



(10) **DE 10 2017 105 343 A1** 2018.09.20

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2017 105 343.3**
(22) Anmeldetag: **14.03.2017**
(43) Offenlegungstag: **20.09.2018**

(51) Int Cl.: **B29C 70/46** (2006.01)
B29C 70/00 (2006.01)
B29C 70/42 (2006.01)
B29C 70/44 (2006.01)

(71) Anmelder:
**Dieffenbacher GmbH Maschinen- und
Anlagenbau, 75031 Eppingen, DE**

(72) Erfinder:
Erfinder wird später genannt werden

(56) Ermittelte Stand der Technik:

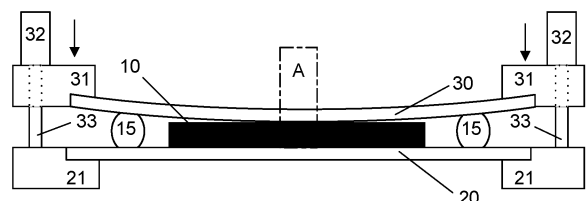
DE	10 2008 056 307	A1
DE	10 2009 060 526	A1
DE	10 2014 004 053	A1
DE	10 2015 014 512	A1
DE	20 2015 104 700	U1
EP	3 118 604	A1
WO	2005/ 095 091	A1

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Verfahren und Vorrichtung zum Konsolidieren von Faserverbundstrukturen**

(57) Zusammenfassung: Es wird ein Verfahren zum Konsolidieren einer Faserverbundstruktur (10, 10') mit zumindest einem thermoplastischen und/oder thermoelastischen Polymer angegeben, umfassend Anordnen der Faserverbundstruktur (10, 10') zwischen einer plattenförmigen Unterlage (20) und einer plattenförmigen Abdeckung (30, 30'), wobei die Abdeckung (30, 30') durch ein Dichtelement (15) in Bezug auf die Unterlage (20) verlagerbar gegen die Unterlage (20) abgedichtet wird, Erzeugen eines Unterdrucks in dem Zwischenraum zwischen der Unterlage (20) und der Abdeckung (30, 30'), so dass der Umgebungsdruck die Abdeckung (30, 30') gegen die Unterlage (20) drückt und die Faserverbundstruktur (10, 10') zwischen der Abdeckung (30, 30') und der Unterlage (20) verpresst wird und Erwärmen der Faserverbundstruktur (10, 10') mittels elektromagnetischer Strahlung vorzugsweise zumindest bis in den Bereich der Schmelztemperatur des zumindest einen thermoplastischen und/oder thermoelastischen Polymers. Das Verfahren umfasst weiter die Schritte: Herbeiführen einer Biegung der Abdeckung (30, 30'), so dass die Abdeckung (30, 30'), gegebenenfalls unter zusätzlicher Absenkung der Abdeckung (30, 30'), die Oberfläche der Faserverbundstruktur (10, 10') in einem Teilabschnitt (A) berührt; und weiteres Biegen und/oder Absenken der Abdeckung (30, 30'), bis die Abdeckung (30, 30') die gesamte Oberfläche der Faserverbundstruktur (10, 10') berührt und die Faserverbundstruktur (10, 10') zwischen der Abdeckung (30, ...



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Konsolidieren von Faserverbundstrukturen nach Anspruch 1 und eine Vorrichtung zum Konsolidieren von Faserverbundstrukturen nach Anspruch 12 für beispielsweise Automobilbauteile.

[0002] Die Anwendungen für Faserverbundwerkstoffe sind über die vergangenen Jahrzehnte immer weiter gestiegen, insbesondere wenn sie als preiswerte Alternative zu den metallischen Werkstoffen gesehen werden konnten, mit den Vorteilen der Gestaltungsfreiheit und anwendungsspezifischer Formulierungsmöglichkeiten. Speziell der Werkstoff CFK (Carbon-faserverstärkter Kunststoff) hat ein extrem hohes Leichtbaupotential, wobei er sich zugleich durch seine hohe Festigkeit und sehr hohe Struktursteifigkeit auszeichnet. Letzteres ist beispielsweise im Automobilbau ein wichtiges Kriterium.

[0003] Die automatisierbare Herstellung der Preform stellt eine Schlüsseltechnologie im Herstellungsprozess von endlosfaserverstärkten Faserverbundbauteilen zur Realisierung einer effizienten Großserienfertigung mit reproduzierbarer stabiler Bauteilqualität dar. Aber auch bei sogenannten Hybridbauteilen, also formgepressten Blechen, die vornehmlich mit Carbonfaser-Halbzeugen verpresst werden, um kritische Belastungszonen zusätzlich zu verstärken, müssen sich alle Produktions-Einheiten anlagen- und steuerungstechnisch integrieren lassen, wenn eine hinreichende Produktivität erreicht werden soll.

