

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung von balkenförmigen Stahl-Beton-Verbundträgern aus einem Stahlträger und einem bewehrten Betonbalken als Obergurt, dessen Herstellung sich in die folgenden Schritte untergliedern lässt:

- Schritt a) Teilen eines Doppel-T-Trägers in zwei obergurtlose Stahlträger (9; 22) durch einen Trennschnitt,
- Schritt b) Ausbilden von Stahldübeln mit Abschnitten mit Hinterschneidungen an einem stegförmigen Abschnitt des Stahlträgers durch zumindest einen in seinem Verlauf nahezu beliebig geführten Trennschnitt,
- Schritt c) Montage von Bewehrungsstahl für den Betonbalken unter Einbindung der Stahldübel des Stahlträgers, und schließlich
- Schritt d) Anbetonieren des bewehrten Betonbalkens an den Stahlträger.

[0002] Die Erfindung betrifft außerdem einen Stahlträger für einen derartigen balkenförmigen Stahl-Beton-Verbundträger, der im Einbauzustand mit einem stegförmigen Abschnitt zumindest teilweise in einen bewehrten Betonobergurt des Stahl-Beton-Verbundträgers einbindet und der am stegförmigen Abschnitt im Wesentlichen zweidimensionale haken- oder zapfenförmige Stahldübel mit Hinterschneidungen aufweist. Die Erfindung betrifft schließlich einen balkenförmigen Stahl-Beton-Verbundträger mit einem Verbund zwischen einem bewehrten Betonbalken als Obergurt und einem Stahlträger mit einem Stahlflansch und mit einem stegförmigen Abschnitt, der im Einbauzustand mit dem stegförmigen Abschnitt zumindest teilweise in den Obergurt einbindet und der am stegförmigen Abschnitt im Wesentlichen zweidimensionale hakenförmige Stahldübel mit Hinterschneidungen aufweist. Bei T-förmigen Plattenbalken als Obergurt kann der stegförmige Abschnitt des Stahlträgers entweder in die Flansche des Obergurts oder in dessen Steg eingebunden sein.

[0003] Der Verbundbrückenbau stellt eine wartungsfreundliche Alternative zum Spannbrückenbau dar, weil er eine offene Struktur bietet, in der sowohl die Beton- als auch die Stahlkomponenten leicht zugänglich und daher bequem zu überprüfen sind. Darüber hinaus bietet er eine große Gestaltungsvielfalt. Eine Bauweise und ein Träger der eingangs genannten Art sind beispielsweise im Betonkalender 2002, Teil II. Abschnitt E unter dem Stichwort "Verbundbrücken in der Praxis" (Verlag Ernst & Sohn, Berlin) offenbart.

[0004] Die Brückenträger beruhen auf einem Verbund zwischen einem Betonflansch als Druckgurt und einem Stahlträger im zugbelasteten Feldbereich des Brückenträgers. Den Anschluss der Betonkomponente an das Stahltragelement bildet eine Verbundverdübelung. Sie besteht zum einen aus Stahldübeln, die am Stahlträger ausgebildet werden, und zum anderen aus Betondübeln. Zwischen den Stahldübeln ist genügend stahlfreier Raum vorzusehen, in dem im Fertigzustand des Trägers eine Querbewehrung des Betonflansches verläuft, die eine gute Übertragung der auftretenden Schubkräfte unterstützen kann. Der stahlfreie und betongefüllte Raum bildet dabei die Betondübel. Eine günstige Herstellungsweise zur Ausbildung der Stahldübel ist ein Ausschneiden der Dübel aus dem Stegblech eines obergurtlosen Stahlprofils oder eine separate, auf ein Doppel-T-Profil aufgeschweißte Dübelleiste.

[0005] Die Form des Stahldübels lässt sich durch seine folgenden Bestandteile beschreiben: Der Bereich der Verbindung des Dübels mit dem Stahlträger bildet den Dübelgrund. An ihn schließen die aufragenden Dübelnflanken oder Dübeistimflächen an, die die Kraft übertragenden Druckflächen des Dübels darstellen. Sie gehen über in eine trägerferne, im Wesentlichen parallel zum Träger verlaufende und ihn abschließende Oberseite des Dübels.

[0006] Ein besonders wirtschaftliches Herstellungsverfahren für Brücken stellt die Bauweise mit Verbundfertigteilträgern (VFT[®]-Bauweise) dar. Die einzelnen Stahl-Beton-Verbundträger der zukünftigen Brücke werden dabei als Fertigteile hergestellt. Die Fertigteilbauweise gewährleistet einen qualitativ hochwertigen und frühzeitigen Verbund zwischen dem Betonflansch und dem Stahlträger. Unter Entfallen einer Schalung auf der Baustelle und damit unter geringer Beeinträchtigung des überbrückten Verkehrs werden die Fertigteilträger eingebaut. Dazu kommen die kurzen Montagezeiten der Fertigteilträger auf der Baustelle, Die Montage wird zusätzlich dadurch erleichtert, dass alle Verbindungen und Lagerpunkte vor Ort mit Beton vergossen werden können, also in einem problemlos bei nahezu jeder Witterung durchführbaren Verfahren. Witterungsanfällige Schweiß- und Korrosionsschutzarbeiten auf der Baustelle entfallen demzufolge. Der Fertigteilträger selbst dient anschließend außerdem als Schalungselement für die Ortbetonplatte der zukünftigen Brücke, so dass auch der Schalungsaufwand dafür deutlich reduziert werden kann.

[0007] Zusätzliche Robustheit gewinnt das VFT[®]-Verfahren durch seine Kombination mit der traditionellen Konstruktionsweise "Walzträger-in-Beton" (WIB). Die Stahlkomponenten des Verbundfertigteilträgers können zwei parallel nebeneinander angeordnete, obergurtlose Walzprofile oder entsprechend geschweißte Querschnitte bilden. Der durch ihre Stegbleche und Untergurte eingeschlossene U-förmige Zwischenraum wird mit Beton verfüllt. Er bildet dadurch quasi einen stahlumhüllten Unterzug der zukünftigen Brückentafel. Dadurch wird unter anderem ein hoher Widerstand bei einem Fahrzeuganprall erzielt. Ein Bewehrungsanschluss stellt die Kopplung einer nachträglich ergänzten Ortbetonplatte mit dem Fertigteilträger sicher.

[0008] Dieses Bauverfahren ist am Beispiel der Verbundbrücke Pöcking in "Stahlbau" Heft 6/2004, Seiten 387 ff. (Ernst & Sohn Verlag, Berlin) beschrieben. Die Besonderheit des damaligen Projekts lag insbesondere in der Verwendung eines Doppel-T-Trägers, der durch einen speziellen Trennschnitt in zwei obergurtlose Stahlträger geteilt wurde. Der besondere wellenförmige Verlauf des Trennschnitts mit Hinterschneidungen sorgte einerseits für zwei gleichartige obergurtlose Stahlprofile und andererseits zugleich für die Ausbildung der Stahldübel. Dadurch konnten sowohl ein Materialverlust als auch eine Reduzierung der Stahlträgerhöhe durch Verschnitt weitgehend vermieden werden. Der einzige kontinuierliche Trennschnitt wies große Ausrundungsradien an den Kopfbolzendübeln aus, um eine ungünstige Kerbwirkung unter Betriebslast zu vermeiden. Dadurch ergab sich ein Trennschnitt mit einem quasi puzzelförmigen Verlauf.

[0009] Insgesamt ist die WIB-Bauweise in Kombination mit der VFT®-Konstruktion durch einen effizienten Materialeinsatz gekennzeichnet. Sie bietet einen hohen Vorfertigungs- und Vereinheitlichungsgrad, der zu kurzen Fertigungszeiten auf der Baustelle führt. Durch die Vorfertigung im Werk lassen sich hohe Qualitäten sowohl der Einzelkomponenten in Beton und Stahl als auch eine hohe Qualität ihres Verbunds erzielen. Die minimierte Witterungsanfälligkeit der Restarbeiten auf der Baustelle schließlich sorgt für einen nahezu unbehinderten Bauablauf. Ihre hohe Qualität reduziert den späteren Aufwand für die Bauwerkswartung.

[0010] Die vorliegende Erfindung hat es sich zur Aufgabe gemacht, das beschriebene VFT-WIB®-Verfahren und die dafür eingesetzte Vorrichtung insbesondere hinsichtlich des Verbundes zwischen Beton und Stahl weiter zu verbessern.

[0011] Dies gelingt bei dem eingangs genannten Herstellungsverfahren dadurch, dass der Trennschnitt am Stahlträger Stahldübel ausbildet, deren dem Dübelgrund am Träger gegenüberliegende Dübeloberseiten zumindest einseitig ausrundungsfrei in die Dübelstirnfläche übergehen. Die bekannten Dübel des oben beschriebenen Trägers bzw. Verfahrens orientierten sich noch an den konventionellen nagelförmigen Kopfbolzendübeln mit einem Dübelkopf und einer Dübelstirnfläche, die im Wesentlichen aus einem stiel förmigen Abschnitt besteht, der an seinem Dübelgrund mit dem Träger rechtwinklig verschweißt wurde. Die Erfindung dagegen verfolgt das Prinzip, Rundungen am Dübelkopf bzw. der Dübeloberseite weitgehend zu vermeiden. Der Trennschnitt wird also derart geführt, dass die im Wesentlichen parallel zur Trägerlängsrichtung verlaufende Dübeloberseite nahezu ausrundungsfrei in eine plane oder konkave Dübelstirnfläche übergeht. Die konkave Stirnfläche nimmt über ihre offene Rundung Kontakt zum Beton auf und erzeugt über die Rundung einen mehraxialen Druckzustand. Diese Ausformung des Dübels ist insbesondere zur Übertragung von ruhenden Belastungen geeignet, da der Stahldübel eine maximale Steifigkeit gewinnt und eine große Kontaktfläche zur Schubkraftübertragung mit dem Beton bildet.

