

(19)



(11)

EP 3 656 948 A1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
27.05.2020 Patentblatt 2020/22

(51) Int Cl.:
E04G 21/12 (2006.01) **E04G 23/02** (2006.01)
C22C 38/00 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **19207498.7**

(22) Anmeldetag: **06.11.2019**

(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

(72) Erfinder:
• **Horn, Sebastian**
72184 Eutingen i.G. (DE)
• **Schätzle, Joachim**
79341 Kenzingen (DE)

(74) Vertreter: **Suchy, Ulrich Johannes**
fischerwerke GmbH & Co. KG
Gewerbliche Schutzrechte
Klaus-Fischer-Strasse 1
72178 Waldachtal (DE)

(30) Priorität: **22.11.2018 DE 102018129385**
22.10.2019 DE 102019128494

(71) Anmelder: **fischerwerke GmbH & Co. KG**
72178 Waldachtal (DE)

(54) **SPANNELEMENT FÜR EIN BAUTEIL UND VERFAHREN ZUR EINLEITUNG EINER DRUCKSPANNUNG IN EIN BAUTEIL**

(57) Zur Verstärkung eines Bauteils (6) schlägt die Erfindung ein Spannelement (1) mit einem Grundkörper (2) aus einer pseudoplastisch gedehnten Formgedächtnislegierung und mit einem Bindemittel (5) zu einem Festkleben des Grundkörpers (2) an dem Bauteil (6) vor. Zu einer Einleitung einer Druckspannung in das Bauteil (6) wird das Spannelement (1) beispielsweise mit Ankern

(9) an dem Bauteil (6) befestigt und auf eine Umwandlungstemperatur der Formgedächtnislegierung erwärmt, wodurch sich der Grundkörper (2) zusammenzieht und die Druckspannung in dem Bauteil (6) erzeugt und das Bindemittel (5) den Grundkörper (2) mit dem Bauteil (6) verklebt.

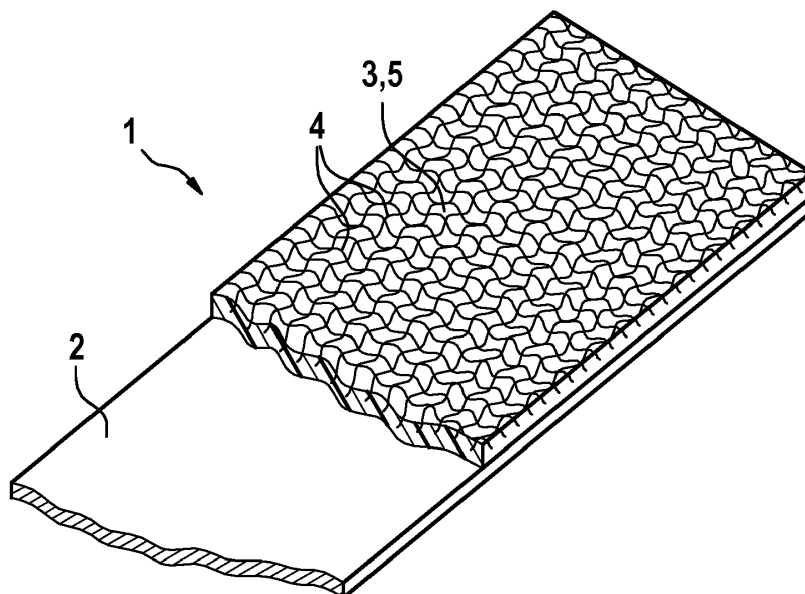


Fig. 1

EP 3 656 948 A1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Spannelement zur Verstärkung eines Bauteils im Bauwesen mit den Merkmalen des Oberbegriffs des Anspruchs 1 und ein Verfahren zur Einleitung einer Druckspannung in ein Bauteil mit den Merkmalen des Oberbegriffs des Anspruchs 9.

[0002] Die internationale Patentanmeldung WO 96/12 588 A1 beschreibt ein Verfahren zu einer Sanierung eines Biegebalkens, bei dem eine Platte aus einer pseudoelastisch gedehnten Formgedächtnislegierung verwendet wird, die auf eine Unterseite beziehungsweise auf eine durch eine Biegebelastung des Biegebalkens konvex gebogene Seite des Biegebalkens geklebt und nach Aushärten des Klebstoffs auf oder über eine Umwandlungstemperatur der Formgedächtnislegierung erwärmt wird. In einem Vormontagezustand, in dem die Platte noch nicht am Bauteil angeordnet ist, ist der Klebstoff noch von der Platte getrennt. Erst zur Montage wird der Klebstoff auf den Biegebalken aufgetragen und die Platte mit dem Biegebalken verklebt. Durch eine Phasenumwandlung der Formgedächtnislegierung zieht sich die an den Biegebalken angeklebte Platte zusammen und verringert dadurch eine Biegung des Biegebalkens. Risse, die eventuell auf der konvex gebogenen Seite des Biegebalkens vorhanden sind, werden dabei verengt oder geschlossen.

[0003] Aufgabe der Erfindung ist, ein Spannelement auf Basis einer Formgedächtnislegierung für ein Bauteil aus beispielsweise Beton und ein Verfahren zur Einleitung einer Druckspannung in das Bauteil mit dem Spannelement vorzuschlagen. Das Spannelement kann beispielsweise bei einer Sanierung zu einer Verstärkung des Bauteils dienen. Durch das Spannelement kann beispielsweise einer Biegung des Bauteils entgegengewirkt oder auch ein Bauteil gebogen oder tordiert, das heißt verdreht, oder das Bauteil nach Art von Spannbeton mit einer Druckspannung vorgespannt werden.

[0004] Diese Aufgaben werden erfindungsgemäß durch ein Spannelement mit den Merkmalen des Anspruchs 1 und durch ein Verfahren gemäß Anspruch 9 gelöst.

[0005] Das erfindungsgemäße Spannelement mit den Merkmalen des Anspruchs 1 weist einen Grundkörper aus einer pseudoplastisch gedehnten Formgedächtnislegierung auf.

