Biegen bis zu dem gewünschten Zielquerschnitt erfolgt stufenweise. Die in den Stufen gewünschten Zwischenzustände werden durch den jeweiligen Spalt zwischen Ober- und Unterrolle vorgegeben. **Abb. 2** zeigt im oberen Teil beispielhaft die sechs nacheinander angeordneten Paare von Ober- und Unterrollen für die Herstellung eines U-Profiles. Auch üblicherweise verwendete zusätzliche Seitenrollen sind in der Rollenanzahl zu erkennen. Legt man die Querschnittsgeometrien der Spalte zwischen Ober- und Unterrollen in den einzelnen Stufen übereinander, so ergibt sich die sogenannte Profilblume (s. **Abb. 2**, unten).

Der Grund für die Aufteilung der Gesamtumformung auf mehrere Stufen ergibt sich aus einer Betrachtung der Spannungs- und Formänderungszustände. Während der Einförmung des Blechs oder Bands entstehen zwei charakteristische Spannungszustände. Dies wird anhand von **Abb. 3** erläutert.

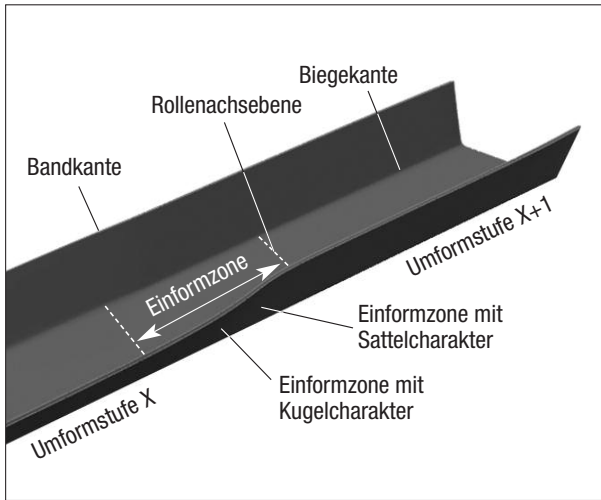


Abb. 3: Dreidimensionale Einformzone mit Sattel- und Kugelcharakter zwischen zwei Umformstufen eines U-Profils

Einformzone zwischen zwei Gerüsten Band- bzw. Blechkante und Biegekante unterschiedliche Längen annehmen. Je größer der Biegewinkel einer Umformstufe gewählt wird, desto eher kann es dadurch zu ungewollt großen lokalen plastischen Dehnungen des Profils in Längsrichtung kommen. Diese sind die Ursache für zahlreiche mögliche Fehler beim Walzprofilieren [29] und müssen daher klein gehalten werden.

Bedingt durch die vorgenannten Spannungs- und Bewegungszustände während der Umformung gehört das Walzprofilieren nach DIN 8586 [10] zu der Gruppe der Biegeumformverfahren mit drehender Werkzeugbewegung und ist weiterhin der Gruppe des Walzbiegens untergeordnet, **Abb. 4**. Von sehr wenigen Ausnahmen abgesehen verzichtet man auf eine Erwärmung vor der Umformung. Daher wird das Walzprofilieren der Gruppe der Kaltumformverfahren zugeordnet.

In der Umformzone (Biegekante) entstehen durch die Querbiegung Zugspannungen an der Blechaußenseite und Druckspannungen an der Blechinnenseite. Der zweite Spannungszustand entsteht am Blechrand (Bandkante). Hier kommt es im Bereich vor einer Umformstufe zu einer dreidimensionalen Einformzone (Abb. 3). In [5] wird beschrieben, dass sich dieser Bereich in eine Zone mit

Kugel- und eine mit Sattelcharakter unterteilen lässt. In der Einformzone mit Kugelcharakter besitzen die Krümmungen in Längs- und Querrichtung konvexe Gestalt, während die Krümmungen mit Sattelcharakter konvexe und konkave Formen aufweisen. Bedingt durch den geradlinigen Verlauf der Biegekante und die dreidimensionalen Krümmungen an der Band- bzw. Blechkante müssen in der

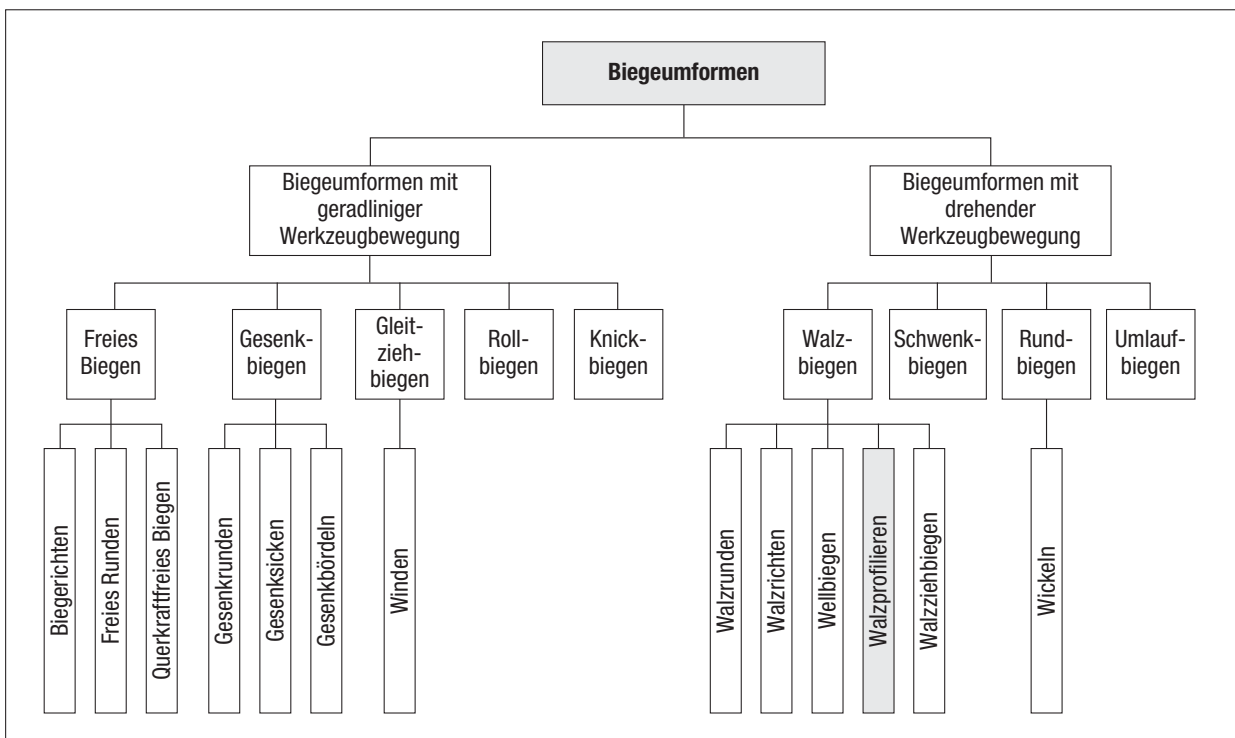


Abb. 4: Aufgliederung der Biegeumformverfahren und Einordnung des Walzprofilierens nach DIN 8586

Als technologische Alternativen zum Walzprofilieren (Abb. 4) können, abhängig von der herzustellenden Menge, der Profillänge und der Querschnittsgeometrie, insbesondere auch das Gesenkbiegen, Gleitziehbiegen oder Schwenkbiegen infrage kommen [7].

In [7] werden die Möglichkeiten des Walzprofilierens im Vergleich zu den alternativen Abkantverfahren Schwenkbiegen und Gesenkbiegen beschrieben. Durch Gesenk- und Schwenkbiegen lassen sich nur Profile mit relativ einfachen Querschnitten realisieren. Während beim Schwenkbiegen ausschließlich Profile mit geringer Blechdicke erzeugt werden können und das Umformen der Schenkel oder Flansche seriell erfolgen muss, ist die Anzahl der Biegungen beim Gesenkbiegen beschränkt.

2.2 Wirtschaftliche Aspekte

Walzprofilieren gehört zu den etablierten Blechumformverfahren der Serienproduktion. Im Jahr 2002 wurden ca. 8 bis 10% der jährlichen Weltstahlproduktion durch Walzprofilieren zu Kaltprofilen verarbeitet [46]. Diese Produktionsmenge verteilt sich auf Unternehmen, die Profile für die eigenen Endprodukte fertigen, sowie auf spezialisierte Zulieferer für die Walzprofilierertechnologie.

Im Vergleich der Fertigungszeiten ist das Walzprofilieren den alternativen Biegeverfahren weit überlegen [40]. Letztere Verfahren zeichnen sich zwar durch hohe Flexibilität, dafür aber auch durch geringere Produktivität aus [35]. Durch das kontinuierliche Biegen und Transportieren des Bandes beim Walzprofilieren sind Fertigungsgeschwindigkeiten bis zu 200 m/min möglich. Diese machen das Verfahren in der Serienfertigung besonders wirtschaftlich.

Neben den direkten Fertigungszeiten bestimmt auch der Zeitbedarf für die Rüstvorgänge die Wirtschaftlichkeit eines Ferti-

gungsverfahrens. Das Rüsten einer Walzprofilieranlage setzt sich aus dem Bestücken der Anlage mit den Rollen und dem richtigen Positionieren der Rollen, der Justage, zusammen. Der Aufwand für das Rüsten kann insbesondere bei komplizierten Profilquerschnitten, die manchmal mehr als 50 Profilstationen erforderlich machen, erheblich sein. In vielen Fällen betragen die Rüstzeiten bis zu 40% der nutzbaren Zeit einer Gesamtanlage [18]. Je nach Wechselhäufigkeit sind verschiedene Rüststrategien sinnvoll.

Neue Profilquerschnitte erfordern den Austausch der Rollen oder die Veränderung ihrer Positionen. Häufig erfolgen der Austausch und die Positionierung der Rollen in der Anlage. Die Nutzungszeit der Walzprofilieranlage kann gesteigert werden, wenn die Rollen in Gerüsten außerhalb der Walz-

profilierstrecke vorgerüstet und vorpositioniert werden. Allerdings bedingt dies eine höhere Anzahl an verfügbaren Gerüsten, als für den eigentlichen Fertigungsprozess erforderlich sind. Eine weitere Steigerung der Nutzungszeit einer Walzprofilieranlage entsteht durch die Ausrichtung mehrerer Gerüste zueinander außerhalb der Profileranlage. Hierfür können oft Wechselplatten oder -tische verwendet werden. Der Austausch der Platten oder Tische kann manuell oder automatisiert erfolgen.

Einander ähnliche Profilquerschnitte lassen sich durch ein automatisches Verfahren der Rollen in Breiten- und Höhenrichtung erreichen. Dies ist sinnvoll, wenn Bauteilfamilien mit entsprechenden geometrischen Ähnlichkeiten zu fertigen sind. Anwendungen für solche Positioniereinrichtungen sind bei Trockenbauprofilen, bei



Abb. 5:
Typisches Rollenlager in einem Walzprofilierbetrieb [61]

Kabelkanälen, Schaltschränken oder Regalpfosten zu finden [12].

Wie beschrieben entstehen neue Profile meist durch neue Rollengeometrien, die den gewünschten Spalt zwischen Ober- und Unterrolle bilden. Notwendige Investitionskosten lassen sich reduzieren, wenn vorhandene Rollen mehrfach genutzt werden können. Oft gelingt dies, weil aufgrund vorteilhafterer Reibungsverhältnisse und Gewichte Rollen aus mehreren Segmenten bestehen. Durch Zusammensetzen von vorhandenen Segmenten können neue Profile ohne zusätzliche Werkzeugkosten hergestellt werden. Dazu ist eine systematische Erfassung und Lagerung der verfügbaren Rollen erforderlich. **Abb. 5** zeigt ein typisches Rollenlager.

Für die Wirtschaftlichkeit eines Fertigungsverfahrens ist schließlich noch dessen Flexibilität wichtig. Sehr einfach können die Längen der Profile verändert werden. Gewollte oder ungewollte Änderungen der Stahlsorte, der Materialzusammensetzung (Festigkeit) oder der Blechdicke ziehen regelmäßig Anpassungsarbeiten an den Rollenpositionen nach sich.

2.3 Halbzeuge für das Walzprofilieren

Als Halbzeuge werden beim Profilieren warm- oder kaltgewalzte Bänder oder Platinen verarbeitet. Kaltgewalzte Stähle bieten Vorteile hinsichtlich Festigkeit, Maßhaltigkeit und Oberflächengüte. Übliche Dicken der Halbzeuge liegen beim Profilieren im Bereich von 0,3 bis 20 mm.

Die Auswahl des zu verarbeitenden Werkstoffes richtet sich in erster Linie nach den zu erfüllenden Profileigenschaften. Hier bietet das Walzprofilieren den Vorteil, dass nahezu jeder kaltumformbare Werkstoff profilierbar ist. Weil die Materialkosten aufgrund des effizienten Herstellprozesses gewöhnlich den größten Teil der Produkt-

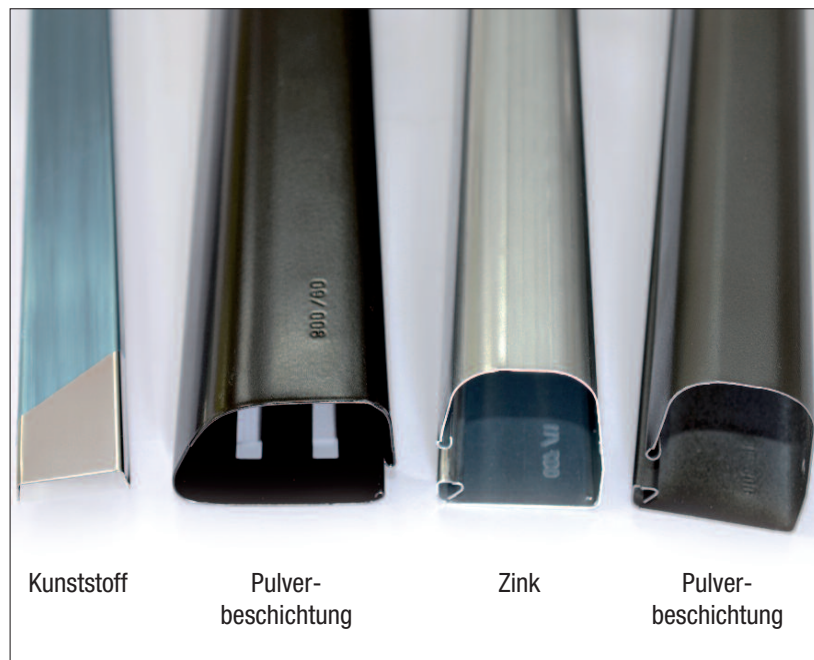


Abb. 6: Profile mit verschiedenen Oberflächenveredelungen [42]

kosten bestimmen, ist die Werkstoffauswahl für Walzprofilierprozesse von überragender wirtschaftlicher Bedeutung [7].

Hohe Leichtbaugüten lassen sich durch günstige Verhältnisse von Werkstoffgewicht zu Festigkeit erzielen. Walzprofilieren eröffnet die Möglichkeit, auch hoch- und höchstfeste Stahlwerkstoffe zu verarbeiten. Dies ist einerseits auf die günstigen Reibungsverhältnisse zurückzuführen. Vermeidung von Schlupf zwischen Rollen und Blech hat nur geringe Gleitbewegungen an den Rollenoberflächen und somit kleinen Rollenverschleiß zur Folge. Andererseits kann die gegenüber weicheren Stahlsorten gestiegene Rückfederung durch die Rollengestaltung gut kompensiert werden. Auch große Überbiegewinkel lassen sich umsetzen. Schließlich eröffnet das Walzprofilieren auch den Vorteil, Druckspannungen senkrecht zu der Profilierichtung in der Biegezone zu überlagern. Damit kann die Gefahr von Rissbildung reduziert und demzufolge können kleinere Biegeradien versagensfrei hergestellt werden.

Weitere wichtige Kriterien für die Materialwahl sind die Schweißeignung und die Korrosionsbeständigkeit. Neben dem Schutz vor Korrosion sind die Profiloberflächen auch für die optische Erscheinung verantwortlich. Verbreitete Ausführungen sind insbesondere Schmelztauchveredelungen, Kunststoff- oder Pulverbeschichtungen, **Abb. 6**.

Besonders hohe Anforderungen an die Profiloberflächen werden gestellt, wenn sie beim fertigen Produkt im Sichtfeld des Betrachters liegen. Halbzeuge besitzen oft bereits die gewünschte Oberfläche. Um Abdrücke durch Werkzeuge auf der Oberfläche zu vermeiden, finden dann Schutzfolien, die erst nach dem Umformprozess entfernt werden, Anwendung. Eine Gegenüberstellung zweier Bauteile mit unterschiedlichen Einsatzorten und verschiedenen Oberflächengüten zeigt **Abb. 7**. Das Profil auf der rechten Seite ist später beim Kunden im nicht sichtbaren Bereich eingebaut. Aus diesem Grund sind gut erkennbare Rollenabdrücke akzeptabel. Das linke Bauteil muss aufgrund

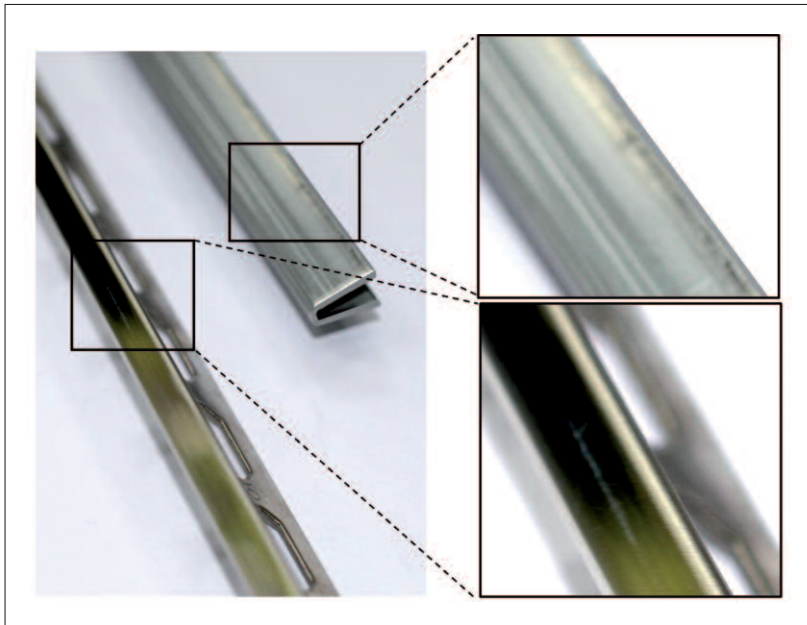


Abb. 7: Bauteile mit unterschiedlichen Oberflächenanforderungen [43]

des vorgesehenen Einsatzes im Sichtbereich eine veredelte Oberfläche ohne Werkzeugabdrücke aufweisen.

