

(19)



(11)

EP 3 566 816 A1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
13.11.2019 Patentblatt 2019/46

(51) Int Cl.:
B25B 29/02 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **19172162.0**

(22) Anmeldetag: **02.05.2019**

(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
 Benannte Validierungsstaaten:
KH MA MD TN

(71) Anmelder: **Schaaf GmbH & Co. KG**
41812 Erkelenz (DE)

(72) Erfinder: **Köllges, Ralf**
41812 Erkelenz (DE)

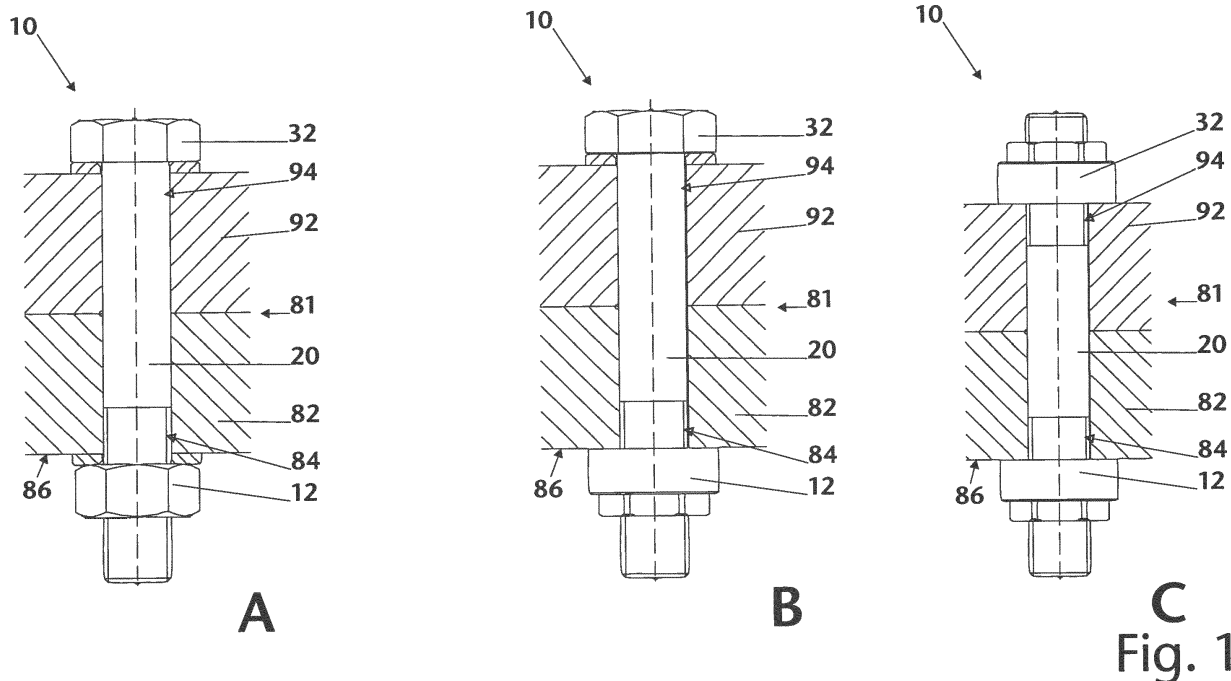
(74) Vertreter: **Geskes, Christoph**
Geskes Patent- und Rechtsanwälte
Gustav-Heinemann-Ufer 74b
50968 Köln (DE)

(30) Priorität: **02.05.2018 DE 102018110482**

(54) VERFAHREN ZUR VERSCHRAUBUNG EINES BOLZENSYSTEMS

(57) Zur Lösung der Aufgabe, ein Verfahren, ein Bolzensystem (10) und eine Bolzenspannvorrichtung (200) zur Verfügung zu stellen, mittels derer eine sichere Verspannung von Flanschen (82, 84) gewährleistet ist, die insbesondere nachweisbar beziehungsweise bestimmbar und/oder dokumentierbar ist, wird ein Verfahren zur Verschraubung eines Bolzensystems mit einer Flansch-

verbindung (81) vorgeschlagen, wobei das Bolzensystem zumindest einen Bolzen (10), eine Mutter (12) und ein Widerlager (32) aufweist, wobei die Flanschverbindung (81) zumindest einen ersten Flansch (82) mit zumindest einer ersten Flanschausnehmung (84) und einen zweiten Flansch (82) mit zumindest einer zweiten Flanschausnehmung (84) aufweist.

**EP 3 566 816 A1**

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Verschraubung eines Bolzensystems mit einer Flanschverbindung, ein Bolzensystem hierfür und eine Bolzenspannvorrichtung zur Durchführung des Verfahrens.

[0002] Aus dem Stand der Technik sind hydraulische Vorspannvorrichtungen und deren Verfahren zum Anziehen allgemein bekannt.

[0003] DE 10 2009 043 907 A1 beschreibt eine hydraulische Gewindebolzenspannvorrichtung zum Anziehen und Lösen hochbelasteter Schrauben.

[0004] Die aus dem Stand der Technik bekannten Verfahren haben allesamt den Nachteil, dass eine zuverlässige Dokumentation der Schraubverbindung nicht gewährleistet werden kann. Aufgabe der Erfindung ist es, ein Verfahren, ein Bolzensystem und eine Bolzenspannvorrichtung zur Verfügung zu stellen, mittels derer eine sichere Verspannung von Flanschen gewährleistet ist, die insbesondere nachweisbar beziehungsweise bestimmbar und/oder dokumentierbar ist.

[0005] Die Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst mittels eines Verfahrens zur Verschraubung eines Bolzensystems mit einer Flanschverbindung, wobei das Bolzensystem zumindest einen Bolzen, eine Mutter und ein Widerlager aufweist, wobei die Flanschverbindung zumindest einen ersten Flansch mit zumindest einer ersten Flanschausnehmung und einen zweiten Flansch mit zumindest einer zweiten Flanschausnehmung aufweist, umfassend die Schritte

- a) Ermitteln eines bolzensystemtypischen Dehnverhaltens und Ermitteln eines bolzenspannvorrichtungstypischen Kompressionsverhaltens,
- b) Ausrichten der ersten Flanschausnehmung zur zweiten Flanschausnehmung,
- c) Einbringen eines Bolzensystems in die erste Flanschausnehmung und die zweite Flanschausnehmung,
- d) Montieren einer Bolzenspannvorrichtung an den Bolzen auf einer Mutterseite der Flanschverbindung,
- e) Aufbringen einer Zugkraft (F_b) auf den Bolzen, bis eine bestimmte Maximalkraft erreicht ist, und Ermitteln, bevorzugt kontinuierlich während der Aufbringung der Zugkraft (F_b), eines Längungswertes, der mit einer Bolzenlängung, einer Bolzenspannvorrichtungskompression und einer Flanschkompression der Flanschverbindung korreliert,
- f) Nachdrehen der Mutter mit einem bestimmten Drehmoment,
- g) Ablassen der Zugkraft, bevorzugt auf eine Rückstellkraft ($F_{brück}$),
- h) mindestens einmalige Wiederholung der Schritte e) bis g), und
- i) Auswerten der ermittelten Werte für Zugkraft und Längungswert, Bestimmen der Flanschkompression und daraus Bestimmen der Flanschkompressionskraft, bevorzugt für jeden Zeitpunkt der Druckbeaufschlagung und des Druckablassens.

[0006] Weiterhin wird die Aufgabe erfindungsgemäß gelöst mittels eines Bolzensystems zur Durchführung des genannten Verfahrens umfassend zumindest einen Bolzen, ein Widerlager und eine Mutter, wobei der Bolzen ein bolzensystemtypisches Dehnverhalten aufweist, das mittels zumindest eines baugleichen Bolzens ermittelt ist. Das bolzensystemtypische Dehnverhalten des baugleichen Bolzens wird bevorzugt mit einem nachfolgend beschriebenen Messsystem ermittelt.

[0007] Vorzugsweise weist die Mutter ein Mutterinnengewinde mit einer Geometrie auf, die im Wesentlichen einer Geometrie des Bolzens entspricht, der mittels einer bestimmten Maximalkraft, die auch als bestimmte Vorspannkraft angesprochen werden kann, gedehnt bzw. gelängt ist. Vorzugsweise ist der Bolzen bis zu einer Dehngrenze gelängt. Wird im Rahmen der Erfindung der Begriff "Geometrie" in Bezug auf Innen- und/oder Außengewinden verwendet, ist hierunter bevorzugt zumindest die Gewindesteigung, der Gewindegewinkel und/oder der Gewindedurchmesser zu verstehen.

[0008] Bevorzugt weist das Widerlager einen Schraubenkopf oder eine Gegenmutter auf. Weiter bevorzugt ist das Widerlager unmittelbar mit dem Bolzenmaterial verbunden, und ist vorzugsweise als Gegenmutter mit einem Vielkant, bevorzugt Sechskant, ausgebildet. Besonders bevorzugt ist der Bolzen zumindest einmal bis zu seiner Dehngrenze gedehnt beziehungsweise gelängt worden.

[0009] Weiterhin wird die Aufgabe erfindungsgemäß gelöst mittels einer Bolzenspannvorrichtung zur Durchführung eines obengenannten Verfahrens, wobei die Bolzenspannvorrichtung ein Gehäuse, eine Zugeinheit, ein Längungswertmessgerät, eine Zugkraftermittlung und eine Recheneinheit aufweist, wobei mittels des Längungswertmessgerätes ein Längungswert messbar ist, wobei mittels der Recheneinheit aus dem ermittelten Längungswert eine Flanschkompression errechenbar ist. Es wird ein Verfahren zur Verschraubung eines Bolzensystems mit einer Flanschverbindung vorgeschlagen. Das Bolzensystem umfasst zumindest einen Bolzen, eine Mutter und ein Widerlager. Das Widerlager weist in einer Ausführungsform einen Schraubenkopf auf, der unmittelbar mit dem Bolzenmaterial verbunden ist. In einer weiteren, besonders bevorzugten Ausführungsform weist das Widerlager zumindest eine Gegenmutter auf. Weiterhin kann das Bolzensystem in einer Ausführungsform zumindest eine, bevorzugt zwei Unterlegscheiben aufweisen. Besonders bevorzugt ist vorgesehen, dass die Mutter ein Mutterinnengewinde aufweist, das dem Außengewinde eines vor-

gespannten Bolzens entspricht. Weiter bevorzugt ist eine Auflagefläche der Mutter derart gestaltet, dass keine Unterlegscheibe mit dieser verwendet werden muss. Insbesondere weist die Mutter eine ebene Auflagefläche auf, die weiter bevorzugt rechtwinklig zu einer Gewindeachse der Mutter ausgebildet ist. Ist das Widerlager als Gegenmutter gestaltet, gelten die obigen Ausführungen zur Mutter ebenfalls für die Gegenmutter des Widerlagers. Der Bolzen ist insbesondere ein Gewindebolzen, dessen Außengewinde mit dem Innengewinde der Mutter und ggf. der Gegenmutter korrespondiert oder dessen Geometrie des Außengewindes, insbesondere bei Aufbringung einer Maximalkraft auf den Bolzen, mit dem Mutterinnengewinde und ggf. dem Gegenmutterinnengewinde korrespondiert.

[0010] Die Flanschverbindung weist zumindest einen ersten Flansch mit zumindest einer ersten Flanschausnehmung und einen zweiten Flansch mit zumindest einer zweiten Flanschausnehmung auf. Insbesondere weist der Flansch eine Vielzahl von Flanschausnehmungen auf, in die eine Vielzahl von Bolzensystemen einbringbar ist.

[0011] Für das in Schritt a) zu ermittelnde bolzensystemtypische Dehnverhalten und das bolzenspannvorrichtungstypische Kompressionsverhalten ist im Folgenden ein Messsystem dargestellt.

[0012] Das vorzugsweise einzusetzende ebenfalls erfindungsgemäße Messsystem zumindest zur Ermittlung eines bolzensystemtypischen Dehnverhaltens umfasst eine Aufnahmevorrichtung, eine Bolzenspannvorrichtung und ein Bolzenlängungsmessgerät, wobei die Aufnahmevorrichtung eine Mutterseite, eine der Mutterseite gegenüberliegende Widerlagerseite und zumindest eine Flanschausnehmung aufweist, wobei in der Flanschausnehmung der Bolzen des Bolzensystems anordenbar ist, wobei die Bolzenspannvorrichtung auf der Mutterseite der Aufnahmevorrichtung anordenbar ist und wobei mittels der Bolzenspannvorrichtung eine Zugkraft (F_b) auf den Bolzen aufbringbar ist und wobei mit dem Bolzenlängungsmessgerät eine Bolzenlängung Δb messbar ist. Wird im Rahmen der Erfindung der Begriff "Messsystem" verwendet, ist hierunter bevorzugt ein Prüfstand, Feldversuch und/oder Laboraufbau etc. zu verstehen.

[0013] Vorzugsweise das Bolzensystem zumindest einen Bolzen, eine Mutter und ein Widerlager auf. Bevorzugt sind die Mutter des Bolzensystems der Mutterseite der Aufnahmevorrichtung und das Widerlager des Bolzensystems der Widerlagerseite der Aufnahmevorrichtung zugeordnet. Das Widerlager weist in einer bevorzugten Ausführungsform eine weitere Mutter bzw. eine Gegenmutter auf. In einer alternativen Ausführungsform ist das Widerlager unmittelbar bzw. einteilig mit dem Bolzenmaterial verbunden und weist bevorzugt einen Bolzenkopf und weiter bevorzugt einen Schraubenkopf auf. Bevorzugt weist der Bolzen eine Längserstreckung mit einem ersten Endbereich und einen entgegenliegenden zweiten Endbereich auf. Vorzugsweise sind der erste Endbereich der Mutterseite der Aufnahmevorrichtung und der zweite Endbereich der Widerlagerseite der Aufnahmevorrichtung zugeordnet. Bevorzugt weist der Bolzen, bevorzugt mittig, auf einer ersten Stirnseite, die dem ersten Endbereich zugeordnet ist, ein erstes Kontaktelement auf. Weiter bevorzugt weist der Bolzen oder das Widerlager, bevorzugt mittig, auf einer zweiten Stirnseite, die dem zweiten Endbereich zugeordnet ist, ein zweites Kontaktelement auf. Bevorzugt weist das erste und/oder das zweite Kontaktelement eine sich vom Bolzen entfernend erstreckende Spitze auf. Weiter bevorzugt erstreckt sich das erste und/oder zweite Kontaktelement kuppelförmig entfernend vom Bolzen. Besonders bevorzugt ist in die erste und/oder zweite Stirnseite das Kontaktelement eingelassen und ragt im Wesentlichen kuppelförmig aus der Stirnseite heraus.

[0014] Bevorzugt durchdringt die Flanschausnehmung die Aufnahmevorrichtung vollständig. Weiter bevorzugt durchdringt die Flanschausnehmung die Aufnahmevorrichtung ausgehend von der Mutterseite bis zur Widerlagerseite. Vorzugsweise weist die Aufnahmevorrichtung eine Längserstreckung auf, die sich in etwa rechtwinklig zu einer Höhe und einer Tiefe der Aufnahmevorrichtung erstreckt. In einer Ausführungsform ist die Aufnahmevorrichtung als ein rechteckiger Block ausgebildet. In einer bevorzugten Ausführungsform weist die Aufnahmevorrichtung zwei aufeinander angeordnete Blöcke auf. Bevorzugt sind die beiden aufeinander angeordneten Blöcke ein erster Flansch und ein zweiter Flansch und bilden eine Flanschverbindung.

