
Verfahren zur Herstellung eines Stahlprofils

Die Erfindung liegt auf dem Gebiet der Stahlverarbeitung und Stahlherstellung, insbesondere der Herstellung von Stahlprofilen. Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung eines Stahlprofils. Die Erfindung betrifft weiterhin ein Stahlprofil, insbesondere hergestellt gemäß einem vorgenannten Verfahren. Die Erfindung betrifft ferner eine
5 Spundbohle, insbesondere Z-Spundbohle. Die Erfindung betrifft weiter ein System zur Herstellung eines Stahlprofils aus einem Werkstück, insbesondere einem Stahlrohling, bevorzugt einem Band-Stahlrohling.

Verfahren zur Herstellung eines Stahlprofils, Stahlprofile, Spundbohlen und Systeme zur Herstellung eines Stahlprofils sind aus dem Stand der Technik grundsätzlich bekannt.
10 Häufig werden Stahlprofile in Stahlwerken im Stranggussverfahren, im Warmwalz- oder Kaltwalzverfahren hergestellt. Bekannt sind zudem Stahlprofile, die durch Massivumformen von Stahlrohlingen hergestellt werden. Bei dem Bau von Spundwänden werden Stahlprofile häufig als Spundwandkomponenten in Form von Spundbohlen verwendet. Dabei sind insbesondere sogenannte Z-Spundbohlen und U-Spundbohlen bekannt, die
15 mittels unterschiedlicher Schlossformen, z.B. mittels sogenannter Larssenschlösser, miteinander verbunden werden. Die Spundbohlen werden dabei in der Regel miteinander verbunden, indem die Schlösser beim Einlassen, Rammen oder Rütteln ins Erdreich ineinander geschoben werden.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, ein verbessertes Verfahren zur Herstellung eines Stahlprofils, ein verbessertes Stahlprofil, eine verbesserte Spundbohle und ein verbessertes System zur Herstellung eines Stahlprofils aus einem Werkstück zur Verfügung zu stellen.

- 5 Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch ein Verfahren zur Herstellung eines Stahlprofils gelöst, welches die Schritte umfasst: Bereitstellen eines Werkstücks, insbesondere eines Stahlrohrlings, bevorzugt eines Band-Stahlrohrlings, Bilden einer Schwächung im Bereich einer vorgesehenen Biegung des Werkstücks und Biegen des Werkstücks zum Erzeugen einer Biegung an dem Werkstück.

- 10 Die Erfindung hat erkannt, dass die bekannten Verfahren mehrere Nachteile aufweisen. Zum einen sind die bekannten Verfahren energieintensiv, arbeitsintensiv und mit hohen Rüst- bzw. Anlaufkosten verbunden. Daraus resultieren hohe Mindestbestellmengen und vergleichsweise lange Lieferzeiten, so dass eine weit vorausschauende Produktionsplanung und ein hoher Lagerbestand notwendig sind, um flexibel auf Kundenbestellungen
15 reagieren zu können.

- Die Vorteile des erfindungsgemäßen Verfahrens liegen darin, dass eine autonome, flexible und vollautomatischen Produktion von Stahlprofilen, bevorzugt direkt von einem Coil bzw. einer Band-Stahlrolle oder ausgehend von Flachstahlwerkstücken ermöglicht wird. Zudem werden Produktionskosten durch vergleichsweise geringe Rüstkosten,
20 geringe Arbeitskosten und geringen Materialverlust niedrig gehalten. Die bei Anwendung des Verfahrens erzielte bedarfsgerechte und zeitnahe Produktion ermöglicht zudem niedrige Lagerungskosten. Desweiteren arbeitet das Verfahren energieeffizient, sauber und umweltfreundlich. Energie wird insbesondere bei der Verarbeitung von dickwandigem Stahl eingespart.

- 25 Bevorzugt verläuft die Schwächung des Werkstücks entlang einer vorgesehenen Biegung des Werkstücks.

- Gemäß einer vorteilhaften Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens wird die Schwächung durch Bilden einer Ausnehmung, insbesondere einer Kerbung, in dem Werkstück gebildet. Dies stellt eine besonders zweckmäßige und einfache Variante zum
30 Bilden einer Schwächung im Bereich einer vorgesehenen Biegung des Werkstücks dar.

Unter dem Begriff Kerbung ist im Rahmen der vorliegenden Erfindung eine Ausnehmung zu verstehen, welche derart im Werkstück gebildet wird, dass sie ein offenes Ende aufweist.

5 Nach einer weiteren erfindungsgemäßen Ausführungsform des Verfahrens erfolgt das Bilden der Schwächung, insbesondere einer die Schwächung bildenden Ausnehmung, durch Fräsen, Walzen, Stanzen oder Prägen. Dadurch können Schwächungen besonders einfach und ggf. automatisiert in dem Werkstück gebildet werden.

10 Bei einer besonders bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens wird die Schwächung nach dem Biegen durch Schweißen, insbesondere Laserschweißen, bevorzugt durch ein Laserhybrid-Schweißverfahren, verstärkt. Durch das Verstärken einer für das Biegen vorgesehenen Schwächung nach dem Biegen wird ein Stahlprofil mit besonders hoher Steifigkeit hergestellt.

15 Bevorzugt dient das Schweißen dazu, eine beim Biegen teilweise geschlossene Ausnehmung komplett zu schließen. Dabei können beispielsweise aneinander stoßende Enden der Ausnehmung des Werkstücks durch Schweißen unlösbar verbunden werden.

Unter dem Begriff Laserschweißen ist im Rahmen der vorliegenden Erfindung das unlösbare Verbinden von zwei Enden eines Stahlprofils unter Verwendung eines optisch fokussierten Laserstrahls mit hoher Intensität zu verstehen.

20 Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens erfolgt das Schweißen mittels eines fokussierten Laserstrahls, welcher von der Biegeaußenseite des Werkstücks hin zur Biegeinnenseite, insbesondere entlang eines von der Ausnehmung nach dem Biegen gebildeten Nullspalts, gerichtet ist, dessen Fokus bevorzugt innerhalb des Werkstücks (1300) liegt. Der Begriff Nullspalt ist im Rahmen der vorliegenden Erfindung derart zu verstehen, dass die Schenkel der Ausnehmung nach dem Biegen aneinanderliegen, z.B. Kontakt haben, ohne eine chemische Verbindung zu bilden.

30 Grundsätzlich ist bei einer einzigen Biegung des Werkstücks eine Schweißen von der Biegeaußenseite des Werkstücks zur Biegeinnenseite hin wie auch von der Biegeinnenseite zur Biegeaußenseite hin unabhängig vom Biegewinkel möglich. Bei der Herstellung eines Stahlprofils können jedoch einige Biegungen nicht von der Biegeinnenseite ausgehend geschweißt werden, da einzelne Biegeinnenseiten bzw. Nullspalte durch benach-

barte Leisten des Werkstücks verdeckt werden und somit für einen Laserstrahl nicht zugänglich sind. Zudem kann durch einen Laserstrahl, welcher von der Biegeaußenseite zur Biegeinnenseite gerichtet ist, das Schweißen besonders einfach durchgeführt werden. Bevorzugt wird dabei ein einzelner fokussierter Laserstrahl, anstatt eines oszillierenden Strahls oder zweier partieller Laserstrahlen, verwendet.

Nach einer weiteren Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens wird eine die Schwächung bildende Ausnehmung, welche an einer Biegeinnenseite ausgebildet ist, beim Biegen verkleinert oder geschlossen oder eine die Schwächung bildende Ausnehmung, welche an einer Biegenaußenseite des Werkstücks ausgebildet ist, beim Biegen vergrößert. Dies stellt eine besonders zweckmäßige Ausführungsform des Verfahrens dar, bei dem eine die Schwächung bildende Ausnehmung für das Biegen besonders geeignet ausgebildet ist. Zudem wird das Verfahren dadurch vereinfacht, da eine vor dem Biegen gebildete Materialaussparung derart ausgeführt werden kann, dass diese an die vorzunehmende Biegung entsprechend anpassbar ist. Bevorzugt ist die Ausnehmung an einen vorgesehenen Biegewinkel anpassbar.

Gemäß einer weiteren zweckmäßigen Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens ist in dem Werkstück eine die Schwächung bildende Ausnehmung vorgesehen, wobei die an einer Biegeinnenseite des Werkstücks ausgebildete Ausnehmung nach dem Biegen durch Schweißen, insbesondere Laserschweißen, geschlossen wird. Damit wird ein Verfahren angegeben, mit dem eine Ausnehmung, die beim Biegen zunächst verkleinert wird, durch Schweißen zur Verstärkung des Stahlprofils geschlossen wird.

In einem weiteren Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Verfahrens werden Schenkel, welche eine die Schwächung bildende Ausnehmung begrenzen, unlösbar verbunden. Damit wird eine für das Biegen vorgesehene Schwächung zusätzlich nach dem Biegen verstärkt.

Nach einer anderen zweckmäßigen Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens erfolgt das Biegen durch freies Biegen, Schwenkbiegen oder Gesenkbiegen. Dadurch kann das Biegen des Werkstücks zum Bilden eines Stahlprofils besonders einfach und automatisiert erfolgen.

Nach einer weiteren bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens erfolgt das Bereitstellen des Werkstücks durch Entrollen einer Bandstahlrolle, insbeson-

dere eines Coils. Unter dem Begriff Coil ist im Rahmen der vorliegenden Erfindung ein aufgewickeltes Metallband, beispielsweise in Form einer Bandstahlrolle zu verstehen.

Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens wird in ein Werkstück, welches als Bandstahlrohling ausgebildet ist, vor dem Biegen
5 eine Ausnehmung eingebracht, die quer zur Längsrichtung des Bandstahlrohlings ausgerichtet ist und zu einer seitlichen Begrenzung des Bandstahlrohlings offen ist. Die Ausnehmung kann beispielsweise als schlitzzartige Ausnehmung ausgebildet sein, welche beispielsweise mittels eines Stanzwerkzeugs, eines hochenergetischen Laserstrahls oder eine Stahlsäge seitlich in den Bandstahlrohling eingebracht wird. Die Längsrichtung des
10 Bandstahlrohlings ist dabei vorzugsweise die Richtung, in der sich der Bandstahlrohling während des Herstellungsprozesses bewegt, beispielsweise auf einem Fließband. Dies kann insbesondere auch die Richtung sein, in der ein von einer Bandstahlrolle abgewickelter Bandstahl dem Fließband zugeführt wird.