[0012] Eine mögliche Ausführungsform für einen derartigen Dübel stellt ein haifischflossenförmiger Dübel dar. Er weist in Trägerlängsrichtung eine konkave Vorderseite und eine konvexe Rückseite auf. Durch diese Gestaltung erhält der Dübel eine Orientierung. Für eine optimale Kraftübertragung ist er daher gemäß dem vorhandenen Schubfluss mit seiner konkaven Vorderseite entgegen der Druckrichtung auszurichten.

[0013] Der Trennschnitt kann mit Gasbrennverfahren, mittels Plasmaschneidens oder durch Schneiden mit einem Hochdruckwasserstrahl erzeugt werden. Das kostengünstige Gasbrennverfahren erzeugt eine große Rauigkeit der Schnittkante, die gemäß den einschlägigen Vorschriften abgearbeitet wird. Der hohe Energieeintrag dieses Verfahrens wirkt sich allerdings negativ auf die Ermüdungsfestigkeit des bearbeiteten Stahls aus. Beim teureren Plasmaschneiden dagegen entsteht eine sehr glatte Schnittkante und der Schnitt kann sehr präzise geführt werden. Im Bereich der Schnittkante sind eine Aufglasung und damit eine unerwünschte Aufhärtung des Materials festzustellen. Es ist allerdings das schnellste der drei Verfahren. Das Wasserstrahlschneiden schließlich ist das teuerste Verfahren, bei dem in hoher Präzision glatte Schnittkanten erzielt werden können. Mangels Energieeintrag entstehen keine unerwünschten ausgehärteten Bereiche.

[0014] Neben dem Dübelkopf, also dem Bereich der Dübeloberseite, trägt auch die Gestaltung des Dübels im Bereich des Dübelgrunds entscheidend zur Kraftübertragung bei. Nach einer vorteilhaften Ausgestaltung des erfinderischen Verfahrens kann der Trennschnitt daher Ausrundungen an den Übergängen zwischen den Dübelstirnflächen und dem Dübelgrund ausbilden. Ein großer Radius am Dübelgrund verringert die Kerbwirkung und ermöglicht auch eine zuverlässige Kraftübertragung unter dynamischer Belastung. Damit können Ermüdungserscheinungen des Trägers bei nicht ruhenden Beanspruchungen vermieden werden.

[0015] Diese Dübelformen können grundsätzlich an einem separaten Dübelblech hergestellt werden, das auf einem Träger aufgeschweißt wird. Nach einer vorteilhaften Ausgestaltung des Verfahrens werden die Stahldübel jedoch an einem obergurtlosen Stahlträger ausgebildet. Das Entfallen des Obergurts ist konstruktiv hinnehmbar, weil er im eingebauten Zustand ohnehin kaum mehr in Längsrichtung belastet wird. Sein Wegfall bedeutet zum einen eine Materialeinsparung in einem Umfang von ca. 12% und erübrigt zum anderen zwei Halskehlnähte, womit sich auch der Herstellungsaufwand des Stahlträgers wesentlich verringert.

[0016] Nach einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung kann der Trennschnitt zur Herstellung der Stahldübel einen Doppel-T-Träger in zwei obergurtlose Stahlträger teilen. Damit kann das Herstellen der Stahldübel an einem Stegblech eines Trägers mit der Herstellung zweier obergurtloser Stahlträger kombiniert werden. Das Zusammenfassen dieser beiden Herstellungsschritte verringert die Herstellungskosten des Verbundträgers erheblich.

[0017] Zur Teilung eines Doppel-T-Trägers in zwei obergurtlose Einzelträger genügt an sich ein einziger kontinuier-

licher Trennschnitt. Nach einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung werden die Stahldübel im Schritt a) des eingangs genannten Verfahrens durch einen einfachen kontinuierlichen und stetigen Trennschnitt als asymmetrische Dübel hergestellt. Die Asymmetrie ergibt sich aus der oben bereits erläuterten gewünschten Dübelform mit einem ausrundungsfreien Übergang der Dübeloberseite in die Dübelstirnfläche. Diese Form orientiert sich außerdem an einer weitgehend verschnittfreien Herstellung der obergurtlosen Stahlträger. Durch einen einzigen kontinuierlichen Trennschnitt lässt sich beispielsweise eine Dübelform nach Art der oben bereits erwähnten Haifischflosse erzeugen. Sie weist - in Längsrichtung des Trägers gesehen - auf einer Seite eine konkave und auf der gegenüberliegenden Seite eine konvexe Dübelstirnfläche auf. Beim Einbau sind seine Orientierung und die Richtung des Schubflusses zu berücksichtigen. Die konvexen Seiten des Stahldübels weisen demzufolge zu den Trägerenden, so dass in der Mitte des jeweiligen Trägers eine Richtungsumkehr der Stahldübel vorgenommen wird.

[0018] Die Ausrichtung der Dübel an der Schubflussrichtung stellt eine gewisse konstruktive Einschränkung des Trägers dar. Nach einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung können daher nach einem ersten Trennschnitt in Schritt a) mit einem zweiten Trennschnitt symmetrische Dübel mit einer Ausrundung der Dübelstirnfläche gegenüber einem Dübelgrund ausgebildet werden. Eine derartige Ausrundung kann weitgehend beliebige Formen annehmen. In einem einfachen Fall weist sie einen konstanten Radius auf, sie kann sich aber auch aus mehreren konstanten oder sich ändernden Radien zusammensetzen, beispielsweise in der Form einer Klothoide. Durch den Verschnitt bei der Herstellung der symmetrischen Dübelform ist die Dübelfläche am Stahlträger in der Regel kleiner als die dazwischen liegende Betonfläche. Speziell bei dicken Blechen und geringen Betongüten ist dies von Vorteil, weil der weniger tragfähige Betondübel in der Ebene der Stahldübel eine größere Querschnittsfläche erhält.

[0019] Der Verschnitt entsteht zwischen den einander zugewandten konkaven Dübelstirnflächen zweier Dübel, die den voneinander getrennten Stahlträgern zugeordnet sind. Er hat eine etwa mandelförmige Gestalt und kann bei einer geschickten Trennschnittführung auch ohne Unterbrechung des Trennschnitts herausgeschnitten werden. Dazu kann der Trennschnitt nach Erstellen der konkaven Stirnfläche eines ersten Dübels von dessen Dübeloberseite kommend und am Dübelgrund angelangt den künftigen Verschnitt der Länge nach durchfahren, um die Stirnfläche des zweiten Dübels von seinem Dübelgrund ausgehend zur Dübeloberseite hin auszubilden. Der Trennschnitt fährt dann fort entlang des Dübelgrundes des ersten bzw. der Dübeloberseite des zweiten Dübels.

[0020] Nach einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung des erfinderischen Verfahrens können im Schritt b) zwei Stahlträger parallel nebeneinander und mit geringem Abstand zueinander angeordnet werden und in Schritt c) ein Zwischenraum zwischen ihnen mit Beton verfüllt werden. Die Stege der beiden Stahlträger und ihre nebeneinander liegenden Untergurte bilden damit einen quasi köcher- oder U-förmigen Trog, der den Beton im Querschnitt dreiseitig umschließt. Für einen guten Verbund zwischen Beton und Stahl sorgt die doppelte Verbunddübelreihe im Stegbereich der obergurtlosen Träger. Damit erhöht sich die Schubflussübertragung zwischen Beton und Stahl. Die Abmessung des so hergestellten Verbundträgers wird im Wesentlichen durch die Steghöhe des obergurtlosen Stahlträgers bestimmt. Die Steghöhe ihrerseits definiert die maximal mögliche Längserstreckung des Trägers.

[0021] Die in der Erfindung gestellte Aufgabe wird außerdem durch einen Stahlträger für einen balkenförmigen Stahl-Beton-Verbundträger der eingangs genannten Art gelöst, bei dem die dem Trägerflansch abgewandte und einem Dübelgrund gegenüberliegende Dübeloberseite zumindest einseitig ausrundungsfrei in eine Dübelstirnfläche übergeht. Der Stahldübel weist also an seiner trägerfernen Oberseite keine spaltenden Rundungen mehr auf, so dass die Gefahr einer Rissbildung in diesem Bereich reduziert ist. Der Erfindung ist also die Erkenntnis zu verdanken, dass sich durch die Ausbildung beispielsweise eines spitzwinkigen Übergangs von der Dübeloberseite in die Dübelstirnfläche die Tragfähigkeit des Stahl-Beton-Verbunds steigern lässt.

[0022] Nach einer vorteilhaften Ausgestaltung des erfinderischen Stahlträgers ist der Dübel asymmetrisch mit einer einseitig konkaven Dübelstirnfläche ausgebildet. Die asymmetrische Form des Dübels ermöglicht seine weitgehend verschnittfreie Herstellung aus einem in seinem Steg in etwa mittig getrennten Doppel-Träger mit einem einzigen durchgehenden Trennschnitt. Außerdem erhält der Stahldübel eines geteilten Doppel-T-Trägers bei einem Wegfall von Verschnitt eine maximale Querschnittsfläche und damit seine maximale Tragfähigkeit.

[0023] Nach einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung des erfinderischen Stahlträgers kann der Dübel symmetrisch ausgebildet sein, wobei seine Dübelstirnfläche mit einer Ausrundung in den Dübelgrund übergeht. Die Ausrundung, die von einem konstanten Radius, mehreren Radien oder einer Klothoide gebildet sein kann, vermeidet eine Kerbwirkung des Stahlträgers im Beton am Dübelgrund. Daher ist ein Verbundträger mit einem derartigen Stahlträger auch für dynamische Belastung geeignet. Eine asymmetrische Ausbildung der Dübel bei einer Herstellung der Stahlträger aus einem getrennten Doppel-T-Träger verursacht einen höheren Verschnitt. Er geht zu Lasten der Dübelfläche, die kleiner ausfällt als die in der Ebene des Stahlträgers liegende Betonfläche. Kleinere Dübelflächen gegenüber größeren dazwischen liegenden Betonflächen sind insbesondere bei geringeren Betongüten ausreichend. Denn ein Beton geringerer Güte benötigt zur zuverlässigen Kraftübertragung einen größeren Querschnitt in der Ebene des Stahlträgers als ein höherwertiger. Umgekehrt ist eine dünnere Blechstärke bei gleicher durchschnittlicher Betonqualität in der Regel ausreichend für die Kraftübertragung aus dem oder in den Dübel.

