

**Erstellung eines Konzeptes für einen automatisierten  
Laserschweiß- und Schleifprozess zur Komplettbearbeitung  
längsgeschweißter Rohrsegmente**

Eingereicht von

Xinzhe Qian

Betreuer

Prof. Dr.-Ing. Rolf Kademann

Dipl.-Ing. (FH) Thomas Kirchhofer

## Inhaltverzeichnis

1. Aufgabenstellung .....	3
2. Vorstellung „Komplettbearbeitung“ <sup>[1]</sup> .....	3
3. Gegenwärtige Lösungsvarianten der Rohrsegmentherstellung .....	5
3.1. Sortiment der Rohre .....	5
3.2. Herstellungsverfahren der geschweißten Rohre <sup>[2]</sup> .....	5
3.2.1. Einleitung <sup>[2]</sup> .....	5
3.2.2. Rohrformungsverfahren <sup>[2]</sup> .....	7
I. Formwalzverfahren .....	7
II. Rohrformungsverfahren beim Schmelzschweißen .....	12
III. U-O-Verfahren .....	12
3.2.3. Fertigungssystem-auslegung in der Rohrsegmentherstellung <sup>[2]</sup> .....	15
4. Die vorhandenen Einrichtungen in Fertigungsprozessen .....	16
4.1. Schweißprozess <sup>[3]</sup> .....	16
4.1.1. Laserstrahlschweißanlage <sup>[3]</sup> .....	17
4.1.2. Konzept des Laserstrahlschweißens <sup>[3]</sup> .....	18
4.1.3. Schweißverfahren .....	19
I. Variante 1 .....	19
II. Variante 2 .....	20
4.2. Schleifprozess <sup>[4]</sup> .....	21
4.2.1. Schleifmittel <sup>[4]</sup> .....	21
4.2.2. Schleifverfahren <sup>[5]</sup> .....	21
I. Variante 1 .....	21
II. Variante 2 .....	22
4.2.3. Innenrundscheifen <sup>[4]</sup> .....	23
4.3. Handhabe- und Transporttechniken <sup>[6]</sup> .....	25
4.3.1. Handhabungsgeräte .....	25
I. Variante 1 .....	25
II. Variante 2 .....	26
5. Auswahl von allgemeinen Lösungsvarianten .....	27
5.1. Auswahl von Bewertungskriterien .....	28
5.2. Grund für Vergleich der Bewertungskriterien .....	29
5.3. Bewertung von allgemeinen Lösungsvarianten .....	29
5.4. Grund für Auswahl der Lösungsvariante .....	30
6. Zusammenhang zwischen den maschinenbaulichen und organisatorischen Schnittstellen <sup>[7]</sup> .....	31
7. Zusammenfassung .....	32
8. Abbildungsverzeichnis .....	33
9. Tabellenverzeichnis .....	34
10. Literatur/Quelle .....	35

# 1. Aufgabenstellung

Zunehmend gewinnt die Automatisierung in mannigfaltiger Form in der Produktionstechnik an Bedeutung, so dass es bei der Auslegung der einzusetzenden Fertigungstechnik eine Vielzahl an technischen und organisatorischen Rahmenbedingungen zu beachten gilt.

Im Rahmen der Bachelorarbeit sind, gemäß der o. g. Themenstellung, das Maschinenkonzept zu konzipieren, deren Struktur darzustellen sowie dazugehörige maschinenbautechnische und organisatorische Besonderheiten aufzuzeigen und deren Einbindung in den Prozessablauf zu analysieren

## Aufgabenstellung

1. Analyse des gegenwärtigen Standes der Fertigungssystemauslegung in der Rohrsegmentherstellung
2. Dokumentation der vorhandenen Lösungen für die o.g. technischen Einrichtungen in derartigen Prozessen (Laserschweißanlagen, Schleifeinrichtungen, Handhabe- und Transporttechniken)
3. Auslegung und Bewertung von allgemeinen Lösungsvarianten für das Koppeln der drei genannten Fertigungsverfahren
4. Beschreibung einer möglichen Lösung an einem selbst gewählten Beispielteil (mit Begründung)
5. Darstellung des Zusammenhangs zwischen den maschinenbaulichen und organisatorischen Schnittstellen Materialfluss (Rohteil, Fertigteil, Restmaterialien, Werkzeuge), Transport und Handhabung sowie Ver- und Entsorgung der einzelnen Elemente für die Vorzugsvariante

## 2. Vorstellung „Komplettbearbeitung“ [1]

Obwohl der Begriff „Komplettbearbeitung“ schon seit längerer Zeit verwendet wird und die Komplettbearbeitung Gegenstand wissenschaftlicher Untersuchungen ist, ist keine allgemeingültige Definition bekannt. So wird im Bereich der Drehmaschinen beispielsweise unter der Komplettbearbeitung „die vollständige Weichbearbeitung eines rotationssymmetrischen Werkstückes auf einer CNC-Drehmaschine, wobei das Werkstück am Umfang und beiden Planseiten bearbeitet werden kann“ verstanden. Bei Schleifmaschinen umfasst die Komplettbearbeitung „die komplette Schleifbearbeitung eines Werkstückes mit Außen- und Innenrundscheifverfahren auf einer Maschine“. Die Begriffsdefinitionen beziehen sich hier offensichtlich auf die Maschinengattungen, so dass für das weitere Vorgehen zunächst der Begriff „Komplettbearbeitung“ näher erläutert werden soll.

Eine Komplettbearbeitung muss also die Anwendung aller für die Herstellung eines Werkstückes erforderlichen Fertigungsverfahren umfassen. Somit erfüllt jede konventionelle Fertigung mit verteilten Arbeitsschritten diese Anforderung. Bei der Verwendung des Begriffs „Komplettbearbeitung“ wird jedoch zusätzlich eine lokale Konzentration aller erforderlichen Fertigungsverfahren impliziert, beispielsweise in einem Maschinenarbeitsraum oder einer Fertigungszelle.

Ausgehend von den obigen Erläuterungen soll im weiteren für den Begriff „Komplettbearbeitung“ folgende Definition gelten:

Die Komplettbearbeitung rotationssymmetrischer Werkstücke umfasst deren Bearbeitung mit

allen erforderlichen gestalt- und stoffeigenschafts ändernden Fertigungsverfahren in einer Maschine, um – ausgehend vom Rohmaterial – ein Werkstück herzustellen, das direkt seiner funktionalen Bestimmung zugeführt werden kann.

Aus dieser Definition lassen sich für die Maschinen zur Komplettbearbeitung folgende prinzipiellen Zielsetzungen ableiten:

- Integration der vollständigen, für die Fertigung des Werkstückspektrums erforderlichen Prozesskette in einer Maschine
- Bearbeitung aller erforderlichen Werkstückseiten

Nächst zeigt der umfangreiche industrielle Einsatz dieser gegenwärtig realisierten Maschinenkonzepte, dass das Prinzip der Komplettbearbeitung, durch Verfahrensintegration mehrere Bearbeitungsschritte in einer Maschine zusammenzufassen, zu erheblichen Vorteilen in der industriellen Produktion führt. In Bild 2-1 ist am Beispiel zweier Bearbeitungsschritte dargelegt, welche unmittelbaren Vorteile die Komplettbearbeitung gegenüber der Einzelbearbeitung besitzt

Durch das Zusammenfassen der zwei im oberen Bildteil dargestellten Einzelbearbeitungsschritte auf einer Maschine reduziert sich unmittelbar die Anzahl der

- Werkstücktransporte
- Rüstvorgänge
- Spann- und Handhabungsvorgänge am Werkstück
- Liegevorgänge
- Informationsflüsse sowie
- Werkzeugver- und -entsorgungsvorgänge und der zugehörigen Transporte.

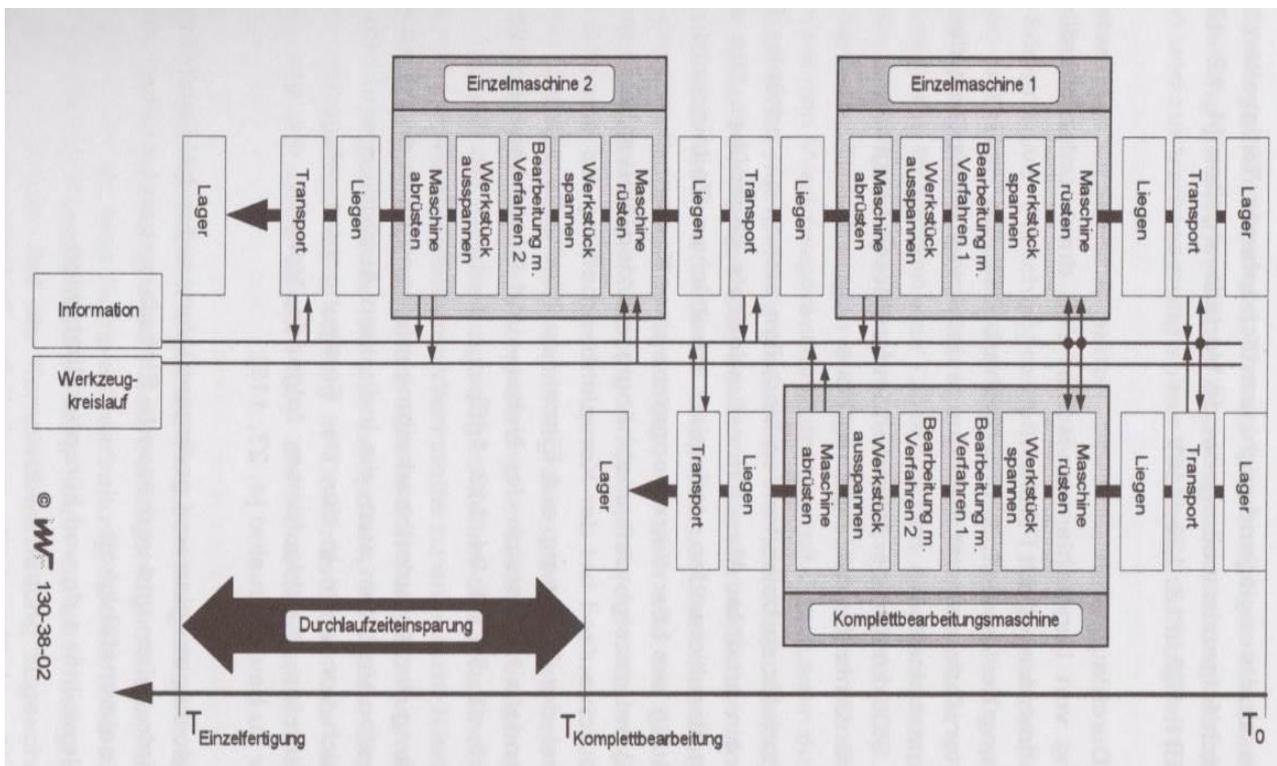


Abbildung 2-1<sup>[1]</sup>: Vergleich zwischen Bearbeitung auf Einzelmaschinen und Komplettbearbeitungsmaschine

Diese Vorgänge sind vorwiegend nicht wertschöpfend Tätigkeiten. Durch deren Einsparungen sich folgende weitergehende Vorteile ergeben:

- Verkürzte Durchlaufzeiten
- Vermeidung von Lagefehlern zwischen den durch unterschiedliche Bearbeitungsverfahren erzeugten Flächen.
- Verminderter Aufwand der Fertigungssteuerung gegenüber der Bearbeitung auf Einzelmaschinen
- Geringere Stückkosten bei kleineren und mittleren Losgrößen
- Senkung der Umlauf- und Lagerbestände

### **3. Gegenwärtige Lösungsvarianten der Rohrsegmentherstellung**

#### **3.1. Sortiment der Rohre**

Mit der Entwicklung der Herstellungstechnik entstehen zwei Sorten von Rohren hintereinander, eine ist geschweißtes Rohr und die andere ist nahtloses Rohr.

In der ersten Hälfte des vorigen Jahrhunderts fing man mit der industriellen Fertigung von geschweißten Rohren an. Dabei wurden Blechstreifen durch Walzen zum Rundquerschnitt geformt und überlappt in der Wärme geschweißt. Aber wegen der Beschränkung von früherer Schweißtechnik ist die Naht eine Schwachstelle. Gegen Ende des Jahrhunderts erfand man unterschiedliche Verfahren zur Herstellung nahtloser Rohre. Damals nahtlose Rohre hatten mehr Vorteile als geschweißte Rohre und dominierten im Markt.

In der Folgezeit gewann man die neuen Erkenntnisse auf dem Gebiet der Schweißtechnik. Damit wurden Rohrschweißverfahren weiter entwickelt und ausgebreitet. Im Vergleich zu nahtlosen Rohren sind geschweißte Rohre preiswert und schnell herzustellen. Gegenwärtig sind rund zwei Drittel der Stahlrohrproduktion in der Welt als geschweißte Rohre. Normalerweise werden geschweißte Rohre vorwiegend im Bereich kleiner Wanddicken und großer Außendurchmesser.

#### **3.2. Herstellungsverfahren der geschweißten Rohre<sup>[2]</sup>**

##### **3.2.1. Einleitung<sup>[2]</sup>**

Beim Herstellen der nahtlosen Rohre werden ganze Stahlstäbe verwendet. Zuerst muss man diese Stäbe heiß machen und die Temperatur will ungefähr 1300 °C erreichen. Durch Schrägwalz-Pilgerschrittverfahren entsteht ein Riss und dann mit einem Lochdorn will ein Loch genau in der Mitte erzeugt werden. Das ist nach seinen Erfindern auch allgemein als Mannesmann-Verfahren bekannt.

Unterschiedlich vom Erzeugen der nahtlosen Rohre stellt man durch Biegen der Bänder und Verbinden ihrer Kanten Rohre her. Vor über 150 Jahre ergab sich das älteste Schweißverfahren, das Feuerschweißverfahren. Das Verfahren war wie so, einzelne Blechstreifen über einen Dorn zu einem Schlitzrohr zu hämmern und nach Erwärmen des Schlitzrohres die Kanten durch mechanisches Pressen in einer Ziehbank zu verschweißen.

