

(19)



(11)

EP 2 997 197 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
22.04.2020 Patentblatt 2020/17

(51) Int Cl.:
E01D 22/00^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **14722518.9**

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/CH2014/000049

(22) Anmeldetag: **16.04.2014**

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 2014/183224 (20.11.2014 Gazette 2014/47)

(54) VERFAHREN ZUM VORSPANNEN EINES STAHL-BAUWERKES, SOWIE DAMIT VORGESpanNTES STAHL-BAUWERK

METHOD FOR PRE-STRESSING A STEEL STRUCTURE, AND STEEL STRUCTURE PRE-STRESSED USING SAID METHOD

PROCÉDÉ POUR PRÉCONTRAINdre UN OUVrage EN ACIER AINSI QU'OUVRAGE EN ACIER AINSI PRÉCONTRAINTE

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR
Benannte Erstreckungsstaaten:
BA ME

• **GHAFOORI, Elyas**
8600 Dübendorf (CH)

(30) Priorität: **14.05.2013 CH 9502013**

(74) Vertreter: **Felber, Josef**
Felber & Partner AG
Dufourstrasse 116
8008 Zürich (CH)

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
23.03.2016 Patentblatt 2016/12

(56) Entgegenhaltungen:
EP-A2- 1 396 582 US-A1- 2011 072 745
US-A1- 2012 180 407

(73) Patentinhaber: **S & P Clever Reinforcement Company AG**
6423 Seewen (CH)

• **SCHLAICH MIKE, ZWINGMANN BERND, LIU YUE, GOLLER RALF: "Zugelemente aus CFK und ihre Verankerungen", BAUTECHNIK, vol. 89, 31 December 2012 (2012-12-31), pages 841-850, ISSN: 0932-8351, DOI: 10.1002/bate.201200057**

(72) Erfinder:
• **MOTAVALLI, Masoud**
8803 Rüschlikon (CH)

EP 2 997 197 B1

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

Beschreibung

[0001] Diese Erfindung betrifft ein Verfahren zum Vorspannen eines Stahl-Bauwerkes, und das sowohl an einer Neukonstruktion sowie vorzugsweise an einem bestehenden Stahl-Bauwerk, vorallem an Brückenkonstruktionen. Gemäss einer Studie von Bien J. Elfgren L. und Olofsson J. mit dem Titel Sustainable Bridges, Assessment for Future Traffic Demands and Longer Lives, Wrocław, Dolnoslaskie Wydawnictwo Edukacyjne, 2007, bestätigen die Europäischen Eisenbahnverwaltungen, dass es in Europa alleine ca. 220'000 Eisenbahnbrücken gibt, und sich diese in verschiedensten klimatischen Gebieten befinden. Etwa 22% davon sind Metall- bzw. Stahlkonstruktionen, die oft auch als Eisenbrücken bezeichnet werden. 3% sind Gusseiserne Brücken, 25% sind geschweisste Stahlkonstruktionen, und 53% sind in Stahl gefertigt, und ca. 20% aus einem nicht eindeutig identifizierbaren Material. 28% dieser Metallkonstruktionen sind mehr als 100 Jahre alt und fast 70% der Brücken sind mehr als 50 Jahre alt. Weil heute Eisenbahnzüge immer länger, schwerer und schneller werden, steigt die Belastung dieser Brücken stark an. Jede Achslast erzeugt Vibrationen, und so entstehen mit der Zeit kleine Risse und Spalten in den Bauwerken, und die Ermüdung der Träger schreitet immer rascher voran. Die EP 1 396 582 A2 und die US 2012/180407 A1 offenbaren, ein Stahlbauwerk mit einem Zugband und über die Verwendung von Hubelementen vorzuspannen.

[0002] Versuche an der EMPA in CH-Dübendorf zeigten, dass sich mit der Applikation von Kohlefaser-verstärkten Polymeren (CFRP = Carbon Fiber Reinforced Polymers) die Stahlträger im Grundsatz verstärken lassen. Diese CFRP werden mittels Klebstoffen an den Stahlträgern befestigt und vermögen eine Zugbelastung aufzunehmen, was die Rissbildung verlangsamt oder sogar stoppt. Klebstoffe eignen sich allerdings vielerorts nur bedingt, denn Stahl wird durch die Sonneneinstrahlung stark erhitzt und das kann den Klebstoff an seine Glastransformationsgrenze bringen. Zu beachten sind in diesem Zusammenhang die Publikationen Engineering Structures 45 (2012) 270-283 sowie international Journal of Fatigue 44 (2012) 303-315 im Elsevier Journal (www.elsevier.com).

[0003] Ein weiterer Problemkreis bildet die galvanische Korrosion. Obwohl CFRP nicht korrosiv sind, bilden sie in Verbindung mit Stahl galvanische Zellen. Dann gibt es viele genietete Eisenbrücken. Bei diesen besteht das Problem darin, wie man die flachen CFRP Bänder am bestens an den Eisenträgern befestigt. Und schliesslich muss oft auch auf den Denkmalschutz Rücksicht genommen werden, indem etwa gefordert wird, dass historisch bedeutsame Bauwerke bei Bedarf wieder in ihren ursprünglichen Zustand zurückversetzt werden können müssen, was mit aufgeklebten CFRP Bändern kaum realisierbar ist. Und schliesslich wäre es erwünscht, die Bauwerke nicht nur zu verstärken, sondern unter eine Vorspannung zu setzen, um damit bereits bestehende

Risse und Spalten völlig zu verschliessen und ein Weiterwachsen dieser Risse und Spalten dauerhaft zu unterbinden. Eines der wichtigsten Aufgaben eines Verstärkungssystems ist daher die sachdienliche Wahl des mechanischen Verankerungssystems, sodass dieses genügend Klemmkraft entwickelt, einer minimalen Korrosion unterworfen ist, möglichst keine direkte Berührung der CFRP Bänder mit dem Stahl bedingt, und die Stress-Einleitung in das Verankerungssystem graduell erfolgt.

