

# Potentiale und Fertigungsstrategien zur geometrischen Gestaltung von Profilbauteilen

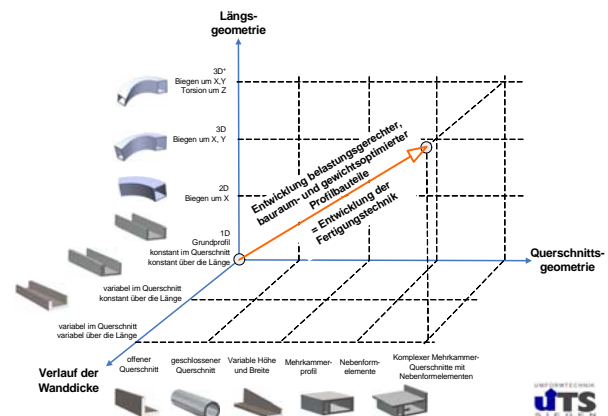
Prof. Dr.-Ing. Bernd Engel, Dipl.-Ing. Oliver Selter, Lehrstuhl für Umformtechnik (UTS), Universität Siegen

## Kurzfassung

Im Spannungsfeld aus Mobilität, Ökologie und Ökonomie liefert der Leichtbau seit Jahren einen hohen Beitrag zur Minderung der steigenden Gewichtsspirale im Fahrzeugbau. Dabei geht der Trend im Karosserierohbau hin zum vermehrten Einsatz von Profilen, um den Zielkonflikt zwischen Effizienz und Flexibilität zu entschärfen.

Bereits heute ist eine Vielzahl von Fertigungsverfahren für veränderliche Quer- oder Längsgeometrien bekannt. Statt der bisherigen sequentiellen Fertigungsweisen werden zukünftig vermehrt Kombinationen aus Walzprofilier- und Biegetechnik zum Einsatz kommen, um die Kundenanforderungen nach belastungs-, bauraum- und gewichtsoptimierten Profilbauteilen zu realisieren und zusätzlich die eigenen zur Wettbewerbskräftigung erforderlichen Effizianzorderungen an das Fertigungsverfahren zu erfüllen. Bereits heute lassen sich nach Betrachtung der geometrischen Merkmale der Querschnittsgeometrie, des Wanddickenverlaufs und der Profillängsgeometrie die Entwicklungstendenz der Fertigungsverfahren und die zukünftig bereitstehenden Potentiale ableiten (siehe Bild 1.33). So kann die Anforderung an ein zukunftsweisendes Fertigungssystem zur Herstellung von Profilbauteilen unter Berücksichtigung der Werkstoffvielfalt wie folgt beschrieben werden:

„Ein Fertigungsverfahren zur Herstellung von komplexen, partiell offenen und geschlossenen Mehrkammerprofilbauteilen mit Nebenformelementen, die in Längsrichtung Multiradien gebogen und zusätzlich um die Längsachse tordiert sind. Dabei weisen sie einen veränderlichen Wanddickenverlauf in Quer- und Längsrichtung auf. Als Halbzeugwerkstoffe kommen höchstfeste Stähle, Aluminiumlegierungen, Magnesiumlegierungen, FVK oder andere Hybrid-Werkstoffe zum Einsatz.“



Ein Fertigungssystem zur Realisierung derartiger Anforderungen stellt das modular aufgebaute Walzprofilierbiegeverfahren (WPB) da, welches eine Erweiterung der bisherigen Anlagentechnik darstellt. Es vereint das Wissen im Bereich der Biegetechnik mit den Möglichkeiten und Erfahrungen aus dem Bereich der Walzprofilierertechnik. Durch die Hintereinander Schaltung der einzelnen Module zum Walzprofilierbiegeverfahren lassen sich zukünftig kostengünstige Profilbauteile mit veränderlichen Quer- und Längsgeometrien fertigen, die partiell geschlossene und offene Profilquerschnitte aufweisen können (siehe Bild 1.35).

## 1. Einleitung

Neue Kundenanforderungen, gesetzliche Rahmenbedingungen und neue Technologietrends sorgen für einen hohen Innovationsdruck, der von einem hohen globalen Kostendruck begleitet wird ([1]). Dabei sind die Entwicklungsanforderungen divergierend. So stehen vermehrt Komfort, Sicherheit, Fahrleistung, Technik und Individualität auf der einen Seite den Ansprüche nach Wirtschaftlichkeit, Zuverlässigkeit und Umweltfreundlichkeit auf der anderen Seite gegenüber ([2]).

In diesem Spannungsfeld aus Mobilität, Ökologie und Ökonomie liefert der Leichtbau seit Jahren einen hohen Beitrag zur Minderung der steigenden Gewichtsspirale im Fahrzeugbau ([3], [2]). Dabei nimmt vor allem die Karosserie den größten Teil am Gesamtgewicht des Fahrzeugs ein. Dabei geht der Trend im Karosserierohbau hin zum vermehrten Einsatz von Profilbauteilen. Dies zeigt, dass dem Einsatz von Profilen als skalierbare Strukturbauteile im Fahrzeugbau ein hoher Stellenwert zukommt, um den Zielkonflikt zwischen Effizienz und Flexibilität zu entschärfen ([4]). Obwohl der größte Teil der skalierbaren Basisstruktur aus Rollformprofilen besteht, entwickelt sich der Trend von einfachen, geraden Bauteilen hin zu komplexen Profilstrukturen, um den mechanisch-geometrischen Anforderungen belastungsoptimierter Strukturbauteile Rechnung zu tragen. Neben veränderlichen Wanddicken im Querschnitt und in der Längsgeometrie, werden zunehmend komplexere Querschnitts- und Längsgeometrien gefordert, weshalb bestehende Fertigungsverfahren stetig erweitert und durch neue, innovative Verfahren substituiert werden.

## 2. Übersicht heutiger Fertigungsstrategien

Der Herstellungsprozess komplexer Profilbauteile ist vielschichtig und ist vorrangig eine Kombination von sequentiellen Fertigungsverfahren, welche erst die Quer- und dann die Längsgeometrie am Profilbauteil einstellen. So können neben partiell geometrieveränderten Halbzeugen vor allem bei der Erzeugung der veränderlichen Profilgeometrie klassifizierende technische Wirkprinzipien abgeleitet werden (siehe Bild 1.1).

Innerhalb der Prozesskette stellt vor allem die Walzprofilierertechnik bei höherfesten Stählen ein sehr wirtschaftliches und flexibles Fertigungsverfahren da. Bereits heute ergänzen innovative Verfahrenserweiterungen wie inline Stanz-, Schweiß-, Spalt- und Trennoperationen den Walzprofilierprozess. Gemeinsam mit der sich stetig verbessernden Prozessregelung an Walzprofilieranlagen bilden sie heutzutage die Grundlage zur Fertigung von effizienten, hochqualitativen Profilbauteilen ([5], [6], [7]).

### 2.1. Fertigungskonzepte zur Herstellung veränderlicher Querschnittsgeometrien

Es gibt eine Vielzahl von Fertigungsverfahren zur Herstellung von Profilbauteilen mit über die Bauteillänge veränderlichen Querschnittsgeometrien. Neben den diskontinuierlichen Verfahren des Strangpressens und des Innenhochdruckumformens (IHU) erreicht vor allem das kontinuierliche Verfahren des Walzprofilierens bereits bei mittleren Stückzahlen eine hohe Effizienz.

So bilden innerhalb der Walzprofilieretechnik positionierbare Stauchrollen die Basis für eine Massivumformung an Profilbauteilen. Durch partielles Aufstauchen oder gezieltes Spalten des Materials an der Blechkante werden Nebenformelemente am Profilquerschnitt angeformt. Dieses recht junge Verfahren zur Herstellung von Profilen mit veränderlichen Querschnitten wird als Spaltprofilieren bezeichnet ([8], [9], [10]). Im Gegensatz zum Spaltprofilieren können in der Profilmittte positionierte Konturwalzen aus der Blechdicke ausformen und so wanddickenoptimierte Profilbauteile herstellen, die einen Wanddickenverlauf über den Profilquerschnitt aufweisen ([11], [12]). Bei diesen Verfahren erhöht eine Kombination aus Warm- und Kaltumformung den Formgebungsgrad deutlich (siehe Bild 1.2 und Bild 1.3) ([13]).

Die Verfahren auf Basis der kinematischen Formgebung sind zahlreich. Dabei sind im Walzprofilierprozess Gerüste mit einer Vielzahl variabel verstellbarer Rollen ausgestattet, die sich während sich das Profil durch die Gerüste nach vorne bewegt stetig derart verstellen, dass sich partiell über die Länge unterschiedliche Querschnittsgeometrien einstellen (siehe Bild 1.4) ([14], [15], [16], [17]).

Im einfachen Fall liegen geteilte Profilierrollen vor, die gleichzeitig axial verstellt werden können, so dass sich eine veränderliche Profildicke einstellt ([18], [14]). Mit steigender Geometrieänderlichkeit sind translatorisch und rotatorisch positionierbare Gerüste erforderlich, die sicherstellen, dass die Werkzeugrollen stets orthogonal zur jeweiligen Fläche des momentanen Profilquerschnitts stehen (siehe Bild 1.5, Bild 1.6, Bild 1.7 und Bild 1.8) ([19], [20], [21], [22], [23], [24], [25], [26]).

Dieses kinematische Prinzip kann dafür genutzt werden, statt der vorwärtsgerichteten Profilquerschnittseinformung eine partielle Rückverformung einzuleiten (siehe Bild 1.8) ([27]).

Für die Herstellung konischer Profilbauteile ist eine Kombination aus kinematischer Profileinformung und einer kontinuierlichen Beschnittoperation erforderlich. Dieses Verfahren ist als „Monroe-Verfahren“ bekannt. Wurden anfangs die Gerüsthälften nur horizontal zur Blechmitte zugestellt, so besteht die neuste Entwicklung aus modularen Gerüstbausteinen, die sich flexibel im Raum positionieren lassen und zusammen mit der Beschnittoperation ein breites Formenspektrum an Querschnittsgeometrien ermöglichen (siehe Bild 1.9) ([28], [29], [30], [31], [32], [33]).

Neben dem klassischen Walzprofilieren mit Rollenwerkzeugen gehört zur Merkmalsklasse der kinematischen Umformung ebenfalls das Gleitziehbiegen, welches auch unter dem Begriff des Ziehprofilieren bekannt ist. Es stellt gerade bei Kleinserien aufgrund der geringen Werkzeugkosten und Rüstzeiten eine gute und wirtschaftliche Alternative zur Walzprofilieretechnik dar. Mit dem Gleitziehbiegen werden neben Drahthalbzeugen vor allem Blechhalbzeuge in mehrstufigen, orthogonal und ortsfest zur Ziehrichtung angeordneten Matrizenwerkzeugen eingeformt. Zur Reduzierung der Ziehkraft können diese mit einem hydrostatischen Gleitfilm ausgestattet sein. Zur Herstellung querschnittsveränderlicher Profilbauteile sind die Matrizen derart beweglich aufgebaut, dass Nebenformelemente verkippt oder verschoben werden können (siehe Bild 1.10) ([34], [35], [36], [37], [38], [39], [40], [41], [42], [43], [44], [45], [46], [47], [48], [49]).

In die Merkmalsgruppe der kinematischen Formgebung gehört abschließend noch das neuartige Fertigungsverfahren RoProFlex, bei dem von außen an die Profilloberfläche angreifende CNC gesteuerte Werkzeuge über die Bauteillänge veränderliche Querschnitte erzeugen, während eine Vorschubeinheit das Bauteil durch den Umformkopf schiebt. Der inkrementelle Verfahrensaufbau ermöglicht eine Vielzahl an Bauteilfamilien und veränderten Querschnittsformen (siehe Bild 1.11) ([50]).

Ein weiteres flexibles Fertigungsverfahren beruht auf der Kombination von Walzprofilier- und Fügetechnik. Dabei wird ein U-Profil mit über der Bauteillänge veränderlicher Querschnittsgeometrie partiell mit einem weiteren Blech derart verschweißt, dass sich Bereiche mit offenen und geschlossenen Profilquerschnitten einstellen (siehe Bild 1.12) ([51]).

Im Gegensatz zur Fügetechnik kann zur Einstellung einer partiellen Querschnittsänderung an einem bereits fertig profilierten Bauteil eine Trenn- und Besäumoperation vorgenommen werden (siehe Bild 1.12) ([52]).

Aber auch über partielle Tiefziehoperationen, die am Profilboden eingreifen, können veränderliche Querschnittsgeometrien eingestellt werden. Dabei erfolgt die Änderung der Profilhöhe durch Abstrecken der Profilstege (siehe Bild 1.13) ([53]).

## **2.2. Fertigungskonzepte zur Herstellung veränderlicher Längsgeometrien**

Zu der Merkmalsklasse der Biegeverfahren mit Rollenwerkzeugen gehört neben klassischen 3- und -4-Rollen Biegemaschinen eine bereits im Jahre 1896 patentrechtlich angemeldete Mehr-Walzen-Biegemaschine, deren Rollensätze in Profillängsrichtung drehbar gelagert sind. Damit können innerhalb einer Fertigungsstufe unterschiedliche Bauteilradien und Querschnittsverdrehungen eingestellt werden (siehe Bild 1.14 und Bild 1.15) ([54], [55], [56]).