Neben dem Verfahren des Feuerschweißens, bei dem das Band im Feuer auf Schweißtemperatur

erwärmt wird, wurden nachdem mehrere Verfahren zum elektrischen Schweißen von Metallen entwickelt. Grundlage dazu war die Erwärmung eines Leiters infolge seines elektrischen Widerstands. Als Folgeentwicklung sind die Schutzgasschweißverfahren vorrangig für Edelstahlrohre entstanden.

**Tabelle 1: Schweißverfahren**

Einförmung	Schweißverfahren	Benennung	Naht	Abmessungsbereich (Außen $\varnothing$ /mm)
Kontinuierlich	Feuerpreßschweißen	Fretz-Moon	längs	13 ... 114
	Widerstandspreßschweißen	Gleichstrom Niederfrequenz Hochfrequenz	längs	10 ... 20 (30) 10 ... 114 20 ... 600
	Lichtbogenschweißen (Schmelzschweißen)	Unterpulver (UP) Schutzgas (MAG) (nur Heftnaht) Schutzgas (WIG, MIG, WP)*	spiral  spiral/längs	168 ... 2500 406 ... 2032 30 ... 500/10 ... 420
Einzeleinförmung 3-Walzen- Biegemaschine C-Pressen	Lichtbogenschweißen (Schmelzschweißen)	Unterpulver (UP) Schutzgas (WIG, MIG, WP)*	längs	$\geq 500$ 200 ... 600
Einzeleinförmung U-O-Pressen		Unterpulver (UP) Schutzgas (MAG) (nur Heftnaht)	längs	457 ... 1626

\*) Edelstahlrohre

Geschweißte Stahlrohre werden in Längsnahtausführung oder mit schraubenlinien-förmigen Nahtverlauf hergestellt. Als Rohstoff sind gewalzte Flachprodukte zur Anwendung. Je nach Herstellungsverfahren, Rohrabmessung und Verwendungszweck können warm oder kalt gewalzter Bandstahl, warmgewalztes Breitband oder Grobblech sein. Die am Rohr geforderten physikalischen Eigenschaften und Oberflächenbeschaffenheiten werden in vielen Fällen bereits am gewalzten Flachprodukt geschaffen. Im anderen Fall kann durch eine folgende Wärmebehandlung oder Kaltverfestigung am Rohr der gewünschte Endzustand erreicht werden.

Der Rohstoff kann warm oder kalt zum Rohr geformt werden. Dabei entscheidet man sich mit der kontinuierlichen Rohrformung und der Einzelrohrformung.

Bei der kontinuierlichen Rohrformung wird abgehaspeltes Bandmaterial von einem Speicher abgezogen. Wenn dieses abgehaspelte Band zum End kommt, ist ein neues Band angeschweißt. Bei der Einzelrohrfertigung erfolgen Rohrformungs- und Schweißprozess nicht in Mehrfachlängen, sondern in Einzelrohr längen.

Die normalen Schweißverfahren unterteilen sich in zwei Gruppen:

- Preßschweißverfahren
- Schmelzschweißverfahren.

Zu den Preßschweißverfahren gehören die Feuerpreßschweißung (Fretz-Moon-Verfahren), die Gleichstrom-Preßschweißung, die Niederfrequenzwiderstands-Preßschweißung, die induktive Hochfrequenzwiderstands-Preßschweißung und die konduktive Hochfrequenzwiderstands-

Preßschweißung. Schmelzschweißverfahren sind das Unterpulverschweißen und das Schutzgasschweißen. In diesem Thema wird Laserstrahlschweißen beim Schweißverfahren verwendet. Weil Laserstrahlschweißen zum Schmelzschweißverfahren gehört, werden keine Preßschweißverfahren in den folgenden Kapitel vorgestellt.

### 3.2.2. Rohrformungsverfahren<sup>[2]</sup>

Vor dem Schweißen gibt es noch ein wichtiges Verfahren, dass das Ausgangsmaterial zum Rohr geformt wird. Folgende sind einige Formungsverfahren.

#### I. Formwalzverfahren

Die Einformung zum Schlitzrohr für Leitungs- und Konstruktionsrohre im Abmessungsbereich von etwa 20-609 mm Außendurchmesser und Wanddicken von 0,5 bis ca. 16mm und auch von Luppen zu Vorrohre für ein nachgeschaltetes Streckreduzierwalzwerk erfolgt in einem Formwalzwerk (Rollforming). In folgendes Bild ist das Formwalzverfahren (Rollforming) schematisch dargestellt und eine entsprechende Anlage wird gezeigt.

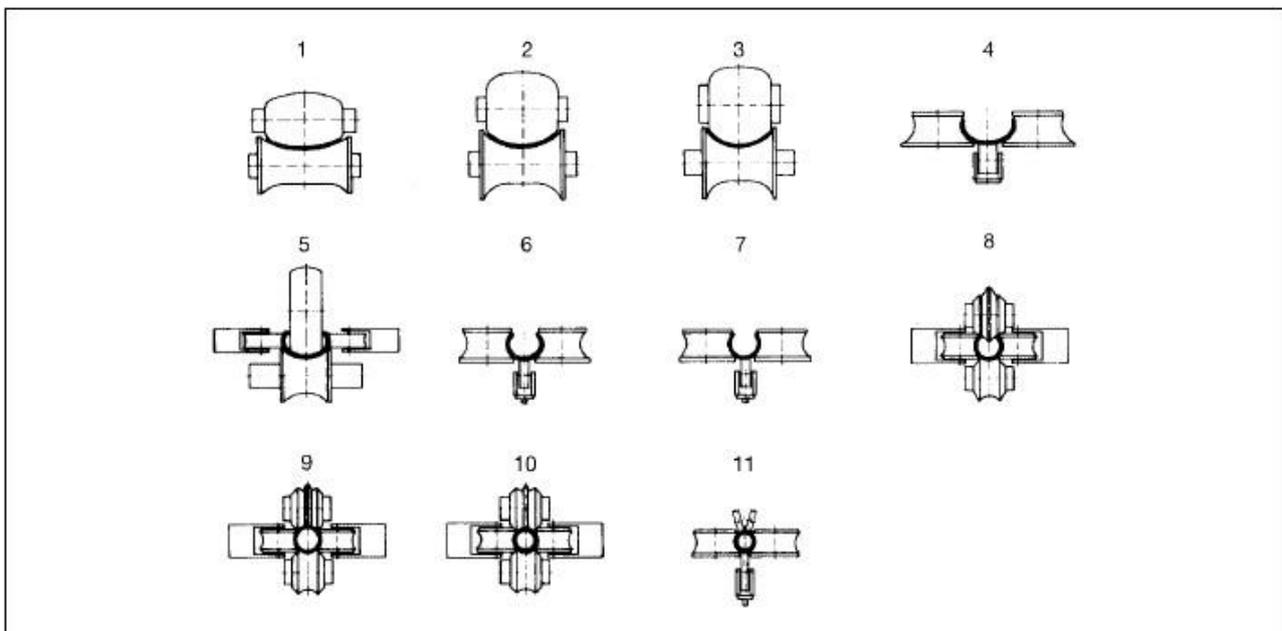


Abbildung 3-1<sup>[2]</sup>: Prinzip Formwalzverfahren



**Abbildung 3-2<sup>[2]</sup>: Formwalzwerkanlage**

Das Formwalzwerk wird für Rohrdurchmesser bis höchsten 609 mm verwendet und besteht in der Regel aus acht bis zehn, zum größten Teil angetriebenen Profilwalzengerüsten, in denen die Umformung vom Band zum Schlitzrohr schrittweise – entsprechend den Stufen 1 bis 7 in Bild 3-1 erfolgt. Die drei Messerscheibengerüste 8, 9 und 10 führen das Schlitzrohr zum Schweißisch 11. Die Profilwalzen müssen dem zu fertigenden Rohrdurchmesser genau angepasst sein. Für die Herstellung größerer Rohrdurchmesser kann auch eine Rollenkeifig-Einformung (Natural Function Forming) angewandt werden. Bild 3-3 zeigt das Einformschema einer Rollenkeifig-Einformung. Bild 3-4 zeigt eine derartige Anlage. Im Vordergrund befindet sich die angetriebene Vorbiegewalze.

Die wesentlichen Merkmale des Rollenkeifigs bestehen darin, dass eine Vielzahl nicht angetriebener, für einen großen Durchmesserbereich einstellbarer, innerer und äußerer Formrollen eine trichterähnliche Einformstrecke bilden, in der das Band durch allmähliche Profilumformung zum Schlitzrohr gebogen wird. Der Antrieb erfolgt lediglich durch das am Einlauf befindliche Vorbiegewalzengerüst und die Messerscheibengerüste am Auslauf. Die Schnittdarstellungen A-B, C-D und E-F in Bild 3-3 lassen den jeweiligen Verformungsgrad und die Anordnung der Formrollen erkennen.

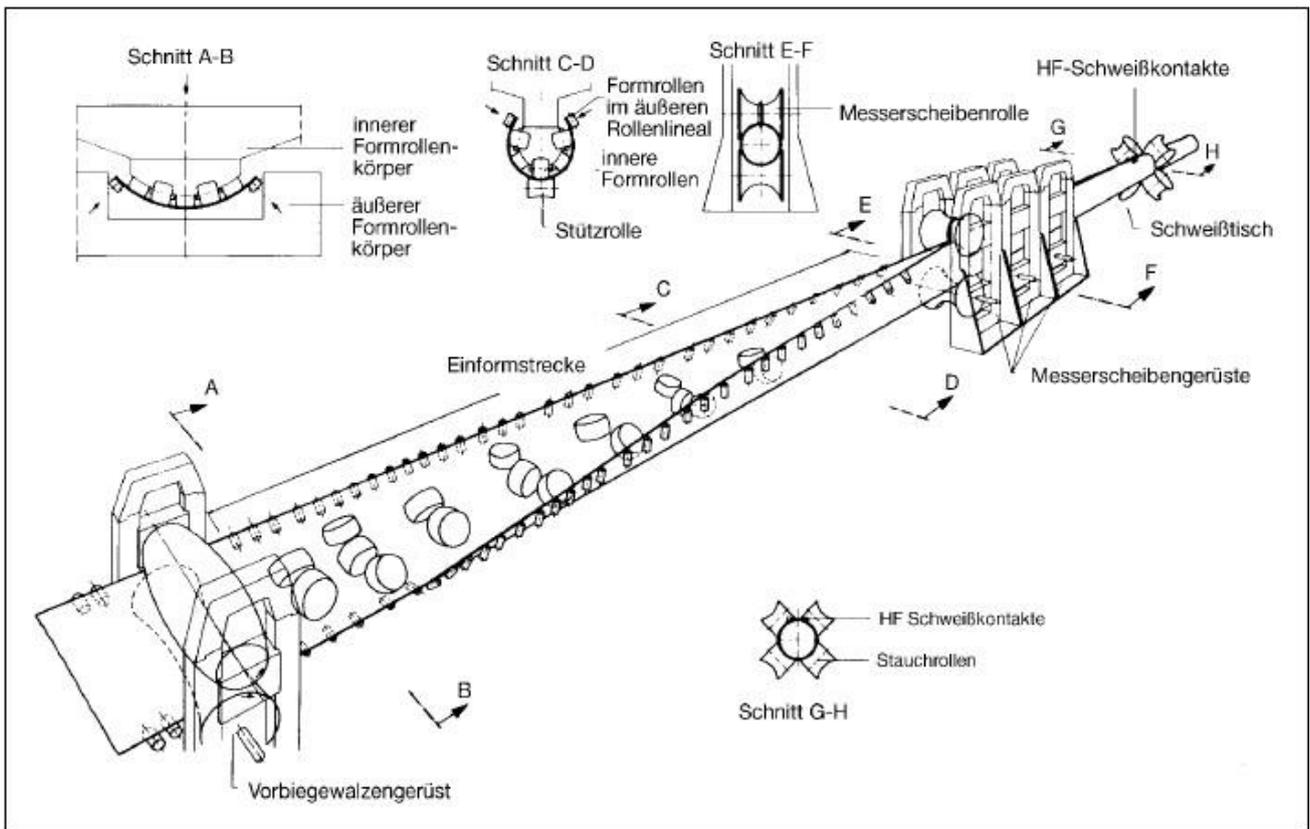
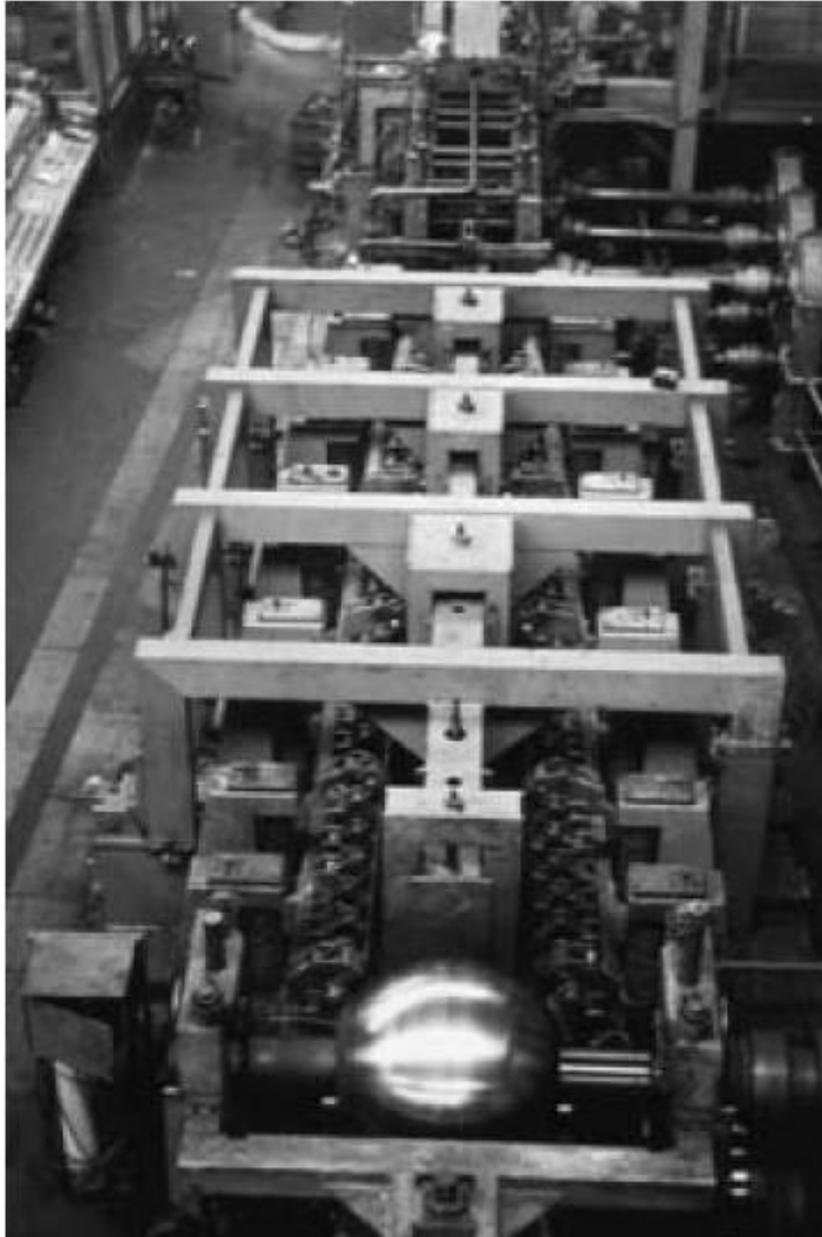