Die Ausnehmungen ermöglichen es, dass Arbeitsschritte im Herstellungsprozess in
15 einem ersten Bereich des Bandstahlrohlings ausgeführt werden können, ohne dass dies einen Einfluss auf einen zweiten Bereich des Bandstahlrohlings hat, der von dem ersten Bereich durch die Ausnehmung getrennt ist.

Nach einer bevorzugten Fortbildung der vorstehend genannte Ausführungsform ragt die Ausnehmung derart in den Bandstahlrohling hinein, dass ein Biegemoment in einem
20 ersten Bereich des Bandstahlrohlings, welcher einen ersten Abschnitt der Ausnehmung begrenzt, sich nicht auf einen zweiten Bereich des Bandstahlrohlings überträgt, welcher einen zweiten Abschnitt der Ausnehmung begrenzt. Dadurch wird eine erhebliche Vereinfachung des Herstellungsprozesses eines Stahlprofils bei der Verwendung von Bandstahlrohlingen erzielt. Die gemäß dem erfindungsgemäßen Verfahren erfolgenden Bie-
25 gungen können vorgenommen werden, ohne dass eine Notwendigkeit besteht, einzelne Abschnitte des Bandstahlrohlings vor dem Biegen komplett voneinander zu trennen. Dabei werden die Ausnehmungen jeweils mit einer vorgegebene Tiefe in den Bandstahlrohling derart eingebracht, dass sich ein Biegemoment in einem ersten Bereich des Bandstahlrohling nicht auf einen zweiten Bereich des Bandstahlrohlings überträgt, die
30 beiden Bereiche aber trotzdem in einem vorgegebenen Abschnitt des Bandstahlrohlings verbunden bleiben.

Bei dem erfindungsgemäßen Herstellungsprozess eines Stahlprofils befindet sich der erste Bereich des Bandstahlrohrlings beispielsweise in einer Biegevorrichtung, so dass das Werkstück darin gebogen werden kann. Die Ausnehmung dient in diesem Fall dazu, dass die Biegung sich nicht auf einen zweiten Bereich des Bandstahlrohrlings überträgt, der sich beispielsweise noch in der Schwächungsvorrichtung befindet.

Die eingangs genannte Aufgabe wird auch erfindungsgemäß gelöst durch ein Stahlprofil, insbesondere hergestellt gemäß einem vorgenannten Verfahren, umfassend ein Werkstück, welches in einem Biegebereich eine Schwächung aufweist.

Die vorliegende Erfindung hat erkannt, dass die bekannten Stahlprofile mehrere Nachteile aufweisen. Bisher bekannte Stahlprofile können nur mit besonders hohem Energieaufwand gebogen werden. Je nach Biegeverfahren entstehen dabei Materialansammlungen und -verzerrungen, beispielsweise an der Biegeinnenseite des Werkstücks, welche im Rahmen einer Endbearbeitung entfernt werden müssen.

Ein Vorteil des erfindungsgemäßen Stahlprofils ist, dass ein Biegeverfahren zum Bilden eines Stahlprofils besonders einfach und energieeffizient durchgeführt werden kann. Zudem werden Materialkosten niedrig gehalten.

Gemäß einer vorteilhaften Ausführungsform des erfindungsgemäßen Stahlprofils ist die Schwächung als Ausnehmung in dem Werkstück ausgebildet. Damit ist die Schwächung besonders einfach und zweckmäßig ausgebildet.

Bei einer besonders bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Stahlprofils weist das Werkstück im Biegebereich eine im Wesentlichen V-förmige Ausnehmung auf, wobei die Schenkel der Ausnehmung zueinander bevorzugt einen Winkel im Bereich von 90° bis 135° bilden.

Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Stahlprofils weist das Werkstück im Biegebereich eine im Wesentlichen W-förmige Ausnehmung auf. Eine W-förmige Ausnehmung in diesem Sinne kann auch von zwei nebeneinander liegenden V-förmigen Ausnehmungen gebildet werden. Nach dem Biegen liegen die Schenkel der W-förmigen Ausnehmung, d.h. die jeweiligen Schenkel der zwei V-förmigen Ausnehmungen, aneinander und bilden einen Nullspalt. Dieser Nullspalt kann dann durch Schweißen, insbesondere Laserschweißen, geschlossen werden.

Ein wesentlicher Vorteil einer W-förmigen Ausnehmung liegt darin, dass beim Biegen des Werkstücks nur ein besonders kleiner Bereich verformt wird d.h. kaltumgeformt wird. Bei einer W-förmigen Ausnehmung, die zur Biegeinnenseite offen ist, wird nur der der Biegeinnenseite abgewandte Bereich des Werkstücks beim Biegen verformt. Dadurch wird die Festigkeit des Materials des Werkstücks beim Biegen nur in geringem Maße beeinflusst. Dies ist von besonderer Wichtigkeit bei der Verwendung von Stahlprofilen, da der verformte Bereich einerseits härter aber auch spröder wird.

Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Stahlprofils weist das Werkstück eine Ausnehmung auf, die in einem ersten Bereich V-förmig und in einem zweiten Bereich, insbesondere einem Bodenbereich der Ausnehmung, W-förmig ausgebildet ist, wobei die Schenkel des V-förmigen Bereichs zueinander bevorzugt einen Winkel im Bereich von etwa 50° bis 110° bilden. Nach dem Biegen des Werkstücks liegen die Schenkel des W-förmigen Bereichs der Ausnehmung aneinander und bilden einen Nullspalt. Zudem liegen die Schenkel des V-förmigen Bereichs der Ausnehmung nach dem Biegen aneinander und bilden einen Nullspalt. Es bilden sich somit drei Nullspalte: ein Nullspalt im V-förmigen Bereich und zwei Nullspalte im W-förmigen Bereich d.h. zwischen den Schenkeln der beiden den W-förmigen Bereich bildenden V-förmigen Ausnehmungen. Diese Nullspalte werden bevorzugt dann durch Schweißen, insbesondere Laserschweißen, geschlossen.

Ein wesentlicher Vorteil einer Ausnehmung dieser Art liegt darin, dass beim Biegen nur ein besonders kleiner Bereich verformt wird. Bei einer Ausnehmung dieser Art, die zur Biegeinnenseite offen ist, ist dieser Bereich beispielsweise ein der Beieinnenseite abgewandter Bereich. Dadurch wird die Festigkeit des Materials des Werkstücks beim Biegen nur in geringem Maße beeinflusst. Zusätzlich können durch Ausnehmungen dieser Art große Biegewinkel bei gleichzeitig geringem Materialeinfluss erzielt werden. Zudem werden gute Biegeeigenschaften unabhängig von der Walzrichtung des Werkstücks, d.h. die Richtung, in der die Walze bei Herstellung des Rohlings verläuft, erzielt. Nach dem Biegen des Werkstücks mit einer Ausnehmung dieser Art weist das Werkstück an dem Scheitelpunkt der Biegung eine größere Dicke auf als in dem nicht-gebogenen Bereich des Werkstücks. Wird das Werkstück beispielsweise um einen Winkel von 110° gebogen, weist der Scheitelpunkt eine Dicke auf, die etwa dem 1,7-Fachen der Dicke des Werkstücks im nicht-gebogenen Bereich entspricht.

Nach einer weiteren bevorzugten Fortbildung der beiden vorstehend genannten Ausführungsformen schließen sich die Schenkel der W-förmigen Ausnehmung an die Schenkel der V-förmigen Ausnehmung an, insbesondere derart, dass sich die jeweils außen liegenden Schenkel der W-förmigen Ausnehmung an die Schenkel der V-förmigen Ausnehmung anschließen. Dies kann so verstanden werden, dass sich insbesondere die freien Enden der außenliegenden Schenkel der W-förmigen Ausnehmung an die Schenkel der V-förmigen Ausnehmung anschließen. Dabei schließen sich die Schenkel der V-förmigen Ausnehmung nicht aneinander an, sondern erstrecken sich jeweils von den Enden der W-förmigen Ausnehmung hin zur vorgesehenen Biegeinnenseite des Werkstücks d.h. beispielsweise zur offenen Seite der Ausnehmung. Dadurch kann insbesondere ein zur Biegeinnenseite hin offene Ausnehmung realisiert werden.

Bevorzugt entspricht der Winkel zwischen den Schenkeln der V-förmigen Ausnehmung dem Biegewinkel des Werkstücks. Weiter bevorzugt sind die jeweils außenliegenden Schenkel der W-förmigen Ausnehmung im Wesentlichen parallel zueinander ausgerichtet. Zudem nimmt weiter bevorzugt die Breite der W-förmigen Ausnehmung mit zunehmendem Winkel zwischen den Schenkeln der V-förmigen Ausnehmung zu.

In einer anderen zweckmäßigen Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Stahlprofils weist das Werkstück eine Schweißnaht, insbesondere eine Laserschweißnaht, zum Verstärken der Schwächung im Biegebereich auf. Damit wird ein besonders stabiles und einfach herstellbares Stahlprofil angegeben.

Die eingangs genannte Aufgabe wird erfindungsgemäß ferner gelöst durch eine Spundbohle, insbesondere Z-Spundbohle, welche von einem Stahlprofil gebildet wird, welches gemäß einem Verfahren der oben beschriebenen Art erstellt wird. Eine nach dem erfindungsgemäßen Verfahren hergestellte Spundbohle weist insbesondere an den Scheitelpunkten der Biegungen eine erhöhte Dicke im Vergleich zu den nicht-gebogenen Bereichen der Spundbohle auf. Spundbohlen weisen in der Regel in den nicht-gebogenen Bereichen der Spundbohle eine Dicke in der Größenordnung von etwa ~ 12 mm gemäß DIN 10248 auf.

