

Titel: Verfahren zur schnellen Herstellung eines Mehrlagenrohres

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur schnellen Herstellung eines Mehrlagenrohres. Mehrlagen-Rohre werden vorzugsweise bei hohen Anforderungen gegen Korrosion oder Abrasion verwendet.

Korrosionsbeständige Druckbehälter oder Druckleitungen können durch Anwendung von Mehrlagen-Rohren kostengünstiger hergestellt werden als Massivausführungen aus entsprechenden Werkstoffen. Dies wird erreicht durch die Lastenteilung auf eine dünne, korrosionsbeständige Innenlage (z.B. rost- und säurebeständiger Stahl) und eine hochfeste, druckbeständige Außenlage (z. B. Feinkornbaustahl). Dadurch kann der Stahlverbrauch insgesamt erheblich gesenkt und ein Großteil des verbleibenden Stahlverbrauchs auf kostengünstige Werkstoffe verlagert werden.

Abrasionsbeständige Rohrleitungen werden durch die Ausführung als Mehrlagen-Rohr (etwa mit mechanischer Bindung, s.u.) in bestimmten Güteklassen überhaupt erst ermöglicht, da Werkstoffe (z.B. hochfeste Stähle mit hohen Härten) als Innenlage eingesetzt werden können, die für sich alleine nicht oder nur sehr schwierig zu Rohren verarbeitet werden können.

Andere Werkstoffkombinationen sind in großer Vielfalt möglich, prinzipiell begrenzt sich die Kombinierbarkeit von Werkstoffen dabei nur durch die jeweilig infrage kommenden Verarbeitungstechniken.

Beim Aufbau des Rohrmantels wird unterschieden zwischen

- vollflächiger **metallurgischer** Bindung (diese erfordert plattiertes Blech als Ausgangshalbzeug), und
- rein **mechanischer** Bindung (etwa einer Reibbindung) zwischen Innen- und Außenrohr - vorzugsweise Innen- und Außenblech und ihrer Verschweißung an den Blechkanten -.

2

Bei Mehrlagenrohren mit metallurgischer Bindung zwischen den Lagen - etwa Mehrlagenrohren aus Metallblechen, vorzugsweise Stahlblechen - findet als Ausgangshalbzeug ein plattiertes Verbundblech aus zwei verschiedenen (Stahl-)Werkstoffen Verwendung.

Der Nachteil dieses Verfahrens nach dem Stand der Technik liegt zum einen in den hohen Kosten des Ausgangshalbzeuges und damit auch des Endproduktes, zum anderen aber auch in einer mangelnden ausreichenden Verfügbarkeit dieses Ausgangshalbzeuges aufgrund äußerst beschränkter Produktionskapazitäten hierfür in der Welt. Weiterhin ist die Anzahl der Werkstoffe, die sich auf diese Weise verarbeiten lassen, begrenzt. So lassen sich etwa bestimmte abrasionsbeständige Stähle als Innenlage dann nicht verwenden, wenn sie sich aufgrund ihres hohen Kohlenstoffanteils nicht oder nur schlecht schweißen lassen.

Bei Mehrlagenrohren mit mechanischer Bindung finden nach älterem Stand der Technik als Ausgangshalbzeug mehrere - vorzugsweise zwei - fertige Rohre Verwendung. Das Verfahren soll dabei im folgenden anhand des Beispiels zweier Rohre erläutert werden (im Falle weiterer Lagen sind die Ausführungen entsprechend zu verstehen):

- Zwei fertige Rohre werden aus den zu kombinierenden Werkstoffen passgenau gefertigt und ohne Reibung ineinander geschoben, wobei das äußere Rohr eine höhere Streckgrenze aufweisen muß als das innere.
- Durch Expandieren (mechanisch - etwa mittels eines Expansionsstempels - oder durch Flüssigkeitsdruck, wobei im letzten Falle die ineinander liegenden Rohre in ein das Außenrohr umfassendes Gesenk gepreßt werden) wird das Innenrohr unter elastischer Aufweitung auch des Außenrohrs in das Außenrohr gedrückt. Nach Wegfallen der Expansionskräfte legt sich das Außenrohr wegen der höheren elastischen Rückfederung kraftschlüssig um das Innenrohr.
- Abschließend werden die beiden Werkstoffe an den Stirnseiten verschweißt.

Der Nachteil dieses Verfahrens nach dem Stand der Technik liegt darin begründet, daß das äußere Rohr eine höhere Streckgrenze aufweisen muß als das innere, da ansonsten die den Kraftschluß mit dem Innenrohr hervorrufoende und daher erforderliche elastische Rückfederung des Außenrohres fehlt. Dies ist insbesondere deshalb nachteilig, weil hochfeste Werkstoffe - etwa besonders hochfeste Stähle -, wie sie vorzugsweise für abrasionsbeständige Rohrleitun-

gen im Inneren des Rohres besonders vorteilhaft sind, hohe oder sogar sehr hohe Streckgrenzen aufweisen und sich damit für dieses Herstellungsverfahren nicht eignen.

Inzwischen sind aber auch weitere Verfahren aus der WO 2006/066814 A1 bekannt, die diese Nachteile nicht aufweisen und der Herstellung eines Mehrlagenrohres mit mechanischer Bindung zwischen den Werkstofflagen mittels einer Biegewalze dienen. Hierbei werden

- einzelne zum Mehrlagenrohr zu kombinierende Werkstofflagen aufeinandergelegt, und
- der so gebildete Mehrlagen-Werkstoff mit Hilfe der Biegewalze zu einem Mehrlagenrohr geformt, wobei in der Endphase der Rohrformung in der Biegewalze eine jeweilig als Innenrohr fungierende Werkstofflage kraftschlüssig in eine jeweilig als Außenrohr fungierende Werkstofflage gepresst wird.

Mit Hilfe dieses Verfahrens können Mehrlagenrohre hergestellt werden, die ohne walz- und/oder sprengplattiertes Halbzeug auskommen, andererseits aber auch nicht den Beschränkungen unterliegen, die die Herstellung mehrlagiger Rohre nach dem vorgenannten Stand der Technik mit reibschlüssiger mechanischer Bindung von Lagen untereinander mit sich bringt.

Die Verwendung walz- und/oder sprengplattierten Halbzeugs wird dadurch vermieden, daß zunächst zwischen den Werkstofflagen eine erste Verbindung – etwa eine Schweißnaht – geschaffen wird und hiernach die jeweilige als Innenrohr fungierende Werkstofflage während der Rohrformung in der Biegewalze durch eine – nach einem bestimmten Verformungsfortschritt anzubringende – weitere Verbindung zwischen den Werkstofflagen kraftschlüssig in die jeweilig als Außenrohr fungierende Werkstofflage gepreßt und auf diese Weise im jeweiligen Außenrohr reibschlüssig gehalten wird, und zwar ohne das Mehrlagenrohr aufweiten zu müssen und damit die zum o.a. Expansionsverfahren angeführten Nachteile einzugehen.

Gleichwohl hat dieses Verfahren den produktionstechnischen Nachteil, daß es hierbei erforderlich ist, während der Rohrformung in der Biegewalze nach einem bestimmten Verformungsfortschritt eine weitere Verbindung zwischen den Werkstofflagen zu schaffen, was in der Regel durch ein Verschweißen geschieht. Für diese Verbindung ist es daher erforderlich, die Rohrformung zu unterbrechen, um die beiden Werkstofflagen an dieser weiteren Stelle miteinander zu verbinden. Hierzu muß das noch unfertige Rohr aus der Biegewalze entfernt und sodann die Verbindung geschaffen, in der Regel also die Schweißnaht aufgebracht werden. Alternativ dazu

kann es auch in der Biegewalze geschweißt werden, was diese jedoch währenddessen blockiert. Sodann kann der Rohrrohling (auch Schlitzrohr genannt) wieder in die Biegewalze eingebracht werden, um den dortigen Fertigungsprozeß weiter zu führen. Ein solches Vorgehen ist äußerst zeitintensiv und stellt daher einen erheblichen Produktionskostennachteil dar.

Die WO 2006/066814 A1 lehrt jedoch auch ein Verfahren bei dem

- einzelne zum Mehrlagenrohr zu kombinierende Werkstofflagen aufeinandergelegt werden, wobei eine als jeweiliges Außenrohr fungierende Werkstofflage ein Grundblech bildet, das in etwa entlang seiner beiden Längskanten oder in etwa parallel hierzu jeweils eine, vorzugsweise aufgeschweißte, Anschlagkante aufweist und die aufliegende Werkstofflage lose zwischen diese Anschlagkanten zu liegen kommt, und
- der so gebildete Mehrlagen-Werkstoff mit Hilfe der Biegewalze zu einem Mehrlagenrohr geformt wird, wobei die jeweilige als Innenrohr fungierende Werkstofflage zwischen die Anschlagkanten geklemmt und in der Endphase der Rohrformung in der Biegewalze die jeweilige als Innenrohr fungierende Werkstofflage hierdurch kraftschlüssig in die jeweilig als Außenrohr fungierende Werkstofflage gepreßt wird.

Nach dieser Ausführungsform der WO 2006/066814 A1 können als jeweilige Innenlage somit auch solche Werkstoffe - wie etwa besonders hochfeste Stähle - Verwendung finden, die sich nicht oder nur sehr schwer schweißen lassen. Auch hier wird die als Innenrohr fungierende Werkstofflage bereits während der Rohrformung in der Biegewalze kraftschlüssig in die jeweilig als Außenrohr fungierende Werkstofflage gepreßt und so im jeweiligen Außenrohr reibschlüssig gehalten und zwar ohne, daß es einer Verbindung, wie etwa einer zu schaffenden Schweißnaht bedarf. Daher ist hier eine zeit- und kostenintensive Unterbrechung des Rohrformungsprozesses in der Biegewalze auch nicht erforderlich. Jedoch hat dieses Fertigungsverfahren wiederum den Nachteil, daß hierbei die Rohrrinnenlage nicht gänzlich nach innen hin geschlossen ist, da ein Teil des Rohrrinnenumfangs durch die auf dem jeweiligen Grundblech, also der jeweils außen liegenden Werkstofflage, angebrachten Anschlagkanten ausgebildet wird, was dazu führt, daß hier die vorteilhaften Wirkungen der Rohrrinnenlage, wie Korrosions- oder Abrasionsbeständigkeit nicht einzutreten vermögen. Dieser Nachteil kann auch nicht einfach durch eine Auftragsschweißung in diesem Bereich gelöst werden, da eine Schweißverbindung

zwischen dem Material der Anschlagkante und dem der Innenlage bei diesem Verfahren, das ein Schweißen zwischen Außen- und Innenlage vermeiden will, gerade nicht infrage kommt.