Abbildung 3-3<sup>[2]</sup>: Einformschema einer Rollenmäßig-Einförmung (Natural Function Forming)

Wegen der auf dem Rohmarkt steigenden Nachfrage nach kleinen Produktionslosen, höherfesten Güten und extremen Wanddicken-/Durchmesserverhältnissen wurde in neuerer Zeit das Linealeinförm-System entwickelt. Hierbei werden anstelle der unteren Einförmrollen Rollenlineale angewendet und damit eine wesentliche Verkürzung der Einförmstrecke erreicht. Aufgrund eines nahezu geraden Band-Kanteneinlaufs lassen sich Schlitzrohre formen mit  $s/D$ -Verhältnissen zwischen 1:8 und 1:100.



**Abbildung 3-4<sup>[2]</sup>: Rohrschweißstraße mit Rollenköfig**

Eine Steigerung der Wirtschaftlichkeit, insbesondere bei kleinen Produktionslosen wurde durch Verkürzung von Umbauzeiten von einer Rohrabmessung zur anderen durch ein neues CTA-Einformverfahren (CTA = Centralized Tool Adjustment) erreicht.

Sämtliche Werkzeugrollen der Einformstrecke sind in einem Balken gelagert und werden über ein zentrales Werkzeugverstellsystem von einem Motor verstellt. Hierbei ist für den gesamten Abmessungsbereich kein Werkzeugwechsel erforderlich. Dadurch ergeben sich wesentlich verkürzte Umbauzeiten. Da an sämtlichen Betriebsverstellungen der CTA-Einformstrecke die Verstellungen durch Weggeber erfaßt werden, kann die Anlagenumstellungen auf verschiedene Rohrabmessungen rasch und gesichert erfolgen. Bild 3-5 zeigt das Schema der CTA-Einformfunktion. Bild 3-6 zeigt eine entsprechende Anlage.

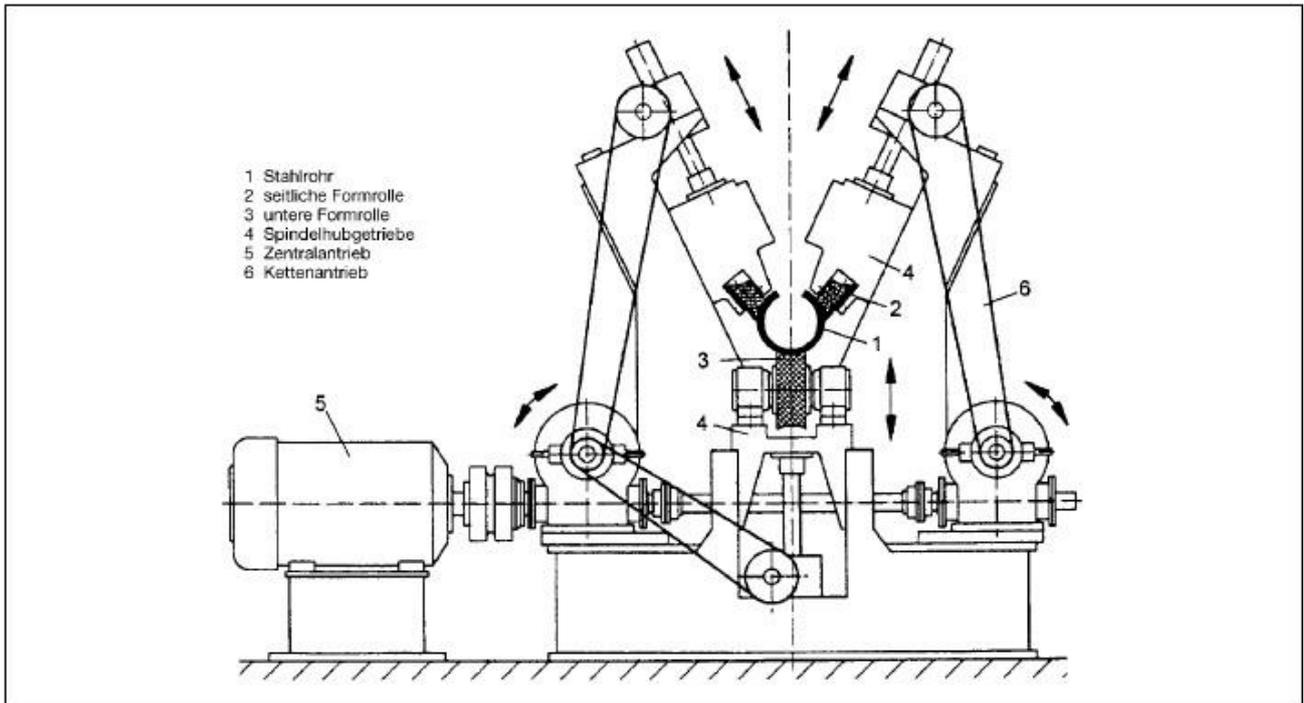


Abbildung 3-5<sup>[2]</sup>: Schematische Darstellung des CTA-Einformverfahrens

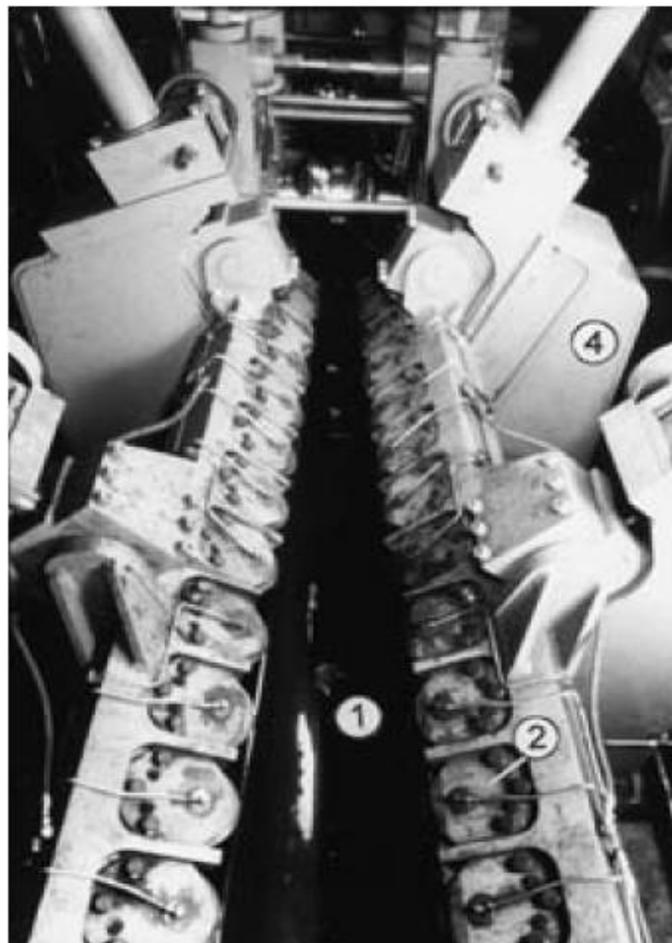


Abbildung 3-6<sup>[2]</sup>: Rohrschweißstraße mit CTA-Einformverfahren (Röhrenwerke Gebr. Fuchs GmbH)

1 Schlitzrohr, 2 seitliche Formrolle, 4 Spindelhubgetriebe

## II. Rohrformungsverfahren beim Schmelzschweißen

Schmelzgeschweißte Stahlrohre werden heute vorwiegend in Durchmessern über 457,2 mm (18“) gefertigt und finden bevorzugt bei den im Pipelinebau benötigten Großrohren ihren Einsatz. Für die Rohrformung kommen hierbei folgende Verfahren zum Einsatz (Bild 3-7)

- Das 3-Walzenbiegeverfahren für das Einformen von Grobblechen als Kalt- oder Warmumformung,
- Das C-Pressenverfahren für Grobbleche als Kaltumformung,
- Das U-O-Pressenverfahren für Grobbleche als Kaltumformung,
- Die Schraubenlinien-(Spiral-)einförmung von Breitband oder Grobblech als Kaltumformung.

In der weltweiten modernen Großserienfertigung finden die beiden letzten Verfahren die häufigste Anwendung.

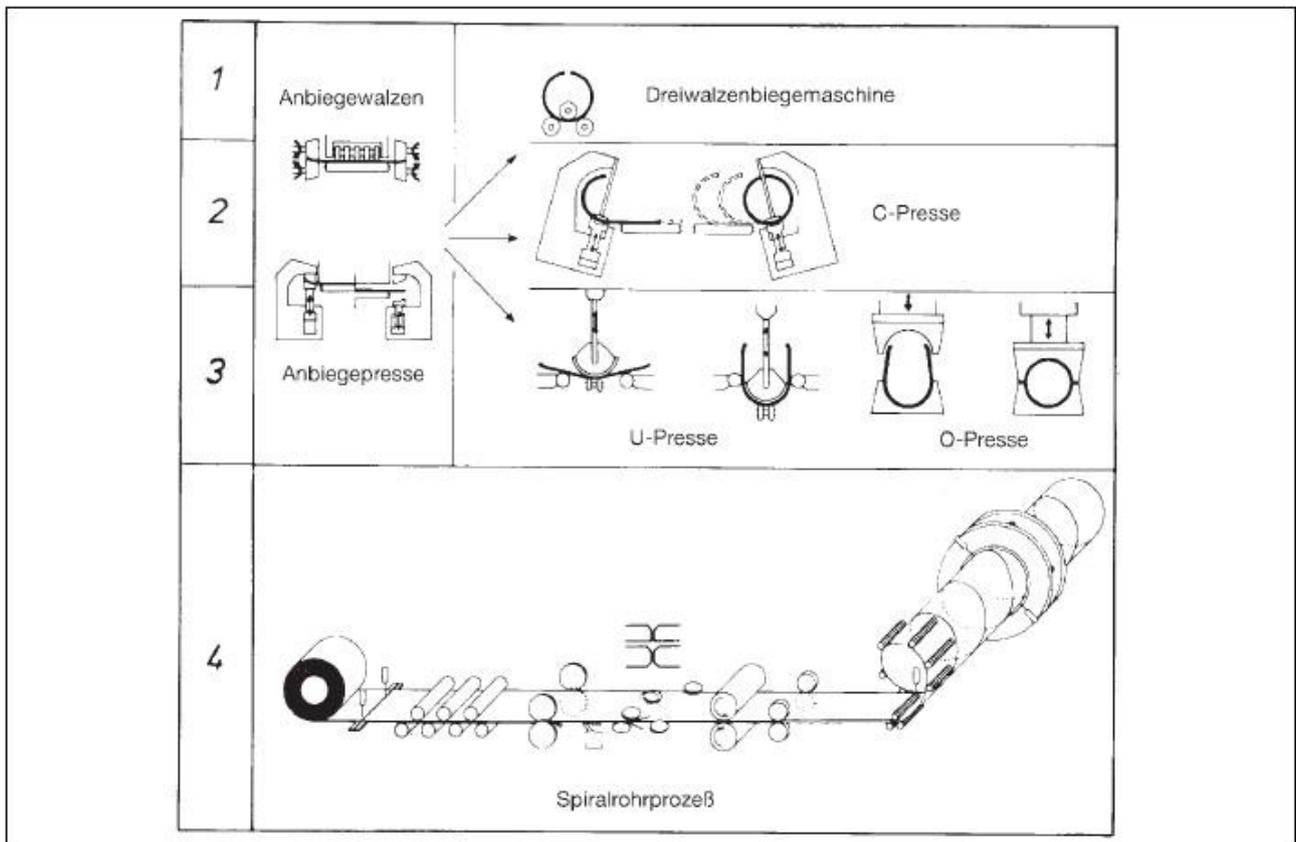


Abbildung 3-7<sup>[2]</sup>: Rohrformungsverfahren

## III. U-O-Verfahren

Die U- und O-Formung von Grobblechen für längsnahtgeschweißte Rohre wird auf entsprechenden Pressen mit offenen Gesenken (U-Pressen) und in sich schließenden Gesenken (O-Pressen) durchgeführt. Das Verfahren ist auch unter dem Kurznamen U-O-E-Verfahren (U-Formen, O-Formen, Expandieren) bekannt und wird bei der Herstellung längsgeschweißter Großrohre bis zu 18 m. Einzellänge angewandt. Die heute bekannten Anlagen sind unterschiedlich für einen

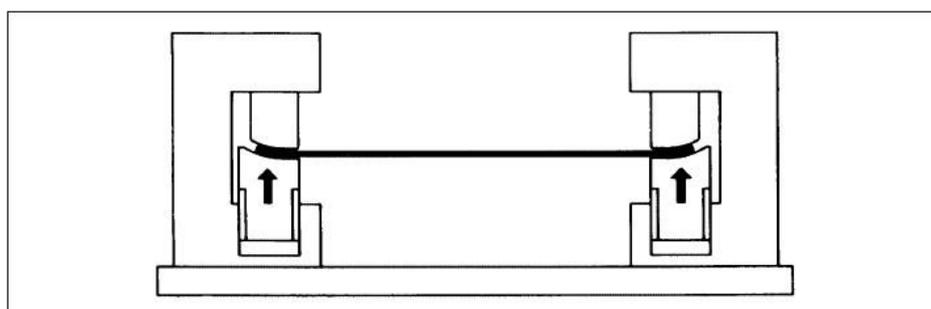
Rohrdurchmesserbereich von etwa 400 bis 1620 mm ausgelegt. Die Wanddicken betragen je nach Werkstoff und abhängig vom Durchmesser 6 bis 40 mm. Als Vormaterial wird Grobblech verwendet. Zu Beginn des Fertigungsprozesses werden an den glatten Blechen An- und Auslaufstücke angeschweißt, um Ein- und Auslauferscheinungen vom UP-Schweißprozeß in den Bereich außerhalb der Rohre zu verlegen.