[0004] Zur Herstellung von endlosfaserverstärkten Bauteilen werden heute überwiegend textile Faser-Halbzeuge wie mit einem Binder (Schmelzkleber) benetzte und/oder mit einer Matrix teilweise oder vollständig imprägnierte Faser-Garne und/oder Flächengebilde (sog. Prepregs) wie Faser-Gewebe, Faser-Gestricke, Faser-Gelege oder Faser-Matten verwendet. Die Matrix von faserverstärkten Kunststoffen hat die Aufgabe, die hochbelastbaren Fasern einzubetten (Stützfunktion) und deren Zwischenraum vollständig auszufüllen (Sperrfunktion).

[0005] An Binder- und/oder Matrix-Werkstoffen können grundsätzlich Materialien aus den Gruppen der Thermoplaste und ggf. zusätzlicher elastifizierender Komponenten, wie Elastomere, eingesetzt werden, welche sich in der Festigkeit, der maximalen Dehnung, der Einsatztemperatur, der Verarbeitungsgeschwindigkeit und der Chemikalienbeständigkeit unterscheiden.

[0006] Aus diesen Halbzeugen, die als Rollen oder Plattenware in Standardformaten zur Verfügung stehen, werden beispielsweise in einem Schneidprozess Zuschnitte erzeugt, die in der Regel das umgeformte Bauteil vollflächig auskleiden.

[0007] Alternativ können endlosfaserverstärkte Bauteile auch über Faser- oder auch als TapeLegeverfahren bekannt gewordene Verfahren wesentlich verschnittärmer bzw. verschnittfrei und damit ressourceneffizienter hergestellt werden. Speziell die Verwendung von Tapes, umfassend vorzugsweise unidirektionale Endlosfasern in einer thermoplastischen Matrix, erweist sich als eine sehr attraktive Prozessvariante. Mit einem „Tape“ ist im Zusammenhang vorzugsweise jegliche Art von bahnförmigem Material, insbesondere ein Prepregmaterial, das beispielsweise eine Breite zwischen 30 und 200 mm aufweist, gemeint, welches für ein Ablegen mittels einer Tapelegevorrichtung geeignet ist. Mit „Prepregmaterial“ sind vorliegend insbesondere Faser-Garne (Rovings), Faser-Gelege und/oder Faser-Gewebe gemeint, welche mit einem Binder benetzt und/oder mit einer Matrix, beispielsweise einer Thermoplastmatrix, teilweise oder vollständig imprägniert, insbesondere vorimprägniert, sind. Bei den „Fasern“ handelt es sich insbesondere um Kohlenstofffasern, ist aber in gleicher Weise auch für Glasfasern oder andere, insbesondere künstlich hergestellte Fasern anwendbar. Zur Verarbeitung von Tapes ist bekannt, diese mittels Tapelegevorrichtungen, insbesondere auch sogenannte Fiber-Placement-Vorrichtungen, von einer Spule oder Rolle abzuziehen, auf Länge zu schneiden und auf einen Legetisch bzw. einer bereits auf dem Legetisch abgelegten Tapestruktur abzulegen. Mit dem Ablegen eines Tapestreifens wird dieser über eine Anzahl an Ultraschall-Schweißköpfen punktweise mit der darunter liegenden Tapeschicht verbunden. Beispielhafte Tapelegevorrichtungen sind beispielsweise aus den Dokumenten WO 2014/083196 A1 und US 8,048,253 bekannt.

[0008] Nachdem so mittels Tapelegen von einzelnen Tapes oder mittels Anordnen von großflächigen Zuschnitten, Faserverbundstrukturen mit einer gewünschten Form gelegt bzw. aufgebaut wurden, ist es erforderlich die Faserverbundstrukturen in einem nachfolgenden Verfahrensschritt unter Einwirkung von Druck und Temperatur zu verpressen und so zu einem Laminat zu konsolidieren.

[0009] Ein beispielhaftes Verfahren zum Konsolidieren von Faserverbundstrukturen mit thermoplastischen und/oder thermoelastischen Polymeren ist aus dem Dokument DE 10 2014 004 053 A1 bekannt. In diesem Dokument wird, wie in **Fig. 1** dargestellt, vorgeschlagen, eine zu konsolidierende Faserverbundstruktur 1 auf einer starren Unterlage 2 anzuordnen, sowie eine starre Abdeckung 3 auf der Faserverbundstruktur 1 zu platzieren, so dass sich die Faserverbundstruktur 1 in einem Zwischenraum zwischen der Unterlage 2 und der Abdeckung 3 befindet. Seitlich wird der Zwischenraum von einer Ringdichtung 5 aus nachgiebigem Material abgedichtet. Weiter sind Strahlungsquellen 4 vorgesehen, die über bzw. unter der Abdeckung 3 und der Unterlage 2 angeordnet