[0004] Die Aufgabe dieser Erfindung ist es, ein Verfahren zum Vorspannen eines Stahl-Bauwerkes anzugeben, sowie auch ein damit vorgespanntes Stahl-Bauwerk. Dabei soll mittels dieser Vorspannung die Rissbildung an einem neuen oder bestehenden Stahl-Bauwerk verhindert werden, oder schon vorhandene Risse sollen geschlossen werden oder deren weiteres Wachsen soll gestoppt oder mindestens verlangsamt werden.

[0005] Die Aufgabe wird gelöst von einem Verfahren gemäss den Merkmalen des Anspruchs 1.

[0006] Die Aufgabe wird weiter gelöst von einem Stahlbauwerk gemäss den Merkmalen des Anspruchs 9.

[0007] In den Figuren wird die Erfindung schematisch dargestellt und anhand dieser beispielsweise Figuren nachfolgend beschrieben und die Funktion des Verfahrens wie auch des damit verstärkten Bauwerks wird beschrieben.

[0008] Es zeigt:

Figur 1: Ein Stahlbauwerk in Form einer Eisenbrücke mit Unterverstreben mit einem schlaff mit ihrer auf Zug belasteten Unterseite verbundenen CFRP-Band;

Figur 2: Das Stahlbauwerk nach Figur 1 nach dem Einsetzen eines Hubelementes;

Figur 3: Das Stahlbauwerk nach Figur 1 nach dem Einsetzen von zwei Hubelementen;

Figur 4: Ein Stahlbauwerk in Form einer Eisenbrücke mit Oberverstreben mit einem schlaff mit ihrer auf Zug belasteten Unterseite verbundenen CFRP-Band;

Figur 5: Das Stahlbauwerk nach Figur 4 nach dem Einsetzen von drei Hubelementen;

Figur 6: Ein Stahlbauwerk in Form einer Eisenbrücke mit bogenförmiger Unterverstreben mit einem applizierten CFRP-Band und mehreren Hubelementen für dessen Vorspannung.

[0009] In Figur 1 ist ein Stahlbauwerk in Form einer Eisenbrücke 1 mit Unterverstreben 2 dargestellt, wobei der unterste horizontale Stahlträger 3 auf Zug belastet ist. Bei solchen Eisenbrücken gibt es stets Stahlträger, die auf Druck beansprucht sind, und solche, die auf Zug beansprucht sind. Es wirken ausserdem Biegemomente,

besonders wenn die Brücke temporär belastet wird, wenn etwa ein Eisenbahnzug darüber rollt. Jede Achslast verursacht Schwingungen und diese tragen zur Ermüdung des Materials bei, sodass über die Jahre in den Stahlträgern Risse auftreten können, welche die Stahlträger mehr und mehr schwächen. Es gilt, diesen Prozess zu stoppen oder mindestens zu verlangsamen. Weil Kohlenstoff-Faser verstärkte Polymerbänder (CFRP-Bänder) aussergewöhnlich stark auf Zug belastbar sind und ausserdem keiner Korrosion unterliegen, bieten sie sich an, auf Zug belastete Stahlträger zu verstärken. Am effizientesten wäre es, mittels solcher Bänder auf Zug belastete Stahlträger vorzuspannen. Es sind Vorschläge bekanntgeworden, um Betonbauwerke nachträglich mit vorgespannten Bändern zu bewehren, um ihre Zugfestigkeit zu verbessern. Die Bänder werden in diesem Fall mittels einer speziellen Vorrichtung stark vorgespannt und in diesem vorgespannten Zustand an das Betonbauwerk herangefahren und mittels Epoxyharz-Klebern auf den Beton aufkaschiert. Nach dem Aushärten des Klebstoffes wird die Vorrichtung, welche die Spannung erzeugte und aufrechterhielt, entfernt, wonach das vorgespannte CFRP-Band seine Spannung dauerhaft in das Bauwerk einleitet. Eine solche Methode lässt sich jedoch an Stahlkonstruktionen nicht einsetzen. Erstens weisen diese in aller Regel keine glatten Oberflächen auf, und zweitens erweist sich der Einsatz von Klebstoffen bei Stahlträgern als wenig geeignet, weil sich Stahlkonstruktionen unter intensiver Sonneneinstrahlung stark erwärmen und somit den Klebstoff an seine Grenzen heranführen. Ausserdem ist das Heranführen einer schweren Vorrichtung zum Vorspannen der Bänder in vielen Fällen aufgrund der örtlichen Bedingungen oder aus Platzgründen nicht durchführbar. Gerade wenn sich eine Brücke in grosser Höhe über eine grosse Weite erstreckt, ist diese Methode nicht einsetzbar.