Bevor das Blech durch stufenweises Formpressen zum Schlitzrohr gebogen wird, werden die beiden Längskanten in einer Kantenhobelmaschine parallel bearbeitet und die der jeweiligen Blechdicke entsprechende Schweißfase angehobelt (Bild 3-8).



**Abbildung 3-8<sup>[2]</sup>: Anhobeln beider Längskanten einschließlich der An- und Auslaufstücke**

In der ersten Umformungsstufe (Bild 3-9) wird das Blech im Bereich der Längskanten vorgebogen. Der Biegeradius entspricht in etwa dem Durchmesser des Schlitzrohres. Das Anbiegen erfolgt in Formpressen.



**Abbildung 3-9<sup>[2]</sup>: Vorbiegen der Blechlängskanten**

In der zweiten Stufe (Bild 3-10) wird das Blech in einem Arbeitsgang zu einer U-Form gebogen, indem

ein kreisförmiges Werkzeug das Blech durch zwei Auflager drückt. In der Endphase wird der Abstand der Auflager verkleinert, um durch leichtes Überbiegen der Rückfederung entgegenzuwirken.



**Abbildung 3-10<sup>[2]</sup>: Umformen in der U-Press**

In der dritten Umformungsstufe wird das U-Profil in der O-Press in einem Arbeitsgang zum runden Schlitzrohr geformt.

Die Umformungsgrade in der U- und O-Press sind so aufeinander abgestimmt, dass das Schlitzrohr unter Berücksichtigung des Rückfederungseffektes eine möglichst geschlossene Form mit bündig verlaufenden Längskanten hat. Dazu sind hohe Presskräfte aufzuwenden.

Bild 3-11 zeigt eine O-Press mit einer Presskraft von 600 MN (zur Zeit größte O-Press der Welt).

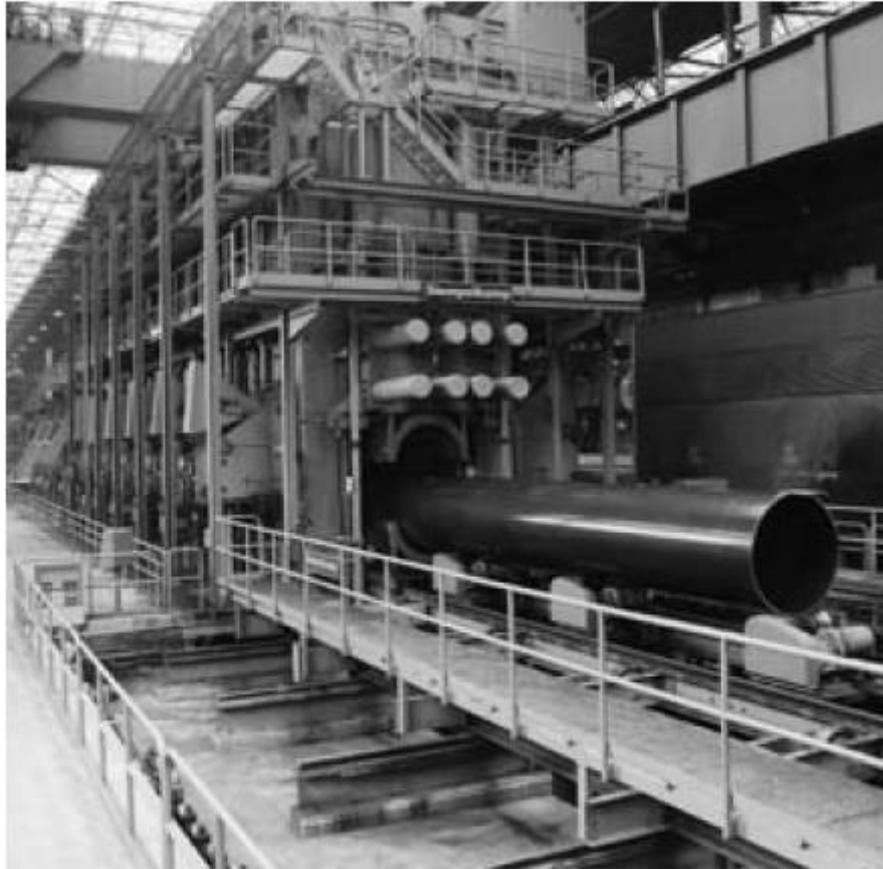


Abbildung 3-11<sup>[2]</sup>: Fertigung zum Schlitzrohr in der O-Pressen

### 3.2.3. Fertigungssystem-auslegung in der Rohrsegmentherstellung<sup>[2]</sup>

Im Punkt 3.2. werden unterschiedliche Verfahren zur Rohrherstellung genannt. Normalerweise gibt es folgende Schritte bei der Herstellung von den längsgeschweißten Rohren. Zunächst wird das Bandmaterial von einem Speicher abgezogen. Aufgrund der Plastik vom Bandmaterial ist das Blech unmöglich für die folgenden Bearbeitungen. Deshalb wird das Blech durch Blechrichtmaschinen abgeflacht. Nachdem ist die Bearbeitung an den Blechkanten, d.h. Bandkantenbesäumung. Dieser Schritt ist die Vorbereitung für nachfolgendes Schweißverfahren. Dann wird das Blech durch Rohrformungsverfahren zum Rohr geformt. Danach beginnt das Schweißverfahren mit Laserstrahl unter Schutzgas. Nachdem wird die Rohre überprüft, z.B. Wasserdruckprüfung, Ultraschallprüfung und Röntgenprüfung. Wenn die Überprüfung abgeschlossen ist, kommen die Rohre zum letzten Fertigungsschritt. Bei diesem Schritt werden die Schweißnähte abgeschliffen und die Rohrenden werden abgefast. Nun können die Rohre geliefert oder transportiert werden.

Je nach den oben genannten Fertigungsverfahren wird das Fertigungssystem wie Folgenden ausgelegt. Zuerst ist der Abhaspel, das zweite ist der Richtwerk, das dritte ist die Bandkantenbesäumeinrichtung und danach liegt die Formwalzanlage. Nach der Formung werden die Rohre durch Schweißanlage angeschweißt. Folgend ist die Rundnahtmaschine für Schleifen. Das letzte sind einige Überprüfungsanlagen.

#### Analyse der Fertigungssystemauslegung:

Bei diesem Fertigungssystem erfolgt das Einrichten der Werkzeuge und des Ablaufprogrammes durch

den Einrichter. Es besteht keine automatische Information an vor und nachgeschaltete Stellen und keine direkte Rückmeldung von Daten und Ergebnissen. Kontrolle und mechanische Eingriffe zur Optimierung des Ergebnisses übernimmt der Mensch. Deshalb gehört dieses Fertigungssystem zur Mechanisierung.

## 4. Die vorhandenen Einrichtungen in Fertigungsprozessen

Das oben genannte Fertigungssystem beinhaltet Schweißprozess, Schleifprozess Handhabe- und Transportprozess. Je nach der Dokumentation werden die Lösungen für die technischen Einrichtungen in solchen Prozessen in der Folgende dargestellt.

### 4.1. Schweißprozess<sup>[3]</sup>

Beim Schweißprozess wird Laserstrahlschweißen verwendet. Laserstrahlmaterialbearbeitung hat folgende Vorteile, wie:

- hohe realisierbare Bearbeitungsgeschwindigkeiten
- hohe Fertigungsqualität
- hohes Automatisierungspotenzial oder Fähigkeit
- die Fähigkeit unterschiedliche Materialien bearbeiten zu können.

Die Vorteile des Lasers liegen gegenüber konventionellen Verfahren speziell beim Schweißen in den erzielbaren Energiedichten im Fokus. Dies führt zu einem reduzierten Verzug der Werkstücke und einer geringeren thermischen Belastung und dadurch deutlich kleinere Wärmeeinflusszonen.

Unter den „stoffverbindenden“ Fertigungsverfahren hat das Schweißen die weitaus größte Bedeutung erlangt. In Anlehnung an die DIN 1910 bedeutet Schweißen eine „Vereinigung von Werkstoffen in der Schweißzone unter Verwendung von Wärme und/oder Kraft ohne oder mit Schweißzusatz. Die in der Schweißzone wirkende Arbeit wird von außen durch Energieträger zugeführt.“

Das Laserstrahlschweißen gehört zur Gruppe des Schmelz-Verbindungsschweißens. „Die erforderliche Wärme entsteht durch Umwandlung gebündelter energiereicher Strahlung beim Auftreffen auf bzw. Eindringen in das Werkstück“ (DIN 1910).

Beim Laserstrahlschweißen wird die Energie mittels elektromagnetischer Wellen, der Laserstrahlung, ohne mechanischen oder elektrischen Kontakt zwischen Energiequelle und werkstück der Schweißzone zugeführt (/Beyer/1.1/ Handbuch VDI).

Mit dem Laser (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) steht eine Energiequelle höchster physikalischer Qualität zur Verfügung. Je größer die Qualität einer Energie ist, umso aufwendiger und teurer ist ihre Erzeugung. Dies gilt auch für die Laserstrahlung. Typische Wirkungsgrade liegen bezogen auf die zugeführte elektrische Energie zur Zeit zwischen 1 und 10%.

Der Laser zeichnet sich gegenüber anderen Strahlquellen unter anderem dadurch aus, dass seine Strahlungsenergie mit geringer Strahldivergenz, das heißt mit vergleichsweise geringer Veränderung des Strahldurchmessers, an einen anderen Ort übertragen werden kann. Infolge dieser geringen Divergenz ist es möglich, den Schweißvorgang in einer Entfernung  $z$  von mehreren Metern (beispielsweise  $z > 40$  m) von der Laserstrahlquelle durchzuführen. Eine Folge dieser geringen

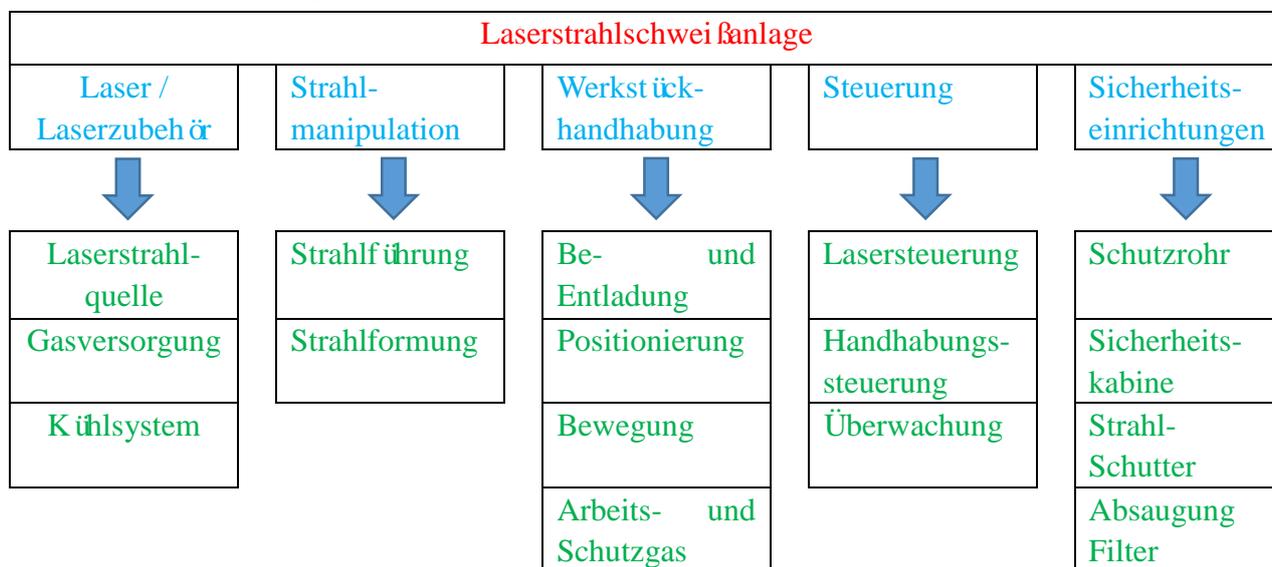
Divergenz ist weiterhin die Möglichkeit, den Laserstrahl auf kleinste Strahldurchmesser fokussieren zu können, so dass extrem hohe Strahlungsintensitäten (Energieflußdichten) auf der Werkstückoberfläche erreicht werden. Die hohen Intensitäten ermöglichen es, selbst Metalle lokal auf Verdampfungstemperatur aufzuheizen und zu verdampfen. Diese Eigenschaft erlaube die Ausbildung des vom Elektronenstrahlschweißen bekannten Tiefschweißeffekts.