Für das Freiformbiegen von Profilbauteilen setzte man spezielle Biegeköpfe auf Rotationszugbiegemaschinen ein, die mit einer linearen Vorschubeinheit gekoppelt sind, weshalb das Verfahren auch unter der Bezeichnung des Schubbiegens bekannt ist. Diese transportiert das Profil an Führungsrollen vorbei gegen die Biegerollen, infolge dessen sich die Bauteilkrümmung einstellt. Wegen der sich über die Bauteillänge veränderlichen Positionen der Umformrolle erhält das Profil über die Längsrichtung veränderliche Bauteilkrümmungen. Untersuchungen konzentrieren sich im Wesentlichen auf für das Freiformbiegen signifikanten Einflussfaktoren der Werkstoffeigenschaften, der Position der Umformrolle und der Betrachtung der Maschinensteifigkeit. Der werkzeugtechnische als auch kinematische Aufbau ist eine Gemeinsamkeit einer Vielzahl von Freiformbiegemaschinen (siehe Bild 1.16, Bild 1.17 Bild 1.18 und Bild 1.19) ([57], [58], [59], [60], [61], [62], [63], [64], [65], [66], [67], [68], [69], [70], [71], [72]).

Eine Besonderheit stellt das Biegen mit in der Umformzone gezielt überlagerten Spannungen dar. Dies führt im kleinen Umfang zur Erweiterung der Verfahrensgrenzen (siehe Bild 1.20) ([73], [74], [75], [76], [77], [78]).

Im Gegensatz zu den Rollenwerkzeugen werden beim Freiformbiegen auch Biegematrizen eingesetzt. Diese werden über Aktorsysteme frei im Raum positioniert. Auch hier schiebt eine Vorschubeinheit das Profil entlang von Führungsrollen gegen die in Vorschubrichtung

ausgelenkten Biegematrize, wodurch sich bei Erreichen der Fließgrenze des Werkstoffs eine Profilkrümmung einstellt (siehe Bild 1.19, Bild 1.21 und Bild 1.22) ([79], [80], [81], [82], [83], [84], [85]).

Bei diesen Aktorsystemen übernehmen neben parallelkinematischen Einheiten (Hexapoden) auch Industrieroboter die Positionierung der Bieerollen oder Bieematrizen. Ihr Aufgabenbereich ist fließend und reicht von dem reinen Bauteilhandling, über die Abbildung des Profilvorschubs bis hin zur kinematischen Geometriegestaltung des Profils. Eine Besonderheit stellt neben dem robotergestützten induktiven Warmbiegen das endgesteuerte Biegen da, bei dem mit Hilfe eines Roboterspannsystems eine kinematische Formgebung erfolgt, welche neben dem eingeleiteten Biegemoment auch überlagerte Zug- oder Druckkräften aufweisen kann (siehe Bild 1.23 und Bild 1.24) ([86], [87], [88], [89], [90], [91], [92], [93], [94], [95], [96], [97], [98]).

### **2.3. Kombinierte Verfahren aus Walzprofilier- und Biegetechnik**

Bei kombinierten Fertigungsanlagen wird zunächst im Walzprofilierverfahren die Querschnittsgeometrie eingestellt. Erst nach dem letzten Profilierstich erfolgt die ebenfalls auf dem Maschinenbett montierte Biegeoperation, die aus einem 3- oder 4-Rollen Biegeverfahren besteht. Durch den vor geschalteten Walzprofilierprozess besteht die Möglichkeit, sowohl offene als auch geschlossene Profilquerschnitte in der Umformzone mittels Dorn zu stützen. Während Profilbauteile eher geringe Biegewinkel aufweisen und nach der Biegeumformung inline getrennt werden, erfolgt die Herstellung von Lüftungs- und Klimarohrleitungen kontinuierlich mit konstantem Biegeradius. Die noch losen, schraubengangförmigen Profilwindungen werden im nächsten Schritt fortdauernd an den Stoßkanten zu einem Rohrprofilbauteil gefügt (siehe Bild 1.25, Bild 1.26 und Bild 1.27) ([25], [99], [100], [101], [102]).

Statt der sequenziellen Anordnung der Umformschritte kann die Erzeugung einer Bauteilkrümmung auch direkt mit einem Walzprofiliergerüst derart erfolgen, dass dieses gegenüber der Profilvorschubsrichtung in einem Winkel angestellt wird, so dass das Walzenpaar orthogonal auf der Profillinienfläche steht. Während der Biegeumformung wird eine für den Walzprofilierprozess erforderliche Bandzugkraft überlagert. Diese Kombination unterdrückt nachweislich die Neigung zur Beulen- und Faltenbildung an dünnwandigen Profilbauteilen (siehe Bild 1.28) ([103], [104]).

Gerade im Bereich der Herstellung von Fassadenprofilbauteilen ist die Anforderung an über die Quer- und Längsgeometrie veränderlichen Profilen gestiegen. Hier werden zunehmend Verfahrenskombinationen aus Walzprofilier- und Biegetechnik direkt auf der Baustelle eingesetzt. Für diese mobilen Anwendungen haben einige Firmen Walzprofilieranlagen mit integrierten Biege- und Trennoperationen entwickelt, die in einen 40 Fuß Container verladen werden können. Diese Fertigungsanlagen stellen neben geraden auch konische und hyperbolische Profilgeometrien her, die ihrerseits konvexe oder konkave Krümmungen aufweisen können. Das derzeit wohl bekannteste und imposanteste Projekt, bei dem Dach- und Fassadenpaneelen mit unterschiedlichen Längen, Querschnitten und Biegeradien verbaut sind, ist der weltgrößte überdachte Themenpark Ferrari World in Abu Dhabi (siehe Bild 1.29 und Bild 1.30) ([105], [106], [107], [108]).

Neben dem Walzprofilierverfahren als Basistechnik zur Fertigung von Profilen mit veränderlichen Quer- und Längsgeometrien entwickelte sich auch Gleitziehbiegen von Profilen in Richtung gekrümmter Längsgeometrien durch Kombination mit einem Mehr-Rollen-Biegeverfahren (siehe Bild 1.31) ([109], [110]).

### 3. Potentiale zur geometrischen Entwicklung von Profilbauteilen

Kaltprofile finden in vielen Bereichen der Technik einen Einsatz. Aufgrund ihres günstigen Verhältnisses von Eigenwicht und Widerstandsmoment werden Profilbauteile zunehmend als Karosseriestrukturbauteile eingesetzt. Neben einer Gewichts- und Bauraumoptimierung muss vor allem einem belastungsgerechten Design Rechnung getragen werden. Durch die bereits beschriebenen Verfahren sowie Verfahrenssimulationen sehen heutige und zukünftige Bauteile beispielhaft wie folgt aus (siehe Bild 1.32) Die charakteristischen geometrischen Eigenschaften aller Bauteile lassen sich zur Ableitung zukünftiger Fertigungsaufgaben in die drei Merkmalsklassen einteilen (siehe Tabelle 1.1).

1. Querschnittsgeometrie,
2. Wanddickenverlauf und
3. Längsgeometrie.

Wie in allen Technologie Bereichen gilt auch hier der Ansatz „Market pull, Technology push“. Demnach wirken sich die neuen Anforderungen neben veränderten Grundwerkstoffen vor allem auf die Profilgeometrie und das Fertigungsverfahren aus, weshalb letztes deutlich an Systemkomplexität zunimmt. Aber auch umgekehrt gilt, dass neue Fertigungsverfahren neuartige Profilgeometrien ermöglichen. Einen Zusammenhang zwischen den Geometriemerkmalsklassen und der damit verbundenen Entwicklungsrichtung der Fertigungskomplexität verdeutlicht das Diagramm in Bild 1.33 .

### 4. Aussichten

Die Anforderungen an ein zukunftsweisendes Fertigungssystem zur Herstellung von Profilbauteilen kann unter Berücksichtigung der Werkstoffvielfalt wie folgt beschrieben werden:

„Ein Fertigungsverfahren zur Herstellung von komplexen, partiell offenen und geschlossenen Mehrkammerprofilbauteilen mit Nebenformelementen, die in Längsrichtung Multiradien gebogen und zusätzlich um die Längsachse tordiert sind. Dabei weisen sie einen veränderlichen Wanddickenverlauf in Quer- und Längsrichtung auf. Als Halbzeugwerkstoffe kommen höchstfeste Stähle, Aluminiumlegierungen, Magnesiumlegierungen, FVK oder andere Hybrid-Werkstoffe zum Einsatz.“

Ein Fertigungssystem zur Realisierung derartiger Anforderungen stellt das modular aufgebaute Walzprofilierbiegeverfahren (WPB) da (siehe Bild 1.34), welches eine Erweiterung der bisherigen Anlagentechnik darstellt. Es vereint das Wissen im Bereich der Biegetechnik mit den Möglichkeiten und Erfahrungen aus dem Bereich der Walzprofilierertechnik und kombiniert Walzprofilier- und Biegestufe in einem Umform-Modul. Durch die Hintereinander Schaltung der einzelnen Module zu einer Walzprofilierbiegestraße lassen sich zukünftig kostengünstige

Profilbauteile mit veränderlichen Quer- und Längsgeometrien fertigen, die partiell geschlossene und offene Profilquerschnitte aufweisen können (siehe Bild 1.35). Die Grundlagen zu dieser Verfahrenskombination werden derzeit am Lehrstuhl für Umformtechnik (UTS) der Universität Siegen entwickelt ([www.uni-siegen.de/fb11/uts](http://www.uni-siegen.de/fb11/uts)).

## 5. Anhang – Bilder- und Diagrammverzeichnis

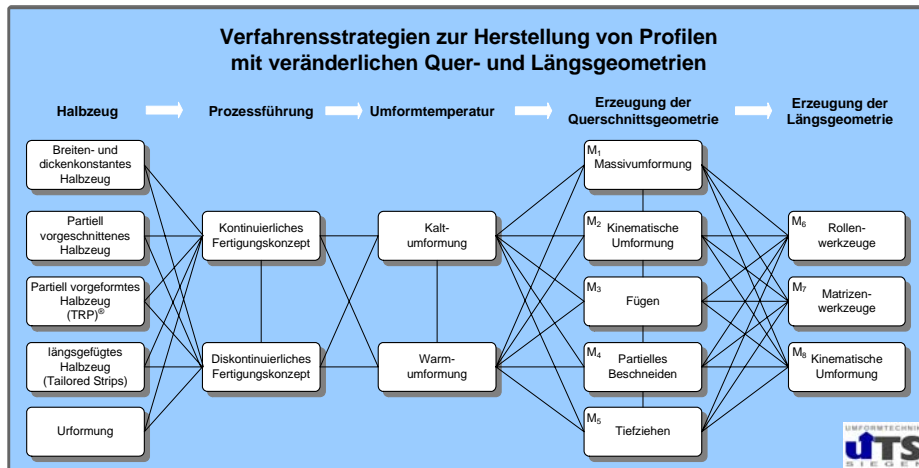


Bild 1.1 - Systematik der Verfahrensstrategien zur Herstellung von Profilen mit veränderlichen Geometrien

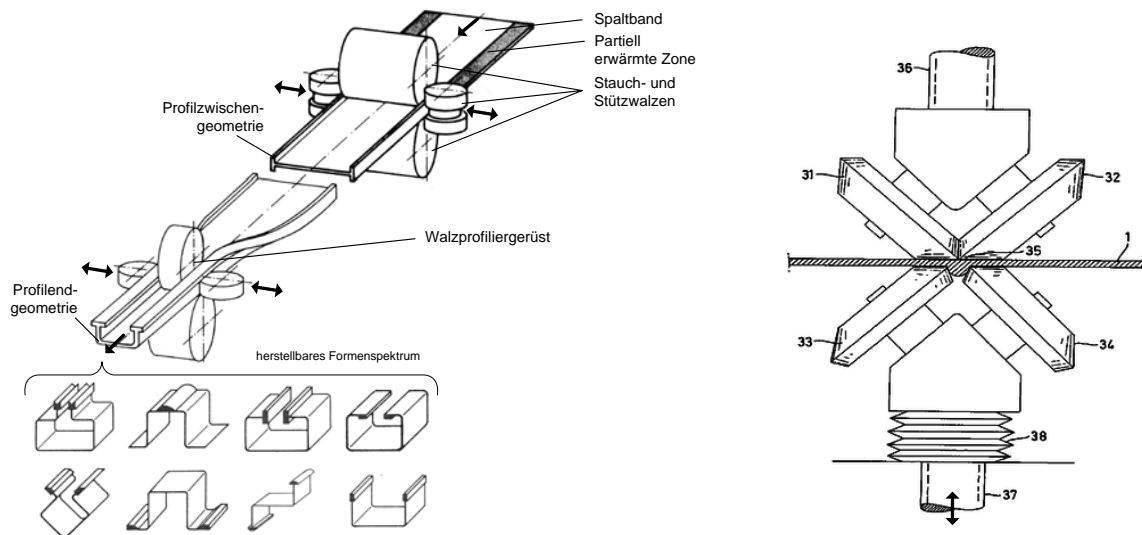


Bild 1.2 - Verfahrensprinzip mit Kalt-Warmumformung nach SPAHN [13] (links), Verfahrensprinzip mit Materialaufstauchung nach PRELLER [8] (rechts)