Mittlerweile ist aber auch ein optimiertes Verfahren der WO 2010/145680 A1 bekannt, welches weder eine Unterbrechung des Rohrformungsprozesses zur Werkstofflagenverbindung noch ein nachträgliches Einarbeiten von Werkstofflagenteilen erfordert. Hierbei werden

- einzelne zum Mehrlagenrohr zu kombinierende Werkstofflagen aufeinandergelegt, wobei zumindest eine der Werkstofflagen aus mehr als einem aufgelegten Element besteht,
- hiernach dann eine jeweils erste Verbindung zwischen den randseitigen Elementen der aufliegenden Werkstofflage und der benachbarten Werkstofflage geschaffen wird,
- der so gebildete Mehrlagen-Werkstoff zum Rohr geformt wird und bei der Verformung die noch frei gegeneinander verschiebbaren Kanten der Elemente der aufliegenden Werkstofflage aufgrund der unterschiedlichen Umfangslängen von Innenrohr und Außenrohr sich entsprechend dem Verformungsfortschritt frei aufeinander zu bewegen,
- dann diese sich aufeinander zu bewegend Kanten der Elemente der aufliegenden Werkstofflage nach einem bestimmten Verformungsfortschritt aneinander stoßen, und
- sodann das Mehrlagenrohr mit Hilfe der Blechumformmaschine zu Ende geformt wird, wobei sich nun während dieser Endformung die Kanten der Elemente der aufliegenden Werkstofflage nun nicht weiter frei aufeinander zu bewegen können, wodurch die jeweilige als Innenrohr fungierende Werkstofflage kraftschlüssig in die jeweilig als Außenrohr fungierende Werkstofflage gepreßt wird.

Bei diesem Verfahren nach dem Stand der Technik wird die Unterbrechung des Rohrformungsprozesses in der Blechumformmaschine – also etwa in der Biegewalze – dadurch vermieden, daß mindestens zwei Elemente, die später die Innenlage bilden, zunächst, d.h. vor dem Rohrformungsprozeß, randseitig mit der später die Außenlage bildenden Werkstofflage verbunden, also in der Regel mit dieser verschweißt, werden. Während des Rohrformungsprozesses

ses, also z.B. in der Biegewalze, bewegen sich dann die freien Enden dieser Elemente aufgrund der unterschiedlichen Biegeradien (oder Umfangslängen, was das Gleiche bedeutet) von Innen- und Außenrohr aufeinander zu und stoßen irgendwann aneinander. Da zu diesem Zeitpunkt auch bereits eine Wölbung des Bleches hin zu einem Rohr eingesetzt hat, springen die Kanten der aneinanderstoßenden Lagen nicht voneinander ab, sondern verbleiben aneinanderstoßend, wobei sie jedoch – eine glatt geformte Kante vorausgesetzt - eine, mit zunehmendem Verformungsfortschritt stärker werdende, Kraft auf die Werkstoffinnenlage ausüben, mit der diese gegen die Außenlage gepreßt wird. So ist eine Unterbrechung des Formungsprozesses – etwa zur weiteren Verschweißung der Werkstofflagen – zur Ausbildung einer vollflächigen Werkstoffinnenlage aus dem hierfür vorgesehenen Material im Rohrinernen nicht mehr erforderlich.

Allerdings hat diese Vorgehensweise den Nachteil, daß hier ein nachgelagerter Verarbeitungsschritt, nämlich zur Verschweißung der dann im Rohrinernen befindlichen Stoßkante erforderlich ist. Auch entsteht nach diesem Verfahren so eine zusätzliche dritte Schweißnaht – nämlich an der Stoßkante – im Rohrinernen, was eine zusätzliche Fehlerquelle darstellt.

Es ist daher – ausgehend von der WO 2010/145680 A1 - Aufgabe der vorliegenden Erfindung ein Verfahren zur Herstellung von Mehrlagenrohren anzugeben, bei dem eine zusätzliche Schweißnaht im Rohrinernen des Mehrlagenrohres vermieden wird, gleichwohl aber die produktionstechnischen Vorteile des Verfahrens nach der WO 2010/145680 A1 erhalten bleiben, also weder eine Unterbrechung des Rohrformungsprozesses zur Werkstofflagenverbindung noch ein nachträgliches Einarbeiten von Werkstofflagenteilen erforderlich ist.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch ein Verfahren zur schnellen Herstellung eines Mehrlagenrohres mit Hilfe einer Blechumformmaschine gelöst, bei dem das Mehrlagenrohr zumindest eine erste Werkstofflage und eine zur ersten Werkstofflage benachbarte Werkstofflage aufweist, wobei

- die benachbarte Werkstofflage zumindest leicht gebogen wird, , - (wobei hier unter ‚gebogen‘ sowohl eine elastische, wie auch eine plastische Verformung zu verstehen ist) -,
- die zum Mehrlagenrohr zu kombinierenden Werkstofflagen aufeinandergelegt werden, wobei die erste Werkstofflage als aufliegende Werkstofflage auf der benachbarten Werkstofflage positioniert wird,

- eine erste Verbindung zwischen der - nach der Rohrformung als Innenrohr fungierenden - aufliegenden Werkstofflage und der - nach der Rohrformung als Außenrohr fungierenden - benachbarten Werkstofflage dadurch geschaffen wird, daß

die aufliegende Werkstofflage mit der benachbarten Werkstofflage – vorzugsweise in etwa - entlang einer ersten Kante der aufliegenden Werkstofflage oder – vorzugsweise in etwa - entlang einer Linie parallel hierzu verbunden wird,
- eine zweite Verbindung zwischen der aufliegenden Werkstofflage und der benachbarten Werkstofflage dadurch geschaffen wird, daß

die aufliegende Werkstofflage mit der benachbarten Werkstofflage - vorzugsweise in etwa - entlang einer zweiten Kante der aufliegenden Werkstofflage oder - vorzugsweise in etwa - entlang einer Linie parallel hierzu verbunden wird, und
- der so gebildete Mehrlagen-Werkstoff mit Hilfe der Blechumformmaschine zum Mehrlagenrohr geformt wird, wobei

während dieser Formung ab einem gewissen Verformungsgrad die jeweilige aufliegende und sodann als Innenrohr fungierende Werkstofflage zwischen den beiden Werkstofflagenverbindungen in (Teil-)Kreisumfangsrichtung gestaucht und somit in die jeweilige benachbarte und sodann als Außenrohr fungierende Werkstofflage gepreßt wird.

Hervorzuheben ist, daß die vorgenannten Verfahrensschritte durch die Reihenfolge ihrer Aufzählung im vorstehenden Text keinesfalls die gleiche Reihenfolge bei der Ausführung des erfindungsgemäßen Verfahrens erfordern. Bei der Ausführung des Verfahrens kommt es - abgesehen von technischen Notwendigkeiten bei der Reihenfolge, wie etwa dem zuletzt angeführten Verfahrensschritt der Rohrformung mittels der Blechumformmaschine, der ja der vorherigen Bildung (Herstellung) des Mehrlagen-Werkstoffs bedarf - vielmehr nicht zwingend auf diese Reihenfolge an. So können etwa auch die beiden Werkstofflagenverbindungen (vorzugsweise in etwa) gleichzeitig statt nacheinander geschaffen werden. Auch ist es etwa möglich zuerst eine der Verbindungen zwischen den Werkstofflagen herzustellen und dann erst die Biegung vorzunehmen, um danach dann die zweite Verbindung zwischen den Werkstofflagen zu schaffen.

Die Biegung der benachbarten - vorzugsweise unten liegenden - und nach der (Mehrlagen-)Rohrformung die Außenlage des Mehrlagenrohres bildende Werkstofflage bringt dabei deren Kanten - im Rohrquerschnitt gesehen näher zueinander. Bei dem Verfahren nach der vorliegenden Erfindung wird also die Unterbrechung des Rohrformungsprozesses in der Blechumformmaschine und auch eine zusätzliche Schweißnaht im Rohrinernen vermieden, da hier einerseits weder eine Unterbrechung des Formungsprozesses in der Blechumformmaschine zur Verbindung der Werkstofflagen noch zur Ausbildung einer vollflächigen Werkstoffinnenlage aus dem hierfür vorgesehenen Material im Rohrinernen und auch keine weitere (dritte) Schweißnaht erforderlich ist, da die Werkstoffinnenlage zum einen einteilig ausgeführt werden kann und zum anderen ein Biegen der benachbarten Werkstofflage, also etwa ein ‚Vorspannen‘ des Werkstoffes erfolgt, was die Verbindung beider Werkstofflagen miteinander schon vor dem (weiteren) Rohrformungsprozeß in der Blechumformmaschine erlaubt. Das Verbinden der Werkstofflagen kann somit vor dem eigentlichen Rohrformungsprozeß in der Blechumformmaschine (Rohrformungsmaschine) geschehen und stört daher diesen Prozeß im weiteren nicht mehr.

Eine etwaige Biegung der benachbarten Werkstofflage entlang (etwa einer oder beider) ihrer Kanten erfolgt nach der vorliegenden Erfindung vorzugsweise bereits auf den Endradius des zu fertigenden Mehrlagenrohres, da dies eine nachträgliche, oftmals mit Fertigungsproblemen, wie etwa Kantenverquetschungen, verbundene Bearbeitung vermeidet. Ein solches Biegen auf den Endradius kann dabei etwa vorzugsweise mit einer Biegepresse für Blechtafeln, wie sie aus der WO 2010/118759 A2 bekannt ist erfolgen.

In einer bevorzugten Ausführungsform des Verfahrens zur schnellen Herstellung eines Mehrlagenrohres mit Hilfe einer Blechumformmaschine nach der vorliegenden Erfindung werden

einzelne zum Mehrlagenrohr zu kombinierende Werkstofflagen aufeinandergelegt, und es wird

dann eine erste Verbindung zwischen der aufliegenden Werkstofflage und der benachbarten Werkstofflage dadurch geschaffen, daß die aufliegende Werkstofflage mit der benachbarten Werkstofflage in etwa entlang der ersten Kante der aufliegenden Werkstofflage oder in etwa entlang einer Linie parallel hierzu verbunden wird,

worauf der so gebildete Mehrlagen-Werkstoff - und damit auch die benachbarte Werkstofflage - in dem Bereich, in dem die Werkstofflagen in etwa entlang der Kante oder entlang einer

Linie in etwa parallel hierzu durch die erste Verbindung miteinander verbunden sind, zumindest leicht gebogen wird (zum Begriff des Biegens als plastische oder elastische Verformung siehe oben, dort zur benachbarten Werkstofflage),

die zweite noch freie Kante der aufliegenden Werkstofflage relativ zur benachbarten Werkstofflage in Richtung einer ebenfalls noch freien Kante der benachbarten Werkstofflage positioniert wird, und

sodann die zweite Verbindung zwischen der aufliegenden Werkstofflage und der benachbarten Werkstofflage dadurch geschaffen wird, daß

die aufliegende Werkstofflage mit der benachbarten Werkstofflage in etwa entlang der zweiten, bis dahin noch freien Kante der aufliegenden Werkstofflage oder in etwa entlang einer Linie parallel hierzu verbunden wird, und

der so gebildete Mehrlagen-Werkstoff mit Hilfe der Blechumformmaschine zum Mehrlagenrohr geformt wird, wobei

während dieser Formung ab einem gewissen Verformungsgrad die jeweilige aufliegende und sodann als Innenrohr fungierende Werkstofflage zwischen den beiden Werkstofflagenverbindungen in (Teil-)Kreismfangsrichtung gestaucht und somit in die jeweilige benachbarte und sodann als Außenrohr fungierende Werkstofflage gepreßt wird.