### 4.1.1. Laserstrahlschweißanlage<sup>[3]</sup>

Eine Laserschweißanlage setzt sich im wesentlichen aus 5 Hauptkomponenten zusammen (/Beyer/1.2/):

1. Dem Laser und dem Laserzubehör, bestehend aus der Laserstrahlquelle, der Gasversorgung und einem Kühlsystem.
2. Der Strahlmanipulation, bestehend aus einer Strahlführung, inklusive einer Komponentenkühlung, einer Strahlschaltung über Strahlweichen und einer Strahlformung.
3. Der Werkstückhandhabung, bestehend aus einer Be- und Entladungseinrichtung, einer Werkstückbeziehungswise Strahlpositionierung, einer Bewegungseinrichtung sowie aus einer Arbeits- und Schutzgaszuführung.
4. Einer Steuereinrichtung, bestehend aus einer Lasersteuerung, einer Handhabungssteuerung sowie einer Prozess- und Anlagenüberwachung.
5. Einer Sicherheitseinrichtung, bestehend aus einem Schutzrohr, in welchem der Laserstrahl geführt wird, einer Sicherheitskabine, einem Strahlabsorber und einer Prozessgasabsaugung mit entsprechenden Filtern.

Tabelle 2<sup>[3]</sup>: Aufbau einer typischen Laserstrahlschweißanlage



Laserstrahlschweißanlage für den Schweißvorgang erforderliche Laserstrahlleistung wird in der Regel kontinuierlich erzeugt und über einen Spiegel auf einen Strahlabsorber geführt. Dieser Spiegel dient als Strahlschalter und kann für die Dauer des Schweißvorgangs aus dem Strahlengang bewegt werden. Der Laserstrahl wird dann über ein Strahlführungssystem zu der Bearbeitungsstation geführt und mit einer Spiegel- oder Linsenoptik auf das Werkstück fokussiert. Die Schweißnaht entsteht im

allgemeinen durch eine kombinierte Werkstück- und Strahl-(Spiegel-)Bewegung.

Die vergleichsweise teure Laserstrahlquelle kann besonders wirtschaftlich genutzt werden, wenn mehrere Bearbeitungsstationen miteinander verknüpft sind. In diesem Fall ist es möglich, die Strahlung eines Lasers durch Strahlweichen wahlweise auf verschiedene Bearbeitungsstationen zu führen. Die Führung des Laserstrahles kann über Spiegelsysteme oder Lichtleitfasern (Nd:YAG-Laser) erfolgen. Der Laserstrahl kann somit während der Zu- und Abführzeit sowie während der Einrichtzeit auf einer beliebigen anderen Anlage zum Bearbeiten verwendet werden. Anlagen, die Mehr als 20 m voneinander und von dem Laser entfernt stehen, wurden bereits verwirklicht. Sie stellen jedoch erhöhte Anforderungen an die Justierung der Strahlführung und die Schwingungsämpfung der einzelnen Elemente. Hierdurch lassen sich Werkstücke auch an schwer zugänglichen Stellen bearbeiten.

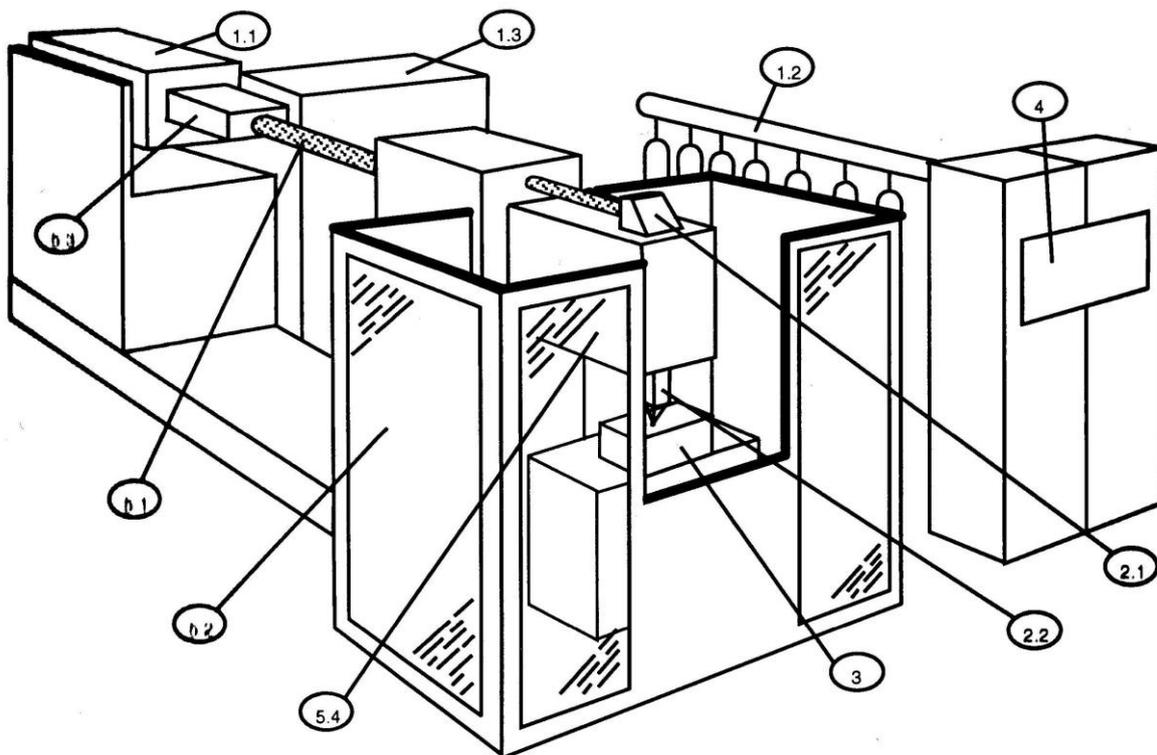


Abbildung 4-1<sup>[3]</sup>: Prinzipieller Aufbau einer CO<sub>2</sub>-Laserstrahlschweißanlage

1.1	Laserstrahlquelle	4.	Steuerung
1.2	Gasversorgung	5.1	Schutzrohr
1.3	Kühlung	5.2	Sicherheitskabine
2.1	Strahlführung	5.3	Strahl-Schutter
2.2	Strahlformung/Fokussierung	5.4	Absaugung
3.	Werkstückhandhabung		

#### 4.1.2. Konzept des Laserstrahlschweißens<sup>[3]</sup>

Laserstrahlschweißen ist ein Schmelzschweißverfahren. Beim Auftreffen der Laserstrahlung auf die Werkstückoberfläche wird sie in einer sehr dünnen Schicht entsprechend der optischen Eindringtiefe ( $< 1 \mu\text{m}$ ) absorbiert und in Wärme umgewandelt. Durch Wärmeleitung wird dann die Energie in das

Werkstück transportiert. Je doch wird nicht die gesamte Laserstrahlung durch den Werkstoff absorbiert, da besonders metallische Oberflächen einen Großteil der Strahlung reflektieren und theoretisch auch Verluste durch Transmission vorliegen.

Das Laserstrahlschweißen kann in das „Wärmeleitungsschweißen“ und das „Tiefschweißen“ unterteilt werden.

Der Begriff „Wärmeleitungsschweißen“ umfasst folgenden Zusammenhang:

Die Schmelzgeometrie, bzw. die Schweißnaht entsteht durch Energietransport von der Werkstückoberfläche ins Werkstück. Dieser erfolgt über Wärmeleitung und wird durch Konvektion unterstützt. Die maximale Schmelzzone tiefe (Nahttiefe) liegt typischerweise in der Größenordnung der halben Schmelzzonebreite (Nahtbreite). Aufgrund einer Deformation der Schmelzoberfläche kann die Schmelzzone tiefe auch geringfügig größer werden als die Breite.

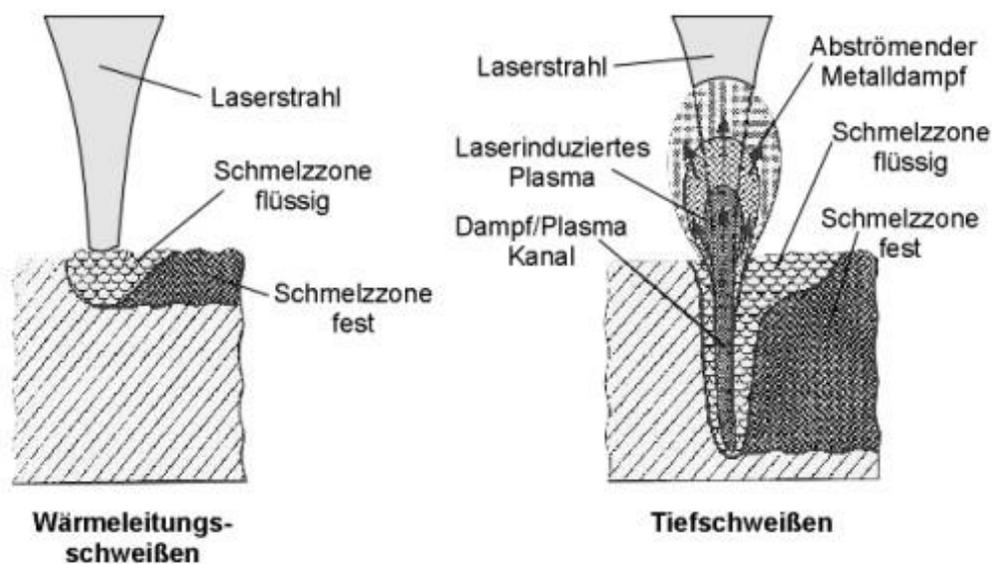


Abbildung 4-2<sup>[3]</sup>: Prinzip des Laserstrahlschweißens

Der Begriff „Tiefschweißen“ umfasst folgenden Zusammenhang:

Der Energietransport von der Werkstückoberfläche in die Tiefe des Werkstücks erfolgt überwiegend optisch, d.h. die Laserstrahlung dringt durch eine Kapillare ins Werkstück ein. Sie wird von den Kapillarwänden absorbiert und in Wärme umgewandelt. Die Schmelzgeometrie entsteht durch einen Energietransport, der von der Kapillarwand und nicht von der Werkstückoberfläche ausgeht. Hierdurch können schlanke und tiefe Schweißnähte entstehen, bei denen das Tiefe- zu Breitenverhältnis größer als 10 ist.

### 4.1.3. Schweißverfahren

#### I. Variante 1

Bei der Phase des Rohrformens wird Rollenkeil-Einformung genutzt. Aufgrund eines nahezu geraden Band-Kanteneinlaufs lassen sich Schlitzrohre formen mit  $s/D$ -Verhältnissen zwischen 1:8 und 1:100.

In dieser Bachelorarbeit wird der Rohr, der einen Außendurchmesser von 200mm und eine Wanddicke von 10mm hat, als Beispiel genommen.

Das Herstellungsverfahren wird als Polarisationschweißen bezeichnet und wie folgendes Bild gezeigt. Die Polarisationsrichtung der Laserstrahlung ist so gewählt, dass der Strahl in den Rohrkanten verstärkt reflektiert wird. Hierdurch wird er bis zur Fugestelle fokussiert und der vom Werkstück absorbierte Strahlungsanteil ausreicht, diese lokal anzuschmelzen. Durch die Formwäzlen werden die geschmolzenen Kanten zusammengesetzt. Hierdurch entsteht nach dem Erstarren der Schmelze eine Verbindung der beiden Kanten.

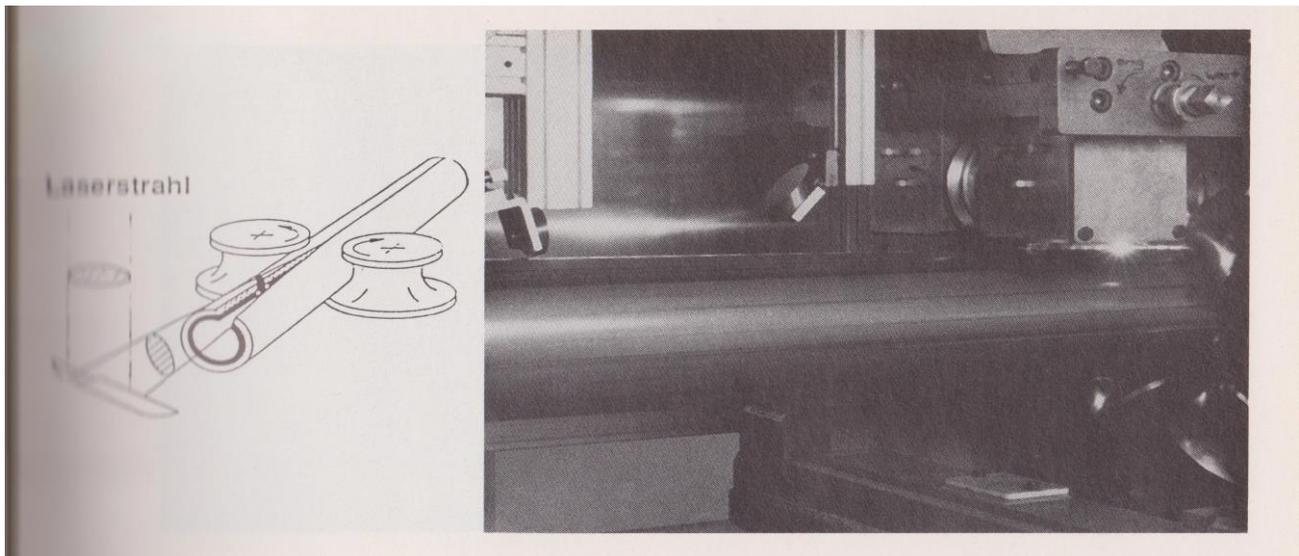


Abbildung 4-3<sup>[3]</sup>: Polarisationschweißen von Rohren

## II. Variante 2

Im Vergleich zur Variante 1 wird der Laserstrahl durch einen Spiegelarm direkt an den Kanten fokussiert. Nach dem Schmelzen der Fugestelle pressen die Formwäzlen die beiden Kanten zusammen.