[0010] Die Brücke nach Figur 1 weist eine Unterverstrebung 2 auf, das heisst die unterste horizontale Strebe 3 ist auf Zug belastet, und sie kann mittels CFRP-Bändern 4 verstärkt werden, wozu wie folgt vorgegangen wird. Ein CFRP-Band 4 wird an seinen beiden Endbereichen über einen Abschnitt oder über die ganze Länge eines auf Zug beanspruchten Bauwerkteils zugkraftschlüssig mit demselben verbunden. Hierzu gibt es aus dem Stand der Technik geeignete Endverankerungen 5, zum Beispiel in Form von Klemmschuhen, mittels derer die Bänder 4 mechanisch dauerhaft und hoch zugkraftschlüssig mit dem Stahlträger 3 verbindbar sind. Im gezeigten Beispiel ist ein CFRP-Band 4 über die ganze Länge der Unterseite des horizontalen unteren Stahlträgers 3 gespannt, wobei die Endverankerungen 5 beidseits in der Nähe der Enden des Stahlträgers 3 befestigt sind. Das Band 4 ist dabei schlaff gespannt. Weiter ist im gezeigten Beispiel in der Mitte des CFRP-Bandes 4, das heisst auf halber Länge, ein Hubelement 7 zwischen dem Stahlträger 3 und dem CFRP-Band 4 eingebaut. Dieses Hubelement 7 kann ein hydraulisch, pneumatisch, elektrisch oder mechanisch betätigbares Hubelement 7 sein,

welches eine derartige Übersetzung bietet, dass hohe Hubkräfte generierbar sind, zum Beispiel einige 10k Newton. Es werden nun mit vergleichsweisen langen Aktionswegen kurze Reaktionswege erzeugt. Wenn eine derartige Hubkraft im Wesentlichen senkrecht auf das an seinen Endbereichen eingespannte CFRP-Band 4 wirkt und es vom Stahlträger 3 abhebt, so entstehen übersetzt weit stärkere Zugkräfte auf das CFRP-Band 4 selbst, und diese werden dann über die Endverankerungen 5 in das Bauwerk 1 eingeleitet. Ein solcherart vorgespannter Stahlträger 3 erfährt dadurch eine sehr wesentliche Verstärkung. Wenn er bereits Mikrorisse oder gar ernsthafte Risse aufweist, so lassen sich diese in vielen Fällen mittels einer solchen Vorspannung schliessen oder mindestens lässt sich erreichen, dass diese Risse nicht weiter wachsen. Es versteht sich, dass nicht bloss ein einzelnes CFRP-Band 4 angebracht werden muss, sondern eine ganze Schar von CFRP-Bändern 4 über die Breite der Brücke verbaut werden kann, oder auch abschnittsweise über die Länge der Brücke mehrere CFRP-Bänder 4 nacheinander oder einander in der Länge überlappende CFRP Bänder 4 angebracht werden können, die nebeneinander positioniert sind und parallel zueinander verlaufen, oder sich gar in der Höhe überlappen, also übereinander liegen oder sich kreuzen können. In diesem Fall sind die Bänder 4 nicht genau in der Verlaufrichtung der Stahlträger auf denselben verlegt, sondern leicht schiefwinklig dazu, sodass Kreuzungen der Bänder 4 entstehen.

[0011] In Figur 2 sieht man das Stahlbauwerk nach Figur 1 nach dem Einsetzen eines Hubelementes 7. Es wurde unter das schlaff gespannt angebrachte CFRP-Band 4 montiert, zum Beispiel mittels einer mechanischen Verbindung mit dem Stahlträger 3, durch Anschweissen oder Anschrauben. Dieses Hubelement 7 kann nach Art eines Wagenhebers konstruiert sein, sodass es mittels einer externen Hydraulikpumpe hydraulisch anhebbar ist, indem eine Hydraulikleitung temporär an das Hubelement 7 angeschlossen wird. Mit einer entsprechenden Übersetzung lassen sich hinreichend grosse Kräfte generieren. Die Anhebung wird dann mittels einer mechanischen Klinke oder mittels mechanischer Unterlagen gesichert. Solche mechanische Unterlagen werden nach erfolgtem Arbeitshub des Hubelementes 7, welches in diesem Fall etwas über die endgültig zu erreichende Zugspannung hinaus gehoben wird, neben demselben zwischen das Band 4 und dem zu verstärkenden Stahlträger 3 eingebaut. Dann wird das Hubelement 7 wieder etwas entlastet, sodass die Zielspannung erreicht wird und die Stützkraft dann von den Unterlagen aufgefangen wird. Als Alternative kann das Hubelement 7 auch pneumatisch betätigbar sein. Dann kann ein Kompressorschlauch angekuppelt werden, und das Ausfahren des Hubelementes 7 erfolgt aufgrund von pneumatischem Druck mit einer hinreichenden Übersetzung. Schliesslich ist auch eine elektrische Variante eines Hubelementes 7 denkbar, indem ein inliegender EL-Motor über eine kurze Übersetzung, zum Beispiel mittels Spin-

deln und Hebeln, eine hinreichend grosse Hubkraft generiert. In diesem Fall braucht bloss eine elektrische Leitung zum Hubelement 7 zu führen, und es kann bei Bedarf leicht nachgestellt werden. Schliesslich ist auch eine rein mechanische Ausführung denkbar, ebenfalls mit Spindel und/oder Hebeln ausgerüstet, wobei dann mit einer anzuschliessenden Kurbel von Hand oder motorisch die nötige Hubkraft erzeugt wird. Auf jeden Fall wird das schlaff gespannte CFRP-Band 4 mittels des Hubelementes 7 gespannt und erzeugt dann wegen der Hebelwirkung eine grosse Zugkraft auf das Band 4, welche um ein Vielfaches grösser als die Hubkraft ist. Während die Verankerungen 5 praktisch stationär bleiben oder nur ganz geringfügig zusammen mit dem Bauwerk nachgeben, kann der Hub des Hubelementes 7 mehrere Zentimeter betragen. Aufgrund der Geometrie ergibt sich, dass in dieser Weise sehr grosse Zugkräfte von x mal 10k N auf das Bauwerk übertragbar sind.