[0006] Eine Formgedächtnislegierung ist eine Metalllegierung, die durch eine Phasenumwandlung ihrer Kristallstrukturen zwischen Martensit und Austenit ihre Form ändert. Die Phasenumwandlung und die Formänderung erfolgen beim Erreichen oder Überschreiten einer Umwandlungstemperatur. Zuvor muss die Formgedächtnislegierung pseudoplastisch verformt werden, was typischerweise, aber nicht zwingend, durch eine mechanische Verformung erfolgt, die anschließend durch Erwärmung auf oder über die Umwandlungstemperatur vollständig oder teilweise rückgängig gemacht werden kann. Die Formgedächtnislegierung kann durch das Einbrin-

gen einer gewissen materialspezifischen Wärmemenge in die Formgedächtnislegierung erhitzt werden, so dass sie sich zusammenzieht. Die Wärmemenge kann insbesondere durch Heizelemente, Infrarotstrahler oder durch einen durch die Formgedächtnislegierung führenden Strom, durch ohmschen Widerstand, der im Inneren der Formgedächtnislegierung zu Erwärmung führt, eingebracht werden. Ein induktives Erhitzen ist ebenso möglich. Ab einer für die jeweilige Legierung typischen Temperaturgrenze strebt die Formgedächtnislegierung danach, ihre ursprüngliche ungedehnte Form anzunehmen - sie zieht sich zusammen (Memory-Effekt). Insbesondere wird eine Formgedächtnislegierung aus NiTi, NiTi-Cu, CuZn, CuZnAl CuAlNi, FeNiAl, FeMnSi oder ZnAu-Cu vorgeschlagen. Die Werkstoffzusammensetzung ist beispielhaft und nicht abschließend. Es sind auch Formgedächtnislegierungen mit einem Zweiweg-Effekt bekannt, die sich bei hoher Temperatur umformen und bei niedriger Temperatur vollständig oder teilweise rückumformen. Hier soll unter einer "pseudoplastisch verformten Formgedächtnislegierung" eine Metall- oder sonstige Legierung verstanden werden, die ihre Form ändert, wenn sie auf oder über eine Umwandlungstemperatur erwärmt wird, unabhängig davon, ob das durch eine Änderung ihrer Kristallstrukturen oder in anderer Weise geschieht und auch unabhängig davon, ob die Formgedächtnislegierung zuvor verformt, erwärmt oder gekühlt oder in sonstiger Weise behandelt worden ist.

[0007] Bei der vorliegenden Erfindung ist die pseudoplastische Verformung eine Dehnung, die Formgedächtnislegierung ist pseudoplastisch gedehnt. Durch "pseudoplastisch gedehnt" wird zum Ausdruck gebracht, dass sich der Grundkörper, der aus der Formgedächtnislegierung besteht, zusammenzieht und/oder eine Zugkraft ausübt, wenn er an einem Zusammenziehen gehindert wird, wenn er auf oder über eine Temperatur erwärmt wird, die hier als "Umwandlungstemperatur" bezeichnet wird. Nicht notwendig ist, dass der Grundkörper gedehnt worden ist, sondern dass er sich zusammenzieht beziehungsweise eine Zugkraft ausübt, wenn er auf oder über die als Umwandlungstemperatur bezeichnete Temperatur erwärmt wird.

[0008] Zur Verstärkung des Bauteils wird das Spannelement am Bauteil angeordnet und zumindest der Grundkörper des Spannelements auf oder über eine Umwandlungstemperatur der Formgedächtnislegierung erwärmt. Das zu verstärkende Bauteil kann beispielsweise plattenförmig oder stabförmig sein und/oder aus Beton oder armiertem Beton bestehen. Beispielsweise handelt es sich bei dem Bauteil um eine Brücke, die sich durch eine Belastung stärker als planmäßig vorgesehen durchgebogen hat und an deren Unterseite dadurch Risse entstanden sind.

[0009] Erfindungsgemäß ist bereits in einem Vormontagezustand, in dem das Spannelement noch nicht am Bauteil angeordnet, sondern beispielsweise erst zum Transport auf eine Baustelle bereitgestellt ist, am Grundkörper ein aushärtbares Bindemittel zu einem Verbinden

des Grundkörpers mit dem Bauteil angeordnet.

[0010] Der Grundkörper ist beispielsweise eine Platte beziehungsweise ein Blech aus einer Formgedächtnislegierung, auf der beziehungsweise dem einseitig oder beidseitig flächig oder punktuell eine Schicht aus einem thermisch aushärtbaren Bindemittel zu einem Verbinden des Grundkörpers mit dem Bauteil angeordnet ist. Als "Bindemittel" wird hier ein Werkstoff bezeichnet, der in der Lage ist, sich und die Formgedächtnislegierung nach Art eines Klebstoffs, das heißt durch Stoffschluss, mit dem Bauteil zu verbinden. Dass das Bindemittel bereits im Vormontagezustand am Grundkörper angeordnet ist, bedeutet, dass das Bindemittel bereits am Grundkörper angeordnet ist, bevor der Grundkörper am Bauteil angeordnet wird. Insbesondere ist das Bindemittel im Vormontagezustand nicht aktiviert. "Aktiviert" meint hier, dass das Bindemittel in einem Zustand ist, in dem es den Grundkörper mit einem anderen Körper, beispielsweise dem Bauteil, verkleben kann. Beispielsweise ist ein Bindemittel in der Art eines Schmelzklebers in einem aktivierten Zustand flüssig oder zähflüssig, während das Bindemittel nach dem Erkalten fest ist. In dem festen Zustand ist das Bindemittel aber nicht mehr für ein Verkleben aktiv, sondern muss hierfür durch Erwärmen aktiviert werden. Da das Bindemittel im Vormontagezustand nicht aktiviert ist, ist ein einfaches Handling und Transport des erfindungsgemäßen Spannelements möglich.

[0011] Das Bindemittel ist insbesondere thermisch aktivier- und/oder aushärtbar, das heißt, die Verklebung von Bauteilen mittels des Bindemittels erfolgt durch Einleitung von Wärme in das Spannelement. Als "thermisch aktivier- und/oder aushärtbar" wird das Bindemittel bezeichnet, weil es nicht bei Raumtemperatur, sondern erst bei einer Aushärtetemperatur von mindestens 50°C und vorzugsweise 80°C und bevorzugt mindestens 100°C aktiviert, also insbesondere zähflüssig und verformbar ist, so dass es zwei Körper verbinden kann, beziehungsweise durch einen durch die erhöhte Temperatur ausgelösten chemischen Prozess auszuhärten beginnt. Zum Aushärten muss das Bindemittel also zunächst auf die höhere Temperatur erwärmt werden und härtet bei dieser oder auch einer noch höheren Temperatur und/oder auch erst bei einem anschließenden Abkühlen auf beispielsweise eine Umgebungstemperatur von etwa 20°C aus.