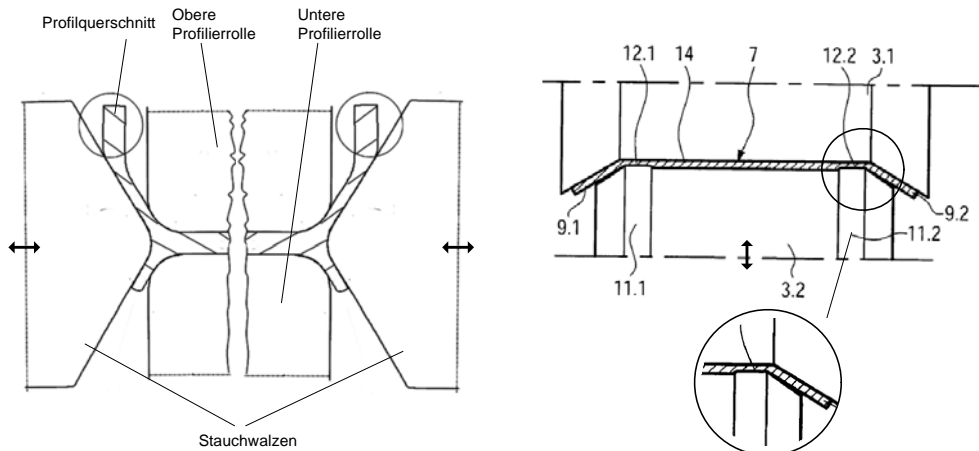


Bild 1.3 - Verfahrensprinzip des Spaltprofilierens nach GROCHE et al. [9] [10] (links), Verfahrensprinzip der Wändickenreduktion durch partielles Auswalzen nach WELSER [11]



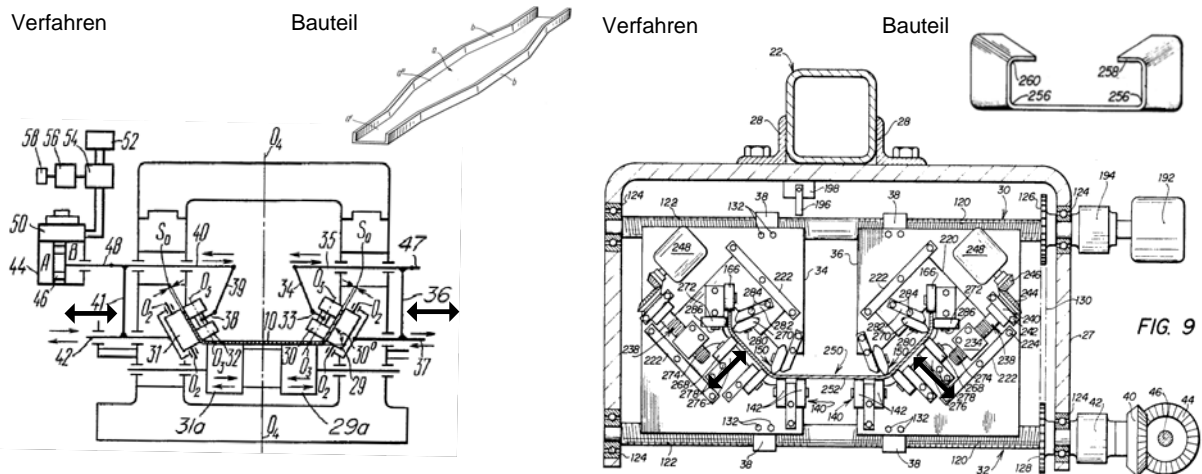


Bild 1.4 - Verfahrensprinzip des Walzprofilierens mit verstellbaren Profilrollen nach TRISHEVSK et. al. [14] (rechts) und nach COLBATH [16] (links)

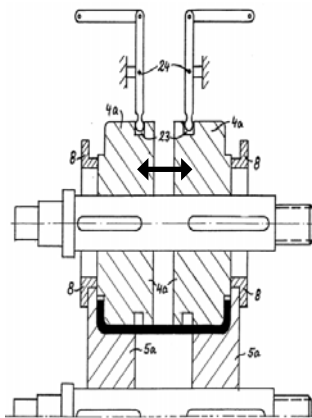


Bild 1.5 - Verfahrensprinzip mit sich axial verschiebbaren Profilierrollen nach KRÜCKELS [18]

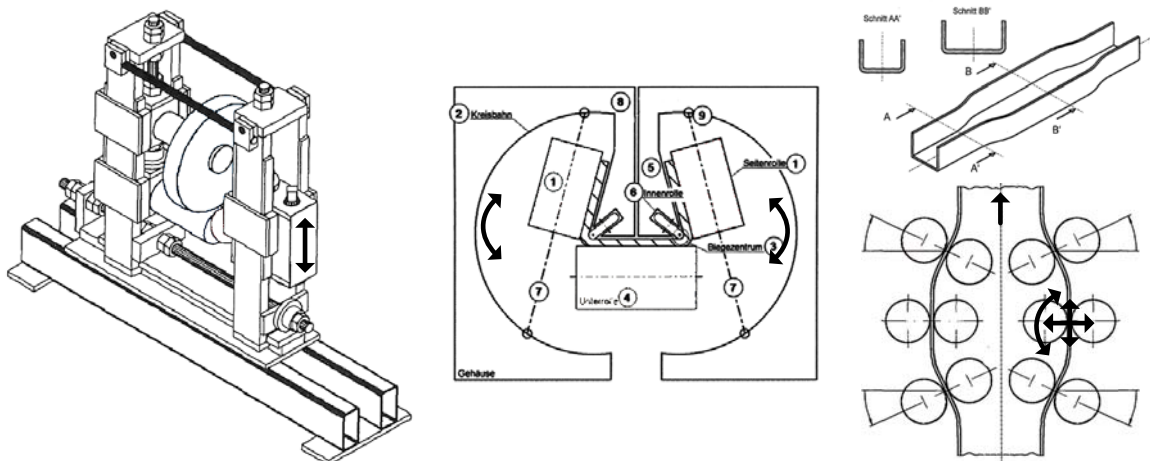


Bild 1.6 - Modul einer mehrgerüstigen Anlage zur Flexibilisierung des Biegewinkels nach GEYER [17] (links) Verfahrensprinzip zur Herstellung von Profilen mit flexiblen Biegewinkeln (mitte) und Profilbreiten (rechts) nach GROCHE et al. [21] [20]

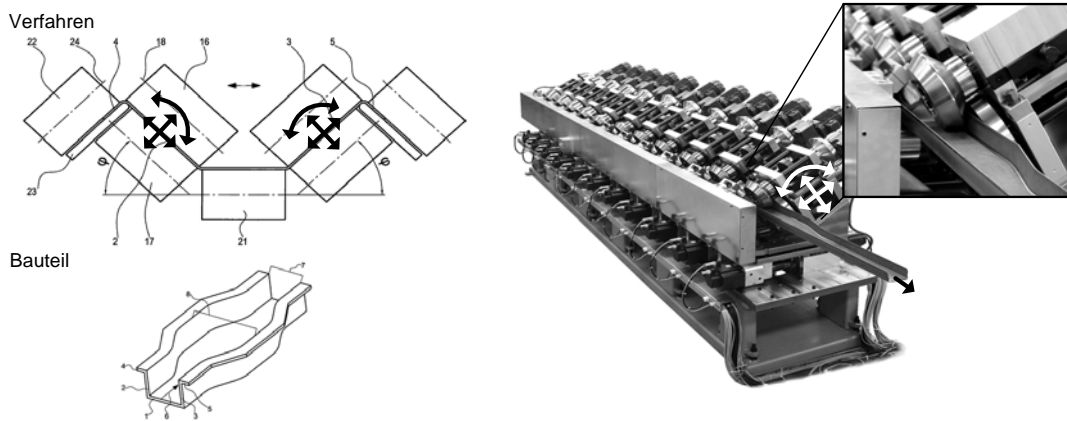


Bild 1.7 - Verfahrensprinzip eines flexiblen Hut-Profil Walzprofiliergerüsts nach ADELMANN et al. [23] (links)  
Flexibles Walzprofilieren von LKW-Längsträgern nach STAM [25] (rechts)

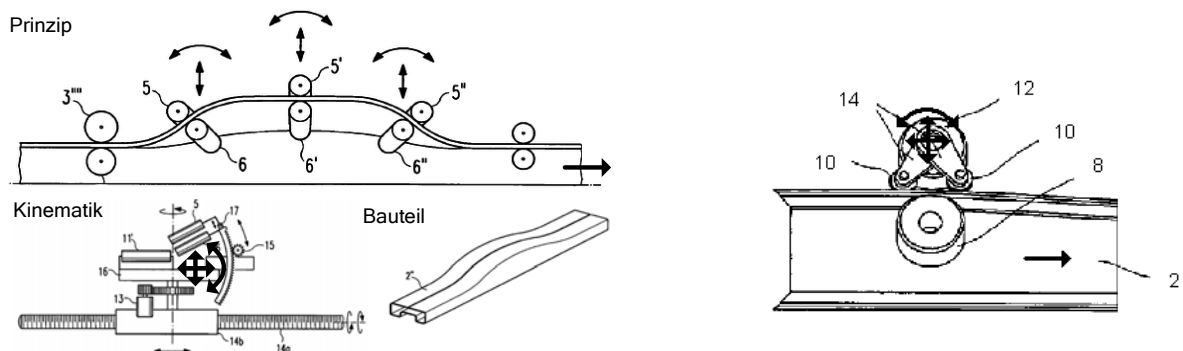


Bild 1.8 - Verfahrensprinzip mit positionierbaren Profilierrollen nach LEONHARDT [26] (links), Verfahrensprinzip einer Rückformeinrichtung nach FREITAG et al. [27] (rechts)

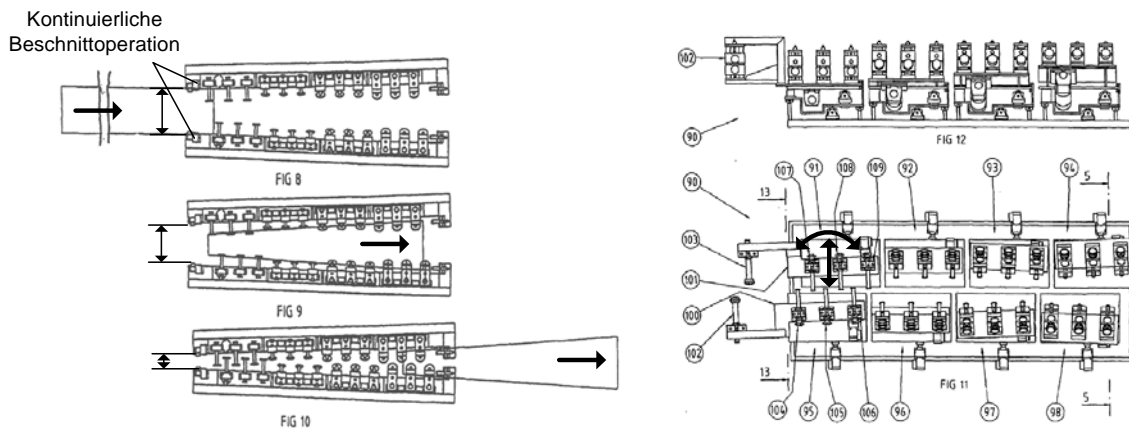


Bild 1.9 - „Monroe-Verfahren“ mit kontinuierlichem Blechbeschnitt und beweglichen Gerüsthälften (links) oder flexibel positionierbaren Gerüstmodulen (rechts) nach INGVARSSON [32], [33]

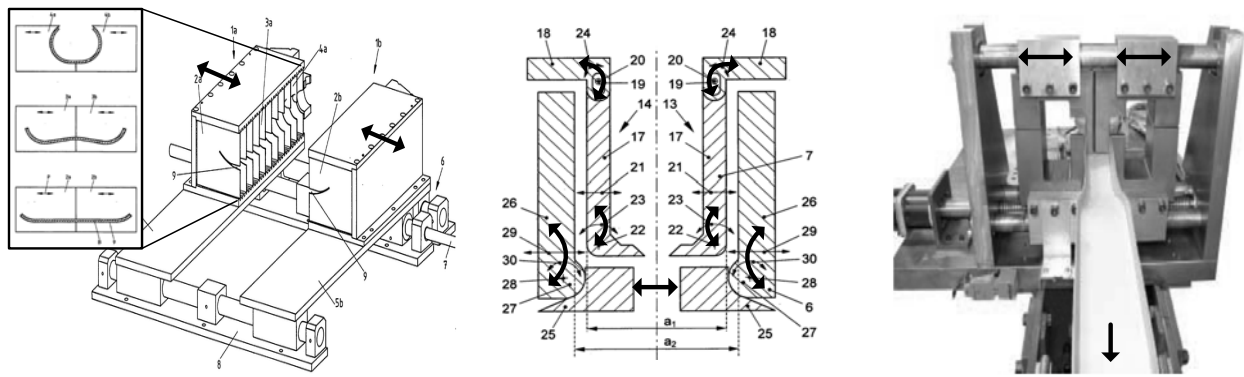


Bild 1.10 - Gleitziehbiegen mit geteilter Matrize nach HACKFORT [45] (links), Flexible Gleitziehbiegematrize nach DRÖDER [48] (mitte), Horizontal verstellbare Gleitziehbiegematrize nach MÜTZE [49] (rechts)

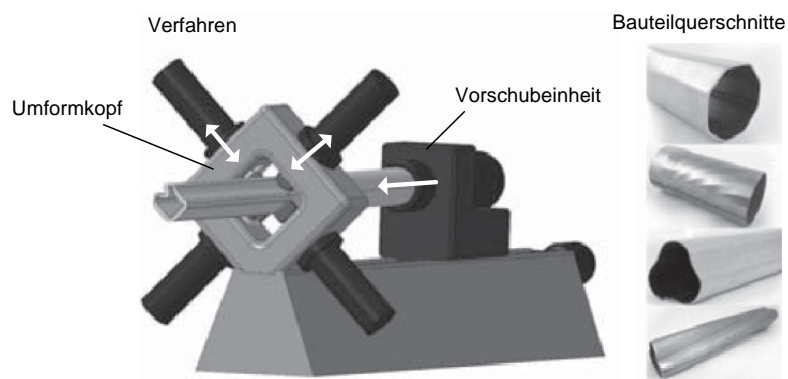


Bild 1.11 - RoProFlex – Verfahren zur flexiblen Querschnittsveränderung nach BECKER et al. [50]