[0012] Die Figur 3 zeigt das Stahlbauwerk nach Figur 1 nach dem Einsetzen von zwei Hubelementen 7. Im Falle des Einsatzes von zwei Hubelementen 7 werden diese vorteilhaft gleichzeitig ausgefahren, damit sich die Spannung gleichmässig über die Bandlänge verteilt aufbaut. Als Alternative kann das eine Hubelement 7 ein kleines Stück weit ausgefahren werden, dann das zweite ein ebensolches kleines Stück weit, dann wieder das erste, dann wieder das zweite, usw., sodass die Zugkraft nach und nach abwechselungsweise durch die beiden Hubelemente 7 gewissermassen aufschaukelnd erzeugt wird.

[0013] Die Figur 4 zeigt ein Stahlbauwerk in Form einer Eisenbrücke mit Oberverstrebungen 6 mit einem schlaff mit ihm verbundenen CFRP-Band 4. In diesem Fall verläuft das angebaute CFRP-Band 4 längs des untersten horizontalen Stahlträgers, wobei es in der Praxis natürlich mehrere solche Stahlträger sind, die längs der Brücke verlaufen, und jeder mit mindestens einem CFRP-Band 4 ausgerüstet wird, mit je zwei Endverankerungen 5, die an den Enden des Bandes 4 dieses zugkraftschlüssig mit dem Bauwerk bzw. dem besagten Stahlträger verbinden.

[0014] Die Figur 5 zeigt dieses Stahlbauwerk nach Figur 4 nach dem Einsetzen von drei Hubelementen 7, die über die Länge jedes CFRP-Bandes 4 verteilt angeordnet sind und wiederum gleichzeitig ausgefahren werden oder aber es werden zunächst die beiden äusseren ein Stück weit ausgefahren und hernach das mittlere etwas weiter, sodass eine gleichmässige Spannung über die ganze Länge des CFRP-Bandes 4 erzeugt wird.

[0015] Die Figur 6 zeigt schliesslich noch ein Stahlbauwerk in Form einer Eisenbrücke mit bogenförmiger Unterverstrebung 2. Hier wirkt durch das Eigengewicht der Brücke 1 sowie durch deren Belastung eine Zugkraft auf die bogenförmigen Längsträger 8 am unteren Ende der Brücke. In diesem Fall können CFRP-Bänder 4 längs dieser gebogenen Strahlträger 8 verlegt und angebaut werden. Im gezeigten Beispiel verläuft ein einzelnes CFRP-Band 4 über die ganze Brückenlänge längs des

unteren Trägerbogens 8 und ist an beiden Endbereichen von dort angebrachten Verankerungselementen 5 fest mit dem Stahlträger 8 der Brücke 1 verbunden. Es sind hier über die Bandlänge verteilt fünf Hubelemente 7 eingesetzt. Diese werden alle gleichmässig angehoben, um einen möglichst gleichmässigen bzw. homogenen Spannungsaufbau im CFRP-Band 4 zu erzeugen. Diese Spannkraft wird dann über die Verankerungselemente 5 in das Bauwerk 1 eingeleitet.

[0016] Mittels solcher Verstärkungen können Risse oder Spalte in Stahlbauwerken, das heisst in den Elementen, die auf Zug belastet sind, in manchen Fällen geschlossen werden. In anderen Fällen kann ein weiteres Wachsen dieser Risse und Spalten verhindert werden, oder mindestens kann der Schwächungsprozess wesentlich verlangsamt werden, und insgesamt können die Bauwerke entschieden verstärkt und stabilisiert werden, sodass ihre Lebensdauer verlängert wird, oder bedarfsweise die Belastungsfähigkeit gesteigert wird.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Vorspannen eines Stahl-Bauwerkes, bei dem mindestens ein Kohlenstoff-Faser verstärktes Polymer-Band (4) je an seinen Endbereichen mit Endverankerungen (5) zugkraftschlüssig an einem zu verstärkenden Stahlträger des Stahlbauwerkes (1) angebracht wird, und hernach in einem Bereich zwischen diesen Endverankerungen (5) mindestens ein zwischen dem jeweiligen mit Kohlenstoff-Faser verstärkten Polymer-Band (4) und dem zu verstärkenden Stahlträger (3,8) angeordnetes Hubelement (7) im Wesentlichen senkrecht zum mit Kohlenstoff-Faser verstärkten Polymer-Band (4) ausgefahren wird, so, dass eine gleichmässige Spannung über die ganze Länge des Kohlenstoff-Faser verstärkten Polymer-Bands (4) erzeugt wird, zur Bewirkung einer Zugkraft-Spannung zwischen den Endverankerungen (5) des jeweiligen mit Kohlenstoff-Faser verstärkten Polymer-Bandes (4), welche Zugkraft aufgrund der Hebelwirkung um ein Vielfaches grösser als die Hubkraft ist, und welche Zugkraft über die Endverankerungen (5) in das Bauwerk eingeleitet wird, wobei die Anhebung des jeweiligen Kohlenstoff-Faser verstärkten Polymer-Bandes (4) mittels mechanischer Unterlage gesichert wird.
2. Verfahren zum Vorspannen eines Stahl-Bauwerkes nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Länge des Hubes des mindestens einen Hubelements (7) mehrere Zentimeter beträgt.
3. Verfahren zum Vorspannen eines Stahl-Bauwerkes nach einem der Ansprüche 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** über die Länge des zu verstärkenden Stahlträgers (3,8) mehrere mit Kohlenstoff-Faser verstärkte Polymer-Bänder (4) an denselben

angelegt werden.