2.4 Aufbau typischer Profileranlagen

Profileranlagen werden auf ihren individuellen Einsatzzweck hin konfiguriert. Eine typische Walzprofilieranlage, wie in **Abb. 8** dargestellt, setzt sich aus Bandvorbereitung (1-3), Vorstanzeinheit (4), eigentlicher Profileranlage (5), Schweißstation (6), Geometrieerfassung (7), Profilrichtstation (8) und Abtrenneinrichtung (9) zusammen.

Oft schließen sich an die Abtrenneinrichtung Vorrichtungen zum Paketieren an.

Die Bandvorbereitung kann eine Abwickelhaspel (1), einen Bandspeicher (2), oft gepaart mit einer Schweißstation für das Verbinden von Bändern, und eine Bandrichtstation (3) umfassen. Auf der Abwickelhaspel wird das angelieferte Coil oder Spaltband (Ring) bereitgestellt. Bandspeicher werden genutzt, um bei einem Bandwechsel nicht den Betrieb der Anlage unterbrechen zu müssen.

Abhängig vom aktuellen Durchmesser des Coils/Rings besitzt das Band nach dem Abwickeln unterschiedliche Welligkeiten und Eigen-

spannungen. Diese können zu Abweichungen von der Zielgeometrie nach dem Profilierprozess führen. Aus diesem Grund werden in der Bandrichtstation (3) Welligkeiten und Eigenspannungen durch mehrfache Biegungen in entgegengesetzte Richtungen abgebaut. **Abb. 9** zeigt eine Abwickelhaspel mit anschließender Richtstation.

Die Profiliereinheit (5) kann aus bis zu 70 Einzelgerüsten bestehen, die in ihrer Baugröße variieren können. In **Abb. 10** sind zwei Anlagen unterschiedlicher Bauart dargestellt.

Profiliereinheiten bestehen aus einem meist kastenförmigen Unterstell in Schweißkonstruktion, einem Maschinentisch und den hintereinander angeordneten Gerüsten. Drei Bauformen von Walzprofiliergerüsten sind weit verbreitet (**Abb. 11**). Die erste Bauform (a) zeichnet sich durch eine fliegende Lagerung der Rollen aus [29]. Diese Variante ist für leichte Profile oder kleine Querschnitte geeignet. Durch die freie Zugänglichkeit der Werkzeuge auf einer Seite können die Rollen schnell getauscht und justiert werden. Bei der zweiseitigen Lagerung (b) wird die in (a) freie Seite der Welle durch eine angetriebene Gerüsthälfte gestützt [29]. Da durch diese zusätzliche Abstützung größere Kräfte aufgenommen werden können, ist es möglich, schwerere und dickere Profile umzuformen [1]. Allerdings muss diese zweite Gerüsthälfte bei einem Werkzeugwechsel stets entfernt werden.

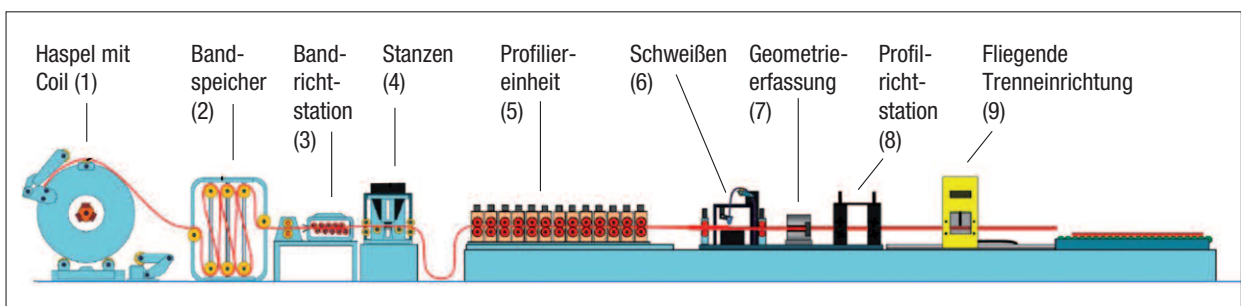


Abb. 8: Modell einer typischen Profileranlage

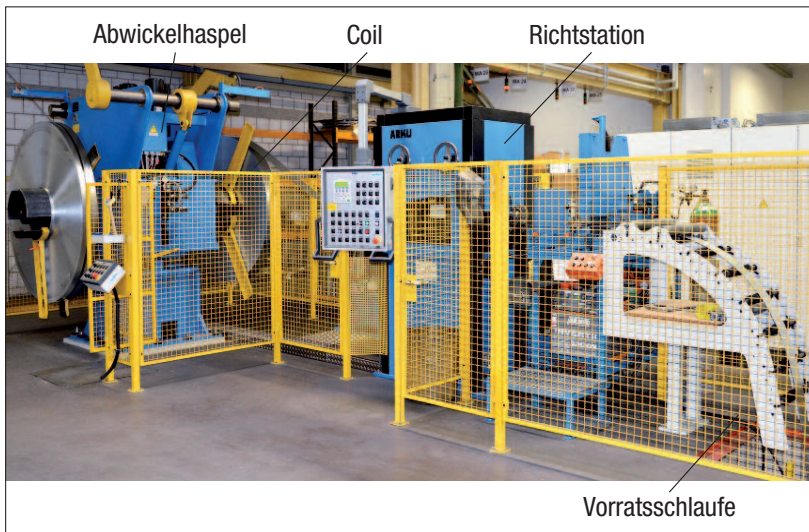


Abb. 9: Abwickelhaspel mit anschließender Richtstation [13]

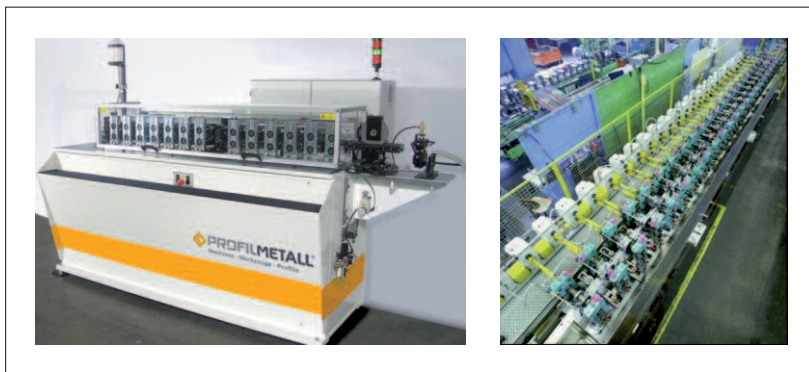
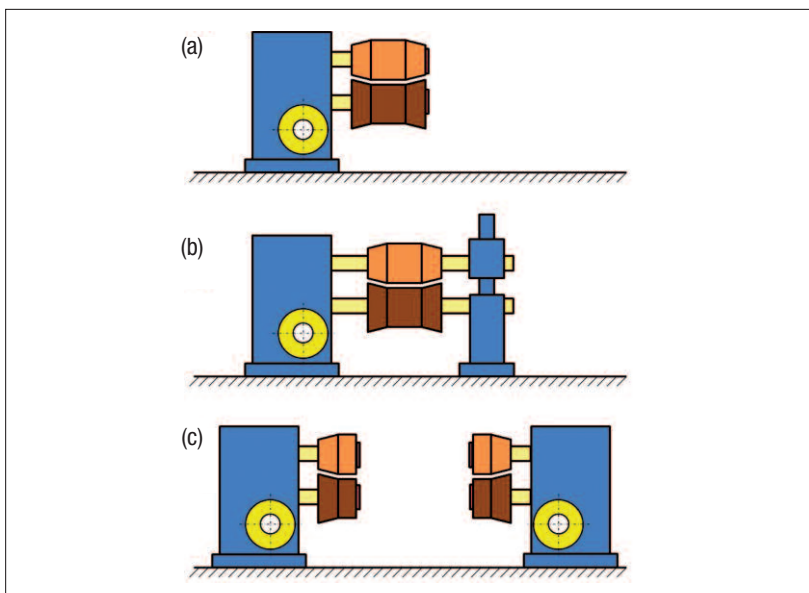


Abb. 10: Anlage für dünnwandige Kleinprofile (links) [53] und Anlage für großvolumige Profile (rechts) [38]



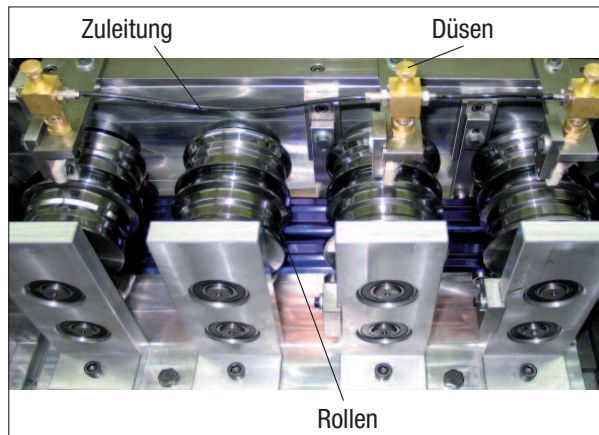
Beidseitig fliegend gelagerte Gerüsthälften („Duplex-Maschinen“) (c) finden bevorzugt bei der Umformung der Enden von breiten Profilen (z. B. Wand- und Deckenelementen) Verwendung [1].

Für den elektrischen Antrieb der Rollen existiert eine Vielzahl von Lösungen. Je nach zu übertragender Leistung werden entweder nur ausgewählte Wellen angetrieben, mehrere Wellen mit Ketten oder Zahnrädern in einem Antriebsstrang zusammengefasst oder jede Welle wird einzeln von einem Motor angetrieben. Zum Antrieb werden überwiegend Synchronmotoren eingesetzt.

Zur Vermeidung von Verschleiß und unzulässigen Temperaturerhöhungen während des Profilierens werden oft Schmiereinrichtungen in Profilieranlagen integriert. Nach [29] werden fünf verschiedene Varianten der Schmierung unterschieden. Eine weit verbreitete Variante bilden verdampfende Öle, die keine nachträgliche Entfernung des Schmiermittels erfordern und die in ihren Eigenschaften und Dosierungen dem jeweiligen Anwendungsfall angepasst werden können. Eine weitere Lösung stellen synthetische wasserlösliche Stoffe dar. Das Aufbringen dieser Schmierstoffvarianten kann z. B. als Spray erfolgen. Weitere Möglichkeiten bieten Mikro-, Makroemulsionen sowie ölbasierte Schmierstoffe [29]. Während ölbasierte Lösungen entstehende Wärme gut abführen können, bieten verdampfende Schmierstoffe die beste Polsterung zwischen Blech und Rollen und reduzieren dadurch effektiv Reibung und Verschleiß. Emulsionen stellen einen Kompromiss dar [29]. Vorteile der Minimalmengenschmierung lassen sich nutzen, wenn

Abb. 11: Allgemeine Bauformen von Walzprofiliergerüsten [1]

Abb. 12:
Minimalmengenschmierung in einer Walzprofilieranlage [54]



über Düsen nur die benötigte Menge an Schmierstoff auf das Blech aufgebracht wird. **Abb. 12** zeigt eine Minimalmengenschmierung innerhalb einer Profilieranlage.

Am Ende einer Profilieranlage befindet sich meist eine Trenneinrichtung (9). Bei kontinuierlichem Betrieb verfährt diese mit der Vorschubgeschwindigkeit des Blechs und teilt dabei das Profil in die vorgesehenen Längen auf. In **Abb. 13** ist ein Beispiel für eine fliegende Trenneinrichtung dargestellt.

Nach dem Trennen der Profile und dem Durchlaufen von letzten Qualitätssicherungsmaßnahmen, z.B. dem manuellen oder optischen Auswerten der Geometrieaußgenauigkeit und dem eventuellen Richten des Profils, erfolgen die Paketierung und der Transport zum Kunden. **Abb. 14** zeigt hierfür ein typisches Bild.

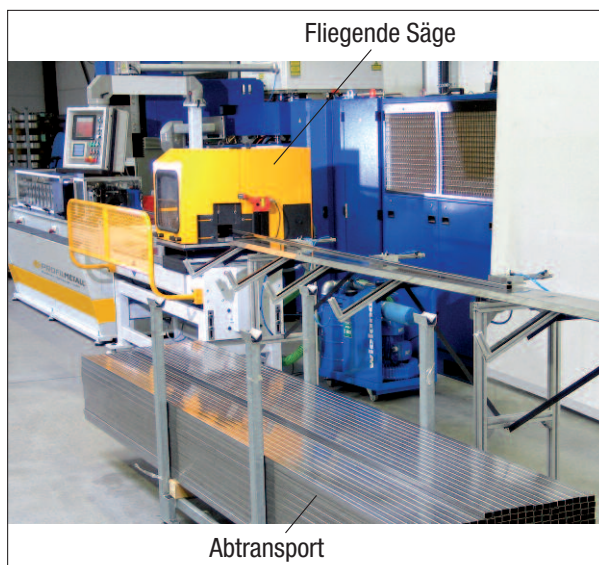
In viele Phasen der Profilherstellung können weitere Zusatzoperationen, wie z.B. Stanzen (4) oder Fügen (6), integriert werden. Besonders häufig ist die Kombination aus Schweißen und Profilieren zu finden. Ein Beispiel dafür ist das Längsnahtschweißen profilierter Rohre. Nach dem Schweißprozess erfolgen häufig Vermessung (7) und Kalibrierung (8) der Profile. **Abb. 15** zeigt eine typische Walzprofilierstrecke mit den genannten Stationen.

Walzprofilieranlagen lassen sich kontinuierlich oder diskontinuierlich betreiben. Bei einer kontinuierlich arbeitenden Anlage müssen Bearbeitungsstationen für diskontinuierliche Operationen, wie Ablängen oder Stanzen, entweder durch einen Speicher von dem ununterbrochenen Durchlauf entkoppelt werden oder während der Bearbeitung mit dem Band mitlaufen. Diskontinuierlich betriebene Anlagen benötigen keine mitfahrenden Bearbeitungsstationen, weil die Operationen am ruhenden Band ausgeführt werden können. Dafür sind häufige Brems- und Beschleunigungsvorgänge erforderlich [57].



Abb. 13: Aufbau einer fliegenden Säge

Abb. 14:
Stapelvorrichtung mit fertigen Profilen [53]



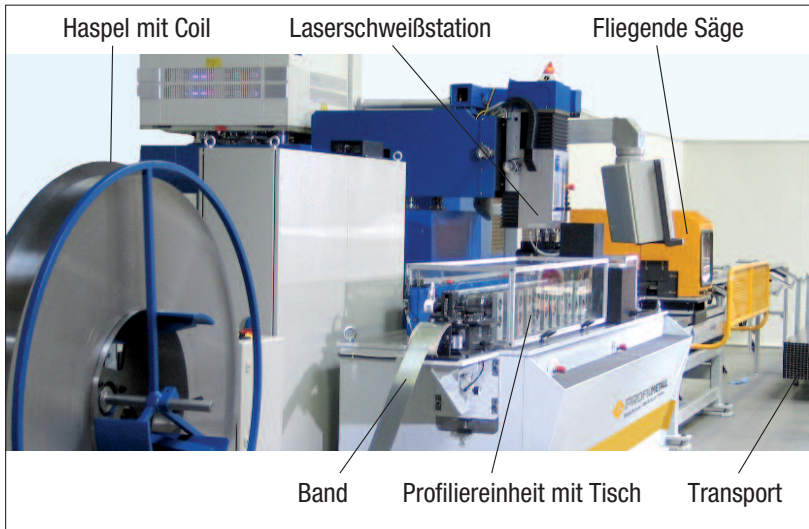


Abb. 15: Aufbau einer typischen industriellen Walzprofilierstrecke [54]

2.5 Umwelt- und Ressourcenschonung

Bedingt durch zunehmend knapper werdende Ressourcen und den Wunsch nach nachhaltigem Handeln gewinnen Aspekte der Umweltverträglichkeit bei der Auswahl von Umformverfahren eine größere Bedeutung. Walzprofilierprozesse weisen in dieser Hinsicht sehr positive Eigenschaften auf.

Verfahrensbedingt fällt die Materialausnutzung sehr hoch aus. Sie kann bei bis zu 100% liegen [64]. In der Praxis fallen allerdings meist Reste beim Einfahren eines Profils sowie Stanzreste an. Diese können bei Stahlprofilen zu 100% ohne Qualitätsverlust recycelt werden. Weitere Steigerungen der Materialnutzung sind durch Vergrößerung der nutzbaren Oberflächen möglich. Auf ein Beispiel dazu wird in Abschnitt 4.5 eingegangen.

Bezüglich des Energiebedarfs besitzt das Walzprofilieren den allen Kaltumformverfahren gemeinen Vorteil, dass der Umformvorgang bei Umgebungstemperatur startet, eine Erwärmung des Halbzeugs damit entfallen kann. Neben der Umformenergie wird beim Umformen auch Energie für die Reib-

ungsvorgänge und die Beschleunigung der Massen von Profil, Werkzeugen und Maschinenbestandteilen benötigt. Hier wirken sich beim Walzprofilieren die kleinen Reibflächen mit überwiegend vorherrschenden Rollreibungsbedingungen sowie die nur für die mitfahrenden Komponenten erforderlichen Beschleunigungsvorgänge positiv aus. Somit ist der energetische Wirkungsgrad beim Walzprofilieren ausgesprochen hoch.

Umweltbelastend wirken sich bei Umformprozessen oft von stoß-

artigen Bewegungen hervorgerufene Erschütterungen und Lärmbelastungen aus. Da Walzprofilieren als kontinuierlicher Prozess betrieben werden kann, fallen sowohl Geräuschemissionen als auch Erschütterungen gering aus.