Die eingangs genannte Aufgabe wird erfindungsgemäß ferner gelöst durch eine Spundbohle, insbesondere Z-Spundbohle, umfassend: ein Schlosselement zum Verbinden der Spundbohle mit einem Schlosselement einer weiteren Spundbohle oder eines Trägerelements, mit einer sich, insbesondere im Wesentlichen rechtwinklig, von einem Wand-

abschnitt der Spundbohle erstreckenden Anschlagleiste und mit einer sich von der Anschlagleiste erstreckenden Hakenleiste, wobei die Hakenleiste im Wesentlichen in einem Winkel von wenigstens 90°, insbesondere in einem Winkel von 100° bis 130°, zu der Anschlagleiste ausgerichtet ist und ein Ende der Hakenleiste dem Wandabschnitt zuge-
wandt ist. Eine sich im Wesentlichen rechtwinklig von einem Wandabschnitt der Spund-
bohle erstreckende Anschlagleiste ist im Rahmen der vorliegenden Erfindung vorzugs-
weise derart zu verstehen, dass die Anschlagleiste in einem Winkel von etwa 90° zu dem
Wandabschnitt ausgerichtet ist.

Dabei wird das Schlosselement der Spundbohle bevorzugt mittels eines erfindungsgemäßen Verfahrens der oben beschriebenen Art erstellt. Bevorzugt wird dazu ein Bandstahlrohling mittels des oben beschriebenen Verfahrens in eine dem Schlosselement entsprechende Form gebogen. Das Schlosselement dient insbesondere dazu, mit einem Schlosselement einer weiteren Spundbohle in Eingriff zu stehen. Dazu wird das Schlosselement bevorzugt beim Einlassen, Rammen oder Rütteln der Spundbohle ins Erdreich mit einem Schlosselement einer weiteren Spundbohle ineinandergeschoben.

Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Spundbohle ist die Anschlagleiste in einem Winkel von höchstens 90°, insbesondere in einem Winkel von etwa 20° bis 60°, bevorzugt 35° bis 45°, zu dem Wandabschnitt ausgerichtet ist.

Die eingangs genannte Aufgabe wird ferner erfindungsgemäß gelöst durch eine Spundbohle, insbesondere Z-Spundbohle, umfassend: ein Schlosselement zum Verbinden der Spundbohle mit einem Schlosselement einer weiteren Spundbohle oder eines Trägerelements, mit einer sich, insbesondere im Wesentlichen rechtwinklig, von einem Wandabschnitt der Spundbohle erstreckenden Anschlagleiste, mit einer sich, insbesondere im Wesentlichen rechtwinklig, von der Anschlagleiste erstreckenden Kopfleiste, mit einer sich, insbesondere im Wesentlichen rechtwinklig, von der Kopfleiste erstreckenden Stirnleiste und mit einer sich von der Stirnleiste erstreckenden Hakenleiste, wobei die Hakenleiste im Wesentlichen in einem Winkel von wenigstens 90°, insbesondere in einem Winkel von 100° bis 130°, zu der Stirnleiste ausgerichtet ist und sich von der Stirnleiste in einen U-förmigen Bereich, welcher von der Anschlagleiste, der Kopfleiste und der Stirnleiste gebildet wird, erstreckt. Eine sich im Wesentlichen rechtwinklig von einem Wandabschnitt der Spundbohle erstreckende Anschlagleiste ist im Rahmen der vorliegenden Erfindung vorzugsweise derart zu verstehen, dass die Anschlagleiste in einem Winkel von etwa 90° zu dem Wandabschnitt ausgerichtet ist. Eine sich im Wesent-

lichen rechtwinklig von der Anschlagleiste erstreckende Kopfleiste ist im Rahmen der vorliegenden Erfindung vorzugsweise derart zu verstehen, dass die Kopfleiste in einem Winkel von etwa 90° zu der Anschlagleiste ausgerichtet ist. Eine sich im Wesentlichen rechtwinklig von der Kopfleiste erstreckende Stirnleiste ist im Rahmen der vorliegenden

5 Erfindung vorzugsweise derart zu verstehen, dass die Stirnleiste in einem Winkel von etwa 90° zu der Kopfleiste ausgerichtet ist.

Dabei wird das Schlosselement der Spundbohle bevorzugt mittels eines erfindungsgemäßen Verfahrens der oben beschriebenen Art erstellt. Bevorzugt wird dazu ein Bandstahlrohling mittels des oben beschriebenen Verfahrens in eine dem Schlosselement

10 entsprechende Form gebogen. Das Schlosselement dient insbesondere dazu, mit einem Schlosselement einer weiteren Spundbohle in Eingriff zu stehen. Dazu wird das Schlosselement bevorzugt beim Einlassen, Rammen oder Rütteln der Spundbohle ins Erdreich mit einem Schlosselement einer weiteren Spundbohle ineinandergeschoben.

Insbesondere dient das Schlosselement (in diesem Absatz im Folgenden zweites Schlosselement genannt) der Spundbohle zum In-Eingriff-Stehen mit einem Schlosselement der

15 oben beschriebenen Art mit Anschlagleiste und Hakenleiste (in diesem Absatz im Folgenden erstes Schlosselement genannt). Während die beiden Schlosselemente in Eingriff stehen, liegen zum einen die beiden Anschlagleisten aneinander und sind im Wesentlichen parallel zueinander ausgerichtet. Desweiteren liegen die Hakenleisten der

20 beiden Schlosselemente aneinander. D.h. die Anschlagleiste des ersten Schlosselements erstreckt sich parallel zu der Anschlagleiste des zweiten Schlosselements. Dabei erstreckt sich die Anschlagleiste des ersten Schlosselements von dem Wandabschnitt der Spundbohle in den U-förmigen Bereich des zweiten Schlosselements, welcher von der Anschlagleiste, der Kopfleiste und der Stirnleiste des ersten Schlosselements gebildet

25 wird. Die Hakenleiste ragt in einen Bereich des ersten Schlosselements, welcher von der Anschlagleiste und der Hakenleiste des ersten Schlosselements gebildet wird, hinein. Die beiden Wandabschnitte der Spundbohlen, die mittels der Schlosselemente verbunden werden, sind dabei im Wesentlichen parallel zueinander ausgerichtet und liegen in derselben Ebene. Bei einer Verbindung von zwei Schlosselementen der vorstehend be-

30 schriebenen Art werden Zwischenräume gebildet, die im Vergleich zu bisherigen Schlosselement-Verbindungen besonders kleine Volumina aufweisen. Dadurch wird insbesondere eine geringere Menge an Dichtungsmasse benötigt, die nach dem Ineinanderschieben der Schlosselemente in die Zwischenräume gegossen wird. Weiter bevorzugt ist das erste Schlosselement an einem ersten Ende der Spundbohle ausgebildet, wobei an

5 einem zweiten Ende der Spundbohle ein weiteres Schlosselement, bevorzugt ein Schlosselement, welches dem zweiten Schlosselement entspricht, ausgebildet ist. Numerische Analysen, die auf der Finite-Elemente-Methode basieren, und Versuche mit Schlosselementen haben gezeigt, dass die vorstehend beschriebene erfindungsgemäße Verbindung
10 zweier Schlosselemente besonders stabil gegenüber Zugkräften ist. Dies ist insbesondere der Fall bei einem ersten Schlosselement, bei dem die Anschlagleiste rechtwinklig zu dem Wandabschnitt ausgerichtet ist und die Hakenleiste sich in einem Winkel von 120° bis 140° zu der Anschlagleiste erstreckt. Dies ist ferner insbesondere der Fall bei einem zweiten Schlosselementen, bei dem die Anschlagleiste im Wesentlichen rechtwinklig zu
15 dem Wandabschnitt ausgerichtet ist, die Kopfleiste im Wesentlichen rechtwinklig zu der Anschlagleiste ausgerichtet ist, die Stirnleiste im Wesentlichen rechtwinklig zu der Kopfleiste ausgerichtet ist und die Hakenleiste sich von der Anschlagleiste in einem Winkel von 120° bis 140° zu der Stirnleiste erstreckt. Wird bei einer Verbindung von Schlosselementen dieser Art eine Zugkraft in Erstreckungsrichtung der Wandabschnitte der Schlosselemente ausgeübt (bei einer Materialdicke der Spundbohle von etwa 10 mm), versagen
die Schlosselemente erst bei einer Zugkraft von 136 kN (kN: Kilonewton). Im Vergleich dazu versagen Verbindungen von aus dem Stand der Technik bekannten Larssen-
Profilen bereits bei einer Zugkraft von 80 kN. Die vorstehend genannten Zugkräfte wurden bei einer Probenlänge von jeweils 100 mm ermittelt.

20 Gemäß einer bevorzugten Weiterbildung der erfindungsgemäßen Spundbohle ist die Anschlagleiste in einem Winkel von höchstens 90°, insbesondere in einem Winkel von etwa 30° bis 70°, bevorzugt 45° bis 55°, zu dem Wandabschnitt ausgerichtet, wobei die Kopfleiste in einem Winkel von höchstens 90°, insbesondere in einem Winkel von etwa 20° bis 50°, bevorzugt 30° bis 40°, zu der Anschlagleiste ausgerichtet ist und/oder wobei
25 die Stirnleiste in einem Winkel von höchstens 90°, insbesondere in einem Winkel von etwa 30° bis 70°, bevorzugt 45° bis 60°, zu der Kopfleiste ausgerichtet ist.

Gemäß einer bevorzugten Weiterbildung der erfindungsgemäßen Spundbohle ist die Hakenleiste im Wesentlichen in einem Winkel von 120° bis 140° zu der Stirnleiste ausgerichtet.