[0015] Wird im Rahmen der vorliegenden Erfindung, auch umfassend das erfindungsgemäße Messsystem, der Begriff "etwa" oder "im Wesentlichen" in Bezug auf Werte oder Wertebereiche verwendet, ist hierunter dasjenige zu verstehen, was der Fachmann in dem gegebenen Zusammenhang als fachmännisch üblich ansehen wird. Insbesondere sind Abweichungen der angegebenen Werte von $\pm 10\%$, bevorzugt $\pm 5\%$, weiter bevorzugt von $\pm 2\%$, von den Begriffen "etwa" und "im Wesentlichen" umfasst.

[0016] Die Längserstreckung der Aufnahmevorrichtung des Messsystems liegt bevorzugt mit der Länge zur Höhe und/oder Tiefe in einem Verhältnis in einem Bereich von etwa 2 zu 1 bis etwa 10 zu 1. Weiter bevorzugt liegt die Länge der Längserstreckung im Verhältnis zur Höhe und/oder Tiefe in einem Bereich von etwa 4 zu 1 bis etwa 8 zu 1. Besonders bevorzugt liegt die Länge der Längserstreckung im Verhältnis zur Höhe und/oder Tiefe bei etwa 6 zu 1.

[0017] Bevorzugt ist die Bolzenspannvorrichtung, nachdem der Bolzen des Bolzensystems in der Flanschausnehmung angeordnet ist, auf der Aufnahmevorrichtung angeordnet. Weiter bevorzugt ist die Bolzenspannvorrichtung der Flanschausnehmung zuordenbar. Vorzugsweise umschließt die Bolzenspannvorrichtung zumindest zu einem Teil und bevorzugt im Wesentlichen vollständig die Flanschausnehmung auf der Mutterseite.

[0018] Vorzugsweise umfasst die Bolzenspannvorrichtung ein Gehäuse und eine Zugeinheit. Bevorzugt umschließt das Gehäuse die Zugeinheit. Weiter bevorzugt weist die Zugeinheit an einem Greifbereich ein Zugeinheitsinnengewinde auf. Bevorzugt ist der Bolzen des Bolzensystems nicht vollständig in der Flanschausnehmung angeordnet. Bevorzugt ragt der Bolzen zu einem Teil auf der Mutterseite und der Widerlagerseite der Aufnahmevorrichtung aus der Flanschaus-

nehmung heraus. Das Zugeinheitsinnengewinde ist vorzugsweise in ein Außengewinde des Bolzens greifbar ausgebildet. Besonders bevorzugt greift die Zugeinheit mit dem Zugeinheitsinnengewinde in das Außengewinde des Bolzens, um diesen in einem Verfahrensschritt zu längen. In einem anschließenden Verfahrensschritt wird mindestens eine Mutter mit dem gelängten Gewindebolzen verbunden. Besonders bevorzugt weist die Mutter ein Innengewinde auf, das in seiner Geometrie, bevorzugt nahezu oder vollständig, dem gelängten Außengewinde des Bolzens ausgebildet ist.

[0019] In einer bevorzugten Ausführungsform des Messsystems umfasst das Bolzenlängungsmessgerät ein Stativ und einen Rahmen, wobei das Stativ mindestens eine Lagerung aufweist, die den Rahmen translatorisch am Rahmen lagert. In einer Ausführungsform ist das Stativ als Teil einer Wand ausgebildet. In einer alternativen Ausführungsform ist das Stativ sich selbsttragend auf einem Untergrund angeordnet.

[0020] Bevorzugt weist der Rahmen des Bolzenlängungsmessgerätes einen Bolzenlängungsmessstab und einen Bolzentaster auf, wobei der Bolzenlängungsmessstab der Mutterseite der Aufnahmevorrichtung zugeordnet ist und der Bolzentaster der Widerlagerseite der Aufnahmevorrichtung zugeordnet ist. In einer bevorzugten Ausführungsform, in der der Bolzen in der Flanschsausnehmung angeordnet ist, weist der Rahmen des Bolzenlängungsmessgerätes mit dem Bolzenlängungsmessstab einen Kontakt zum ersten Endbereich des Bolzens auf. Weiter bevorzugt weist der Bolzenlängungsmessstab einen Kontakt zur ersten Stirnseite des Bolzens auf. Besonders bevorzugt weist der Bolzenlängungsmessstab einen Kontakt zum ersten Kontaktelement des Bolzens auf. Vorzugsweise weist der Rahmen des Bolzenlängungsmessgerätes mit dem Bolzentaster einen Kontakt zum zweiten Endbereich des Bolzens auf. Weiter bevorzugt weist der Bolzentaster einen Kontakt zur zweiten Stirnseite des Bolzens auf. Besonders bevorzugt weist der Bolzentaster einen Kontakt zum zweiten Kontaktelement des Bolzens auf.

[0021] In einer vorteilhaften Ausführungsform liegt der Rahmen des Bolzenlängungsmessgerätes über ein Federelement auf dem Stativ auf. Das mindestens eine Federelement dient dazu, den Rahmen gegen den Bolzen zu drücken. Bevorzugt ist das Federelement durch die Auflage des Rahmens auf dieser zu einem gewissen Teil vorgespannt. Bevorzugt weist der Rahmen des Bolzenlängungsmessgerätes mittels des Federelementes einen stetigen, beidseitigen Kontakt zum Bolzen auf. Weiter bevorzugt weist zumindest der Bolzentaster mittels des Federelementes einen stetigen Kontakt zum Bolzen auf.

[0022] In einer besonders bevorzugten Ausführungsform ist mittels der Bolzenspannvorrichtung eine Zugkraft (F_b) auf den Bolzen aufbringbar und mit dem Bolzenlängungsmessgerät eine Bolzenlängung (Δb) messbar. Bevorzugt ist der Bolzen mit Aufbringen der Zugkraft (F_b) längbar. Weiter bevorzugt ist der Bolzen des Bolzensystems in der Flanschsausnehmung angeordnet und das Widerlager liegt an der Widerlagerseite der Aufnahmevorrichtung an. Bevorzugt ist der Bolzen mit Aufbringen der Zugkraft (F_b) gelängt und mittels des Widerlagers an der Widerlagerseite gehalten. Vorzugsweise ist der Bolzen im Wesentlichen in Richtung der Längserstreckung des Bolzens längbar. Bevorzugt ist der Bolzen im Wesentlichen ausgehend vom Widerlager bis im Wesentlichen zum ersten Endbereich längbar. Weiter bevorzugt ist der Bolzen im Wesentlichen ausgehend vom Widerlager bis im Wesentlichen zu dem Bereich, in dem die Bolzenspannvorrichtung den Bolzen über das Zugeinheitsinnengewinde greift, längbar. Bevorzugt weisen der Bolzenlängungsmessstab und der Bolzentaster jeweils einen Kontakt zum Bolzen auf. Vorzugsweise weisen der Bolzenlängungsmessstab und der Bolzentaster während der Längung einen stetigen Kontakt zum Bolzen auf. Vorzugsweise und bedingt durch Faktoren wie Material und/oder Spalte der Aufnahmevorrichtung hebt sich die Aufnahmevorrichtung ausgehend von der Widerlagerseite in Richtung der Mutterseite. Weiter bevorzugt und bedingt durch Faktoren wie Material und/oder Spalte werden die Widerlagerseite und die Mutterseite zumindest in Teilbereichen gestaucht und somit aufeinander zu geschoben. Mit Anheben der Widerlagerseite der Aufnahmevorrichtung wird der Bolzen und bevorzugt das Bolzensystem in Richtung der Bolzenspannvorrichtung mit bewegt. Vorzugsweise liegt der Rahmen des Bolzenlängungsmessgerätes auf dem Federelement des Stativs auf. Der Bolzentaster, der bevorzugt einen stetigen Kontakt zum Bolzen aufweist, hebt sich mittels des vorgespannten Federelementes gemeinsam mit dem Bolzen und hält den Kontakt zu diesem. Das Federelement, das die Vorspannung löst, hebt bevorzugt den gesamten Rahmen des Bolzenlängungsmessgerätes an. Der Bolzenlängungsmessstab, der während der Längung des Bolzens bevorzugt einen stetigen Kontakt zu diesem aufweist, ist bevorzugt am ersten Endbereich des Bolzens, weiter bevorzugt auf der ersten Stirnseite des Bolzens und besonders bevorzugt auf dem ersten Kontaktelement des Bolzens angeordnet. Vorzugsweise ist eine maximale Bewegung des Bolzens durch Aufbringen der Zugkraft (F_b) mindestens auf der ersten Stirnseite ermittelbar. Die maximale Bewegung des Bolzens ist bewirkt durch die Längung des Bolzens und durch die Nachgiebigkeit bzw. Kompression zumindest der Aufnahmevorrichtung. Vorzugsweise bewegt sich der Bolzenlängungsmessstab die maximale Bewegung des Bolzens mit. Vorzugsweise bewegt sich der Rahmen einen Weg mit, den zumindest die Aufnahmevorrichtung durch Einbringen der Zugkraft (F_b) nachgibt. Mit dem Bolzenlängungsmessstab und dem Bolzentaster des Bolzenlängungsmessgerätes ist die Bolzenlängung (Δb) bzw. eine tatsächliche Bolzenlängung (Δb) messbar. Bevorzugt ist die Bolzenlängung (Δb) eine Resultierende aus der maximalen Bewegung des Bolzens. Vorzugsweise ist in der vorliegenden Erfindung in all ihren Ausgestaltungen unter dem Begriff Kompression das Nachgeben von Materialien, wie das der Bolzenspannvorrichtung, der Aufnahmevorrichtung und gegebenenfalls Spalte, die sich durch bevorzugt Druckzunahme schließen, zu verstehen.

[0023] Bevorzugt umfasst die Bolzenspannvorrichtung des Messsystems ein Längungswertmessgerät, mit dem ein

Längungswert (Δl) messbar ist. Vorzugsweise misst die Bolzenspannvorrichtung einen korrelierenden Längungswert (Δl), wobei ein zurückgelegter Weg der Zugeinheit mit Aufbringen der Zugkraft (F_b) messbar ist. Der Längungswert (Δl) ist insbesondere die Summe der Bolzenlängung (Δb) und jegliche Kompressionen im Messsystem. Bevorzugt ist der Längungswert (Δl) die Summe der Bolzenlängung (Δb), einer Bolzenspannvorrichtungskompression (Δs) und einer Flanschkompression (Δf).

[0024] Vorzugsweise ist die Bolzenspannvorrichtungskompression (Δs) die Kompression der Bolzenspannvorrichtung, die entsteht, wenn zumindest die Bolzenspannvorrichtung mit der Zugkraft (F_b) den Bolzen des Bolzensystems längt. Vorzugsweise wird mit Aufbringen der Zugkraft (F_b) die Bolzenspannvorrichtung in Richtung der Aufnahmevorrichtung auf deren Mutterseite gepresst, während der Zuganker den Bolzen in die entgegengesetzte Richtung längt.

[0025] In einer besonders bevorzugten Ausführungsform des Messsystems ist die Aufnahmevorrichtung als Flanschverbindung ausgebildet. Vorzugsweise umfasst die Aufnahmevorrichtung bzw. die Flanschverbindung zumindest den ersten Flansch und den zweiten Flansch, wobei der erste Flansch zumindest die Mutterseite, eine erste Kontaktseite und zumindest eine erste Flanschausnehmung aufweist und wobei der zweite Flansch zumindest eine zweite Kontaktseite und die Widerlagerseite und zumindest eine zweite Flanschausnehmung aufweist, wobei die erste Kontaktseite und die zweite Kontaktseite einander zugeordnet sind und wobei die erste Flanschausnehmung und die zweite Flanschausnehmung einander zugeordnet sind. Bevorzugt ist der Bolzen des Bolzensystems in der ersten und der zweiten Flanschausnehmung anordenbar.

[0026] Es kann sein, dass der erste Flansch und/oder der zweite Flansch nicht vollständig eben ausgebildet sind und einen Spalt aufweisen. Weiter bevorzugt weisen der erste Flansch und/oder der zweite Flansch Unebenheiten und daher einen Spalt mindestens im Bereich der ersten und zweiten Kontaktseite auf. Auch unter diesen Bedingungen ist eine genaue Bestimmung der Flanschkompressionskraft mit dem erfindungsgemäßen Verfahren und der erfindungsgemäßen Bolzenspannvorrichtung möglich. In einer Ausführungsform umfasst die Aufnahmevorrichtung des Messsystems mindestens ein Distanzelement, wobei das Distanzelement zwischen dem ersten Flansch und dem zweiten Flansch angeordnet ist und die erste Kontaktseite von der zweiten Kontaktseite beabstandet ist. Vorzugsweise bildet das Distanzelement die Unebenheiten der Aufnahmevorrichtung nach.

[0027] Vorzugsweise ist zumindest ein Flanschkompressionsmessgerät in und/oder auf der Aufnahmevorrichtung angeordnet, das einen Flanschkompressionsmessstab umfasst. Der Flanschkompressionsmessstab ist zumindest teilweise in einer Flanschkompressionsmessausnehmung der Aufnahmevorrichtung angeordnet. Vorzugsweise durchdringt die Flanschkompressionsausnehmung die Aufnahmevorrichtung ausgehend von der Widerlagerseite bis zur Mutterseite vollständig. Bevorzugt ist mit dem Flanschkompressionsmessstab die Flanschkompression (Δf) messbar. In einer Ausführungsform grenzt die Flanschkompressionsausnehmung auf der Mutterseite der Aufnahmevorrichtung an einen Bereich an, in dem die Bolzenspannvorrichtung auf der Mutterseite angeordnet ist. Bevorzugt liegt die Bolzenspannvorrichtung, weiter bevorzugt mit dem Gehäuse, auf der Mutterseite auf der Flanschkompressionsausnehmung auf. Weiter bevorzugt deckt die Bolzenspannvorrichtung die Flanschkompressionsausnehmung mütterseitig ab. Der Flanschkompressionsmessstab, der durch die Flanschkompressionsausnehmung greift, weist bevorzugt einen Kontakt zur Bolzenspannvorrichtung auf. Vorzugsweise weist die Aufnahmevorrichtung eine Flanschkompression auf, sobald die Bolzenspannvorrichtung die Zugkraft (F_b) aufbringt. Bevorzugt ist das Flanschkompressionsmessgerät neben der Anordnung in der Flanschkompressionsausnehmung auf der Widerlagerseite der Aufnahmevorrichtung angeordnet. Das Flanschkompressionsmessgerät misst die Flanschkompression (Δf). Bevorzugt misst das Flanschkompressionsmessgerät die Flanschkompression (Δf) auf der Widerlagerseite mittels der Länge des Flanschkompressionsmessstabes, die aus der Flanschkompressionsausnehmung mit Aufbringen der Zugkraft (F_b) auftritt.

[0028] In einer bevorzugten Ausführungsform sind ein erstes und ein zweites Flanschkompressionsmessgerät vorgesehen. Vorzugsweise sind das erste und das zweite Flanschkompressionsmessgerät in und/oder auf der Aufnahmevorrichtung angeordnet und umfassen einen ersten und einen zweiten Flanschkompressionsmessstab. Bevorzugt umfasst das erste Flanschkompressionsmessgerät den ersten Flanschkompressionsmessstab und das zweite Flanschkompressionsmessgerät den zweiten Flanschkompressionsmessstab. Bevorzugt ist mit dem ersten Flanschkompressionsmessstab eine erste Flanschkompression (Δf_1) messbar. Weiter bevorzugt ist mit dem zweiten Flanschkompressionsmessstab eine zweite Flanschkompression (Δf_2) messbar. Bevorzugt ist der erste Flanschkompressionsmessstab zumindest teilweise in einer ersten Flanschkompressionsmessausnehmung der Aufnahmevorrichtung angeordnet. Weiter bevorzugt ist der zweite Flanschkompressionsmessstab zumindest teilweise in einer zweiten Flanschkompressionsmessausnehmung der Aufnahmevorrichtung angeordnet. Besonders bevorzugt ist die erste Flanschkompressionsausnehmung die Flanschkompressionsausnehmung, die mütterseitig an die Bolzenspannvorrichtung und weiter bevorzugt an das Gehäuse angrenzt. Bevorzugt weist der erste Flanschkompressionsmessstab, der durch die erste Flanschkompressionsausnehmung greift, einen Kontakt zur Bolzenspannvorrichtung auf. Vorzugsweise misst der erste Flanschkompressionsmessstab eine Flanschkompression (Δf_1) unter der Bolzenspannvorrichtung.