In der vorstehend beschriebenen Ausführungsform nach dem Verfahren nach der vorliegenden Erfindung wird also wiederum zum einen die Unterbrechung des Rohrformungsprozesses in der Blechumformmaschine und auch eine zusätzliche Schweißnaht im Rohrinernen vermieden, da auch hier weder eine Unterbrechung des Formungsprozesses zur Verbindung der Werkstofflagen, noch zur Ausbildung einer vollflächigen Werkstoffinnenlage aus dem hierfür vorgesehenen Material im Rohrinernen und auch keine weitere (dritte) Schweißnaht erforderlich ist, da dies durch das ‚Vorspannen‘ des Mehrlagenwerkstoffes mittels des zunächst einseitigen Verbindens der Lagen, das elastische oder plastische Biegen in diesem Bereich, das ‚Herüberbewegen‘, vorzugsweise ‚Herüberziehen‘ zum anderen Ende hin und schließlich das Fixieren dieser ‚Vorspannung‘ an diesem anderen Ende durch dortiges abermaliges Verbinden entfällt. Diese vorstehend beschriebene Ausführungsform der erfindungsgemäßen Herstellung ist deshalb vorteilhaft, da es hier keiner initialen (anfänglichen) - sei es plastischen, sei es elastischen - Verformung der benachbarten Werkstofflage bedarf. Vielmehr wird diese Biegung erst

im Laufe der Ausführung des erfindungsgemäßen Herstellungsverfahrens, nämlich durch das Positionieren, vorzugsweise ‚Herüberziehen‘ der aufliegenden Werkstofflage gleichzeitig mit diesem Schritt des Verfahrens erreicht. Vorzugsweise wird die - im Rohrquerschnitt betrachtete Kreisumfangslänge (Breite) - der jeweilig als Innenrohr fungierenden Werkstofflage B_i zwischen den beiden Verbindungen der Werkstofflagen miteinander so gewählt, daß

$$B_i > L_{nfa} - \pi (SA + SI) - (d_1 + d_2) \text{ ist,}$$

mit B_i als der im Rohrquerschnitt betrachteten (Teil-)Kreisumfangslänge (Breite vor Rohrformung) der jeweilig als Innenrohr fungierenden Werkstofflage zwischen den beiden Verbindungen zwischen den Werkstofflagen etwa in mm angegeben,

L_{nfa} der im Rohrquerschnitt gesehenen Kreisumfangslänge (Breite vor Rohrformung) der jeweilig als Außenrohr fungierenden Werkstofflage etwa in mm angegeben,

SA der Wanddicke der jeweilig als Außenrohr fungierenden Werkstofflage etwa in mm angegeben,

SI als der Wanddicke des jeweilig als Innenrohr fungierenden Werkstofflage etwa in mm angegeben, und

d_1 als dem Abstand der ersten Verbindung entlang der ersten Kante der aufliegenden Werkstofflage oder entlang einer Linie parallel hierzu von der entsprechenden ersten Kante der benachbarten Werkstofflage zum Zeitpunkt der Schaffung der ersten Verbindung zwischen den Werkstofflagen etwa in mm angegeben, und

d_2 als dem Abstand der zweiten Verbindung entlang der zweiten Kante der aufliegenden Werkstofflage oder entlang einer Linie parallel hierzu von der entsprechenden Kante der benachbarten Werkstofflage zum Zeitpunkt der Schaffung der zweiten Verbindung zwischen den Werkstofflagen etwa in mm angegeben.

Letztere Bedingung ist gleichbedeutend damit, daß die im Rohrquerschnitt betrachtete (Teil-)Kreisumfangslänge der später als Innenrohr fungierenden Werkstofflagen zwischen den beiden Werkstofflagenverbindungen größer ist, als die - ebenfalls im Rohrquerschnitt betrachtete - (Teil-)Kreisumfangslänge einer Innenlage, die sich im Falle zweier (in einem nach dem hier vorliegenden erfindungsgemäßen Verfahren geformten Rohr) spannungsfrei (zwischen den

beiden Werkstofflagenverbindungen) ineinander liegender Werkstofflagen ergeben würde. Diese gegenüber den vorstehenden Verhältnissen größere (Teil-)Kreisumfangslänge zwischen den beiden Werkstofflagenverbindungen führt dann zu einer Stauchung der Innenlage in Umfangsrichtung und somit zu einer radialen Verpressung der Innen- in die Außenlage.

Entsprechend den bereits in der WO 2006/066814 A1 erwähnten geometrischen Verhältnissen sind – je nach angestrebter Preßkraft – die Größe der Elemente der aufliegenden Werkstofflage (also der späteren Innenlage) und die Lage der Verbindungen zwischen der aufliegenden Werkstofflage (also der Werkstofflage, die später die Innenlage [oder das Innenrohr] bildet) und der benachbarten Werkstofflage (also der Werkstofflage, die später die Außenlage [oder das Außenrohr] bildet) zu wählen. Zur Erläuterung der Wirkungsweise hier, insbesondere der Entstehung der Preßkraft, die die jeweilige Werkstoffinnenlage gegen die jeweilige Werkstoffaußenlage preßt, dient nachfolgende Darstellung der geometrischen Verhältnisse:

Hierzu finden – vorzugsweise ausgehend von zwei Lagen, also einer aufliegenden Werkstofflage, die nach der Rohrformung die Innenlage, also das spätere Innenrohr, bildet, und einer benachbarten Werkstofflage, die nach der Rohrformung die Außenlage, also das spätere Außenrohr, bildet - neben den bereits eingeführten Größen, auch die folgenden Größen Verwendung:

- σ_I als Streckgrenze (welche in der Regel in etwa der Stauchgrenze insbesondere bei gewalzten Metallen - entspricht) der aufliegenden Werkstofflage (Innenlage), also des (späteren) Innenrohres - etwa in N/mm²,
- E als Elastizitätsmodul (E-Modul) der aufliegenden Werkstofflage (Innenlage), also des (späteren) Innenrohres - etwa in N/mm².

Die Länge der neutralen Faser - in kreisförmig gebogenem Zustand - des (späteren) Außenrohres - hier L_{nfa} genannt – beträgt:

$$L_{nfa} = (DA - SA) \cdot \pi,$$

was der mittleren (im Rohrquerschnitt betrachteten) Kreisumfangslänge - hier des (späteren) Außenrohres – (und damit auch der Breite der jeweilig als Außenrohr fungierenden Werkstofflage) entspricht. Wollte man das Innenrohr ohne jede Stauchung in das Außenrohr einpassen,

so würde die Länge seiner neutralen Faser (ohne Stauchung der Innenlage) - hier L_{nfiOS} genannt - aufgrund der unterschiedlichen Biegeradien

$$L_{nfiOS} = (DA - 2 \cdot SA - SI) \cdot \pi,$$

was ebenfalls der mittleren Umfangslänge - hier jedoch des Innenrohres - entspricht, betragen.

Verwendet man somit eine Werkstofflage der Breite L_{nfiOS} als Innenlage und eine Werkstofflage der Breite L_{nfa} als Außenlage, so kann sich die Innenlage während der Rohrformung genau in die Außenlage einpassen, was heißt, daß die jeweiligen Längskanten der Außen-, wie auch der Innenlage mit dem Abschluß des Rohrformungsprozesses – einen geometrisch ideal ablaufenden Rohrformungsprozeß, d.h. die ideale Bildung eines Kreises (im Rohrquerschnitt gesehen) einmal vorausgesetzt - zu gleicher Zeit aneinanderstoßen. In diesem Falle würde das Innenrohr nur durch seine während des Formungsprozesses aufgebaute Rückfederkraft gegen die Außenlage gedrückt. Eine Stauchung des Innenrohres, die infolge des dabei im Material aufgebauten Druckes und seiner Wölbung nach außen gegen die jeweilige Außenwerkstofflage hin in eine zusätzliche Preßkraft des Innenrohres gegen das Außenrohr münden würde, würde hingegen nicht stattfinden.

Eine solche möchte das erfindungsgemäße Verfahren jedoch gerade erzeugen. Es stellt sich damit die Frage, welche - im Querschnitt des geformten Rohres gesehen - (Teil-)Kreisumfangslänge (= Breite der aufliegenden Werkstofflage vor der Formung) die Innenlage aufweisen muß, damit es zu einer solchen erwünschten Stauchung der Umfangslänge der Werkstoffinnenlage (B_i) oder, was dasselbe ist, der Breite der aufliegenden Werkstofflage beim Rohrformungsprozeß kommt.

Nach den o.a. Darlegungen beträgt die Länge, über die sich die Kanten der Innenlage gegenüber denen der Außenlage in Umfangsrichtung während der Rohrformung frei verschieben können:

$$L_{fv} = L_{nfa} - L_{nfiOS}$$

und damit

$$L_{fv} = (DA - SA) \cdot \pi - (DA - 2 \cdot SA - SI) \cdot \pi$$

was äquivalent zu

$$L_{fv} = (SA + SI) \cdot \pi$$

ist, womit klar wird, daß grundsätzlich immer dann eine Stauchung der jeweilig als Innenrohr fungierenden Werkstofflage eintritt, wenn dieses breiter ist, als die jeweilig als Außenrohr fungierende Werkstofflage abzüglich der Summe der Dicke beider benachbarter Werkstofflagen multipliziert mit der Kreiszahl π , wenn also für die Breite B_i des als Innenrohr fungierenden Werkstofflage gilt

$$B_i > L_{nfa} - \pi (SA + SI).$$

Wird aber die jeweilig als Innenrohr fungierende Werkstofflage bei der Rohrformung in der Breite - nämlich durch die beiden nach dem erfindungsgemäßen Verfahren geschaffenen Verbindungen zwischen den Werkstofflagen - gestaucht, so wird die jeweilig als Innenrohr fungierende Werkstofflage dadurch auch in die jeweilige äußere (also vom Rohrrinnenraum gesehen nach außen benachbarte) Werkstofflage gepreßt. Dabei läßt sich diese Preßkraft bis zur Streckgrenze (respektive Stauchgrenze, die in der Regel - insbesondere bei gewalzten Metallblechen, in etwa gleich der Streckgrenze ist -) steigern. In Fällen, in denen keine ausgeprägte Streck- oder Stauchgrenze vorliegt, kann anstelle dieser auch die sogenannte technische Streckgrenze (auch Dehngrenze als Betrag der Spannung einer plastischen bleibenden Dehnung unter einer bestimmten Krafteinwirkung genannt) oder technische Stauchgrenze genannt, treten. Oberhalb der Zone der sogenannten ‚Hook’schen Geraden‘, also etwa im Bereich der plastischen Dehnung (z.B. im Bereich der sogenannten ‚Lüderskurve‘) hingegen läßt sich diese Kraft nicht mehr wesentlich (zumindest nicht mehr proportional) steigern. Will man also vor diesem Hintergrund über die o.a. Bedingung

$$B_i > L_{nfa} - \pi (SA + SI),$$

- die grundsätzlich überhaupt eine Stauchung sicherstellt - hinaus eine maximale Stauchung und damit auch eine maximale Preßkraft erreichen, so ist folgendes zu bedenken:

Der Stauchungsgrad der Innenwerkstofflage zum Erreichen der Stauchgrenze - hier ϵ_{St} genannt - ergibt sich nach dem Hook'schen Gesetz zu:

$$\epsilon_{St} = \frac{\sigma_I}{E}$$

Demnach gilt für den Fall, daß die maximale Preßkraft der Innenwerkstofflage gegen die Außenwerkstofflage gerade eben erreicht werden soll:

$$B_i - B_i \cdot \epsilon_{St} = L_{nfa} - \pi \cdot (SA + SI) .$$

Hinsichtlich der Breite, die sich für die Innenwerkstofflage in diesem Falle ergibt, gilt also:

$$\begin{aligned} B_i &= \frac{L_{nfa} - \pi (SA + SI)}{1 - \epsilon_{St}} \\ &= \frac{L_{nfa} - \pi (SA + SI)}{1 - \frac{\sigma_I}{E}} \end{aligned}$$

wobei für den maximal erreichbaren Stauchungsgrad $0 < \frac{\sigma_I}{E} < 1$ gilt.