30 Die oben beschriebenen numerischen Analysen und Versuche mit Schlosselementen haben gezeigt, dass die vorstehend beschriebene Weiterbildung bei einer Verbindung zweier Schlosselemente besonders stabil gegenüber Zugkräften ist. Wird eine Zugkraft in Erstreckungsrichtung der Wandabschnitte der Schlosselemente ausgeübt (bei einer

Materialdicke der Spundbohle von etwa 10 mm), versagen die Schlosselemente erst bei einer Zugkraft von 112 kN. Bei einer Zugkraft von beispielsweise 110 kN werden die Wandabschnitte der verbundenen Schlosselemente zwischen 50 und 60 mm im Vergleich zur ursprünglichen Lage ohne Krafteinwirkung auseinandergezogen. Im Vergleich
5 dazu werden die Wandabschnitte der verbundenen Schlosselemente, wie sie oben beschrieben wurden, 90 bis 100 mm im Vergleich zur ursprünglichen Lage ohne Krafteinwirkung auseinandergezogen. D.h. der Versatz der Wandabschnitt bei einer Zugkraft ist geringer im Vergleich zu der oben beschriebenen Verbindung zweier Schlosselemente. Ein weiterer Vorteil ist, dass sich in einem Lastbereich von etwa 80 kN geringere
10 Spannungen als bei den oben beschriebenen Schlosselemente ausbilden. Dies ist von besonderem Vorteil für die geschweißten Stellen.

Gemäß einer vorteilhaften Ausführungsform der erfindungsgemäßen Spundbohle ist ein Ende der Hakenleiste abgerundet ausgebildet. Das heißt beispielsweise, dass das Ende der Hakenleiste im Querschnitt der Spundbohle gesehen ohne scharfe Kanten ausgebildet
15 ist. Bevorzugt wird das Ende der Hakenleiste dabei durch Fräsen abgerundet. Insbesondere beim Verbinden der Spundbohlen durch Ineinanderschieben der Schlösser würden scharfe Kanten zu einem gegenseitigen Abspannen der Schlösser führen. Die dabei entstehenden Späne sammeln sich zwischen den Schlössern an und verkeilen teilweise. Damit wird das Ineinanderschieben erheblich beeinträchtigt bzw. bei einer
20 bestimmten Menge von sich zwischen den Schlössern gebildeten Spänen unmöglich. Zudem werden die Schlösser beim Abspannen durch die scharfen Kanten beschädigt und gleichzeitig ihre Festigkeit beeinträchtigt. Durch abgerundete Enden der Hakenleisten wird das Abspannen verhindert, so dass die Schlosselemente zweier Spundbohlen besonders einfach und ohne Schäden an den Schlössern ineinandergeschoben werden können.
25

Die eingangs genannte Aufgabe wird erfindungsgemäß ferner gelöst durch eine Spundwand umfassend mindestens zwei Spundbohlen, insbesondere Z-Spundbohlen, der vorstehend beschriebenen Art.

Die eingangs genannte Aufgabe wird auch durch ein erfindungsgemäßes System zur
30 Herstellung eines Stahlprofils aus einem Werkstück, insbesondere einem Stahlrohrling, bevorzugt einem Band-Stahlrohrling, gelöst umfassend eine Schwächungsvorrichtung zum Bilden einer Schwächung des Werkstücks, insbesondere einer Ausnehmung, im

Bereich einer vorgesehenen Biegung des Werkstücks und eine Biegevorrichtung zum Biegen des Werkstücks im Bereich der Schwächung.

Die vorliegende Erfindung hat erkannt, dass bekannte Systeme zur Herstellung von Stahlprofilen besonders komplex aufgebaut sind, einen hohen Energieverbrauch verursachen und hohe Rüst- und Anlaufkosten erzeugen.

Ein Vorteil des erfindungsgemäßen Systems liegt darin, dass Stahlprofile besonders einfach und automatisiert mit dem System hergestellt werden können.

Bevorzugt kann die Schwächungsvorrichtung als Fräseinheit, Stanzeinheit, Prägeeinheit und/oder Walzeinheit ausgeführt sein. Weiter bevorzugt kann die Biegevorrichtung eine Schwenkbiegeeinheit, Gesenkbiegeeinheit und/oder Biegeeinheit zum freien Biegen des Werkstücks umfassen.

Nach einer bevorzugten Ausführungsvariante des erfindungsgemäßen Systems umfasst dieses eine Zuführvorrichtung zum Bereitstellen des Werkstücks, insbesondere des Stahlrohlings, bevorzugt des Band-Stahlrohlings. Damit kann ein Werkstück für das Herstellen des Stahlprofils automatisch dem System zugeführt werden.

Bevorzugt kann die Zuführvorrichtung als automatisierter Greifarm ausgeführt sein, der Werkstücke einem Werkstückstapel entnimmt. Weiter bevorzugt kann die Zuführvorrichtung eine Entrolleinheit zum Entrollen einer Bandstahlrolle sein.

Nach einem weiteren Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Systems ist eine Schneidevorrichtung zum Zerteilen eines von einer Bandstahlrolle zugeführten Bandstahls in Werkstücke vorgesehen. Dadurch können Bandstahlwerkstücke auf die für die Herstellung eines Stahlprofils notwendige Größe bzw. Länge zurechtgeschnitten werden.

Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Systems ist eine Schneidvorrichtung ausgebildet ist zum Einbringen einer Ausnehmung, die im Wesentlichen quer zur Längsrichtung des Bandstahlrohlings ausgerichtet ist und zu einer seitlichen Begrenzung des Bandstahlrohlings offen ist.

Bevorzugte Ausführungsbeispiele der Erfindung werden nun anhand der Zeichnungen erläutert.

Die Zeichnungen zeigen:

Fig. 1 ein Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Verfahrens,

Fig. 2 ein Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Stahlprofils,

Fig. 3 ein erstes Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Systems,

5 Fig. 4A-B weitere Ausführungsbeispiele eines erfindungsgemäßen Verfahrens,

Fig. 5 zwei erste Ausführungsbeispiele zweier erfindungsgemäßer Spundbohlen,

Fig. 6 eine Querschnittansicht eines erstes Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Spundwand,

Fig. 7 ein zweites Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Systems,

10 Fig. 8 eine perspektivische Ansicht eines Ausführungsbeispiels eines Werkstücks,

Fig. 9 eine perspektivische Ansicht des in Figur 8 abgebildeten Bandstahlrohrlings in einem Zwischenzustand,

Fig. 10 zwei zweite Ausführungsbeispiele zweier erfindungsgemäßer Spundbohlen,

15 Fig. 11 eine perspektivische Ansicht eines zweiten Ausführungsbeispiels einer erfindungsgemäßen Spundwand,

Fig. 12 eine Querschnittansicht eines zweiten Ausführungsbeispiels einer erfindungsgemäßen Spundwand und

Fig. 13 eine Querschnittansicht eines Teilabschnitts eines Schlosselements.

20 Figur 1 zeigt ein Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Verfahrens zur Herstellung eines Stahlprofils 1. Dabei ist ein Werkstück 2 jeweils in einer Ansicht von der Seite quer zu einer Längsrichtung 3 des Werkstücks 2 gezeigt.

In einem Schritt A wird das Werkstück 2 in Form eines rechteckförmigen Band-Stahlrohlings 4 bereitgestellt, welcher eine Höhe 5 und eine Länge 6 aufweist.

In einem Schritt B werden Schwächungen 10 in Form von Ausnehmungen 11 in einem Bereich 12 einer vorgesehenen Biegung 13 des Werkstücks 2 gebildet. Dazu arbeitet
5 eine Werkzeugeinheit 15, welche als Schwächungsvorrichtung 14 dient, ein Teilstück aus dem Werkstück 2 heraus. Dadurch werden V-förmige Ausnehmungen 11 mit zwei im Wesentlichen gleichlangen Schenkeln 16 gebildet.

In einem Verfahrensschritt C wird das Werkstück 2 im Biegebereich 12 mittels einer Biegevorrichtung 20 derart gebogen, dass eine in Schritt B gebildete Ausnehmung 11 an
10 einer Biegeinnenseite 21 des Werkstücks 2 geschlossen wird. Dabei stoßen die Schenkel 16 der in Schritt B gebildeten Ausnehmung 11 im gebogenen Zustand aneinander.

In einem nicht gezeigten weiteren Verfahrensschritt werden die Schenkel 16 durch Laserschweißen unlösbar miteinander verbunden, so dass die ursprünglich als Ausnehmung 11 ausgebildete Schwächung zum Bilden eines Stahlprofils 1 mit hoher Steifigkeit
15 verstärkt wird. Das Laserschweißen erfolgt dabei derart, dass der von den aneinander stoßenden Schenkeln 16 gebildete Spalt mittels einer Laserschweißnaht geschlossen wird. Der gebildete Spalt kann auch ein technischer Nullspalt sein. Die Schenkel müssen somit für das Schweißen nicht angepasst werden.

Figur 2 zeigt eine Seitenansicht eines Ausführungsbeispiels eines erfindungsgemäßen Stahlprofils 1, welches nach einem erfindungsgemäßen Verfahren aus dem in Figur 1
20 gezeigten Werkstück 2 hergestellt ist. Gleiche oder funktionsgleiche Elemente sind dabei mit denselben Bezugszeichen versehen.

Die im Herstellungsverfahren gebildeten Ausnehmungen sind durch den Biegevorgang geschlossen. Dabei weist das Stahlprofil Schweißnähte 30 auf, durch die die Ausnehmungen zum Stärken des Stahlprofils fest geschlossen werden. Die Schweißnähte ver-
25 laufen dabei an den Biegeinnenseiten 31 oder Biegeaußenseite in Betrachtungsrichtung entlang des Stahlprofils 1 und erstrecken sich entlang der in Figur 1 gezeigten Schenkel 1 teilweise in das Werkstück 2 hinein.

Figur 3 zeigt ein Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Systems 40 zur Herstellung eines Stahlprofils aus einem Werkstück. Eine Zuführvorrichtung 41 entnimmt Band-
30

stahl einer Bandstahlrolle 42, so dass der Bandstahl in einer Schneidevorrichtung 43 in Werkstücke 44 zerteilt werden kann, die eine für den weiteren Herstellungsprozess geeignete Größe aufweisen. Zudem weist das System eine zweite Zuführvorrichtung 50 auf, die einer Werkstückpalette 51 ein Werkstück 52 für das weitere Herstellungsverfahren entnimmt.