[0029] In einer Ausführungsform, in der das Bolzensystem mütterseitig eine Mutter aufweist, ist die zweite Flanschkompressionsausnehmung bevorzugt unter der Mutter mittelbar oder unmittelbar angeordnet. Bevorzugt ist die zweite Flanschkompressionsausnehmung die Flanschkompressionsausnehmung, die mütterseitig an die Mutter des Bolzen-

systems angrenzt. Bevorzugt weist der zweite Flanschkompressionsmessstab, der durch die zweite Flanschkompressionsausnehmung greift, einen mittelbaren oder unmittelbaren Kontakt zur Mutter des Bolzensystems auf. Vorzugsweise misst der zweite Flanschkompressionsmessstab eine Flanschkompression (Δf_2) unter der Mutter des Bolzensystems.

[0030] Bevorzugt sind mit dem Messsystem jegliche Messgrößen wie zumindest Längungswert (Δl), Bolzenlängung (Δb), Flanschkompression (Δf) und Bolzenspannvorrichtungskompression (Δs) messbar und/oder ermittelbar. Besonders bevorzugt sind mit dem Messsystem die Messgrößen wie der Längungswert (Δl), die Bolzenlängung (Δb) und die Flanschkompression (Δf) messbar und die Bolzenspannvorrichtungskompression (Δs) ermittelbar. Insbesondere ist beim Messsystem vorgesehen, dass die Bolzenspannvorrichtungskompression (Δs) wie folgt ermittelbar ist: $\Delta s = \Delta l - \Delta b - \Delta f$. Vorzugsweise ist aus der Dokumentation der Bolzenspannvorrichtungskompression (Δs) in Relation zur zunehmenden Zugkraft (F_b) das bolzenspannvorrichtungstypische Kompressionsverhalten zu entnehmen.

[0031] Ein bevorzugtes Messverfahren zumindest zur Ermittlung eines bolzensystemtypischen Dehnverhaltens eines Bolzensystems, mit einem Messsystem, wie vorstehend beschrieben, wobei das Bolzensystem zumindest einen Bolzen, eine Mutter und ein Widerlager aufweist, umfasst die Schritte

- a) Einbringen des Bolzensystems in zumindest eine Flanschausnehmung der Aufnahmevorrichtung,
- b) Aufbringen einer zunehmenden Zugkraft (F_b) mit einer Bolzenspannvorrichtung auf den Bolzen,
- c) Messen einer Bolzenlängung (Δb), bevorzugt kontinuierlich während der Aufbringung einer Zugkraft, und
- d) in Relation setzen der Zugkraft (F_b) zur Bolzenlängung (Δb) und Ermitteln eines bolzensystemtypischen Dehnverhaltens.

[0032] Die Bolzenspannvorrichtung, die bevorzugt auf einer Mutterseite der Aufnahmevorrichtung angeordnet ist, greift über ein Innengewinde einer Zugeinheit in ein Außengewinde des Bolzens. Die zunehmende Zugkraft (F_b) weist bevorzugt keine ruckartige Kraft auf den Bolzen aus. Vorzugsweise wird der Bolzen mit einer stetig zunehmenden Zugkraft (F_b) beansprucht und gelängt.

[0033] Um die Bolzenlängung (Δb), wie in Schritt c) beschrieben, zu messen, umfasst das Messsystem bevorzugt ein Bolzenlängungsmessgerät. Bevorzugt weist das Bolzenlängungsmessgerät einen Bolzenlängungsmessstab und einen Bolzentaster auf, die den Bolzen an jeweils einem Endbereich kontaktieren. Die Bolzenlängung (Δb) beschreibt eine Differenzlänge eines gelängten Bolzens zu einem ungelängten Bolzen. Vorzugsweise wird die Bolzenlängung (Δb) kontinuierlich während der Zunahme der Zugkraft (F_b) gemessen.

[0034] Zur Ermittlung des in Schritt d) erwähnten bolzensystemtypischen Dehnverhaltens wird die Zugkraft (F_b) zur Bolzenlängung (Δb) in Relation gesetzt. Bevorzugt werden die zunehmende Zugkraft (F_b) und die Bolzenlängung (Δb) kontinuierlich gemessen. Vorzugsweise werden die ermittelten Werte in einem Spannungsdehnungsdiagramm wiedergegeben. Bevorzugt weisen die in Relation zueinander stehenden Werte eine Steigung auf, die besonders bevorzugt der Hookeschen Geraden entsprechen. Um eine Maximalkraft (F_{max}) und somit eine bevorzugte Dehngrenze (RE) ermitteln zu können, ist bevorzugt der Bereich und weiter bevorzugt der Punkt wichtig, an dem die Steigung nicht mehr der Hookeschen Geraden folgt bzw. entspricht. Besonders bevorzugt wird für die Ermittlung der Dehngrenze (RE) und der Maximalkraft (F_{max}) mit einer 0,2 %-Dehngrenze ($R_{p0,2}$) gemessen. Vorzugsweise stellt die 0,2 %-Dehngrenze diejenige Spannung dar, bei der eine bleibende Dehnung von 0,2 % erreicht wird.

[0035] In einer beispielhaften Ausführungsform, in der das Bolzensystem einen M48 Bolzen und eine M48 Mutter aufweist, liegt die Maximalkraft (F_{max}) bei in etwa 1326 kN, was in etwa 1306 bar für das verwendete Bolzenspannungssystem entspricht.

[0036] Weiter bevorzugt umfasst das Messverfahren die Schritte

- e) Anziehen der Mutter des Bolzensystems mit einem bestimmten Drehmoment und
- f) Ablassen der Zugkraft (F_b).

[0037] Dabei stellt sich eine verbleibende Kraft ($F_{brück}$) im Bolzensystem ein. Vorzugsweise geschieht das Anziehen der Mutter auf den Bolzen des Bolzensystems. Bevorzugt ist vor dem Anziehen der Mutter auf den Bolzen dieser gelängt worden und die Zugkraft (F_b) wirkt weiterhin auf den Bolzen ein. Das Anziehen der Mutter geschieht vorzugsweise auf der Mutterseite der Aufnahmevorrichtung. In einer Ausführungsform ist die Mutter eine HV Mutter und in einer alternativen Ausführungsform ist die Mutter eine TTG (TTG=Tension Thread Geometry) Mutter, die ein Mutterinnengewinde aufweist, das im Wesentlichen dem Außengewinde des gelängten Bolzens entspricht. Das Anziehen der Mutter geschieht bevorzugt mit einem Drehmoment mit einem Wert in einem Bereich von etwa 20 Nm bis etwa 100 Nm, weiter bevorzugt mit einem Wert in einem Bereich von etwa 30 Nm bis etwa 70 Nm und besonders bevorzugt mit einem Wert von etwa 50 Nm.

[0038] Die Rückstellkraft ($F_{brück}$) ist niedriger als die Zugkraft (F_b). Sie bezeichnet die Kraft, die in der Verschraubung des Bolzensystems mit einer Flanschverbindung nach einer Längung beziehungsweise Dehnung des Bolzens verbleibt, wenn keine Zugkraft (F_b) auf die Verschraubung einwirkt.

[0039] Vorzugsweise werden die Schritte b) bis f) zumindest einmal wiederholt. Bevorzugt werden die Schritte b) bis

f) einmal wiederholt. Weiter bevorzugt werden die Schritte b) bis f) zweimal wiederholt. Weiter bevorzugt werden die Schritte b) bis f) dreimal wiederholt. Weiter bevorzugt werden die Schritte b) bis f) viermal wiederholt. Besonders bevorzugt werden die Schritte b) bis f) fünfmal wiederholt. Aber auch eine häufigere Wiederholung ist möglich.

[0040] In einer Ausführungsform mit einer M48 HV Mutter und einer Flanschdicke von 200 mm liegt beispielsweise eine Flanschkompressionskraft (F_f) unter der Mutter nach einer einmaligen Durchführung (ohne Wiederholung) der Schritte b) bis f) bei etwa 48 % der zuvor aufgetragenen Maximalkraft (F_{max}) von 1326 kN. Des Weiteren liegt die Flanschkompressionskraft (F_f) unter der Mutter nach einer sechsmaligen Durchführung (fünfmalige Wiederholung) der Schritte b) bis f) bei etwa 55 % der zuvor aufgetragenen Maximalkraft (F_{max}) von 1326 kN.

[0041] In einer weiteren Ausführungsform mit einer HV Schraube und einer TTG Mutter liegt beispielsweise die Flanschkompressionskraft (F_f) unter der Mutter nach einer einmaligen Durchführung (ohne Wiederholung) der Schritte b) bis f) bei etwa 79 % der zuvor aufgetragenen Maximalkraft (F_{max}) von 1326 kN. Des Weiteren liegt die Flanschkompressionskraft (F_f) unter der Mutter nach einer sechsmaligen Durchführung (fünfmalige Wiederholung) der Schritte b) bis f) bei etwa 88 % der zuvor aufgetragenen Maximalkraft (F_{max}) von 1326 kN.

[0042] Bevorzugt umfasst die Bolzenspannvorrichtung des Messsystems ein Längungswertmessgerät, mit dem ein Längungswert (Δl) gemessen wird, der mit zumindest der Bolzenlänge (Δb), einer Flanschkompression (Δf) und einer Bolzenspannvorrichtungskompression (Δs) korreliert. Bevorzugt ist der Längungswert (Δl) die Summe der Bolzenlänge (Δb), der Bolzenspannvorrichtungskompression (Δs) und der Flanschkompression (Δf).

[0043] Bevorzugt umfasst das Messsystem zumindest ein Flanschkompressionsmessgerät. Vorzugsweise wird mit dem Flanschkompressionsmessgerät die Flanschkompression (Δf) gemessen. Bevorzugt umfasst das Flanschkompressionsmessgerät einen Flanschkompressionsmessstab. Der Flanschkompressionsmessstab ist zumindest teilweise in einer Flanschkompressionsmessaufnahme der Aufnahmevorrichtung angeordnet und weist einen Kontakt zur Bolzenspannvorrichtung und/oder der Mutter auf. Bevorzugt ist mindestens über die Flanschkompression (Δf) eine Kompressionskraft bestimmbar.

[0044] Weiter bevorzugt umfasst das Messsystem mindestens ein erstes Flanschkompressionsmessgerät und ein zweites Flanschkompressionsmessgerät. Vorzugsweise wird mit dem ersten Flanschkompressionsmessgerät eine erste Flanschkompression (Δf_1) der Aufnahmevorrichtung unter der Bolzenspannvorrichtung und mit dem zweiten Flanschkompressionsmessgerät eine zweite Flanschkompression (Δf_2) der Aufnahmevorrichtung unter der Mutter des Bolzensystems gemessen. Bevorzugt ist mindestens über die erste Flanschkompression (Δf_1) eine Kompressionskraft unter der Bolzenspannvorrichtung (F_s) bestimmbar. Weiter bevorzugt ist mindestens über die zweite Flanschkompression (Δf_2) eine Kompressionskraft unter der Mutter (F_m) bestimmbar.

[0045] Vorzugsweise wird mittels der Bolzenlänge (Δb), der Flanschkompression (Δf) und dem Längungswert (Δl) die Bolzenspannvorrichtungskompression (Δs) einer Bolzenspannvorrichtung ermittelt. Vorzugsweise ist aus der Dokumentation der Bolzenspannvorrichtungskompression (Δs) in Relation zur zunehmenden Zugkraft (F_b) das bolzenspannvorrichtungstypische Kompressionsverhalten zu entnehmen.

[0046] Das erfindungsgemäße Verfahren zur Verschraubung eines Bolzensystems umfasst, wie eingangs erwähnt, die Schritte

a) Ermitteln eines bolzensystemtypischen Dehnverhaltens und Ermitteln eines bolzenspannvorrichtungstypischen Kompressionsverhaltens,

b) Ausrichten der ersten Flanschausnehmung zur zweiten Flanschausnehmung,

c) Einbringung des Bolzensystems in die erste Flanschausnehmung und die zweite Flanschausnehmung,

d) Montieren einer Bolzenspannvorrichtung an den Bolzen auf einer Mutterseite der Flanschverbindung,

e) Aufbringen einer Zugkraft auf den Bolzen, bis eine bestimmte Maximalkraft erreicht ist, und Ermitteln eines Längungswertes, der mit einer Bolzenlänge einer Bolzenspannvorrichtungskompression und einer Flanschkompression der Flanschverbindung korreliert,

f) Nachdrehen der Mutter mit einem bestimmten Drehmoment,

g) Ablassen der Zugkraft (F_b),

h) mindestens einmalige Wiederholung der Schritte e) bis g), und

i) Auswerten der ermittelten Werte für Zugkraft und Längungswert, Bestimmen der Flanschkompression und daraus Bestimmen der Flanschkompressionskraft, insbesondere während der Durchführung des Verfahrens, bevorzugt für jeden Zeitpunkt der Druckbeaufschlagung und des Druckablassens.

[0047] Im Schritt a) wird ein bolzensystemtypisches Dehnverhalten ermittelt. Insbesondere wird das Dehnverhalten mittels eines Zugversuchs ermittelt, bei dem bevorzugt ein Spannungsdehnungsdiagramm und/oder eine Längung des Bolzens in Abhängigkeit der mit der auf diesen aufgetragenen Zugkraft ermittelt wird, beispielsweise mit dem vorstehend beschriebenen erfindungsgemäßen Messsystem und dem dort beschriebenen Messverfahren. Bevorzugt wird bei der Ermittlung des bolzensystemtypischen Dehnverhaltens der Bolzen einmal oder mehrfach insbesondere zweimal, weiter bevorzugt dreimal, weiter bevorzugt viermal, weiter bevorzugt fünfmal oder häufiger mit einer steigenden Kraft bis zu

einer Maximalkraft gestreckt und wieder entspannt. Die Maximalkraft entspricht in einer Ausführungsform einer Kraft, die den Bolzen bis zu seiner Dehngrenze streckt. Bevorzugt wird der Bolzen mehrfach bis zu seiner Dehngrenze gestreckt und die Längung des Bolzens in Abhängigkeit von der auf diesen aufgebrachten Kraft ermittelt. Es wird davon ausgegangen, dass ein Bolzen aus einer Charge Bolzen, weiter bevorzugt ein ähnlich hergestellter Bolzen, insbesondere mit gleichen Maßen, Gewinde, Gewindesteigung, Legierung und Länge, sich identisch wie der getestete Bolzen verhält. Insofern weist ein Bolzen mit den gleichen Ausmessungen und der im Wesentlichen gleichen Legierung des getesteten Bolzens das bolzensystemtypische Dehnverhalten des getesteten Bolzens auf.