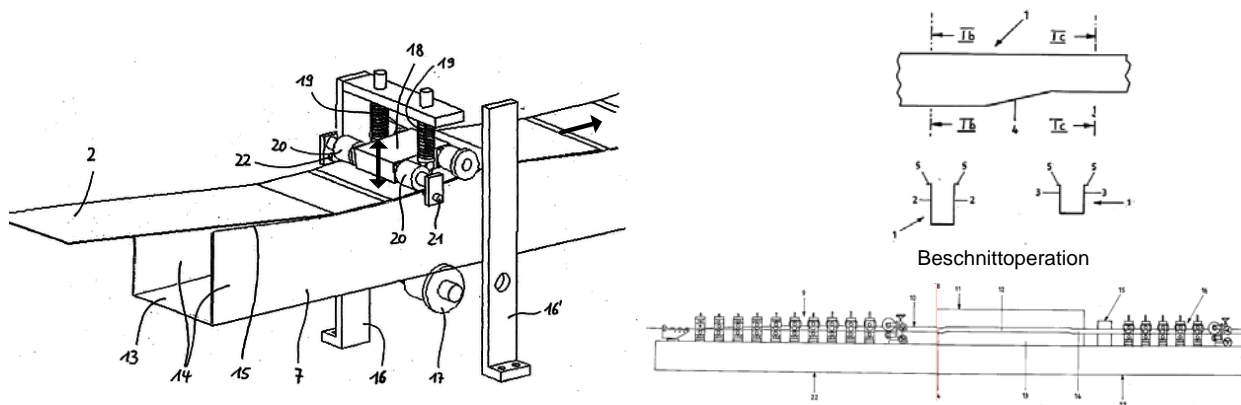


Bild 1.12 - Verfahrensprinzip zum Fügen zweier Profile für veränderliche Hohlprofil DREISTERN [51] (links), Verfahrensprinzip mit Beschnitt am fertig profilierten Bauteil nach BÜLTMANN [52] (links)

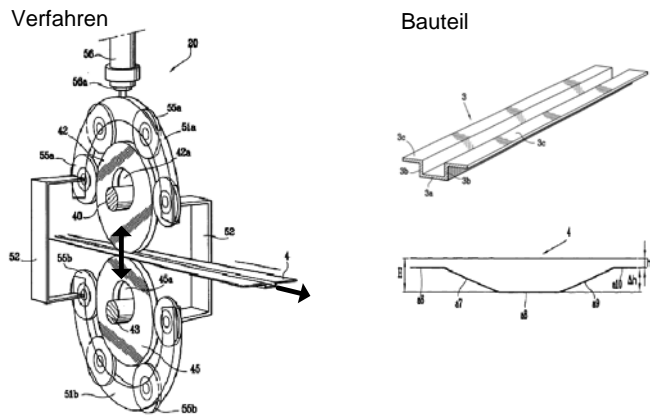


Bild 1.13 - Verfahrensprinzip mit integrierten Ziehrollen nach ANBARI et al. [53]

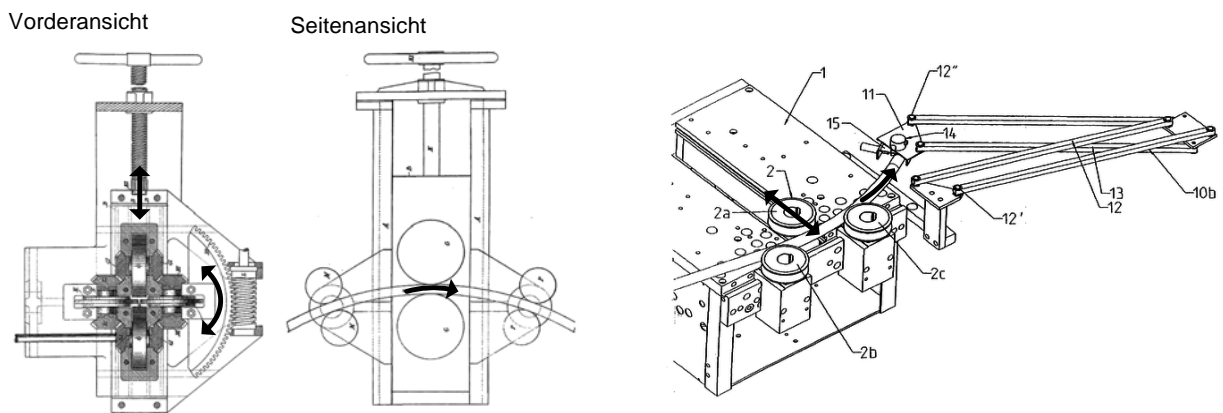


Bild 1.14 - Walzen-Biegemaschine nach SHANN aus dem Jahre 1896 [56], 3-Rollen-Biegemaschine mit Messvorrichtung zum Freiformbiegen in den Ebene nach RAPP [55]

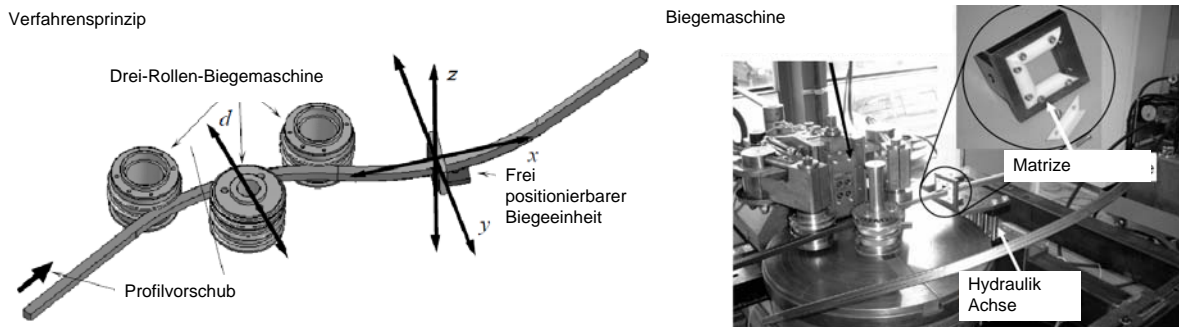


Bild 1.15 - Walzen-Biegemaschine mit zusätzlicher Biegeeinheit nach CHATTI et al.[54]

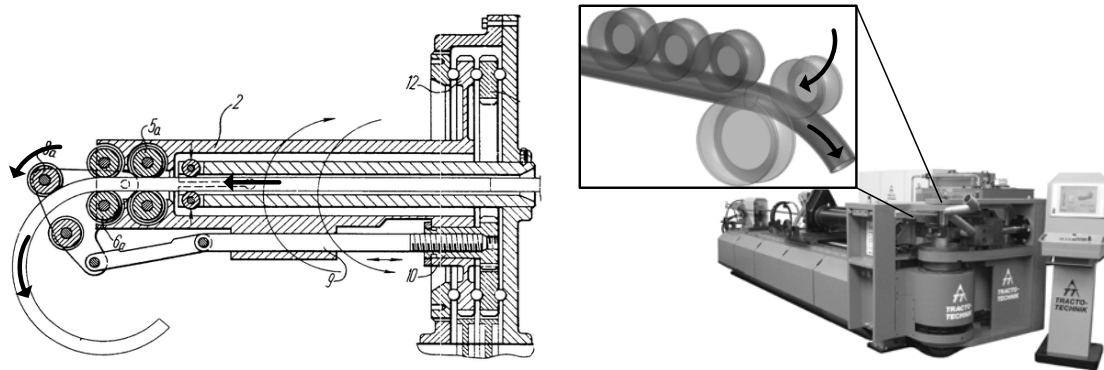


Bild 1.16 - Biegekopf für Rotationszugbiegemaschinen zum Freiformbiegen nach SHUBIN [57] (rechts), Freiformbiegemaschine auf Basis einer Rotationszugbiegemaschine nach GERLACH [58]

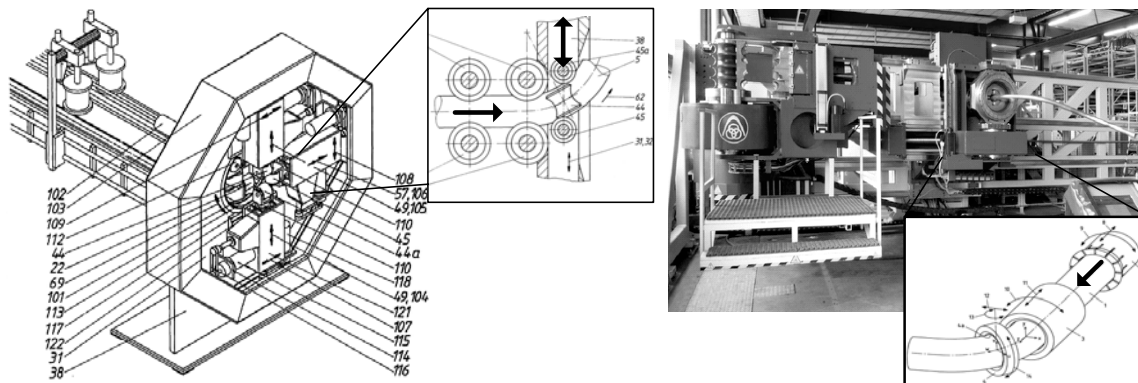


Bild 1.17 - Biegekopf für zum Freiformbiegen nach SPÄTH [65] (links) Biegemaschine mit Rotationszugbiege- und Freiformbiegenkopf nach FLEHMIG et al. [67] [68]

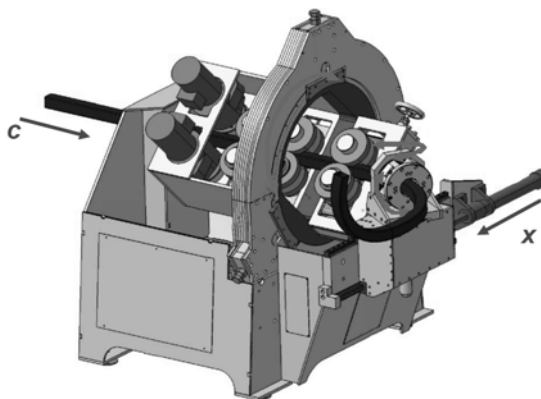


Bild 1.18 - TSS-Profilbiegemaschine für nicht kreisförmige Profile am ILU Dortmund nach HERMES et al. [71]

Beginn

Ende

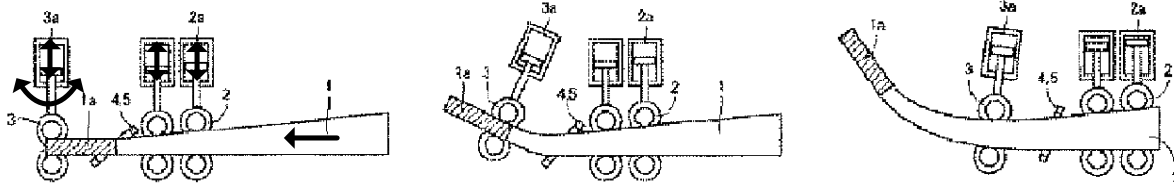


Bild 1.19 - Verfahren zum Biegen von Bauteilen mit veränderlichen Quer- und Längsgeometrien nach TOMIZAWA et al. [60]

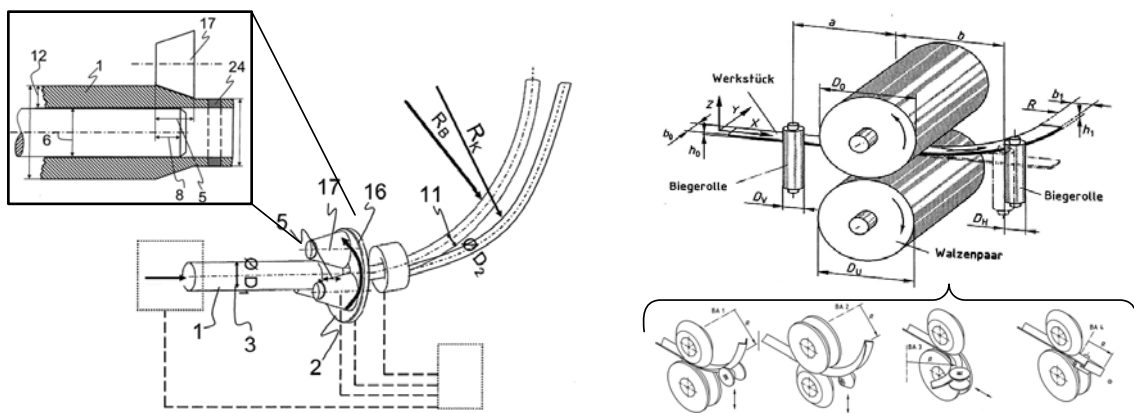


Bild 1.20 - Verfahren zum Umformen von Stangenmaterial nach HERMES et al. [73] (links), Biegeverfahren in Kombination mit einem Walzvorgang nach FINCKENSTEIN et al. [77] (rechts)