Transferelemente 55 führen die zu verarbeitenden Werkstücke 44 bzw. 52 einer Schwächungsvorrichtung 56 zu, die als Fräseinheit 57 ausgebildet ist.

Nachdem die Fräseinheit 57 eine Ausnehmung in dem Werkstück gebildet hat, wird das Werkstück 44 bzw. 52 durch die Transferelemente 55 einer Biegevorrichtung 60 zum Biegen des Werkstücks 44 bzw. 52 zugeführt.

Nach dem Biegen werden die Werkstücke 44 bzw. 52 einer Laserschweißvorrichtung 61 zugeführt, in der die Ausnehmungen der Werkstücke geschlossen werden. Nach dem Schweißen können die Stahlprofile 58 durch die Transferelemente 55 auf einem Stapel 59 abgelegt werden.

Das System 40 wird von einer zentralen Steuereinrichtung 62 gesteuert.

Figuren 4A-B zeigen ein zweites Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Verfahrens. Insbesondere zeigen die Figuren 4A-B jeweils zwei Zwischenzustände eines Werkstücks 400 vor dem Biegen oben und nach dem Biegen unten.

Figur 4A zeigt insbesondere einen Endabschnitt 401 eines Werkstücks 400, bei dem das Ende 402 abgerundet, d.h. ohne scharfe Kanten, ausgebildet ist. In dem in Figur 4A oben gezeigten Zwischenzustand weist eine Ausnehmung 410 in dem Werkstück 400 einen W-förmigen Bereich 411 und einen V-förmigen Bereich 412 auf. Der W-förmige Bereich 411 besteht aus einem ersten V-förmigen Teilabschnitt 420 und einem zweiten V-förmigen Teilabschnitt 421. Dabei schließt sich ein in Betrachtungsrichtung links gesehen erster Schenkel 413 des V-förmigen Bereichs 412 an einen ersten Schenkel 422 des ersten V-förmigen Teilabschnitts 420 an. Ein zweiter Schenkel 423 des V-förmigen Teilabschnitts 420 schließt sich an einen ersten Schenkel 424 des zweiten V-förmigen Teilabschnitts 421 an. Ein zweiter Schenkel 425 des zweiten V-förmigen Teilabschnitts 421 schließt sich an einen zweiten Schenkel 414 des V-förmigen Bereichs 412 an. In Betrachtungsrichtung gesehen von links nach rechts gehend, wird die Ausnehmung 410 begrenzt durch die

folgenden sich aneinander anschließenden Elemente: erster Schenkel 413 des V-förmigen Bereichs 412, ersten Schenkel 422 des ersten V-förmigen Teilabschnitts 420, zweiter Schenkel 423 des ersten V-förmigen Teilabschnitts 420, ersten Schenkel 424 des zweiten V-förmigen Teilabschnitts 421, zweiter Schenkel 425 des zweiten V-förmigen Teilabschnitts 421 und zweiter Schenkel 414 des V-förmigen Bereichs 412.

Der Öffnungswinkel zwischen dem ersten Schenkel 413 und dem zweiten Schenkel 414 ist dabei etwa 110° .

Figur 4A zeigt das Werkstück 400 unten in einem Zwischenzustand nach dem Biegen. Beim Biegen wurde das Werkstück um einen Biegewinkel von etwa 110° gebogen, so dass zwischen einem Endabschnitt 401 und einem in Betrachtungsrichtung gesehen rechten Abschnitt 430 des Werkstücks 400 ein Öffnungswinkel von etwa 70° besteht. Nach dem Biegen liegen die Schenkel der jeweiligen V-förmigen Bereiche bzw. Teilabschnitte aneinander bzw. bilden einen Nullspalt, d.h. der Schenkel 413 bildet mit dem Schenkel 414 einen Nullspalt, der Schenkel 422 bildet mit dem Schenkel 423 einen Nullspalt und der Schenkel 424 bildet mit dem Schenkel 425 einen Nullspalt.

Figur 4B zeigt ein Werkstück 440 mit einer Ausnehmung 441, die im Wesentlichen wie die Ausnehmung 410 geformt ist. Gleiche oder funktionsgleiche Elemente sind dabei mit denselben Bezugszeichen versehen. Bei der in Figur 4B gezeigten Ausnehmung 441 ist der Öffnungswinkel zwischen dem ersten Schenkel 413 und dem zweiten Schenkel 414 etwa 90° . Beim Biegen bilden die Schenkel 413 und 414 des V-förmigen Bereichs 412 sowie die Schenkel 422 und 423 und die Schenkel 424 und 425 des W-förmigen Bereichs 411 jeweils einen Nullspalt derart, dass zwischen den zueinander gebogenen Abschnitten 445 und 446 ein Öffnungswinkel von etwa 90° entsteht.

Figur 4C zeigt ein Werkstück 450 mit einer Ausnehmung 451, die im Wesentlichen wie die Ausnehmungen 410 (Figur 4A) und 441 (Figur 4B) geformt ist. Gleiche oder funktionsgleiche Elemente sind dabei mit denselben Bezugszeichen versehen. Bei der in Figur 4C gezeigten Ausnehmung 451 ist der Öffnungswinkel zwischen dem ersten Schenkel 413 und dem zweiten Schenkel 414 etwa 50° . Beim Biegen bilden die Schenkel 413 und 414 des V-förmigen Bereichs 412 sowie die Schenkel 422 und 423 und die Schenkel 424 und 425 des W-förmigen Bereichs 411 jeweils einen Nullspalt derart, dass zwischen den zueinander gebogenen Abschnitten 455 und 456 ein Öffnungswinkel von etwa 130° entsteht.

Figur 5 zeigt jeweils einen Teilabschnitt 510 bzw. 520 einer ersten Spundbohle 511 bzw. einer zweiten Spundbohle 521. Die erste Spundbohle 511 weist ein Schlosselement 512 auf, welches mit einem Schlosselement 522 der zweiten Spundbohle 521 in Eingriff steht. Im Sinne der Figur 5 sind Winkelangaben mit positiven Werten von mehr als $+0^\circ$ als
5 Winkelausrichtungen im Uhrzeigersinn 530 zu verstehen; negative Winkelangaben mit negativen Werten von weniger als -0° sind als Winkelausrichtungen entgegen dem Uhrzeigersinn zu verstehen.

Das Schlosselement 512 der ersten Spundbohle 511 wird gebildet von einer Anschlagleiste 513 und einer Hakenleiste 514. Die Anschlagleiste 513 erstreckt sich von einem
10 Wandabschnitt 515 der ersten Spundbohle 511 in einem im Wesentlichen rechten Winkel (etwa -90°). Die dazu erforderliche Biegung eines Werkstücks kann dabei beispielsweise über die in Figur 4B gezeigten Zwischenzustände des Werkstücks 440 erfolgen. Die Hakenleiste 514 erstreckt sich von der Anschlagleiste 513 in einem Winkel α von etwa -110° . Die Biegung eines Werkstücks, welche zum Erzielen eines derartigen Winkels,
15 z.B. von etwa 110° , erforderlich ist, kann beispielsweise über die in Figur 4A gezeigten Zwischenzustände des Werkstücks 400 erfolgen. Das Ende der Hakenleiste 514 bildet gleichzeitig ein Ende 502 der ersten Spundbohle 511. Dieses Ende 502 ist abgerundet ausgebildet und weist zumindest im Querschnitt der Spundbohle gesehen keine scharfen Kanten auf. Das Schlosselement 522 der zweiten Spundbohle 521 wird gebildet von einer
20 Anschlagleiste 523, einer Kopfleiste 524, einer Stirnleiste 525 und einer Hakenleiste 526. Die Anschlagleiste 523 erstreckt sich von einem Wandabschnitt 527 der zweiten Spundbohle 521 in einem im Wesentlichen rechten Winkel (etwa $+90^\circ$). Die Kopfleiste 524 erstreckt sich von der Anschlagleiste 523 in einem im Wesentlichen rechten Winkel (etwa -90°). Die Stirnleiste 525 erstreckt sich von der Kopfleiste 524 in einem im Wesentlichen
25 rechten Winkel (etwa -90°). Die Biegung eines Werkstücks, die zum Erzielen derartiger rechter Winkel erforderlich ist, können beispielsweise über die in Figur 4B gezeigten Zwischenzustände des Werkstücks 440 erfolgen. Die Hakenleiste 526 erstreckt sich von der Stirnleiste 525 in einem Winkel β von etwa -110° . Die Biegung eines Werkstücks, welche zum Erzielen eines derartigen Winkels, z.B. von etwa 110° , erforderlich ist, kann
30 beispielsweise über die in Figur 4A gezeigten Zwischenzustände des Werkstücks 400 erfolgen. Das Ende der Hakenleiste 526 bildet gleichzeitig ein Ende 503 der zweiten Spundbohle 521. Dieses Ende 503 ist abgerundet ausgebildet und weist zumindest im Querschnitt der Spundbohle gesehen keine scharfen Kanten auf.

Die Anschlagleiste 523, die Kopfleiste 524 und die Stirnleiste 525 bilden einen U-förmigen Bereich 528 der Spundbohle 521. Zusammen mit dem Wandabschnitt 527 bildet der U-förmige Bereich 528 einen sichelförmigen Bereich der Spundbohle 521. Die Hakenleiste 526 ragt dabei in einen Innenraum 529 hinein, welcher von dem U-förmigen Bereich 528 bzw. sichelförmigen Bereich gebildet wird. In der in Figur 5 gezeigten Konstellation sind die Wandabschnitte 515 und 527 parallel zueinander ausgerichtet und in derselben Ebene angeordnet.