4. Verfahren zum Vorspannen eines Stahl-Bauwerkes nach einem der Ansprüche 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** über die Länge des zu verstärkenden Stahlträgers (3,8) mehrere mit Kohlenstoff-Faser verstärkte Polymer-Bänder (4) parallel zueinander ausgerichtet und je über die ganze Länge des Stahlträgers (3,8) an denselben angelegt werden. 5
5. Verfahren zum Vorspannen eines Stahl-Bauwerkes nach einem der Ansprüche 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** über die Länge des zu verstärkenden Stahlträgers (3,8) mehrere mit Kohlenstoff-Faser verstärkte Polymer-Bänder (4) über Teilabschnitte der Länge des Stahlträgers (3,8) parallel zueinander ausgerichtet angelegt werden. 10
6. Verfahren zum Vorspannen eines Stahl-Bauwerkes nach einem der Ansprüche 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** über die Länge des zu verstärkenden Stahlträgers (3,8) mehrere mit Kohlenstoff-Faser verstärkte Polymer-Bänder (4) über Teilabschnitte der Länge des Stahlträgers (3,8) parallel zueinander ausgerichtet angelegt werden, sodass sie nebeneinander liegen und sich in Bezug auf ihre Länge in Teilabschnitten überlappen. 20
7. Verfahren zum Vorspannen eines Stahl-Bauwerkes nach einem der Ansprüche 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** über die Länge des zu verstärkenden Stahlträgers (3,8) mehrere mit Kohlenstoff-Faser verstärkte Polymer-Bänder (4) verlegt werden, die in einer von der Längsrichtung des Stahlträgers (3,8) abweichenden Richtung verlaufend angeordnet werden und sich kreuzen. 25
8. Verfahren zum Vorspannen eines Stahl-Bauwerkes nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** jedes mit Kohlenstoff-Faser verstärkte Polymer-Band (4) mittels wenigstens eines hydraulisch, pneumatisch, elektrisch oder mechanisch betätigbaren Hubelements (7) vorgespannt wird, und das Hubelement (7) mittels einer mechanischen Unterlage zwischen dem jeweiligen Band (4) und dem zu verstärkenden Stahlträger (3,8) nach erfolgter Hubarbeit entlastet wird. 30
9. Stahlbauwerk, **dadurch gekennzeichnet, dass** mindestens ein mit Kohlenstoff-Faser verstärktes Polymer-Band (4) je an seinen Endbereichen zugkraftschlüssig mit einem zu verstärkenden Stahlträger des Stahlbauwerks (1) verbunden ist, wobei im Bereich zwischen diesen Endbereichen mindestens ein Hubelement (7) oder eine mechanische Unterlage zwischen dem jeweiligen mit Kohlenstoff-Faser verstärkten Polymer-Band (4) und dem zu verstärkenden Stahlträger (3,8) eingesetzt sind, mittels de- 35

rer das jeweilige mit Kohlenstoff-Faser verstärkte Polymer-Band (4) nach im Wesentlichen senkrechtem Abheben vom Stahlträger (3,8) und somit Vorspannens unter Zugspannung gehalten ist.

10. Stahlbauwerk nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Hub des jeweiligen mit Kohlenstoff-Faser verstärkten Polymer-Bandes mehrere Zentimeter beträgt.

Claims

1. Method for prestressing a steel structure, in which at least one carbon fibre-reinforced polymer strip (4) is attached at each of its end regions with end anchorages (5) in a tensile force-locking manner to a steel beam to be reinforced of the steel structure (1), and thereafter, in a region between these end anchorages (5), at least one lifting element (7) arranged between the respective carbon fibre-reinforced polymer strip (4) and the steel beam (3, 8) to be reinforced is extended substantially perpendicular to the carbon fibre-reinforced polymer strip (4), such that a uniform tension is generated over the entire length of the carbon fibre reinforced polymeric band (4), to effect a tensile force tension between the end anchors (5) of the respective carbon fibre reinforced polymeric band (4), which tensile force is many times greater than the lifting force due to the leverage effect, and which tensile force is introduced into the structure via the end anchors (5), the lifting of the respective carbon fibre reinforced polymeric band (4) being secured by means of a mechanical support. 40
2. Method for prestressing a steel structure according to claim 1, **characterised in that** the length of the stroke of the at least one lifting element (7) is several centimetres. 45
3. Method for prestressing a steel structure according to one of claims 1 or 2, **characterised in that** several polymer strips (4) reinforced with carbon fibre are applied to the steel beam (3, 8) to be reinforced over the length of the latter. 50
4. Method for prestressing a steel structure according to one of claims 1 or 2, **characterised in that** several carbon fibre-reinforced polymer strips (4) are aligned parallel to one another over the length of the steel beam (3, 8) to be reinforced and are each applied to the steel beam (3, 8) over its entire length. 55
5. Method for prestressing a steel structure according to one of claims 1 or 2, **characterised in that** a plurality of carbon-fibre-reinforced polymer strips (4) are applied over the length of the steel beam (3, 8) to be reinforced, aligned parallel to one another over par-

tial sections of the length of the steel beam (3, 8).