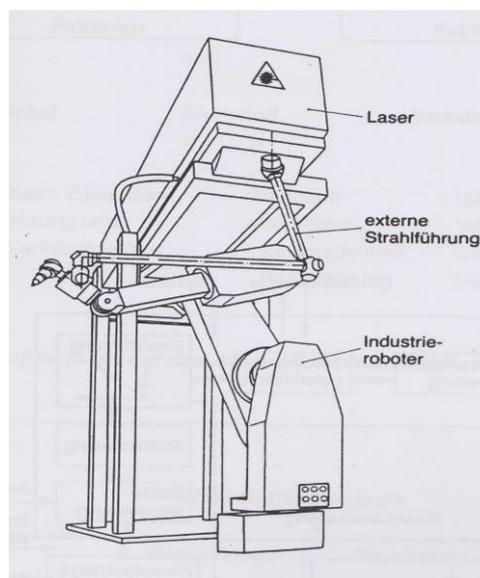


Abbildung 4-4<sup>[3]</sup>: Externe Strahlführung über einen Spiegelarm mit Knickgelenk

## 4.2. Schleifprozess<sup>[4]</sup>

Schleifen ist Spanen mit geometrisch unbestimmten Schneiden. Die rotierenden Schleifkörper bestehen aus gebundenen Schleifkörnern und eingeschlossenen Poren, die als Spankammern dienen. Beim Abstumpfen der Schneiden kommt es zum Herausbrechen des Kornes und damit zum Freiwerden neuer scharfer Schneiden kommt es zum Herausbrechen des Kornes und damit zum Freiwerden neuer scharfer Schneidkeile. Die Vorzüge des Schleifens sind:

- hohe Oberflächengüte der geschliffenen Teile
- gute Bearbeitbarkeit harter und schwer zerspanbarer Werkstoffe
- hohes Zerspanungsvolumen (bei besonderen Schleifverfahren und steifen Maschinen).

Das Hauptkriterium ist die Form der am Werkstück erzeugten Fläche. Auf Plan- oder Flachsleifmaschinen werden ebene Flächen erzeugt, auf Rundschleifmaschinen kreiszylindrische. Weitere Einteilungskriterien sind die Lage der zu bearbeitenden Fläche, nach der z.B. Außen- und Innenrundschleifmaschinen unterschieden werden, die überwiegend wirksame Fläche der Schleifscheibe, nach der in Umfangs- und Stirnschleifmaschinen differenziert wird, sowie die Art der Vorschubbewegung, die zur Unterteilung in Stirn- und Querschleifmaschinen (Einstechschleifmaschinen) führt. Eine weitere Unterteilung erfolgt nach der Art der Werkstückaufnahme in Spitzenschleifmaschinen, Futterschleifmaschinen und spitzenlose Rundschleifmaschinen, wobei sich die letztgenannten im Wesentlichen durch die erreichbare Arbeitsgenauigkeit und das maximale Zerspanungsvolumen unterscheiden. Darüber hinaus werden Schleifmaschinen nach Art des verwendeten Schleifwerkzeugs unterteilt, z. B. Bandschleifmaschinen. Weil die Nähte von geschweißter Rohre längs und die Position von der Nähte immer bestimmt sind, kann es bei diesem Fall als ebene Flächen bezeichnet werden. Für diesen Fall eignet sich die Planschleifmaschine. Beim Schleifen entstehen nur Längskraft und keinen Drehmoment. Deshalb wird Rollenbahn direkt als Lage benutzt.

### 4.2.1. Schleifmittel<sup>[4]</sup>

Die meisten Schleifscheiben enthalten Schleifkörner aus Korund (weiß, rosa) oder Siliciumcarbid (grün, schwarz). Die Kornzähigkeit nimmt mit steigender Härte des Schleifkornes ab. Eine ausreichende Zähigkeit verhindert bei großer Kornbelastung (Vorschleifen) den vorzeitigen Kornbruch. Ein weiteres geeignetes Material für Schleifkörner ist Bornitrid, speziell Kubisch kristallines Bornitrid mit Diamantstruktur. Schleifkörner sollen eine große Härte sowie eine ausreichende Kornzähigkeit und Wärmebeständigkeit besitzen. Für ungehärteten Stahl eignet sich Normalkorund ( $Al_2O_3$ ).

### 4.2.2. Schleifverfahren<sup>[5]</sup>

#### I. Variante 1

Je nach der Anforderung wird dafür diese Fertigung eingesetzt. Rohre werden nach vorne geliefert und

gleichzeitig abgeschliffen.

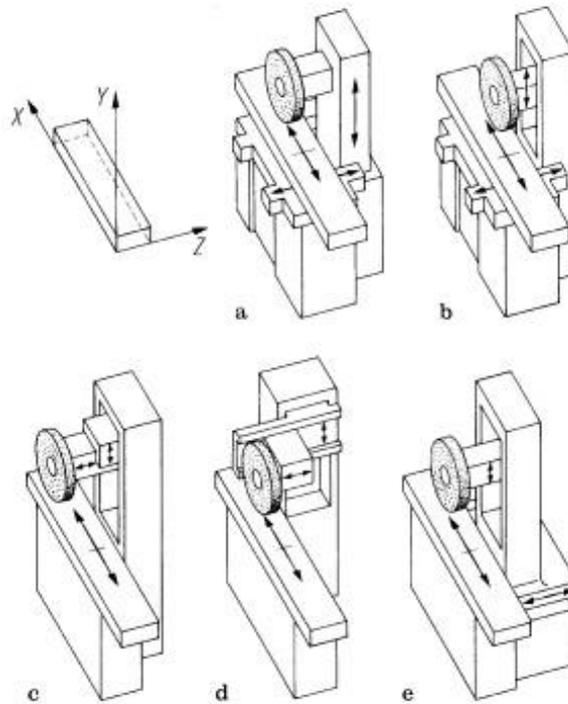


Abbildung 4-5<sup>[5]</sup>: Bauprinzipien von Planschleifmaschinen

## II. Variante 2

### Mit Bandschleifmaschinen

Bei Bandschleifmaschinen läuft das Schleifband über zwei oder mehr Rollen, von denen eine angetrieben wird. Auf mindestens eine Rolle wird – meist hydraulisch – eine Kraft ausgeübt, um das Schleifband zu spannen. Die auf die Bandbreite bezogenen Spannkräfte liegen im Bereich von 30 bis 80 N/cm. Die Zentrierung des Schleifbandes erfolgt durch eine ballige Gestaltung der Rollen und durch eine Neigung der Rollen gegeneinander. Je nach Art des Bandschleifverfahrens erfolgt der Schleifvorgang beim Umfangsbandschleifen direkt an der angetriebenen Kontaktrolle bzw. beim Seitenbandschleifen am freien Schleifband oder einem Stützelement unter dem Schleifband. Der Schleifprozess wird in den meisten Fällen kraftgesteuert geführt. Dabei wird die Stromaufnahme des Schleifmotors teilweise als Stellgröße verwendet.

Das größte Einsatzgebiet der Bandschleifmaschinen ist das Planschleifen. Es kann als Umfangs- oder auch als Seitenschleifen durchgeführt werden. Dabei ist die große Breite der Schleifbänder ein entscheidender Vorteil gegenüber den Maschinen, die mit rotierendem Werkzeug arbeiten.

Bei dem Schleifverfahren entsteht tangentialer Kraft. Damit wird der Rohr sich in die Umfangsrichtung rotieren. Danach stört es das Schweißverfahren. Um diesem Fall zu verhüten, werden zwei Bandschleifmaschinen nebeneinander gesetzt und laufen die in unterschiedliche Richtung, wie Bild 4-7 gezeigt. Dadurch werden die Drehmomente ausgeglichen.

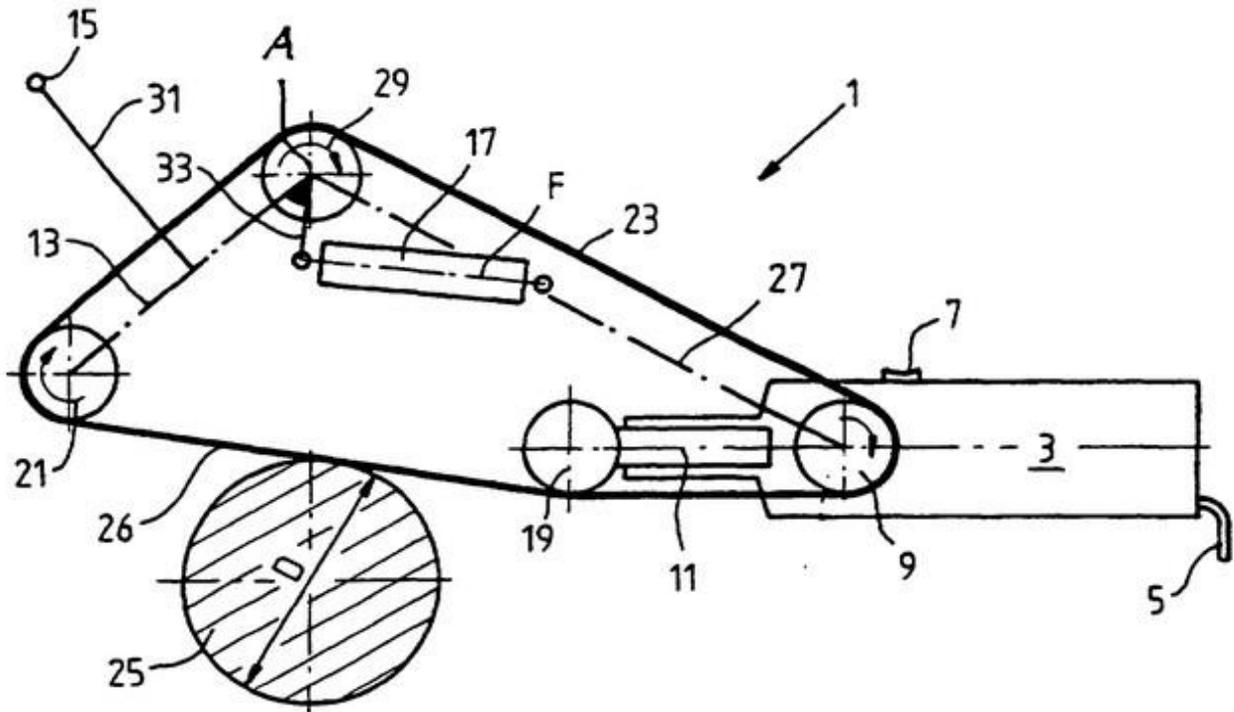


Abbildung 4-6<sup>[5]</sup>: Bandschleifmaschinen

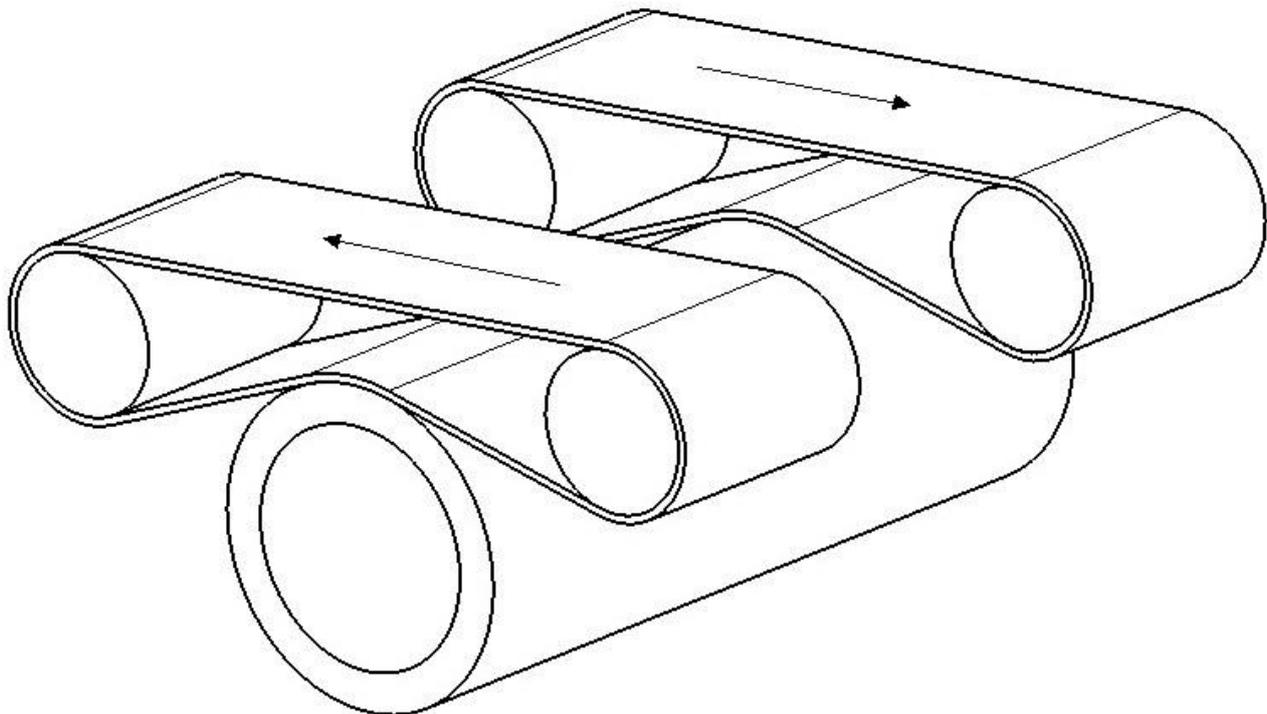


Abbildung 4-7: Schema der Lage von Bandschleifmaschinen

### 4.2.3. Innenrundscheifen<sup>[4]</sup>

Um den Innenschweißnaht zu schleifen, wird Langhubhonen verwendet. Honen ist Spanen mit

gebundenem Korn unter ständiger Flächenberührung des Werkzeuges (Honstein). Kennzeichnend für den Arbeitsablauf ist die periodisch wechselnde Hubbewegung des Honsteines verbunden mit einer Drehbewegung, so dass sich die erzeugten Bearbeitungsriefen unter vorbestimmtem Winkel kreuzen. Zu Beginn des Honvorganges werden die Rauheitsspitzen und Wellenberge rasch abgetragen. Mit wachsendem Flächentraganteil nimmt bei gleichbleibendem Anpreßdruck die Eindringtiefe der Körner ab. Mit zunehmender Honzeit nehmen die Maß- und Rauhtiefenänderungen je Minute ab. Korngröße, Anpreßdruck und Schnittgeschwindigkeit beeinflussen die erreichbare Oberflächengüte ( $R_z = 0,1 \dots 10 \mu m$ ) beim Honen.