[0024] Eine Ausrundung zwischen Dübelstirn und Dübelgrund kann beispielsweise bei einer geradlinigen, gegenüber

dem Träger senkrechten oder leicht geneigten Dübelstirn ausgebildet sein. Nach einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist die Dübelstirn selbst beidseitig eines Dübels konkav ausgerundet. Die Ausrundung kann einen konstanten Radius aufweisen oder klothoidenförmig ausgebildet sein. Gegenüber einer geradlinigen Dübelstirn erhält sie eine größere Kontaktfläche mit dem Beton, so dass die dortige Flächenpressung geringer ausfällt.

[0025] Der symmetrisch konkave Dübel in der so genannten Terion"-Form bietet außerdem eine höhere Tragfähigkeit. Denn unter der einseitigen Belastung der mit der Schubkraft beaufschlagten Dübelstirn erhält der Dübel eine Tendenz, der Krafteinwirkung durch Verkippen in Krafrichtung auszuweichen. Dieser Kippbewegung wirkt auf der nicht durch die Schubkraft belasteten Rückseite des Dübels eine Stützkraft entgegen. Denn dort umgreift die ebenfalls konkave Dübelstirn der Rückseite des Dübels einen konvexen Betondübel, Er hält mit einer Unterstützungskraft dagegen, die gegen den einen oberen Bereich der Dübelstirn quasi von unten gegen den Dübelkopf gerichtet ist. Während also die konkave Dübelstirn der Vorderseite des symmetrischen Dübels die Schubkraft aus dem Betondübel mit einer vorteilhaften geringeren Flächenpressung aufnimmt, unterstützt die konkave Dübelstirn der Rückseite den Dübel bei der Übernahme der Schubkraft durch die Aufnahme einer stützenden Gegenkraft, die einer schlimmstenfalls schädigenden Verformung des Dübels entgegenwirkt.

[0026] Nach einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist der Stahträger obergurtfrei ausgebildet. Dies reduziert die Herstellungskosten des Trägers erheblich, weil mit dem Entfallen des Obergurtes, der ohnehin im Einbaustand in Längsrichtung kaum mehr belastet ist, etwa 12% an Material eingespart werden. Damit entfällt auch eine doppelte Halskehlnaht am Obergurt, womit sich die Herstellungskosten weiter verringern.

[0027] Die in der Erfindung gestellte Aufgabe wird außerdem bei einem balkenförmigen Stahl-Beton-Verbundträger der eingangs genannten Art dadurch gelöst, dass die dem Stahlflansch abgewandte und einem Dübelgrund gegenüberliegende Dübeloberseite zumindest einseitig ausrundungsfrei in eine Dübelstirnfläche übergeht. Er kann insbesondere hinsichtlich der Dübelform im Sinne des oben beschriebenen Stahlträgers weitergebildet sein. In einer vorteilhaften Ausgestaltungsform kann er aus zwei parallel und mit geringem Abstand zueinander angeordneten obergurtlosen Stahlträgern ausgebildet sein, deren U-förmiger Zwischenraum zwischen den Stegen mit Beton verfüllt ist.

[0028] Das Prinzip der Erfindung wird nachfolgend anhand einer Zeichnung beispielshalber noch näher erläutert. In der Zeichnung zeigen:

Figur 1a: einen Querschnitt durch einen Verbundfertigteilträger mit paarweise angeordneten Walzträgern.

Figur 1 b: einen Querschnitt eines Verbundfertigteilträgers mit einem mittig angeordnetem Walzträger,

Figur 2: einen Längsschnitt durch einen Verbundträger.

Figur 3a: eine Seitenansicht eines belasteten Verbunddübels,

Figur 3b: eine Draufsicht eines belasteten Verbunddübels,

Figur 4a bis d: vier Dübelformen,

Figur 5: die Kraftwirkung an einem einzelnen Dübel,

Figur 6: das Prinzip des Trennschnitts zur Teilung eines Walzträgers, und

Figur 7: einen Brückenquerschnitt unter Verwendung von VFT-WIB-Trägern.

[0029] Die Figuren 1a und 1b zeigen zwei Konstruktionsbauweisen für Verbundfertigteilträger (VFT), die das Konstruktionsprinzip des Walzträgers-in-Beton (WIB) nutzen. Bei dieser Bauweise lassen sich zwei Prinzipien unterscheiden: Figur 1a zeigt einen Stahlbetonträger 1, dessen Betonbestandteil einen breiten plattenförmigen Obergurt 3 mit zwei Flanschen 5 beidseits eines Unterzugs 7 bildet. Die Stahlkomponente bilden zwei obergurtlose Walzträger 9 als Stahlträger mit jeweils einem senkrechten Steg 11 und zwei waagrechten Flanschen 13, die mit einem kleinen Zwischenraum Flansch an Flansch parallel nebeneinander angeordnet sind. Die Stege 11 und die Flansche 13 der Walzträger 9 bilden also einen nach oben offenen U-förmigen Querschnitt. Er ist Beton befüllt, der mit Bügeln 17 bewehrt ist, und bildet den Unterzug 7. Die Walzträger 9 weisen an dem freien Ende ihrer Stege 11 Stahldübel 15 auf (siehe auch Figur 2), mit denen sie in den Flansch 5 des Obergurts 3 einbinden.

[0030] Walzwerke produzieren Doppel-T-Querschnitte für Walzträger, die bis zu 1,10 m hoch sind. In zwei obergurtlose Walzträger 9 geteilt, ergibt sich für jeden Walzträger 9 eine Höhe von etwa 0,55 m. Der daraus gebildete Stahlbetonträger 1 erreicht damit eine maximale Konstruktionshöhe von ca. 0,60 m. Denn der Walzträger 9 umhüllt den Unterzug 7 vollständig und muss mit den Stahldübeln 15 in den mit einer Querbewehrung armierten Flansch 5 des Obergurts 3 einbinden, womit er die Höhe des Untergurts 7 und damit weitgehend die Gesamthöhe des Trägers 1 bestimmt. Eine größere Konstruktionshöhe des Trägers 1 durch einen dickeren Flansch 5 zu erhalten, ist nicht wirtschaftlich. Mit der Trägerhöhe ist die maximale Spannweite des doppelstegigen Stahlbetonträgers 1 auf maximal etwa 15 m beschränkt. Diese Konstruktion erlaubt auch keine veränderliche Trägerhöhe bei konstantem Querschnitt des Walzträgers 9. Dafür ist der Stahlbetonträger 1 besonders widerstandsfähig, beispielsweise bei einem Fahrzeuganprall, weil sein Unterzug 7 komplett vom Stahl der Walzträger 9 ummantelt ist.

[0031] Die Höhe des Stahlbetonträgers 20 gemäß Figur 1b dagegen ist konstruktiv weitgehend unbeschränkt. Er eignet sich daher auch für größere Spannweiten über 15 Meter. Anders als beim doppelstegigen VFT-WIB-Träger 1

gemäß Figur 1a umfasst er als Stahlträger einen T-förmigen Walzträger 22 aus einem Untergurt 24 und einem dazu rechtwinklig angeordneten Steg 26. Er weist am freien Ende seines Stegs 26 ebenfalls Stahldübel 32 auf. Der Walzträger 22 bindet mit seinem Steg 26 in einen Steg 28 eines ebenfalls T-förmigen Obergurts 30 aus Beton mit Flanschen 31 ein. Den Verbund im Beton des Stegs 28 stellen die Stahldübel 32 sicher. Da die Dimensionierung des Stegs 28 unabhängig von den Dimensionen des Walzträgers 22, insbesondere der Höhe seines Stegs 26 ist, kann die Konstruktionshöhe des Stahlbetonträgers 20 weitgehend unabhängig vom verwendeten Walzträger 22 dimensioniert werden. Dieses Konstruktionsprinzip bietet also eine größere Dimensionierungsfreiheit. Auch der Steg 28 verfügt über Bewehrungsbügel 34, die für eine zuverlässige Schubkraftübertragung über die Dübel 32 auf den Walzträger 22 sorgen.

[0032] Sowohl der Stahlbetonträger 1 gemäß Figur 1a als auch derjenige gemäß Figur 1b wird vorteilhaft als Fertigteil hergestellt. Die Walzträger 9, 22 werden durch industrielle Schneidverfahren getrennt. Das Schweißen von Blechen kann, abgesehen von Stirnplatten an den Trägerenden, vollständig entfallen. Der Korrosionsschutz kann im Walzwerk unter günstigen großtechnischen und witterungsgeschützten Verhältnissen aufgebracht werden, so dass er eine hohe Qualität bietet. Durch die Verarbeitung des Betons im Fertigteilwerk kann sowohl dessen hohe Qualität als auch eine optimale Verbindung zwischen Stahl und Beton sichergestellt werden. Ein weiterer Vorteil dieses Bauverfahrens liegt in dem hohen Grad der Vorfertigung und der Standardisierung der Bauteilkomponenten aus Beton und Stahl. Der Obergurt 3, 30 der Träger 1, 20 dient nach Verbringen der Träger 1, 20 in ihrer Einbaulage zugleich als Schalung für eine Ort betonplatte der zukünftigen Brücke. Die Obergurte 3, 30 verfügen dazu über eine entsprechend dimensionierte Anschlussbewehrung 19, 36.

[0033] Figur 2 zeigt eine Schnittdarstellung durch den Stahlbetonträger 20 nach Figur 1b in dessen Symmetrieachse. Sie verdeutlicht also die Flächenverhältnisse von Stahl und Beton im Bereich ihres Verbunds. Der Steg 26 des Walzträgers 22 ist an seiner Oberseite ausgeschnitten, so dass dort die Stahldübel 32 ausgebildet sind. In den ausgeschnittenen Flächen zwischen den Stahldübeln 32 entstehen durch das unmittelbare Anbetonieren des Obergurts 30 Betondübel 38, die unmittelbaren und allseitigen Kontakt zu den Stahldübeln 32 bekommen. Die Betondübel 38 sind außerdem durchzogen von einer Bügelbewehrung 34. Sie lässt sich besonders einfach montieren, weil die Stahldübel 32 zwischen sich einen nach oben offenen Raum für die späteren Betondübel 38 lassen.