6. Method for prestressing a steel structure in accordance with one of claims 1 or 2, **characterised in that** over the length of the steel beam (3, 8) to be reinforced, a plurality of carbon fibre-reinforced polymer strips (4) are applied over partial sections of the length of the steel beam (3, 8), aligned parallel to one another, so that they lie next to one another and overlap one another in partial sections with respect to their length.
7. Method for prestressing a steel structure in accordance with one of claims 1 or 2, **characterised in that** a plurality of carbon fibre-reinforced polymer strips (4) are laid over the length of the steel beam (3, 8) to be reinforced, which are arranged so as to extend in a direction deviating from the longitudinal direction of the steel beam (3, 8) and cross each other.
8. Method for prestressing a steel structure in accordance with one of the preceding claims, **characterised in that** each carbon fibre-reinforced polymer strip (4) is prestressed by means of at least one hydraulically, pneumatically, electrically or mechanically operable lifting element (7), and the lifting element (7) is relieved of load by means of a mechanical support between the respective strip (4) and the steel beam (3, 8) to be reinforced after lifting work has been carried out.
9. Steel structure, **characterized in that** at least one carbon fibre-reinforced polymer strip (4) is connected in each case at its end regions in a tensile-force-locking manner to a steel beam to be reinforced of the steel structure (1), wherein in the region between these end regions at least one lifting element (7) or a mechanical support is inserted between the respective carbon fibre-reinforced polymer strip (4) and the steel carrier (3, 8) to be reinforced, by means of which the respective carbon fibre-reinforced polymer strip (4) is held under tensile stress after substantially vertical lifting from the steel carrier (3, 8) and thus prestressing.
10. Steel structure according to claim 9, **characterised in that** the stroke of the respective carbon fibre-reinforced polymer strip is several centimetres.

Revendications

1. Procédé de précontrainte d'une structure en acier, dans lequel au moins une bande (4) de polymère renforcée par des fibres de carbone est fixée à chacune de ses zones d'extrémité avec des ancrages d'extrémité (5) de manière à bloquer la force de traction sur une poutre en acier à renforcer de la structure

en acier (1), et ensuite, dans une zone située entre ces ancrages d'extrémité (5), au moins un élément de levage (7) disposé entre la bande de polymère renforcée par des fibres de carbone (4) respective et la poutre en acier (3, 8) à renforcer est étendu sensiblement perpendiculairement à la bande de polymère renforcée par des fibres de carbone (4), de telle sorte qu'une tension uniforme est générée sur toute la longueur de la bande polymère renforcée de fibres de carbone (4), pour effectuer une tension de force de traction entre les ancrages d'extrémité (5) de la bande polymère renforcée de fibres de carbone respective (4), laquelle force de traction est plusieurs fois supérieure à la force de levage due à l'effet de levier, et laquelle force de traction est introduite dans la structure par l'intermédiaire des ancrages d'extrémité (5), le levage de la bande polymère renforcée de fibres de carbone respective (4) étant assuré au moyen d'un support mécanique.

2. Procédé de précontrainte d'une structure en acier selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** la longueur de la course d'au moins un élément de levage (7) est de plusieurs centimètres.
3. Procédé de précontrainte d'une structure en acier selon l'une des revendications 1 ou 2, **caractérisé en ce que** plusieurs bandes de polymère (4) renforcées de fibres de carbone sont appliquées sur la poutre en acier (3, 8) à renforcer sur la longueur de celle-ci.
4. Procédé de précontrainte d'une structure en acier selon l'une des revendications 1 ou 2, **caractérisé en ce que** plusieurs bandes (4) en polymère renforcé par des fibres de carbone sont alignées parallèlement les unes aux autres sur la longueur de la poutre en acier (3, 8) à renforcer et sont appliquées chacune sur la poutre en acier (3, 8) sur toute sa longueur.
5. Procédé de précontrainte d'une structure en acier selon l'une des revendications 1 ou 2, **caractérisé en ce que** plusieurs bandes (4) de polymère renforcé par des fibres de carbone sont appliquées sur la longueur de la poutre en acier (3, 8) à renforcer, en étant alignées parallèlement les unes aux autres sur des sections partielles de la longueur de la poutre en acier (3, 8).
6. Procédé de précontrainte d'une structure en acier selon l'une des revendications 1 ou 2, **caractérisé en ce que** sur la longueur de la poutre en acier (3, 8) à renforcer, on applique plusieurs bandes (4) de polymère renforcé par des fibres de carbone sur des sections partielles de la longueur de la poutre en acier (3, 8), orientées parallèlement les unes aux autres, de telle sorte qu'elles se trouvent les unes à

côté des autres et se chevauchent dans des sections partielles en ce qui concerne leur longueur.