**Abbildung 4-8: Betriebszustand von Honen**



**Abbildung 4-9: Stillstand von Honen**

### 4.3. Handhabe- und Transporttechniken<sup>[6]</sup>

Zu den Handhabegeräten, die vorrangig in der Metallverarbeitenden Industrie und speziell im Maschinen- und Anlagenbau eingesetzt werden, zählen die Einlegegeräte sowie die Industrieroboter.

Nach VDI-Richtlinie 2860, Blatt 1 (Handhabungsfunktionen, -einrichtungen, Begriffe, Definitionen, Symbole. – VDI-Verlag Düsseldorf, 1982) werden diese Geräte in ihren Funktionen charakterisiert: Handhaben ist das Schaffen, definierte Verändern oder vorübergehende Aufrechterhalten einer räumlichen Anordnung von geometrisch bestimmten Körpern in einem Bezugskoordinatensystem.

Unter Handhabegeräten werden im engeren Sinne Geräte verstanden, die diese Körper in bestimmten Positionen bewegen und bezüglich ihrer Lage orientieren.

Sie werden unterschieden in

- **Manipulatoren** (Handgesteuerte Geräte, die prinzipiell als Kraftverstärker dienen; dabei wird lediglich die Hubarbeit durch Fremdenergie unterstützt, während alle anderen Bewegungen vom Bediener auszuführen sind),
- **Teleoperatoren** (Handgeführte Geräte, die vorwiegend in der Reaktor- und Gießereitechnik eingesetzt werden),
- **Einlegegeräte** (einfache Bewegungsautomaten, die vorgegebene Bewegungsabläufe nach einem festen Programm abfahren; sie werden durch Anschläge oder Nockenschalter gesteuert, teils auch durch Steuerkulissen),
- **Industrieroboter** (universell einsetzbare Bewegungsautomaten mit mehreren Bewegungsachsen, deren Bewegungen hinsichtlich Bewegungsfolge und –wegen bzw. –winkeln frei programmierbar – d.h. ohne mechanischen Eingriff veränderbar – und ggf. mit Sensor geführt sind; sie sind mit Greifern, Werkzeugen oder anderen Fertigungsmitteln ausrüstbar und können Handhabungs- und/oder Fertigungsaufgaben ausführen).

#### 4.3.1. Handhabungsgeräte

Bei letztem Schritt werden die Rohre vom dem Rollbahn zum Transporter oder anderem Ort befördert. Je nach der oben genannten Unterteilung und den Definitionen von jeden Geräten kann das Gerät, das wie Manipulatoren funktioniert, bei dieser Aufgabe angewendet werden. Um die Rohre zu transportieren in der Fabrik, sind Brückenkran und Manipulator dafür geeignet.

#### I. Variante 1

Normalerweise hat ein Stahlrohr, der ein Außendurchmesser von 200mm und eine Wanddicke von 20mm und eine Länge von 10m haben, das Gewicht von knapp 900kg. Für diesen Fall ist Brückenkran geeignet. Damit können die Stahlrohre zu irgendwo in der Fabrik transportiert werden. Die Bewegungsbahnen sind auf den Dachbalken und brauchen keinen Platz auf dem Grund. Um die Stabilität beim Transport zu steigern, kann der Lasthaken zu einem speziellen für Rohre geeignetem Lasthaken wechseln.



Abbildung 4-11: Brückenkran



Abbildung 4-12: Spezieller Lasthaken für Rohre

## II. Variante 2

Die andere Lösung ist Manipulator. Im Vergleich zum Brückenkran braucht der Manipulator eine Bahn auf dem Grund und kann nicht die Rohre zu irgendwo in der Fabrik liefern. Weil die Bahn nicht auf den Dachbalken ist, nimmt die Anforderung für die Struktur von der Fabrik ab. Der Lasthaken kann auch wechseln, um die Tätigkeit vom Transport zu erhöhen.



Abbildung 4-13: Manipulator

## 5. Auswahl von allgemeinen Lösungsvarianten

- Bewertung der im morphologischen Kasten festgelegten optimierten Lösung mit Hilfe der Nutzwertanalyse (od. eines anderen geeigneten Verfahrens).
- Kriterien sind i.d. Regel die Kosten sowie die Funktions- und Betriebssicherheit
- Weitere, kundenspezifische Wünsche können ergänzt werden.
- Verhinderung der Durchsetzung erster innovativer Lösungsansätze, die den Kriterien nicht standhalten.
- Finden einer optimalen Lösung unter den oben Rahmenbedingungen (endgültiges Lösungskonzept).

Tabelle 3: Lösungsvarianten für jeden Herstellungsprozess

Varianten	Variante 1	Variante 2
Bearbeitungsprozess		
01 Laserschweißprozess	Polarisationsschweißen	Schweiß mit Knickgelenk
02 Schleifprozess	Schleifscheibe	Bandschleifmaschinen
03 Handhabung und Transport	Brückenkran	Manipulator

## 5.1. Auswahl von Bewertungskriterien

Bei der Komplettbearbeitung kann es als Kombinieren von unterschiedlichen Maschinen bezeichnet werden. Normalerweise gibt es viele Bewertungskriterien, die geeignet für verschiedene Situation sind. In dieser Bachelorarbeit werden solche Bewertungskriterien zum Denken gebracht. Danach werden die vorher genannten Kriterien miteinander vergleicht. Wenn ein Kriterium als ein anderes wichtiger ist, bekommt es eine 2, wenn es weniger wichtig ist, bekommt es eine 0 und bei gleicher Gewichtung eine 1. Das Ergebnis des Vergleiches wird in einer Matrix eingelegt.

**Tabelle 4: Auswertungskriterien**

Sicherheit	Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit, Personenschutz
Gebrauch	Betrieb, Funktion der Anlagen
Instandhaltung	Wartung, Inspektion, Instandsetzung
Anschaffungskosten	Aufwand für Kauf der Anlage
Betriebskosten	Personalkosten, Stromkosten

**Tabelle 5: Bewertungsmatrix**

Bewertungskriterien	Sicherheit	Gebrauch - Funktion	Instandhaltung	Anschaffungskosten	Betriebskosten	Summe	Gewichtung
<b>Sicherheit</b>	1	2	2	2	2	9	100
<b>Gebrauch - Funktion</b>	0	1	2	2	2	7	78
<b>Instandhaltung</b>	0	0	1	0	0	1	11
<b>Anschaffungskosten</b>	0	0	2	1	0	3	33
<b>Betriebskosten</b>	0	0	2	2	1	5	56

## 5.2. Grund für Vergleich der Bewertungskriterien

In erster Linie ist die Sicherheit, weil sie im Produktionsprozess wichtigste ist. Aber unter diesem Thema ist es nur die Zusammensetzung der Anlage. Die Sicherheit ist nicht für die ganze Fließstrasse, sondern für einzelne Maschine. Darum wird das Bewertungskriterium „Sicherheit“ nicht als Bewertungspunkt in der Skala eingegeben. Nach der Sicherheit wird Funktion übergelegt. Wenn eine Maschine in Fließstrasse eingesetzt werden kann, muss sie die angeforderten Aufgaben schaffen können. Danach sind die Kosten in Gedanke. Die Kosten enthalten zwei Teile, das erste ist der Aufwand für Kauf der Anlagen, das zweite sind die Ausgaben für Betrieb. Auf lange Sicht werden Betriebskosten mehr als Anschaffungskosten. Deshalb Betriebskosten sind wichtiger als Anschaffungskosten. Während des Betriebs sind Wartung, Inspektion und Instandsetzung Pflichten. Deswegen ist die Instandhaltung das letzte. Aus der vorhergehenden Bewertungsmatrix erschließt sich folgende Reihenfolge.

**Tabelle 6: Gewichtung von jeden Bewertungskriterien**

Bewertungskriterien	Gewichtung
<b>Gebrauch – Funktion</b>	100
<b>Betriebskosten</b>	71
<b>Anschaffungskosten</b>	43
<b>Instandhaltung</b>	14

## 5.3. Bewertung von allgemeinen Lösungsvarianten

Die Tabelle sind die Punkte für Nutzwertanalyse und die entsprechenden Punkte in Richtlinie.

**Tabelle 7: Wertskala**

Wertskala			
Nutzwertanalyse		Richtlinie VDI 2225	
Pkt.	Bedeutung	Pkt.	Bedeutung
0	absolut unbrauchbare Lösung	0	unbefriedigend
1	sehr mangelhafte Lösung	1	gerade noch tragbar
2	schwache Lösung		
3	tragbare Lösung		
4	ausreichende Lösung	2	ausreichend
5	befriedigende Lösung		
6	gute Lösung mit geringen Mängeln	3	gut
7	gute Lösung		
8	sehr gute Lösung	4	sehr gut (ideal)
9	über die Zielvorstellung hinausgehende		
10	Ideallösung		

Folgend werden die allgemeinen Lösungsvarianten in der Werteskala nach VDI 2225 mit Punktevergabe von 0 bis 4 bewertet. Je nach der Gewichtung von oben ausgewählten Bewertungskriterien gibt es auch entsprechende Gewichtung für jede Bewertungskriterien in der

Wertskala, wie folgend:

F – Funktion (7 – fach)    BK – Betriebskosten (5 - fach)    AK – Anschaffungskosten (3 - fach)  
 IH – Instandhaltung (1 - fach)    W – Wertzahl ( $\Sigma (F + BK + AK + IH)$ )

**Tabelle 8: Ausrechnung der Punkte von Bewertungskriterien**

Laserschweißprozess					
Variante	F	BK	AK	IH	W
<b>Polarisationsschweißen</b>	$7 * 3 = 21$	$5 * 3 = 15$	$3 * 3 = 9$	$1 * 3 = 3$	48
<b>Schweißen mit Industrieroboter</b>	$7 * 3 = 21$	$5 * 2 = 10$	$3 * 2 = 6$	$1 * 1 = 1$	38
Schleifprozess					
Variante	F	BK	AK	IH	W
<b>Schleifscheibe</b>	$7 * 2 = 14$	$5 * 3 = 15$	$3 * 3 = 9$	$1 * 3 = 3$	41
<b>Bandschleifmaschinen</b>	$7 * 3 = 21$	$5 * 3 = 15$	$3 * 2 = 6$	$1 * 2 = 2$	44
Handhabung und Transport					
Variante	F	BK	AK	IH	W
<b>Brückenkran</b>	$7 * 4 = 28$	$5 * 2 = 10$	$3 * 1 = 3$	$1 * 2 = 2$	43
<b>Manipulator</b>	$7 * 2 = 14$	$5 * 3 = 15$	$3 * 3 = 9$	$1 * 3 = 3$	41

Je nach dem Ergebnis des Vergleiches wird die Fließstrasse für Komplettbearbeitung wie folgend ausgelegt:

**Tabelle 8: Ergebnis des Vergleiches**

Schweißprozess	Schleifprozess	Handhabung und Transport
<b>Polarisationsschweißen</b>	<b>Bandschleifmaschinen</b>	<b>Brückenkran</b>

## 5.4. Grund für Auswahl der Lösungsvariante

- **Beim Laserschweißprozess**

Bei diesem Prozess sind die Anlagen, die Laser erzeugen können, für beide Varianten gleich. Die Unterschiede liegen dabei, dass Polarisationsschweißen nur einen Spiegel braucht, aber bei anderer Variante braucht es einen Industrieroboter. Im Vergleich zum Schweißen mit Industrie ist Polarisationsschweißen günstiger, wenn sie gleiche Anforderung erreichen können. Gleichzeitig hat Polarisationsschweißen weniger Anschaffungskosten, Betriebskosten und Instandhaltungskosten.

- **Beim Schleifprozess**

Beim Schleifen haben Schleifschiebe und Schleifband gleich Funktion. Aber die Bandschleifmaschine hat zwei Schleifbänder. Damit schleift es besser und schneller. Bei den Anschaffungskosten ist Bandschleifmaschine teurer als Schleifmaschine mit Schleifscheibe. Bei den Betriebskosten sind sie gleich, weil das abgeschliffene Objekt gleich ist. Allerdings ist Bandschleifmaschine teurer bei der Instandhaltung.