Aufgrund der günstigen Reibungsbedingungen kann beim Walzprofilieren zudem mit umweltverträglichen Schmier- und Kühlmitteln gearbeitet werden. Damit ergeben sich sehr günstige ökologische Voraussetzungen beim Einsatz der Walzprofilierertechnologie.

2.6 Prozessentwicklung für das Walzprofilieren

Ziel der Entwicklung eines Walzprofilierprozesses ist die versagensfreie und spezifikationsgerechte Herstellung von Profilen. Die Einhaltung von Spezifikationen schließt insbesondere die Beachtung von Toleranzvorgaben ein. Beim Walzprofilieren kann eine Vielzahl an Bauteilfehlern auftreten. Einige sind in **Abb. 16** schematisch gezeigt. Eine Vermeidung dieser Fehler setzt eine sorgfältige Entwicklung des Walzprofilierprozesses voraus.

Beulen in Stegen	Bandkantenwelligkeit	Verdrillung
Aufbiegen von Stegen	Auf- und Rückfederung	Beulen in Biegekanten

Abb. 16: Auswahl möglicher Bauteilfehler am Profilbauteil

Versagensarten wie Beulen in Stegen, Bandkantenwelligkeit oder Verdrillung sind auf ungünstige Verteilungen von Längsdehnungen infolge der gewählten Stadienfolge zurückzuführen. Wie bereits in Abschnitt 2.1 erwähnt, treten in der Einformzone vor einem Gerüst in den verschiedenen Bereichen eines Profilquerschnitts unterschiedlich große Längsdehnungen auf. Wenn die Dehnungen zu plastischen Formänderungen führen, bleiben Zonen eines Profilquerschnittes dauerhaft gelängt. Dies zieht Druckspannungen in Längsrichtung innerhalb des walzprofilierten Profils nach sich. Die meist dünnwandigen Profilbereiche reagieren auf die Druckspannungen mit Instabilitätsversagen, was als Beulen oder Welligkeit zu Tage tritt.

Neben Instabilitäten sind Rückfederungseffekte insbesondere bei offenen Profilen eine häufige Ursache für geometrische Abweichungen der hergestellten Profile von den Spezifikationen. Die während des Walzprofilierens in das Profil eingebrachte Energie wird teilweise als elastische Energie gespeichert und nach Verlassen der Gerüste freigesetzt. Dadurch kommen Veränderungen der Biege- winkel und Durchbiegungen von Stegen zu Stande. In der Prozessplanung sieht der Konstrukteur als Maßnahme gegen unerwünschte Folgen der Rückfederung Über-

biegestationen vor. In diesen werden Winkel gezielt größer als in der angestrebten Zielgeometrie eingestellt, so dass sich nach der Rückfederung der gewünschte Winkel ergibt.

An den Profilenden beobachtet man häufig ein gegenüber dem durchgängigen Profil verändertes Auffedern von Schenkeln. Die Ursache dafür ist in den Längsspannungen zu suchen. Diese führen an dem einen Profilende zu einem verstärkten Auffedern und am anderen Ende oft zu einem Einfallen des Profilquerschnitts.

Durch kleinere Biege- winkschritte können die vorgenannten Fehler reduziert oder vermieden werden, außerdem kann die Maßhaltigkeit gesteigert werden. Kleinere Biege- winkschritte erfordern aber eine größere Anzahl an Werkzeugen und Gerüsten und somit mehr Platzbedarf und höhere Kosten. Daher wird ein Kompromiss zwischen Wirtschaftlichkeit und Prozesssicherheit gesucht und die Biege- winkelfolge so gewählt, dass die Zielgeometrie mit den geforderten Toleranzen in möglichst wenigen Umformstufen erreicht wird [29].

Noch immer werden die Stufen eines Walzprofilierprozesses teilweise erfahrungsbasiert festgelegt. Mehr und mehr setzt sich allerdings die algorithmenbasierte Planung durch. Dazu können entweder einfache analytische For-

meln oder aufwendigere numerische Simulationen, wie z.B. Ubeco Profil und dataM Copra, genutzt werden. In der Regel werden durch die analytischen Formeln Lösungen für eine mögliche Folge an Umformstufen gewonnen. Diese Lösungen können durch die Profilblumen visualisiert werden. **Abb. 17** zeigt auf der linken Seite die Profilblume eines einfachen asymmetrischen U-Profils mit den entsprechenden Werten der Umformschritte. Durch die Profilblume sind die Spalte zwischen Ober- und Unterrollen bzw. ggf. den Seitenrollen festgelegt. Weiter ist die Höhenlage der Spalte so zu bestimmen, dass die Längsdehnungen nicht unzulässig groß werden. Das Verschieben der Spalte in Höhenrichtung ermöglicht gleichmäßigere Längsdehnungen in den Profilquerschnitten und wird oft mit den Begriffen „Berg-“ oder „Talfahrt“ bezeichnet (Abb. 17, rechts). Schließlich gehört zur Auslegung eines Prozesses auch die Bestimmung der benötigten Ausgangsblech- oder -bandbreite. Die Ermittlung dieses Wertes wird erschwert durch die Verschiebung der neutralen Faser beim plastischen Biegen aus der Blechmitte hin in Richtung der Druckzone. Dadurch kommt es zu Fehlern, wenn die Länge der Blechdickenmitte aus der Profilzeichnung als Maß für die Halbzeugbreite gewählt wird. Korrekturfaktoren für die Ermitt-

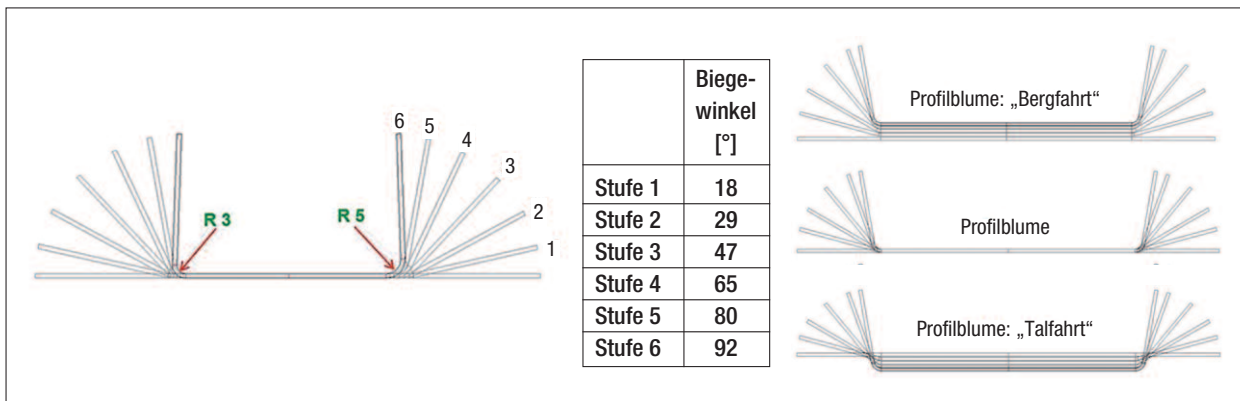


Abb. 17: Typische Profilblume für ein U-Profil mit gewählter Biege- winkelabfolge

lung der Breiten orientieren sich oft an den Werten in DIN 6935, obwohl diese die maßgeblichen Parameter nicht in vollem Umfang abbildet [28].

Die Anzahl n der benötigten Umformstufen lässt sich für eine erste Abschätzung mit folgender Gleichung berechnen:

$$n = \frac{\sqrt{2a^2}}{HD \tan \alpha} + 1$$

Hierbei ist HD der Gerüstabstand und a die Schenkelhöhe [29]. Die Summe der umgeformten Winkel wird durch α in Grad berücksichtigt. Der Gerüstabstand HD sollte größer als die Einformlänge L gewählt werden [65].

Die Länge des Einlaufbereichs zwischen Coil und dem ersten Gerüst sollte 140–200 mm betragen [29].

Der Betrag der Einformlänge L lässt sich gemäß [4] abschätzen zu:

$$L = a \sqrt{\frac{8a\theta_p}{3d}}$$

Die zusätzlichen Parameter d und θ_p berücksichtigen die Blechdicke und den Differenzwinkel zweier Umformstufen.

Neben der Biegewinkelfolge spielt bei der Prozessentwicklung für das Walzprofilieren auch die Gestaltung der Biegeradien in den einzelnen Stufen eine Rolle. Gewöhnlich unterscheidet der Kon-

strukteur zwischen zwei Typen der Radiengestaltung (**Abb. 18**).

Bei der Einförmigkeit nach (a) bleibt der Biegeradius in allen Umformstufen konstant. Dafür nimmt die Biegelänge bei jedem Schritt zu. Hierbei kann noch unterschieden werden, ob das zusätzliche Material, welches in die Biegelänge wandert, aus dem Steg oder dem Schenkel stammt. Diese Gestaltungsart hat den Vorteil einer einfachen Rollenfertigung, führt jedoch eher zu ungleichmäßigem Krümmungsverlauf und mehr Werkzeugabdrücken am fertigen Profil.

Bei der Variante (b) hingegen bleibt die Biegelänge bei fortschreitender Einförmigkeit konstant und der Biegeradius wird dafür kleiner. Dies hat den Nachteil einer aufwendigeren Rollenfertigung, da die Geometrie der Rollen von Stich zu Stich variiert. Dafür entstehen

im Vergleich zu Variante (a) weniger Krümmungen am Bauteil.

Ein weiterer Schritt in der Entwicklung eines Walzprofilierprozesses betrifft die Festlegung der Rollengeometrie außerhalb der Biegezone. Hier besteht einerseits der Wunsch, den Aufwand für die Rollenfertigung durch möglichst kleine Rollensegmente gering zu halten. Insbesondere bei breiteren Profilen findet man daher häufig anstelle von vollständig abbildenden Spalten zwischen Ober- und Unterrollen nur bereichsweise durch mit Distanzelementen getrennte Rollensegmente ausgebildete Spalte in einer Stufe (**Abb. 19**). Andererseits müssen die Umformzonen und die Kräfteinleitungsbereiche innerhalb der Profilquerschnitte in den einzelnen Umformzonen ausreichend abgestützt werden. Die Wahl der optimalen Rollenbreiten setzt ein gutes Verständnis der wirkenden Abstützverhältnisse innerhalb eines Gerüsts voraus.

Für den Transport des Profils durch die Walzprofilieranlage ist die zwischen Rollen und Profil wirkende Reibkraft verantwortlich. Angestrebt wird ein hoher Anteil an Rollreibung. Dadurch kann unerwünschter Verschleiß an den Rollen und der Profiloberfläche klein gehalten werden. Insbesondere bei beschichteten Bändern ist dieser Aspekt von großer Bedeutung, weil andernfalls Abrieb entsteht. Bei der Gestaltung der Rollen ist daher zu beachten, dass



Abb. 19: Möglichkeit einer segmentierten Rollenordnung (offenes Kaliber) und Anordnung vollständiger Rollen (geschlossenes Kaliber)

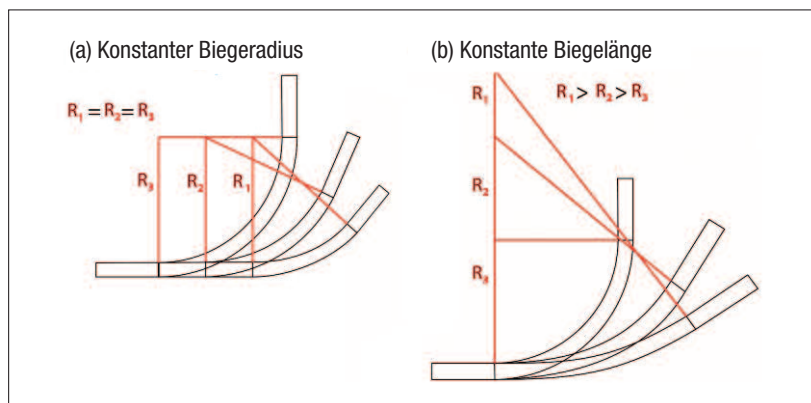
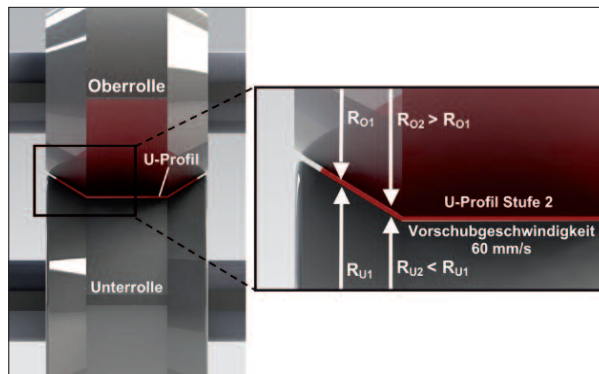


Abb. 18: Wahl des Radientyps [1]

Abb. 20:
Schlupfentstehung
aufgrund unter-
schiedlicher Rol-
lendurchmesser



an unterschiedlichen Durchmessern einer Rolle unterschiedliche Umfangsgeschwindigkeiten herrschen. **Abb. 20** verdeutlicht dies anhand des zuvor gezeigten U-Profiles. Da der Durchmesser der Ober- und Unterrolle in der Kontaktzone mit dem Blech variiert, kann nicht an allen Stellen die Umfangsgeschwindigkeit gleich dem Blechvorschub sein. Um aufgrund des entstehenden Schlupfes Verschleiß an den Rollenwerkzeugen zu reduzieren, können diese gehärtet werden. Auch kann durch den Einsatz von Schmiermitteln ein direkter metallischer Kontakt von Blechwerkstoff und Rollen an Stellen möglicher Schlupfentstehung verhindert sowie eine Temperaturerhöhung verringert werden. Durch einen im Vergleich zur Blechdicke geringer gewählten Spalt und die daraus resultierende erhöhte Normalkraft ist dennoch der Vortrieb des Profils durch die

Reibkraft gewährleistet. Konstruktiv wird oft die Kombination aus einer Segmentierung der Rollen und einem segmentweisen Antrieb genutzt. Dies kann erreicht werden, wenn die antreibenden Segmente über eine Welle-Nabe-Verbindung, beispielsweise eine Passfeder-Nut-Kombination, mit dem Antrieb verbunden sind und die nicht angetriebenen Segmente über eine Lagerung von diesem entkoppelt werden.

Für die Unterstützung der Rollenkonstruktion stehen spezialisierte Softwarelösungen zur Verfügung.

Zur frühzeitigen Überprüfung der zu erwartenden Qualität des entworfenen Walzprofilierprozesses werden in zunehmendem Maße numerische Simulationen durchgeführt. Mit diesen wird überprüft, ob die gewählte Einformstrategie zu fehlerfreien und spezifikationsgerechten Profilen führen kann.

Gängig ist die Nutzung von Finite-Elemente-Software (FE-Software) mit speziell auf die Bedürfnisse der Walzprofilierertechnologie zugeschnittenen Ein- und Ausgabeprogrammen. Die speziellen Ein- und Ausgabeprogramme gestatten eine schnelle Erzeugung des numerischen Modells und eine zielgerichtete Auswertung der Ergebnisse. Um benötigte Rechenzeiten nicht übermäßig ansteigen zu lassen, werden vereinfachende Modellannahmen getroffen. So werden die Rollen mit der entworfenen Geometrie, aber als nicht deformierbar und mit nicht veränderlicher Lage modelliert. Dem Halbzeug werden elastische und plastische Materialeigenschaften, im Speziellen Fließkurve, E-Modul und Querkontraktionszahl, zugewiesen. Aktuelle Weiterentwicklungen berücksichtigen auch die Nachgiebigkeit der Gerüste sowie die lokalen Kontaktverhältnisse im Spalt zwischen Ober- und Unterrollen und zielen auch auf eine zuverlässige Vorhersage der Kräfte an den Rollen ab. Als besonders interessante Ergebnisse einer Finite-Elemente-Simulation liegen die Geometrie des erzeugten Profils sowie die im Profil herrschenden Eigenspannungen vor. Ebenso kann die Entwicklung der Eigenschaften in den einzelnen Stufen nachvollzogen werden. Ein Beispiel hierfür ist in **Abb. 21 a und b** dargestellt.

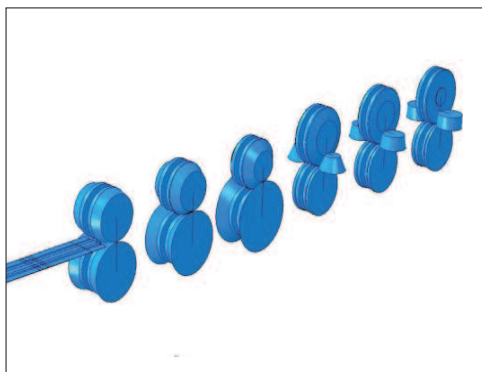


Abb. 21 a: Simulationsmodell eines U-Profiles mithilfe der FE-Software [30]

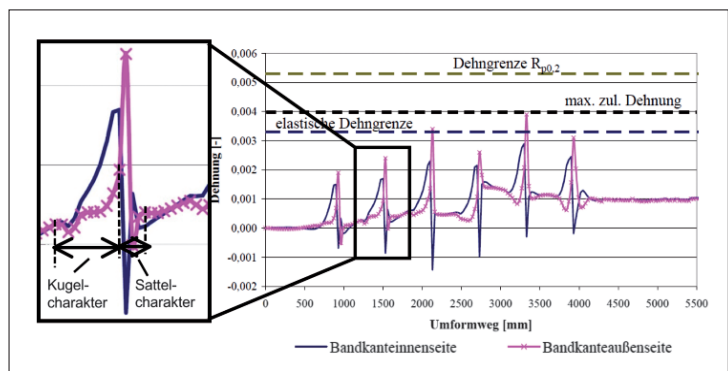


Abb. 21 b: Beispiel für Auswertung der Längsdehnungen [30]

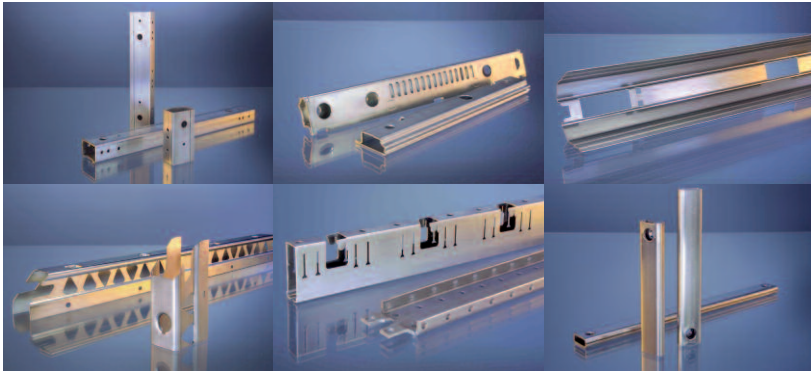


Abb. 22: Walzprofilerte Bauteile mit Zusatzoperationen [38]

Das Diagramm in Abb. 21b zeigt die zeitliche Entwicklung der Dehnung in einem sechsstufigen U-Profil an der Bandkante. Deutlich ist der Anstieg der Dehnungswerte vor jedem Gerüst zu erkennen. Die in Abschnitt 2.1 beschriebenen Zonen mit Kugel- und Sattelcharakter finden sich exemplarisch in vergrößerter Form wieder.