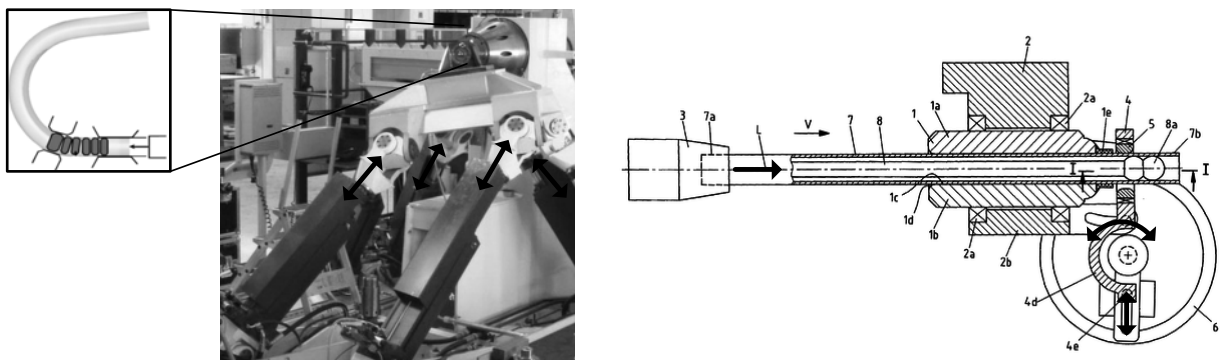


Bild 1.21 - Hexabend Biegemaschine nach NEUGEBAUER et al. [81] (rechts)  
3D-Freiformbiegemaschine mit Biegehülse nach FLEHMIG et al. [83] (links)

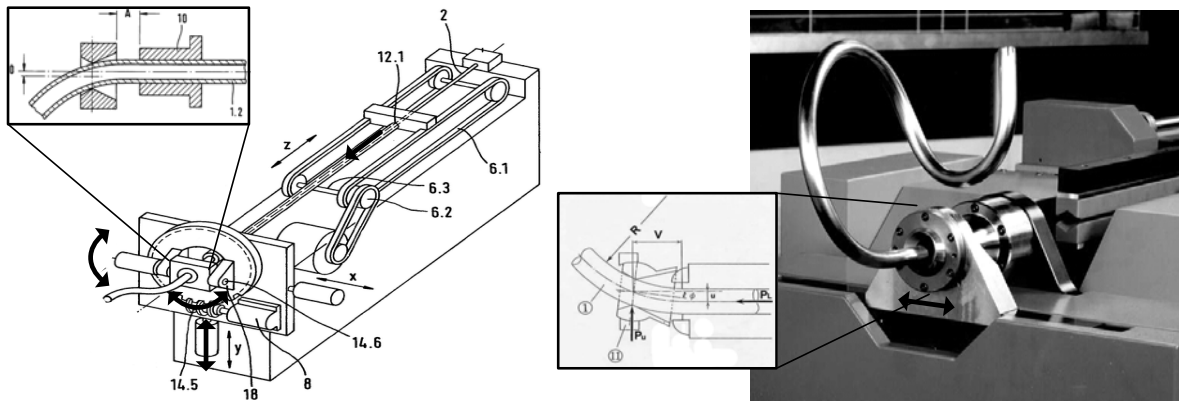


Bild 1.22 - Vorrichtung zum Biegen stabförmiger Bauteile nach NEU et al. [84] (links)  
 CNC-Pipe Bender, NPB Serie der Firma NISSIN nach MURATA et al. [85] (rechts)



Bild 1.23 - Roboter-Biegezentrum der Firma UNISON [90] (links)  
 Endgesteuertes Biegen mit Manipulatoren nach THALMAIR [92] (rechts)

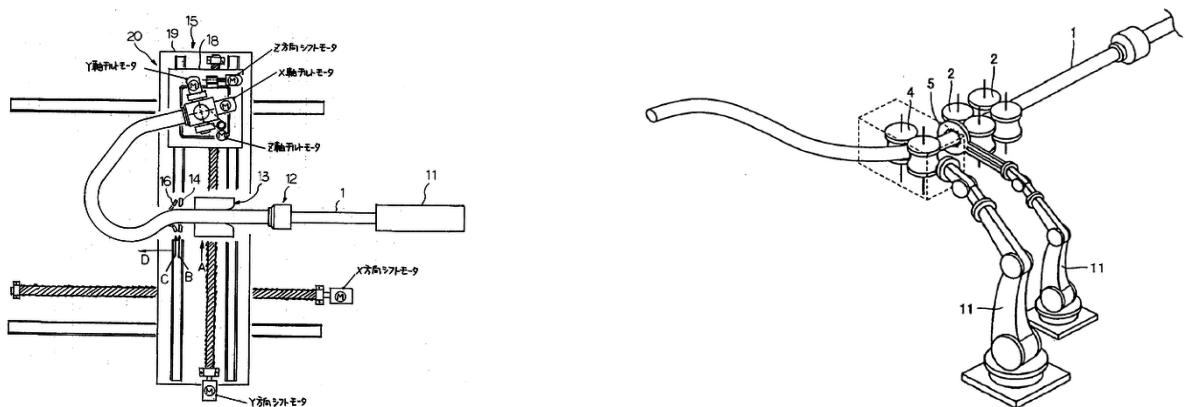


Bild 1.24 - Endkonturgesteuertes Biegen nach TOMIZAWA et al. [98] (rechts), Robotergestütztes Verfahren mit induktiver Erwärmung der Umformzone nach TOMIZAWA et al. [95] (links)

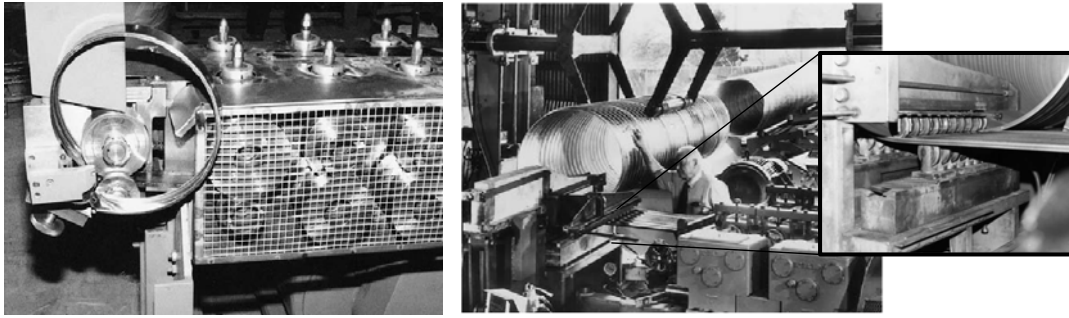


Bild 1.25 - Verfahrensprinzip aus Walzprofilieren und Walzrunden nach HALMOS [99]

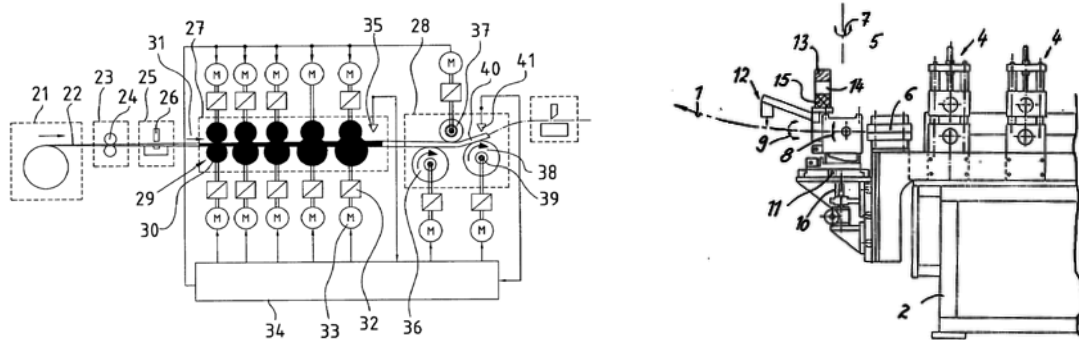


Bild 1.26 - Verfahrensprinzip aus Walzprofilieren und Walzrunden nach EGIDI [100] (rechts), Verfahrensprinzip zum flexiblen Biegen von Profilen nach GÖHR [101] (links)

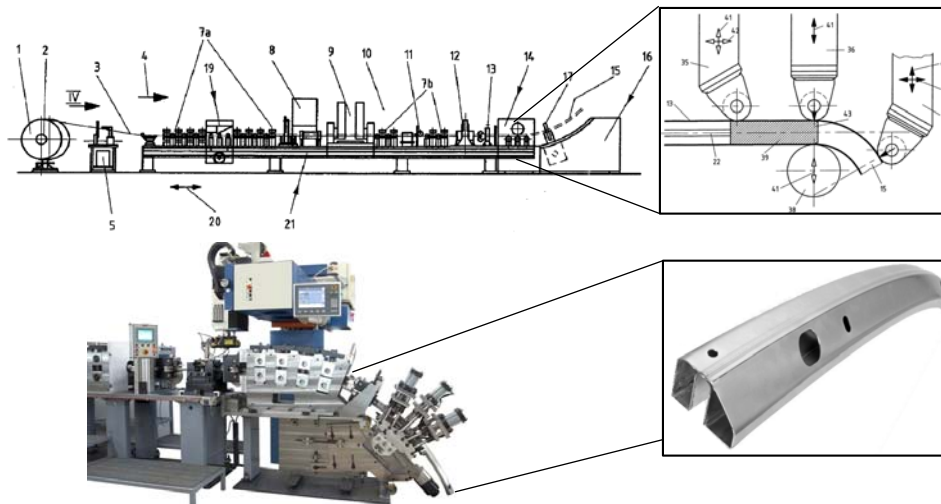


Bild 1.27 - Verfahrensprinzip einer Roll-Form-Biegemaschine nach SPÄTH [102] (oben), Kombination aus Walzprofilier- und nach geschalter Biege- und Trennoperation nach Firma STAM [25] (unten)



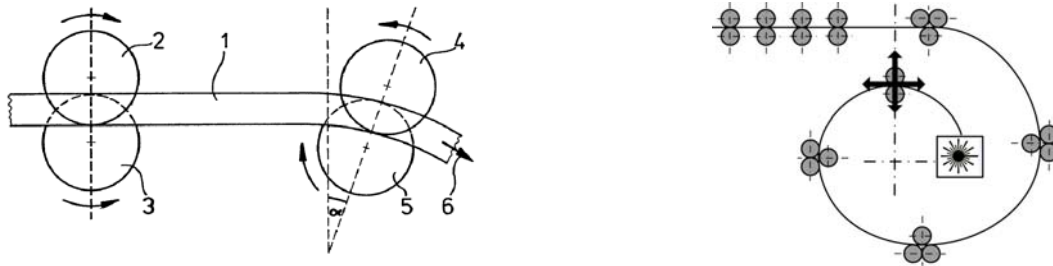


Bild 1.28 - Verfahrensprinzip zum Biegen unter Zugkraftüberlagerung nach KIRSCHNING [103] (rechts)  
Verfahrensprinzip zur Fertigung von Membranhüllen nach WEISS et al. [104] (links)



Bild 1.29 - Mobile Rollformanlagen für Dach- und Fassadenpanelen, Firma Kalzip [106] (oben), Firma Ilkwang Metal Forming Ltd. [107] (unten links) und Firma Interfalz [105] (unten rechts)

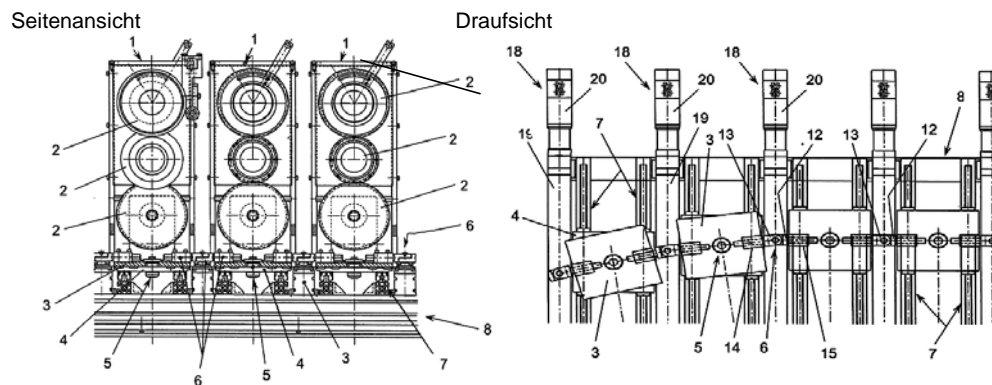


Bild 1.30 - Verfahren der Firma KALZIP zum flexiblen Walzprofilieren nach KOSCHKY [108]

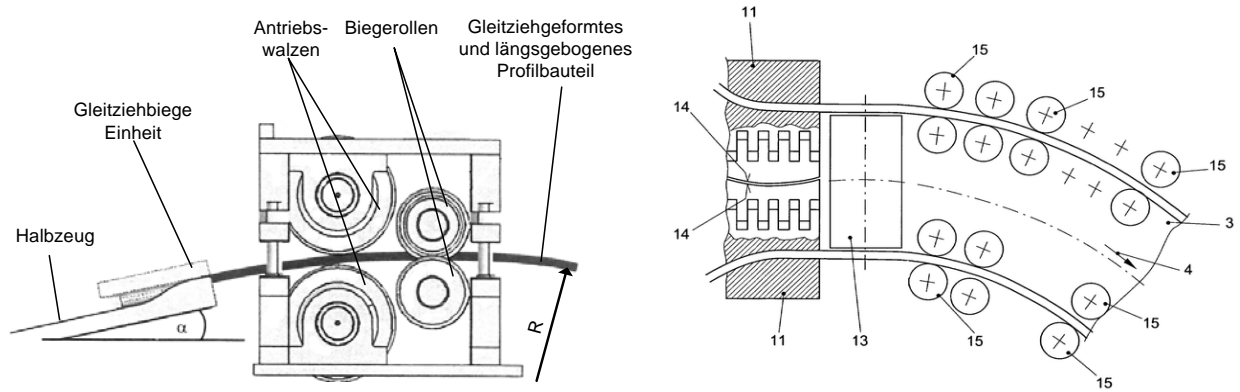


Bild 1.31 - Verfahren und Einformzone für das Gleitziehbiegen von Profilbauteilen mit veränderlicher Längsgeometrie nach BEHRENS et al. [109] (links) und DRÖDER et al. [110] (rechts)