- **Bei Handhabung und Transport**

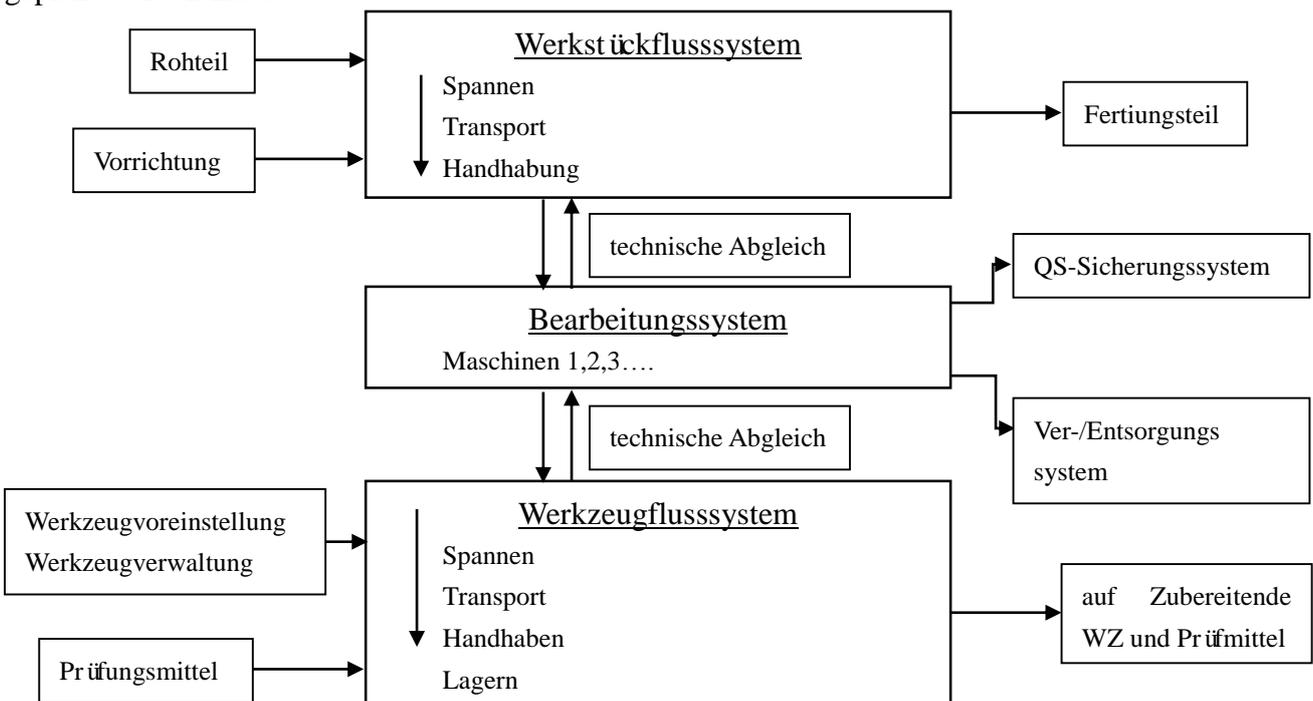
Im Vergleich zum Manipulator kostet Brückenkran mehr bei Anschaffung und Betrieb. Jedoch kann Brückenkran das Objekt zur jeden Position in der Fabrik transportieren und mehr als Manipulator belasten.

## 6. Zusammenhang zwischen den maschinenbaulichen und organisatorischen Schnittstellen<sup>[7]</sup>

Im Gegensatz zu konventionellen Fertigungseinrichtungen stellt die Planung und Inbetriebnahme eines Flexiblen Fertigungssystems (FFS) eine sehr komplexe Aufgabe dar, die durch einen das Gesamtsystem betrachtenden Planungsansatz zu bewältigen ist.

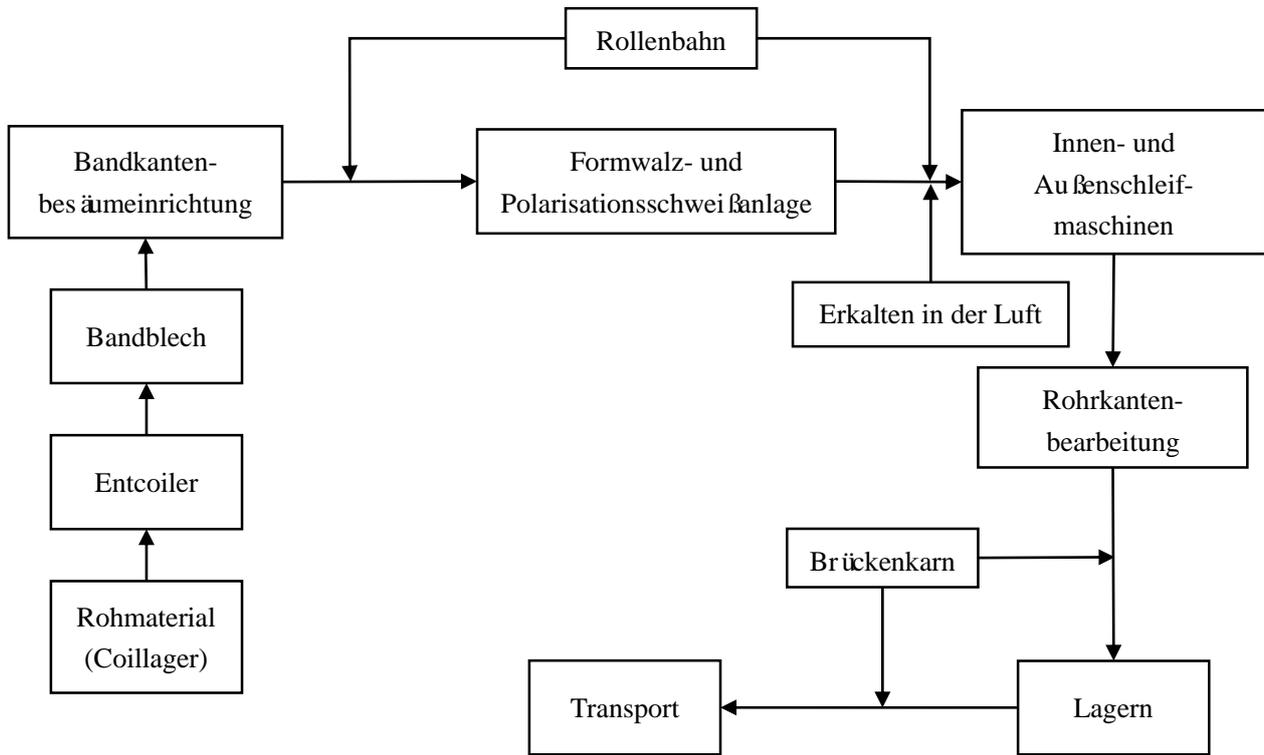
Die Systembausteine enthalten Bearbeitungssystem, Werkstück-Flusssystem, Werkzeug-Flusssystem sowie Steuerungs- und Überwachungssystem. Danach besteht Materialflusssystem aus Werkstück-Flusssystem und Werkzeug-Flusssystem.

Das FFS bildet unter betrieblichen Bedingungen eine technische und organisatorische Einheit aus verschiedenen Einzelkomponenten, wobei periphere Komponenten im Gegensatz zu konventionellen Maschinen fest integrierte Bestandteile des Gesamtsystems sind, sodass das FFS als komplexe Einheit geplant werden muss.



**Abbildung 6-1: Beschreibung von Materialflusssystem**

Bei diesem Thema wird das Layout von den Einrichtung wie im folgenden Bild angezeigt.



**Abbildung 6-2: Materialflusssystem für dieses Thema**

## 7. Zusammenfassung

Bei dem Thema „Erstellung eines Konzeptes für einen automatisierten Laserschweiß- und Schleif-Prozess zur Komplettbearbeitung längsgeschweißter Rohrsegmente“ ist der Schwerpunkt Komplettbearbeitungssystem, also werden unterschiedliche Bearbeitungsschritte zusammengesetzt. Um geschweißte Rohre herzustellen, werden folgende Maschinen verwendet, wie Entcoiler, Bandkantenbesämeinrichtung, Formwanz- und Polarisationschweißanlage, Bandschleifmaschinen sowie Rohrkantenbearbeitungseinrichtung.

Herstellungsvorgänge sind wie Folgendes beschreibt. Das Rohrmaterial ist normalerweise in dem Stand von Coillager, deshalb wird es durch ein Entcoiler abgerollt und zu blechförmig ausgezogen. Dann werden die beiden Kanten von dem Blech besämt. Nächst wird das Blech durch die Formwanzanlage zu rohrförmig gepresst und danach durch Polarisationschweißanlage angeschweißt. Wenn die Schweißnähte schon kalt ist, wird sie durch Innen- und Außenschleifmaschinen abgeschliffen. Nach Schleifen werden die beiden Kanten von dem Rohr abgefast. Zuletzt werden die gefertigten Schweißrohre in Lagern gelegt oder durch LKW transportiert.

## 8. Abbildungsverzeichnis

ABBILDUNG 2-1 <sup>[1]</sup> : VERGLEICH ZWISCHEN BEARBEITUNG AUF EINZELMASCHINEN UND KOMPLETTBEARBEITUNGSMASCHINE.....	4
ABBILDUNG 3-1 <sup>[2]</sup> : PRINZIP FORMWALZVERFAHREN .....	7
ABBILDUNG 3-2 <sup>[2]</sup> : FORMWALZWERKANLAGE.....	8
ABBILDUNG 3-3 <sup>[2]</sup> : EINFORMSCHEMA EINER ROLLENKÄFIG-EINFORMUNG (NATURAL FUNCTION FORMING).....	9
ABBILDUNG 3-4 <sup>[2]</sup> : ROHRSCHEIßSTRAßE MIT ROLLENKÄFIG .....	10
ABBILDUNG 3-5 <sup>[2]</sup> : SCHEMATISCHE DARSTELLUNG DES CTA-EINFORMVERFAHRENS .....	11
ABBILDUNG 3-6 <sup>[2]</sup> : ROHRSCHEIßSTRAßE MIT CTA-EINFORMVERFAHREN (RÖHRENWERKE GEBR. FUCHS GMBH) .....	11
ABBILDUNG 3-7 <sup>[2]</sup> : ROHRFORMUNGSVERFAHREN.....	12
ABBILDUNG 3-8 <sup>[2]</sup> : ANHOBELN BEIDER LÄNGSKANTEN EINSCHLIEßLICH DER AN- UND AUSLAUFSTÜCKE.....	13
ABBILDUNG 3-9 <sup>[2]</sup> : VORBIEGEN DER BLECHLÄNGSKANTEN .....	13
ABBILDUNG 3-10 <sup>[2]</sup> : UMFORMEN IN DER U-PRESSE .....	14
ABBILDUNG 3-11 <sup>[2]</sup> : FERTIGUNG ZUM SCHLITZROHR IN DER O-PRESSE .....	15
ABBILDUNG 4-1 <sup>[3]</sup> : PRINZIPIELLER AUFBAU EINER CO <sub>2</sub> -LASERSTRAHLSCHWEIßANLAGE .....	18
ABBILDUNG 4-2 <sup>[3]</sup> : PRINZIP DES LASERSTRAHLSCHWEIßENS.....	19
ABBILDUNG 4-3 <sup>[3]</sup> : POLARISATIONSSCHWEIßEN VON ROHREN .....	20
ABBILDUNG 4-4 <sup>[3]</sup> : EXTERNE STRAHLFÜHRUNG ÜBER EINEN SPIEGELARM MIT KNICKGELENK .....	20
ABBILDUNG 4-5 <sup>[5]</sup> : BAUPRINZIPIEN VON PLANSCHLEIFMASCHINEN .....	22
ABBILDUNG 4-6 <sup>[5]</sup> : BANDSCHLEIFMASCHINEN .....	23
ABBILDUNG 4-7: SCHEMA DER LAGE VON BANDSCHLEIFMASCHINEN .....	23
ABBILDUNG 4-8: BETRIEBSTAND VON HONEN .....	24
ABBILDUNG 4-9: STILLSTAND VON HONEN .....	24
ABBILDUNG 4-11: BRÜCKENKRAN .....	26
ABBILDUNG 4-12: SPEZIELLER LASTHAKEN FÜR ROHRE .....	26
ABBILDUNG 4-13: MANIPULATOR .....	27
ABBILDUNG 6-1: BESCHREIBUNG VON MATERIALFLUSSSYSTEM.....	32
ABBILDUNG 6-2: MATERIALFLUSSSYSTEM FÜR DIESES THEMA.....	32

## 9. Tabellenverzeichnis

TABELLE 1: SCHWEIßVERFAHREN .....	6
TABELLE 2 <sup>[3]</sup> : AUFBAU EINER TYPISCHEN LASERSTRAHLSCHWEIßANLAGE .....	17
TABELLE 3: LÖSUNGSVARIANTEN FÜR JEDEN HERSTELLUNGSPROZESS .....	27
TABELLE 4: AUSWERTUNGSKRITERIEN .....	28
TABELLE 5: BEWERTUNGSMATRIX .....	28
TABELLE 6: GEWICHTUNG VON JEDEN BEWERTUNGSKRITERIEN .....	29
TABELLE 7: WERTSKALA .....	29
TABELLE 8: AUSRECHNUNG DER PUNKTE VON BEWERTUNGSKRITERIEN .....	30
TABELLE 8: ERGEBNIS DES VERGLEICHES .....	30

## 10. Literatur/Quelle

- [1] **Komplettbearbeitung rotationssymmetrischer Werkstücke für die  
Verfahrensfolge Drehen/Laserstrahlhärten/Schleifen** - *Steffen K. Lang*
- [2] **Herstellverfahren für Stahlrohre** – *Dr.-Ing. Karl-Heinz Brensing, Düsseldorf /  
Dipl.-Ing. Baldur Sommer, Salzgitter Großrohre GmbH*
- [3] **Schweißen mit Laser** - *E. Beyer*
- [4] **Grundlagen der Fertigung** – *Prof. Dr.-Ing. Rolf Kademann / Dipl.-Ing. Heiko  
Wohlgemuth*
- [5] **Spanende Werkzeugmaschinen:** [http://reader.qa.springer.com/chapter/10.1007/  
978-3-642-39412-6\\_219?nojs=true#Fig45](http://reader.qa.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-39412-6_219?nojs=true#Fig45)
- [6] **Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik (Grundlagen)** – *Prof. Dr.-Ing. Rolf  
kademann*

## Selbstständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und nur unter Verwendung der angegebenen Literatur und Hilfsmittel angefertigt habe.

Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus Quellen entnommen wurden, sind als solche kenntlich gemacht.

Diese Arbeit wurde in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Merseburg, den 20. März 2014

Xinzhe Qian