Werden die Wandabschnitte 515 und 527 aufeinander zubewegt, stoßen die Schlosselemente 512 und 522 jeweils mit ihren Anschlagleisten 513 und 523 aneinander an. Bei Zugbelastungen zwischen den gezeigten Spundbohlen 511 und 521, d.h. wenn die Spundbohlen mit hoher Kraft in Erstreckungsrichtung der Wandabschnitte voneinander wegbewegt werden, greifen die Schlosselemente derart ineinander, dass das Ende 502 der Hakenleiste 514 gegen die Stirnleiste 525 stößt und das Ende 503 der Hakenleiste 526 gegen die Anschlagleiste 513 stößt. Bei Druckbelastungen, beispielsweise quer zu Längserstreckungsrichtung der Spundbohlen 511 und 521, bleiben die Schlösser ineinander verhakt. Lediglich durch ein Verschieben der ineinandergreifenden Spundbohlen in Betrachtungsrichtung der Figur 5 können die Spundbohlen voneinander getrennt werden.

Figur 6 zeigt einen Teil einer Spundwand 600 mit zwei Spundbohlen. Die in Figur 6 gezeigten Spundbohlen sind ähnlich wie die in Figur 5 gezeigten Spundbohlen aufgebaut. Gleiche oder funktionsgleiche Elemente sind dabei mit denselben Bezugszeichen versehen. Eine erste Spundbohle 511 ist dabei im Wesentlichen Z-förmig ausgeführt mit einem ersten Wandabschnitt 515, welcher an einem Ende 610 (rechts) ein Schlosselement 512 aufweist. Eine zweite Spundbohle 521 ist im Wesentlichen Z-förmig ausgebildet mit einem ersten Wandabschnitt 527, welcher an einem Ende 620 (links) ein Schlosselement 522 aufweist.

Von dem ersten Wandabschnitt 515 der ersten Spundbohle 511 erstreckt sich ein zweiter Wandabschnitt 640 der ersten Spundbohle 511 in einem Winkel ζ von etwa $+50^\circ$ zum ersten Wandabschnitt 515. Von dem zweiten Wandabschnitt 640 erstreckt sich ein dritter Wandabschnitt 613 der ersten Spundbohle 511 in einem Winkel ρ von etwa -50° zu dem zweiten Wandabschnitt 640. Der dritte Wandabschnitt 613 weist an einem Ende 611 ein Schlosselement 612 auf, welches im Wesentlichen wie das Schlosselement 522 der

zweiten Spundbohle 521 aufgebaut ist. D.h. das Schlosselement 612 weist bei Spiegelung an einer Ebene 630 die gleiche Form wie das Schlosselement 522 auf.

Von dem ersten Wandabschnitt 527 der zweiten Spundbohle 521 erstreckt sich ein zweiter Wandabschnitt 641 der zweiten Spundbohle 521 in einem Winkel π von etwa -50° zum ersten Wandabschnitt 527. Von dem zweiten Wandabschnitt 641 erstreckt sich ein dritter Wandabschnitt 614 der zweiten Spundbohle 527 in einem Winkel ξ von etwa $+50^\circ$ zu dem zweiten Wandabschnitt 641. Der dritte Wandabschnitt 614 weist an einem Ende 621 ein Schlosselement 622 auf, welches im Wesentlichen wie das Schlosselement 512 der ersten Spundbohle aufgebaut ist. D.h. das Schlosselement 622 weist bei Spiegelung an einer Ebene 630 die gleiche Form wie das Schlosselement 512 auf.

Figur 7 zeigt ein zweites Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Systems 700 zur Herstellung einer Spundbohle 701 aus einem Band-Stahlrohling 702. Dabei wird der Band-Stahlrohling 702 von einer Bandstahlrolle 703 mittels einer Zuführvorrichtung 704 entrollt und den in Förderrichtung 710 folgenden Komponenten des Systems 700 zugeführt. Eine Fördervorrichtung 711 dient zum Fördern des Stahlrohlings 702 in Förderrichtung 710 entlang bzw. durch die einzelnen Komponenten des Systems 700.

Von der Zuführvorrichtung 704 gelangt der Band-Stahlrohling 702 in eine Fräsvorrichtung 712, mittels derer Ausnehmungen, welche als Schwächungen vorgesehen sind, in den Band-Stahlrohling 702 eingebracht werden. Die Fräsvorrichtung 712 weist zwei Fräseinheiten 713 und 714 auf. Mittels der Fräseinheit 713 werden zunächst Ausnehmungen von unten in den Band-Stahlrohling 702 eingebracht. Mittels der Fräseinheit 714 werden dann Ausnehmungen von oben in den Band-Stahlrohling 702 eingebracht.

Eine Laser-Schneidevorrichtung 720 dient dazu, in Förderrichtung gesehen, in vorgegebenen Abständen schlitzförmige Ausschnitte in den Band-Stahlrohling 702 einzubringen. Die Ausschnitte verlaufen jeweils quer zur Förderrichtung 710 von einem äußeren Rand des Band-Stahlrohlings 702 im Wesentlichen geradlinig in den Band-Stahlrohling 702 hinein. Insbesondere werden in vorgegebenen Abständen in Förderrichtung 710 gesehen jeweils zwei Schnitte eingebracht, nämlich jeweils von der seitlichen Begrenzung des Band-Stahlrohlings 702 für eine vorgegebene Tiefe nach innen. Die Schnitte werden insbesondere dazu eingebracht, um im folgenden Herstellungsprozess einzubringende Biegungen vornehmen zu können, ohne dass sich die Biegemomente auf den gesamten auf der Fördervorrichtung 710 befindlichen Band-Stahlrohling 702 übertragen. Dabei

werden die Schnitte an den Stellen des Band-Stahlrohrlings 702 eingebracht, wo im folgenden Herstellungsprozess die Abtrennung der Werkstücke von dem Band-Stahlrohling 702 vorgenommen wird.

5 Eine Biegevorrichtung 725 des Systems 700 ist ausgebildet, den Band-Stahlrohling 702 an unterschiedlichen Stellen zu biegen. Im Bereich der Biegungen werden die beim Biegen gebildeten Nullspalte mittels einer Laserschweißvorrichtung 730 geschlossen. Nach dem Schweißen werden mittels einer Schneidevorrichtung 740 die einzelnen Werkstücke von dem Stahlrohling 702 getrennt. Die fertigen Werkstücke können dann auf einem Stapel 750 beispielsweise für einen Transport gelagert werden.

10 Figur 8 zeigt eine perspektivische Ansicht eines Teilabschnitts eines erfindungsgemäßen Werkstücks 800, welches als Bandstahlrohling 801 ausgebildet ist. In den Bandstahlrohling 801 sind Ausnehmungen 810 eingebracht, die sich quer zur Längserstreckungsrichtung 815 des Bandstahlrohrlings 801 seitlich in den Bandstahlrohling 801 hinein erstrecken und zu einer seitlichen Begrenzung 816 des Bandstahlrohrlings offen sind. Ein erster
15 Bereich 820 begrenzt einen ersten Abschnitt 821 der Ausnehmung 810. Ein zweiter Bereich 830 begrenzt einen zweiten Abschnitt 831 der Ausnehmung 810. Ein Biegemoment 840 kann dabei auf den zweiten Bereich 830 des Bandstahlrohrlings 801 in Form eines Drehmoments um die gestrichelt dargestellte Achse 841 ausgeübt werden. D.h. der in Betrachtungsrichtung unterhalb der gestrichelten Linie 841 abgebildete Bereich des
20 Bandstahlrohrlings bleibt in seiner Position bestehen, während der in Betrachtungsrichtung oberhalb der gestrichelten Linie 841 abgebildete Randbereich des Bandstahlrohrlings ein Drehmoment um die Achse 841 erfährt. Ein Biegemoment 841 dieser Art überträgt sich dabei aufgrund der Ausnehmung 810 nicht auf den ersten Bereich 820 des Bandstahlrohrlings. D.h. in dem zweiten Bereich 830 kann eine Biegung vorgenommen werden,
25 ohne dass sich diese Biegung auf den ersten Bereich 820 überträgt bzw. auf den ersten Bereich 820 einen Einfluss hat.

Figur 9 zeigt eine perspektivische Ansicht des in Figur 8 abgebildeten Bandstahlrohrlings 801 in einem Zwischenzustand nach dem Biegen. D.h. an dem in Figur 8 gezeigten Bandstahlrohling wurden Biegungen ausgeführt, die im Herstellungsprozess zur Herstellung einer Spundbohle an dem Bandstahlrohling vorgenommen werden. Figur 9 zeigt im
30 Wesentlichen zwei Spundbohlen 901 und 902, die in einem im Herstellungsprozess folgenden Schritt voneinander getrennt werden.

Figur 10 zeigt jeweils einen Teilabschnitt 1010 bzw. 1020 einer ersten Spundbohle 1011 bzw. einer zweiten Spundbohle 1021. Die erste Spundbohle 1011 weist ein Schlosselement 1012 auf, welches mit einem Schlosselement 1022 der zweiten Spundbohle 1021 in Eingriff steht. Im Sinne der Figur 10 sind Winkelangaben mit positiven Werten von mehr als $+0^\circ$ als Winkelausrichtungen im Uhrzeigersinn 1030 zu verstehen; negative Winkelangaben mit negativen Werten von weniger als -0° sind als Winkelausrichtungen entgegen dem Uhrzeigersinn zu verstehen.

Das Schlosselement 1012 der ersten Spundbohle 1011 wird gebildet von einer Anschlagleiste 1013 und einer Hakenleiste 1014. Die Anschlagleiste 1013 erstreckt sich von einem Wandabschnitt 1015 der ersten Spundbohle 1011 in einem Winkel ω von $+38^\circ$. Die Hakenleiste 1014 erstreckt sich von der Anschlagleiste 1013 in einem Winkel ψ von etwa $+123^\circ$. Das Ende der Hakenleiste 1014 bildet gleichzeitig ein Ende 1002 der ersten Spundbohle 1011. Dieses Ende 1002 ist abgerundet ausgebildet und weist zumindest im Querschnitt der Spundbohle gesehen keine scharfen Kanten auf.