[0048] Weiterhin wird ein bolzenspannvorrichtungstypisches Kompressionsverhalten, beispielsweise mit dem vorstehend beschriebenen erfindungsgemäßen Messsystem und dem dort beschriebenen Messverfahren, ermittelt, wobei eine Bolzenspannvorrichtung geprüft beziehungsweise verwendet wird, die der eingesetzten Bolzenspannvorrichtung im Wesentlichen gleicht. Hierbei wird ein Bolzen mittels der Bolzenspannvorrichtung gespannt und dabei das Kompressionsverhalten ermittelt. Bevorzugt wird das bolzenspannvorrichtungstypische Kompressionsverhalten gleichzeitig mit dem bolzensystemtypischen Dehnverhalten ermittelt, indem ein Bolzensystem in einer Aufnahmevorrichtung und/oder einer Flanschverbindung eingeführt wird und mit der Bolzenspannvorrichtung bis zur Maximalkraft, insbesondere bis zu der Kraft, die den Bolzen bis zur Dehngrenze bringt, gespannt. Dabei wird, wie weiter oben betreffend das erfindungsgemäße Messsystem und das damit durchführbare Messverfahren ausgeführt, sowohl die Kompression der Bolzenspannvorrichtung als auch die Längung des Bolzens ermittelt. Sind diese bekannt, kann ein baugleicher Bolzen, der das bolzensystemtypische Dehnverhalten aufweist und eine Bolzenspannvorrichtung, die das bolzenspannvorrichtungstypische Kompressionsverhalten aufweist, für das vorgeschlagene Verfahren verwendet werden.

[0049] In Schritt b) wird die erste Flanschausnehmung zur zweiten Flanschausnehmung ausgerichtet. Bevorzugt werden alle Flanschausnehmungen des ersten Flansches mit allen Flanschausnehmungen des zweiten Flansches ausgerichtet.

[0050] In Schritt c) wird das Bolzensystem in die erste Flanschausnehmung und die zweite Flanschausnehmung, die bevorzugt fluchtend zueinander ausgerichtet sind, eingeführt. Bei einer Ausführung, bei der das Widerlager einen Schraubenkopf aufweist, der materialverbunden mit dem Bolzen ist, wird der Bolzen in die Flanschausnehmung im Wesentlichen bis zur Anlage des Widerlagers an den zweiten Flansch geführt. Infolgedessen wird die Mutter auf den Bolzen, auf der dem Widerlager gegenüberliegenden Seite, aufgeschraubt, so dass dieser mit seiner Auflagefläche auf der Mutterseite des ersten Flansches aufliegt. Danach wird die Mutter mit einem bestimmten Drehmoment angezogen. Insbesondere ist darauf zu achten, dass die Mutter derart auf den Bolzen aufgeschraubt wird, dass ein Überstand des Bolzens zwischen einem mutterseitigen Ende des Bolzens und der Mutter eine Minimallänge aufweist, die zur Aufschraubung der Bolzenspannvorrichtung notwendig ist.

[0051] In einer weiteren Ausgestaltung ist vorgesehen, dass das Einbringen des Bolzensystems in die Flanschausnehmung die Schritte umfasst:

- Aufschrauben der Mutter auf dem Bolzen,
- Einführung des Bolzens in die Flanschausnehmung, im Wesentlichen bis zur Anlage der Mutter an den ersten Flansch,
- Aufschrauben des Widerlagers auf den Bolzen und
- Anziehen der Mutter auf dem Widerlager mit einem bestimmten Drehmoment.

[0052] Insbesondere ist bei dieser Ausgestaltung vorgesehen, dass das Widerlager eine Gegenmutter aufweist.

[0053] In Schritt d) wird eine Bolzenspannvorrichtung an den Bolzen auf einer Mutterseite der Flanschverbindung montiert. Die Bolzenspannvorrichtung wird insbesondere derart auf den Bolzen aufgeschraubt, dass zumindest ein oben genannter Überstand des Bolzens über die Mutter von einer Zugeinheit der Bolzenspannvorrichtung, insbesondere einem Zugeinheitsinnengewinde, gegriffen wird. Die Bolzenspannvorrichtung stützt sich weiter bevorzugt mit ihrem Gehäuse auf dem Flansch ab.

[0054] Während der folgenden Schritte wird, wie in Schritt e) genannt, eine Zugkraft auf den Bolzen aufgebracht und ein Längungswert ermittelt, der mit einer Bolzenlängung, einer Bolzenspannvorrichtungskompression und einer Flanschkompression der Flanschverbindung korreliert. Die aufgebrachte Zugkraft ist insbesondere die Kraft, die mittels der Bolzenspannvorrichtung auf den Bolzen aufgebracht wird. Die Bolzenspannvorrichtung funktioniert insbesondere hydraulisch, wobei mittels eines Hydraulikdrucks die Zugeinheit der Bolzenspannvorrichtung bewegt wird. Die Zugkraft wird rechnerisch anhand des auf die Zugeinheit aufgegebenen, insbesondere hydraulischen, Drucks ermittelt. Weiter bevorzugt zeichnet sich die Zugkraft aus dem auf die Zugeinheit gegebenen Druck mal der Kolbenfläche aus. Vorzugsweise misst die Bolzenspannvorrichtung den Längungswert, wobei ein zurückgelegter Weg der Zugeinheit relativ zum Gehäuse gemessen wird. Vorzugsweise werden die Werte von Längungswert und Zugkraft zueinander ins Verhältnis gesetzt, so dass diese beispielsweise graphisch darstellbar sind. Der Längungswert ist insbesondere die Summe der Bolzenlängung, der Bolzenspannvorrichtungskompression und der Flanschkompression. Vorzugsweise weisen für die Summenbildung die Bolzenlängung, die Bolzenspannvorrichtungskompression und die Flanschkompression ein posi-

tives Vorzeichen auf.

[0055] Weiter wird in Schritt e) die Zugkraft auf den Bolzen aufgebracht, bis eine bestimmte Maximalkraft (F_{max}) erreicht ist. Vorzugsweise wird die Zugkraft stetig steigend oder schrittweise erhöht, bis die Maximalkraft erreicht ist. Die Maximalkraft entspricht in einer bevorzugten Ausgestaltung einer (Zug-)Kraft, die zur Längung des Bolzens bis hin zu einer bolzensystemtypischen Dehngrenze (RE), die auch Streckgrenze genannt wird, erfolgt. Die Maximalkraft (F_{max}) kann aber auch niedriger oder höher sein als die Zugkraft, die zur Erreichung der Dehngrenze (RE) benötigt wird. In einer weiteren Ausgestaltung ist vorgesehen, dass die Maximalkraft eine Kraft ist, die zu einer Längung des Bolzens von etwa 80 % bis etwa 120 % der bolzentypischen Dehngrenze, bevorzugt von etwa 90 % bis etwa 120 %, weiter bevorzugt von etwa 95 % bis etwa 120 % der bolzentypischen Dehngrenze, erfolgt. Bevorzugt erfolgt eine Dehnung beziehungsweise Längung des Bolzens zumindest einmal, gleich ob im ersten Schritt e) oder in der mindestens einmaligen Wiederholung nach Schritt h), bis zu seiner Dehngrenze beziehungsweise Streckgrenze. Die Maximalkraft kann aber auch über der Dehngrenze liegen. Durch die Aufbringung einer bestimmten Maximalkraft bis zu oder leicht über der Dehngrenze werden plastische Verformungen im Material des Bolzens hervorgerufen. Diese sind nach zweifacher bis vierfacher Wiederholung der Dehnung beziehungsweise Längung des Bolzens nicht mehr feststellbar. Bevorzugt wird bei einer mindestens einmal erfolgenden Wiederholung der Längung eine Maximalkraft aufgebracht, die derjenigen der ersten Längung entspricht, und bevorzugt nahe an oder leicht über der Dehngrenze, bevorzugt in einem Bereich von etwas 95 % bis etwa 110%, liegt.

[0056] In Schritt f) wird die Mutter mit einem bestimmten Drehmoment nachgedreht. In einer Ausführungsform geschieht das Nachdrehen der Mutter von Hand. Vorzugsweise wird die Mutter in Richtung des ersten Flansches bzw. der Flanschverbindung geschraubt und mit einem bestimmten Drehmoment angezogen. Vorzugsweise ist das bestimmte Drehmoment etwa 10 Nm bis etwa 100 Nm, bevorzugt etwa 25 Nm bis etwa 60 Nm, weiter bevorzugt etwa 50 Nm.

[0057] Im Schritt g) wird die Zugkraft auf eine Rückstellkraft von etwa 0 N gesetzt. Insbesondere erfährt die Flanschverbindung unterhalb der Mutter eine Flanschkompressionskraft, welche die beiden Flansche miteinander verpresst.

[0058] In Schritt h) werden die Schritte e) bis g) mindestens einmal wiederholt, es wird wiederholt die Zugkraft auf den Bolzen aufgebracht.

[0059] In Schritt i) werden die Werte für Zugkraft und Längungswert ausgewertet und die die Flanschkompression und daraus die Flanschkompressionskraft bestimmt. Die Flanschkompressionskraft entspricht der Zugkraft, die auf den Bolzen aufgebracht wird, um die Mutter von dem Flansch zu lösen beziehungsweise abzuheben, bzw. der Kraft, bei der die Mutter ohne Krafteinleitung in den Flansch auf dem Flansch aufliegt. Insbesondere kann die Flanschkompressionskraft durch Ermittlung der Steigung der gemessenen Hooke'schen Geraden des Längungswertes bzw. der Bolzenlängung ermittelt werden. Die Steigung des Verhältnisses von Kraft zur Bolzenlängung ist steiler bis zu dem Punkt, an dem die Mutter von dem Flansch abhebt.

[0060] Die Auswertung kann bevorzugt schon während der Ausführung des Verfahrens erfolgen, so dass nach Beendigung des erfindungsgemäßen Verschraubungsverfahrens die Flanschkompressionskraft und die Flanschkompression bekannt sind. Insbesondere ist vorgesehen, dass die Flanschkompression (Δf) aus dem Längungswert (Δl) wie folgt ermittelt wird: $\Delta f = \Delta l - \Delta b - \Delta s$, wobei (Δb) die Bolzenlängung und (Δs) die Bolzenspannvorrichtungskompression ist. Da bolzensystemtypisch die Bolzenlängung (Δb) bekannt ist und bolzenspannvorrichtungstypisch die Bolzenspannvorrichtungskompression für alle Zugkräfte bekannt ist und der Längungswert dem gemessenen Wert entspricht, kann die Flanschkompression, wie oben geschildert, berechnet werden.

[0061] Mit dem vorgeschlagenen Verfahren kann vorteilhafterweise eine sichere Verpressung der offenliegenden Flansche erfolgen, insbesondere, wenn diese Toleranzen aufweisen, die zu Spalten zwischen den Flanschen führen können. Insbesondere im Windkraftanlagenbereich werden sehr große Flanschverbindungen verwendet, die, anders als im normalen Maschinenbau, nicht exakt hergestellt und/oder berechnet werden können. Das führt dazu, dass beim Verspannen des Bolzens zuerst Spalte zwischen den Flanschen geschlossen werden und sich danach erst eine Kraft zur Kompression der Flansche aufeinander aufbauen kann. Aus dem Stand der Technik ist bekannt, die Bolzen mit einer bestimmten Kraft, beispielsweise etwa 70 % bis etwa 80 % zur Dehngrenze, zu spannen und anzunehmen, dass die Kraft, die zur Spannung des Bolzens verwendet wird, etwa der Flanschkompressionskraft entspricht.

[0062] Mit dem vorgeschlagenen System ist es nun möglich, sowohl die Flanschkompression als auch die Verformung des Flansches unter der Mutter des Bolzensystems als auch die Flanschkompressionskraft, also die Kraft, mit der das Bolzensystem die beiden Flansche aufeinanderpresst, zu bestimmen und zu dokumentieren. Das Ermitteln eines bolzensystemtypischen Dehnverhaltens sowie des bolzenspannvorrichtungstypischen Kompressionsverhaltens, insbesondere mit dem vorstehend beschriebenen erfindungsgemäßen Messsystem und dem dort beschriebenen Messverfahren, hat den Vorteil, dass zumindest die Bolzen und Bolzenspannvorrichtungen jeweils einer Charge, weiter bevorzugt einer Produktreihe, weiter bevorzugt einer Produktreihe für die Ausführung des Verfahrens, verwendet werden können. Da das Verhalten der Bolzen bzw. des Bolzensystems und der Bolzenspannvorrichtung für die jeweilige Zugkraft, insbesondere auch beim mehrfachen Spannen und Entspannen des Bolzens bekannt ist, können eindeutige Rückschlüsse auf das Verhalten der Flansche gezogen werden.

[0063] In einer Ausgestaltung ist vorgesehen, dass die Schritte e) bis g) zumindest einmal wiederholt werden. Insbe-

sondere werden die Schritte e) bis g) wiederholt mit einer Maximalkraft, die den Bolzen bis zu seiner bolzensystemtypischen Dehngrenze lenkt. Dies hat den Vorteil, dass sich Setzerscheinungen innerhalb des Gefüges des Bolzens ergeben, die einer Alterung bzw. einem Kriechen durch Alterung vorbeugen und infolgedessen in der Flanschverbindung vorweggenommen werden. Hierdurch sitzt der Bolzen auch noch nach einer geraumen Zeit mit im Wesentlichen der gleichen Spannung in der Flanschverbindung, so dass ein kostenintensives Nachziehen der mindestens einen Mutter des Bolzensystems entfallen kann.

[0064] In einer weiteren Ausführungsform ist vorgesehen, dass vor dem Schritt h) eine Zugkraft auf dem Bolzen aufgebracht wird, insbesondere bis die Maximalkraft erreicht ist, die Mutter gelöst wird, die Zugkraft auf Null gesetzt wird und dann die Zugkraft auf eine Sollkraft (F_{soll}) gesetzt wird, die bevorzugt kleiner ist als die Maximalkraft. Insbesondere ist diese Vorgehensweise vorteilhaft, wenn die Maximalkraft der Kraft entspricht, bei der die Dehngrenze des Bolzens erreicht wird, um das Bolzensystem mit einer geringeren Spannkraft mit der Flanschverbindung zu verspannen. Dies hat den Vorteil, dass bei großen wechselnden Lasten der Bolzen nicht über seine Dehngrenze hinaus belastet wird. Insbesondere ist vorgesehen, dass ein Längungswert zur Bestimmung der Flanschkompression bei einer Zugkraft ermittelt wird, die einer Kalibrierungskraft entspricht. Vorzugsweise ist die Kalibrierungskraft etwa 1 % bis etwa 5 %, weiter bevorzugt etwa 1 % bis etwa 3 %, weiter bevorzugt etwa 2 % bis etwa 3 % der Maximalkraft. In einer Ausführungsform ist vorgesehen, dass die Kalibrierungskraft etwa 10 kN bis etwa 100 kN, weiter bevorzugt etwa 20 kN bis etwa 50 kN, weiter bevorzugt etwa 40 kN ist. Dies hat den Vorteil, dass die Bolzenspannvorrichtung sicher gespannt ist und sich weiter bevorzugt bolzenspannvorrichtungstypische, bauartbedingte Spalte und Öffnungen geschlossen haben, um ein genaue Messung zu erzeugen. Weiter bevorzugt ist vorgesehen, dass für Messungen Werte herangezogen werden, die beim Druckaufbau und vorzugsweise nicht beim Druckabbau gemessen werden.

[0065] In einer weiteren Ausführungsform ist vorgesehen, dass die Flanschkompression aus dem Längungswert wie folgt ermittelt wird: Flanschkompression = Längungswert - Bolzenlänge - Bolzenspannvorrichtungskompression, wobei die Bolzenlänge aus dem bolzensystemtypischen Dehnverhalten für jede Zugkraft bekannt ist und die Bolzenspannvorrichtungskompression aus dem bolzenspannvorrichtungstypischen Kompressionsverhalten für jede Zugkraft bekannt ist.