[0034] Die Flächen des Stahldübel 32 lassen sich wie folgt bezeichnen: Die Verbindung zwischen dem Stahldübel 32 und dem übrigen Steg 26 des Walzträgers 22 stellt der Dübelgrund 40 dar. An ihn schließt sich eine Dübelflanke bzw. Dübelstirn 42 als aufragender Teil des Dübel 32 an. Den oberen Abschluss des Dübel 32 bildet seine Oberseite 44, die der Einfachheit halber in der Regel parallel zur Längserstreckung des Trägers 32 verläuft. Die Kraftübertragung sowohl vom Beton auf den Stahl als auch umgekehrt findet also im Wesentlichen auf der Dübelstirnfläche 42 als Kontaktfläche zwischen Beton und Stahl statt. Durch den zahnartigen Ausschnitt des Walzträgers 22 an dem freien Ende seines Stegs 26 ergibt sich also eine gute Verzahnung zwischen den beiden unterschiedlichen Materialien Beton und Stahl.

[0035] Die Figuren 3a und 3b veranschaulicht die Kraftübertragung zwischen Stahl und Beton in einer Seitenansicht (Figur 3a) und einer Draufsicht (Figur 3b) an der Kontaktfläche 42 eines stilisierten Walzträgers 22 mit nur einem Dübel 32. Eine auf den Steg 26 wirkende Kraft P breitet sich an der Dübelstirn bzw. Kontaktfläche 42 fächerförmig im nicht dargestellten und den Steg umgebenden Beton aus. Aufgrund der heute noch geringeren Festigkeit des Betons im Vergleich zum Stahl ist die maximal zulässige Pressung des Betons für die maximale Kraftübertragung an den Stahldübeln 32 bzw. den Betondübeln 38 ausschlaggebend. Unter Belastung entsteht an der Dübelstirnfläche 42 eine Pressung, die den Betondübel 38 auf Abscheren beansprucht. Ist der Abscherwiderstand des Betondübel 38 hoch, kommt es an der Dübelstirn 42 zu einem Zusammenbruch des Stützgerüsts im Betondübel 38 und damit zu einer Materialverdichtung. Dabei können Spannungen im Beton erzeugt werden, die in der Größenordnung der maximal zulässigen Spannung des Stahls liegen. Das Material des Betondübel 38 verspreizt sich und baut einen Querdruck auf, der durch Schubverzahnung in den den Betondübel 38 umgebenden Beton übertragen wird. Bei weiter steigender Belastung ruft der Querdruck eine ebenfalls steigende Zugbelastung im Beton hervor, die bei Überschreiten der Zugfestigkeit des Betons zu Rissen und damit zum Abscheren der Verzahnung führen kann.

[0036] Die Figuren 4a bis 4d zeigen verschiedene Möglichkeiten für die Ausbildung von Stahldübeln. Figur 4a zeigt einen Stahldübel 60 in der Form einer sog. "Haifischflosse". Der Dübel 60 ist asymmetrisch und weist eine Vorderseite 62 und eine Rückseite 64 auf. Sie unterscheiden sich durch die unterschiedlich geformten Dübelstirnflächen 66, 68. Auf seiner Vorderseite 62 hat der Stahldübel 60 eine anspruchsgemäße Hinterschneidung in der Form einer konkav eingebuchteten Dübelstirn 66, wohingegen auf seiner Rückseite 64 die Stirnfläche 68 konvex ausgebildet ist. Die Dübelstirn 66 geht auf der Vorderseite 62 mit einer Spitze 70 in die waagrecht verlaufende Dübeloberseite 72 über, an die sich auf seiner Rückseite 64 die konvexe Dübelstirn 68 unmittelbar mit ihrer konvexen Ausrundung anschließt.

[0037] Umgekehrte Geometrien liegen am Dübelgrund 74 vor. Dort geht die konvexe Dübelstirn 68 mit einer scharf einspringenden Hinterschneidung 76 in den Dübelgrund 74 über. Die Dübelstirn 66 dagegen nimmt einen stetigen Übergang in den Dübelgrund 74 auf der Vorderseite 62.

[0038] Die asymmetrische Ausgestaltung des Dübel 60 hat den Vorteil, dass die Ausbildung der Spitze 70 an der Dübeloberseite 72 die ungünstigen spaltenden Rundungen zum Beispiel der Kopfbolzendübel vermeidet, so dass ein

frühes Aufspalten des Betons vermieden und damit das Tragvermögen der Dübelverbindung nicht vermindert wird.

[0039] Umgekehrt verhält es sich mit der einspringenden Hinterschneidung 76 auf der Dübelrückseite 64. Bei hohen Zugkräften im Grundmaterial, die durch nicht ruhende Lasten hervorgerufen werden, bildet die Hinterschneidung 76 eine Kerbe, von der aus ein Risswachstum entstehen kann. Für ruhende Lasten erscheint die Form jedoch sehr ausgereift, da der Stahldübel 60 eine maximale Steifigkeit und der mit ihm korrespondierende Betondübel eine große Fläche besitzt. Die asymmetrische Ausgestaltung des Dübels 60 mit einer Vorderseite 62 und einer Rückseite 64 erfordert dessen Ausrichtung entsprechend dem Schubfluss im Träger, so dass die Dübelstirn 66 als druckbelastete Kontaktfläche zum Beton dient, wohingegen die Dübelstirnfläche 68 weitgehend unbelastet bleibt.

[0040] Um die scharf einspringende Hinterschneidung 76 zu vermeiden, kann die Form der "Haifischflosse" gemäß Figur 4b modifiziert werden. Darin ist der Dübel 60 gemäß Figur 4a schraffiert gekennzeichnet. Auch die dortige Dübelrückseite 64 des Dübels 60' zeigt eine konvexe Dübelstirnfläche 68'. Sie geht jedoch nicht in einer Hinterschneidung 76 in den Dübelgrund 74 über, sondern durch eine Kehle 78'. Der Radius der Kehle 78 am Dübelgrund 74 verringert die Kerbwirkung und ermöglicht auch eine nicht ruhende Beanspruchung der Verbindung. Insgesamt ist die Stahlfläche des Dübels 60' (Figur 4b) kleiner als die des Dübels 60. Die korrespondierende Querschnittsfläche für den Betondübel vergrößert sich damit gegenüber dem Stahldübel 60'.

[0041] Auch die Dübelform gemäß Figur 4b ist asymmetrisch und muss daher entsprechend dem Schubfluss im Träger ausgerichtet werden. Die Dübelform gemäß Figur 4c dagegen ist symmetrisch und kann daher in beiden Richtungen gleiche Traglasten aufnehmen. Ihre Dübelstirn 66" verläuft gegenüber den vorherigen Beispielen weitgehend geradlinig und ist leicht geneigt gegenüber dem Dübelgrund 74, Sie schließt an ihn mit einer Kehle 78" an. Der Radius der Kehle 78" ist deutlich größer als im vorher beschriebenen Beispiel, so dass die Kerbwirkung am Dübelgrund 74 weiter verringert wird. In der geneigten Form bildet auch die Dübelstirn 66" zusammen mit der Kehle 78" eine Hinterschneidung im Sinne der Ansprüche.

[0042] Eine Verringerung der Kerbwirkung kann außerdem dadurch erreicht und verbessert werden, indem der Radius der Kehle 78" durch eine Klothoide ersetzt wird. Ihre Krümmung steigert sich ausgehend vom Dübelgrund 74 zur Spitze 70"', wird also in dieser Richtung ihres Verlaufs enger, Diese Ausbildung zeigt Figur 4d am Dübel 60"". Er ist dadurch an seinen beiden Dübelstirnflächen 66" stark konkav eingeschnitten, die Kehle 78"" und die Dübelstirn 66"" gehen also nahtlos ineinander über. Diese Ausgestaltung verleiht dem Dübel 60"" im Vergleich zu dem Dübel 60" (Figur 4c) bei gleicher Höhe eine größere Kontaktfläche 66"". Damit lassen sich die dortigen Flächenpressungen reduzieren.

[0043] Die Figuren 5a und 5b verdeutlichen schematisch einen weiteren Vorteil des symmetrischen Dübels 60"" gemäß Figur 4d: Er wird auf seiner Vorderseite 62"" durch eine Kraft P aus einem nicht dargestellten ersten Betondübel belastet, der in die konkave Dübelstirn 66"" eingreift. In gleicher Weise greift ein zweiter konvexer Betondübel in die ebenfalls konkave Dübelstirn 68"" auf der Rückseite 64"" des Dübels 60"" ein. Wird er an seiner Vorderseite 62"" von einer Kraft P aus dem ersten Betondübel belastet, neigt der Stahldübel 60"" dazu, dieser Belastung durch elastisches Verkippen in Krafrichtung auszuweichen. Die Verkipfung ist in Figur 5b zur Verdeutlichung übertrieben dargestellt. Da der Dübel 60"" auf seiner Rückseite 64"" von dem zweiten Betondübel gestützt wird, ruft diese Ausweichbewegung eine Stützkraft U hervor. Dadurch wird die Gefahr einer Verformung des Dübels 60"" unter der Kraft P deutlich reduziert, die Tragkraft des Dübels 60"" also erhöht.