[0012] Eine weitere Forderung an das Bindemittel ist, dass es bis mindestens zu der Umwandlungstemperatur der Formgedächtnislegierung beständig ist, die höher als die zum Aktivieren beziehungsweise zum Aushärten notwendige Temperatur sein kann. Damit ist gemeint, dass das Bindemittel sich beispielsweise nicht zersetzt, wenn es auf die Umwandlungstemperatur der Formgedächtnislegierung erwärmt wird, sondern dass das Bindemittel aktiviert wird oder aushärtet, um den Grundkörper nach Art eines Klebstoffs mit dem Bauteil zu verbinden, wenn es auf die Umwandlungstemperatur und eventuell auch auf eine noch höhere Temperatur erwärmt wird.

[0013] Die Umwandlungstemperatur der Formge-

dächtnislegierung liegt beispielsweise bei über 120°C, 150°C oder mehr, und beträgt insbesondere etwa 200°C.

[0014] Vorzugsweise ist das Bindemittel vor und nach dem Aushärten bei Raumtemperatur fest, womit sein Aggregatzustand gemeint ist, und/oder nicht oder nur schwach klebrig.

[0015] Beispielsweise wird als Bindemittel ein Epoxid- oder Kunstharz verwendet, das sich beim kurzzeitigen Erwärmen auf eine Temperatur von 90°C bis 110°C reversibel in der Art eines Thermoplasts verhält, während es beim Erwärmen auf eine höhere Temperatur von über 110°C in der Art eines Duroplasts irreversibel formstabil vernetzt.

[0016] Das Bindemittel ist im Vormontagezustand vorzugsweise auf mindestens einer Seite des Grundkörpers angeordnet. Vorzugsweise ist der Grundkörper im Vormontagezustand zumindest stellenweise mit dem Bindemittel beschichtet, das Bindemittel liegt also direkt am Grundkörper an. Das Bindemittel kann flächig, insbesondere auf einem Großteil der mindestens einen Seite, oder nur punktuell beziehungsweise stellenweise, auch an mehreren Stellen, die verbunden oder voneinander beabstandet sein können, angeordnet sein. Insbesondere hüllt das Bindemittel den Grundkörper ein, insbesondere vollständig, also von allen Seiten, so dass das Bindemittel den Grundkörper im Wesentlichen flächig umschließt, so dass beispielsweise Feuchtigkeit von außen nicht oder nur an lokal begrenzten Durchbrüchen oder Bohrungen, wie sie beispielsweise für optionale Befestigungselemente, wie beispielsweise Anker zur Endbefestigung, vorgesehen sein können, zum Grundkörper gelangen kann. Das Bindemittel bildet in diesem Fall eine Beschichtung. Die Beschichtung kann insbesondere zusätzlich als Korrosionsschutz für den Grundkörper wirken.

[0017] Bei einer bevorzugten Ausgestaltungsform des erfindungsgemäßen Spannelements erfolgt die Beschichtung des Grundkörpers, also das Aufbringen des Bindemittels für den Vormontagezustand, durch thermische Erwärmung des Bindemittels auf eine Temperatur unterhalb der Umwandlungstemperatur der Formgedächtnislegierung des Grundkörpers. Durch die Erwärmung wird das Bindemittel weich, zähflüssig oder flüssig, derart, dass sich das Bindemittel am Grundkörper als Beschichtung dauerhaft anordnen und in eine gewünschte Form bringen lässt. Die hierfür notwendige Temperatur wird nachfolgend auch "Verformungstemperatur" genannt. Die Erwärmung zur Beschichtung erfolgt insbesondere bis zu einer Verformungstemperatur von 70°C bis 110°C. Insbesondere handelt es sich bei dem Bindemittel um ein thermoplastisches Material, das beispielsweise bei einer Verformungstemperatur von 80°C bis 90°C als Thermoplast verformbar ist und auch nach einem Abkühlen seine thermoplastische Struktur beibehält.

[0018] Bevorzugt ist zudem, dass das Bindemittel im Bereich der Umwandlungstemperatur der Formgedächtnislegierung aushärtet, also eine Aushärtetemperatur

aufweist, die im Bereich der Umwandlungstemperatur oder darunter liegt. Das Aushärten erfolgt insbesondere irreversibel. Beispielsweise kann das Bindemittel sich unterhalb der Aushärtetemperatur thermoplastisch verhalten, nach dem Erreichen der Aushärtetemperatur, die höher ist, also die zur Beschichtung notwendige Temperatur, durch Vernetzung aushärtet, wodurch eine Art Duroplast entsteht.

[0019] Das Bindemittel kann allein und direkt auf den Grundkörper aufgebracht werden. Bei einer weiteren bevorzugten Ausgestaltungsform des erfindungsgemäßen Spannelements ist das Spannelement als Verbundwerkstoff ausgebildet, insbesondere als Schichtverbundwerkstoff. Als "Verbundwerkstoff" wird hier ein Werkstoff bezeichnet, der aus zwei oder mehr miteinander verbundenen Materialien besteht. Sind die Materialien lageweise geschichtet, so bilden sie einen Schichtverbundwerkstoff. Beispielsweise weist das erfindungsgemäße Spannelement eine Platte aus einer Formgedächtnislegierung beziehungsweise ein Blech aus einer Formgedächtnislegierung auf, auf der beziehungsweise dem einseitig oder beidseitig eine Schicht aus dem Bindemittel angeordnet ist. Grundkörper und Bindemittel bilden somit einen Schichtverbundwerkstoff. Auch die Kombination des Bindemittels mit einem Trägermaterial auf der Platte oder dem Blech als Grundkörper ist möglich. Als Trägermaterial dient beispielsweise ein Faserwerkstoff. Der Faserwerkstoff kann unidirektionalen, bidirektionalen oder in anderer Weise regelmäßig angeordnete oder ungeordnete Fasern, ein Gewebe, Gewirke, Gestrick, Vlies, Filz oder andere flächenförmige textilen Gebilde aufweisen.