[0066] In einer weiteren Ausgestaltung ist vorgesehen, dass das Aufbringen von Zugkraft auf den Bolzen unterbrochen wird, wenn anhand des Längungswertes ein nichtbolzensystemtypisches Verhalten, insbesondere ein ungewöhnliches Dehnverhalten, des Bolzensystems festgestellt wird. Wird eine Dehngrenze des gelenkten Bolzens festgestellt bei einer Kraft, die nicht der bolzensystemtypischen Kraft für die Dehngrenze entspricht, spricht dies für einen fehlerhaften oder falschen Bolzen. Um Zerstörungen an der Flanschverbindung, den umliegenden Gerätschaften oder der Bolzenspannvorrichtung zu vermeiden und insbesondere auch, um Verletzungen von Menschen in der Umgebung der Bolzenspannvorrichtung zu vermeiden, wird in einer Ausführungsform mit Erkennen einer nichtbolzensystemtypischen Dehngrenze des Bolzensystems der Druck kontrolliert abgelassen und eine Fehlermeldung ausgegeben, so dass der Bolzen ausgetauscht werden kann.

[0067] Eine beispielhafte Ausführungsform des Verfahrens zur Verschraubung eines Bolzensystem sieht vor, dass im Vorfeld der Verschraubung an zumindest einem Testbolzen ein bolzensystemtypisches Dehnverhalten, ermittelt bevorzugt mit dem vorstehend beschriebenen erfindungsgemäßen Messsystem und dem dort beschriebenen Messverfahren, ermittelt wird. Weiterhin wird ein bolzenspannvorrichtungstypisches Kompressionsverhalten der Bolzenspannvorrichtung, ermittelt bevorzugt mit dem vorstehend beschriebenen erfindungsgemäßen Messsystem und dem dort beschriebenen Messverfahren, ermittelt. Dies kann sowohl mittels der Bolzenspannvorrichtung selber erfolgen als auch mittels eines baugleichen Produktes. Im Folgenden werden die Flansche so zueinander ausgerichtet, dass die Bolzensysteme in die Flanschausnehmungen eingeführt werden können. Hierzu ist in einer Ausführungsform vorgesehen, dass die Bolzen bereits auf dem ersten Flansch derart aufgesteckt sind, dass diese nicht nach unten aus dem Flansch ragen. Insbesondere bei einer Windkraftanlagenvorrichtung können so der Bolzen und der erste Flansch mittels eines Krans gleichzeitig auf den zweiten Flansch gesetzt werden. Die Flanschausnehmungen des ersten und des zweiten Flansches werden zueinander ausgerichtet, und dann werden die Bolzensysteme in die erste Flanschausnehmung und die zweite Flanschausnehmung eingebracht. Auf der Mutterseite der Flanschverbindung, das ist die Seite der Flanschverbindung, auf der die Mutter des Bolzensystems angeordnet ist, wird die Bolzenspannvorrichtung montiert. Insbesondere wird die Bolzenspannvorrichtung auf dem Bolzen aufgeschraubt. Sodann wird eine Zugkraft auf den Bolzen aufgebracht, die bevorzugt bis zu einer Maximalkraft gesteigert wird, die bevorzugt zur bolzensystemtypischen Längung bis zur Dehngrenze des Bolzens führt. Dann wird die Mutter mit einem bestimmten Drehmoment nachgedreht, so dass diese mit bevorzugt 50 Nm angezogen ist. Die Zugkraft wird auf die Rückstellkraft von etwa 0 N gebracht, so dass die Mutter des Bolzensystems und die Flanschverbindung mit der maximal mit dem Bolzensystem aufbringbaren Kraft belastet werden. Nachfolgend wird wieder die Zugkraft auf den Bolzen aufgebracht und diese vorzugsweise bis zur Maximalkraft gesteigert. Sodann wird die Mutter gelöst und die Kraft wieder auf die Rückstellkraft gesetzt. Erneut wird eine Zugkraft auf den Bolzen aufgebracht, so dass dieser bis zu einer geforderten Sollkraft gestreckt wird, die bevorzugt zwischen 70 % und 100 % der Maximalkraft liegt. Die Mutter wird sodann wieder mit einem bestimmten Drehmoment von vorzugsweise 50 Nm angezogen und die Zugkraft auf die Rückstellkraft zurückgesetzt. Während des ganzen Ver-

fahrens werden die Zugkraft auf den Bolzen und ein Längungswert, der die Summe der Bolzenlängung, der Bolzenspannvorrichtungskompression und der Flanschkompression ist, ermittelt. Die Werte, die bei einer Kalibrierungskraft von vorzugsweise etwa 40 kN ermittelt werden, werden gesichert und dokumentiert. Weiterhin wird die Zugkraft bei Lösen der Mutter von der Flanschverbindung als Flanschkompressionskraft dokumentiert und gesichert. Auch alle anderen Werte der Aufzeichnung während des Verfahrens werden als Dokumentation insbesondere graphisch gesichert.

[0068] Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen gehen aus den nachfolgenden Zeichnungen hervor. Gleiche Teile oder Teile mit gleicher Funktion können die gleichen Bezugszeichen aufweisen. Es zeigen:

Fig. 1A eine erste Ausführungsform eines Bolzensystems 10 und eine Flanschverbindung 81 in einer seitlichen Schnittansicht;

Fig. 1B eine zweite Ausführungsform eines Bolzensystems 10 und eine Flanschverbindung 81 in einer seitlichen Schnittansicht;

Fig. 1C eine dritte Ausführungsform eines Bolzensystems 10 und eine Flanschverbindung 81 in einer seitlichen Schnittansicht;

Fig. 2 eine vierte Ausführungsform eines Bolzensystems 10 ohne Mutter 12, eine Flanschverbindung 81 und eine Bolzenspannvorrichtung 200;

Fig. 3 eine Mehrzahl von Dehnverhalten eines Messverfahrens mit einem Messsystem 100;

Fig. 4 ein bolzensystemtypisches Dehnverhalten eines HV Bolzens und einer HV Mutter;

Fig. 5 ein bolzensystemtypisches Dehnverhalten eines Stud Bolzens und zwei TTG Müttern;

Fig. 6 eine Ausführungsform eines Bolzens 20 und ein Widerlager 32 eines Bolzensystems 10;

Fig. 7 eine Ausführungsform eines Messsystems 100 in einer Vorderansicht;

Fig. 8 das Messsystem 100 aus Fig. 7 in einer Seitenansicht;

Fig. 9 eine Bolzenspannvorrichtung 200 und eine Aufnahmevorrichtung 80 in einer Seitenansicht; und

Fig. 10 ein Bolzensystem 10, die Bolzenspannvorrichtung 200 und die Aufnahmevorrichtung 80 aus Fig. 9 in einer seitlichen Schnittansicht.

[0069] Fig. 1A zeigt eine erste Ausführungsform eines Bolzensystems 10 und eine Flanschverbindung 81 in einer seitlichen Schnittansicht. Das Bolzensystem 10 weist einen Bolzen 20, eine Mutter 12 und ein Widerlager 32 auf. Der Bolzen 20 ist als ein HV Bolzen ausgebildet. Weiter ist die Mutter 12 als eine HV Mutter ausgebildet und das Widerlager 32 weist einen Schraubenkopf auf, der unmittelbar mit dem Bolzenmaterial verbunden ist. Unter dem Widerlager 32 ist eine nicht näher bezeichnete Unterlegscheibe angeordnet. Die Flanschverbindung 81 weist einen ersten Flansch 82 mit einer ersten Flanschausnehmung 84 und einer Flanschoberfläche 86 und einen zweiten Flansch 92 mit einer zweiten Flanschausnehmung 94 auf. Der Bolzen 20 des Bolzensystems 10 ist in die erste Flanschausnehmung 84 und die zweite Flanschausnehmung 94 eingebracht.

[0070] Fig. 1B zeigt eine zweite Ausführungsform eines Bolzensystems 10 und eine Flanschverbindung 81 in einer seitlichen Schnittansicht. Das Bolzensystem 10 weist einen Bolzen 20, eine Mutter 12 und ein Widerlager 32 auf. Der Bolzen 20 ist als ein HV Bolzen ausgebildet. Weiter ist die Mutter 12 als eine TTG Mutter ausgebildet und das Widerlager 32 weist einen Schraubenkopf auf, der unmittelbar mit dem Bolzenmaterial verbunden ist. Unter dem Widerlager 32 ist eine nicht näher bezeichnete Unterlegscheibe angeordnet. Die TTG Mutter 12 weist ein Mutterinnengewinde auf, das einem Außengewinde eines gelängten Bolzens 20 entspricht. Die Flanschverbindung 81 weist einen ersten Flansch 82 mit einer ersten Flanschausnehmung 84 und einer Flanschoberfläche 86 und einen zweiten Flansch 92 mit einer zweiten Flanschausnehmung 94 auf. Der Bolzen 20 des Bolzensystems 10 ist in die erste Flanschausnehmung 84 und die zweite Flanschausnehmung 94 eingebracht.

[0071] Fig. 1C zeigt eine dritte Ausführungsform eines Bolzensystems 10 und eine Flanschverbindung 81 in einer seitlichen Schnittansicht. Das Bolzensystem 10 weist einen Bolzen 20, eine Mutter 12 und ein Widerlager 32 auf. Der Bolzen 20 ist als ein Stud-Bolzen ausgebildet, der an zwei Endbereichen des Bolzens 20 ein Außengewinde aufweist. Weiter ist die Mutter 12 als TTG Mutter und das Widerlager 32 ebenfalls als TTG Mutter ausgebildet. Die Flanschverbindung 81 weist einen ersten Flansch 82 mit einer ersten Flanschausnehmung 84 und einer Flanschoberfläche 86 und einen zweiten Flansch 92 mit einer zweiten Flanschausnehmung 94 auf. Der Bolzen 20 des Bolzensystems 10 ist in die erste Flanschausnehmung 84 und die zweite Flanschausnehmung 94 eingebracht.

[0072] Fig. 2 zeigt eine vierte Ausführungsform eines Bolzensystems 10 jedoch ohne Mutter 12, eine Flanschverbindung 81 und eine Bolzenspannvorrichtung 200. Der Bolzen 20 des Bolzensystems 10 ist in einer ersten und einer zweiten Flanschausnehmung 84, 94 der Flanschverbindung 81 eingebracht. Auf einer Flanschoberfläche 86 einer Mutterseite 83 des ersten Flansches 82 ist die Bolzenspannvorrichtung 200 mit einer Auflagefläche 204 auf dem ersten Flansch 82 angeordnet. Die Bolzenspannvorrichtung 200 umfasst ein Gehäuse 202 und eine Zugeinheit 210. Das Gehäuse 202 umschließt die Zugeinheit 210 um im Wesentlichen drei Seiten. Das Gehäuse 202 weist eine offene Seite in Richtung des ersten Flansches 82 auf, über welche die Zugeinheit 210 den Bolzen 20 des Bolzensystems 10 greift.

[0073] Fig. 3 zeigt eine Mehrzahl von Dehnverhalten eines Messverfahrens mit einem Messsystem 100. In Fig. 3 wird

ein Diagramm veranschaulicht, das auf der Ordinate (y-Achse) eine Zugkraft am Bolzen F_b und auf der Abszisse (x-Achse) Längungen und Kompressionen, alle mit positivem Vorzeichen, wiedergibt. Für das Messverfahren umfasst das Messsystem 100 einen M48 Stud Bolzen 20 und zwei M48 TTG Muttern 12, 32. Der Stud Bolzen 20 ist ein Bolzen, der an zwei Endbereichen ein Gewinde aufweist, in das die TTG Muttern 12, 32 greifen können. Für die Durchführung des Messverfahrens wird die Zugkraft F_b stetig erhöht, bis diese eine Maximalkraft F_{max} von etwa 1326 kN aufweist. Verdeutlicht ist ein Kompressionsverhalten der Flanschkompression 54, ein bolzentypisches Dehnverhalten 50, ein bolzenspannvorrichtungstypisches Kompressionsverhalten 52 und ein gemessenes Längungsverhalten 56. Für das Kompressionsverhalten der Flanschkompression 54 wird eine Flanschkompression Δf in Relation zur Zugkraft F_b gesehen. Weiter wird für das bolzentypische Dehnverhalten 50 eine Bolzenlänge Δb in Relation zur Zugkraft F_b gesehen. Weiter wird für das bolzenspannvorrichtungstypische Kompressionsverhalten 52 eine Bolzenspannvorrichtungskompression Δs in Relation zur Zugkraft F_b gesehen und für das gemessene Längungsverhalten 56 wird ein Längungswert Δl in Relation zur Zugkraft F_b gesehen.

[0074] Sobald die Maximalkraft F_{max} von etwa 1326 kN erreicht ist, wird eine der TTG Muttern 12 mit einem Drehmoment von etwa 50 Nm auf den Bolzen 20 angezogen. Anschließend wird die Zugkraft bis zu einer Kalibrierungskraft F_k von etwa 40 kN zurückgestellt (siehe Fig. 4 und 5).

[0075] Fig. 4 zeigt ein bolzensystemtypisches Dehnverhalten eines M48 HV Bolzens und einer M48 HV Mutter. Fig. 4 zeigt ein Diagramm, das auf der Ordinate (y-Achse) eine Zugkraft am Bolzen F_b und auf der Abszisse (x-Achse) die Bolzenlänge Δb wiedergibt. In einem ersten Schritt eine Zugkraft F_b auf den Bolzen 20 aufgebracht, bis eine Maximalkraft F_{max} von etwa 1326 kN erreicht ist. Die Zugkraft F_b wird stetig steigend erhöht, bis die Maximalkraft F_{max} erreicht ist. Die Maximalkraft F_{max} entspricht einer Kraft, die zur Längung des Bolzens 20 bis hin zu einer bolzensystemtypischen Dehngrenze RE notwendig ist. In einem zweiten Schritt wird die Mutter 12 mit einem bestimmten Drehmoment von etwa 50 Nm nachgedreht. Die Mutter 12 wird in Richtung der Flanschverbindung 81 geschraubt und mit dem bestimmten Drehmoment angezogen. In einem dritten Schritt wird die Zugkraft F_b auf eine Kalibrierungskraft F_k gesetzt. Bevorzugt liegt die Kalibrierungskraft F_k in einem Bereich von etwa 40 kN bei diesem M48 Bolzensystem. Insbesondere erfährt die Flanschverbindung 81 unterhalb der Mutter 12 eine Flanschkompressionskraft Δf (Fig. 4 nicht zu entnehmen), welche die beiden Flansche 82, 92 miteinander verpresst. In einem vierten Schritt wird wiederholt die Zugkraft F_b auf den Bolzen 20 aufgebracht, bis diese zumindest eine Flanschkompressionskraft Δf übersteigt. Die Flanschkompressionskraft Δf entspricht insbesondere der Zugkraft F_b , die auf den Bolzen 20 aufgebracht wird, um die Mutter 12 von dem Flansch 82 abzuheben bzw. der Kraft, bei der die Mutter 12 ohne Krafteinleitung in den Flansch 82 auf dem Flansch 82 aufliegt. Insbesondere kann die Flanschkompressionskraft Δf durch Ermittlung der Steigung der Hookeschen Gerade der Bolzenlänge Δb ermittelt werden. Die Steigung des Verhältnisses von Kraft F_b zur Bolzenlänge Δb ist steiler bis zu dem Punkt, wo die Mutter 12 von dem Flansch 82 abhebt.