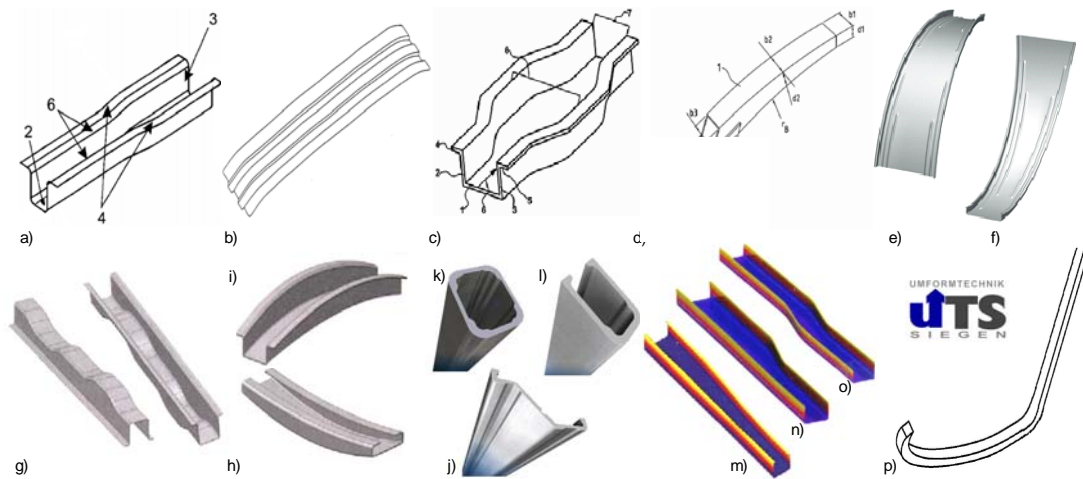


Bild 1.32 - Darstellung heutiger und zukünftiger Profilbauteile, Quellen: a) [111], b) [100], c) [23], d) [112], e) und f) [106] [108], g) bis i) [113] [114], j) bis l) [11] [12], m) bis o) [114], p) [72]


 Eigenschaften		Charakterisierung der Profilbauteile aus Bild 5.32																
		a)	b)	c)	d)	e)	f)	g)	h)	i)	j)	k)	l)	m)	n)	o)	p)	
Querschnitts- geometrie	Offen	x	x	x		x	x	x	x	x	x		x	x	x	x		
	Geschlossen				x							x					x	
	Variable Höhe				x			x	x									
	Variable Breite	x		x	x		x							x	x			
	Mehrkammerprofil																	
	Q-Nebenformelemente											x						
Wand- dicken- verlauf	konstant	x	x	x	x	x	x	x	x	x				x	x	x	x	
	in Bauteillänge										x							
	im Querschnitt										x	x	x					
Längs- geometrie	Biegung um X		x		x	x	x		x	x							x	
	Biegung um Y				x											x	x	
	Torsion um Z																x	
	L-Nebenformelemente																	

Tabelle 1.1 - Kriterien zur Charakterisierung von Profilen mit veränderlicher Quer- und Längsgeometrien

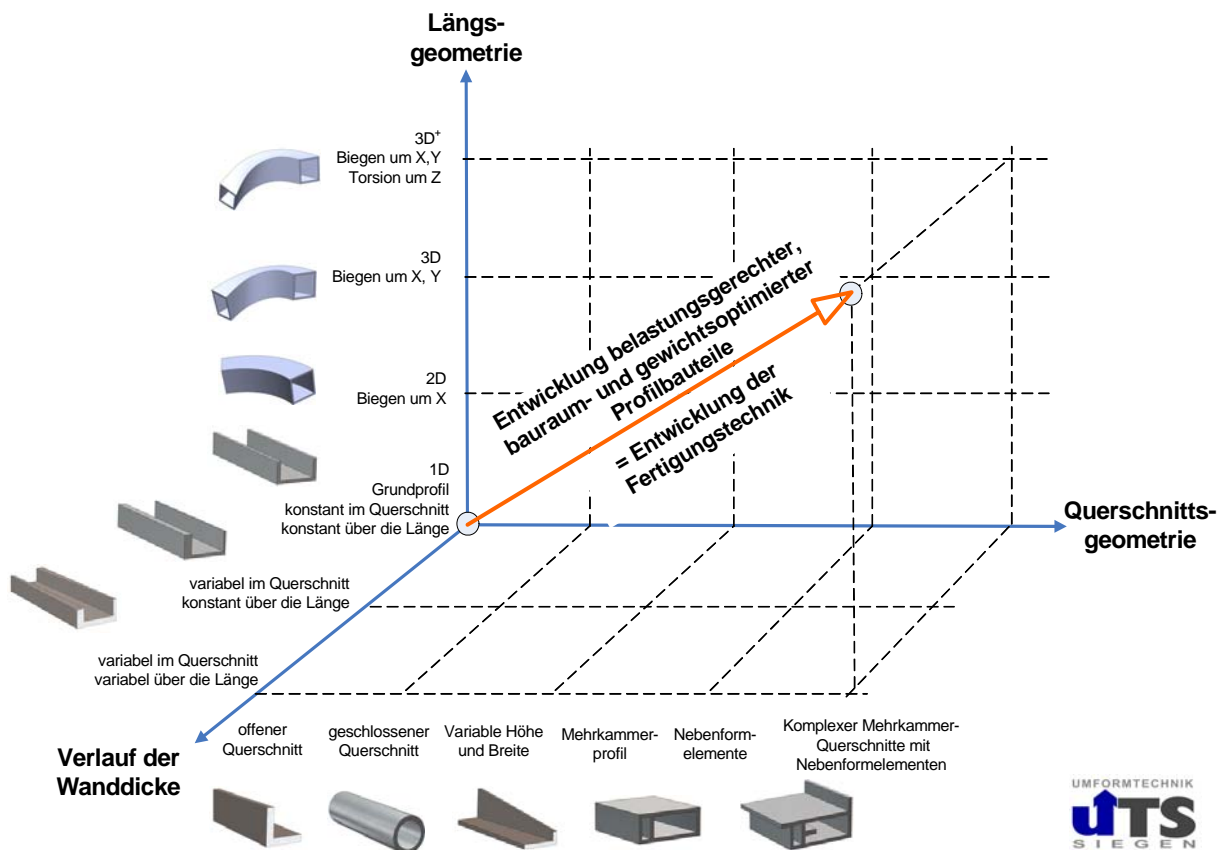


Bild 1.33 - Strategische (geometrische) Entwicklung der Profilbauteile

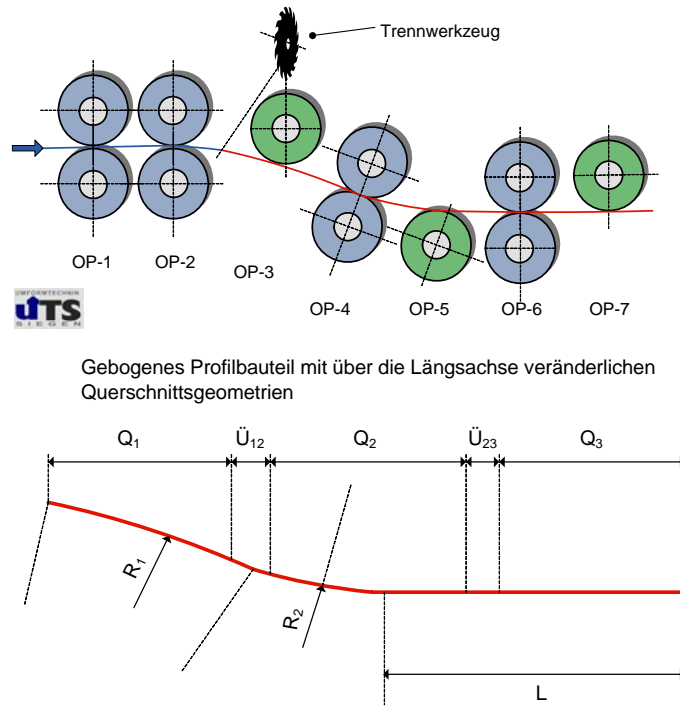


Bild 1.34 - Walzprofilierbiegen

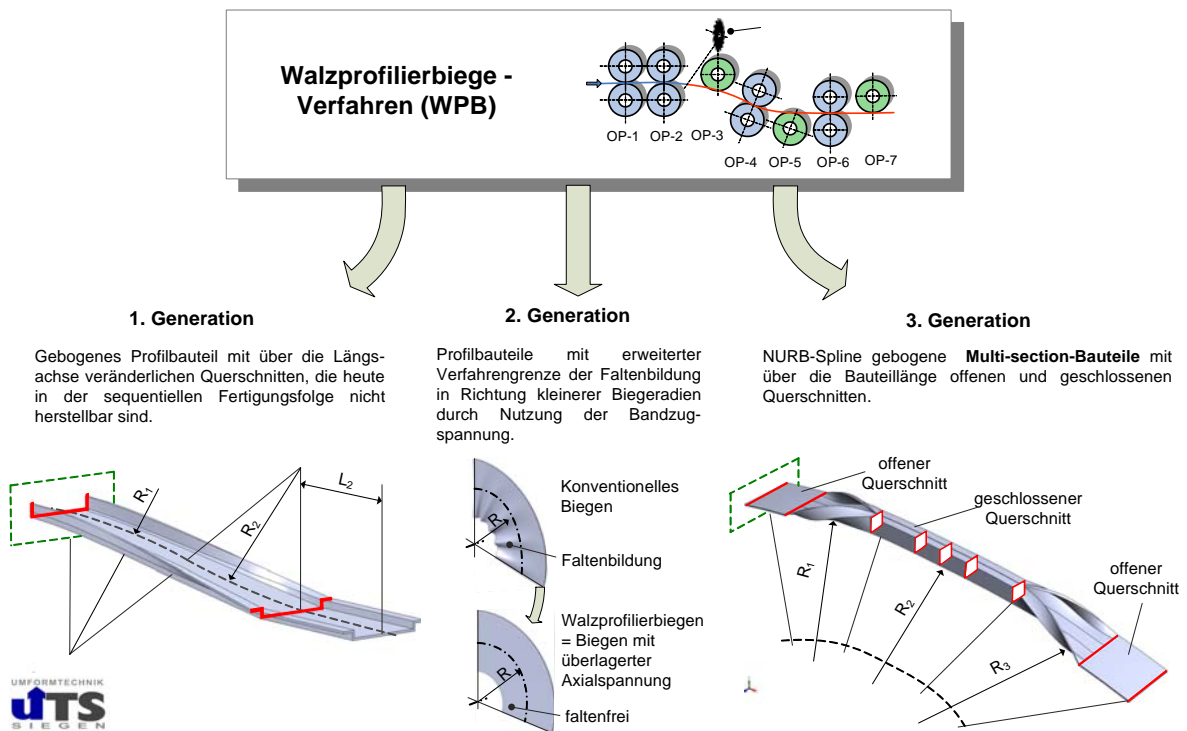


Bild 1.35 - Darstellung zukünftiger im Walzprofilierbiegeverfahren (WPB) hergestellten Profilbauteile

## 6. Anhang - Literatur Verzeichnis

- [1] Becker, H. : Auf Crashkurs, Automobilindustrie im globalen Verdrängungswettbewerb, 2. Auflage, Springer Verlag Berlin , 2005
- [2] Braess, H.-H., Seiffert, U. : Vieweg Handbuch Kraftfahrzeugtechnik, 5. Auflage, Vieweg & Sohn Verlag, Wiesbaden, S.5-10, 2007
- [3] Goede, M. : Karosserieleichtbau als Baustein einer CO2-Reduzierungsstrategie, Vortrag zum 16. Aachener Kolloquium Fahrzeug- und Motorentchnik, S.1-17, 2007
- [4] Abratis, C. : Biegen von tailor rolled blanks zu Profilen und deren Einsatz im Fahrzeugbau, Umformtechnische Schriften, Band 142, Shaker Verlag, 2008
- [5] Groche, P., Walter, M., Ringler, J., Munirathnam, M. : Flexible Prozesskette für Mehrkammerprofil aus Blech, Integration von Umform-, Zerspan- und Fügetechnik in eine kontinuierliche Fertigungskette, Umformtechnik, Produktionstechnik, Werkstatttechnik online, Jahrgang 1996, Heft 10, Springer-VDI-Verlag GmbH & Co.KG, S. 733-739, Düsseldorf, 2006
- [6] Henkelmann, M. : Entwicklung einer innovativen Kalibrierstrecke zur Erhöhung der Profilgenauigkeit bei der Verarbeitung von höher- und höchstfesten Stählen, Dissertation, PTU Darmstadt, Berichte aus Produktion und Umformtechnik, Band 77, Shaker Verlag, 2009
- [7] Vucic, D. : Methoden zum Herstellen und Weiterverarbeiten von Spaltprofilen, Berichte aus Produktion und Umformtechnik, Band 82, Shaker Verlag, 2010
- [8] Preller, H. : Verfahren und Einrichtung zur Herstellung von Profilen aus Metall vornehmlich von Stahlprofilen, DE 000 002 813 636 A1, Theodor Wuppermann GmbH, Leverkusen, 04.10.1979
- [9] Groche, P., Jöckel, M. : Verfahren zum herstellen profilierter Bleche mit mindestens einem von der Blechmittelebene wegweisenden Flansch im Randbereich, DE 000 010 039 768 A1, Darmstadt, 28.02.2002
- [10] Groche, P., Jöckel, M. : Process for production a profile a flat metal strip, DE 000 010 322 752 B4, Darmstadt, 10.05.2007
- [11] Welser, T., Aigner, K., Schachinger, H. : Verfahren zum Herstellen eines Profils aus flachem Metallband, WO 002 009 052 906 A1, Welser Profile AG, Ybbsitz, Österreich, 30.04.2009
- [12] Schätzl, H.-G. : Es ist das Miteinander, bbr, Bänder, Bleche, Rohre, 51. Jahrgang, Heft 5, Verlag Henrich Publikationen GmbH, Gilching, S. 20-23, 2010, Bilder von [www.welser.com](http://www.welser.com)
- [13] Spahn, P. : Beitrag zur Herstellung von stabförmigen Stahlprofilen mit partiellen Wandverdickungen, Dissertation, D17, Technische Hochschule Darmstadt, 1990