[0044] Figur 6 zeigt das Grundprinzip der Herstellung zweier obergurtloser Walzträger 22 aus einem gewalzten Ursprungsträger mit Doppel-T- oder I-Profil durch einen kontinuierlichen Trennschnitt. Sie zeigt zwei Walzträger 22 mit haifischflossenförmigen Dübeln 60 in einer Seitenansicht. Ihre Stege 26 liegen zueinander gekehrt und greifen mit ihren Dübeln 60 nicht mehr puzzleartig ineinander, sondern sind auseinander gezogen dargestellt. Durch das Ausbilden eines Stahldübels 32 an einem der beiden Träger 22 ergibt sich im Steg 26 Raum für einen Betondübel am anderen Träger 22 und umgekehrt. Die Form des Dübels 60 gemäß Figur 4a hat den entscheidenden Vorteil, dass bei der Herstellung eines Trägers 22 aus dem gewalzten Doppel-T- oder I-Profil nur ein einziger Trennschnitt erforderlich ist. Er kann kontinuierlich, also ohne Absetzen und Unterbrechung, durch den Steg des Ursprungsträgers geführt werden. Damit können einerseits aus einem Ursprungsträger zwei obergurtlose Träger 22 gewonnen und zugleich andererseits an deren jetzt freien Enden ihrer Stege 26 zugleich die Stahldübel 60 ausgebildet werden. Durch die puzzleförmige Ausbildung der Dübel 60 entsteht kein Verschnitt.

[0045] Die asymmetrischen Dübel 60 erhalten durch ihre unterschiedlich gestalteten Vorderseiten 62 und Rückseiten 64 eine Orientierung, die ihre Anpassung an den Schubkraftverlauf unter Belastung der Stahl-Beton-Verbundträger erforderlich macht. Da es in der Trägermitte 80 zu einer Richtungsumkehr des Schubkraftverlaufs kommt, wird die Orientierung der Dübel 60 entsprechend umgekehrt.

[0046] Die Herstellung der jeweiligen Formen der asymmetrischen Dübel 60' und der symmetrischen Dübel 60", 60"" erfordert mehrere Trennschnitte. Alternativ können Bereiche zweimal durchfahren werden. Dadurch entsteht einerseits ein gewisser Anteil an Verschnitt, andererseits eine ggf. erwünschte ungleiche Flächenverteilung zwischen den kleineren Flächen der Stahldübel 60 und den größeren Flächen der Betondübel 38.

[0047] Die unterschiedliche Flächenverteilung der Stahldübel einerseits und der Betondübel andererseits ist unter Normalbedingungen nicht nur hinnehmbar, sondern oft sogar wünschenswert, weil zu einer rissfreien Kraftübertragung

bei den heute noch üblichen Betonqualitäten eine größere Betonfläche erforderlich ist. Der schlankere Stahldübel 60", 60" reicht dagegen in der Regel aus, um die zu übertragenden Kräfte schadlos in den Beton einzuleiten.

5 [0048] Figur 7 zeigt einen Straßenbrückenquerschnitt unter Verwendung dreier doppelstegiger Stahlbetonträger 1, die in Brückenlängsrichtung parallel nebeneinander verlegt wurden, so dass sie mit ihren Obergurten 3 unmittelbar aneinander anstoßen. Die Träger 1 werden mit einem Kran in ihre Einbau- bzw. Endlage eingehoben, wofür der überbrückte Verkehrsweg nur vorübergehend gesperrt werden muss. Die Obergurte 3 der drei Träger 1 bilden jetzt eine durchgehende Fläche, die ohne großen zusätzlichen Aufwand als Schalung für eine Ortbetonplatte 50 dienen kann. Nach Aushärten der Ortbetonplatte 50 werden Brückenkappen 52 hergestellt, an denen ein Geländer 54 angebracht wird. Im verbleibenden Fahrbahnbereich zwischen den Brückenkappen 52 wird anschließend ein Fahrbahnbelag 56
10 eingebracht.

Bezugszeichenliste

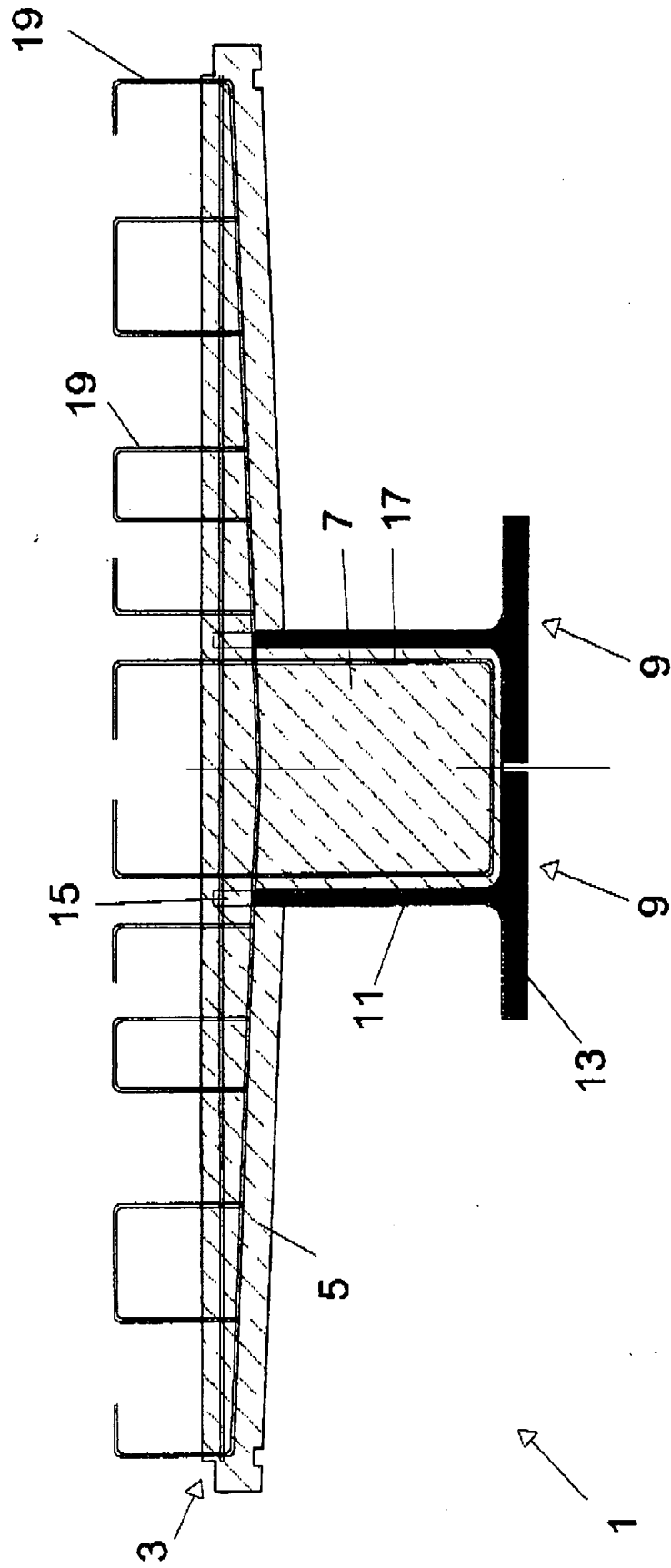
[0049]

15	1	Stahl-Beton-Träger
	3	Obergurt
	5	Flansch
	7	Unterzug
20	9	Walzträger, Stahlträger
	11	Steg
	13	Flansch
	15	Stahldübel
	17	Bewehrungsbügel
25	19	Anschlussbewehrung
	20	Stahl-Beton-Träger
	22	Walzträger
	24	Flansch
	26	Steg
30	28	Steg
	30	Obergurt
	31	Betonflansch
	32	Stahldübel
	34	Bewehrungsbügel
35	36	Anschlussbewehrung
	38	Betondübel
	40	Dübelgrund
	42	Dübelstirnfläche, Kontaktfläche
	44	Dübeloberseite
40	50	Ortbetonplatte
	52	Brückenkappe
	54	Geländer
	56	Fahrbahnbelag
	60	Stahldübel
45	62	Dübeivorderseite
	64	Dübelrückseite
	66	Dübelstirnfläche
	68	Dübelstirnfläche
	70	Spitze
50	72	Dübeloberseite
	74	Dübelgrund
	76	Hinterschneidung
	78	Kehle, Ausrundung
	80	Trägermitte
55	P	Druckkraft
	U	Stützkraft