[0076] Fig. 5 zeigt ein bolzensystemtypisches Dehnverhalten eines M48 Stud Bolzens und zwei M48 TTG Muttern. In Fig. 5 wird ein Diagramm veranschaulicht, das auf der Ordinate (y-Achse) eine Zugkraft am Bolzen F_b und auf der Abszisse (x-Achse) die Bolzenlänge Δb wiedergibt. Das Prinzip bzw. der Ablauf des Verfahrens unterscheidet sich nicht von dem der Fig. 4. Insbesondere veranschaulicht das Diagramm aus Fig. 5, dass nach dem Anziehen der TTG Mutter 12 auf dem Bolzen 20 mit einem bestimmten Drehmoment und der Entnahme der Zugkraft F_b die Bolzenlänge Δb nicht so deutlich abnimmt, wie in Fig. 4 verdeutlicht.

[0077] Fig. 6 zeigt eine Ausführungsform eines Bolzens 20 und ein Widerlager 32 eines Bolzensystems 10. Das Widerlager 32 weist einen Schraubenkopf auf und ist unmittelbar mit dem Bolzen 20 verbunden. Der Bolzen 20 ist beispielhaft als HV Bolzen ausgebildet. Der Bolzen 20 weist eine erste Stirnseite 23 und das Widerlager 32 eine zweite Stirnseite 33 auf. Der Bolzen 20 weist mittig auf der ersten Stirnseite 23 ein erstes Kontaktelement 21 auf. Weiter weist das Widerlager 32 auf der zweiten Stirnseite 33 ein zweites Kontaktelement 31 auf. Das erste und das zweite Kontaktelement 21, 31 sind in die erste und zweite Stirnseite des Bolzens 20 und des Widerlagers 32 eingelassen und ragen im Wesentlichen kuppelförmig aus den Stirnseiten 23, 33 heraus. Der Bolzen 20 und das Widerlager 32 weisen eine Länge 24 auf, die die Länge des Bolzens 20 und des Widerlagers 32 in Richtung einer Längserstreckung des Bolzens 20 ist. Des Weiteren weist der Bolzen 20 ausgehend von der ersten Stirnseite 23 ein Außengewinde 26 auf, das in Richtung des Widerlagers 32 auf dem Bolzen 20 ausgebildet ist. Neben der Länge 24 veranschaulicht Fig. 6 eine Bolzenlänge Δb , die die Differenzlänge eines gelängten Bolzens (Fig. 6 nicht zu entnehmen) zu einem ungelängten Bolzen 20 beschreibt.

[0078] Fig. 7 zeigt eine Ausführungsform eines Messsystems 100 in einer Vorderansicht. Das Messsystem 100 umfasst eine Aufnahmevorrichtung 80, eine Bolzenspannvorrichtung 200 und ein Bolzenlängungsmessgerät 102. Mit dem Bolzenlängungsmessgerät wird eine Bolzenlänge Δb gemessen. Die Aufnahmevorrichtung 80 weist einen ersten Flansch 82 und einen zweiten Flansch 92 auf und bildet eine Flanschverbindung 81. Die Aufnahmevorrichtung 80 bzw. die Flanschverbindung 81 weist den ersten Flansch 82 und den zweiten Flansch 92 auf, wobei der erste Flansch 82 eine Mutterseite 83 mit einer Flanschoberfläche 86 und eine erste Kontaktseite 85 aufweist und der zweite Flansch 92 eine zweite Kontaktseite 95 und eine Widerlagerseite 93 aufweist. Die erste Kontaktseite 85 und die zweite Kontaktseite 95 sind einander zugeordnet. Des Weiteren ist die Bolzenspannvorrichtung 200 auf einer Flanschoberfläche 86 der Mut-

terseite 83 der Aufnahmevorrichtung 80 bzw. der Flanschverbindung 81 angeordnet. Die Aufnahmevorrichtung 80 ist unterseitig bzw. widerlagerseitig mit zwei Beabstandungselementen 140 verbunden. Der zweite Flansch 92 liegt mit der Widerlagerseite 93 an zwei Endbereichen einer Längserstreckung der Aufnahmevorrichtung 80 auf den Beabstandungselementen 140 auf.

[0079] Das Bolzenlängungsmessgerät 102 umfasst ein Stativ 104 und einen Rahmen 110, wobei das Stativ 104 mindestens eine Lagerung 105 (siehe Fig. 8) aufweist, die den Rahmen 110 translatorisch lagert. Das Stativ 104 ist als ein tragendes Element auf einem Untergrund angeordnet. Zumindest auf der Widerlagerseite 93 sind ein erstes und ein zweites Flanschkompressionsmessgerät 120, 130 angeordnet. Mit dem ersten Flanschkompressionsmessgerät 120 wird eine erste Flanschkompression Δf_1 gemessen und mit dem zweiten Flanschkompressionsmessgerät 130 wird eine zweite Flanschkompression Δf_2 gemessen.

[0080] Fig. 8 zeigt das Messsystem 100 aus Fig. 7 in einer Seitenansicht. Das Messsystem 100 umfasst die Aufnahmevorrichtung 80, die Bolzenspannvorrichtung 200 und das Bolzenlängungsmessgerät 102. Die Aufnahmevorrichtung 80 weist den ersten Flansch 82 und den zweiten Flansch 92 auf und bildet die Flanschverbindung 81. Der erste Flansch 82 weist die Mutterseite 83 mit einer Flanschoberfläche 86 und die erste Kontaktseite 85 auf und der zweite Flansch 92 weist die zweite Kontaktseite 95 und die Widerlagerseite 93 auf. Weiter ist Fig. 8 zu entnehmen, dass der zweite Flansch 92 auf zumindest einem der zwei Beabstandungselemente 140 aufliegt. Das Bolzenlängungsmessgerät 102 umfasst das Stativ 104 und den Rahmen 110, wobei das Stativ 104 zwei Lagerungen 105 (siehe Fig. 8) aufweist, die den Rahmen 110 translatorisch lagern. Der Rahmen 110 des Bolzenlängungsmessgerätes 102 liegt über ein Federelement 108 auf dem Stativ 104 auf. Durch die Auflage des Rahmens 110 ist das Federelement 108 zu einem gewissen Teil vorgespannt. Der Rahmen 110 des Bolzenlängungsmessgerätes 102 weist einen Bolzenlängungsmessstab 112 und einen Bolzentaster 117 (Fig. 8 nicht zu entnehmen) auf. Der Bolzenlängungsmessstab 112 ist der Mutterseite 83 der Aufnahmevorrichtung 80 zugeordnet und der Bolzentaster 117 der Widerlagerseite 93 der Aufnahmevorrichtung 80. Die Bolzenspannvorrichtung 200 des Messsystems 100 weist ein Längungswertmessgerät 230, mit dem ein Längungswert Δl gemessen wird, auf. Die Bolzenspannvorrichtung 200 misst einen korrelierenden Längungswert Δl , wobei ein zurückgelegter Weg einer Zugeinheit 210 (siehe Fig. 210) mit Aufbringen einer Zugkraft F_b gemessen wird. Des Weiteren weist die Bolzenspannvorrichtung 200 eine Zugkraftermittlung 272 und eine Recheneinheit 270 auf. Die Recheneinheit kann nicht nur in die Vorrichtung integriert sein, sondern auch räumlich getrennt von dieser in Form eines Arbeitsplatzcomputers oder ähnlich ausgebildet sein.

[0081] Fig. 9 zeigt eine Bolzenspannvorrichtung 200 und eine Aufnahmevorrichtung 80 in einer Seitenansicht. Des Weiteren ist in Fig. 9 ein Teil eines Bolzenlängungsmessgerätes 102 verdeutlicht, der eine Bolzenlängung Δb wiedergibt und diese gegebenenfalls dokumentiert. Die Aufnahmevorrichtung 80 weist den ersten Flansch 82 und den zweiten Flansch 92 auf und bildet die Flanschverbindung 81. Der erste Flansch 82 weist die Mutterseite 83 mit einer Flanschoberfläche 86 und die erste Kontaktseite 85 auf und der zweite Flansch 92 weist die zweite Kontaktseite 95 und die Widerlagerseite 93 auf. Der zweite Flansch 92 liegt mit der Widerlagerseite auf zwei Beabstandungselementen 140 auf.

[0082] Zumindest auf der Widerlagerseite 93 sind ein erstes und ein zweites Flanschkompressionsmessgerät 120, 130 angeordnet, wobei mit dem ersten Flanschkompressionsmessgerät 120 eine erste Flanschkompression Δf_1 und mit dem zweiten Flanschkompressionsmessgerät 130 eine zweite Flanschkompression Δf_2 gemessen wird.

[0083] Fig. 10 zeigt ein Bolzensystem 10, eine Bolzenspannvorrichtung 200 und eine Aufnahmevorrichtung 80 in einer seitlichen Schnittansicht. Die seitliche Schnittansicht ist ein Schnitt A-A aus Fig. 9. Die Aufnahmevorrichtung 80 weist den ersten Flansch 82 und den zweiten Flansch 92 auf und bildet die Flanschverbindung 81. Der erste Flansch 82 weist die Mutterseite 83 mit einer Flanschoberfläche 86 und die erste Kontaktseite 85 auf und der zweite Flansch 92 weist die zweite Kontaktseite 95 und die Widerlagerseite 93 auf. Der erste Flansch 82 weist eine erste Flanschausnehmung 84 und der zweite Flansch 92 eine zweite Flanschausnehmung 94 auf. Ein Bolzen 20 des Bolzensystems 10 ist in die erste Flanschausnehmung 84 und die zweite Flanschausnehmung 94 eingebracht.

[0084] Die Bolzenspannvorrichtung 200 weist ein Gehäuse 202, eine Zugeinheit 210 und das Längungswertmessgerät 230 (siehe Fig. 8) auf. Die Zugeinheit 210 weist an einem Greifbereich 218 ein Zugeinheitsinnengewinde 216 auf.

[0085] Des Weiteren weist das Bolzensystem 10 den Bolzen 20, eine Mutter 12 und ein Widerlager 32 auf. Das Widerlager 32 weist einen Schraubenkopf auf und ist unmittelbar mit dem Bolzen 20 verbunden. Der Bolzen 20 weist ein Außengewinde 26 und die Mutter 12 ein Mutterinnengewinde 16 auf. Das Mutterinnengewinde 16 weist eine Geometrie auf, die im Wesentlichen einer Geometrie des Außengewindes 26 des Bolzens entspricht, der mittels einer Zugkraft F_b gedehnt bzw. gelängt ist. Des Weiteren greift das Zugeinheitsinnengewinde 216 in das Außengewinde 26 des Bolzens 20.

[0086] Weiter sind auf der Widerlagerseite 85 des zweiten Flansches ein erstes Flanschkompressionsmessgerät 120 und ein zweites Flanschkompressionsmessgerät 130 angeordnet. Mit dem ersten Flanschkompressionsmessgerät wird eine erste Flanschkompression Δf_1 der Aufnahmevorrichtung 80 unter der Bolzenspannvorrichtung 200 bzw. unter dem Gehäuse 202 der Bolzenspannvorrichtung 200 gemessen. Mit dem zweiten Flanschkompressionsmessgerät wird eine zweite Flanschkompression Δf_2 der Aufnahmevorrichtung 80 unter der Mutter 12 des Bolzensystems 10 gemessen.

[0087] Mindestens über die erste Flanschkompression Δf_1 ist eine Kompressionskraft unter der Bolzenspannvorrich-

tung F_s zu bestimmen. Weiter ist mindestens über die zweite Flanschkompression Δf_2 eine Kompressionskraft unter der Mutter F_m zu bestimmen.

[0088] Durch die Aufnahmevorrichtung 80 verläuft eine erste Flanschkompressionsausnehmung 98 und eine zweite Flanschkompressionsausnehmung 99. Die erste und die zweite Flanschkompressionsausnehmung 98, 99 durchdringen die Aufnahmevorrichtung 80 vollständig ausgehend von der Widerlagerseite 85 bis zur Mutterseite 95. Das erste Flanschkompressionsmessgerät 120 umfasst einen ersten Flanschkompressionsmessstab 122, der durch die erste Flanschkompressionsausnehmung 98 greift und einen Kontakt zur Bolzenspannvorrichtung 200 aufweist. Das zweite Flanschkompressionsmessgerät 130 umfasst einen zweiten Flanschkompressionsmessstab 132, der durch die zweite Flanschkompressionsausnehmung 99 greift und mittelbar, bedingt durch eine Unterlegscheibe, einen Kontakt zur Mutter aufweist.

[0089] Der Bolzen 20 weist mittig auf einer ersten Stirnseite 23 (siehe Fig. 6) ein erstes Kontaktelement 21 auf. Des Weiteren weist das Widerlager 32 auf einer zweiten Stirnseite 33 (siehe Fig. 6) ein zweites Kontaktelement 31 auf. Das Bolzenlängungsmessgerät 102 aus Fig. 7 und 8 weisen über einen Bolzenlängungsmessstab 112 und einen Bolzentaster 117 (siehe schematisch Fig. 8) einen Kontakt zum ersten und zweiten Kontaktelement 21, 31 des Bolzens 20 auf. Der Bolzenlängungsmessstab 112 weist einen Kontakt zum ersten Kontaktelement 21 auf.

[0090] Die in den Figuren dargestellten Ausführungsformen sind nicht beschränkend auszulegen. Vielmehr können dort beschriebene Merkmale untereinander und mit den zuvor beschriebenen Merkmalen zu weiteren Ausgestaltungen kombiniert werden.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Verschraubung eines Bolzensystems (10) mit einer Flanschverbindung (81), wobei das Bolzensystem (10) zumindest einen Bolzen (20), eine Mutter (12) und ein Widerlager (32) aufweist, wobei die Flanschverbindung (81) zumindest einen ersten Flansch (82) mit zumindest einer ersten Flanschausnehmung (84) und einen zweiten Flansch (92) mit zumindest einer zweiten Flanschausnehmung (94) aufweist, umfassend die Schritte

- a) Ermitteln eines bolzensystemtypischen Dehnverhaltens (50) und Ermitteln eines bolzenspannvorrichtungstypischen Kompressionsverhaltens (52),
- b) Ausrichten der ersten Flanschausnehmung (84) zur zweiten Flanschausnehmung (94),
- c) Einbringen des Bolzensystems (10) in die erste Flanschausnehmung (84) und die zweite Flanschausnehmung (94),
- d) Montieren einer Bolzenspannvorrichtung (200) an den Bolzen (20) auf einer Mutterseite (83) der Flanschverbindung,
- e) Aufbringen einer Zugkraft (F_b) auf den Bolzen (20), bis eine bestimmte Maximalkraft (F_{max}) erreicht ist, und Ermitteln eines Längungswertes (Δl) (56), der mit einer Bolzenlängung (Δb) (50), einer Bolzenspannvorrichtungskompression (Δs) und einer Flanschkompression (Δf) (54) der Flanschverbindung (81) korreliert,
- f) Nachdrehen der Mutter (12) mit einem bestimmten Drehmoment,
- g) Ablassen der Zugkraft (F_b),
- h) mindestens einmalige Wiederholung der Schritte e) bis g.), und
- i) Auswerten der ermittelten Werte für Zugkraft (F_b) und Längungswert (Δl), Bestimmen der Flanschkompression (Δf) und daraus Bestimmen der Flanschkompressionskraft (F_f).

2. Verfahren gemäß Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die bestimmte Maximalkraft (F_{max}) einer Zugkraft (F_b) entspricht, bei der eine bolzensystemtypische Dehngrenze (RE) erreicht ist.

3. Verfahren gemäß einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Schritte e) bis g) zumindest einmal wiederholt werden.