Für praktische Zwecke ist zu bedenken, daß - so man die maximale Preßkraft der Innen- gegen die Außenlage möglichst zuverlässig auch tatsächlich, jedenfalls in etwa, erreichen will - es sicherzustellen gilt, daß die Stauchgrenze ($\approx$ Streckgrenze) auch tatsächlich erreicht ist. Dies kann man dadurch erzielen, daß man zum maximalen Stauchungsgrad, wie er sich aufgrund der Materialkonstanten (σ_I , E) ergibt, noch einen gewissen - durchaus großzügig zu bemessenden - Zuschlag - vorzugsweise von bis zu 800 % des maximalen Stauchungsgrades, besonders bevorzugterweise von bis zu 600 % oder aber auch von bis zu 300 % oder von bis zu 200 % oder auch bis zu 100 % des maximalen Stauchungsgrades - gibt.

Vorzugsweise kann daher bei dem erfindungsgemäßen Verfahren zur Herstellung von Mehrlagenrohren für die Breite des als Innenrohr fungierenden Werkstofflagenbandes im Hinblick auf

die Erzielung einer möglichst hohen Preßkraft der Innen- gegen die Außenlage für praktische Zwecke gefordert werden, daß gilt:

$$B_i \geq \frac{L_{nfa} - \pi (SA + SI)}{1 - \frac{\sigma_I}{E}}, \quad \text{mit } 0 < \frac{\sigma_I}{E} < 1.$$

Wenn die Breite der Innenlage also größer als der rechts der Gleichung stehende Term gewählt wird, wird ein möglicher Stauchungszuschlag (siehe oben) berücksichtigt, der die Fertigungsungenauigkeiten – etwa in Lage und/oder Führung der Werkstofflagenbänder zueinander – so zu kompensieren vermag, daß die angestrebte maximale Preßkraft des Innenrohres gegen das Außenrohr – jedenfalls in etwa – sicher erreicht wird.

Durch den Stauchungszuschlag werden auch eine elastische Aufweitung des Außenrohres aufgrund der radial wirkenden Preßkraft des Innenrohres auf das Außenrohr und Einflüsse auf das Verfahren durch eine nach der Rohrformung etwaig nicht exakt blechdickenmittige Lage der neutralen Faser der jeweiligen Werkstofflage aufgefangen.

Vorstehende Ausführungen gehen jedoch davon aus, daß die Stauchung der Innenlage durch die beiden Verbindungen zwischen den Werkstofflagen geschaffen wird, wobei die - im (späteren) Rohrquerschnitt gesehen - jeweiligen beiden einander entsprechenden Kanten der benachbarten Werkstofflagen zum Zeitpunkt der Schaffung der ersten und der zweiten Verbindung zwischen den Werkstofflagen jeweils - vorzugsweise in etwa - bündig aneinanderliegen und die jeweilige Verbindung auch - vorzugsweise in etwa - entlang der jeweiligen Kante - vorzugsweise durch eine Schweißnaht entlang der Kante - erfolgt. Wird jedoch zum Beispiel die zweite zunächst noch freie Kante der aufliegenden Werkstofflage (Innenlage) nicht soweit in Richtung der noch freien Kante der benachbarten Werkstofflage (Außenlage) gezogen, daß diese bündig aneinander liegen, bevor - entsprechend dieser Ausführung der vorliegenden Erfindung - die zweite Verbindung geschaffen wird, so ist auch der sich hieraus ergebende Abstand d_2 zwischen der zweiten - entlang der oder parallel zur noch freien (zweiten) Kante der aufliegenden Werkstofflage verlaufenden - Werkstofflagenverbindung und der entsprechenden (zweiten) Kante der benachbarten Werkstofflage zu berücksichtigen. Gleiches gilt entsprechend für den Abstand d_1 der - entlang der oder parallel zur anderen (ersten) Kante der aufliegenden Werkstofflage verlaufenden - ersten Werkstofflagenverbindung von der entsprechenden (ersten) Kante der benachbarten Werkstofflage.

Berücksichtigt man dies jedoch, so ergibt sich

$$L_{fv} = (SA + SI) \cdot \pi - (d_1 + d_2)$$

und damit:

$$B_i > L_{nfa} - \pi (SA + SI) - (d_1 + d_2),$$

als Bedingung für eine Stauchung. Will man eine maximale Stauchung erreichen, so ergibt sich für B_i dementsprechend:

$$B_i \geq \frac{L_{nfa} - \pi (SA + SI) - (d_1 + d_2)}{1 - \frac{\sigma_1}{E}}, \quad \text{mit } 0 < \frac{\sigma_1}{E} < 1.$$

Vorzugsweise ist das Verfahren zur Herstellung eines Mehrlagenrohres nach der vorliegenden Erfindung dadurch gekennzeichnet, daß die erste Verbindung zwischen den Werkstofflagen dadurch geschaffen wird, daß diese - vorzugsweise in etwa - entlang einer der Längs- oder Querkanten der aufliegenden Werkstofflage oder - vorzugsweise in etwa - entlang einer Linie parallel hierzu aber auch entlang der oder parallel zur zukünftigen Rohrlängsnaht erfolgt. Die aufgelegte(n) Werkstofflage(n) kann oder können somit mit ihrer Längskante parallel zur Längskante der benachbarten (etwa unterliegenden) Werkstofflage liegen, muß oder müssen dies aber nicht. So ist es auch möglich, daß sie mit ihrer Längskante quer hierzu zu liegen kommt oder kommen. Die Verbindung mit der benachbarten (etwa unten liegenden) Werkstofflage erfolgt aber vorzugsweise entlang der oder parallel zu der zukünftigen Rohrlängsnaht.

In diesem Zusammenhang sei angemerkt, daß dann, wenn in diesem Text hier von einer Verbindung entlang einer Kante oder entlang einer (vorzugsweise nur gedachten) Linie die Rede ist, damit jede Art von Verbindung entlang der Kante oder Linie gemeint ist, gleich, ob diese Verbindung entlang der gesamten Kante oder Linie oder nur abschnittsweise entlang der Kante oder Linie oder auch nur in einzelnen Punkten (wie etwa Punktschweißungen), etwa in zwei Punkten - vorzugsweise an den Endpunkten der Kante oder Linie - oder gar nur in einem einzelnen Punkt an der Kante oder auf der Linie besteht.

Auch kann die als Innenrohr fungierende Werkstofflage beim fertigen Mehrlagenrohr im Querschnitt einen Teilkreis bilden, was man dadurch erreichen kann, daß die Elemente der aufliegenden Werkstofflage, die später die Rohrrinnenlage bilden, nur einen Teil der Fläche der Werkstofflage abdecken, die später die Außenlage bildet.

Vorzugsweise formt dabei die als Innenrohr fungierende und beim fertigen Mehrlagenrohr im Querschnitt einen Teilkreis bildende Werkstofflage eine Rinne am Fuß des Mehrlagenrohres.

Nach Fertigstellung des Schlitzrohres, also nach Abschluß des - vorzugsweise wesentlichen - Rohrformungsprozesses, etwa in der Biegewalze, kann dann vorzugsweise bei dem erfindungsgemäßen Verfahren zur schnellen Herstellung eines Mehrlagenrohres das Mehrlagenrohr durch eine Schweißung des Außenrohres entlang der Rohrnaht geschlossen werden. Auch erfolgt hierzu vorzugsweise eine Auftragsschweißung des Innenrohres entlang der Rohrnaht. Vorzugsweise wird so der Mehrlagenrohrkörper fertiggestellt.

Ferner können die Werkstofflagen an den Stirnseiten des Rohres verbunden werden, etwa um dort das Eindringen von Feuchtigkeit zwischen die metallurgisch ja nicht vollflächig verbundenen Werkstofflagen zu verhindern.

Einen bevorzugten Anwendungsfall des Verfahrens nach der vorliegenden Erfindung stellt die Herstellung von Doppellagenrohren dar, gleichwohl beschränkt sich die Erfindung nicht hierauf, auch drei-, vier- und noch mehrlagigere erfindungsgemäße Rohre sind hiermit grundsätzlich herstellbar.

In einer weiteren besonders bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung finden Bleche, vorzugsweise Metallbleche und besonders bevorzugterweise Stahlbleche, als Werkstofflage oder Elemente der Werkstofflage Verwendung.

Auch erfolgt in dem Verfahren zur Herstellung eines Mehrlagenrohres nach der hier vorliegenden Erfindung vorzugsweise zumindest eine der Verbindungen der Werkstofflagen als Schweißung, was sich vor allem für die zuvor erwähnten Metallbleche, vorzugsweise Stahlbleche eignet.

Als Blechumformmaschine ist etwa eine Biegewalze, also z.B. eine Dreiwalzen-Rundbiegemaschine, aber auch eine Pressen-/Gesekanordnung, wie sie etwa im Rahmen des aus dem Stand der Technik bekannten UOE(U-Formen, O-Formen, Expandieren)-

Rohrformungsverfahrens (siehe zum UOE-Verfahren beispielsweise: Hiersig, Heinz M., Lexikon Maschinenbau, Heidelberg 1997, S. 704f. zum Stichwort „*Längsnaht-Großrohrherstellung*“) oder auch des sogenannten JCO-Rohrverformungsverfahrens verwendet wird, geeignet. Es ist jedoch zu berücksichtigen, daß nach dem Verfahren nach der vorliegenden Erfindung - je nach Werkstoffkombination - gegebenenfalls auf den letzten Schritt des Expandierens verzichtet werden muß, wenn hierdurch aufgrund des Streckgrenzenverhältnisses der Werkstoffe von jeweiliger Innen- zur Außenlage die Verpressung der Werkstofflagen gegeneinander wiederum zu sehr verschlechtert würde.