Das Schlosselement 1022 der zweiten Spundbohle 1021 wird gebildet von einer Anschlagleiste 1023, einer Kopfleiste 1024, einer Stirnleiste 1025 und einer Hakenleiste 1026. Die Anschlagleiste 1023 erstreckt sich von einem Wandabschnitt 1027 der zweiten Spundbohle 1021 in einem Winkel χ von etwa $-49,5^\circ$. Die Kopfleiste 1024 erstreckt sich von der Anschlagleiste 1023 in einem Winkel ϕ von etwa $+30,5^\circ$. Die Stirnleiste 1025 erstreckt sich von der Kopfleiste 1024 in einem Winkel σ von etwa $+57^\circ$. Die Hakenleiste 1026 erstreckt sich von der Stirnleiste 1025 in einem Winkel ψ von etwa $+123^\circ$. Das Ende der Hakenleiste 1026 bildet gleichzeitig ein Ende 1003 der zweiten Spundbohle 1021. Dieses Ende 1003 ist abgerundet ausgebildet und weist zumindest im Querschnitt der Spundbohle gesehen keine scharfen Kanten auf. In der in Figur 10 gezeigten Konstellation sind die Wandabschnitte 1015 und 1027 parallel zueinander ausgerichtet und in derselben Ebene angeordnet.

Bei Zugbelastungen zwischen den gezeigten Spundbohlen 1011 und 1021, d.h. wenn die Spundbohlen mit hoher Kraft voneinander wegbewegt werden, greifen die Schlosselemente derart ineinander, dass das Ende 1002 der Hakenleiste 1014 gegen die Stirnleiste 1025 und die Hakenleiste 1026 stößt und das Ende 1003 der Hakenleiste 1026 gegen die Anschlagleiste 1013 und Hakenleiste 1014 stößt. Bei Druckbelastungen, beispielsweise quer zu Längserstreckungsrichtung der Spundbohlen 1022 und 1021, bleiben die Schlösser ineinander verhakt. Lediglich durch ein Verschieben der ineinandergreifenden

Spundbohlen in Betrachtungsrichtung der Figur 10 können die Spundbohlen voneinander getrennt werden.

Figuren 11 und 12 zeigen jeweils einen Teil einer Spundwand 1100 mit zwei Spundbohlen. Dabei zeigt Figur 11 eine perspektivische Ansicht und Figur 12 eine Querschnittansicht der Spundwand 1100. Die in den Figuren 11 und 12 gezeigten Spundbohlen sind
5 ähnlich wie die in Figur 10 gezeigten Spundbohlen aufgebaut. Gleiche oder funktionsgleiche Elemente sind dabei mit denselben Bezugszeichen versehen. Eine erste Spundbohle 1011 ist dabei im Wesentlichen Z-förmig ausgeführt mit einem ersten Wandabschnitt 1015, welcher an einem Ende 1110 (rechts) ein Schlosselement 1012 aufweist. Eine
10 zweite Spundbohle 1021 ist im Wesentlichen Z-förmig ausgebildet mit einem ersten Wandabschnitt 1027, welcher an einem Ende 1120 (links) ein Schlosselement 1022 aufweist.

Von dem ersten Wandabschnitt 1015 der ersten Spundbohle 1011 erstreckt sich ein zweiter Wandabschnitt 1140 der ersten Spundbohle 1011 in einem Winkel ν von etwa
15 -50° zum ersten Wandabschnitt 1015. Von dem zweiten Wandabschnitt 1140 erstreckt sich ein dritter Wandabschnitt 1113 der ersten Spundbohle 1011 in einem Winkel μ von etwa $+50^\circ$ zu dem zweiten Wandabschnitt 1140. Der dritte Wandabschnitt 1113 weist an einem Ende 1111 ein Schlosselement 1112 auf, welches im Wesentlichen wie das Schlosselement 1022 der zweiten Spundbohle 1021 aufgebaut ist. D.h. das Schlosselement 1112 weist bei Spiegelung an einer Ebene 1130 die gleiche Form wie das Schlosselement 1022 auf.
20

Von dem ersten Wandabschnitt 1027 der zweiten Spundbohle 1021 erstreckt sich ein zweiter Wandabschnitt 1141 der zweiten Spundbohle 1021 in einem Winkel λ von etwa $+50^\circ$ zum ersten Wandabschnitt 1027. Von dem zweiten Wandabschnitt 1141 erstreckt
25 sich ein dritter Wandabschnitt 1114 der zweiten Spundbohle 1027 in einem Winkel κ von etwa -50° zu dem zweiten Wandabschnitt 1141. Der dritte Wandabschnitt 1114 weist an einem Ende 1121 ein Schlosselement 1122 auf, welches im Wesentlichen wie das Schlosselement 1012 der ersten Spundbohle aufgebaut ist. D.h. das Schlosselement 1122 weist bei Spiegelung an einer Ebene 1130 die gleiche Form wie das Schlosselement 1012 auf.
30

Figur 13 zeigt eine Querschnittansicht eines Teilabschnitts des in Fig. 10 gezeigten Schlosselements 1022. Diese Querschnittansicht verdeutlicht den Schweißvorgang nach

dem Schritt des Biegens. Insbesondere zeigt Figur 13 eine Hakenleiste 1026 und einen Abschnitt einer Stirnleiste 1025. Nach dem Biegen bilden die Schenkel der Ausnehmung, beispielsweise die Schenkel 413 und 414 wie sie in Figur 4A abgebildet sind, einen Nullspalt. Zum Schließen (Schweißen) des Nullspalts wird ein Laserstrahl 1310 von der Biegeaußenseite 1320 hin zur Biegeinnenseite 1321 gerichtet. Der Laserstrahl 1310 verläuft im Inneren des Werkstücks 1300 im Wesentlichen entlang des Nullspalts. Nach dem Schweißen ist an der Biegeaußenseite 1320 der Schweißnaht eine Schweißwurzel 1330 und an der Biegeinnenseite 1321 der Schweißnaht eine Schweißwurzel 1331 gebildet. Im Inneren des Werkstücks 1300 bilden sich nach dem Schweißen zwei Bereiche 1340 und 1341 aus. Der Bereich 1340 wird von einem im Wesentlichen dreieckförmigen Schweißkern 1345 gebildet, der beim Schweißen vollständig aufgeschmolzen wird. Der Bereich 1341 wird von einem Übergangsbereich zwischen Schweißkern 1345 und dem beim Schweißen nicht beeinflussten Bereich 1346 des Werkstücks gebildet. Das Schweißen von der Biegeaußenseite 1320 sorgt für eine keilförmige Wurzel, deren Spitze zur Biegeinnenseite 1321 hin ausgerichtet ist. Dabei liegt der Fokus 1350 des Laserstrahls 1310 innerhalb des Werkstücks 1300, insbesondere in dem Bereich 1340. Diese Fokusslage, d.h. die Position des Fokus innerhalb des Werkstücks (ausgehend von dem Punkt, an dem der Laserstrahl auf das Werkstück auftrifft), sorgt für eine breite Wurzel, so dass ein weiterer Bereich der Biegeaußenseite erfasst wird. Insbesondere bei W-förmigen Ausnehmungen, die im gebogenen Zustand schwalbenschwanzartig auskragen, können damit die beim Biegen gebildeten Nullspalte aufgeschmolzen werden. Auch der beim Biegen verformte Bereich wird dadurch aufgeschmolzen, so dass das Gefüge nach dem Erkalten spannungsärmer als im vorgebogenen Zustand ist.

Der Laserstrahl 1310, welcher zum Schweißen verwendet wird, weist vorzugsweise eine Leistung von 10 kW bis 14 kW (Kilowatt) auf. Insbesondere bei einem Biegewinkel von etwa 110° beträgt die Leistung des Schweiß-Laserstrahls bevorzugt etwa 14 kW bei einer bevorzugten Fokusslage von etwa -14 mm, bei einem Biegewinkel von etwa 90° beträgt die Leistung des Schweiß-Laserstrahls bevorzugt etwa 12 kW bei einer bevorzugten Fokusslage von etwa -16 mm und bei einem Biegewinkel von etwa 50° beträgt die Leistung des Schweiß-Laserstrahls bevorzugt etwa 10 kW bei einer bevorzugten Fokusslage von etwa -8 mm. Vorzugsweise bewegt sich der Schweiß-Laserstrahl beim Schweißen in Betrachtungsrichtung der Fig. 13 gesehen entlang des zu schweißenden Werkstücks mit einer Geschwindigkeit von 1,5 bis 1,8 m/min (Meter pro Minute).

Ansprüche

1. Verfahren zur Herstellung eines Stahlprofils, umfassend die Schritte:
Bereitstellen eines Werkstücks (2, 44, 52), insbesondere eines Stahlrohlings, bevorzugt eines Band-Stahlrohlings,
5 Bilden einer Schwächung (10) im Bereich einer vorgesehenen Biegung des Werkstücks (2, 44, 52) und
Biegen des Werkstücks (2, 44, 52) zum Erzeugen einer Biegung an dem Werkstück (2, 44, 52).
- 10 2. Verfahren nach Anspruch 1,
wobei die Schwächung (10) durch Bilden einer Ausnehmung (11), insbesondere einer Kerbung, in dem Werkstück (2, 44, 52) gebildet wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2,
15 wobei das Bilden der Schwächung (10), insbesondere einer die Schwächung (10) bildenden Ausnehmung (11), durch Fräsen, Walzen, Stanzen oder Prägen erfolgt.
4. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche,
wobei die Schwächung (10) nach dem Biegen durch Schweißen, insbesondere Laserschweißen, bevorzugt durch ein Laserhybrid-Schweißverfahren, verstärkt wird.
20
5. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche,
wobei eine die Schwächung (10) bildende Ausnehmung (11), welche an einer Biegeinnenseite (21) des Werkstücks (2, 44, 52) ausgebildet ist, beim Biegen verkleinert oder geschlossen wird oder
25 wobei eine die Schwächung (10) bildende Ausnehmung (11), welche an einer Biegeaußenseite des Werkstücks (2, 44, 52) ausgebildet ist, beim Biegen vergrößert wird.
- 30 6. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche,
mit einer die Schwächung (10) bildenden Ausnehmung (11) in dem Werkstück (2, 44, 52),
wobei die an einer Biegeinnenseite (21) des Werkstücks (2, 44, 52) ausgebildete Ausnehmung (11) nach dem Biegen durch Schweißen, insbesondere Laserschweißen, geschlossen wird.
35