4. Verfahren gemäß einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** vor dem Schritt h)

- eine Zugkraft auf den Bolzen aufgebracht wird,
- die Mutter (12) gelöst wird,
- die Zugkraft auf Null gesetzt wird und
- die Zugkraft auf eine Sollkraft (F_{soll}) gesetzt wird

5. Verfahren gemäß einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die

Flanschkompression (Δf) aus dem Längungswert (Δl) wie folgt mittelt wird:

$$\text{Flanschkompression } (\Delta f) = \text{Längungswert } (\Delta l) - \text{Bolzenlänge } (\Delta b) - \text{Bolzenspann-} \\ \text{vorrichtungskompression } (\Delta s)$$

wobei die Bolzenlänge (Δb) aus dem bolzensystemtypischen Dehnverhalten (50) für jede Zugkraft (F_b) bekannt ist und die Bolzenspannvorrichtungskompression (Δs) aus dem bolzenspannvorrichtungstypischen Kompressionsverhalten (52) für jede Zugkraft (F_b) bekannt ist.

6. Verfahren gemäß einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Flanschkompressionskraft (F_f) ermittelt wird, bei der die Mutter (12) sich von einer Flanschoberfläche (86) der Mutterseite (83) der Flanschverbindung (81) löst.
7. Verfahren gemäß einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Aufbringen von Zugkraft (F_b) auf den Bolzen (20) unterbrochen wird, wenn anhand des Längungswertes (Δl) ein nicht-bolzensystemtypisches Verhalten des Bolzensystems (10) festgestellt wird, oder wenn die Flanschverbindung durch die Zugkraft F_b nicht geschlossen wird.
8. Bolzensystem (10) zur Durchführung eines Verfahrens gemäß einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, umfassend zumindest einen Bolzen (20), ein Widerlager (32) und eine Mutter (12), wobei der Bolzen (20) ein bolzensystemtypisches Dehnverhalten (50) aufweist, das mittels zumindest eines baugleichen Bolzens (20) ermittelt ist.
9. Bolzensystem (10) gemäß Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Mutter (12) ein Mutterinnengewinde (16) mit einer Geometrie aufweist, die im Wesentlichen der Geometrie des Bolzens (20) entspricht, der mittels einer Maximalkraft (F_{max}) gedehnt ist.
10. Bolzensystem (10) gemäß einem oder mehreren der Ansprüche 8 bis 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Widerlager (32) einen Schraubenkopf oder eine Gegenmutter aufweist.
11. Bolzensystem (10) gemäß einem oder mehreren der Ansprüche 8 bis 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Bolzen (20) zumindest einmal, bevorzugt bis zu seiner Dehngrenze (RE), gedehnt worden ist.
12. Bolzenspannvorrichtung (200) zur Durchführung eines Verfahrens gemäß einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Bolzenspannvorrichtung (200) ein Gehäuse (202), eine Zugeinheit (210), ein Längungswertmessgerät (230), eine Zugkraftermittlung (272) und eine Recheneinheit (270) aufweist, wobei mittels des Längungswertmessgeräts (230) ein Längungswert (Δl) messbar ist, wobei mittels der Recheneinheit (270) aus dem ermittelten Längungswert (Δl) eine Flanschkompression (Δf) errechenbar ist.