sind und die elektromagnetische Strahlung, insbesondere Infrarotstrahlung erzeugen. Die Abdeckung 3 und die Unterlage 2 sind für die von den Strahlungsquellen 4 erzeugte elektromagnetische Strahlung durchlässig ausgebildet, so dass die elektromagnetische Strahlung durch die Unterlage 2 und die Abdeckung 3 hindurch in die Faserverbundstruktur 1 eingekoppelt werden kann. Um die Faserverbundstruktur 1 zu konsolidieren, wird die Faserverbundstruktur 1 durch die Unterlage 2 und die Abdeckung 3 hindurch mit der elektromagnetischen Strahlung bestrahlt, um das Imprägnierpolymer in einen plastifizierten, schmelzflüssigen Zustand zu überführen. Darüber hinaus wird der Zwischenraum zwischen der Unterlage 2 und der Abdeckung 3 mittels einer an einen in den Zwischenraum einmündenden Rohrstutzen 6 angeschlossenen Vakuumpumpe (nicht gezeigt), evakuiert, so dass infolge des von oben auf die Abdeckung 3 (oder auch zumindest bereichsweise von unten auf die Unterlage 2) einwirkenden Umgebungsdruckes die Faserverbundstruktur 1 unter Kompression der Ringdichtung 5 zwischen der Abdeckung 3 und der Unterlage 2 verpresst wird.

[0010] Vorteilhaft bei diesem Verfahren ist der geringe erforderliche anlagentechnische Aufwand, insbesondere der Verzicht auf Presswerkzeuge oder dergleichen, so dass sich das Verfahren einfach und kostengünstig realisieren lässt. Darüber hinaus erlaubt das Verfahren eine direkte Erwärmung der Faserverbundstruktur 1, ohne dass es erforderlich ist, z.B. große Presswerkzeuge zu heizen, was das Verfahren sehr energieeffizient und damit kostengünstig im Betrieb macht.

[0011] Allerdings besteht bei diesem Verfahren die Möglichkeit, dass es beim Schließen von Abdeckung und Unterlage zu Lufteinschlüssen kommt, bzw. dass sich während des Verpressens und Konsolidierens innerhalb der Faserverbundstruktur Lufteinschlüsse bilden, etwa durch das Verdampfen von anhaftender Restfeuchte, und so zur Bildung von Poren in dem konsolidierten Laminat entstehen. Zwar wird durch den angewandten Unterdruck für eine gewisse Entlüftung der Faserverbundstruktur gesorgt, da aber die Faserverbundstruktur zwischen der Unterlage und der Abdeckung eingepresst wird, mag es vorkommen, dass ein Absaugen von Lufteinschlüssen oder entstehenden Dampfblasen vor allem in der Mitte der Faserverbundstruktur in einigen Fällen nur unzureichend erfolgt. Infolgedessen können sich vor allem in der Mitte der Faserverbundstruktur Poren bilden, die zu einem optisch unzulänglichen Eindruck der Oberfläche des konsolidierten Laminats und/oder zu einem inhomogenen Laminat führen können.

[0012] Darüber hinaus ist das Verfahren nur wenig geeignet, um Faserverbundstrukturen zu konsolidieren, die lokale Verstärkungen aufweisen, beispielsweise in Bauteilbereichen, an denen später Schar-

niere angesetzt werden sollen, oder an denen eine Verbindung mit anderen Bauteilen erfolgen soll.

[0013] Es ist daher eine Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Konsolidieren einer Faserverbundstruktur anzugeben, welche die vorstehenden Nachteile überwinden.

[0014] Es ist eine weitere Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Konsolidieren einer Faserverbundstruktur anzugeben, welche es ermöglichen, eine Faserverbundstruktur bei weitestehender Vermeidung der Ausbildung von Lufteinschlüssen und/oder Poren zu einem Laminat zu konsolidieren, und es so ermöglicht, ein Laminat mit einer einwandfreien, homogenen Oberfläche auszubilden.

[0015] Es ist eine nochmals weitere Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Konsolidieren einer Faserverbundstruktur anzugeben, welche auch das Konsolidieren von Faserverbundstrukturen mit lokalen Verstärkungen bei hoher Qualität ermöglichen.

[0016] Diese und andere Aufgaben der Erfindung werden gelöst mit einem Verfahren und einer Vorrichtung zum Konsolidieren einer Faserverbundstruktur wie in den Ansprüchen 1 und 12 angegeben. Weitere bevorzugte Ausführungsformen sind in den abhängigen Ansprüchen dargelegt.