Beim **JCO**-Verfahren wird das Rohr dadurch geformt, daß das Blech in einer Presse mittels eines Schwertes zunächst in die Form eines liegenden **J** und dann in die eines liegenden **C** gebracht wird. Hiernach wird es dann - wie im Falle des UOE-Verfahrens auch - in die **O**-Form gebogen.

Im folgenden werden nicht einschränkend zu verstehende Ausführungsbeispiele anhand der Zeichnung besprochen. In dieser zeigen:

Fig. 1 - 6 eine perspektivisch skizzierte Ansicht einzelner Schritte des erfindungsgemäßen Verfahrens zur schnellen Herstellung eines Mehrlagenrohres mit Hilfe einer Blechumformmaschine, wobei diese einzelnen Schritte nicht notwendigerweise alle denselben Formungsprozeß derselben Werkstofflagen wiedergeben, sondern vielmehr in schematischer Weise charakteristische Schritte oder Stationen des Formungsprozesses zeigen und die einzelnen Werkstofflagen von Schritt zu Schritt bzw. von Station zu Station durchaus andere sein können, als sie in den vorangehenden oder folgenden Schritten oder Stationen zu sehen sind, um so verschiedene Varianten des erfindungsgemäßen Verfahrens anhand einer Serie von Darstellungen in den Fig. 1 bis 6 zeigen zu können,

Fig. 7 einen perspektivischen Querschnitt durch ein fertiggestelltes Mehrlagenrohr mit Innenlage (etwa auch Innenrohr, Innenrohrleitung, Innenblech etc. genannt) und Außenlage (etwa auch Außenrohr, Außenrohrleitung, Grundblech etc. genannt),

Fig. 8 einen perspektivischen Querschnitt durch ein Mehrlagenrohr nach Fig. 7 mit Innenlage und Außenlage in Detailansicht im Bereich der (Schweiß-)Verbindungen in der Nähe des Rohrlängsnahtschweißung,

Fig. 9 eine Situation bei dem erfindungsgemäßen Verfahren, wenn die Blechformung vermittels einer UO(E)-Pressen-/Gesenkanordnung ausgeführt wird,

Fig. 10 sodann den Formungsschritt der ein ,U' formt,

Fig. 11 sodann den Formungsschritt, der ein ,O', also ein Schlitzrohr ausformt, und

Fig. 12 ein exemplarisches Spannungs-Dehnungsdiagramm zur Erläuterung, wie die angestrebte maximale Preßkraft durch Stauchung der Innenlage dem Umfang nach erreicht wird.

Fig. 1 zeigt einen ersten und zweiten Schritt einer Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens zur schnellen Herstellung eines Mehrlagenrohres mit Hilfe einer Blechumformmaschine in perspektivischer Ansicht (die Blechumformmaschine ist hier nicht zu sehen).

In einem ersten Schritt werden einzelne zum Mehrlagenrohr zu kombinierende Werkstofflagen, nämlich eine aufliegende Werkstofflage 1 und eine benachbarte Werkstofflage 2 aufeinandergelegt.

In einem zweiten Schritt wird dann eine erste Verbindung 3a - vorzugsweise eine Schweißverbindung - zwischen der aufliegenden Werkstofflage 1 und der benachbarten Werkstofflage 2 dadurch geschaffen, daß die aufliegende Werkstofflage 1 mit der benachbarten Werkstofflage 2 - vorzugsweise in etwa - entlang einer ersten Kante 4a der aufliegenden Werkstofflage 1 verbunden- vorzugsweise verschweißt - wird. Die der ersten Kante 4a der aufliegenden Werkstofflage 1 entsprechende (erste) Kante 6a der benachbarten Werkstofflage 2 liegt hier von der ersten Verbindung 3a der beiden zu sehenden Werkstofflagen 1, 2 um den Abstand d_1 - im Hinblick auf die aufliegende Werkstofflage 1 und deren erste Kante 4a - nach außen hin versetzt. Die erste Verbindung 3a der Werkstofflagen 1, 2 liegt somit auch von der der ersten Kante 4a der aufliegenden Werkstofflage 1 entsprechenden (ersten) Kante 6a der benachbarten Werkstofflage 2 um den Abstand d_1 - im Hinblick auf die benachbarte (hier unten liegende) Werkstofflage 2 und deren erste Kante 6a - nach innen hin versetzt.

Fig. 2 zeigt sodann einen dritten Schritt des Verfahrens entsprechend den Fig. 1 bis 6, wo der durch die vorhergehenden Schritte gebildete Mehrlagen-Werkstoff in dem Bereich, in dem die Werkstofflagen 1, 2 entlang der Kante 4a durch die erste Verbindung 3a miteinander verbun-

den sind, angebogen wird, was etwa mittels einer Biegewalze, z.B. einer Dreiwalzen-Biegemaschine oder auch mittels einer Presse, etwa einer Abkantpresse, aber auch mittels jeder anderen hierzu geeigneten Maschine oder jedes anderen hierzu geeigneten Werkzeugs (gegebenenfalls auch manuell) geschehen kann. Hier liegen die erste Kante **4a** der aufliegenden Werkstofflage **1** und die entsprechende Kante **6a** der benachbarten Werkstofflage **1** bündig aneinander. Der in Fig. 1 erwähnte Abstand **d₁** zwischen der ersten Verbindung **3a** der Werkstofflagen **1** und **2** und der Kante **6a** der benachbarten Werkstofflage **2**, die hier entlang der beiden aneinander bündig liegenden Kanten **4a** und **6a** verläuft, beträgt bei den hier zu sehenden Werkstofflagen **1, 2** mithin also Null.

Fig. 3 zeigt sodann einen vierten Schritt des Verfahrens nach der vorliegenden Erfindung entsprechend den Fig. 1 bis 6, wobei hier die noch freie Kante **4b** der aufliegenden Werkstofflage **1** relativ zur benachbarten Werkstofflage **2** in Richtung **10** deren ebenfalls noch freier (zweiter) Kante **6b** bewegt wird. Dies geschieht vorzugsweise so, daß diese Kante **4b** etwa mittels einer Greifvorrichtung (hier nicht zu sehen) erfaßt wird, z.B. durch eine Zange, die die aufliegende Werkstofflage **1** mittels einer oder mehrerer Klemmbacken (hier nicht zu sehen) greift und dann - etwa mittels der Greifvorrichtung - in Richtung **10** der ja ebenfalls noch freien (zweiten) Kante **6b** der benachbarten Werkstofflage **2** gezogen wird. Dies kann aber auch vermittels jeder anderen hierzu geeigneten Maschine und/oder eines hierzu geeigneten Werkzeugs (gegebenenfalls z.B. aber auch manuell) geschehen. Grundsätzlich ist es auch möglich, die solchermaßen erfindungsgemäß vorgesehene Bewegung der Werkstofflagen **1, 2** und ihrer jeweiligen noch freien (zweiten) Kanten **4b, 6b** zueinander auch dadurch zu erreichen, daß die zur aufliegenden Werkstofflage **1** - vorzugsweise unterhalb - benachbarte Werkstofflage **2**, in Richtung der (zweiten) Kante **4b** der aufliegenden Werkstofflage **1** verschoben wird. Ebenso können auch beide Kanten **4b, 6b** gegeneinander bewegt werden. Entscheidend ist es dabei, daß es zu einer Relativbewegung der noch freien (zweiten) Kante **4b** der aufliegenden Werkstofflage **1** zur noch freien (zweiten) Kante **6b** der benachbarten Werkstofflage **2** kommt, die den Abstand dieser beiden noch freien (jeweiligen zweiten) Kanten **4b, 6b** zueinander - vorzugsweise bis auf einen Abstand von Null, mithin also keinen verbleibenden Abstand mehr - vermindert. Sodann kann eine zweite Verbindung **3b** zwischen den Werkstofflagen **1, 2** erfolgen, die hier entlang der (zweiten) noch freien Kante **4b** der aufliegenden Werkstofflage **1** - vorzugsweise als Schweißverbindung, - etwa als Schweißnaht - verläuft. Der Abstand **d₂** zwischen dieser (zweiten) Verbindung **3b** der Werkstofflagen miteinander zur (zweiten) Kante **6b** der benachbarten

(hier unten liegen) Werkstofflage ist hier ebenfalls kenntlich gemacht. Die der zweiten Kante **4b** der aufliegenden Werkstofflage **1** entsprechende (zweite) Kante **6b** der benachbarten Werkstofflage **2** liegt hier von der zweiten Verbindung **3b** der beiden zu sehenden Werkstofflagen **1**, **2** um den Abstand d_2 - im Hinblick auf die aufliegende Werkstofflage **1** und deren zweite Kante **4b** - nach außen hin versetzt. Die zweite Verbindung **3b** der Werkstofflagen **1**, **2** liegt somit auch von der der zweiten Kante **4b** der aufliegenden Werkstofflage **1** entsprechenden (zweiten) Kante **6b** der benachbarten Werkstofflage **2** um den Abstand d_2 - im Hinblick auf die benachbarte (hier unten liegende) Werkstofflage **2** und deren zweite Kante **6b** - nach innen hin versetzt.

Fig. 4 zeigt zum ersten einen fünften Schritt des Verfahrens entsprechend den Fig. 1 bis 6, in dem zwei Werkstofflagen **1**, **2** zu sehen sind, nachdem die zuvor noch freie Kante **4b** der aufliegenden Werkstofflage **1** relativ zur benachbarten Werkstofflage **2** in Richtung **10** deren ebenfalls zuvor noch freier Kante **6b** bewegt - vorzugsweise gezogen - wurde und in der, aus dieser Bewegung schließlich resultierenden Position der Werkstofflagen **1**, **2** zueinander eine zweite Verbindung **3b** - vorzugsweise eine Schweißverbindung, etwa eine Schweißnaht - zwischen der aufliegenden Werkstofflage **1** und der benachbarten Werkstofflage **2** geschaffen wurde. Eine erste Verbindung **3a** war bereits zuvor entlang der ersten Kante **4a** der aufliegenden Werkstofflage **1** geschaffen worden. In der Ausführungsform, die hier zu sehen ist, liegen zudem die jeweilig entsprechenden Kanten **4a**, **6a** einerseits und **4b** und **6b** andererseits beider Werkstofflagen **1** und **2** (in etwa) bündig aneinander, nämlich jeweils an der Linie, entlang derer jeweils auch die beiden Werkstofflagenverbindungen **3a** einerseits und **3b** andererseits geschaffen wurden. Nach der Ausführungsform, wie sie hier zu sehen ist, hat dabei das Bewegen der zuvor noch freien Kante **4b** der aufliegenden Werkstofflage **1** in Richtung **10** der ebenfalls zuvor noch freien Kante **6b** der - hier unten liegenden - benachbarten Werkstofflage **2** und die anschließende zweite Verbindung **3b** der beiden Werkstofflagen **1**, **2** entlang der zuvor noch freien Kante **4b** der aufliegenden Werkstofflage **1** bereits eine Wölbung des gesamten zukünftigen Rohrkörpers hervorgerufen.