Nachdem Unzulänglichkeiten der zunächst ausgewählten Einformstrategie erkannt worden sind, kann der Walzprofilierprozess verbessert und in einer neuen Simulation abgebildet werden. Dies wird wiederholt, bis die gewünschten Qualitätsmerkmale erreicht werden.

Auf die Festlegung der Biege- und Winkelabfolge und der Rollengeometrie folgt die Detailkonstruktion der einzelnen Rollen. Die gängigen Softwareprogramme verfügen über

CAD-Schnittstellen, so dass die Ableitung der Rollenzeichnungen weitgehend automatisiert erfolgen kann. Im Inneren der Rollen müssen die Bohrungen für die Antriebswellen sowie die eventuell vorzusehenden Nuten oder Lager definiert werden. Schließlich ist vor dem Fertigungsbeginn noch die Montierbarkeit in den Gerüsten zu überprüfen.

2.7 Zusatzoperationen

Einbaufertige Profile besitzen nicht immer durchgängig identisch ausgebildete Querschnitte. Vielmehr erfordern viele Anwendungen neben dem Walzprofilieren weitere Fertigungsschritte. Walzprofilieranlagen eröffnen aufgrund der guten Zugänglichkeit des Profils während der Herstellung viele

Möglichkeiten, zusätzliche Fertigungsprozesse zu integrieren. Häufig werden Löcher und Aussparungen für beispielsweise Befestigungs-, Verriegelungs- oder Lagerungsaufgaben, Verbindungen für das Schließen von Profilen oder die Anbindung weiterer Bauteile sowie lokale plastische Formänderungen wie das Prägen von Kennzeichnungen mit der Profilerzeugung durch Walzprofilieren kombiniert. **Abb. 22** zeigt Profile, die durch die Kombination von Walzprofilieren und Lochen oder Schweißen erzeugt wurden.

Pressen wie Station (4) in Abb. 8 sind in vielen Walzprofilieranlagen integriert. Mit ihnen können sowohl Trennoperationen, wie z.B. Lochungen, als auch Prägeoperationen (z.B. Firmenlogo) vor, während und nach dem Profiliervorgang vorgenommen werden. Der Ort für die Durchführung dieser Operationen wird durch Abwägen der Kriterien Zugänglichkeit der Bearbeitungsstelle sowie Toleranzeinhaltung ausgewählt.

Die Zugänglichkeit zu Stempel und Matrizen sowie die mechanische Entkopplung mithilfe von Bandschlaufen sind am ebenen Halbzeug – und somit vor der Profilierung – am besten zu gewährleisten. Durch die Deformation der erzeugten Löcher oder Aussparungen kann jedoch die Einhaltung enger Form- und Lagetoleranzen am fertigen Profil schwieriger sein, weil die Biege- und Längsspannungen Veränderungen an deren Geometrie hervorrufen. **Abb. 23** zeigt ein eingefädelttes Halbzeug mit Lochungen und Aussparungen vor dem Profilieren.

Fügeoperationen (6) werden ebenfalls häufig mit der Profilerstellung kombiniert (Abb. 8). Neben mechanischem Fügen sind insbesondere Schweißprozesse vielfach in Walzprofilieranlagen realisiert. So entstehen beispielsweise geschlossene Profile durch

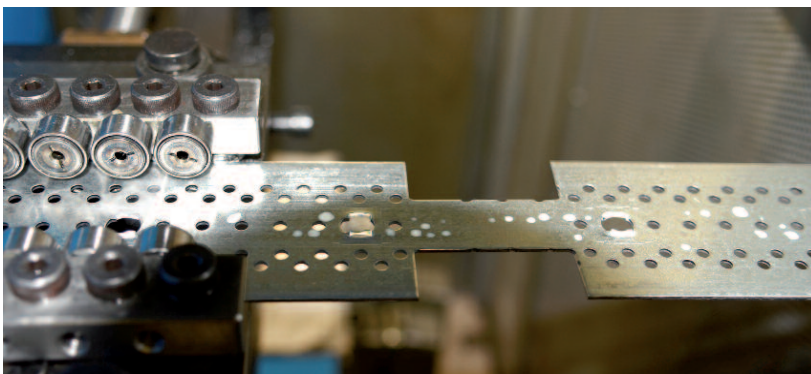
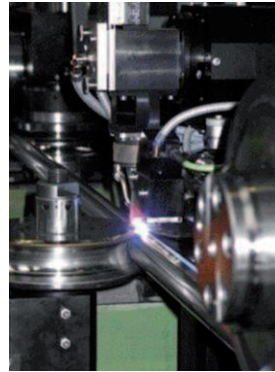


Abb. 23: Halbzeug mit eingebrachten Aussparungen und Lochungen [14]



Abb. 24: Einsatz von CO₂-Lasern beim Profilieren [53], [38]

Zusammenschweißen der Bandkanten. Die Wahl des Schweißverfahrens hängt von der geforderten Vorschubgeschwindigkeit und dem Werkstoff ab. In der Stahlrohrherstellung ist das Hochfrequenzschweißen besonders verbreitet. Hierbei schmilzt ein von einem Induktor erzeugter hochfrequenter Strom die zu verbindenden, zusammengepressten Bandkanten auf. Als Variante entwickelt sich mehr und mehr das Laserschweißen. Sowohl CO₂- als auch Festkörperlaser werden bei Geschwindigkeiten von bis zu 60 m/min eingesetzt [52]. Die Wärmeeinflusszone ist sehr klein. **Abb. 24** zeigt zwei typische CO₂-Laser innerhalb einer Walzprofilieranlage.



2.8 Qualitätssicherung

Der Qualitätssicherung kommt eine große Bedeutung beim Profilieren zu. Bedingt durch die hohe Produktivität führt eine späte Fehlererkennung zu großen Verschwendungen an Material und Zeit. Wichtigste Klasse von Qualitätsmerkmalen sind meist geometrische Größen. Grundsätzlich unterscheidet man bei der Qualitätskontrolle zwischen der Offlinemessung, die außerhalb der Profilierstraße erfolgt, und der Inlinemessung, die innerhalb der Walzprofilieranlage stattfindet. Obwohl Offlinemessungen mit einem zeitlichen Versatz zwischen Herstellung und Messung einhergehen, sind sie dennoch etabliert

als stichprobenartige Kontrolle im Warenausgang. Meist reichen zertifizierte Messschieber und Radienlehre, um die geforderten Maße und Toleranzen zu überprüfen (**Abb. 25**).

Mehr und mehr setzen sich Inlinemessverfahren für die Überprüfung der Profilgeometrie während des Profilierens durch. Als Messprinzip wird in der Regel die sogenannte Lasertriangulation genutzt, bei der eine digitale Kamera von Laserstrahlen erzeugte Lichtpunkte auf einem Objekt erfasst. Voraussetzung dafür ist, dass Richtung und Quelle von Kamera und Laser bekannt sind. Ein typisches Messsystem zur Ermittlung des Geometriequerschnitts (7) zeigt **Abb. 26** am Beispiel der Überprüfung des Biegewinkels.

Noch wenig verbreitet sind Inlinemessungen zur Überwachung des Profilierprozesses. Wenngleich auch Einrichtungen zur Kraftmessung in Gerüsten bekannt sind, ist deren durchgängige Nutzung aufgrund des großen Aufwands bei den zahlreichen Gerüsten noch nicht üblich.

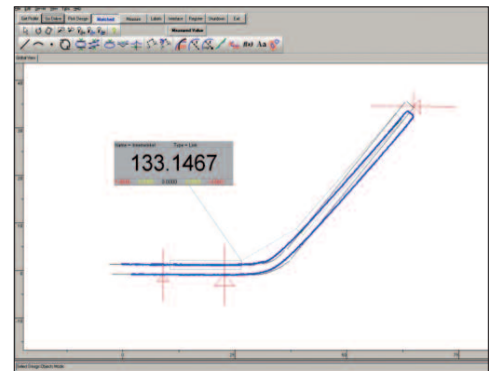
Um Geometriefehler nach dem Profiliervorgang zu korrigieren, kommen Richtstationen, vgl. Station (8) in **Abb. 8**, zum Einsatz. In diesen werden gezielt Gegenspannungen in das Profil eingebracht. **Abb. 27** zeigt eine dem Profilieren nachgeschaltete Richtstation



Abb. 25: Manuelle Endkontrolle von Geometriege nauigkeit und Toleranzen am Bauteil [62]



Abb. 26: Geometrieerfassung mit Bytewise 360 am Beispiel der Ermittlung des Biegewinkels



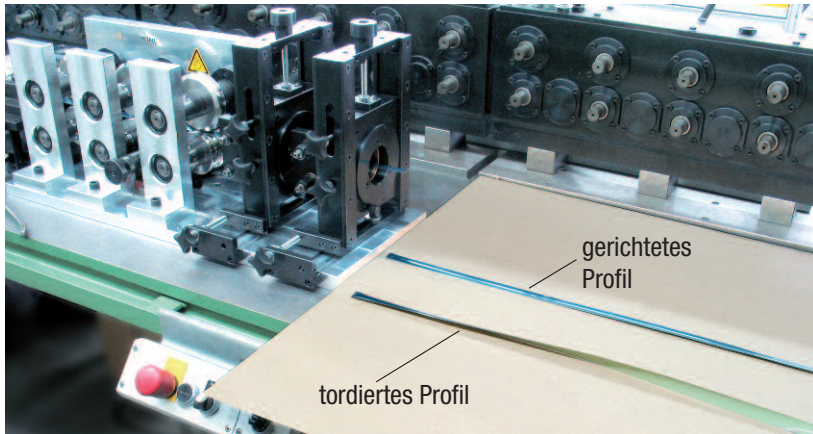


Abb. 27: Richtstation nach dem Profilervorgang [55]

mit einem nicht gerichteten, tordierten Profil und einem gerichteten Profil.

2.9 Breitbandprofilieren

Neben der Profilierung von schmalen Bändern kann auch Breitband durch Walzprofilieren verarbeitet werden. Sogenannte Breitbandprofile oder auch Wellprofile sind Profile mit in Längs- oder Querrichtung verlaufenden parallelen Wellen mit runden, trapezförmigen, rechteckigen oder dreieckigen Querschnitten oder auch Kombinationen dieser Querschnitte [5]. **Abb. 28** zeigt Beispielquerschnitte von durch Breitbandprofilieren herstellbaren Profilen und

die Rollenordnung für eine Stufe in Querrichtung. Anwendung finden solche Bauteile vor allem im Bauwesen. Viele Dach- und Wandbauteile werden aus profiliertem Breitband hergestellt.

Die Besonderheit des Breitbandprofilierens besteht in dem großen seitlichen Bänderzug, der mit Quersugbeanspruchungen und der Gefahr des Beulens einhergeht [15]. Bei den Auslegungsstrategien für das Breitbandprofilieren wird hauptsächlich unterschieden, ob die zu erzielenden Querschnitte auf einem gleichzeitigen Biegen mehrerer Wellen oder Sicken oder auf nacheinander folgenden Profilierschritten basieren [5].

Übliche Materialdicken liegen bei 0,4 bis 2 mm.

3 Fertigungsgerechte Profilgestaltung

Abhängig vom späteren Einsatzgebiet und von ihrer Beanspruchung können Profile mit speziellem Querschnitt und charakteristischer Material- und Oberflächenbeschaffenheit so gestaltet werden, dass sie in unterschiedlichsten Produkten Anwendung finden können.

Um den Konstrukteur bei seiner Arbeit zu unterstützen, existieren sogenannte Gestaltungsprinzipien, die konkrete Empfehlungen für die Auslegung einer Zielgeometrie eines rollprofilierten Bauteils darstellen. Die Produktkonstruktion wird hierbei durch eine Vielzahl von Anforderungen an das Bauteil bestimmt. Beispiele hierfür sind Funktion, Sicherheitsstandards, Montier- und Austauschbarkeit sowie Temperatureinfluss [29].

3.1 Auslegungskriterien für Profilbauteile

Die Variantenvielfalt beim Profilieren ist nahezu unbegrenzt. Dennoch können einzelne Geometrieabmessungen in ihrer Dimension nicht beliebig groß oder klein gewählt werden. Für eine prozesssichere Umsetzung muss die Wahl einzelner Geometriegrößen

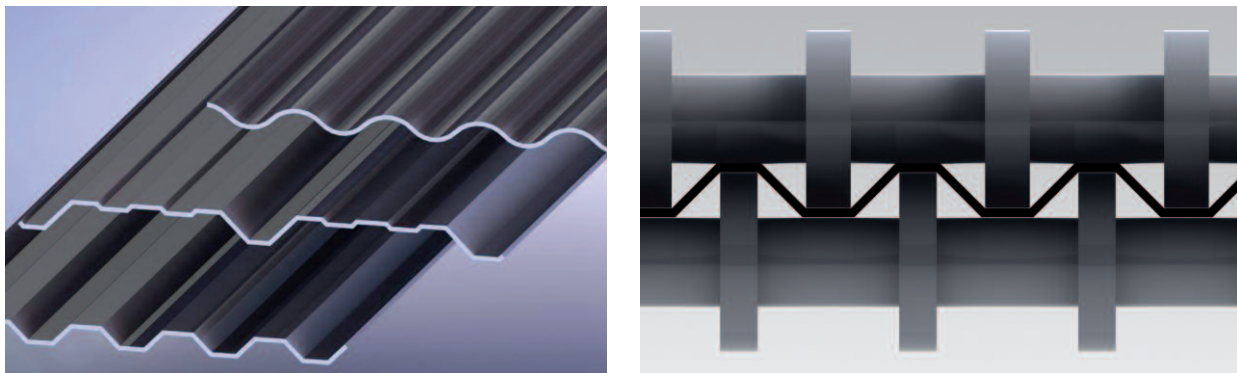


Abb. 28: Durch Breitbandprofilieren hergestellte Querschnittsformen; links oben: Wellprofil, links Mitte und unten: Trapezprofil, rechts: Rollenordnung in Querrichtung

ßen immer in Bezug zu anderen Parametern betrachtet werden. Bei Verwendung von zusätzlichen Produktionsschritten, wie z. B. Stanzen und Schweißen, müssen ebenfalls konstruktive Einschränkungen beachtet werden. Abb. 29 bis Abb. 34 zeigen dazu exemplarisch Gestaltungsempfehlungen für ein einfaches U-Profil auf. Die Empfehlungen beziehen sich in diesem Fall nicht auf die Auslegung des Prozesses (Kapitel 2.6.), sondern auf die Dimensionierung des Produktes. Diese setzen sich einerseits aus der Berücksichtigung der minimalen und maximalen Bauteilabmessungen, aus allgemeinen Konstruktionsrichtlinien und andererseits aus Richtlinien bei Verwendung zusätzlicher Operationen, wie z. B. Stanzen, zusammen.

Bei der Profilgestaltung muss der Konstrukteur zuerst den Querschnitt des späteren Bauteils definieren.

Bei der Frage nach dem Querschnitt sind, wenn nicht schon vorgegeben, möglichst symmetrische Querschnitte auszuwählen, da aufgrund der gleichmäßigeren Spannungsverteilung weniger Verzug im Bauteil und so weniger Justageaufwand zu erwarten ist [8]. Sollte ein symmetrischer Querschnitt nicht möglich sein, sind zumindest gleiche Biegewinkelschritte anzustreben [6]. Aufgrund des in Kapitel 2.6 beschriebenen variierenden Rollendurchmessers und des daraus folgenden Schlupfs sollte die Formtiefe nicht zu groß gewählt werden. Die maximale Formtiefe hängt von der zur Verfügung stehenden Profiliermaschine ab und kann bis über 200 mm betragen. Falls möglich, sind lange, gebogene Strecken zu vermeiden und durch Geraden und Biegewinkel zu ersetzen [56].

Wenn der Zielquerschnitt des zu profilierenden Bauteils definiert ist, müssen die einzelnen Dimensionen bzw. Bauteilabmessungen vom Konstrukteur bestimmt werden. Abhängig von der Blechdicke d muss der Konstrukteur darauf

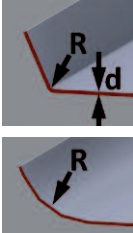
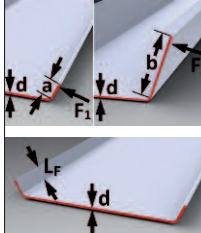
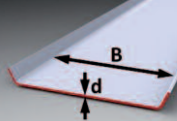
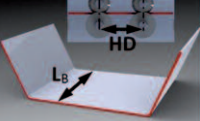
Wahl des Biegeradius	Wahl der Schenkellänge	Wahl der Stegbreite	Wahl der Profillänge L_B
			
$R \geq 2 \cdot d$	$L_F \geq 3 \cdot d$	$B/d \leq 60$	$L_B \geq 2 \cdot HD$

Abb. 29: Konstruktionsregeln zur Beachtung der minimalen und maximalen Nennmaße eines U-Profiles

achten, dass die Leistung der Motoren und die Steifigkeit der Anlage entsprechend ausgelegt sind [29]. Im Folgenden müssen davon abhängige Größen, wie der Biegeradius R , die Schenkellänge L_F und die Stegbreite B , ebenfalls angepasst werden.