[0020] Eine Ausgestaltung der Erfindung weist ein Prepreg mit Bindemittel auf. Ein "Prepreg" ist ein vorgefertigtes, in der Regel plattenförmiges Element mit einem aushärtbaren Kunstharz, insbesondere Epoxidharz, in das Fasern aus beispielsweise Glas, Stein, Kohlenstoff, Kunststoff als Einzelfasern oder in Form eines flächenförmigen textilen Gebildes eingelagert sind. Beispielsweise ist ein Prepreg auf einer Seite des Grundkörpers oder es sind auf jeder Seite des Grundkörpers Prepregs angeordnet. Es können auch Einzelfasern oder ein flächenförmiges textiles Gebilde aus Fasern aus der Formgedächtnislegierung auf einem oder zwischen zwei Prepregs angeordnet sein.

[0021] Der Grundkörper des Spannelements ist vorzugsweise stabförmig, beispielsweise als Rundstab, oder flächenförmig, beispielsweise als Blechstreifen, ausgeführt.

[0022] Das erfindungsgemäße Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 9 ist dafür vorgesehen, eine Druckspannung in ein Bauteil einzuleiten. Das Bauteil besteht beispielsweise aus Beton, auch aus armiertem Beton und/oder ist plattenförmig oder stabförmig. Das Verfahren kann zur Sanierung oder von vornherein beispielsweise in einem Neuzustand angewandt werden.

[0023] Erfindungsgemäß wird ein Spannelement in einer der vorstehend erläuterten Ausführungen mit dem Bauteil verbunden, und zwar zunächst nicht mittels des

Bindemittels des Spannelements. Zum Verbinden kann der Grundkörper des Spannelements mit dem Bauelement verklebt und/oder mechanisch beispielsweise mit Ankern oder durch Klemmen am Bauteil befestigt werden. Andere Befestigungen sind möglich. Die Verbindung erfolgt an voneinander beabstandeten Befestigungsstellen oder Befestigungsflächen oder auch vollflächig auf einer gesamten Fläche des Grundkörpers. Insbesondere wird das Spannelement an seinen Enden und gegebenenfalls zusätzlich zwischen seinen Enden mit dem Bauteil verbunden. Insbesondere werden in das Bauteil eindringende Anker als Endbefestigung, also an den Enden des Grundkörpers, angeordnet. Die Befestigungsstellen oder Befestigungsflächen sind in einer pseudoplastischen Dehnungsrichtung der Formgedächtnislegierung des Spannelements voneinander beabstandet, also in der Richtung, in der der Grundkörper pseudoelastisch gedehnt wurde, so dass durch Erwärmen der Formgedächtnislegierung auf oder über die Umwandlungstemperatur die Formgedächtnislegierung eine Zugkraft im Sinne einer Verkleinerung eines Abstands der Befestigungsstellen oder Befestigungsflächen auf das Bauteil ausübt. Die von der Formgedächtnislegierung ausgeübte Zugkraft bewirkt eine mechanische Druckspannung in dem Bauteil. Die Formgedächtnislegierung des erfindungsgemäßen Spannelements kann eindimensional oder zweidimensional pseudoplastisch gedehnt sein und zieht sich dementsprechend eindimensional oder zweidimensional zusammen, wenn sie auf oder über die Umwandlungstemperatur erwärmt wird. Dadurch kann eine eindimensionale Druckspannung oder es können zweidimensionale Druckspannungen in das Bauteil eingeleitet werden. Vorzugsweise ist die Formgedächtnislegierung des Grundkörpers eindimensional pseudoplastisch gedehnt.

[0024] Beispielsweise wird das erfindungsgemäße Spannelement an einer Zugzone des Bauteils befestigt. Die Zugzone ist ein Bereich, in dem durch eine Belastung beziehungsweise eine mechanische Beanspruchung des Bauteils eine Zugspannung im Bauteil herrscht. Bei einem auf Biegung beanspruchten Bauteil ist die Zugzone auf der Seite, die sich durch die Biegebeanspruchung dehnt und konvex wölbt. Bei einem horizontal angeordneten Bauteil, das durch sein Eigengewicht und eventuell Fremdgewicht vertikal belastet wird, befindet sich die Zugzone unten und das erfindungsgemäße Spannelement wird an der Unterseite befestigt. Bei einem eindimensional auf Zug beanspruchten Bauteil können erfindungsgemäße Spannelemente auf gegenüberliegenden Seiten, mehreren Seiten oder allseitig am Bauteil befestigt werden.

[0025] Nach der Verbindung des Spannelements mit dem Bauteil wird das Spannelement auf oder über die Umwandlungstemperatur der Formgedächtnislegierung des Grundkörpers erwärmt, so dass sich der Grundkörper zusammenzieht und die mechanische Druckspannung in das Bauteil einleitet.

[0026] Durch die Erwärmung auf oder über die Um-

wandlungstemperatur wird das Bindemittel des Spannelements ausgehärtet, wobei die Aushärtung auch erst während eines Abkühlens des Bindemittels auf Umgebungstemperatur erfolgen kann. Durch das Aushärten verbindet das Bindemittel des Spannelements den Grundkörper des Spannelements mit dem Bauteil. Die Verbindung oder Verbindungen des Spannelements mit dem Bauteil, die vor dem Erwärmen auf oder über die Umwandlungstemperatur hergestellt worden ist oder sind, können nach dem Aushärten des Bindemittels bestehen bleiben oder entfernt werden.

[0027] Zum Verbinden des erfindungsgemäßen Spannelements mit dem Bauteil vor dem Erwärmen auf oder über die Umwandlungstemperatur der Formgedächtnislegierung sieht eine Ausgestaltung der Erfindung vor, das Spannelement an dem Bauteil anzuordnen und auf eine Aushärtetemperatur seines Bindemittels zu erwärmen, die niedriger als die Umwandlungstemperatur der Formgedächtnislegierung ist. Dadurch härtet das Bindemittel aus und verbindet den Grundkörper, der aus der Formgedächtnislegierung besteht, mit dem Bauteil. Das Spannelement kann insgesamt auf die Aushärtetemperatur erwärmt und dadurch vollflächig mit dem Bauteil verbunden werden. Das Spannelement kann auch in begrenzten Teilen auf die Aushärtetemperatur erwärmt und dadurch an voneinander beabstandeten Befestigungsflächen, die den erwärmten Teilen entsprechen, mit dem Bauteil verbunden werden. Nach dem Aushärten des Bindemittels und dem dadurch bewirkten Verbinden des Grundkörpers mit dem Bauteil wird das Spannelement auf die Umwandlungstemperatur der Formgedächtnislegierung erwärmt, so dass sich der Grundkörper durch die Phasenumwandlung zusammenzieht und/oder eine Zugspannung auf das Bauteil ausübt, die die Druckspannung in dem Bauteil bewirkt. Zwischen dem Erwärmen auf die Aushärtetemperatur des Bindemittels und dem Erwärmen auf die Umwandlungstemperatur der Formgedächtnislegierung kann das Spannelement abkühlen oder es wird nach einem Halten auf der Aushärtetemperatur oder ohne Halten auf der Aushärtetemperatur weiter auf die Umwandlungstemperatur erwärmt. Voraussetzung für dieses Verfahren ist, dass das Bindemittel nach dem Aushärten beim Erwärmen auf die Umwandlungstemperatur der Formgedächtnislegierung eine ausreichende Festigkeit beibehält, damit die Verbindung mit dem Bauteil der Zugkraft des Grundkörpers Stand hält. Bevorzugt ist daher, dass das Bindemittel irreversibel aushärtet, wie dies bereits oben beschrieben wurde. Wenn das nicht der Fall ist, muss das Spannelement unabhängig von seinem Bindemittel mit dem Bauteil verbunden werden, wie es oben beschrieben ist.