Zum anderen zeigt Fig. 4 aber auch den ersten Schritt einer anderen Ausführungsform des Verfahrens nach der vorliegenden Erfindung, wo nämlich

zunächst die benachbarte Werkstofflage 2 gebogen wurde, etwa mittels Biegepresse für Blechtafeln, wie sie aus der WO 2010/118759 A2 bekannt ist und die es ermöglicht, im Bereich der Kanten 6a und 6b der benachbarten Werkstofflage 2 bereits den Endradius des zu fertigenden Mehrlagenrohres zu erreichen. Die Biegung der benachbarten Werkstofflage 2 kann aber etwa auch dadurch erreicht werden, daß diese Lage 2 in ein entsprechend geformtes Gesenk gepreßt oder auch nur gelegt wird, wo es aufgrund der Pressung oder durch sein Eigengewicht eine Biegung erfährt.

Die zum Mehrlagenrohr zu kombinierenden Werkstofflagen 1, 2 wurden sodann aufeinandergelegt, wobei die erste Werkstofflage 1 als aufliegende Werkstofflage 1 auf der benachbarten Werkstofflage 2 positioniert wurde.

Auch wurde eine erste Verbindung 3a zwischen der aufliegenden Werkstofflage 1 und der benachbarten Werkstofflage 2 dadurch geschaffen, daß die aufliegende Werkstofflage 1 mit der benachbarten Werkstofflage 2 in etwa entlang einer ersten Kante 4a der aufliegenden Werkstofflage 1 verbunden wurde. Eine zweite Verbindung 3b zwischen der aufliegenden Werkstofflage 1 und der benachbarten Werkstofflage 2 wurde ebenfalls geschaffen und zwar in etwa entlang einer zweiten Kante 4b der aufliegenden Werkstofflage 1, wobei diese Verbindungen sowohl nacheinander, aber auch - vorzugsweise in etwa - gleichzeitig erstellt werden können. Eine (in etwa) gleichzeitige Schaffung beider Verbindungen ist etwa dann möglich, wenn die aufliegende Werkstofflage 1 sogleich - etwa mittels einer geeigneten Fördereinrichtung - in richtiger Position auf der benachbarten - dann bereits gebogenen - Werkstofflage 2 positioniert wird.

Der so gebildete Mehrlagen-Werkstoff 1, 2 kann sodann mit Hilfe der Blechumformmaschine (hier nicht zu sehen) zum Mehrlagenrohr 5 geformt werden, wobei während dieser Formung ab einem gewissen Verformungsgrad die jeweilige aufliegende und sodann als Innenrohr fungierende Werkstofflage 1 zwischen den beiden Werkstofflagenverbindungen 3a, 3b in - im Querschnitt des (späteren) (Mehrlagen-)Rohres gesehen - (Teil-)Kreisumfangsrichtung gestaucht und somit in die benachbarte und sodann als Außenrohr fungierende Werkstofflage 2 gepreßt wird.

Die Fig. 5 und 6 zeigen schließlich den letzten Schritt einer bevorzugten Ausführungsform des Verfahrens nach der vorliegenden Erfindung entsprechend den Fig. 1 bis 6, wo der durch vorhergehende Schritte gebildete Mehrlagen-Werkstoff mit Hilfe der Blechumformmaschine (hier nicht zu sehen) zum Rohr 5 (genauer zum Schlitzrohr), nämlich zum Mehrlagenrohr (genauer Mehrlagenschlitzrohr) geformt wird, wobei die während dieser Formung die Werkstoffla-

gen **1, 2** - bedingt durch die zuvor erfolgten Verbindungen **3a, 3b** miteinander - (vorzugsweise ab einem bestimmten Verformungsfortschritt) zwischen den beiden Verbindungen **3a** und **3b** in - im Querschnitt des (späteren) (Mehrlagen-)Rohres gesehen - (Teil-)Kreisumfangsrichtung gestaucht werden, wodurch die jeweilige als Innenrohr fungierende Werkstofflage **1** - vorzugsweise kraftschlüssig - in die jeweilig als Außenrohr fungierende Werkstofflage **2** gepreßt wird.

Fig. 7 zeigt sodann einen perspektivischen Querschnitt durch ein fertiggestelltes Mehrlagenrohr **5** mit Innenlage (etwa auch innen liegende Werkstofflage, Werkstoffinnenlage, Innenrohr, Innenrohrleitung, Innenblech oder dergleichen genannt) **1** und Außenlage (etwa auch außen liegende Werkstofflage, Werkstoffaußenlage, Außenrohr, Außenrohrleitung, Grundblech oder dergleichen genannt) **2**, wobei das Mehrlagenrohr **5** vorzugsweise durch eine Schweißung **7** des Außenrohres **2** entlang einer Rorhrnaht **8** geschlossen wurde. Vorzugsweise kann zum Schließen des Rohres auch eine Auftragsschweißung **9** des Innenrohres **1** erfolgen, was hier zu sehen ist. Eine solche Auftragsschweißung **9** ist jedoch nicht zwingend. Die erste (Schweiß-)Verbindung **3a** und die zweite (Schweiß-)Verbindung **3b** zwischen der aufliegenden Werkstofflage **1** und der benachbarten Werkstofflage **2** sind ebenfalls dargestellt.

Fig. 8 zeigt einen perspektivischen Querschnitt durch ein Mehrlagenrohr nach Fig. 7 mit Innenlage **1** und Außenlage **2** in Detailansicht im Bereich der (Schweiß-)Verbindungen (etwa Schweißnähte) **3a, 3b** und der Schweißungen (etwa Schweißnähte oder Auftragsschweißungen) **7** und **9**.

Fig. 9 zeigt eine Situation des erfindungsgemäßen Verfahrens, wenn die Blechformung etwa mittels einer UO(E)-Pressen-/Gesenkanordnung ausgeführt wird. Die später außen liegende Werkstofflage **2** liegt hier unten und die spätere Innenlage **1** oben. Die obere Lage **1** wurde mit ihrer - nach Schweißung der ersten Verbindung **3a** mit der benachbarten Lage **2** - noch freien Kante **4b** in Richtung **10** der ebenfalls noch freien Kante **6b** der benachbarten (hier unten liegenden) Werkstofflage **2** gezogen bis der Abstand beider Kanten **4b** und **6b** Null ward (die Kanten **4b** und **6b** also unmittelbar aneinanderstießen) und in dieser Position der Kanten **4b** und **6b** zueinander mit der benachbarten - hier unten liegenden - Werkstofflage **2** entlang der Kante **4b** randseitig verschweißt, wodurch eine zweite Verbindung **3b** zwischen den Werkstofflagen **1, 2** entstanden ist. Das Herüberziehen der zunächst noch freien Kante **4b** der aufliegenden Werkstofflage **1** in Richtung **10** der zunächst ebenfalls noch freien Kante **6b** der benachbar-

ten (hier unten liegenden) Werkstofflage 2 hat dabei hier zugleich auch ein Biegen (sei es ein plastisches Biegen, sei es ein elastisches Biegen) am anderen Ende der Werkstofflagen 1, 2, nämlich im Bereich der ersten Verbindung 3a hervorgerufen, was noch einmal zeigt, daß das Biegen nicht unbedingt als erster Verfahrensschritt ausgeführt werden muß.

Fig. 10 zeigt sodann den Formungsschritt der ein ‚U‘ formt und zwar vermittelt einer Presse (hier nicht dargestellt), die einen entsprechend ausgeformten Stempel 11 nach unten treibt, wo die Werkstofflagen 1 und 2 hierdurch gemeinsam in ein Gesenk (hier nicht ebenfalls nicht zu sehen) getrieben werden. Hierbei wird die als Innenrohr fungierende Werkstofflage 1 - vorzugsweise ab einem bestimmten Verformungsfortschritt - (bei entsprechender Breite der Innenlage 1) zwischen den beiden Verbindungen 3a, 3b der Werkstofflagen 1, 2 gestaucht und (kraftschlüssig) in die als Außenrohr fungierende Werkstofflage 2 gepreßt.

Fig. 11 zeigt sodann den Formungsschritt, der ein ‚O‘, also ein Schlitzrohr ausformt und zwar vermittelt einer Presse (hier nicht dargestellt), die zwei als Halbrund ausgeformte Stempel 12, 13 gegen den zu formenden Rohrkörper treibt, wo die Werkstofflagen 1 und 2 hierdurch wiederum gemeinsam zu einem - im Querschnitt gesehen - Rund geformt werden. Auch hierbei wird die innen liegende Werkstofflage 1 bei entsprechender Breite zwischen den beiden Werkstofflagenverbindungen 3a und 3b gestaucht und dort in die Außenlage 2 gepreßt. Infolge der Wölbung, die sich im übrigen auch bei anderen Blechumformmaschinen zur Rohrformung oder Rohrformungswerkzeugen oder Rohrformungsmethoden, wie etwa bei der Rohrformung mittels einer Biegewalze, etwa einer Dreiwalzen-Biegemaschine ergibt, springt die Innenlage 1 nicht von der Außenlage 2 ab, sondern legt sich an die Außenlage 2 an.

Es sei angemerkt, daß das erfindungsgemäße Verfahren in ähnlicher Weise vermittelt einer Pressen-/Gesenkanordnung, die für das sogenannte ‚JCO‘-Verfahren ausgelegt ist, durchgeführt werden kann. Hier wird dann entsprechend dem JCO-Verfahren vorgegangen, dies aber so modifiziert, daß wiederum zwei Werkstofflagen 1 und 2, wie beim erfindungsgemäß modifizierten UO(E)-Verfahren gebildet werden. Auch hier wird die aufliegende Werkstofflage 1 mit der die spätere Außenlage bildenden Werkstofflage 2 zumindest durch zwei Verbindungen 3a, 3b konnektiert und sodann ein Schlitzrohr nach dem JCO-Verfahren geformt. Auch hierbei tritt der gewünschte erfindungsgemäße Effekt ein, bei dem (vorzugsweise ab einem bestimmten Verformungsfortschritt) eine Stauchung der Innenlage 1 - bei entsprechender Breite - zwischen

den beiden Werkstofflagenverbindungen **3a** und **3b** eintritt und so die Innenlage **1** in die Außenlage **2** gepreßt wird.

In allen Fällen, also insbesondere beim erfindungsgemäß modifizierten UO(E)-Verfahren, wie auch bei dem erfindungsgemäß modifizierten JCO -Verfahren können die Verbindungen **3a** und **3b** der beiden Werkstofflagen **1** und **2** mittels einer Schweißung - etwa einer Schweißnaht - hergestellt werden.