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung von balkenförmigen Stahl-Beton-Verbundträgern (1) aus einem Stahlträger (9; 22) und einem bewehrten Betonbalken (3; 30), mit den folgenden Schritten:
- 5
- a) Teilen eines Doppel-T-Trägers in zwei obergurtlose Stahlträger (9; 22) durch einen Trennschnitt,
 b) Ausbilden von Stahldübeln (15; 32; 60) an einem stegförmigen Abschnitt (11; 26) des Stahlträgers (9; 22) durch den Trennschnitt mit Abschnitten mit Hinterschneidungen, wobei der Trennschnitt am Stahlträger (9; 22) Stahldübel (15; 32; 60) ausbildet, deren dem Träger (9; 22) abgewandte und einem Dübelgrund (40; 74) am Träger (9; 22) gegenüberliegende Dübeloberseiten (44; 72) einseitig ausrundungsfrei in eine Dübelstirnfläche (42; 66) übergehen,
 c) Montage von Bewehrungsstahl für den Betonbalken (3; 30) unter Einbindung des Stahlträgers,
 d) Anbetonieren des bewehrten Betonbalkens (3; 30) an den Stahlträger,
- 10
- dadurch gekennzeichnet, dass** in Schritt b) Ausrundungen (78) an den Übergängen zwischen den Dübelstirnflächen (66) und dem Dübelgrund (74) ausgebildet werden.
- 15
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** im Schritt b) durch einen einfachen kontinuierlichen stetigen Trennschnitt asymmetrische Dübel (60; 60') hergestellt werden.
- 20
3. Verfahren nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** nach einem ersten Trennschnitt im Schritt b) mit einem zweiten Trennschnitt symmetrische Dübel (32; 60"; 60") mit einer Ausrundung (78) der Dübelstirnfläche (66) gegenüber einem Dübelgrund (74) ausgebildet werden.
- 25
4. Verfahren nach einem der obigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** im Schritt b) zwei Stahlträger (9) parallel nebeneinander und mit geringem Abstand zueinander angeordnet werden und ein Zwischenraum zwischen ihnen mit Beton verfüllt wird.
- 30
5. Stahlträger (9; 22) für einen balkenförmigen Stahl-Beton-Verbundträger (1; 20), der im Einbauzustand mit einem stegförmigen Abschnitt (11; 26) zumindest teilweise in einen bewehrten Betonbalken (3; 30) als Obergurt des Stahl-Beton-Verbundträgers (1; 20) einbindet und der am Steg (11; 26) im Wesentlichen zweidimensionale kopfförmige Stahldübel (15; 32) mit Hinterschneidungen ausbildet, **dadurch gekennzeichnet dass** die Dübel (32; 60"; 60") symmetrisch sind und die dem Träger (9; 22) abgewandte und einem Dübelgrund (40; 74) gegenüberliegende Dübeloberseite (44; 72) ausrundungsfrei in eine Dübelstirnfläche (42; 66", 66") übergeht.
- 35
6. Stahlträger nach Anspruch 5, **gekennzeichnet durch** Dübel (32; 60"; 60"), deren Dübelstirnfläche (42; 66", 66") mit einer Ausrundung in einen Dübelgrund (40; 74) übergeht.
- 40
7. Stahlträgers nach Anspruch 5 oder 6 **gekennzeichnet durch** eine konkave Ausrundung der Dübelstirnflächen (42; 66", 66").
- 45
8. Stahlträger nach einem der obigen Ansprüche 5 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** er obergurtfrei ausgebildet ist.
- 50
9. Balkenförmiger Stahl-Beton-Verbundträger (1; 20) mit einem Verbund zwischen einem bewehrten Betonbalken als Obergurt (3; 30) und einem Stahlträger (9; 22) mit einem Stahlflansch (13; 14) und einem stegförmigen Abschnitt (11; 26), der im Einbauzustand mit dem stegförmigen Abschnitt (11; 26) zumindest teilweise in den Betonbalken (3; 30) einbindet und der am stegförmigen Abschnitt (11; 26) im Wesentlichen zweidimensionale kopfförmige Stahldübel (15; 32; 60) mit Hinterschneidungen aufweist, **dadurch gekennzeichnet, dass** die dem Stahlflansch (13; 24) abgewandte und einem Dübelgrund (40; 74) gegenüberliegende Dübeloberseite (44; 72) zumindest einseitig ausrundungsfrei in eine Dübelstirnfläche (42; 66) übergeht.
- 55
10. Stahl-Beton-Verbundträger (1; 20) nach obigem Anspruch, **dadurch gekennzeichnet, dass** er zwei parallel zueinander angeordnete obergurtlose Stahlträger (9; 22) umfasst, deren Zwischenraum parallel zueinander angeordnete obergurtlose Stahlträger (9; 22) umfasst, deren Zwischenraum mit Beton verfüllt ist.