[0028] Eine Ausgestaltung der Erfindung sieht vor, eine Verstärkung und/oder einen Korrosionsschutz auf einer dem Bauteil abgewandten Seite des Grundkörpers des Spannelements aufzubringen. Die Verstärkung kann beispielsweise eine Fasereinlage eines Prepregs sein, das auf der dem Bauteil abgewandten Seite des Formgedächtniswerkstoffs angeordnet ist und das von vorn-

herein Teil des Verbundwerkstoffs des erfindungsgemäßen Spannelements ist oder das nachträglich aufgebracht wird. Das Bindemittel des erfindungsgemäßen Spannelements kann zugleich auch den Korrosionsschutz bilden.

[0029] Eine Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens sieht vor, das Spannelement mit einer Zugspannung mit dem Bauelement zu verbinden, so dass das Spannelement bereits ohne das Zusammenziehen seines Grundkörpers eine Druckspannung in das Bauteil einleitet. Durch das Zusammenziehen des Grundkörpers beim Erwärmen auf oder über die Umwandlungstemperatur werden die Zugspannung des Spannelements und die in das Bauteil eingeleitete Druckspannung erhöht.

[0030] Die vorstehend in der Beschreibung genannten Merkmale und Merkmalskombinationen, Ausführungen und Ausgestaltungen der Erfindung, sowie die nachfolgend in der Figurenbeschreibung genannten und/oder in einer Figur gezeichneten Merkmale und Merkmalskombinationen sind nicht nur in der jeweils angegebenen oder gezeichneten Kombination, sondern auch in grundsätzlich beliebigen anderen Kombinationen oder aber einzeln verwendbar. Es sind Ausführungen der Erfindung möglich, die nicht alle Merkmale eines abhängigen Anspruchs aufweisen. Auch können einzelne Merkmale eines Anspruchs durch andere offenbarte Merkmale oder Merkmalskombinationen ersetzt werden. Ausführungen der Erfindung, die nicht alle Merkmale des Ausführungsbeispiels aufweisen, sind möglich.

[0031] Die Erfindung wird nachfolgend anhand eines in der Zeichnung dargestellten Ausführungsbeispiels näher erläutert. Es zeigen:

Figur 1 ein Spannelement gemäß der Erfindung; und

Figur 2 einen Unterzug mit einem Spannelement gemäß der Erfindung.

[0032] Das in Figur 1 dargestellte, erfindungsgemäße Spannelement 1 dient zum Einbringen einer mechanischen Zugspannung in ein Bauteil 6 aus beispielsweise Beton. Das Spannelement 1 ist streifen- oder plattenförmig oder anders ausgedrückt ein zweidimensionales oder flächenförmiges Teil. Das Spannelement 1 ist als Verbundwerkstoff ausgebildet, genauer als Schichtverbundwerkstoff mit im Ausführungsbeispiel zwei Schichten, nämlich einem Blech als Grundkörper 2 aus einer pseudoplastisch gedehnten Formgedächtnislegierung und einem stoffschlüssig, nämlich durch Kleben auf einer Seite des Grundkörpers 2 angebrachten Prepreg 3 mit Bindemittel 5. Möglich sind auch mehr als zwei Schichten (nicht dargestellt). Alternativ kann statt des Prepregs 3 nur ein Bindemittel 5 am Grundkörper 2 angeordnet werden. Bei dem Bindemittel 5 handelt es sich um ein Epoxidharz, nachfolgend auch als Kunstharz bezeichnet, das als Teil des Prepregs 3 oder alternativ auch direkt auf den Grundkörper 2 als Beschichtung aufgebracht sein kann. Hierzu wird das Bindemittel 5 kurzfristig auf

eine Verformungstemperatur von 90°C bis 110°C erwärmt, wodurch das Bindemittel 5, und somit das Prepreg 3, verformbar wird und mit dem Grundkörper 2 flächig verklebt werden kann.

[0033] Der Grundkörper 2 besteht aus einer Formgedächtnislegierung. Formgedächtnislegierungen sind Metalllegierungen, die bei Erreichen oder Überschreiten einer Umwandlungstemperatur durch eine Phasenumwandlung ihrer Kristallstrukturen ihre Form ändern. Dazu müssen die Formgedächtnislegierungen zuvor pseudoplastisch verformt werden. Im Ausführungsbeispiel ist die Formgedächtnislegierung pseudoplastisch gedehnt worden, so dass sie sich zusammenzieht und/oder, wenn sie am Zusammenziehen gehindert wird, eine Zugspannung ausübt, wenn sie auf oder über die Umwandlungstemperatur erwärmt wird.

[0034] Das Prepreg 3 ist ein streifen- oder plattenförmiges Element mit Kunstharz als Bindemittel 5, in dem Glas-, Kohlenstoff- oder sonstige Fasern 4 eingelagert sind. Das Prepreg 3 ist somit ein Faserverbundwerkstoff, der eine Schicht des Spannelements 1 bildet, das, wie erwähnt, ein Schichtverbundwerkstoff ist. Im Ausführungsbeispiel bilden die Fasern 4 ein Gewebe, es sind aber auch sonstige flächenförmige, textile Gebilde wie Gewirke, Gestricke, Vliese, Filze oder Einzelfasern möglich, die beispielsweise unidirektional, bidirektional oder ungeordnet angeordnet sein können.