Fig. **12** zeigt ein exemplarisches Spannungs-Dehnungsdiagramm zur Erläuterung, wie die angestrebte maximale Preßkraft durch Stauchung der Innenlage dem Umfang nach erreicht wird.

Ziel der vorliegenden Erfindung ist es, das Innenlagenmaterial des Mehrlagenrohres so weit zu stauchen, daß man in den Bereich **S** des hier zu sehenden Spannungs-Dehnungsdiagramms gelangt, um so die durch die Stauchung maximal mögliche Verpressung der Innen- in die Außenlage zu erreichen, was einen möglichst festen Sitz des Innenrohres im Außenrohr gewährleisten soll.

Wird die jeweilig als Innenrohr fungierende Werkstofflage bei der Rohrformung in der Breite - etwa durch die erste und zweite Verbindung der beiden Werkstofflagen miteinander bei entsprechend ausreichender Breite B_i der Innenlage - gestaucht, so wird die jeweilig als Innenrohr fungierende Werkstofflage dadurch auch in die jeweilige äußere (also vom Rohrrinnenraum gesehen nach außen benachbarte) Werkstofflage gepreßt. Dabei läßt sich diese Preßkraft bis zur Streckgrenze σ_I (respektive Stauchgrenze, die in der Regel - insbesondere bei gewalzten Metallblechen, in etwa gleich der Streckgrenze ist -) steigern. In Fällen, in denen keine ausgeprägte Streck- oder Stauchgrenze vorliegt, kann anstelle dieser auch die sogenannte technische Streckgrenze (auch Dehngrenze als Betrag der Spannung einer plastischen bleibenden Dehnung unter einer bestimmten Krafteinwirkung genannt) oder technische Stauchgrenze genannt treten. Oberhalb der Zone der sogenannten ‚Hook’schen Geraden’ - hier in der Figur der Bereich **H** -, also etwa im Bereich der plastischen Dehnung (z.B. im Bereich der sogenannten ‚Lüderskurve’) – hier also der Bereich **S** - hingegen läßt sich diese Kraft nicht mehr wesentlich (zumindest nicht mehr proportional) steigern.

Die Bedingung

$$B_i > L_{nfa} - \pi (SA + SI),$$

bzw. die Bedingung

$$B_i > L_{nfa} - \pi (SA + SI) - (d_1 + d_2) ,$$

wenn man die Verpressung zwischen den beiden Werkstofflagenverbindungen berücksichtigt, die im Abstand von d_1 bzw. d_2 zu den jeweiligen Kanten der benachbarten Werkstofflage vorzugsweise nach innen (d.h. zur Mitte der benachbarten Werkstofflage) hin liegen (Erfolgt die Verbindung entlang der jeweiligen Kante der aufliegenden Werkstofflage und kommen diese hierzu auch noch jeweils bündig zu ihrer entsprechenden Kante der benachbarten Werkstofflage zu liegen, so wird der Term $d_1 + d_2 = 0$!), stellt zunächst überhaupt eine Stauchung sicher. Will man darüber hinaus eine maximale Stauchung und damit auch eine maximale Preßkraft (infolge dieser Stauchung) erreichen, so ist folgendes zu bedenken:

Der Stauchungsgrad der Innenwerkstofflage zum Erreichen der Stauchgrenze - hier ϵ_{St} - ergibt sich nach dem Hook'schen Gesetz zu:

$$\epsilon_{St} = \frac{\sigma_I}{E} ,$$

wobei E die Steigung der sogenannten Hook'schen Geraden im Bereich H ist, wenn es eine solche (ausgeprägte Hook'sche Gerade) für das Material gibt. Demnach gilt für den Fall, daß die maximale Preßkraft der Innenwerkstofflage gegen die Außenwerkstofflage gerade eben erreicht werden soll:

$$B_i - B_i \cdot \epsilon_{St} = L_{nfa} - \pi \cdot (SA + SI) .$$

Hinsichtlich der Breite, die sich für das Band der Innenwerkstofflage in diesem Falle ergibt, gilt also:

$$\begin{aligned} B_i &= \frac{L_{nfa} - \pi (SA + SI)}{1 - \epsilon_{St}} \\ &= \frac{L_{nfa} - \pi (SA + SI)}{1 - \frac{\sigma_I}{E}} \end{aligned}$$

wobei für den maximal erreichbaren Stauchungsgrad $0 < \frac{\sigma_I}{E} < 1$ gilt.

Für praktische Zwecke ist zu bedenken, daß – so man die maximale Preßkraft der Innen- gegen die Außenlage möglichst zuverlässig auch tatsächlich, jedenfalls in etwa, erreichen will – es sicherzustellen gilt, daß die Stauchgrenze σ_I ($\approx$ Streckgrenze) auch tatsächlich erreicht ist. Dies kann man dadurch erzielen, daß man zum maximalen Stauchungsgrad, wie er sich aufgrund der Materialkonstanten σ_I und E ergibt, noch einen gewissen Zuschlag - vorzugsweise von bis zu 800 % des maximalen Stauchungsgrades, besonders bevorzugterweise aber von bis zu 600 % oder aber bis zu 300 % oder bis zu 200 % oder bis zu 100 % des maximalen Stauchungsgrades ϵ_{SI} - gibt.

Vorzugsweise kann daher bei dem erfindungsgemäßen Verfahren zur Herstellung von Mehrlagenrohren für die Breite des als Innenrohr fungierenden Werkstofflagenbandes im Hinblick auf die Erzielung einer möglichst hohen Preßkraft der Innen- gegen die Außenlage für praktische Zwecke gefordert werden, daß gilt:

$$B_i > \frac{L_{nfa} - \pi (SA + SI)}{1 - \frac{\sigma_I}{E}}, \quad \text{mit } 0 < \frac{\sigma_I}{E} < 1.$$

Dadurch, daß die Breite der Innenlage also größer als der rechts der Gleichung stehende Term gewählt wird, wird ein Stauchungszuschlag berücksichtigt, der die Fertigungsungenauigkeiten - etwa in Lage und/oder Führung der Werkstofflagenbänder zueinander - so zu kompensieren vermag, daß die angestrebte maximale Preßkraft des Innenrohres gegen das Außenrohr - jedenfalls in etwa - sicher erreicht wird. Auf diese Weise erreicht man für das Material der Innenlage somit sicher den Bereich S, wo die angestrebte maximale Preßkraft des Innenrohres gegen das Außenrohr sicher gewährleistet ist, da von hier aus gesehen - in etwa - immer die maximale Rückfederkraft des Innenrohres wirkt. Stauchungszuschläge von 100 %, 200 % und 300 % sind zur Veranschaulichung mit in das Diagramm eingetragen. Ebenso ist der Rückfederweg **R** von 300 % Stauchungszuschlag ausgehend exemplarisch mit in das Diagramm eingetragen. Hieraus geht hervor, daß sich die aus der Stauchung der Innenlage herrührende Preßkraft im Bereich S nicht mehr, jedenfalls nicht mehr wesentlich, steigert.

Berücksichtigt man wiederum die Verpressung der Werkstofflagen gegeneinander im Bereich zwischen den beiden Werkstofflagenverbindungen, die im Abstand von d_1 bzw. d_2 zu den je-

weiligen Kanten der benachbarten Werkstofflage vorzugsweise nach innen (d.h. zur Mitte der benachbarten Werkstofflage) hin liegen, so ergibt sich für B_i als Breite der Innenlage zwischen den beiden Werkstofflagenverbindungen:

$$B_i \geq \frac{L_{nfa} - \pi(SA + SI) - (d_1 + d_2)}{1 - \frac{\sigma_1}{E}}, \quad \text{mit } 0 < \frac{\sigma_1}{E} < 1.$$

so man eine maximale Preßkraft der Innen- gegen die Außenlage im Bereich zwischen den beiden Werkstofflagenverbindungen erreichen will. Für den Stauchungszuschlag gilt auch hier das bereits vorstehend Gesagte.

Titel: Verfahren zur schnellen Herstellung eines Mehrlagenrohres

Patentansprüche

1. Verfahren zur schnellen Herstellung eines Mehrlagenrohres (5) mit Hilfe einer Blechumformmaschine, dadurch gekennzeichnet, daß das Mehrlagenrohr (5) zumindest eine erste Werkstofflage (1) und eine zur ersten Werkstofflage (1) benachbarte Werkstofflage (2) aufweist, wobei
 - nicht zwingend in nachstehender Reihenfolge -
 - die benachbarte Werkstofflage (2) zumindest leicht gebogen wird,
 - die zum Mehrlagenrohr (5) zu kombinierenden Werkstofflagen (1, 2) aufeinandergelegt werden, wobei die erste Werkstofflage (1) als aufliegende Werkstofflage (1) auf der benachbarten Werkstofflage (2) positioniert wird,
 - eine erste Verbindung (3a) zwischen der aufliegenden Werkstofflage (1) und der benachbarten Werkstofflage (2) dadurch geschaffen wird, daß
die aufliegende Werkstofflage (1) mit der benachbarten Werkstofflage (2) in etwa entlang einer ersten Kante (4a) der aufliegenden Werkstofflage (1) oder in etwa entlang einer Linie parallel hierzu verbunden wird,
 - eine zweite Verbindung (3b) zwischen der aufliegenden Werkstofflage (1) und der benachbarten Werkstofflage (2) dadurch geschaffen wird, daß
die aufliegende Werkstofflage (1) mit der benachbarten Werkstofflage (2) in etwa entlang einer zweiten Kante (4b) der aufliegenden Werkstofflage (1) oder in etwa entlang einer Linie parallel hierzu verbunden wird, und

- der so gebildete Mehrlagen-Werkstoff (1, 2) mit Hilfe der Blechumformmaschine zum Mehrlagenrohr (5) geformt wird, wobei

während dieser Formung ab einem gewissen Verformungsgrad die jeweilige aufliegende und sodann als Innenrohr fungierende Werkstofflage (1) zwischen den beiden Werkstofflagenverbindungen (3a, 3b) in (Teil-)Kreisumfangsrichtung gestaucht und somit in die jeweilige benachbarte und sodann als Außenrohr fungierende Werkstofflage (2) gepreßt wird.
- 2. Verfahren zur schnellen Herstellung eines Mehrlagenrohres (5) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Biegung der benachbarten Werkstofflage (2) entlang zumindest einer ihrer Kanten bereits auf den Endradius des zu fertigenden Mehrlagenrohres (5) erfolgt.
- 3. Verfahren zur schnellen Herstellung eines Mehrlagenrohres (5) nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß
 - die zum Mehrlagenrohr (5) zu kombinierenden Werkstofflagen (1, 2) aufeinandergelegt werden,
 - dann eine erste Verbindung (3a) zwischen der aufliegenden Werkstofflage (1) und der benachbarten Werkstofflage (2) dadurch geschaffen wird, daß die aufliegende Werkstofflage (1) mit der benachbarten Werkstofflage (2) in etwa entlang der ersten Kante (4a) der aufliegenden Werkstofflage (1) oder in etwa entlang einer Linie parallel hierzu verbunden wird,
 - worauf der so gebildete Mehrlagen-Werkstoff in dem Bereich, in dem die Werkstofflagen (1, 2) in etwa entlang der Kante (4a) oder entlang einer Linie in etwa parallel hierzu durch die erste Verbindung (3a) miteinander verbunden sind, zumindest leicht gebogen wird, und
 - die zweite noch freie Kante (4b) der aufliegenden Werkstofflage (1) relativ zur benachbarten Werkstofflage (2) in Richtung einer ebenfalls noch freien Kante (6b) der benachbarten Werkstofflage (2) positioniert wird,

- sodann die zweite Verbindung (3b) zwischen der aufliegenden Werkstofflage (1) und der benachbarten Werkstofflage (2) dadurch geschaffen wird, daß

die aufliegende Werkstofflage (1) mit der benachbarten Werkstofflage (2) in etwa entlang der zweiten bis dahin noch freien Kante (4b) der aufliegenden Werkstofflage (1) oder in etwa entlang einer Linie parallel hierzu verbunden wird, und

- der so gebildete Mehrlagen-Werkstoff mit Hilfe der Blechumformmaschine zum Mehrlagenrohr (5) geformt wird, wobei

während dieser Formung ab einem gewissen Verformungsgrad die jeweilige aufliegende und sodann als Innenrohr fungierende Werkstofflage (1) zwischen den beiden Werkstofflagenverbindungen (3a, 3b) in (Teil-)Kreisumfangsrichtung gestaucht und somit in die jeweilige benachbarte und sodann als Außenrohr fungierende Werkstofflage (2) gepreßt wird.