- [14] Trishevsky, I., Patseka, I.E., Temnikov, E.M., Borisenko, M.E., Kheifets, G.R., Lanko, V.V., Miroshnichenko, S.V. : Roll-forming machine for making articles having cross-sectional configuration varying lengthwise, US 000 004 558 577 A, Ukrainsky Nauchnoissledovatelsky, Institut Metallov, Kharkov, U.S.S.R, 17.12.1985
- [15] Nilsen, T., Normann, E. : Machine for adjustable longitudinal corrugation of sheet Materials, PTC-Patent WO 00 198 7004 375 A1, Blommenholm, 17.01.1986
- [16] Colbath, D. L. : Verfahren und Vorrichtung zum Profilwalzen, DE000002521620A1, Texas, 11.12.1975
- [17] Geyer, S., Stricker, N., Schmoeckel, D. (Hrsg.): Innovative Fertigungs- und Planungssysteme für den Walzprofilieren, Neue Perspektiven für die Umformtechnik, Band 5, Heft 16, IFB und PTU, Darmstadt, 1994
- [18] Krückels, G. : Profiliermaschine und Verfahren zur Herstellung eines Profils, DE000003022671A1, Schopfheim, 14.01.1982
- [19] Groche, P., Henkelmann, M.: Method and device for producing sections with bending angles of varying degrees in the longitudinal direction, WO 2008/092 424 A3, Darmstadt, 23.01.2008
- [20] Groche, P., Henkelmann, M.: Verfahren und Vorrichtung zum Herstellen von Profilen mit in der Längsrichtung unterschiedlich weit gebogenen Biegewinkeln, DE 112 008 000 898 A5, Darmstadt, 07.08.2008
- [21] Groche, P., Istrate, A. : Verfahren und Vorrichtung zum Herstellen von Bauteilen mit über die Längsachse veränderlichen Querschnitten, DE000010011755B4, Darmstadt, 25.05.2005
- [22] Istrate, A. : Verfahrensentwicklung zum Walzprofilieren von Strukturbauteilen mit über der Längsachse veränderlichen Querschnitten, Berichte aus Produktion und Umformtechnik, Band 55, Shaker Verlag, 2003
- [23] Adelman, T., Egidio, A., Füller, K.-H., Rosteck, G. :Vorrichtung zum Walzprofilieren von Kaltprofilen, DE 102 004 040 257 A1, DaimlerChrysler AG, Stuttgart, 15.12.2005
- [24] Firma Stam : Schnell umgerüstet, bbr, Bänder, Bleche, Rohre, 51. Jahrgang, Heft 5, Verlag Henrich Publikationen GmbH, Gilching, S.30-31, 2010
- [25] Stam S.p.A., Ponzano Veneto, Treviso, Italien, <http://www.stam.it>
- [26] Leonhardt, S., Ishii, M. : Manufacturing profiles having an cross-section varying in longitudinal direction, EP 000 001 537 922 B1, Firma Honda Motor Co. , LDT., Tokyo, 04.12.2003
- [27] Freitag, S., Sedlmaier, A., Abee, A., Poks, B : System zum Kaltwalzprofilieren von Profilen mit veränderlichem Querschnitt, DE 102 008 050 366 B4 , Data M Sheet Metal Solutions GmbH, Valley 17.06.2010

- [28] Möck, W. : Vorrichtung zum Rollformen von Blech, EP 000 002 177 285 A1, Firma Walter Möck GmbH, Sonnenbühl, 09.09.2009
- [29] Okamoto, A. Forming device for tapered shape, JP 000 009 052 125 A, 25.02.1997
- [30] Ingvarsson, L. : Roll Mill Machine, WO 001 989 003 261 A1 vgl. WO001989003260A1, Firma Ortic AB, Borlänge, , Schweden 09.10.1987
- [31] Ingvarsson, L., Rudman, L. : A roll forming machine, WO 002 002 043 886 A1, Firma Ortic AB, Borlänge, Schweden, 06.06.2002
- [32] Ingvarsson, L., Rudmann, L. : Vorrichtung und Verfahren zum Rollformen, EP 1 661 636 B1 / DE 000 060 132 646 T2, Firma Ortic 3D AB, Borlänge, Schweden, 23.01.2008
- [33] Jungmann, T. : Fast alles kann walzprofilert werden, Online-Bericht, ATZ Online, www.atzonline.de, 29.11.2004
- [34] Georgie, H., la Haye, W de., Casajus, A., Kindt, C., Simon, S. : Verfahren zur Herstellung eines Halbzeugs für Rohre oder rohrähnliche Gebilde aus einem biegsamen metallischen Flächengebilde sowie daraus gefertigte rohre oder rohrähnliche Gebilde, DE 000 010 235 045 A1, Brandenburgische Technische Universität Cottbus, Cottbus, 12.02.2004
- [35] Otte, V., Digel, M., Gabler, G. : Verfahren und Vorrichtung zum Umformen von Werkstücken, insbesondere Drahtstücken, DE 000 019 922 681 A1, Solingen, 25.01.1999
- [36] Wetzels, W. : Dorn, Vorrichtung und Verfahren zum Kaltziehen nahtloser Rohre, DE 000 019 902 501 A1, Schumag AG, Aachen, 27.07.2000
- [37] Stinnertz, H., Kalkenings, P. : Vorrichtung zum Kaltziehen nahtloser Rohre, DE 000 019 610 642 C2, Mannesmann AG, Düsseldorf, 25.05.2000
- [38] Evans, S. O. : Method of and apparatus for producing a straight bore cold drawn tube, US 3 709 020 A, The Babcock & Wilcox Company, New York, 09. 01.1973
- [39] Honisch, S., Wassen, J. : Verfahren und Vorrichtung zur Herstellung längsnahtgeschweißter Rohre durch Kalteinformen von Bändern, Mannesmann AG, DE 000 002 805 735 C3, Düsseldorf, 18.02.1982
- [40] Asselborn, P., Cramer, W., Müllejans, H. : Verfahren und Vorrichtung zum Herstellen von Längsnahtrohren, DE 000 002 208 392 C3, Felten & Guillaume Carlswerk AG, Köln, 14.09.1987
- [41] Gradt, R.A.. : Tube forming mill, US 000 003 001 569 A, Flexonics Corporation, Maywood, Illinois, 29. 04.1961
- [42] Kirchner, M. I. A. : Procédé de fabrication d'une tige d'armature en acier pour la construction en béton armé, revenue à froid et présentat la forme d'un fer rond à

- âme creuse et dispositif de façonnage mettant en oeuvre ce procédé, FR 000 001 325 316 A1, 07.06.1962, Paris
- [43] Vermeulen, W.G., Verhoef, L.: Vorrichtung zur Herstellung eines rohrförmigen Elements aus einem langen Metallband, DE 000 0001 452 397 A, N.V. Nederlandsche Kabelfabrieken, Delft, Niederlande, 16.02.1968
- [44] Ferchland, H.W. : Hydrostatic continuous forming mill, US 000 003 415 089 A, General Motors Corporation, Detroit, Michigan, 10. Dezember.1968
- [45] Hackford, T., Flehmig, T., Blümel, K, Ufermann, P., Jordan, F. : Vorrichtung zum Gleitziehbiegen von Bändern, EP 000 000 908 251 A1, ThyssenKrupp Stahl AG, Düsseldorf, 01.10.1998
- [46] Hackford, T., Flehmig, T., Blümel, K : Verfahren zum Umformen eines ebenen Metallbandes zu einem Profil, insbesondere Rohr, durch Ziehprofilieren, EP 000 000 908 250 A2, ThyssenKrupp Stahl AG, Düsseldorf, 01.10.1998
- [47] Doege, E., Mütze, S., Ulbricht, V., Süße, D. : Gleitziehbiegen von belastungsangepassten Kaltprofilen aus Bandblech mit verstellbaren Matrizen, EFB-Forschungsbericht Nummer 161, Europäische Forschungsgesellschaft für Blechverarbeitung e.V., Hannover, 2001
- [48] Dröder, K., Martin, V., Mütze, S., Behrens, B.-A., Schreiber, W., Süße, D. : Vorrichtung zum Umformen eines bandförmigen Werkstücks, Volkswagen AG, Wolfsburg, 23.08.2007
- [49] Mütze, S. : Leichter geht's nicht – Flexibles Profilieren von belastungsangepassten Trägerbauteilen, Zeitschrift phi, Produktionstechnik Hannover informiert, 6. Jahrgang, Ausgabe 2, Hannover, S.8-9, 2005
- [50] Becker, C., Hermes, M., Wagner, R., Tekkaya, A.E : Verfahren und Vorrichtung zur inkrementellen Umformung von Profilrohren, insbesondere von Profilrohren mit über die Längsachse variierenden Querschnitten, DE 102 010 025 593, Tätigkeitsbericht des Instituts für Umformtechnik und Leichtbau (IUL), Nummer 10, Technische Universität Dortmund, Dortmund, S. 84, 03.02.2011
- [51] Firma Dreistern: Verfahren und Vorrichtung zum Herstellen eines Hohlprofils, EP 000 001 371 430 A2, Dreistern-Werk Maschinenbau GmbH & Co. KG, Schopfheim, 14.05.2003
- [52] Bültmann, P. : Profilteil, Vorrichtung und Verfahren zu seiner Herstellung sowie Verwendung des Profilteils, DE000010210807A1, Firma Kronenberg Profil GmbH, Leichlingen, 02.10.2003
- [53] Anbari, B., Finet, S. : Outil de formage pour la fabrication d'un profilé, machine à profilier, utilisation et élément correspondant, EP 000 001 627 697 B1, Firma Wagon Automotive S.A., Poissy, 08.08.2005



- [54] Chatti, S., Hermes, M., Kleiner, M., Banabic, D. (Hrsg.): Three-Dimensional Bending of Profiles by Stress superposition, Advanced Methods in Material Forming, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, S.101-118, 2007
- [55] Rapp, H. : Vorrichtung zur Erfassung eines Ringbiegewinkels, insbesondere eines Biegewinkels eines Biegeteils, eines Werkstücks, insbesondere eines Biegeteils, sowie ein Verfahren zur Regelung einer Biegemaschine, DE 000 010 249 300 A1, Rasi Maschinenbau GmbH, Illingen, 18.09.2003
- [56] Shann, M, Chruchill Shann, R.E. : Biegemaschine für beliebig profilierte Metallstäbe, DE 000 000 091 836 A1, London, 16.07.1896
- [57] Shubin, V.N, Silantie, V.S., Chlyntsev, A.S, Biegekopf für Rohrbiegemaschinen, DE 000 002 518 798 C3, Moskau, 01.02.1979
- [58] Gerlach, C. : Ein Beitrag zur Herstellung definierter Frei-form-biegegeometrien bei Rohren und Profilen, Dissertation; Lehrstuhl für Umformtechnik (UTS); Universität Siegen, Shaker Verlag, 2010
- [59] Engel, B., Kersten, S. : Sensitivitätsanalyse beim Freiformbiegen von Rohrprofilen, Lehrstuhl für Fertigungstechnik und Werkzeugmaschinen, Universität Siegen, Bauteile der Zukunft, Methoden und Prozesse, Europäische Forschungsgesellschaft für Blechverarbeitung, Tagungsband T31, EFB Hannover, S.123-138, 2010
- [60] Tomizawa, A., Shimada, N., Kuwayama, S. : Method and Apparatus for bending special pipe and product bend by the same method and apparatus, JP 002 007 301 587 A, Sumitomo Metal Industries LTD., Osaka-shi, Osaka, Sumitomo Pipe & Tube Co. Ltd., Kashima-shi, Ibaraki, Sumikin Plant Ltd., Wakayama-shi, Wakayama, Japan, 22.11.2007
- [61] N.N. : Verfahren und Vorrichtung zum dreidimensionalen Biegen von Metall-Halbprofilen, DE 000 019 717 232 A1, Suban AG, Luzern, Schweiz, 29.10.1998
- [62] Yogo, T. : Lace bending apparatus, US 000 004 391 116 A, Kabushikikaisha Chuodenkiseisakusho, aza-Jonoh, Ohaza-Ohmori, Moriyama-ku Nagoya-shi, Japan 05.07.1983
- [63] Meliga, M. : Maschine zum automatischen Biegen von Rohren und ähnlicher Teilen, WO 00/66289, Tauring S.p.A., Leini, Italien, 29.03.2000
- [64] Riebling, P. : Verfahren und Vorrichtung zum Biegen von Rundrohren und Profilen, DE 102 008 006 293 A1, Patentgesellschaft Maranatha, Tägerwillen, Schweiz, 30.07.20089
- [65] Späth, W. : Biegevorrichtung zum 2D- und/oder 3D Profil- und Rohrbiegen, DE 000 010 119 030 A1, Palima W. Ludwig & Co., Sarnen, Schweiz, 03.01.2002