Fig. 1a



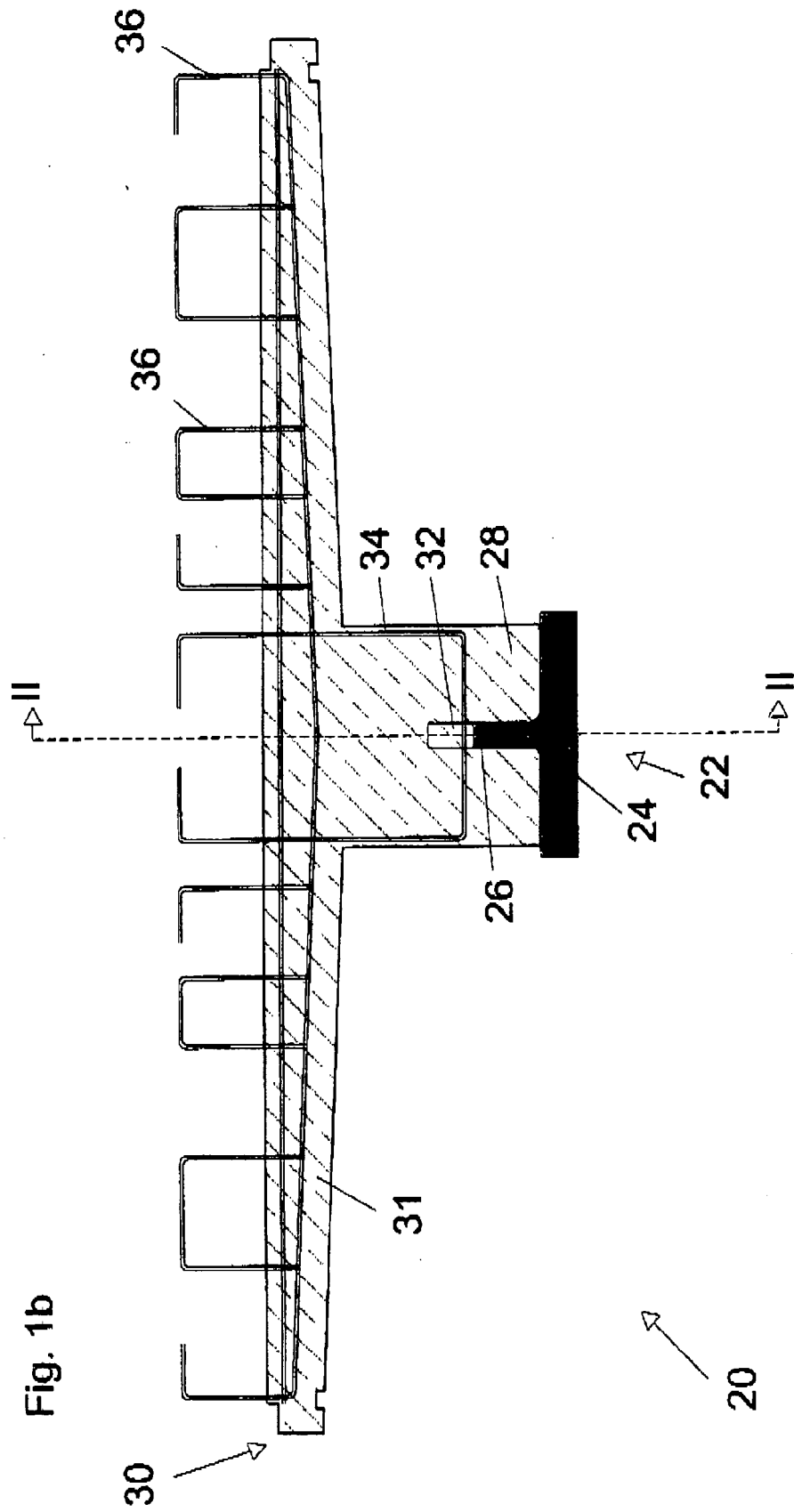


Fig. 2

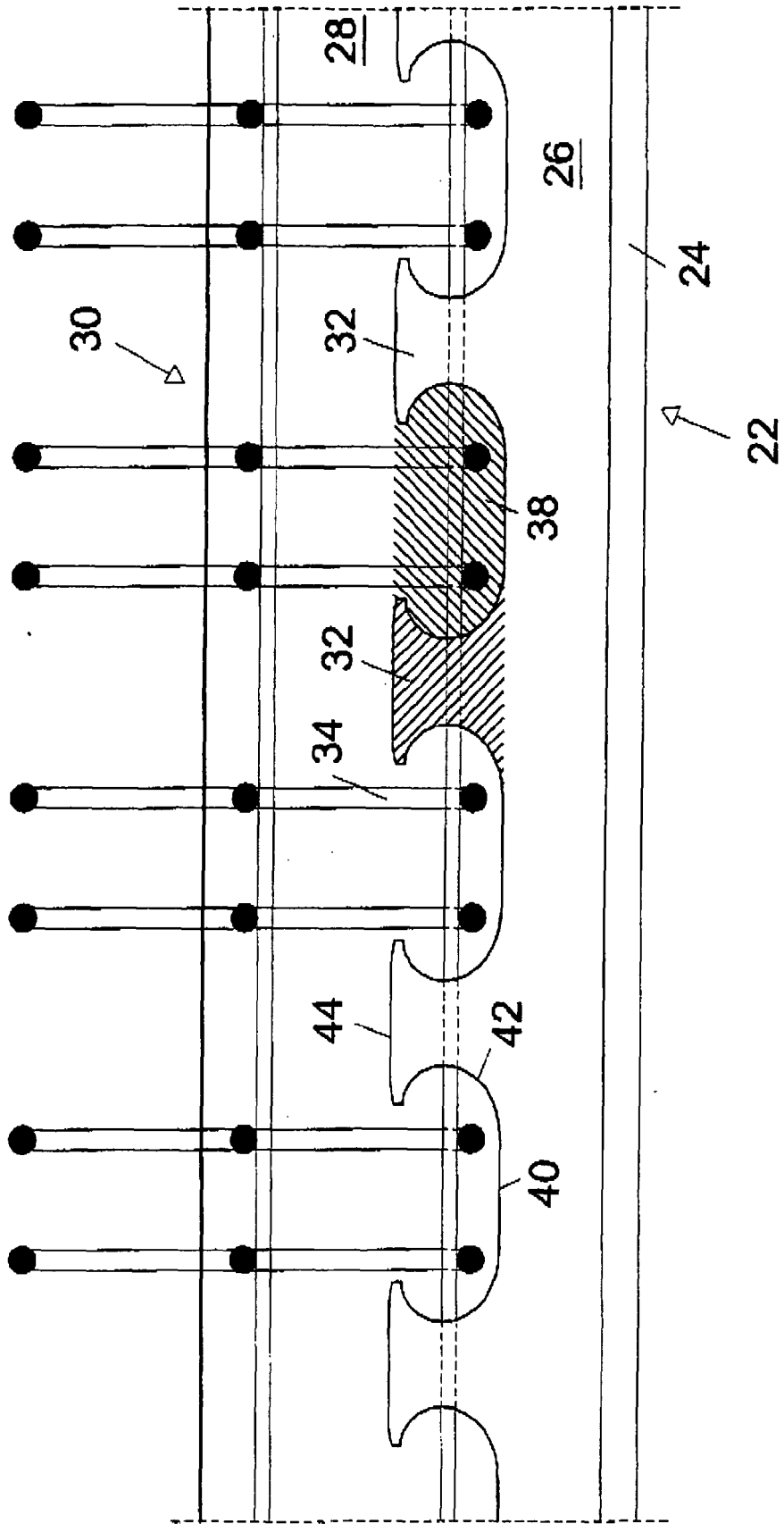


Fig. 3a

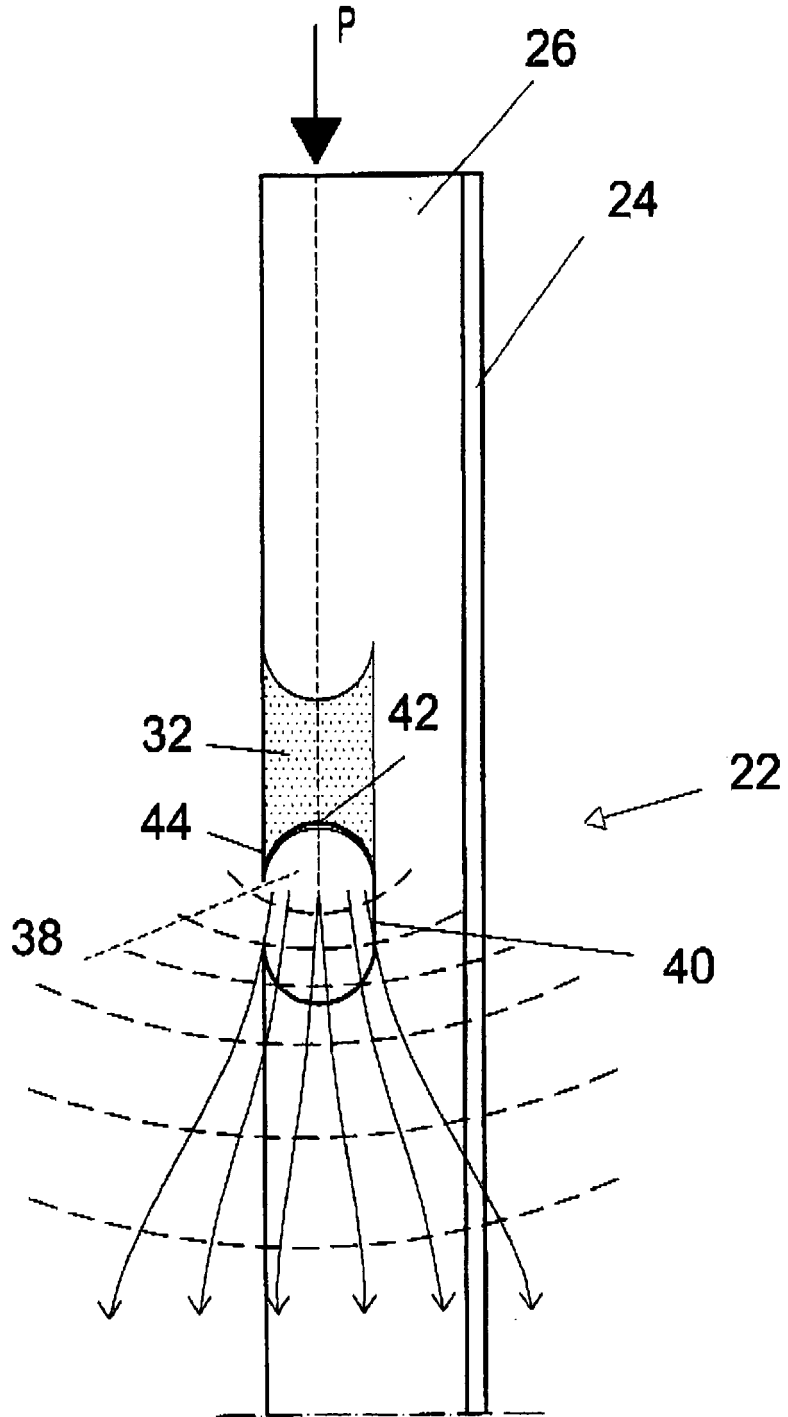
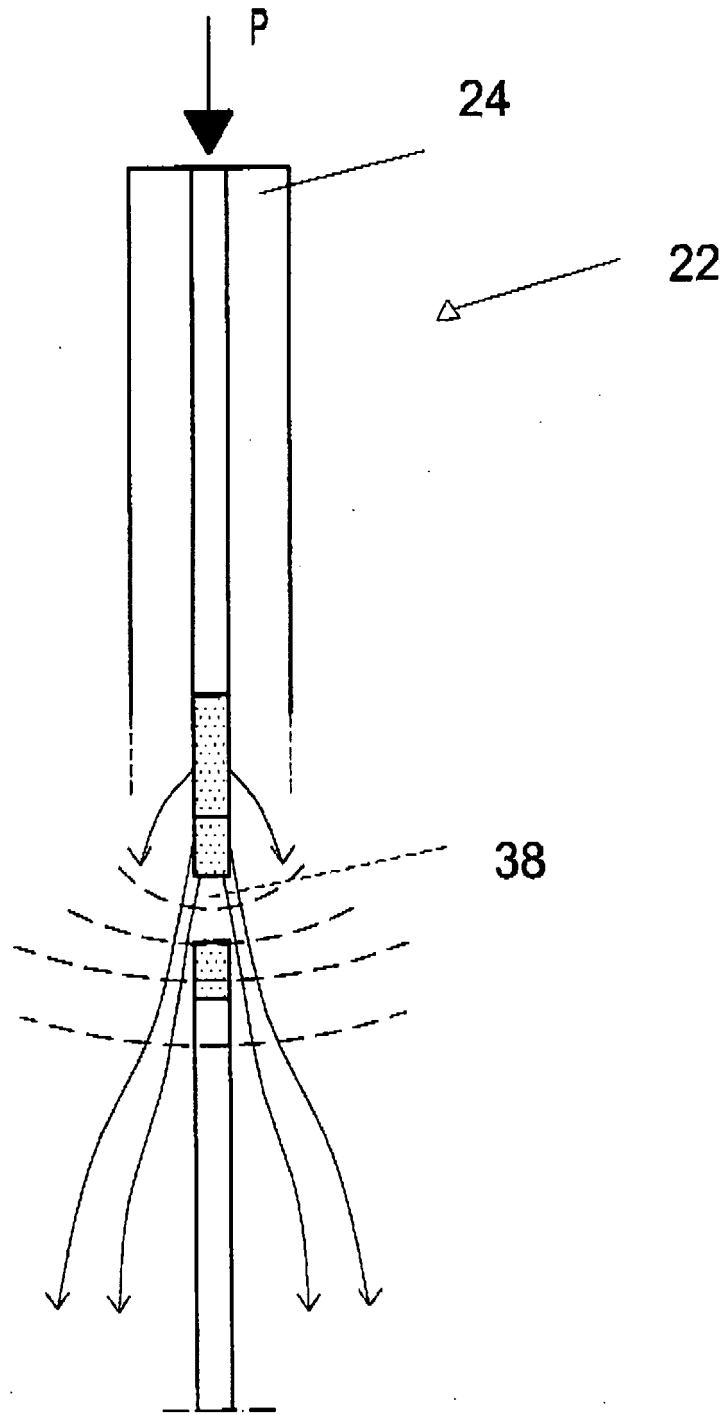