[0035] Das Kunstharz des Prepregs 3 ist mit dem Grundkörper 2 aus der pseudoplastisch gedehnten Formgedächtnislegierung verklebt und kann durch Erwärmen auf eine Aushärtetemperatur ausgehärtet und dadurch verklebt werden. Das Kunstharz des Prepregs 3 ist das Bindemittel 5 des erfindungsgemäßen Spannelements 1 zu einem stoffschlüssigen Verbinden des Grundkörpers 2 mit einem anderen Bauteil durch Verkleben. Das das Bindemittel 5 bildende Kunstharz härtet bei Erreichen oder Überschreiten der Aushärtetemperatur irreversibel durch Vernetzung in der Art eines Duroplasts aus. Das Kunstharz ist temperaturbeständig bis mindestens zur Umwandlungstemperatur der Formgedächtnislegierung des Grundkörpers 2 und vorzugsweise bis zu einer höheren Temperatur, so dass es sich nicht zersetzt, wenn es zusammen mit dem Grundkörper 2 auf oder über die Umwandlungstemperatur der Formgedächtnislegierung erwärmt wird, sondern beim Erwärmen auf die Umwandlungstemperatur oder auch schon bei einer niedrigeren Aushärtetemperatur oder bei einem anschließenden Abkühlen auf beispielsweise die Umgebungstemperatur aushärtet und den Grundkörper 2 durch Verkleben stoffschlüssig mit einem anderen Bauteil verbindet.

[0036] Wie erwähnt, dient das erfindungsgemäße Spannelement 1 zur Einleitung einer mechanischen Druckspannung in ein Bauteil 6. Als Ausführungsbeispiel zeigt Figur 2 eine Platte 7, mit einem Unterzug 8, die im Ausführungsbeispiel aus stahlarmiertem Beton bestehen und die beispielsweise eine Brücke sein kann. Das Bauteil 6 hat sich durch sein Eigengewicht und Belastung

durch beispielsweise nicht dargestellte Fahrzeuge nach unten gebogen, wobei die Biegung übertrieben gezeichnet ist.

[0037] Erfindungsgemäß wird das Spannelement 1 an einer Unterseite des Bauteils 6 befestigt, im Ausführungsbeispiel unten am Unterzug 8, wobei eine Dehnungs- und Zugrichtung des Spannelements 1 in Längsrichtung des Bauteils 6 verläuft. An der Unterseite ist der Unterzug 8 durch die Biegung konvex nach unten gewölbt und wird dadurch unten auf Zug beansprucht. Die Unterseite beziehungsweise ein sich an die Unterseite anschließender Bereich bildet eine sogenannte Zugzone, in der eine mechanische Zugspannung herrscht.

[0038] Im Ausführungsbeispiel wird das Spannelement 1 mechanisch mit Ankern 9, die durch das Spannelement 1 hindurch im Unterzug 8 verankert sind, mit dem Unterzug 8 und damit zugleich auch mit dem Bauteil 6 verbunden. Ankerköpfen der Anker 9 sind Blechstreifen 10 quer zum Spannelement 1 untergelegt, um eine Klemmkraft auf eine größere Fläche zu verteilen. Das Spannelement 1 ist an Befestigungsstellen 11 an beziehungsweise nahe an seinen beiden Enden und im Ausführungsbeispiel zusätzlich an mehreren weiteren Befestigungsstellen 11 zwischen seinen beiden Enden mit dem Unterzug 8 verbunden. Die Befestigungsstellen 11 sind in Längsrichtung des Spannelements 1 und damit in der Richtung seiner pseudoplastischen Dehnung und seiner Zugrichtung voneinander beabstandet. Es können auch die Befestigungsstellen 11 nur an den beiden Enden des Spannelements 1 vorgesehen sein.

[0039] Nach der Verbindung des Spannelements 1 an den Befestigungsstellen 11 mit dem Unterzug 8 beziehungsweise dem Bauteil 6 wird das Spannelement 1 auf die Umwandlungstemperatur der Formgedächtnislegierung oder höher erwärmt, wodurch sich der Grundkörper 2 zusammenzieht und eine Druckspannung in der Zugzone des Unterzugs 8 erzeugt, wodurch der Biegung des Bauteils 6 entgegengewirkt und die Biegung verringert oder sogar vollständig rückgängig gemacht wird. Außerdem härtet das Kunstharz des Prepregs 3 aus, das das Bindemittel 5 des Spannelements 1 bildet und den Grundkörper 2 mit dem Unterzug 8 und damit mit dem Bauteil 6 verbindet. Grundsätzlich können danach die Blechstreifen 10 und die Anker 9, also die mechanischen Verbindungen des Spannelements 1, mit dem Unterzug 8 entfernt werden, wenngleich das nicht vorgesehen ist.

[0040] Das Spannelement 1 kann auch mit einer Zugspannung mit dem Bauteil 6 beziehungsweise dem Unterzug 8 verbunden werden, wobei die Zugspannung sich erhöht, wenn das Spannelement 1 beziehungsweise der Grundkörper 2 auf oder über die Umwandlungstemperatur der Formgedächtnislegierung erwärmt wird. Die in das Bauteil 6 beziehungsweise den Unterzug 8 eingeleitete Druckspannung vergrößert sich entsprechend.

[0041] Die Umwandlungstemperatur der Formgedächtnislegierung des Grundkörpers 2 des Spannelements 1 beträgt im Ausführungsbeispiel etwa 200°C und das Spannelement 1 wird auf etwa 200 bis 220°C er-

wärmt. Die Aushärtetemperatur des Bindemittels 5 des Prepregs 3 liegt im Ausführungsbeispiel zwischen 120°C und 180°C und das Kunstharz kann zum Aushärten noch stärker erwärmt werden, ohne sich zu zersetzen oder sonst Schaden zu nehmen.

[0042] Zu einer mechanischen Verstärkung und/oder zu einem Korrosionsschutz kann das Prepreg 3 dienen, zudem kann eine weitere Schicht auf dem Spannelement 1 angebracht werden, beispielsweise ein weiteres Prepreg (nicht dargestellt). Eine Korrosionsschutzschicht und/oder Verstärkung, insbesondere ein zweites Prepreg, kann auch von vornherein auf der anderen Seite des Grundkörpers 2 aus der pseudoelastisch gedehnten Formgedächtnislegierung angebracht sein, so dass sich der Grundkörper 2 zwischen zwei Prepregs 3 befindet, die sich insbesondere an den Rändern berühren und beim Erwärmen verbinden (nicht dargestellt).