Bei der Wahl des Biegeradius R ist zu beachten, dass in Abhängigkeit von Werkstoff und Blechdicke ein bestimmter Mindestbiegeradius aufgrund eines möglichen Materialversagens nicht unterschritten wird. Nach [29] soll dieser Wert mindestens dem doppelten Betrag der Blechdicke entsprechen (**Abb. 29**). Durch den Einsatz von Feinkornstählen lassen sich heutzutage aber auch Materialdopplungen mit 180° -Biegungen und Innenradien mit annähernd $R = 0$ mm rissfrei realisieren. Ein zu groß gewählter Biegeradius bringt wiederum den Nachteil einer eventuell zu großen Rückfederung mit sich.

Die Länge des Schenkels oder Flansches L_F kann nur in einem gewissen Bereich beliebig gewählt werden, da die minimale und maximale Länge praktisch bedingte Grenzen hat. Abb. 29 zeigt diesen Sachverhalt anhand des Beispiels für verschiedene Schenkellängen a und b und den daraus resultierenden Umformkräften F_1 und F_2 auf. Bei kleinen Schenkellängen a wird, aufgrund des kürzeren Hebelarms, das Maß durch die benötigte

höhere Umformkraft F_1 an der Schenkelaußenseite begrenzt [29]. Bei wachsender Schenkellänge b sinkt zwar die benötigte Umformkraft F_2 , aber es steigt auch wiederum das Längenverhältnis von Band- zu Biegekante in der Einformzone und so die Gefahr von unerwünschten Längsdehnungen. Gegenmaßnahmen wie die Wahl kleinerer Biegewinkelschritte oder eines größeren Gerüstabstandes sind dabei nicht wirtschaftlich [29]. In [8] und [56] wird die minimale Schenkellänge L_F mit mindestens der dreifachen Blechdicke d angegeben.

Bei der Wahl der Stegbreite B sollte ebenfalls das Verhältnis zur Blechdicke d beachtet werden. In [29] wird dieses Verhältnis mit maximal 60 angegeben (Abb. 29). Bei einem größeren Wert würde, aufgrund fehlender Kaltverfestigungen, die Gefahr einer Instabilität des Bleches bestehen.

Nach der Definition des Profilquerschnitts muss die Profillänge L_B bestimmt werden. Die minimale Blechlänge L_B sollte, gemäß [29], mehr als $2 \cdot HD$ betragen (Abb. 29).

Bei den schon erwähnten möglichen Zusatzoperationen, wie z. B. Stanzen oder Schweißen, muss der Konstrukteur ebenfalls Richtlinien beachten. Auch hier spielt die vorher gewählte Blechdicke d eine Rolle.

In [29] wird beispielsweise eine für Lochungen noch mögliche maximale Blechdicke d von 1,8 mm angegeben. Heutzutage sind aber Lochungen bis 6 mm Blechdicke Standard. Weiterhin muss der Konstrukteur bei Stanzoperationen auf dem Steg oder Schenkel auf einen Mindestabstand von Lochung zu Biegekante achten. Dieser Mindestabstand L_s wird in [29] mit dem Vierfachen der Blechdicke d angegeben (Abb. 30).

Auch der Abstand i von Loch zu Bandkante (Abb. 30) darf vom Konstrukteur nicht zu klein gewählt werden, da sich diese Aussparungen aufgrund der Bandkantendehnung verformen können. Der minimale Abstand i wird hierbei durch die jeweilige vorliegende Bandkantendehnung bestimmt. Gegenmaßnahmen dazu wären eine Erhöhung des Abstandes i oder kleinere Biegewinkelschritte [29].

Weiterhin können Abweichungen der Lochgeometrie durch Spannungen quer zur Vorschubrichtung entstehen. Aus diesem Grund sollte hier ein minimaler Abstand j , der mindestens dem Vierfachen der Blechdicke d entspricht, von Loch zu Loch eingehalten werden (Abb. 30) [29].

Durch eine, wenn auch geringfügige, Dickenänderung des Materials ergeben sich aufgrund der Volumenkonstanz kleine Längenänderungen des Bauteils [29]. Diese Längung des Profils und damit die Änderung eines eventuell vorhandenen Lochabstandes (Abb. 31) muss der Konstrukteur bei der Dimensionierung berücksichtigen.

Sollten Biegelinien vorgelochter Bleche direkt durch die Aussparungen führen, muss der Konstrukteur eine eventuelle Instabilität des Bauteils einkalkulieren (Abb. 31). Eine diskontinuierliche Biegelinie erschwert zudem die Maßhaltigkeit des Bauteils. Weiterhin können diskontinuierliche Biegelinien zu Geometrieabweichungen führen [29].

Wahl des Abstandes von Loch zu Biegekante	Wahl des Abstandes von Loch zu Bandkante	Wahl des Abstandes von Loch zu Loch
		
$L_s \geq 4 \cdot d$	Abhängig von der Bandkantendehnung	$j \geq 4 \cdot d$

Abb. 30: Konstruktionsregeln zur Einhaltung von Abständen bei der Verwendung von Stanzoperationen

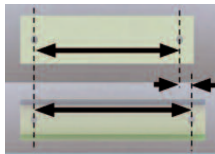
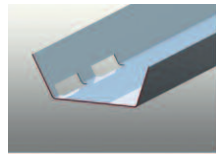
Vergrößerung des Lochabstandes	Diskontinuierliche Biegelinien
	

Abb. 31: Hinweise bei der Auslegung von Profilbauteilen unter Verwendung von Stanzoperationen

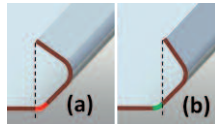
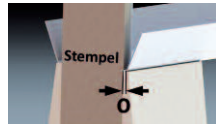
Vermeidung toter Winkel	Berücksichtigung des Werkzeugvolumens
	

Abb. 32: Konstruktionsregeln zur Gewährleistung der Profilierbarkeit

Neben diesen Gestaltungsrichtlinien ist natürlich vor allem darauf zu achten, dass das Bauteil mit den gewünschten Abmessungen überhaupt walzprofilieren kann. Hierbei müssen die benötigten Eingriffsräume für Werkzeuge unbedingt berücksichtigt werden.

Bei der Wahl nach innen zeigender Flansche, dargestellt in Abb. 32, muss der Konstrukteur berücksichtigen, dass ab einem bestimmten Verhältnis von Flanschlänge zu Biegewinkelschritt die Oberrollen keinen Zugang mehr zum Biegeradius finden (a). Solche „blind corners“ können durch die Wahl kürzerer Flansche oder einer alternativen Biegewinkelabfolge vermieden werden (b) [8], [29].

Bei einem Loch nach dem Umformen, beispielsweise auf dem Steg, muss der Konstrukteur im Hinblick auf die benötigte Lochgröße bei der Dimensionierung der Stegbreite ausreichend Platz für das später einzusetzende Stanzwerkzeug lassen. Zusätzlich muss er hierbei noch einen kleinen Anteil o eines flachen Bereichs zur Abstützung des Profils berücksichtigen (Abb. 32).

Die beim Lochen entstehenden Butzen dürfen dabei nicht in Kontakt mit den Rollwerkzeugen kommen. Um eine gesicherte Abfuhr dieser Butzen zu gewährleisten, wird die Anordnung des Profils, wie z. B. das Biegen der Schenkel nach oben oder unten,

Zusätzliche Biegelinien zur Vermeidung weiter, flacher Bereiche	Zusätzliche Biegelinien zur Begradigung des Bandes	Zusätzliche Biegelinien bei Schweißnähten
		

Abb. 33: Nutzen zusätzlicher Biegelinien am Profilbauteil

Rollen	Falten	Sicken	Materialdopplung
			
Der Rand eines Profils wird um mehr als 180° umgeformt	Stufenweises Biegen von Schenkeln um einen gemeinsamen Punkt	Vertiefungen im Profil, z. B. zur Versteifung	Das Material liegt doppelt aufeinander, z. B. an den Rändern

Abb. 34: Gestaltungsmöglichkeiten beim Walzprofilieren

vorweg vom Konstrukteur festgelegt.

Wie schon erwähnt, kann der Konstrukteur das Bauteil nicht beliebig dimensionieren. Verschiedene Maße des Produktes, wie z. B. Profillänge oder -breite, sind seitens des Kunden vorgegeben. Besonders bei der Forderung nach einer großen Stegbreite B kann, für eine Berücksichtigung des Verhältnisses B/d in Abb. 29, nicht beliebig weit mit einer größeren Blechdicke d entgegengewirkt werden. Weite, lange und nicht gebogene Strecken mit einem hohen Wert für B sind aber aufgrund der Steifigkeit zu vermeiden. Abhilfe schaffen hier konstruktive zusätzliche Biegelinien, wie in **Abb. 33** dargestellt, die als Versteifungen in das Bauteil integriert werden [6]. Das Minimum des Wertes W_0 ist dabei abhängig von der Rollengeometrie.

Weiterhin können bei weiten, nicht umgeformten Bereichen eventuelle Ungleichmäßigkeiten im Blech, wie z. B. eine Welligkeit des Vormaterials, nicht mehr ausgeglichen werden [8]. Diesen Ungleichmäßigkeiten kann der Konstrukteur durch zusätzliche Biegelinien entgegenwirken (**Abb. 33**). In der Nähe einer Schweißnaht können zusätzliche Biegelinien ebenfalls helfen, die aufgrund des Schweißens entstehende Welligkeit zu minimieren [29].

Bei asymmetrischen Querschnitten, beispielsweise bestehend aus einem umgeformten Abschnitt auf der einen Seite und einem langen, nicht umgeformten Bereich auf der anderen Seite, ist es aus Gründen der Steifigkeit ebenfalls ratsam, einen zusätzlichen Schenkel in das Profil zu integrieren [56].

3.2 Prinzip der gleichen Gestaltfestigkeit

Mit dem Ziel, den Werkstoff möglichst gut auszunutzen, fordert das Prinzip der gleichen Gestaltfestigkeit eine gleich hohe Beanspruchung an jeder Stelle des Bauteils. Auf diese Weise lassen sich Materialmenge und damit Gewicht und Kosten weitestgehend einsparen. Die optimale Werkstoffausnutzung führt zu einer wirtschaftlicheren Herstellung [47].

Dünne Bleche können beim Walzprofilieren durch Faltnungen so umgeformt werden, dass leichte Profilsysteme entstehen, die an den Stellen mit höherer Belastung Materialdopplungen aufweisen und in weniger belasteten Bereichen eine Blechstärke, die der des dünnen und damit leichteren Ausgangsmaterials entspricht. Wie schon in **Abb. 33** dargestellt, können durch eine geschickte Anordnung der Biegekanten und das Schweißen zu geschlossenen Profilen zudem sehr biege- und torsionssteife Bauteile aus dünnen Ausgangswerkstoffen erzeugt werden, die optimal zur Versteifung von Stahlkonstruktionen und als Trägersysteme eingesetzt werden können.

Vertiefungen bzw. Sicken sind eine weitere Möglichkeit, um die Steifigkeit im Profil zu erhöhen. Zusätzliches Falten des Bauteils, also das eigentliche Profilieren, kann ebenso dazu beitragen, die Steifigkeit eines Profilbauteils, beispielweise bei großen Querschnitten, zu steigern. **Abb. 34** gibt einen Überblick über Gestaltungsmöglichkeiten beim Walzprofilieren.

3.3 Prinzip der direkten und kurzen Kraftleitung

Gerade um die Einfachheit und Eindeutigkeit eines Produktes sicherzustellen, hilft die Vorstellung eines Kraftflusses durch das Bauteil hindurch. Um Kräfte und Momente zu übertragen, soll grundsätzlich eine möglichst direkte

Kraftleitung bei einer geringen elastischen Verformung ermöglicht werden [47].

Walzprofilierter Stahlbauteile eignen sich durch ihre Festigkeitseigenschaften gut zur Aufnahme von Zug- und Druckspannungen bei geringer Nachgiebigkeit und sind bei entsprechender Gestaltung auch sehr biege- und torsionssteif. Durch gute Schweißbarkeit der Kaltprofile können beispielsweise schnell und kostengünstig stabile Rahmenkonstruktionen produziert werden.

3.4 Prinzip der abgestimmten Verformung

Bei benachbarten Bauteilen sollen große Relativbewegungen durch das Prinzip der abgestimmten Verformung möglichst vermieden werden. Die Wahl der richtigen Fügemethode spielt hierbei ebenso eine Rolle wie die entsprechende Materialanordnung an der Fügestelle [47].

Kaltprofile können auf unterschiedlichste Arten gefügt werden, um den Kraftfluss von einer Komponente auf die nächste zu ermöglichen. Je nach Werkstoff und Legierung sind Schweiß- und Lötverbindungen ebenso möglich wie Schraub- und Nietverbindungen. Darüber hinaus können Teile bereits im Profilierprozess selbst mittels „Fügen durch Umformen“ miteinander verbunden werden.

Um Relativverformungen entgegenzuwirken, kann der Querschnitt der Profile so angepasst werden, dass möglichst viel Material im Kraftangriffspunkt gesammelt und an anderer Stelle weniger Werkstoff eingesetzt wird.

3.5 Aufgabenintegration bei unterschiedlichen Funktionen

Das Prinzip der Aufgabenintegration bedeutet, einem Bauteil unterschiedliche Funktionen zuzuweisen. Dieser Ansatz bietet interessante Möglichkeiten, Kosten zu sparen. Auf diese Weise können Platz- und Materialbedarf reduziert werden, da nur eine Komponente gefertigt werden muss, anstatt jeweils eine für jede Teilfunktion des Produktes [47].

Ein Profil kann z. B. tragende Funktionen besitzen und gleichzeitig auch als Kabelkanal für elektrische, pneumatische oder hydraulische Leitungen dienen, wie das Demonstratorbauteil in **Abb. 35** zeigt. Durch eine gezielte Maschinenanordnung mit integrierten Fügeprozessen lassen sich auch Profile mit mehreren Kammern realisieren, die jeweils unterschiedliche Funktionen wahrnehmen. Mit dieser Integration von mehreren Funktionen in ein einziges System kann eine deutliche Platz- und Kostenersparnis erreicht werden.

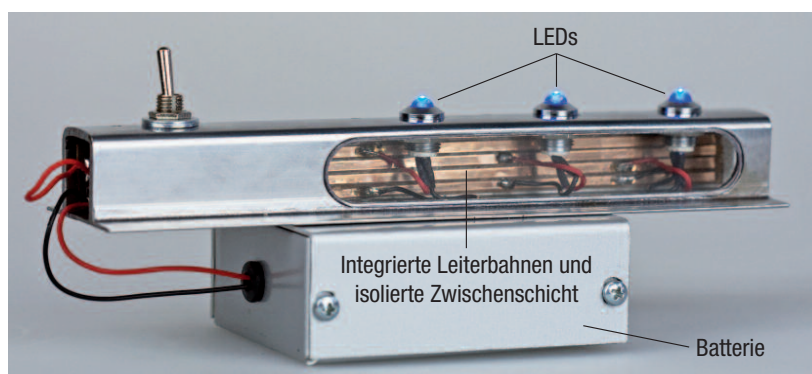


Abb. 35: Profilbauteil mit integrierten zusätzlichen Funktionen [25]

4 Spezielle Verfahren und Entwicklungen

4.1 Einleitung

Die Forderung nach weiterer Ressourcenschonung sorgt maßgeblich für die Weiterentwicklung der Walzprofilierertechnologie. Als wesentliches Gestaltungsprinzip steht hierbei der Leichtbau im Fokus. Konsequente Anwendung von Leichtbauprinzipien führt zur Minimierung von Produktgewichten, oft verknüpft mit Funktionsintegration [2]. Geringere Gewichte können die Gebrauchseigenschaften verbessern. Beispiele dafür liefert die Automobilindustrie, weil durch geringeres Gewicht niedrigere Verbrauchswerte und bessere Fahrleistungen erreichbar sind [51], [24]. Andererseits führen Leichtbaubemühungen auch zu geringeren Einsatzgewichten bei den Halbzeugen, was mit Ressourcenschonung und Kosteneinsparung verbunden sein kann.

Leichtbau kann durch den Einsatz leistungsfähigerer Werkstoffe, die Realisierung optimierter Formen oder die Integration von zusätzlichen Funktionen erreicht werden. Aktuelle Entwicklungen auf dem Feld des Walzprofilierens tragen diesen Ansätzen Rechnung. Einige von diesen werden nachfolgend vorgestellt. In Verbindung mit den in Abschnitt 2.5 beschriebenen allgemeinen Verfahrensmerkmalen bietet das Walzprofilieren ausgezeichnete Möglichkeiten für eine nachhaltige Produktion hochwertiger Güter.

4.2 Bauteiloptimierung durch hoch- und höchstfeste Stähle

Hoch- und höchstfeste Stähle entstehen durch geeignete Kombinationen von Legierungszusammensetzung und Nachbehandlung des Stahlwerkstoffes. Sie besitzen im Vergleich zu konventionellen Stählen höhere Festigkeiten bei

gleichem Gewicht [58]. Im Automobilbau werden hoch- und höchstfeste Stähle in festigkeitsrelevanten Trägerstrukturen und energieabsorbierenden Bauteilen verwendet.

Bei einem Umstieg von konventionellem kaltgewalztem Band auf höherfeste Stähle kann meist die gleiche Walzprofilieranlage genutzt werden. Allerdings stellt die Umformung von hoch- oder höchstfesten Stählen durch Walzprofilieren sowohl aufgrund der Festigkeit als auch aufgrund der auftretenden Rückfederung eine Herausforderung dar [29]. Die höheren Festigkeiten führen zu größeren notwendigen Kräften an den Rollen. Daher werden für das Profilieren höherfester Stähle steifere Gerüste empfohlen und höhere Antriebsleistungen installiert. Die aufgrund der höheren Streckgrenze stärkere Rückfederung kann beim Walzprofilieren entweder vorgehalten oder durch eine Steuerung oder Regelung der Rollenpositionen in der letzten Stufe eines Biege winkels kompensiert werden [20]. Wohl deshalb wird das Walzprofilieren sogar als Schlüsseltechnologie zur Verarbeitung von höherfesten Stählen bezeichnet [51]. Zu beachten ist allerdings die im Vergleich zu konventionellen Stählen geringere Duktilität der hoch- und höherfesten Stahlwerkstoffe. Daher müssen die zu realisierenden Biegeradien entweder größer ausfallen oder Druckspannungen in Dicken- oder Querrichtung des Bandes beim Biegen überlagert werden.