Fig. 3b



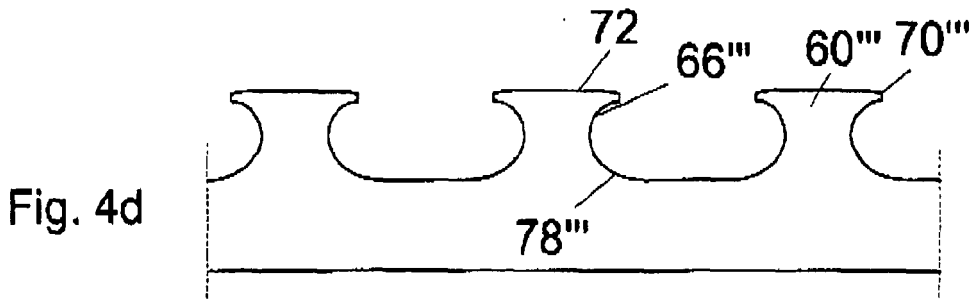
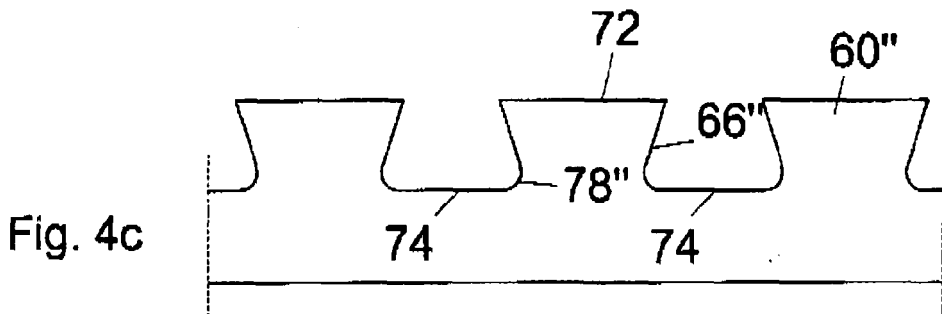
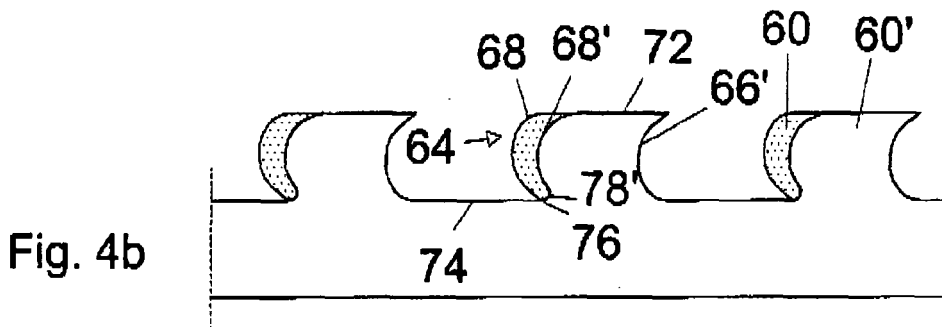
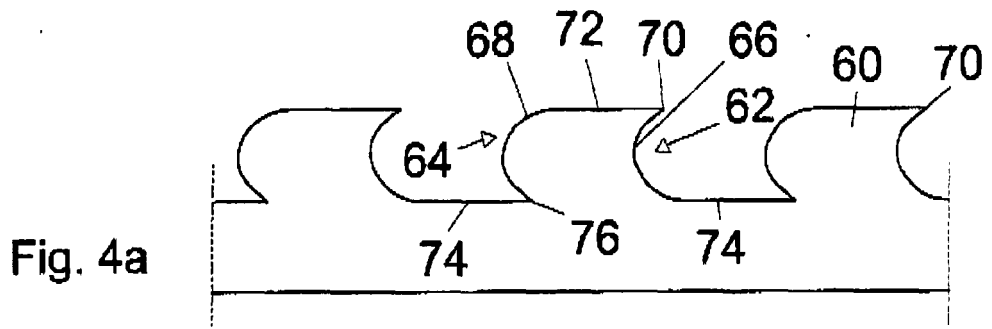
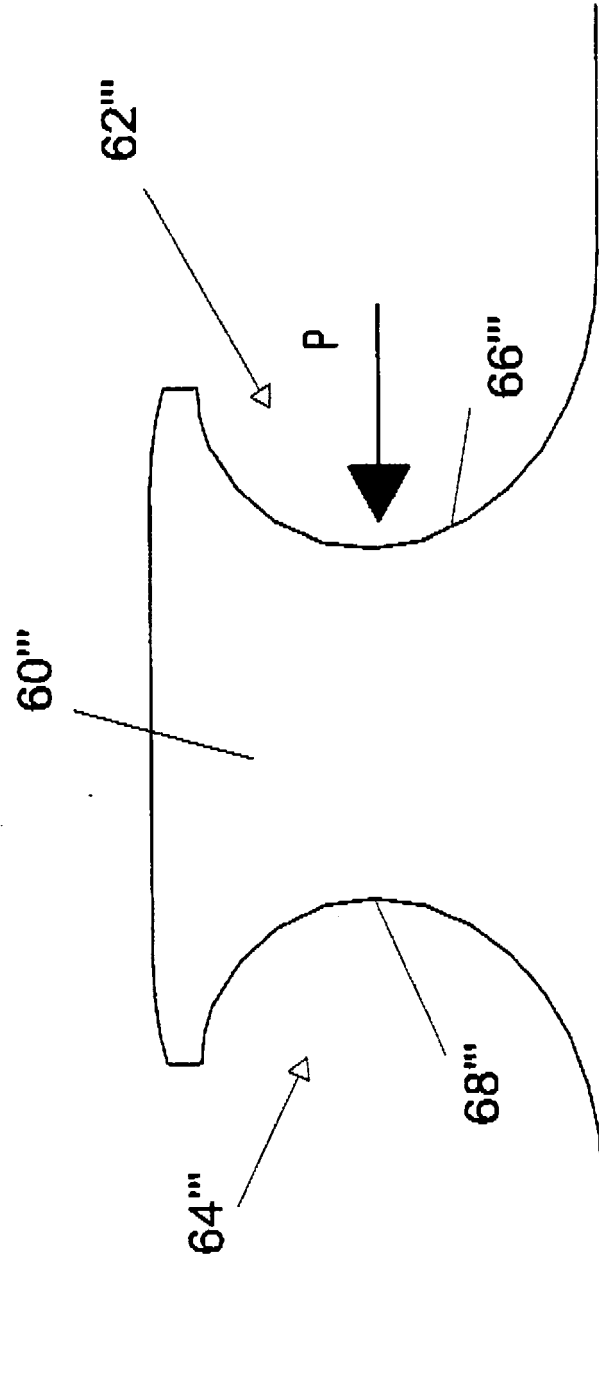


Fig. 5a



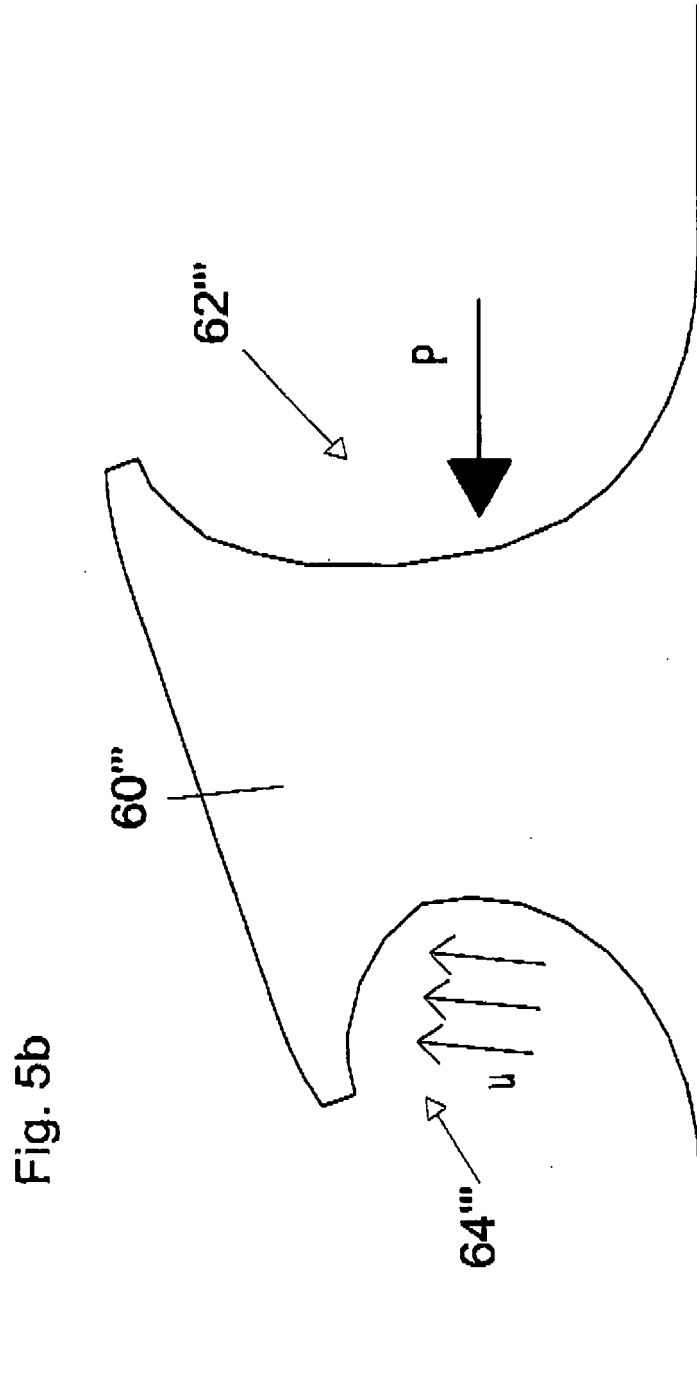


Fig. 5b

Fig. 6

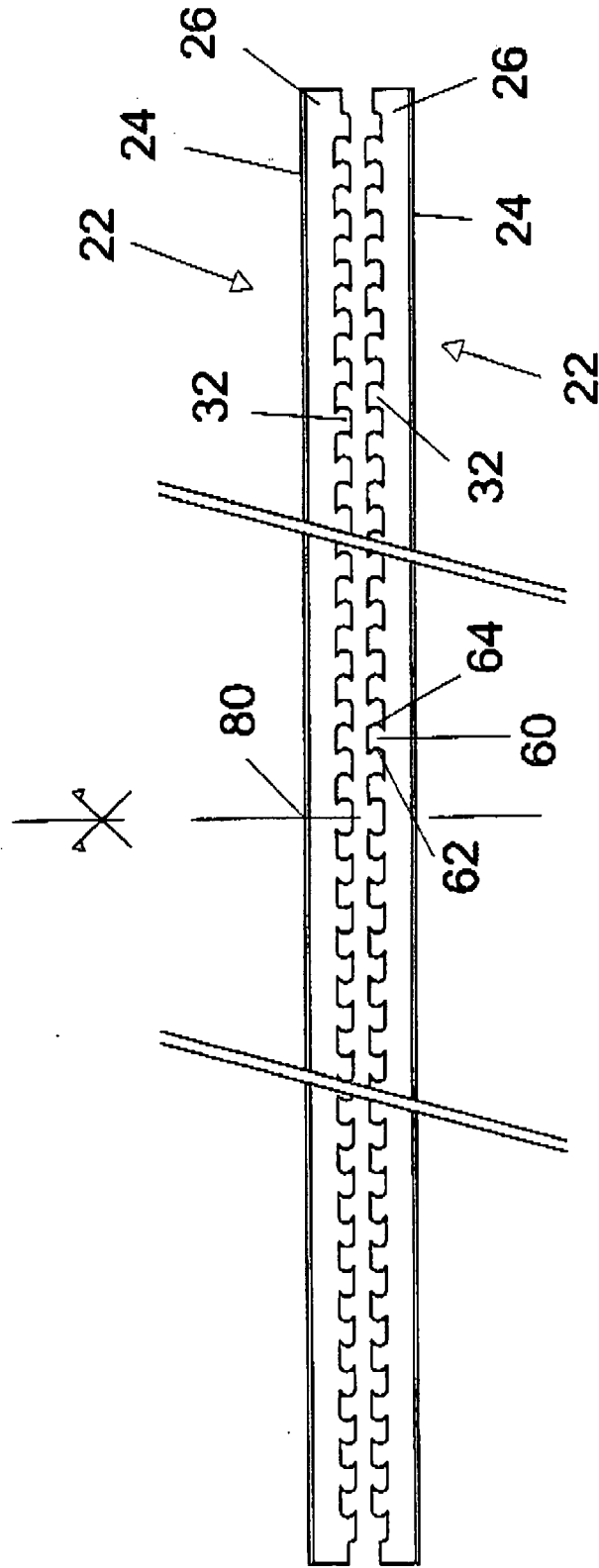


Fig. 7