7. Verfahren nach Anspruch 6,
bei dem das Schweißen erfolgt mittels eines fokussierten Laserstrahls (1310), welcher von der Biegeaußenseite (1320) des Werkstücks (1300) hin zur Biegeinnenseite (1321), insbesondere entlang eines von der Ausnehmung (410) nach dem Biegen gebildeten Nullspalts, gerichtet ist, dessen Fokus bevorzugt innerhalb des Werkstücks (1300) liegt.
8. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche,
wobei Schenkel (16), welche eine die Schwächung (10) bildende Ausnehmung (11) begrenzen, unlösbar verbunden werden.
9. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche,
wobei das Biegen durch freies Biegen, Schwenkbiegen oder Gesenkbiegen erfolgt.
10. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche,
wobei das Bereitstellen des Werkstücks (2, 44, 52) durch Entrollen einer Bandstahlrolle (42), insbesondere eines Coils, erfolgt.
11. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche,
wobei in ein Werkstück (800), welches als Bandstahlrohling (801) ausgebildet ist, vor dem Biegen eine Ausnehmung (810) eingebracht wird, die im Wesentlichen quer zur Längsrichtung (815) des Bandstahlrohlings ausgerichtet ist und zu einer seitlichen Begrenzung (816) des Bandstahlrohlings (801) offen ist.
12. Verfahren nach Anspruch 11,
wobei die Ausnehmung (810) derart in den Bandstahlrohling (801) hineinragt, dass ein Biegemoment (840) in einem ersten Bereich (820) des Bandstahlrohlings (801), welcher einen ersten Abschnitt (821) der Ausnehmung (810) begrenzt, sich nicht auf einen zweiten Bereich (830) des Bandstahlrohlings (801) überträgt, welcher einen zweiten Abschnitt (831) der Ausnehmung (810) begrenzt.
13. Stahlprofil, insbesondere hergestellt gemäß einem Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, umfassend
ein Werkstück (2, 44, 52), welches in einem Biegebereich eine Schwächung (10) aufweist.

14. Stahlprofil nach Anspruch 13,
wobei die Schwächung (10) als Ausnehmung (11) in dem Werkstück (2, 44, 52) ausgebildet ist.
- 5 15. Stahlprofil nach Anspruch 13 oder 14,
wobei das Werkstück (2, 44, 52) im Biegebereich eine im Wesentlichen V-förmige Ausnehmung (11) aufweist, wobei die Schenkel (16) der Ausnehmung (11) zueinander bevorzugt einen Winkel im Bereich von 90° bis 135° bilden.
- 10 16. Stahlprofil nach einem der vorstehenden Ansprüche 13 bis 15,
wobei das Werkstück (400) im Biegebereich eine im Wesentlichen W-förmige Ausnehmung aufweist.
- 15 17. Stahlprofil nach einem der vorstehenden Ansprüche 13 bis 16,
wobei das Werkstück (400) eine Ausnehmung (410) aufweist, die in einem ersten Bereich (412) V-förmig und in einem zweiten Bereich (425), insbesondere einem Bodenbereich der Ausnehmung (410), W-förmig ausgebildet ist,
wobei die Schenkel (413, 414) des V-förmigen Bereichs (412) zueinander bevorzugt einen Winkel im Bereich von etwa 50° bis 110° bilden.
- 20 18. Stahlprofil nach einem der vorstehenden Ansprüche 16 oder 17,
wobei sich die Schenkel der W-förmigen Ausnehmung an die Schenkel der V-förmigen Ausnehmung anschließen, insbesondere derart, dass sich die jeweils außen liegenden Schenkel der W-förmigen Ausnehmung an die Schenkel der V-förmigen Ausnehmung anschließen.
- 25 19. Stahlprofil, nach einem der vorstehenden Ansprüche 13 bis 18,
wobei das Werkstück (2, 44, 52) eine Schweißnaht (30), insbesondere eine Laserschweißnaht, zum Verstärken der Schwächung (10) im Biegebereich (12) aufweist.
- 30 20. Spundbohle, insbesondere Z-Spundbohle, welche von einem Stahlprofil gebildet wird, welches gemäß einem Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche erstellt wird.
- 35 21. Spundbohle, insbesondere Z-Spundbohle, umfassend:

- ein Schlosselement (512; 1012) zum Verbinden der Spundbohle (511; 1011) mit einem Schlosselement (522; 1022) einer weiteren Spundbohle (521; 1021) oder eines Trägerelements,
mit einer sich, insbesondere im Wesentlichen rechtwinklig, von einem Wandabschnitt (515; 1015) der Spundbohle (511; 1011) erstreckenden Anschlagleiste (513; 1013) und
mit einer sich von der Anschlagleiste (513; 1013) erstreckenden Hakenleiste (514; 1014),
wobei die Hakenleiste (514; 1014) im Wesentlichen in einem Winkel (α ; ψ) von wenigstens 90° , insbesondere in einem Winkel von 100° bis 130° , zu der Anschlagleiste (513; 1013) ausgerichtet ist und ein Ende (502; 1002) der Hakenleiste (514; 1014) dem Wandabschnitt (515; 1015) zugewandt ist.
22. Spundbohle nach Anspruch 21,
wobei die Anschlagsleiste (1013) in einem Winkel (ω) von höchstens 90° , insbesondere in einem Winkel von etwa 20° bis 50° , bevorzugt 30° bis 40° , zu dem Wandabschnitt (1015) ausgerichtet ist.
23. Spundbohle, insbesondere Z-Spundbohle, umfassend:
ein Schlosselement (522; 1022) zum Verbinden der Spundbohle (521; 1021) mit einem Schlosselement (512; 1012) einer weiteren Spundbohle (511; 1011) oder eines Trägerelements,
mit einer sich, insbesondere im Wesentlichen rechtwinklig, von einem Wandabschnitt (527; 1027) der Spundbohle (521; 1021) erstreckenden Anschlagleiste (523; 1023),
mit einer sich, insbesondere im Wesentlichen rechtwinklig, von der Anschlagleiste (523; 1023) erstreckenden Kopfleiste (524; 1024),
mit einer sich, insbesondere im Wesentlichen rechtwinklig, von der Kopfleiste (524; 1024) erstreckenden Stirnleiste (525; 1025) und
mit einer sich von der Stirnleiste (525; 1025) erstreckenden Hakenleiste (526; 1026),
wobei die Hakenleiste (526; 1026) im Wesentlichen in einem Winkel (β ; ψ) von wenigstens 90° , insbesondere in einem Winkel (β) von 100° bis 130° , zu der Stirnleiste (525; 1025) ausgerichtet ist und sich von der Stirnleiste (525; 1025) in einen U-förmigen Bereich (528; 1028) erstreckt, welcher von der Anschlagleiste (523; 1023), der Kopfleiste (524; 1024) und der Stirnleiste (525; 1025) gebildet wird.

24. Spundbohle nach Anspruch 23,
wobei die Anschlagleiste (1023) in einem Winkel (χ) von höchstens 90°, insbesondere in einem Winkel von etwa 30° bis 70°, bevorzugt 45° bis 55°, zu dem Wandabschnitt (1027) ausgerichtet ist und/oder
5 wobei die Kopfleiste (1024) in einem Winkel (φ) von höchstens 90°, insbesondere in einem Winkel von etwa 20° bis 50°, bevorzugt 30° bis 40°, zu der Anschlagleiste (1023) ausgerichtet ist und/oder
wobei die Stirnleiste (1025) in einem Winkel (σ) von höchstens 90°, insbesondere
10 in einem Winkel von etwa 30° bis 70°, bevorzugt 45° bis 60°, zu der Kopfleiste (1024) ausgerichtet ist.
25. Spundbohle nach einem der Ansprüche 21 oder 24,
bei der die Hakenleiste (1026) im Wesentlichen in einem Winkel (ψ) von 120° bis
15 140° zu der Stirnleiste (1025) ausgerichtet ist.
26. Spundbohle nach einem der Ansprüche 21 oder 22,
wobei ein Ende (402; 502; 503) der Hakenleiste (514; 524) abgerundet ausgebildet
20 ist.
27. Spundwand umfassend mindestens zwei Spundbohlen, insbesondere Z-Spundbohlen, nach einem der vorstehenden Ansprüche.
28. System zur Herstellung eines Stahlprofils aus einem Werkstück, insbesondere
25 einem Stahlrohling, bevorzugt einem Band-Stahlrohling (4, 702), umfassend:
eine Schwächungsvorrichtung (14, 56) zum Bilden einer Schwächung (10) des Werkstücks (2, 44, 52), insbesondere einer Ausnehmung (11), im Bereich einer vorgesehenen Biegung des Werkstücks (2, 44, 52) und
eine Biegevorrichtung (20, 60, 725) zum Biegen des Werkstücks (2, 44, 52) im Be-
30 reich der Schwächung (10).
29. System nach Anspruch 28, umfassend
eine Zuführvorrichtung (50, 704) zum Bereitstellen des Werkstücks (2, 44, 52), insbesondere des Stahlrohlings, bevorzugt des Band-Stahlrohlings (4, 702).
30. System nach einem der vorstehenden Ansprüche 28 bis 29,
- 35

wobei eine Schneidevorrichtung (43) zum Zerteilen eines von einer Bandstahlrolle (42) zugeführten Bandstahls in Werkstücke (2, 44, 52) vorgesehen ist.

31. System nach einem der vorstehenden Ansprüche 28 bis 30,
5 wobei eine Schneidvorrichtung (720) ausgebildet ist zum Einbringen einer Ausnehmung (810), die im Wesentlichen quer zur Längsrichtung (815) des Bandstahlrohrlings ausgerichtet ist und zu einer seitlichen Begrenzung (816) des Bandstahlrohrlings (801) offen ist.