[0043] Zur Einleitung einer Druckspannung können auch zwei oder mehr erfindungsgemäße Spannelemente 1 auf gegenüberliegenden, mehreren oder allen Seiten eines geraden Bauteils befestigt und es kann, durch Erwärmen auf die Umwandlungstemperatur, die Druckspannung in dem Bauteil erzeugt werden (nicht dargestellt). Das ist mit Spannbeton vergleichbar.

[0044] Zum Verbinden mit dem Unterzug 8 beziehungsweise allgemein dem Bauteil 6 kann das Spannelement 1 auch an den Befestigungsstellen 11, die in diesem Fall treffender als "Befestigungsflächen" bezeichnet werden, auf die Aushärtetemperatur seines Bindemittels 5 erwärmt werden, wodurch das Spannelement 1 an den Befestigungsstellen 11 mit dem Unterzug 8 beziehungsweise dem Bauteil 6 verbunden wird. Anschließend wird das Spannelement 1 zwischen den Befestigungsstellen 11 auf oder über die Umwandlungstemperatur seiner Formgedächtnislegierung erwärmt, so dass der Grundkörper 2 sich zusammenzieht und die Druckspannung in dem Bauteil 6 beziehungsweise dem Unterzug 8 erzeugt.

[0045] Eine weitere Möglichkeit ist, das Spannelement 1 zunächst auf die Aushärtetemperatur seines Bindemittels 5 zu erwärmen, beispielsweise auf 150°C, um es mit dem Bauteil 6 beziehungsweise dem Unterzug 8 zu verbinden, und anschließend auf die Umwandlungstemperatur von circa 200°C zu erwärmen, so dass der Grundkörper 2 sich zusammenzieht und die Druckspannung in dem Bauteil 6 beziehungsweise dem Unterzug 8 erzeugt. Voraussetzung dafür ist, dass das Bindemittel 5 irreversibel aushärtet und eine ausreichende Festigkeit bei der Erwärmung auf die Umwandlungstemperatur behält, um der Zugkraft, die das Spannelement 1 erzeugt, standzuhalten, so dass die Verbindung des Spannelements 1 mit dem Bauteil 6 beziehungsweise dem Unterzug 8 bestehen bleibt und nicht zerstört wird.

[0046] Zum Aushärten des Bindemittels 5 kann das Spannelement 1 nach dem Erwärmen auf die Aushärtetemperatur abgekühlt und danach auf die Umwandlungstemperatur erwärmt werden.

Bezugszeichenliste

[0047]

- | | | |
|----|----|--------------------|
| 5 | 1 | Spannelement |
| | 2 | Grundkörper |
| | 3 | Prepreg |
| | 4 | Faser |
| | 5 | Bindemittel |
| 10 | 6 | Bauteil |
| | 7 | Platte |
| | 8 | Unterzug |
| | 9 | Anker |
| | 10 | Blechstreifen |
| 15 | 11 | Befestigungsstelle |

Patentansprüche

- | | | |
|----|----|---|
| 20 | 1. | Spannelement (1) zur Verstärkung eines Bauteils (6) im Bauwesen, wobei das Spannelement (1) einen Grundkörper (2) aus einer pseudoplastisch gedehnten Formgedächtnislegierung aufweist, wobei der Grundkörper (2) zur Verstärkung des Bauteils (6) auf oder über eine Umwandlungstemperatur der Formgedächtnislegierung erwärmt wird, dadurch gekennzeichnet, dass in einem Vormontagezustand, in dem das Spannelement (1) noch nicht am Bauteil (6) angeordnet ist, am Grundkörper (2) ein aushärtbares Bindemittel (5) zu einem Verbinden des Grundkörpers (2) mit dem Bauteil (6) angeordnet ist. |
| 25 | 2. | Spannelement nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Bindemittel (5) im Vormontagezustand auf mindestens einer Seite des Grundkörpers (2) angeordnet ist oder den Formgedächtniswerkstoff einhüllt. |
| 30 | 3. | Spannelement nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass der Grundkörper (2) im Vormontagezustand zumindest stellenweise mit dem Bindemittel (5) beschichtet ist, das eine Beschichtung bildet. |
| 35 | 4. | Spannelement nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Beschichtung durch thermische Erwärmung des Bindemittels (5) auf eine Temperatur unterhalb der Umwandlungstemperatur erfolgt. |
| 40 | 5. | Spannelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Bindemittel (5) im Bereich der Umwandlungstemperatur der Formgedächtnislegierung aushärtet, insbesondere irreversibel aushärtet. |
| 45 | 6. | Spannelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Spannelement (1) als Verbundwerkstoff, insbeson- |
| 50 | | |
| 55 | | |

dere als Schichtverbundwerkstoff ausgebildet ist.

7. Spannelement nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Spannelement (1) ein Prepreg (3) mit Bindemittel (5) aufweist. 5
8. Spannelement nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Grundkörper (2) des Spannelements (1) stabförmig oder flächenförmig ist. 10
9. Verfahren zur Einleitung einer Druckspannung in ein Bauteil (6), wobei ein Spannelement (1) nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche in einem Vormontagezustand an in einer Dehnungsrichtung des Grundkörpers (2) von einander beabstandeten Befestigungsstellen (11) mit dem Bauteil (6) verbunden und danach das Spannelement (1) auf oder über die Umwandlungstemperatur der Formgedächtnislegierung erwärmt wird, so dass sich der Grundkörper (2) zusammenzieht und die Druckspannung in das Bauteil (6) einleitet, **dadurch gekennzeichnet, dass** durch die Erwärmung des Spannelements (1) auf oder über die Umwandlungstemperatur der Formgedächtnislegierung des Grundkörpers (2) das Bindemittel (5) des Spannelements (1) ausgehärtet wird und den Grundkörper (2) des Spannelements (1) stoffschlüssig mit dem Bauteil (6) verbindet. 15
20
25
30
10. Verfahren nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Spannelement (1) auf eine Aushärtetemperatur des Bindemittels (5), die niedriger ist als die Umwandlungstemperatur der Formgedächtnislegierung des Grundkörpers (2), erwärmt und nach einem Aushärten des Bindemittels (5) und dem dadurch bewirkten Verbinden des Grundkörpers (2) mit dem Bauteil (6) das Spannelement (1) auf oder über die Umwandlungstemperatur der Formgedächtnislegierung des Grundkörpers (2) erwärmt wird. 35
40
11. Verfahren nach Anspruch 9 oder 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** auf einer dem Bauteil (6) abgewandten Seite des Grundkörpers (2) des Spannelements (1) eine Verstärkung und/oder ein Korrosionsschutz aufgebracht wird. 45
12. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 9 bis 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Spannelement (1) mit einer Zugspannung mit dem Bauteil (6) verbunden wird, so dass das Spannelement (1) eine Druckspannung ohne das Zusammenziehen des Grundkörpers (2) in das Bauteil (6) einleitet, die sich durch das Zusammenziehen des Grundkörpers (2) erhöht. 50
55