4.3 Bauteiloptimierung durch Kombination von Walz- und Walzprofilierverfahren

In heutigen Serienproduktionen werden Rollprofile fast ausschließlich aus Halbzeugen mit konstanten Dicken gefertigt. Damit ist das volle Potenzial des Formleichtbaus nicht ausgeschöpft. In der Regel ist der eingesetzte Werk-

stoff nicht in allen Profilbereichen optimal ausgenutzt.

Neuere Ansätze in der Profilierertechnik verfolgen daher das Ziel, durch die Kombination von Walz- und Walzprofilierverfahren weitere Gewichtsreduzierungen zu ermöglichen. Dazu können entweder Halbzeuge mit lokal angepasster Geometrie genutzt werden oder Walzprozesse mit dem Walzprofilieren verknüpft werden. Eine Anpassung der Geometrie an den späteren Einsatzfall kann durch Reduzierungen oder Erhöhungen der Dicke oder durch die Ausbildung von Verzweigungen erfolgen.

4.3.1 Tailored Blanks

Eine verbesserte Anpassung der Profilquerschnitte an spätere Belastungen bieten Profilbauteile aus Tailored Blanks. Unterschieden wird hierbei zwischen Tailor Welded Blanks (TWB) und Tailor Rolled Blanks (TRB) [27].

Bei **Tailor Welded Blanks** handelt es sich um lasergeschweißte Platinen, die aus zwei oder mehr Einzelblechen unterschiedlicher Dicke, Stahlsorte/Festigkeit oder Oberflächenveredelung bestehen. Mit diesen Halbzeugen werden im Automobilbau Bauteile und Bau-

gruppen erfolgreich gewichts- und funktionsmäßig optimiert [36].

Auch Tailored Tubes, Rohre mit variierender Blechdicke über die Längsachse, die z. B. aus Tailor Welded Blanks hergestellt werden, finden industriell Anwendung [27].

Tailor Rolled Blanks dagegen werden durch flexibles Walzen hergestellt. Dabei wird der Walzspalt während des Prozesses so angepasst, dass ein Halbzeug mit unterschiedlichen Dicken entsteht. Durch Walzprofilieren können aus diesem Ausgangsmaterial Profile hergestellt werden. Diese Profile sind in den Zonen mit hoher Belastung im späteren Betrieb in größeren Wandstärken ausgeführt (Abb. 36). An Stellen mit geringeren Beanspruchungen in der Profilnutzung wird dagegen durch geringere Wandstärken Material und somit Gewicht eingespart. Auf diese Weise können Bauteile, die zuvor zur Verstärkung aus mehreren Komponenten zusammengefügt wurden, durch ein einziges Profil ersetzt werden. Die zuvor notwendigen Fügeoperationen können entfallen und machen dadurch Walzprofilieren von Tailor Rolled Blanks wirtschaftlich interessant [24].

Neben den Vorteilen des auf diese Weise erzeugten Profils

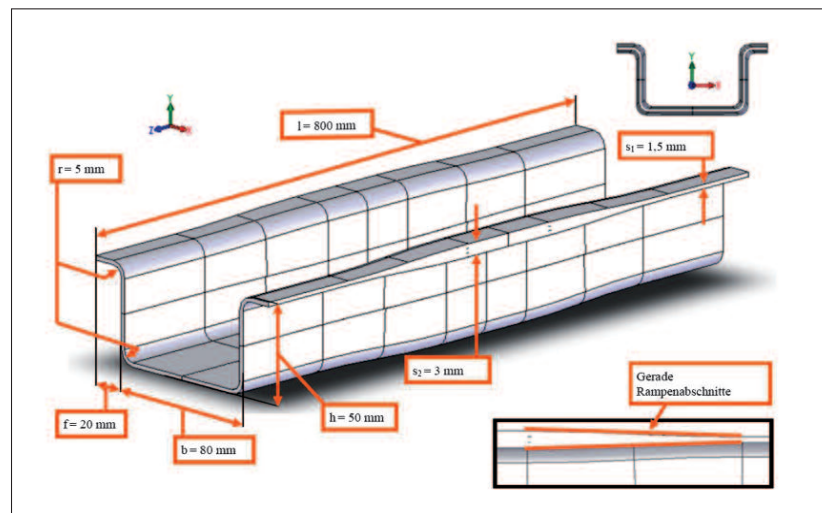


Abb. 36: Schematische Darstellung eines U-Profils aus Tailor Rolled Blanks [24]

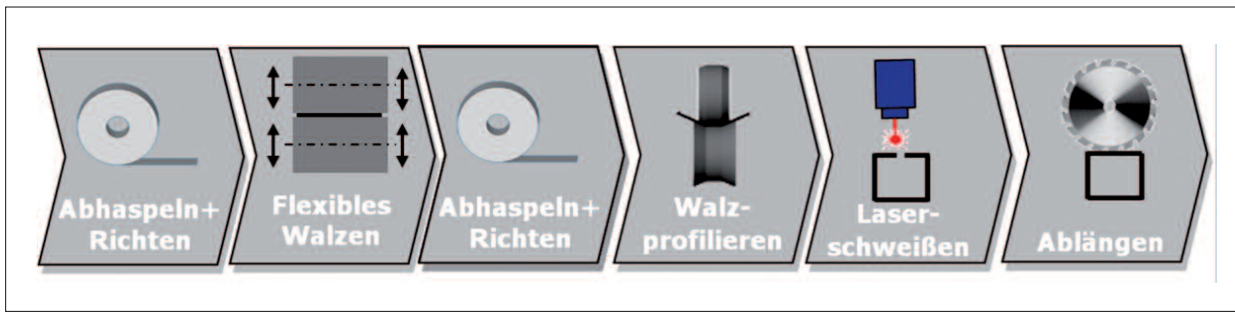


Abb. 37: Einheitliche Prozesskette zur Herstellung von Profilen mit veränderlicher Blechdicke über der Längsachse [24]

selbst können durch eine einheitliche Prozesskette Lager- und Logistikkosten für bisherige Zwischenprodukte eingespart werden, was Profilen aus Tailor Rolled Blanks einen weiteren wirtschaftlichen Vorteil verschafft [24]. In **Abb. 37** ist eine mögliche Prozesskette vereinfacht dargestellt.

Bezüglich der Prozessauslegung sind beim Walzprofilieren von TRBs besondere Aspekte zu berücksichtigen. So muss, um ein offenes Profil mit konstanten Außen- oder Innenabmessungen zu erhalten, die Zuschnittsbreite des Bleches in Prozessrichtung variieren, da durch die unterschiedlichen Blechdicken des Ausgangsmaterials sich auch die abgewinkelte Länge ändert. Der Zuschnitt muss also tailliert werden, um am Ende ein Profil mit gerader Bandkante zu erhalten [3].

Walzprofilieranlagen für Tailor Rolled Blanks müssen weiterhin der Anforderung genügen, dass der Walzspalt der variierenden Blechdicke angepasst werden muss, um Maßungenaugkeiten durch Rückfederung zu vermeiden. Aus diesem Grund sind in vorteilhaft ausgeführten Gerüsten die Rollen vertikal und horizontal verstellbar. Die Positionierung der Rollen kann dabei entweder kraftgesteuert z. B. über Federpakete erfolgen oder weggesteuert mithilfe von Aktoren. Untersuchungen zeigen, dass weggesteuerte Rollenpositionen zu besserer Maßhaltigkeit führen als eine Walzspaltanpassung durch Federpakete [2].

4.3.2 Tailored Strips

Eine weitere Möglichkeit, Profile belastungsorientiert zu gestalten, bieten Bänder mit unterschiedlicher Dicke über der Breite. Diese umfassen Tailor Welded Strips und Tailor Rolled Strips.

Bei **Tailor Welded Strips**, eine Weiterentwicklung der Tailor Welded Blanks [36], werden Bänder unterschiedlicher Dicke oder Festigkeit längs verschweißt, so dass ein Halbzeug mit unterschiedlichen Eigenschaften über der Breite entsteht.

Für die Weiterverarbeitung dieser Halbzeuge eignet sich das Walzprofilieren gut [36]. Durch diese Art der Variation ist es möglich, Profile ihren Belastungen entsprechend anzupassen. Mit diesen Halbzeugen können bisherige gestalttechnische Restriktionen bei walzprofilierten Stahlprofilen im Vergleich zu stranggepressten Profilen ausgeglichen werden [34].

Durch eine gezielte Anpassung der Profilquerschnitte lassen sich diese auf Belastungen in der Profilmutzung einstellen oder deren Formänderungsvermögen lässt sich in späteren Prozessschritten erweitern [36].

Tailor Rolled Strips werden durch Bandprofilwalzen realisiert. Mit diesem Verfahren werden Bänder mit einer über der Breite veränderlichen Dicke durch Walzen erzeugt [36]. Dazu wird der Walzspalt an den gewünschten Dickenverlauf angepasst. Die Möglichkeit der Kombination von Bandprofilwalzen und Rollprofilieren zur Herstellung belastungsorientierter Profile über den Querschnitt ist in [27] gezeigt. **Abb. 38** zeigt belastungsorientierte Beispieltaeile, die aus bandprofiliertem Halbzeug hergestellt sind. Die Reduzierung der Blechdicke kann dabei sowohl in der Nähe der Bandkante als auch in der Mitte des Profils erfolgen [63].

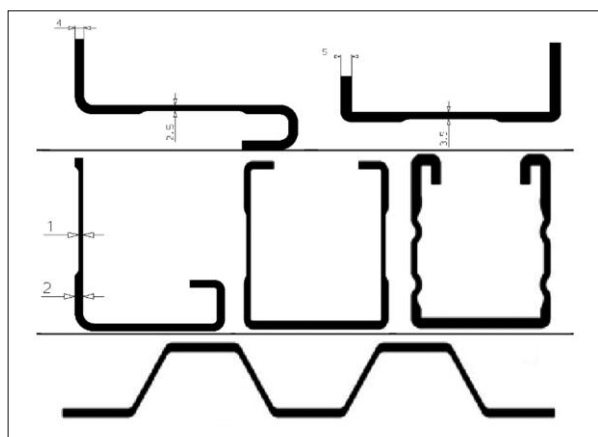


Abb. 38: Profilbeispiele mit Dickenreduktion [63]

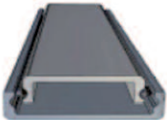
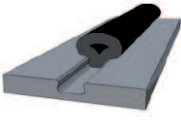
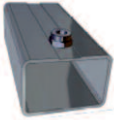
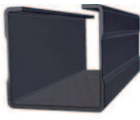
Führungen	Befestigungs- nuten	Montagehilfe	Belastungs- optimierung
			

Abb. 39: Möglicher Kundennutzen von durch Bandprofilwalzen hergestellten profilierten Halbzeugen [63]

Anwendungen solcher Profile finden sich z. B. in Abgasanlagen und Sitzschienen im Fahrzeugbau [45]. In [63] werden drei Varianten des Bandprofilwalzens unterschieden: Neben einer Dickenreduzierung können mithilfe der Varianten Nutenwalzen und Anstauen zusätzliche Vorteile durch Tailor Rolled Strips genutzt werden.

Abb. 39 zeigt kundenorientierte Demonstratoren auf, bei denen sich durch eine Kombination dieser drei Varianten neue Einsatzzwecke realisieren lassen [63].

4.3.3 Spaltprofilieren

In vielen Teilen der Industrie werden Profile mit mindestens zwei von der Stegebene wegweisenden Flanschen benötigt. Beispiele hierfür sind einfache T-Pro-

file, welche in großer Stückzahl als Trägerelemente verwendet werden. Solche Produkte werden auch als Bauteile mit Verzweigungen oder Stringern bezeichnet [49]. Das Gestaltungselement Verzweigung bietet neben der Form des Bauteils an sich die Möglichkeit, diese so zu gestalten, dass eine Verbesserung des Beulverhaltens ohne Massenerhöhung möglich ist [16]. Verzweigungen in Bauteilen werden heutzutage entweder durch integrale oder durch differentielle Bauweise realisiert. Differentiell bedeutet in diesem Fall ein Fügen (wie z. B. Schweißen) des Zielbauteils aus Einzelkomponenten. Als nachteilig wirkt sich hier unter anderem die Wirtschaftlichkeit aufgrund zusätzlicher Fügeoperationen aus. Weitere Probleme können Steifigkeitssprünge, Eigenspannungen und Gefügeveränderungen sein [49].

Bei der integralen Lösung besteht das komplette Bauteil aus einem Halbzeug. Die Eigenheit dieser Bauweise besteht aus einer geringen Fehleranfälligkeit sowie einer höheren Wärmeleitfähigkeit infolge durchgängig einheitlichen Materials. Weiterhin können zusätzliche Schritte in der Fertigungslinie, wie z. B. das Fügen, vermieden und so Kosten gespart werden. Integrale Bauteile können entweder durch Urformen, Zerspanen oder Massivumformung hergestellt werden [59]. Mithilfe der Profiliertechnik können integrale Profile konventionell nur durch das Einbringen von Sicken oder durch Materialdopplung erreicht werden. Negativ wirken sich hier die nicht leichtbauorientierte Bauweise und die Rissbildung bei kleinen Biegeradien aus [59]. Neue Möglichkeiten zur Herstellung längsorientierter, an der Bandkante verzweigter Bauteile aus Stahl in integraler Bauweise eröffnet das Spaltprofilieren [37]. Dieses Massivumformverfahren gehört nach DIN 8583-1 zur Gruppe der Druckumformverfahren [9]. Da das Band eine Relativbewegung rechtwinklig zur Rotationsachse vollführt, lässt sich das Umformverfahren auch der Gruppe der Längswalzverfahren zuordnen. Beim Spaltprofilieren wird ein ebenes und translatorisch bewegtes Band mit-

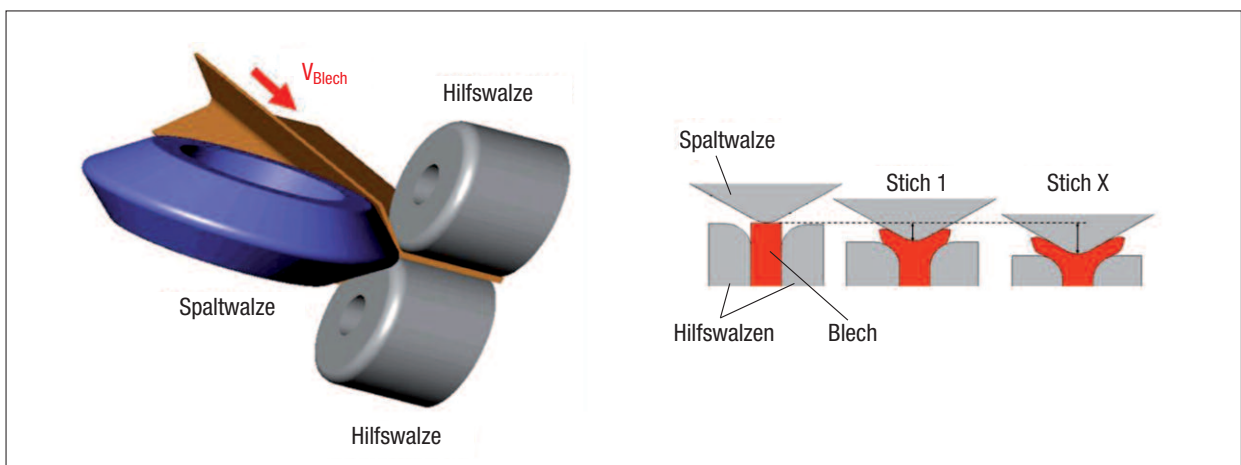


Abb. 40: Links: Prinzip des Spaltprofilierens [17]; rechts: Entstehung eines Flansches an der Bandkante [50]

hilfe eines verfahrensspezifischen Werkzeugsystems, bestehend aus Spaltwalze und zwei Hilfswalzen, am Blechrand durch Druckumformung gespalten. Das Prinzip dieses Verfahrens ist in **Abb. 40** links dargestellt. Die Querschnittsgeometrien des Bandes an der Verzweigungsstelle nach unterschiedlichen Stichen veranschaulicht **Abb. 40** rechts. Durch eine Steigerung der Stichanzahl können Spalttiefe und Flanschlängen erhöht werden. Im Gegensatz zum konventionellen Spalten von z. B. Ronden ist die Spaltwalze beim Spaltprofilieren stumpfwinklig ausgeführt, so dass in der Umformzone hohe hydrostatische Druckspannungen wirken. Diese führen zu einem erhöhten Formänderungsvermögen des eingesetzten Materials und ermöglichen das Erreichen großer Umformgrade.

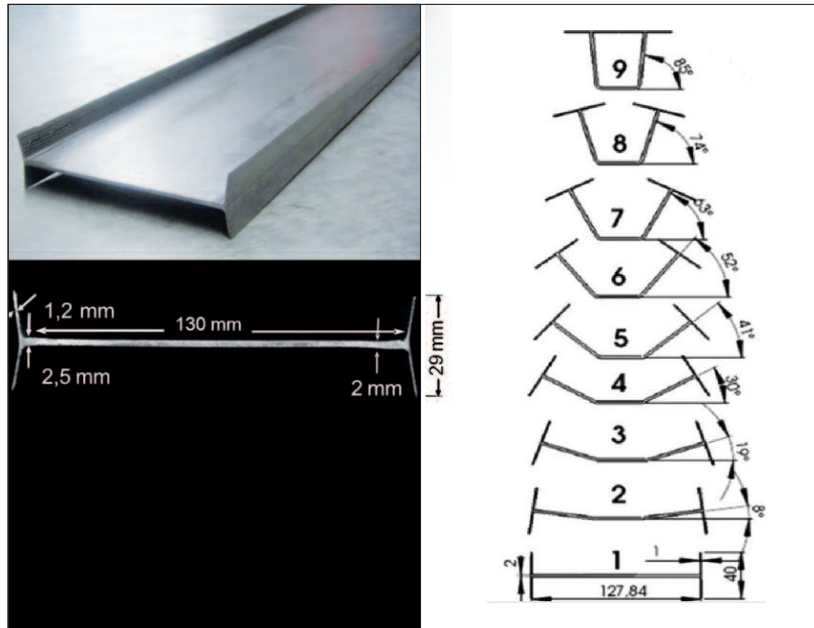


Abb. 41: Links: Spaltprofilierendes Ausgangsprodukt [25]; rechts: Weiterverarbeitung durch Walzprofilieren [50]

Abb. 41 zeigt links ein durch Spaltprofilieren hergestelltes Halbzeug. Es kann durch Walzprofilieren weiterverarbeitet werden. Eine mögliche Eiformung eines Spaltprofils zu einem Einkammerprofil mit zwei freien Flanschen ist im rechten Teil der **Abb. 41** zu finden.