4. Verfahren zur schnellen Herstellung eines Mehrlagenrohres (5) nach Anspruch 1, 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Breite vor Rohrformung B_i , der jeweilig als Innenrohr fungierenden Werkstofflage (1) im Bereich zwischen den beiden Verbindungen (3a und 3b) der Werkstofflagen (1, 2) miteinander so gewählt wird, daß

$$B_i > L_{nfa} - \pi (SA + SI) - (d_1 + d_2) \text{ ist,}$$

mit B_i als der im Rohrquerschnitt betrachteten (Teil-)Kreisumfangslänge (=Breite vor Rohrformung) der jeweilig als Innenrohr fungierenden Werkstofflage (1) im Bereich zwischen den beiden Verbindungen (3a, 3b) zwischen den Werkstofflagen (1, 2) vorzugsweise in mm angegeben,

L_{nfa} als der im Rohrquerschnitt gesehenen Kreisumfangslänge (=Breite vor Rohrformung) der jeweilig als Außenrohr fungierenden Werkstofflage (2) vorzugsweise in mm angegeben,

SA als der Wanddicke des jeweilig als Außenrohr fungierenden Werkstofflage (2) vorzugsweise in mm angegeben,

SI als der Wanddicke des jeweilig als Innenrohr fungierenden Werkstofflage (1) vorzugsweise in mm angegeben, und

- d₁** als dem Abstand der ersten Verbindung (**3a**) entlang der ersten Kante (**4a**) der aufliegenden Werkstofflage (**1**) oder entlang einer Linie parallel hierzu von der entsprechenden ersten Kante (**6a**) der benachbarten Werkstofflage (**2**) zum Zeitpunkt der Schaffung der ersten Verbindung (**3a**) zwischen den Werkstofflagen (**1**, **2**) vorzugsweise in mm angegeben, und
- d₂** als dem Abstand der zweiten Verbindung (**3b**) entlang der zweiten Kante (**4b**) der aufliegenden Werkstofflage (**1**) oder entlang einer Linie parallel hierzu von der entsprechenden zweiten Kante (**6b**) der benachbarten Werkstofflage (**2**) zum Zeitpunkt der Schaffung der zweiten Verbindung (**3b**) zwischen den Werkstofflagen (**1**, **2**) vorzugsweise in mm angegeben.
5. Verfahren zur schnellen Herstellung eines Mehrlagenrohres (**5**) nach Anspruch 1, 2, 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Breite vor Rohrformung **B_i**, der jeweilig als Innenrohr fungierenden Werkstofflage (**1**) im Bereich zwischen den beiden Verbindungen (**3a** und **3b**) der Werkstofflagen (**1**, **2**) miteinander so gewählt wird, daß

$$B_i \geq \frac{L_{nfa} - \pi (SA + SI) - (d_1 + d_2)}{1 - \frac{\sigma_1}{E}} \text{ ist, und zwar mit } 0 < \frac{\sigma_1}{E} < 1$$

mit **B_i** als der im Rohrquerschnitt betrachteten (Teil-)Kreisumfangslänge (=Breite vor Rohrformung) der jeweilig als Innenrohr fungierenden Werkstofflage (**1**) im Bereich zwischen den beiden Verbindungen (**3a**, **3b**) zwischen den Werkstofflagen (**1**, **2**) vorzugsweise in mm angegeben,

L_{nfa} als der im Rohrquerschnitt gesehenen Kreisumfangslänge (=Breite vor Rohrformung) der jeweilig als Außenrohr fungierenden Werkstofflage (**2**) vorzugsweise in mm angegeben,

SA als der Wanddicke der jeweilig als Außenrohr fungierenden Werkstofflage (**2**) vorzugsweise in mm angegeben,

SI als der Wanddicke der jeweilig als Innenrohr fungierenden Werkstofflage (**1**) vorzugsweise in mm angegeben,

- σ_I als Streckgrenze oder Stauchgrenze der aufliegenden Werkstofflage (Innenlage) (1), also des (späteren) Innenrohres vorzugsweise in N/mm² angegeben, und mit
- E** als dem Elastizitätsmodul (E-Modul) der aufliegenden Werkstofflage (Innenlage) (1), also des (späteren) Innenrohres vorzugsweise in N/mm², und
- d₁** als dem Abstand der ersten Verbindung (3a) entlang der ersten Kante (4a) der aufliegenden Werkstofflage (1) oder entlang einer Linie parallel hierzu von der entsprechenden ersten Kante (6a) der benachbarten Werkstofflage (2) zum Zeitpunkt der Schaffung der ersten Verbindung (3a) zwischen den Werkstofflagen (1, 2) vorzugsweise in mm angegeben, und
- d₂** als dem Abstand der zweiten Verbindung (3b) entlang der zweiten Kante (4b) der aufliegenden Werkstofflage (1) oder entlang einer Linie parallel hierzu von der entsprechenden zweiten Kante (6b) der benachbarten Werkstofflage (2) zum Zeitpunkt der Schaffung der zweiten Verbindung (3b) zwischen den Werkstofflagen (1, 2) vorzugsweise in mm angegeben.
6. Verfahren zur schnellen Herstellung eines Mehrlagenrohres (5) nach Anspruch 2, 3, 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Relativbewegung der zweiten noch freien Kante (4b) der aufliegenden Werkstofflage (1) zur benachbarten Werkstofflage (2) in Richtung der ebenfalls noch freien Kante (6b) der benachbarten Werkstofflage (1) dadurch erfolgt, daß die aufliegende Werkstofflage (1) an ihrer zweiten, noch freien Kante (4b) in Richtung der ebenfalls noch freien Kante (6b) der benachbarten Werkstofflage (2) gezogen wird.
7. Verfahren zur schnellen Herstellung eines Mehrlagenrohres (5) nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß die erste Verbindung (3a) zwischen den Werkstofflagen (1, 2) dadurch geschaffen wird, daß die Werkstofflagen (1, 2) in etwa entlang einer der Längs- oder Querkanten der aufliegenden Werkstofflage (1) oder parallel hierzu und in etwa entlang der oder parallel zur zukünftigen Rohrlängsnaht (8) miteinander verbunden werden.
8. Verfahren zur schnellen Herstellung eines Mehrlagenrohres (5) nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß die zweite Verbindung (3b) zwischen den Werkstofflagen (1, 2) dadurch geschaffen wird, daß die Werkstofflagen (1, 2) in etwa entlang einer der Längs- oder

Querkanten der aufliegenden Werkstofflage (1) oder parallel hierzu und in etwa entlang der oder parallel zur zukünftigen Rohrlängsnaht (8) miteinander verbunden werden.

9. Verfahren zur schnellen Herstellung eines Mehrlagenrohres (5) nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß die als Innenrohr fungierende Werkstofflage (1) beim fertigen Mehrlagenrohr (5) im Querschnitt einen Teilkreis bildet.
10. Verfahren zur schnellen Herstellung eines Mehrlagenrohres (5) nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß die als Innenrohr fungierende und beim fertigen Mehrlagenrohr (5) im Querschnitt einen Teilkreis bildende Werkstofflage (1) eine Rinne am Fuß des Mehrlagenrohres formt.
11. Verfahren zur schnellen Herstellung eines Mehrlagenrohres (5) nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß als erste (3a) oder zweite Verbindung (3b) zwischen den aufeinanderliegenden Werkstofflagen (1, 2) eine Schweißung erfolgt.
12. Verfahren zur Herstellung eines Mehrlagenrohres (5) nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß das Mehrlagenrohr (5) durch eine Schweißung (7) des Außenrohres (2) entlang der Rohrnaht (8) geschlossen wird.
13. Verfahren zur Herstellung eines Mehrlagenrohres (5) nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß zudem eine Auftragsschweißung (9) des Innenrohres (1) entlang der Rohrnaht (8) von innen her erfolgt.
14. Verfahren zur Herstellung eines Mehrlagenrohres (5) nach einem der Ansprüche 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß die Werkstofflagen (1, 2) an den Stirnseiten des Rohres (5) verbunden - vorzugsweise verschweißt - werden.
15. Verfahren zur Herstellung eines Mehrlagenrohres (5) nach einem der Ansprüche 1 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß als Mehrlagenrohr (5) ein Doppellagenrohr hergestellt wird.
16. Verfahren zur Herstellung eines Mehrlagenrohres (5) nach einem der Ansprüche 1 bis 15, dadurch gekennzeichnet, daß Bleche, vorzugsweise Metallbleche und besonders bevorzugterweise Stahlbleche, als Werkstofflage (1, 2) verwendet werden.
17. Verfahren zur Herstellung eines Mehrlagenrohres (5) nach einem der Ansprüche 1 bis 16, dadurch gekennzeichnet, daß als Blechumformmaschine eine Biegewalze Verwendung findet.

18. Verfahren zur Herstellung eines Mehrlagenrohres (5) nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, daß als Biegewalze eine Dreiwalzen-Biegemaschine dient.
19. Verfahren zur Herstellung eines Mehrlagenrohres (5) nach einem der Ansprüche 1 bis 16 dadurch gekennzeichnet, daß als Blechumformmaschine eine UO(E)-Pressen-/Gesekanordnung (13, 14, 15) Verwendung findet.
20. Verfahren zur Herstellung eines Mehrlagenrohres (5) nach einem der Ansprüche 1 bis 16 dadurch gekennzeichnet, daß als Blechumformmaschine eine JCO-Pressen-/Gesekanordnung Verwendung findet.