7. Procédé de précontrainte d'une structure en acier selon l'une des revendications 1 ou 2, **caractérisé en ce que** plusieurs bandes (4) de polymère renforcé par des fibres de carbone sont posées sur la longueur de la poutre en acier (3, 8) à renforcer, qui sont disposées de manière à s'étendre dans une direction s'écartant de la direction longitudinale de la poutre en acier (3, 8) et à se croiser. 5
10

8. Procédé de précontrainte d'une structure en acier selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** chaque bande (4) de polymère renforcée par des fibres de carbone est précontrainte au moyen d'au moins un élément de levage (7) à commande hydraulique, pneumatique, électrique ou mécanique, et l'élément de levage (7) est déchargé au moyen d'un support mécanique entre la bande (4) respective et la poutre en acier (3, 8) à renforcer après que le travail de levage a été effectué. 15
20

9. Structure en acier, **caractérisée en ce qu'**au moins une bande (4) de polymère renforcée par des fibres de carbone est reliée à ses extrémités, de manière à résister à la traction, à une poutre en acier à renforcer de la structure en acier (1), dans lequel, dans la zone entre ces zones d'extrémité, au moins un élément de levage (7) ou un support mécanique est inséré entre la bande de polymère renforcée par des fibres de carbone respective (4) et le support en acier (3, 8) à renforcer, au moyen duquel la bande de polymère renforcée par des fibres de carbone respective (4) est maintenue sous contrainte de traction après avoir été soulevée sensiblement verticalement du support en acier (3, 8) et donc précontrainte. 25
30
35

10. Structure en acier selon la revendication 9, **caractérisée en ce que** la course de la bande de polymère renforcée par des fibres de carbone respective est de plusieurs centimètres. 40