Spaltprofilerte Bauteile können im Hinblick auf Statik und Stabilität belastungsorientiert optimiert werden. Ein weiterer Vorteil dieses Verfahrens liegt in der Kombinationsmöglichkeit mit weiteren Funktionen. **Abb. 42** zeigt zwei Bauteile, mit denen eine solche Funktionsintegration mithilfe verzweigter Strukturen möglich ist. Sowohl das Einkammerprofil als auch das Dreikammerprofil können neben ihrer Eigenschaft als Trägerbauteil Funktionen wie Kabelführung oder Leitungen z. B. für Druckluft ermöglichen.

Abb. 43 zeigt die Produktionslinie für die Fertigung eines Dreikammerprofils und dessen Biege- und Winkelabfolge im Walzprofilierprozess. Sie setzt sich hauptsächlich aus den Fertigungsschritten Spaltprofilieren, Walzprofilieren und Laserschweißen zusammen.

Um für geschlossene Profile das Schweißen der Flansche durch den Laser zu gewährleisten, müssen diese eine schweißbare Bandkante aufweisen. Dafür werden die Flansche nach dem Walzprofilieren einer zerspannenden Bandkantenbearbeitung unterzogen.

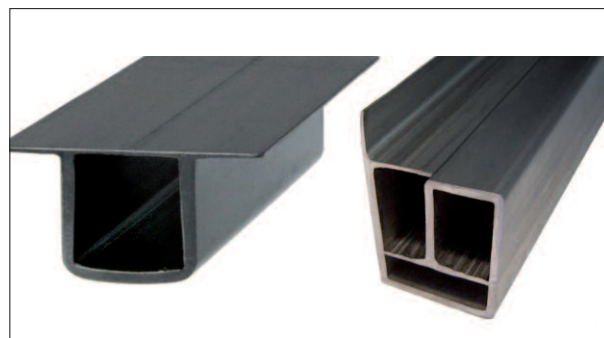
4.3.4 Spaltbiegen

Beim Spaltprofilieren ist es möglich, an der Bandkante eines Bleches Verzweigungen in Form von Flanschen auszubilden. Dies ist aber nur am Blechrand möglich. Dadurch ist die Anzahl der zusätzlichen Verzweigungen auf

zwei begrenzt. In vielen Anwendungsfällen sind aber Profile mit mehr als zwei Verzweigungen erforderlich. Diese können entweder durch das Fügen mehrerer durch Spaltprofilieren bereits verzweigter Einzelbauteile oder durch Spaltbiegen hergestellt werden.

Im Gegensatz zum Spaltprofilieren entsteht beim Spaltbiegen ein Flansch aus der Blechmitte bzw. an einer Biegekante. Dieser kann an jeder beliebigen Biegekante im Profil ausgebildet werden [49]. Ausgangspunkt hierfür ist ein bereits vorgebogenes Blech. In diesem Fall kann der Prozessschritt des Walzprofilierens dem Spaltbiegen vorgelagert sein.

Abb. 42: Spaltprofilerte Bauteile: Einkammer- und Dreikammerprofil



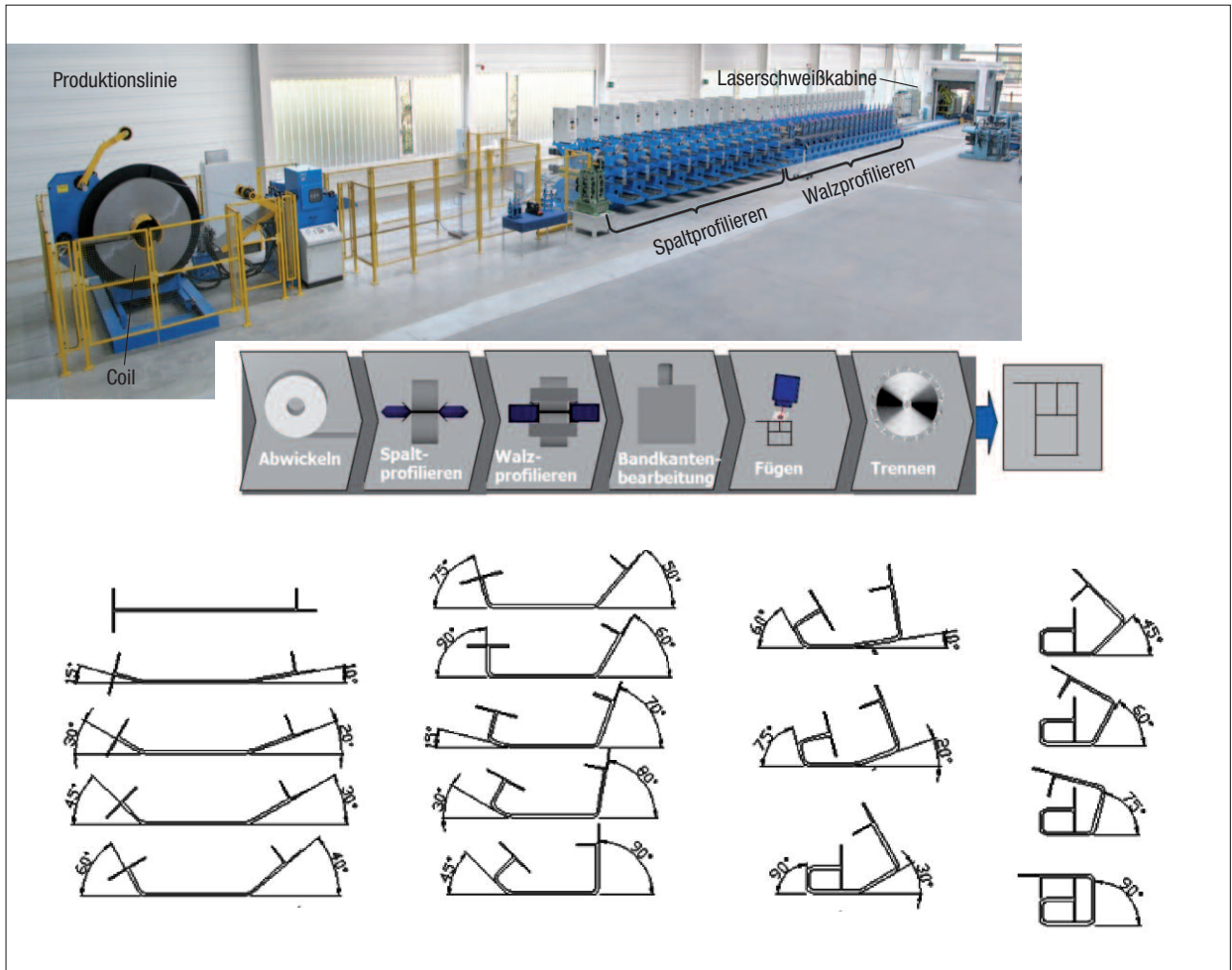


Abb. 43: Produktionslinie zur Fertigung eines spaltprofilierten Dreikammerprofils [21]

In **Abb. 44** ist das Werkzeugsystem mit den entstehenden Verzweigungen dargestellt. Von der bereits vorgeformten Biegekante wird mithilfe der abgebildeten Spaltwalze ein Flansch ausgeformt.

Durch die Hilfswalzen werden den wirkenden Spannungen Druckspannungen überlagert, welche eine Rissbildung verhindern [49]. Durch die Kombination Walzprofilieren, Spaltprofilieren und Spalt-

biegen ist es möglich, dünnwandige Profile mit einer großen Anzahl an Verzweigungen zu realisieren. Anwendungen für spaltgebogene Profile sind versteifte Trägerbauteile sowie Rohrssysteme.

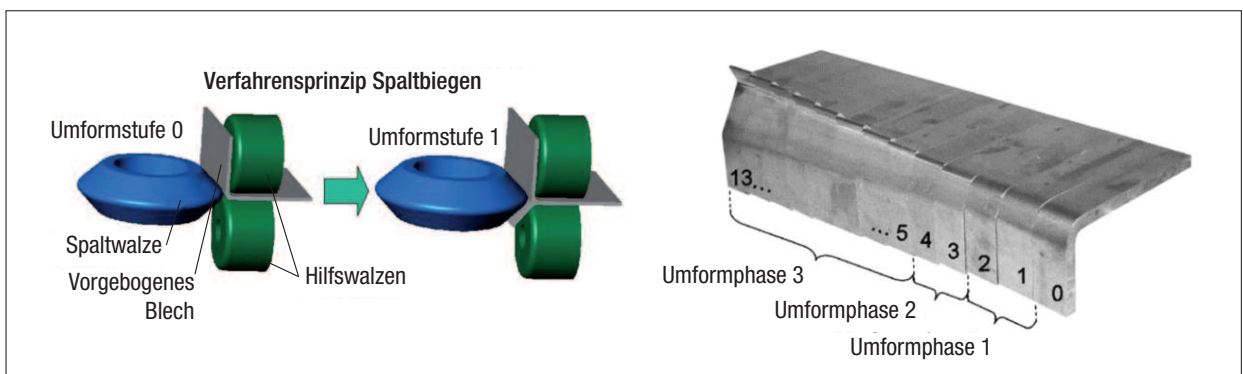


Abb. 44: Links: Verfahrensprinzip des Spaltbiegens [17]; rechts: Ausbildung eines Flansches an der Biegekante [22]

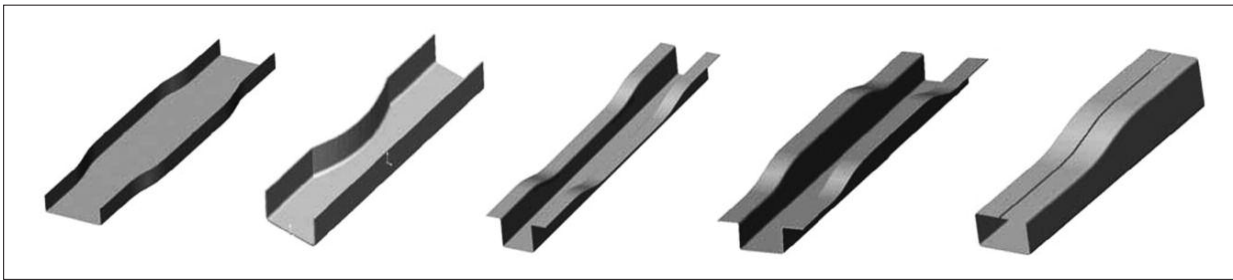


Abb. 45: Beispiele für flexibles Walzprofilieren [31]

4.4 Flexibles Walzprofilieren

Charakteristisch für das konventionelle Walzprofilieren und seine Prozessweiterungen ist ein über die Profillänge konstanter Querschnitt. Gerade im Leichtbau werden aber Profile benötigt, deren Querschnitte an die unterschiedlichen Belastungen entlang des Bauteils angepasst sind. Durch flexibles Walzprofilieren können Profile mit gekrümmtem Konturverlauf erzeugt werden und eröffnen damit neue Anwendungsgebiete und Einsatzmöglichkeiten. Durch eine Kombination von konventionellem und flexiblem Walzprofilieren lässt sich eine weiter gesteigerte Zahl an Profilgeometrien erzeugen [65]. In **Abb. 45** ist eine Auswahl möglicher Formen dargestellt.

Ein flexibler Querschnitt wird durch Verfahren und Schwenken der Rollen während des Prozesses quer zur Laufrichtung des Bleches erzeugt. In **Abb. 46** ist auf der linken Seite die Konzeption eines flexiblen Walzprofiliergerüsts dargestellt. Dabei ist zur Verbesserung der Anschaulichkeit nur eine Gerüsthälfte abgebildet. Die flexiblen Rollen können über Spindeltriebe und Linearführungen translatorisch verschoben werden. Durch eine rechnergestützte Ansteuerung der Spindeltriebe kann die Position der Gerüsthälften so beeinflusst werden, dass, wie rechts gezeigt, die Bandkante des Bleches entlang der Sollkontur eingeformt wird [65]. Da mit der Anzahl der Freiheitsgrade in der Anlage auch

die Zahl der benötigten Antriebe steigt, finden sich in [23] Ansätze, wie diese durch das Prinzip der Selbstjustage auf ein akzeptables Maß reduziert werden können.

Da die Profilform dadurch nur von der translatorischen und rotatorischen Bewegung der Gerüste und nicht von den verwendeten Werkzeugen abhängt, können abhängig von der gewählten Programmierung der Profilieranlage ganze Familien flexibler Profile mit dem gleichen Rollensatz gefertigt werden [65].

Beim flexiblen Profilieren ist darüber hinaus die Kontur des Ausgangsmaterials der Profilform angepasst, um beispielsweise eine konstante Schenkelhöhe bei wechselnder Stegbreite zu ermöglichen. Aus diesem Grund werden für das flexible Profilieren fertig zuge-

schnittene Blechstreifen verwendet oder es wird inline ein Beschnitt des Coil-Materials durchgeführt. Nach dem flexiblen Profilieren können sich als Teil einer ganzen Prozesskette konventionelle Gerüste oder andere Fertigungsverfahren, wie Stanzen und Schweißen, anschließen.

Flexible Konturverläufe zeichnen sich durch gerade Abschnitte und Übergangsverläufe aus, die sich wieder in einen konkaven Anteil mit schmalen Steg und einem konvexen Anteil mit ausgeweitetem Steg unterscheiden lassen [65]. Aufgrund von Materialverschiebungen beim Biegevorgang entstehen im konkaven Anteil Zugspannungen in Längsrichtung und Druckspannungen im konvexen Anteil des Übergangsbereichs. Diese können unter Umständen zu einer Verwöl-

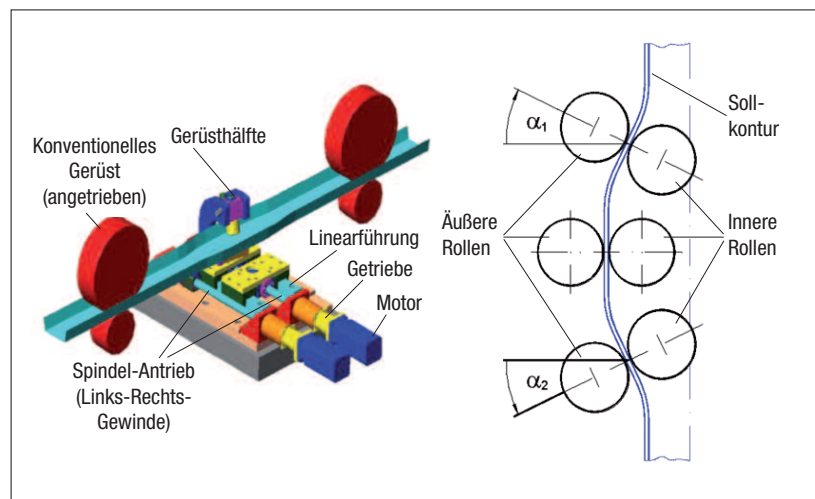
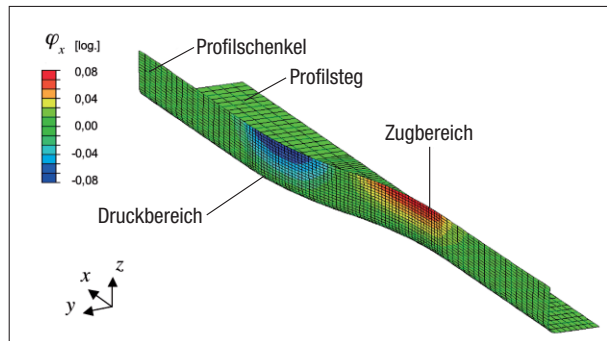


Abb. 46: Prinzip des flexiblen Walzprofilierens; links: Maschinenaufbau [35]; rechts: Stellung der formgebenden Rollen [19]

Abb. 47: Dehnungsverteilung im Übergangsbereich eines flexibel profilierten Bauteils [26]



bung des Profilbodens oder Faltenbildung an der Bandkante führen [65]. Abb. 47 zeigt eine Hälfte des Übergangsbereichs eines U-Profiles mit veränderlicher Stegbreite einschließlich der dazugehörigen Dehnungsbereiche.

Zwischenzeitlich wurden mehrere Anlagen zum kontinuierlichen flexiblen Profilieren in Betrieb genommen. Abb. 48 zeigt den Ausschnitt aus einer Anlage.

Diese besteht aus konventionellen Profiliergerüsten, die den Vortrieb des Blechs realisieren und den Umformgerüsten mit den steuerbaren Rollenpositionen. Zur Vermeidung von ungewollten Verwölbungen sind kraftgesteuerte Niederhaltersysteme vor und nach dem flexiblen Gerüst angeordnet.

Profile mit veränderlichen Querschnitten können eine Optimierung hinsichtlich Belastung und somit Gewicht ermöglichen. In [11] wird eine flexible Profilieranlage zur Herstellung von 3-D-

Dachpaneelen beschrieben. Diese Anlage wird industriell zur Herstellung von längsgekrümmten Profilen mit veränderlicher Breite eingesetzt. Mithilfe derartiger Anlagen konnten bereits viele ästhetisch anspruchsvolle Dach- und Fassadenelemente realisiert werden [41].