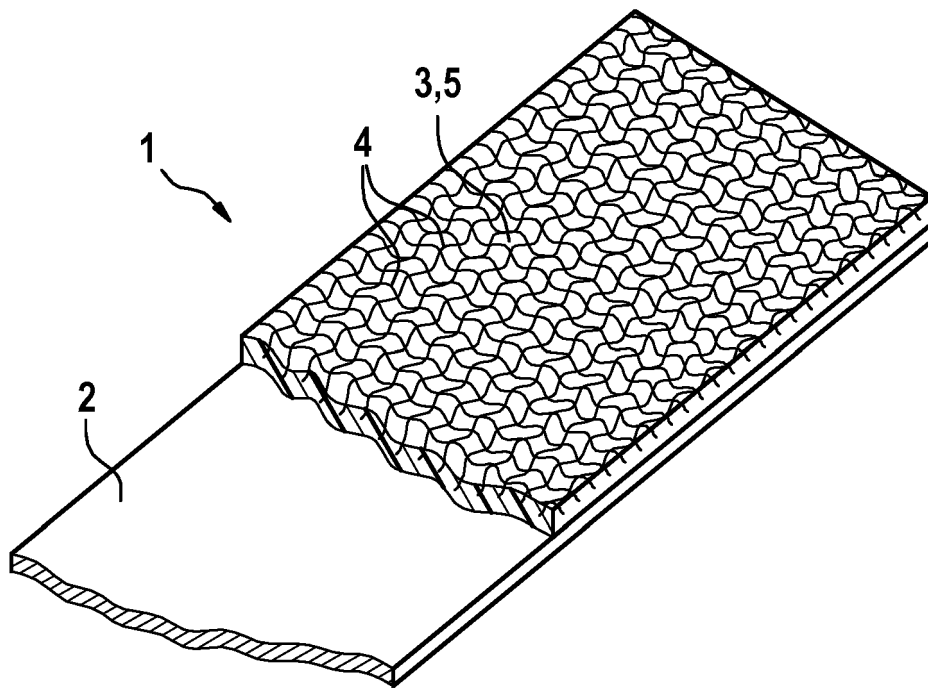


Fig. 1

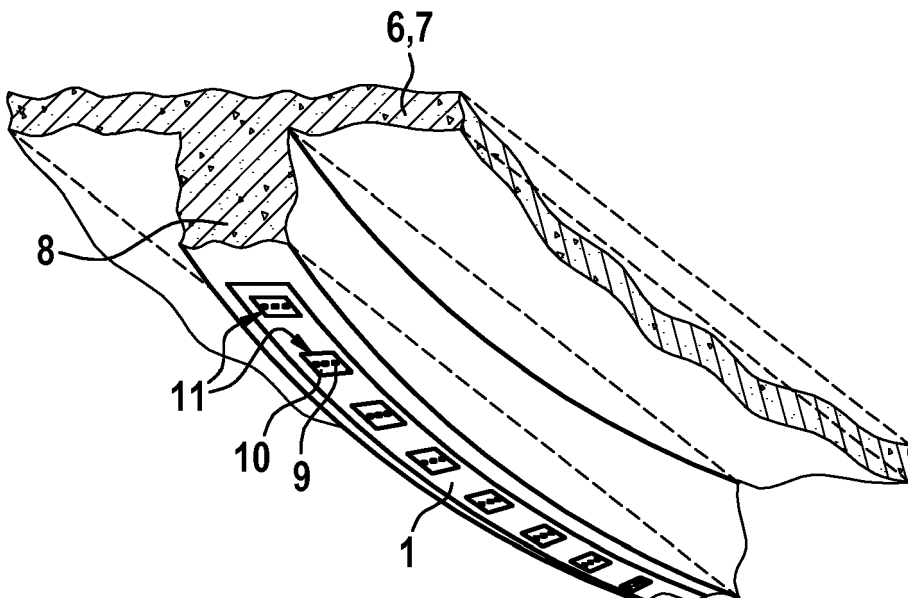


Fig. 2



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

 Nummer der Anmeldung
EP 19 20 7498

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

1

EPO FORM 1503 03.92 (P04C03)

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	WO 2016/130326 A1 (UNIV HOUSTON SYSTEM [US]) 18. August 2016 (2016-08-18)	1-8	INV. E04G21/12 E04G23/02 C22C38/00
A	* Abbildung 10 * * Absatz [0003] * * Ansprüche 1, 3, 12-14 *	9-12	

X	WO 2016/096737 A1 (RE FER AG [CH] ET AL.) 23. Juni 2016 (2016-06-23)	1-6,8	
A	* Abbildung 1 * * Ansprüche 1, 10 *	7,9-12	

A	US 2011/265936 A1 (HOOD PATRICK J [US]) 3. November 2011 (2011-11-03)	1-12	
	* Abbildungen 1-3 *		

Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
			E04G C22C E04H E04B
Recherchenort		Abschlußdatum der Recherche	
Den Haag		7. April 2020	
		Prüfer	
		Tryfonas, N	
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			

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

EP 19 20 7498

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.

07-04-2020

10	Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
	WO 2016130326	A1	18-08-2016	US	2018023297 A1	25-01-2018
				US	2019330849 A1	31-10-2019
				WO	2016130326 A1	18-08-2016
15	-----					
	WO 2016096737	A1	23-06-2016	CA	2971244 A1	23-06-2016
				CH	710538 A2	30-06-2016
				CN	107407100 A	28-11-2017
				EP	3234277 A1	25-10-2017
20				KR	20170125321 A	14-11-2017
				US	2017314277 A1	02-11-2017
				WO	2016096737 A1	23-06-2016

	US 2011265936	A1	03-11-2011	KEINE		
25	-----					
30						
35						
40						
45						
50						
55						

EPO FORM P0461

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

- WO 9612588 A1 [0002]