45

50

55

Fig. 1

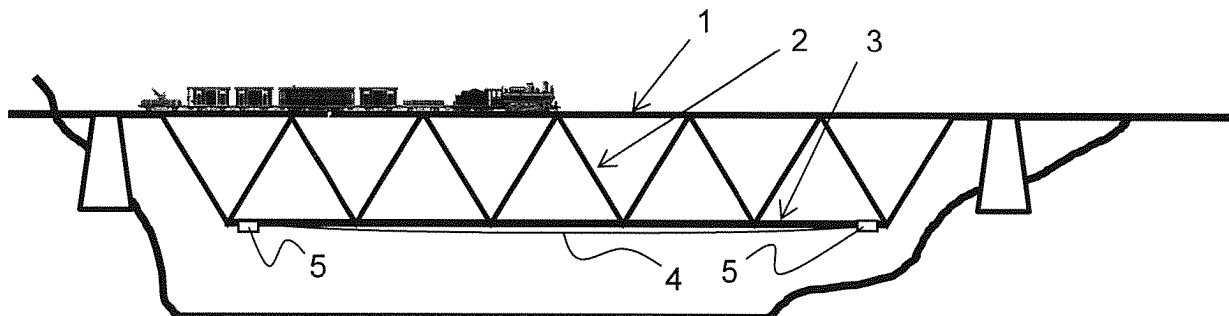


Fig. 2

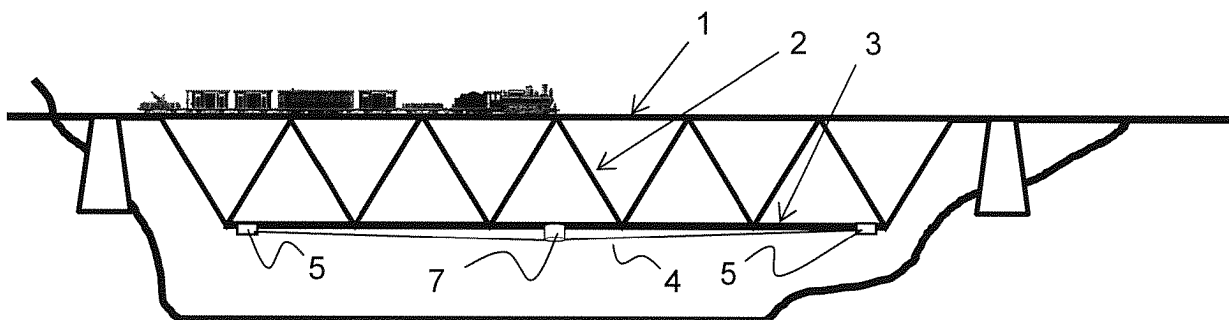


Fig. 3

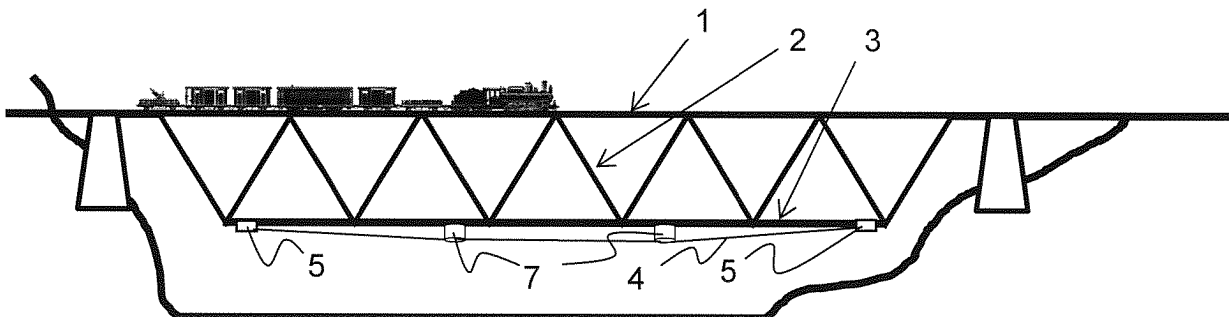


Fig. 4

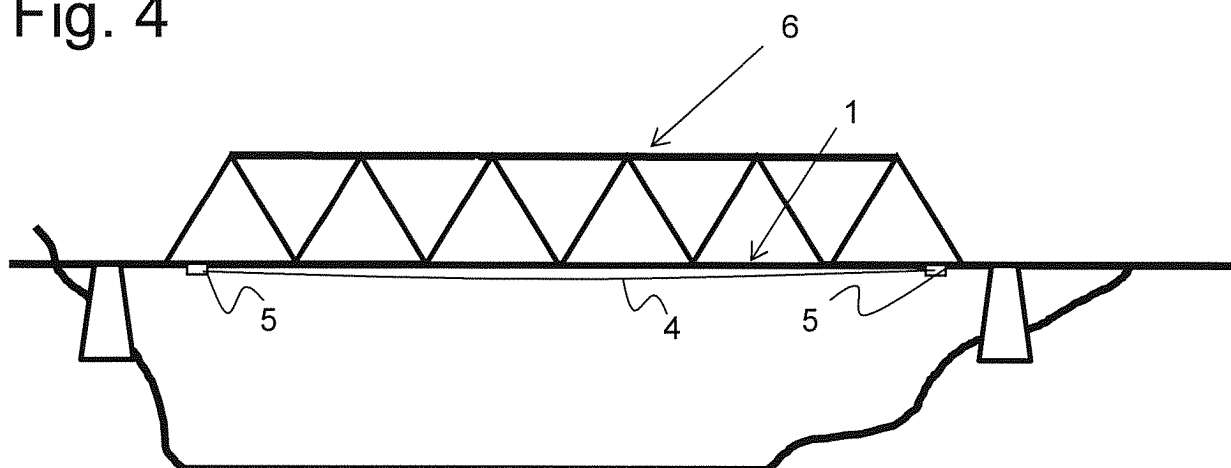


Fig. 5

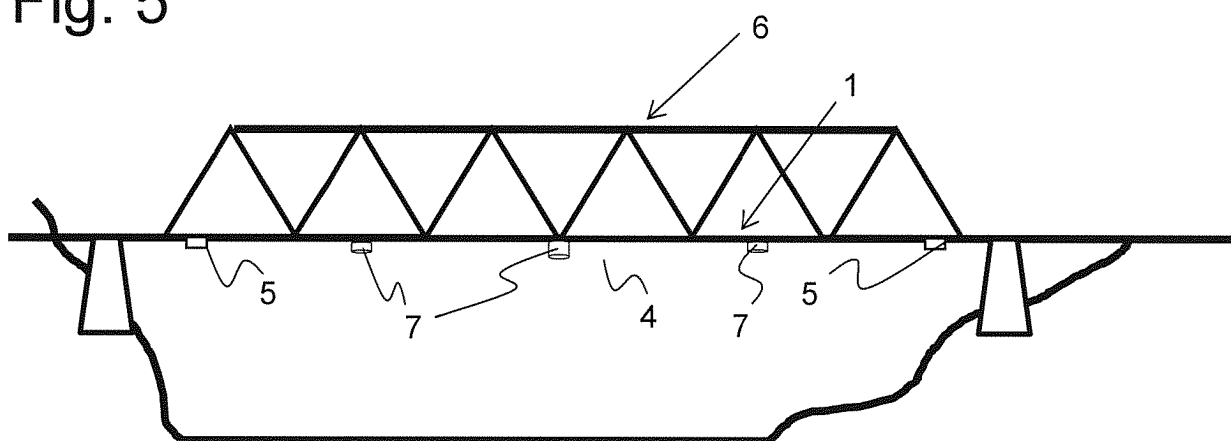
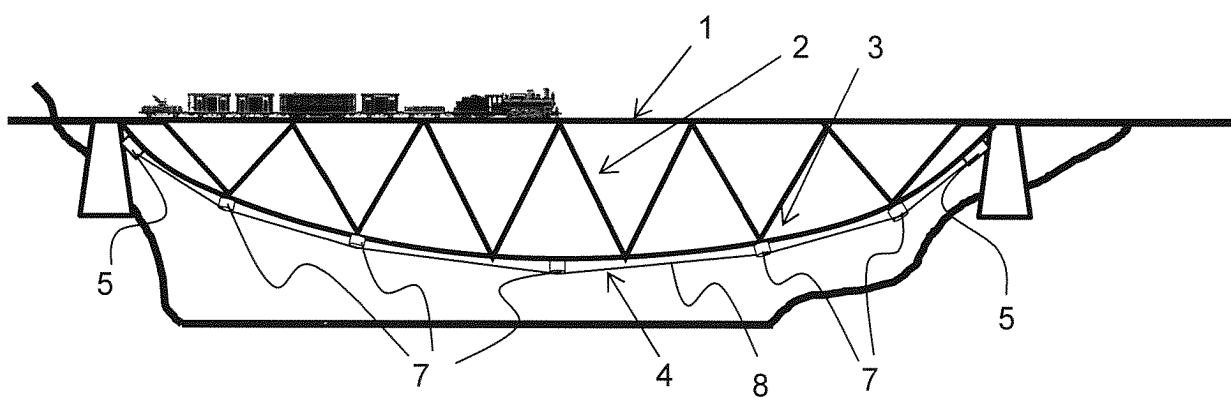


Fig. 6



IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- EP 1396582 A2 [0001]
- US 2012180407 A1 [0001]

In der Beschreibung aufgeführte Nicht-Patentliteratur

- **BIEN J. ; ELFGREN L. ; OLOFSSON J.** Sustainable Bridges, Assessment for Future Traffic Demands and Longer Lives. *Dolnoslaskie Wydawnictwo Edukacyjne*, 2007 [0001]
- *Engineering Structures*, 2012, vol. 45, 270-283 [0002]
- *Journal of Fatigue*. Elsevier, 2012, vol. 44, 303-315 [0002]