4.5 Herstellung von multifunktionalen Blechbauteilen

Oft ist mit der Umsetzung einer neuen Funktion die Zunahme der Anzahl benötigter Bauteile wie Kabel und Zusatzkomponenten verbunden. Dies wirkt sich negativ auf das resultierende Gesamtgewicht und die Komplexität eines Produktes aus. Insbesondere im Fahrzeugbau entsteht dadurch ein Zielkonflikt zwischen der Optimierung des Fahrzeuggewichts und der Produktfunktionalität [25]. In anderen Branchen - beispielsweise im Bauwesen - wirken sich zu-

sätzliche Montagearbeiten negativ aus. Eine Möglichkeit besteht in der Vereinigung von mechanischen Trägerbauteilen und elektrischen Komponenten zu funktionalen Blechbauteilen. In Abb. 49 ist ein Demonstrator für eine Vereinigung von Funktionalität und Trägerbauteil dargestellt. In diesem Beispiel wird in einem U-Profil ein Kabelbaum durch ei-

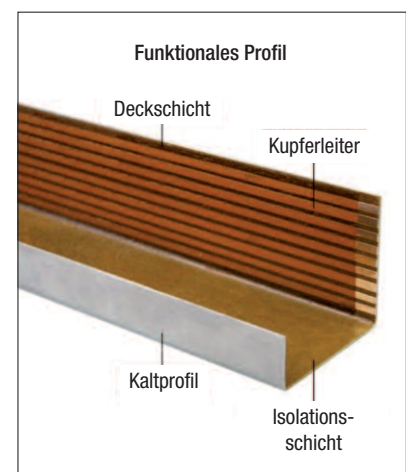


Abb. 49: Multifunktionales Profil [25]

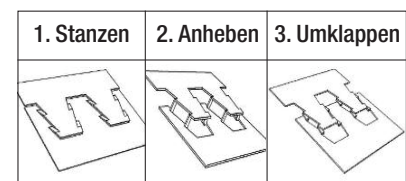


Abb. 50: Ablaufschritte einer Faltung [48]

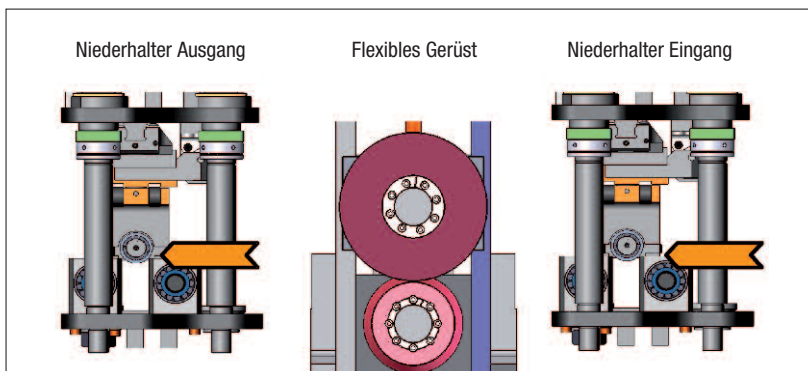


Abb. 48: Schematischer Ausschnitt aus der flexiblen Profilieranlage am PtU, TU Darmstadt, für Profilierung von U- und Hut-Profilen mit veränderlichem Querschnitt [39]

nen aufgetragenen Kupferleiter ersetzt. Das Aufbringen von Isolations-schicht, Kupferleiter und Deckschicht durch Kleben kann in einer Walzprofilieranlage direkt vor dem Profilieren erfolgen und somit nur geringen Fertigungsaufwand hervorrufen.

Besonders interessant kann die Funktionsintegration sein, wenn der Innenraum eines geschlossenen Profils für derartig aufgebaute Kabelbäume verwendet wird. Dies ist in Abb. 35 dargestellt.

4.6 Bauteiloptimierung durch innovative Umformtechnik

Vielversprechende Ansätze zur weiteren Ressourcenschonung und Kostenreduzierung liegen in der Realisierung von gewichtsoptimierten Profilen. Eine vor diesem Hintergrund entstandene Verfahrenskombination ist das Faltverfahren [48]. Dieses ist gekennzeichnet durch eine abwechselnde Abfolge von Trenn- und Umformoperationen. **Abb. 50** zeigt eine typische Abfolge der Falttechnik, die mit unterschiedlichen Werkstoffen durchgeführt werden kann.

In einem Stanzprozess wird ein Schnittmuster in ein verzinktes Stahlblech eingebracht (1). Dadurch lassen sich die Teilabschnitte vollständig anheben (2) und anschließend umklappen (3). Diese Schritte lassen sich in einem kontinuierlichen Prozess vor dem Walzprofilieren anordnen. Dadurch läuft ein Blechband mit dem gewünschten Lochmuster in den Profilierprozess ein. An den Faltstegen verfestigt sich das kaltverformte Material und verleiht der Struktur eine höhere Stabilität. In **Abb. 51** sind Beispielprofile für dieses neue Verfahren dargestellt.

Als Vorteil der Falttechnik ergibt sich eine nahezu verschnittfreie Produktion von Profilen, obwohl die Querschnitte große Aussparungen aufweisen [48].

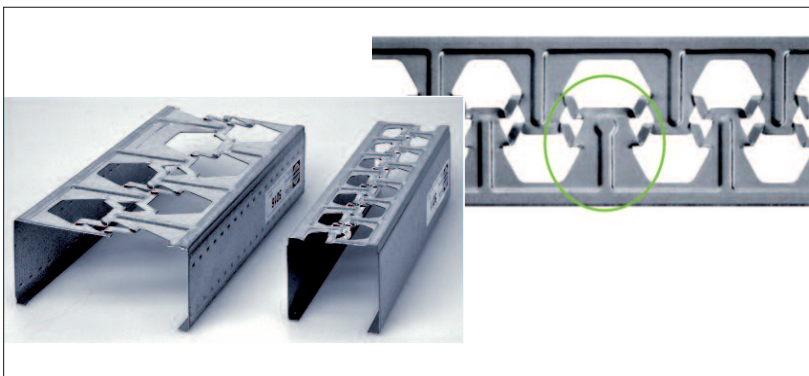


Abb. 51: Durch Falttechnik hergestellte Profile [48]

Ein Anwendungsbeispiel für derartige Profile sind die in **Abb. 51** gezeigten, EN-konformen, Trockenbauprofile.

5 Literaturverzeichnis

[1] Altan, T.; Tekkaya, E.: Sheet Metal Forming: Fundamentals and Applications; ASM International, 2011

[2] Beiter, P.; Groche, P.: Leichtbau im Automobil- und Transportsektor durch Rollprofile aus flexibel gewalzten höher- und höchstfesten Mehrphasenstählen; 7. Fachtagung Walzprofilieren; Tagungsband; Darmstadt, 2010

[3] Beiter, P.; Groche, P.: On the development of novel light weight profiles for automotive industries by roll forming of tailor rolled blanks; Key Engineering Materials, Vol. 473; Switzerland, 2011

[4] Bhattacharyya, D.; Smith, P. D.; Yee, C. H.; Collins I. F.: The Prediction of Deformation Length in Cold Roll-Forming; Journal of Mechanical Working Technology, Vol. 9, Issue 2; Auckland, 1983

[5] Bogojawlenskij, K. N.; Neubauer, A.; Ris, V. W.: Technologie der Fertigung von Leichtbauprofilen; VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie; Leipzig, 1979

[6] Bralla, J. G.: Design for manufacturability Handbook, The McGraw-Hill Companies, Inc., 1999

[7] Broer, G.; Martin-Bullmann, R.: Kaltprofile; VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie; Verlag Stahleisen mbH, Düsseldorf, 1993

[8] Corrugated Metals, Inc.: www.corrugated-metals.com, 2012

[9] DIN Deutsches Institut für Normung e.V.: DIN 8583-1: Fertigungsverfahren Druckumformen - Teil 1: Allgemeines; Einordnung, Unterteilung, Begriffe; Beuth Verlag; Berlin, 2003

[10] DIN Deutsches Institut für Normung e.V.: DIN 8586: Fertigungsverfahren Biegeumformen - Einordnung, Unterteilung, Begriffe; Beuth Verlag; Berlin, 2003

[11] Döhren, H. J.: Kundenorientiertes Profilieren für Wand und Dach; 6. Fachtagung Walzprofilieren; Tagungsband; Darmstadt, 2008

[12] DREISTERN GmbH & Co. KG: www.dreistern.com, 2012

[13] Eberspächer-Roth, D.; PROFILMETALL GmbH; Hirrlingen, 2011

[14] Eberspächer-Roth, D.; PROFILMETALL GmbH; Bearbeitung Schönfeld, D.: Hirrlingen, 2011

[15] Gehring, A.: Beurteilung der Eignung von metallischem Band und Blech zum Walzprofilieren; Dissertation; Karlsruhe, 2006

- [16] Groche, P.; Vucic, D.; Ringler, J.: Spaltprofilieren – Verzweigte Strukturen aus Blech; Umformtechnisches Kolloquium Darmstadt (UKD); Meisenbach Verlag; Bamberg, 2006
- [17] Groche, P.; u. a.: Steifigkeitsoptimierter Leichtbau durch neue Umformverfahren für Blech; Internationale Konferenz Blechumformung; Fellbach, 2004
- [18] Groche, P.; Götz, P.: Improvement of Manufacturing Processes by Process Chain Benchmarking. In: Production Engineering, Vol. XIII/2; Annals of the WGP; Hannover, 2006
- [19] Groche, P.; Henkelmann, M.; Götz, P.; Berner, S.: Cold rolled profiles for vehicle construction, Archives of Civil and Mechanical Engineering, Vol. VIII, No. 2, 2008
- [20] Groche, P.; Beiter, P.; Henkelmann, M.: Prediction and inline compensation of springback in roll forming of high and ultra-high strength steels; WGP, Production Engineering – Research and Development; Springer-Verlag, 2008
- [21] Groche, P.; Ludwig, C.; Schmitt, W.; Vucic, D.: Herstellung multifunktionaler Blechprofile; wt Werkstatttechnik online; Darmstadt, 2009
- [22] Groche, P.; Ringler, J.; Abu Shreehav, T.: Bending-rolling combinations for strips with optimized cross-section geometries; 25. CIRP Annals – Manufacturing Technology; Darmstadt, 2009
- [23] Groche, P.; u. a.: Self-Adjustment in Flexible Roll-Forming Lines; 1st International Congress on Roll Forming; Bilbao, 2009
- [24] Groche, P.; Beiter, P.; u. a.: Innovative Profiliertechnologien für den Leichtbau; 25. Aachener Stahlkolloquium; Tagungsband; Aachen, 2010
- [25] Groche, P.; u. a.: Leichtbauprodukte mit hoher Funktionsintegration; AutoMet-Form; Tagungsband; Freiburg, 2010
- [26] Groche, P.; Zettler, A.-O.; Berner, S.; Schneider, G.: Development and verification of a one-step-model for the design of flexible roll formed parts; International Journal of Material Forming, Vol.4, Issue 4; Darmstadt, 2011
- [27] Groche, P.; Hirt, G.: Herstellung von Rohren mit flexiblem Wanddickenverlauf durch Walzprofilieren von bandprofilgewalztem Vormaterial; Bericht Forschungsprojekt FOSTA P 713; Darmstadt, Aachen, 2010
- [28] Groche, P.; Beiter, P.; Hassis, A.: Abgewinkelte Länge beim Biegen von Blech; wt Werkstatttechnik online, 2011
- [29] Halmos, G.-T.: Roll Forming Handbook; Taylor & Francis Group, LLC, 2006
- [30] Henkelmann, M.: Entwicklung einer innovativen Kalibrierstrecke zur Erhöhung der Profilgenauigkeit bei der Verarbeitung von höher- und höchstfesten Stählen; Dissertation; Shaker Verlag; Aachen, 2009
- [31] Hiestermann, H.; Joeckel, M.; Zettler, A.: Kosten- und qualitätsorientierter Leichtbau mit Hilfe von Walzprofilieren; Umformtechnisches Kolloquium Darmstadt (UKD); Meisenbach Verlag; Bamberg, 2003
- [32] Hoffmann, A.; Böhm, E.: Präzisionswalzprofile für automobile Anwendungen; 3. Fachtagung Walzprofilieren; Tagungsband; Darmstadt, 2002
- [33] Innovationsquelle Leichtbau – Fakten, Trends, Visionen; Dresdener Leichtbausymposium; Tagungsband 737; Düsseldorf, 2000
- [34] Istrate, A.; Groche, P.: Prospektive Studie zur Ermittlung von Anforderungsprofilen und Anwendungspotenzialen für Rollprofile aus Tailored Strips; Bericht Forschungsprojekt FOSTA P 544; Darmstadt, 2002
- [35] Istrate, A.: Verfahrensentwicklung zum Walzprofilieren von Strukturbauteilen mit über der Längsachse veränderlichen Querschnitten; Dissertation; Shaker Verlag; Aachen, 2002
- [36] Jackel, F. M.: Die kontinuierliche Herstellung von Tailor Rolled Strips durch Bandprofilwalzen; Dissertation; Shaker Verlag; Aachen, 2010
- [37] Jöckel, M.: Grundlagen des Spaltprofilierens von Blechplatten; Dissertation; Shaker Verlag; Aachen, 2005
- [38] Johnson Controls Hilchenbach GmbH: www.johnsoncontrols.de, 2012
- [39] Kummle, R.; u. a.: Walzprofilieren im Wandel – Bewährtes Verfahren, neue Flexibilität; Umformtechnisches Kolloquium Darmstadt (UKD); Meisenbach Verlag; Bamberg, 2012
- [40] Lange, K.: Umformtechnik – Handbuch für Industrie und Wissenschaft; Band 3 Blechbearbeitung; Springer-Verlag; Berlin, 1990

- [41] Larranaga Amilibia, J.: Geometrical accuracy improvement in flexible roll forming process by means of local heating; Dissertation; Mondragon Unibertsitatea, 2011
- [42] Metzger, F.; PROFILMETALL GmbH: Hirrlingen, 2011
- [43] Metzger, F.; PROFILMETALL GmbH, Bearbeitung Schönfeld D.: Hirrlingen, 2011
- [44] N. N.: Stahl- und Metallverarbeitung; IKB Deutsche Industriebank AG; Düsseldorf, 2004
- [45] N. N.: www.Tailored-blanks.com; „ThyssenKrupp Tailored Strips“, 2008
- [46] Neuhaus, F.: Struktur- und Entwicklungstrends des Kaltprofilmarkts; 3. Fachtagung Walzprofilieren; Tagungsband; Darmstadt, 2002
- [47] Pahl, G.; Beitz, W.; u. a.: Konstruktionslehre; Springer-Verlag; Berlin, 2004
- [48] PROTEKTORWERK Florenz Maisch GmbH & Co. KG: Produktbeschreibung Falttechnik; Gaggenau, 2011
- [49] Ringler, J.; Groche, P.: Spaltbiegen – Ein neues Verfahren für integrale Verzweigungen aus der Blechmitte; 6. Fachtagung Walzprofilieren; Tagungsband; Darmstadt, 2008
- [50] Ringler, J.; u. a.: New Forming Technologies for Sheet Metal – Integral sheet metal design with higher order bifurcations; SIAM Conference on Optimization; Boston, 2008
- [51] Röker, O.: Untersuchungen zur Anwendung hoch- und höchstfester Stähle für walzprofilierte Fahrzeugstrukturkomponenten; Dissertation; Berlin, 2008
- [52] ROFIN-SINAR Technologies, Inc.: www.rofin.de, 2012
- [53] Roth, M.; PROFILMETALL GmbH: Hirrlingen, 2011
- [54] Roth, M.: PROFILMETALL-Gruppe Produktflyer Maschinen und Werkzeuge; PROFILMETALL GmbH; Hirrlingen, 2011
- [55] Roth M.; PROFILMETALL GmbH: Hochpräzise Profilierwerkzeuge, Profiliermaschinen und Sondermaschinen; 8. Fachtagung Walzprofilieren; Tagungsband; Meisenbach Verlag, 2012
- [56] Samson Roll Formed Product Company: www.samsonrollform.com, 2012
- [57] Schuler GmbH: Handbuch der Umformtechnik; Springer-Verlag; Berlin, 1998
- [58] Staeves, J.; Pfestorf, M.: Einsatz höherfester Stähle im Automobilbau; Umformtechnisches Kolloquium Darmstadt (UKD); Meisenbach Verlag; Bamberg, 2003
- [59] Vucic, D.: Methoden zum Herstellen und Weiterverarbeiten von Spaltprofilen; Dissertation; Shaker Verlag; Aachen, 2010
- [60] Wagenhan, M. für PROFILMETALL GmbH; Bearbeitung Schönfeld, D.: Stahl profiliert sich immer wieder neu; Investitionsführer Baden-Württemberg; F.A.Z.-Institut für Management-, Markt- und Medieninformationen GmbH; Frankfurt am Main, 2011
- [61] Wagenhan, M. für PROFILMETALL GmbH: Rollprofilieren in höchster Vollendung gibt Blechen ein Gesicht; blechnet 1-2011, S. 16-17; Vogel Business Media; Würzburg, 2011
- [62] Wagenhan, M. für PROFILMETALL GmbH: Rollprofilieren in höchster Vollendung gibt Blechen ein Gesicht; blechnet 1-2011, S. 18; Vogel Business Media; Würzburg, 2011
- [63] Welser Profile Deutschland GmbH: www.welser.com, 2012
- [64] Zettler, A.-O.: Magnesium – Werkstoff für Profile der Zukunft?; 3. Fachtagung Walzprofilieren; Tagungsband; Darmstadt, 2004
- [65] Zettler, A.-O.: Grundlagen und Auslegungsmethoden für flexible Profilierprozesse; Shaker Verlag; Aachen, 2007

6 Weiterführende Literatur

- Bogojawlenskij, K. N.; Neubauer, A.; Ris, V. W.: Technologie der Fertigung von Leichtbauprofilen; VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie; Leipzig, 1979
- Broer, G.; Martin-Bullmann, R.: Kaltprofile; VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie; Verlag Stahleisen mbH; Düsseldorf, 1993
- Halmos, G.-T.: Roll Forming Handbook; Taylor & Francis Group, LLC, 2006



**Stahl-Informations-Zentrum
im Stahl-Zentrum**

Postfach 10 48 42 · 40039 Düsseldorf
Sohnstraße 65 · 40237 Düsseldorf
E-Mail: siz@stahl-info.de · www.stahl-info.de