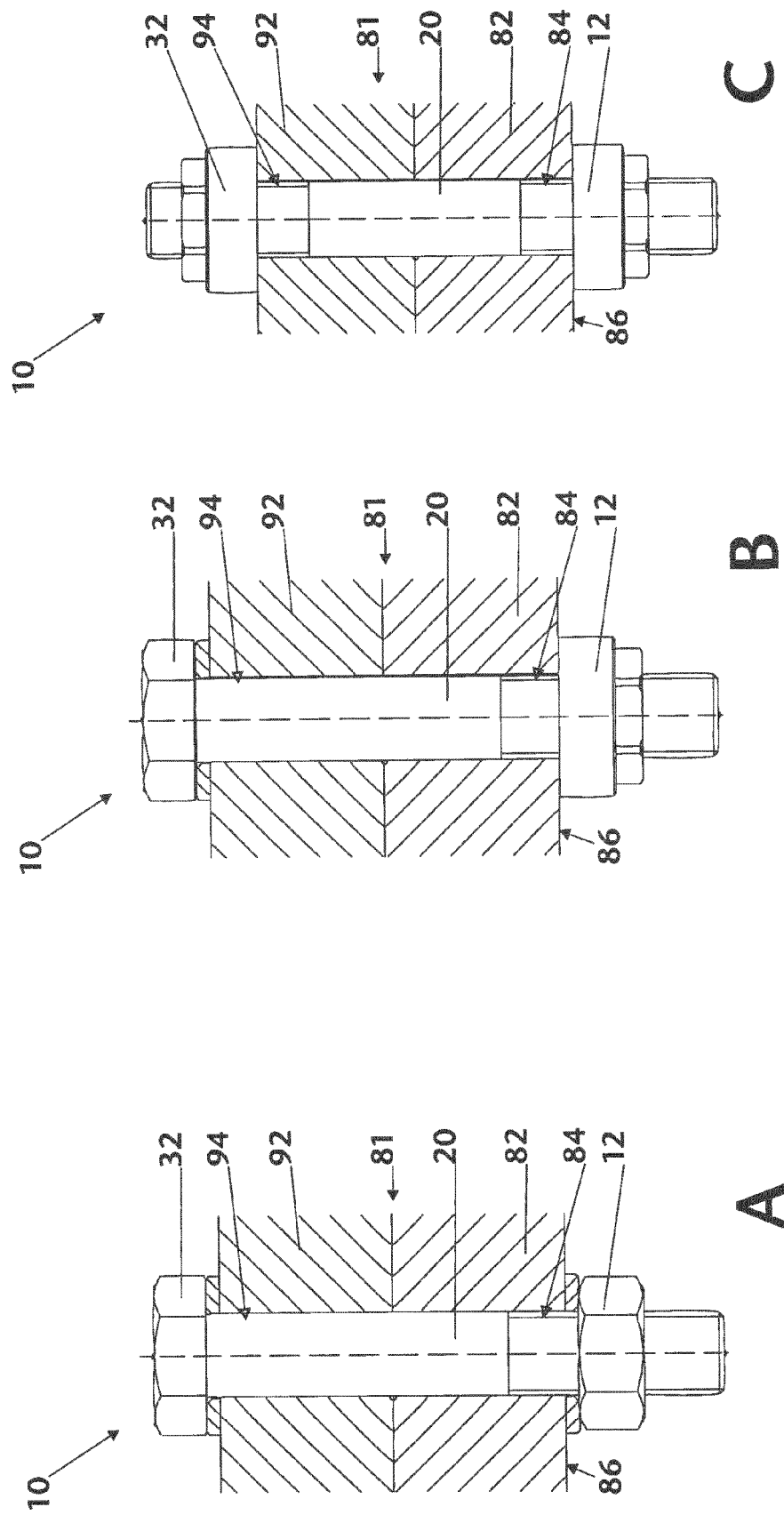


Fig. 1

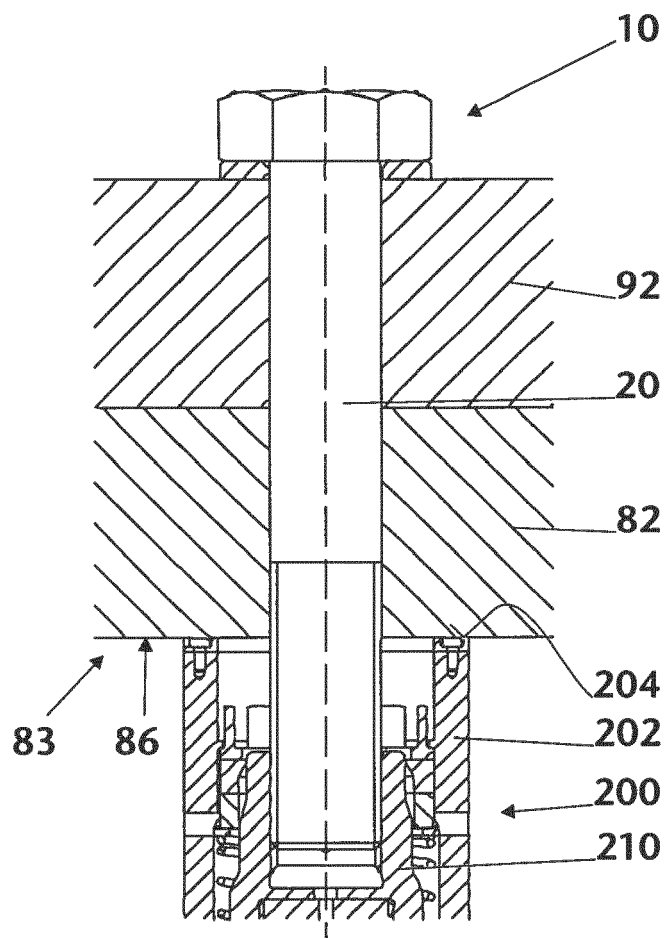


Fig. 2

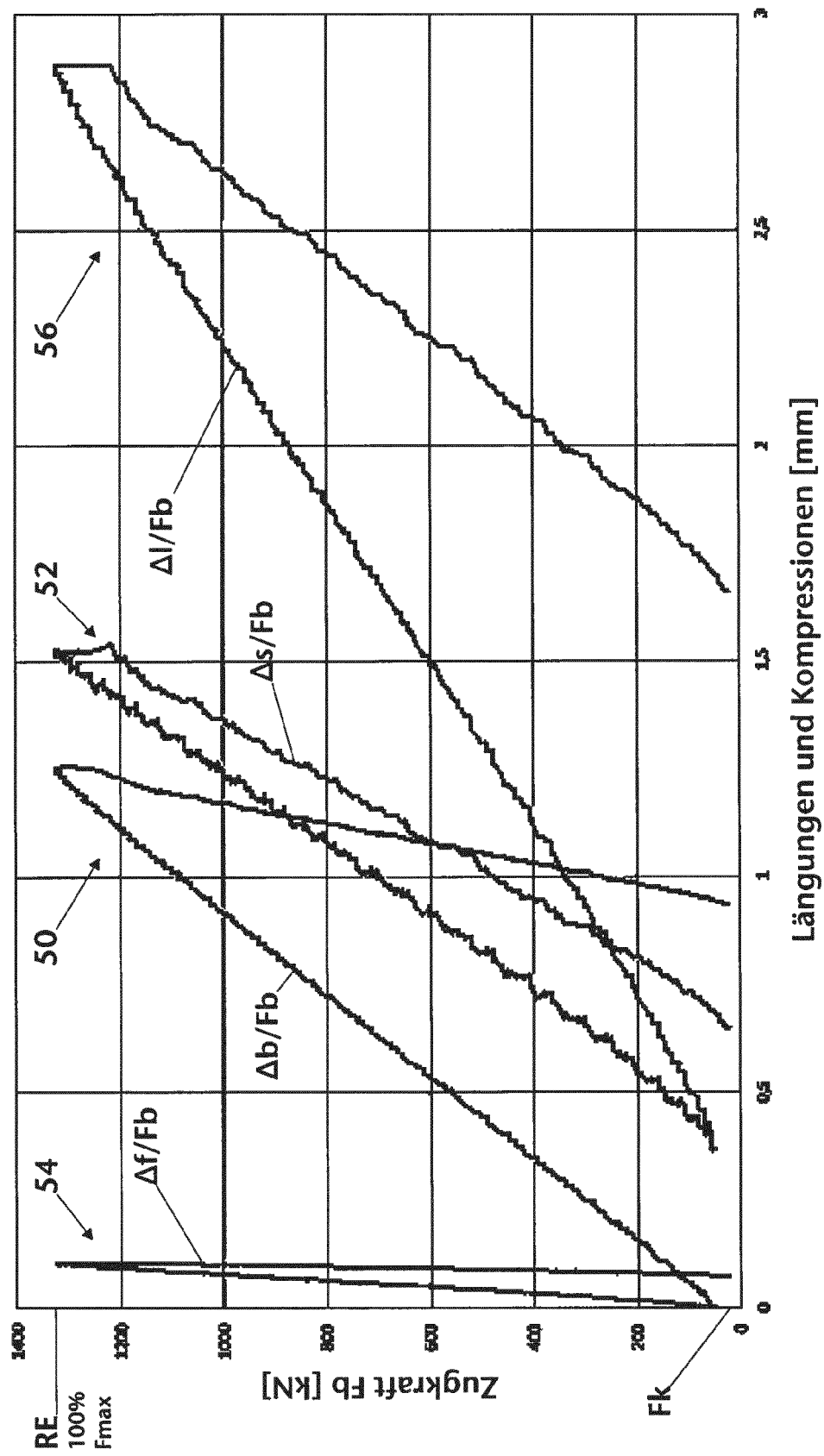


Fig. 3

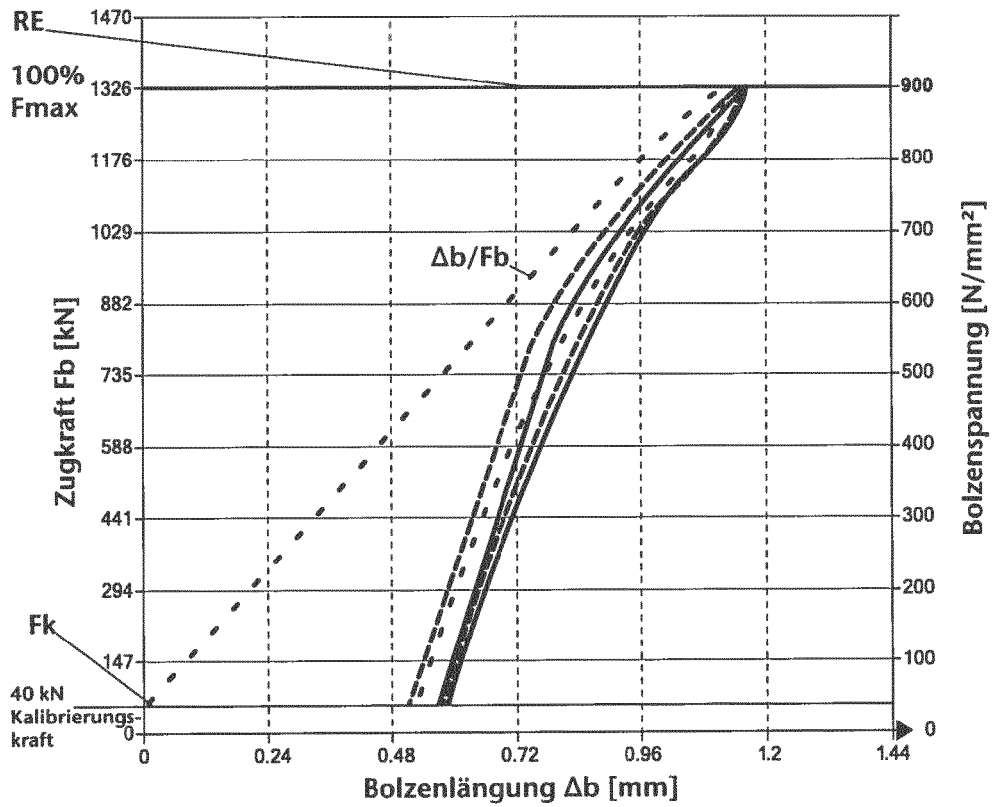


Fig. 4

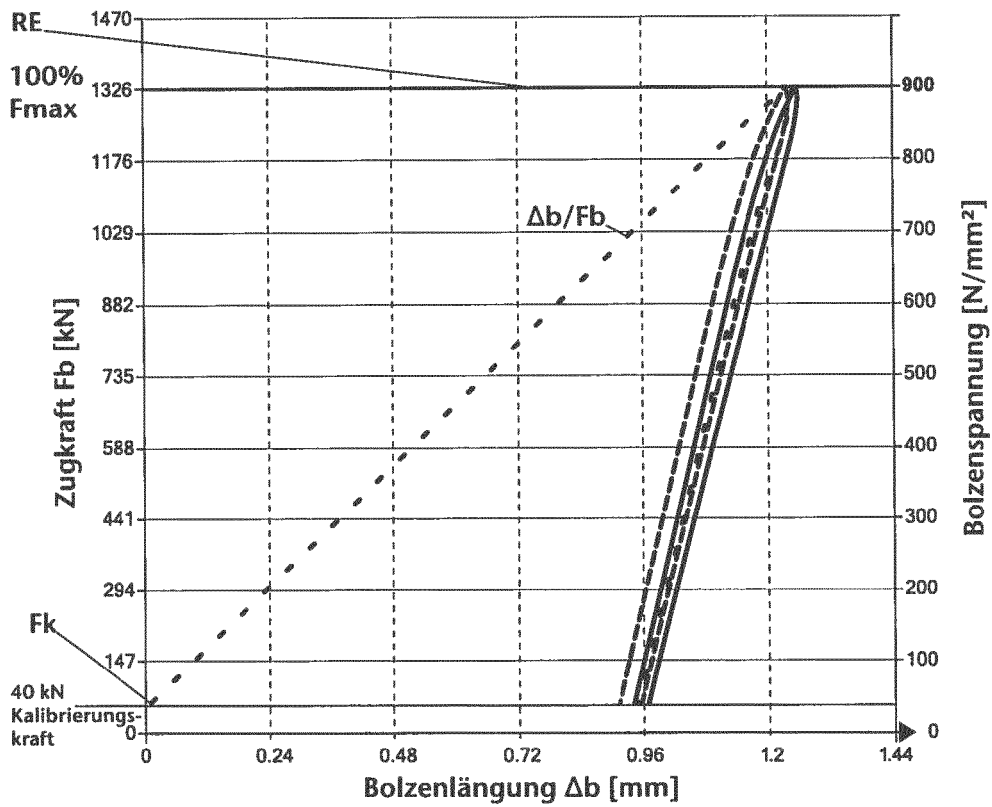


Fig. 5

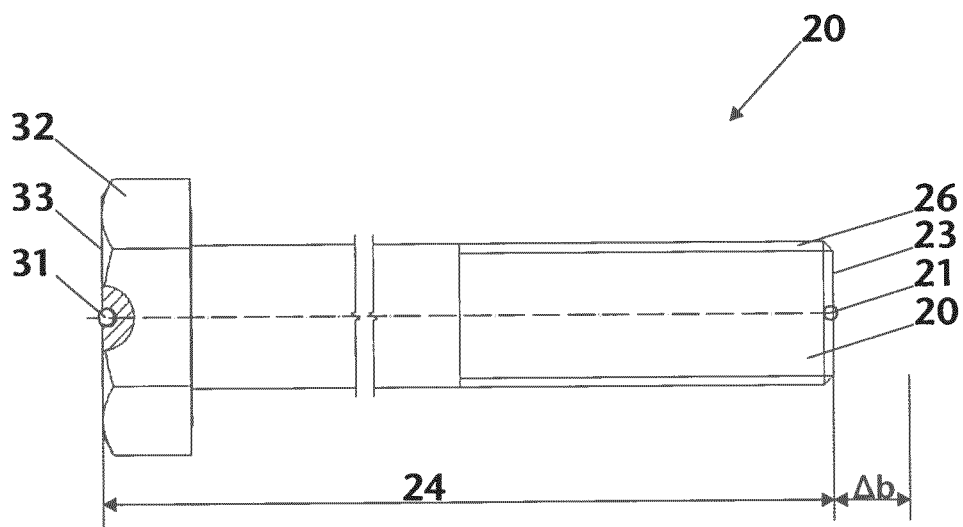
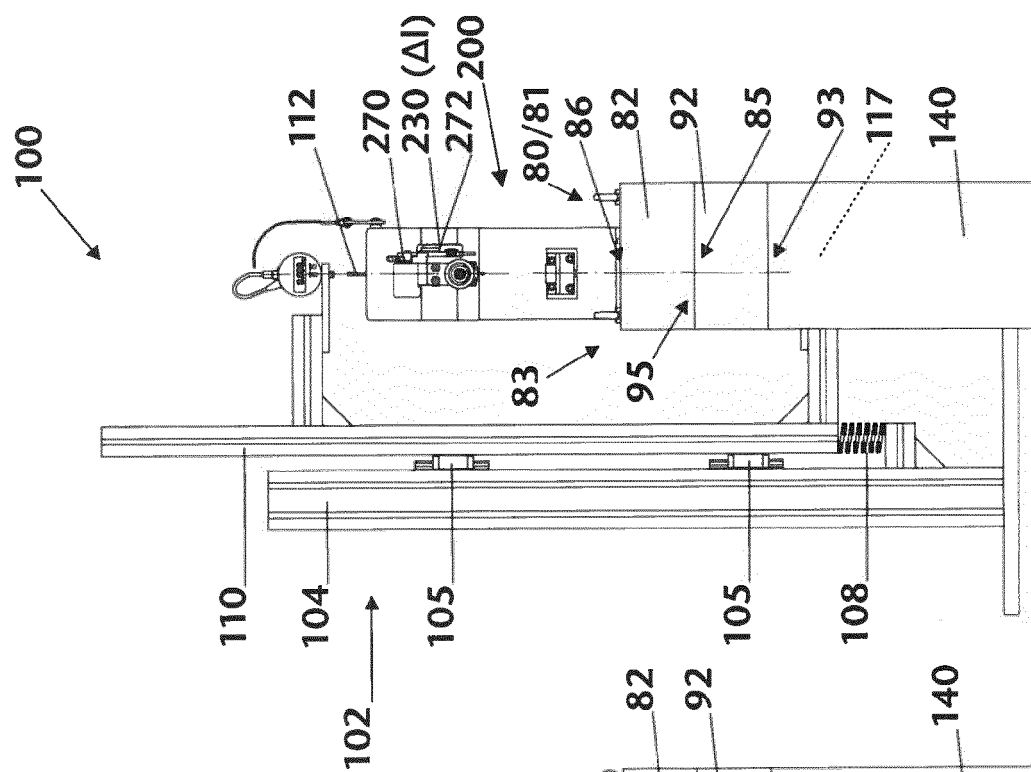
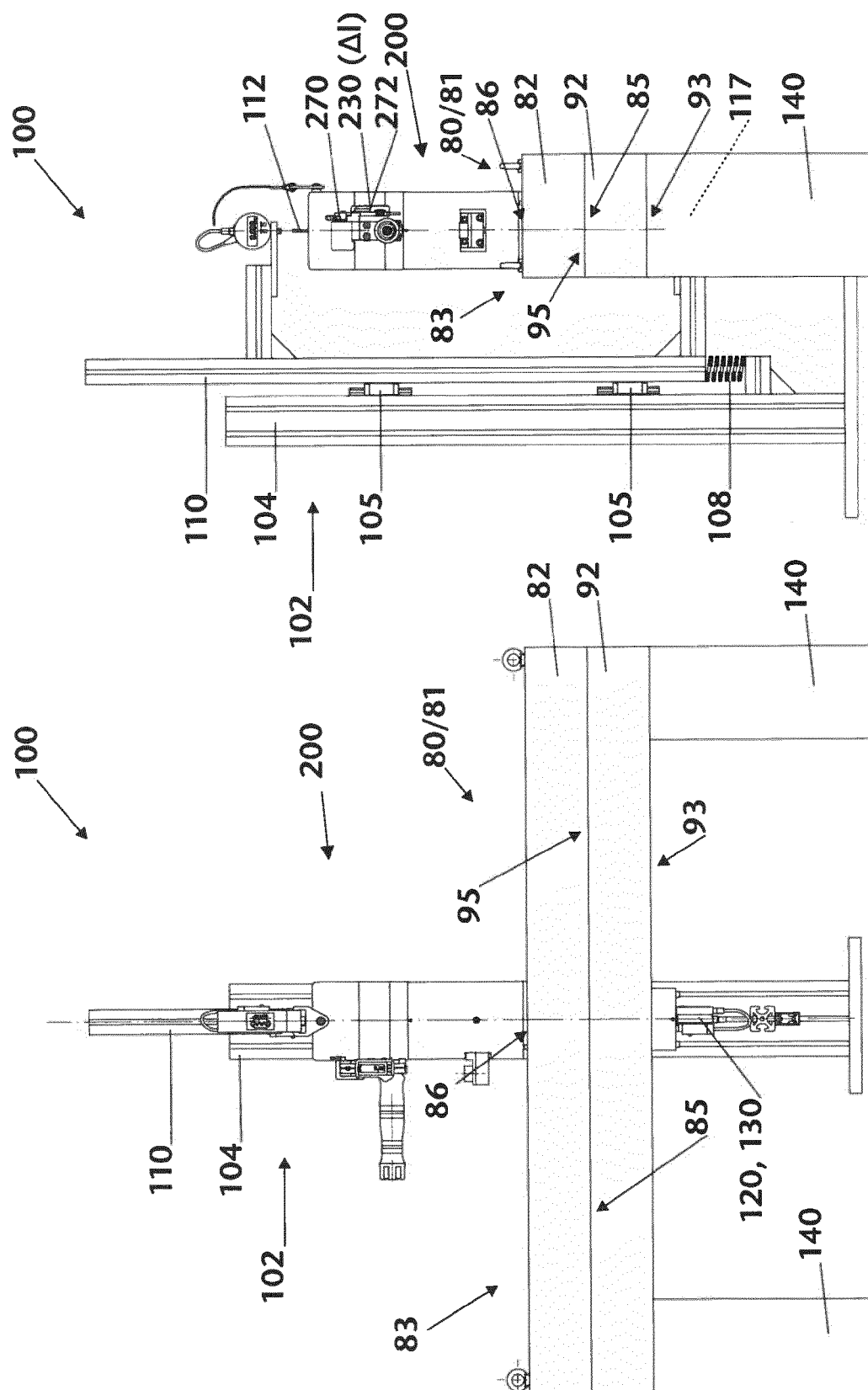


Fig. 6



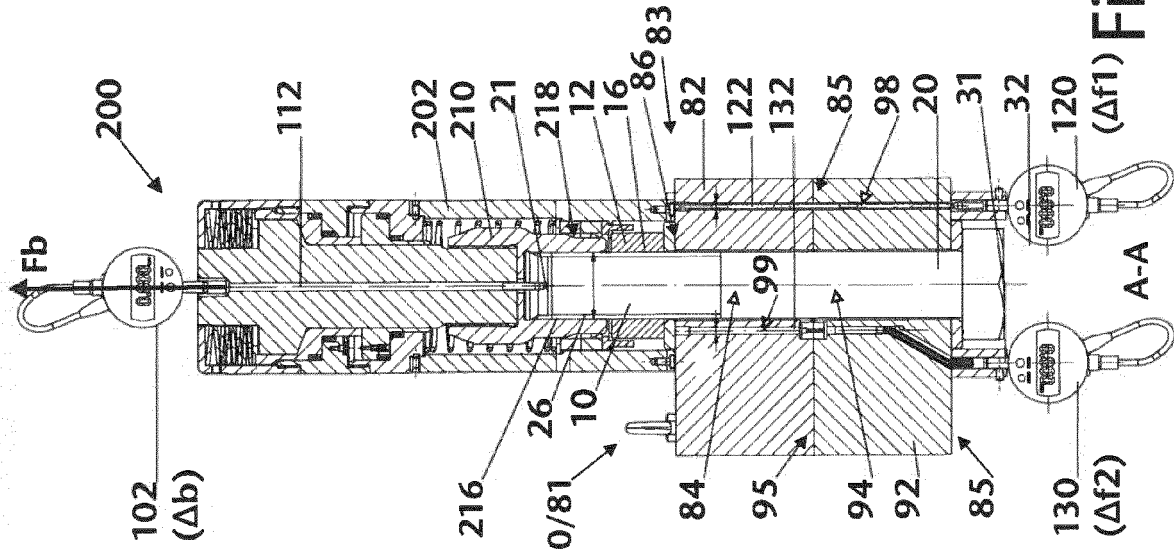


Fig. 10

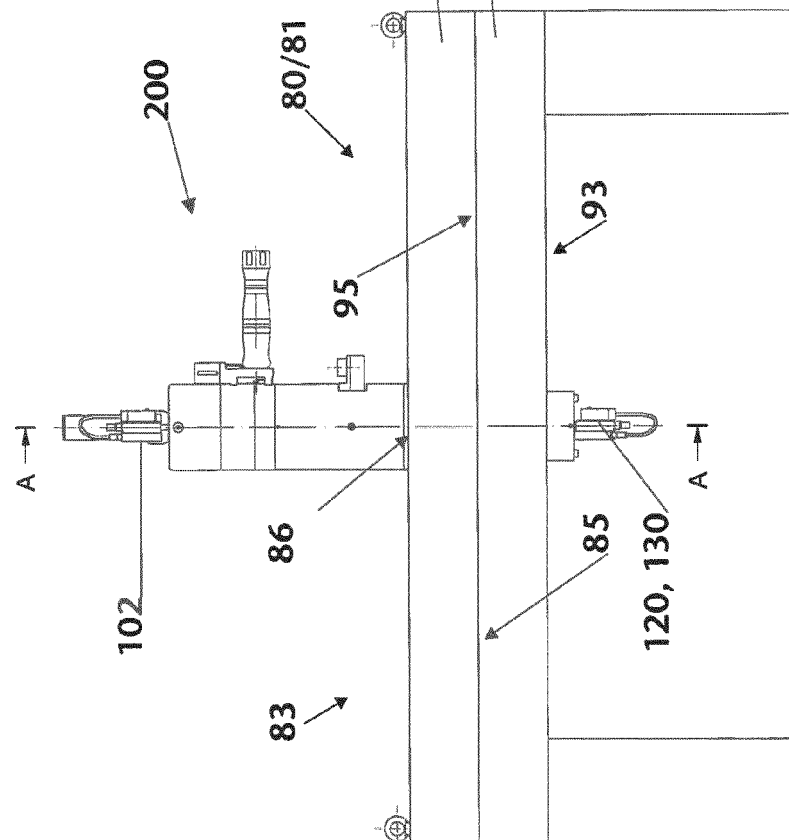


Fig. 9



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

 Nummer der Anmeldung
EP 19 17 2162

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	EP 2 942 156 A2 (HOHMANN JÖRG [DE]; HOHMANN FRANK [DE]) 11. November 2015 (2015-11-11)	8-12	INV. B25B29/02
A	* Absatz [0012] - Absatz [0041]; Abbildungen 1-4 *	1-7	
A	----- EP 0 223 713 A1 (SEALOL [FR]) 27. Mai 1987 (1987-05-27) * Spalte 2, Zeile 8 - Spalte 10, Zeile 62; Abbildungen 1-6 * -----	1-7	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
			B25B
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort Den Haag		Abschlußdatum der Recherche 3. Oktober 2019	Prüfer Pothmann, Johannes
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

EPO FORM 1503 03.92 (P04C03)

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT
 ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 19 17 2162

5 In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente angegeben.
 Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
 Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

03-10-2019

10	Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
15	EP 2942156	A2	11-11-2015	DE 102014106215 A1	05-11-2015
				DK 2942156 T3	12-06-2017
				EP 2942156 A2	11-11-2015
				US 2015314431 A1	05-11-2015
20	EP 0223713	A1	27-05-1987	DE 3669678 D1	26-04-1990
				EP 0223713 A1	27-05-1987
				ES 2013718 B3	01-06-1990
				FR 2590336 A1	22-05-1987
				US 4829650 A	16-05-1989
25	-----				
30					
35					
40					
45					
50					
55					

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82

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

- DE 102009043907 A1 [0003]