- [66] Späth, W.: Process and device for bending round tubes and profiles, WO 002 009 095 174 A1, Patentgesellschaft Maranatha, Tägerwilen, Schweiz, 06.08.2009
- [67] Flehmig, T., Kibben, M., Kühni, U., Ziswiler, J. : Vorrichtung zum Freiformbiegen von Längsprofilen, insbesondere Rohre, sowie kombinierte Vorrichtung zum Freiformbiegen und Ziehbiegen von Längsprofilen, insbesondere Rohren, WO 002 006 100 012 A3, ThyssenKrupp Steel AG, Duisburg, Mewag Maschinenfabrik AG, Wasen im Emmental, Schweiz, 28.09.2006
- [68] Kibben, M., Mertens, O., Flehmig, T. : Zukunft Bauteil, Aktuelle Entwicklung und Perspektiven, ThyssenKrupp Steel Europe, Vortrag, Biegen in Siegen, Siegen, 11.03.2011
- [69] Kibben, M., Flehmig, T. ,Mertens, O. Khüni, U., Ziswiler, J. : Vorrichtung und Verfahren zum Freiformbiegen von Profilen, EP 000 002 266 720 A2, ThyssenKrupp Steel Europe AG, Duisburg, Mewag Maschinenfabrik AG, Wasen im Emmental, Schweiz, 10.06.2010
- [70] Tekkaya, A., Hermes, M., Chatti, S., Weinrich, A. : Three-Dimensional Bending of Profiles with Stress Superposition, International Journal of Material Forming, Volume 1, Supplement 1, Springer Verlag Pages 133-136, 2008
- [71] Hermes, M., Chatti, S., Weinrich, A, Tekkaya, E. : TTS-Profilbiegen: Konzept zum 3D-Biegen nicht-kreisförmiger Profilquerschnitte, Institute of Forming Technology and Lightweight Construction (ILU), Technische Universität Dortmund, Vortrag zum Experten-Workshop Biegen aus der Veranstaltungsreihe Biegen in Siegen, 24. März 2009
- [72] Hermes, M., Kleiner, M. : Method and device for profile bending, WO 002 008 113 562 A1, Universität Dortmund, Dortmund, 25.09.2008
- [73] Hermes, M., Kurze, B. : Method and device for forming a bar stock, bar stock, WO 002 009 043 500 A1, Universität Dortmund, Dortmund, 09.04.2009
- [74] Franz, W.-D. : Maschinelles Rohrbiegen, Verfahren und Maschinen, VDI-Verlag, Düsseldorf,1988
- [75] Buddenberg, H. : Beitrag zum Biegen von Rohrquerschnitten mit überlagerter Axialspannung, Dissertation, Fakultät für Bergbau, Hüttenwesen und Maschinenbau, Technische Universität Clausthal, 09.09.1993
- [76] Finckenstein, E.v., Kleiner, M. : Hochkantbiegen dünner Blechstreifen, Verfahrensvarianten, Industrieanzeiger, Nr. 94, Dortmund S.14-15, 1984
- [77] Finckenstein, E.v., Adelhof, A., Kleiner, M., Liewald, M. :Biegen von Flachmaterial und offenen Profilen in Kombination mit einem Walzvorgang, Fortschrittberichte VDI, Reihe 2, Fertigungstechnik, Nr. 205, VDI Verlag, Düsseldorf, 1990

- [78] Firma Klingelberg, Klingelberg Fließformbiegen, Der Beginn einer Standard-Technologie für Profilbiegen, Maschinenbroschüre für P2D 200 Maschine, Klingelberg GmbH, Hückeswagen, 21.03.2011
- [79] Goto, H., Ichiryu, K., Saito, H., Ishikura, Y., Tanaka, Y. : Application with an new 6-DOF Bending Machine in Tube Forming Process, Technical Research Institute, Japan Society for the Promotion of Machine Industry, JFPS, Toyama, 2008
- [80] Neugebauer, R., Drossel, W.-G., Lorenz, U., Luetz, N. : Hexabend – A new concept for 3D-free-form bending of tubes and profiles to perform hydroforming parts and endform space-frame-components, Advanced Technology of plasticity, Vol.2, S.1465-1470, 2002
- [81] Neugebauer, R. (Hrsg) : Analyse und experimentelle Eigenschaftsermittlung von Maschinen, Baugruppen und Prozesses, Fraunhofer Institut Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU, www.iwu.chemnitz.de, Chemnitz, S. 4, 20.03.2011
- [82] Flehmig, T., Kibben, M., Kühni, U., Ziswiler, J. : Vorrichtung zum Freiformbiegen von Längsprofilen, insbesondere Rohre, sowie kombinierte Vorrichtung zum Freiformbiegen und Ziehbiegen von Längsprofilen, insbesondere Rohren, Internationale Patentschrift WO 2006/100012, Patentinhaber ThyssenKruppSteel AG und Mewag Maschinenbaufabrik AG, Anmeldedatum: 20.03.2006
- [83] Flehmig, T., Kibben, M. : Device for free three-dimensional profile forming, WO 002 004 035 241 A3, ThyssenKrupp Stahl AG, Duisburg, 29.04.2004
- [84] Neu, J., Tachikawa, Y. : Vorrichtung zum Biegen von stabförmigen Teilen, DE 000 010 249 315 A1, Kawasaki, Kanagawa, Japan, 13.05.2004
- [85] Murata, M., Katao, T. : Highly Improved Function and Productivity for Tube Bending by CNC Bender, TubeNet, www.tubenet.org., Department of Mechanical and Control Engineering, The University of Electro-Communications, Tokyo, Nissin Precision Machines Co., Ltd. 29-21, Tamagawa-2, Ohta-ku, Tokyo 146-0095, Japan, 15.03.2011
- [86] Rosenberg, G.: Verfahren zum Biegen von Werkstücken, EP 000 001 651 367 B1, Rosenberger Aktiengesellschaft, Gewerbepark B87, Im Dürstborne 15, D-99510 Apolda, 13.07.2004
- [87] Kuwayama, S., Tomizawa, A., Inoue, S. : Bending Device, WO 002 010 134 495 A1, Sumitomo Metal Industries LTD., Osaka-shi, Osaka, Sumitomo Pipe & Tube Co. Ltd., Kashima-shi, Ibaraki, Japan, 25.11.2010
- [88] Firma MIIC & Co. Europe GmbH, Gollierstr. 70, DE-80339 München, Bending Center, www.miic-international.com, 17.03.2011

- [89] Eaton Leonard - USA Facility, 1391 Specialty Drive, Vista, CA 92081, Roboflex 19 Automatic Bending Cell, <http://www.eatonleonard.com/pages2007/RoboFlex.html>, 17.03.2011
- [90] Firma Unison Ltd, Olympian Trading Estate, Cayton Low Road, Eastfield, Scarborough, North Yorkshire, United Kingdom, Uni-vercell, <http://www.unisonltd.com/robot%20bending%20machines.html>, 17.03.2011
- [91] Tann, M. : Projekt bender, ETH Zürich, Professur für CAD, Prof. Dr. L. Hovestadt, [www.caad.arch.ethz.ch](http://www.caad.arch.ethz.ch), Schweiz, Dezember 2006
- [92] Thalmeier, M.: Freie räumliche Umformung schlanker Werkstücke, Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 2, Fertigungstechnik, Nr. 594, VDI-Verlag, Düsseldorf, <http://www.thalmeier.de/freibieg.html>, 2002
- [93] Kitsukawa, M., Tamura, T. : Method for bending long material and device therefore, JP 000 005 212 450 A, Hashimoto Forming IND Co, Ltd, 24.08.2003
- [94] Bauer, W., : Freies Biegen von Aluminium-Profilen, Dissertation, Universität-Gesamthochschule Paderborn, Paderborn, 2001
- [95] Tomizawa, A., Kikuchi, F., Kuwayama, S. : Method of bending processing for material, bending processing apparatus, bending processing equipment line and bending processed produced obtained thereby, WO 002 006 093 006 A1, Sumitomo Metal Industries LTD., Osaka-shi, Osaka, Sumitomo Pipe & Tube Co. Ltd., Kashima-shi, Ibaraki, Japan, 08.09.2006
- [96] Tomizawa, A., Kubota, H., Kuwayama, S., Inoue, S : Bent member and device and method for manufacturing same, WO 002 011 024 741 A1, Sumitomo Metal Industries LTD., Osaka-shi, Osaka, Sumitomo Pipe & Tube Co. Ltd., Kashima-shi, Ibaraki, Japan, 03.03.2011
- [97] Tomizawa, A., Shimada, N., Kikuchi, F., Kuwayama, S. : Manufacturing Method, Manufacturing Apparatus and continuous Manufacturing apparatus for bent products, WO 002 008 123 505 A1, Sumitomo Metal Industries LTD., Osaka-shi, Osaka, Sumitomo Pipe & Tube Co. Ltd., Kashima-shi, Ibaraki, Sumikin Plant Ltd., Wakayama-shi, Wakayama, Japan, 16.10.2008
- [98] Tomizawa, A., Shimada, N., Inoue, S., Kuwayama, S. : Method and device for manufacturing bent product, WO 002 010 050 460 A1, Sumitomo Metal Industries LTD., Osaka-shi, Osaka, Sumitomo Pipe & Tube Co. Ltd., Kashima-shi, Ibaraki, Japan, 06.05.2010
- [99] Halmos, G. : Roll Forming Handbook, CRC Press Taylor & Francis Group, Boca Raton, 2006
- [100] Egidi, A., Eipper, K., Enge, D., Füller, K.-H., Krüger-Eppstein, A., Rosteck, G. Miller, G.: Verfahren zum Herstellen eines Strukturbauteils für eine Krafftfahrzeug und

- Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens, DE 102 005 000 893 A1, DaimlerChrysler AG, Stuttgart, 12.01.2006
- [101] Göhr, K. : Vorrichtung zum Rollformen und mehrachsigen Biegen von Metallprofilen, DE 000 0190 7440 5210 A1, Schade GmbH & Co.KG, Plettenberg, 15.04.1999
- [102] Späth, W. : Verfahren und Vorrichtung zum Herstellen von Biegebauteilen, DE 000 010 325 036 A1, Palima W. Ludwig & Co., Sarnen, Schweiz, 23.12.2004
- [103] Kirschning, H. J. : Herstellung gekrümmter Blechprofile, DE 000 002 336 295 A1, Klöckner-Werke AG, Duisburg, 06.02.1975
- [104] Weiss, M., Münker, K.-H., Baumhoff, D., Selter, O., Hauk, S., Gerhard, A., Schenk, K.: Spiral-Wound Diaphragm bellows, and method of making such a diaphragm bellows, US 020 080 264 509 A1, Westfalia Metallschlauchtechnik GmbH & Co. KG, Hilchenbach, Deutschland, 30.10.2008
- [105] Internetpräsenz der Firma Interfalz GmbH & Co. KG, Oranienburg, Referenzliste, Ferrari Word, Abu Dhabi, United Arab Emirates, [http://www.interfalz.de/d/downloads/Interfalz%20newsletter%202\\_Ferrari%20World.pdf](http://www.interfalz.de/d/downloads/Interfalz%20newsletter%202_Ferrari%20World.pdf), 23.02.2011
- [106] Firma Kalzip GmbH, August-Horch-Str. 20-22, 56070 Koblenz Deutschland, <http://www.kalzip.com>, 12.01.2011
- [107] Firma Ilkwang Metal Forming Co., LDT, 168 Block, 13 Lot, 734 Gojan-dong, Namdong-gu, Incheon, 405-822, Korea, <http://www.steelformer.com/>
- [108] Koschyk, N. : Roll forming apparatus, EP 000 002 279 806 A1, Firma Kalzip GmbH, Koblenz, 27.07.2009
- [109] Behrens, B.A., Rosenberger, J., Ulbricht, V., Süße, D. : Gleitziehbiegen von Profilen mit definierter variabler Längskrümmung, EFB-Forschungsbericht Nummer 270, Europäische Forschungsgesellschaft für Blechverarbeitung e.V., Hannover, 2007
- [110] Dröder, K., Schreiber, W. : Vorrichtung zum Umformen eines bandförmigen Werkstücks, DE 102 005 031 437 A1, 11.01.2007
- [111] Adelman, T., Egidi, A., Füller, K.-H., Rosteck, G. :Bauteil mit in seinem Längsverlauf sich änderndem Profilquerschnitt, DE 000 010 350 776 A1, DaimlerChrysler AG, Stuttgart, 09.06.2005
- [112] Egidi, A., Füller, K.-H. : A-Säule eines Kraftfahrzeugs mit über der Länge veränderlichen Querschnitten sowie Verfahren zu ihrer Herstellung, DE 102 004 036 240 B4, DaimlerChrysler AG, Stuttgart, 28.09.2006
- [113] Sedlmaier, A., Abee, A., Poks, B. : Verfahren zur Herstellung von profilierten Blechen, DE 102 009 008 356 A1, data M Sheet Metal Solutions GmbH, Valley, 19.08.2010

- [114] Sedlmaier, A., Abee, A.: Entwicklung neuer walzprofilierter Bauteile mittels Simulation, Beitrag zum Tagungsband T31, Bauteile der Zukunft, Methoden und Prozesse, EFB-Kolloquium Blechverarbeitung, Bad Boll, S. 139-150, März 2010