[0017] Als eine erste Lösung wird ein Verfahren zum Konsolidieren einer Faserverbundstruktur mit zumindest einem thermoplastischen und/oder thermoelastischen Polymer angegeben, umfassend Anordnen der Faserverbundstruktur zwischen einer plattenförmigen Unterlage und einer plattenförmigen Abdeckung, wobei die Abdeckung durch ein Dichtelement in Bezug auf die Unterlage verlagerbar gegen die Unterlage abgedichtet wird, Erzeugen eines Unterdrucks in dem Zwischenraum zwischen der Unterlage und der Abdeckung, so dass der Umgebungsdruck die Abdeckung gegen die Unterlage drückt und die Faserverbundstruktur zwischen der Abdeckung und der Unterlage verpresst wird, und Erwärmen der Faserverbundstruktur mittels elektromagnetischer Strahlung vorzugsweise zumindest bis in den Bereich der Schmelztemperatur des zumindest einen thermoplastischen und/oder thermoelastischen Polymers. Das Verfahren zeichnet sich dadurch aus, dass es die Schritte umfasst: Herbeiführen einer Biegung der Abdeckung, so dass die Abdeckung, gegebenenfalls unter zusätzlicher Absenkung der Abdeckung, die Oberfläche der Faserverbundstruktur in einem Teilabschnitt berührt; und weiteres Biegen und/oder Absenken der Abdeckung, bis die Abdeckung die gesamte Oberfläche der Faserverbundstruktur berührt und die Faserverbundstruktur zwischen der Abdeckung und der Unterlage verpresst wird.

[0018] Gemäß der Erfindung erfolgt das Verpressen und Konsolidieren der Faserverbundstruktur daher nicht gleichzeitig über die gesamte Fläche, wie dies etwa beim mit Bezug auf **Fig. 1** erläuterten Verfahren geschieht. Vielmehr wird die Faserverbundstruktur mittels der gebogenen Abdeckung ausgehend von einem schmalen Teilbereich sukzessive und kontrolliert nach außen hin verpresst, so dass durch die Verschiebung von Faser- und Polymermaterial, die durch die lokale Einwirkung der von der gebogenen Abdeckung ausgeübten Druckkraft hervorgerufen wird, in der Faserverbundstruktur eingeschlossene Luft oder sich durch die Erwärmung bildende Dämpfe herausgedrückt werden und nach einer nur relativ kurzen Strecke in einen Bereich gelangen, in dem die Abdeckung auf Grund der Biegung derselben noch nicht oder noch nicht so stark auf die Faserverbundstruktur drückt, so dass die eingeschlossene Luft oder sich durch die Erwärmung bildende Dämpfe einfacher aus der Faserverbundstruktur heraus in den Zwischenraum entweichen und über die angeschlossene Vakuumpumpe abgezogen werden können. Dies ermöglicht es, die Faserverbundstruktur weitestgehend ohne Bildung von Lufteinschlüssen oder mit nur wenigen und sehr kleinen Lufteinschlüssen bzw. Poren zu konsolidieren und somit zu einem hochqualitativen Laminat hoher Güte zu formen.

[0019] Vorzugsweise wird die Abdeckung anfänglich in einem Abstand über der Faserverbundstruktur positioniert. Weiter bevorzugt kontaktiert die Abdeckung die Faserverbundstruktur erst, nachdem die Faserverbundstruktur bereits vollständig erwärmt wurde, um das Imprägnierpolymer schmelzflüssig zu machen.

[0020] Bevorzugt ist vorgesehen, dass die Abdeckung an zumindest zwei gegenüberliegenden Seiten jeweils ein Tragrahmenelement aufweist, und/oder die Unterlage an zumindest zwei gegenüberliegenden Seiten jeweils ein Tragrahmenelement aufweist.

[0021] Es kann vorgesehen sein, dass im Bereich von zumindest zwei gegenüberliegenden Seiten der Abdeckung jeweils eine Abstützeinrichtung angeordnet ist, welche die Abdeckung gegenüber der Unterlage derart abstützt, um einer durch den Unterdruck im Zwischenbereich verursachten, in Richtung nach unten auf die Abdeckung wirkenden Kraft entgegenzuwirken und so das Biegen der Abdeckung herbeizuführen.

[0022] Die Abstützeinrichtungen können jeweils als ein oder mehrere Aktuatoren, insbesondere als Pneumatikaktuatoren, Hydraulikaktuatoren oder elektromotorische Aktuatoren ausgebildet sein. Die Verwendung von Aktuatoren, welche insbesondere von einer Steuerung angesteuert werden können, erlauben eine wohlkontrollierte und gesteuerte Positio-

nierung und/oder Biegung der Abdeckung. Dies kann vorteilhaft ergänzt werden, indem die Vakuumpumpe ebenfalls von der Steuerung gesteuert wird, um so einen wohldefinierten und gewünschten Druckzustand, bzw. einen Druckverlauf über die Zeit in dem Zwischenraum herbeizuführen. Besonders bevorzugt kann dabei auch eine Überwachung oder ein Messen des Drucks im Zwischenraum erfolgen, so dass gegebenenfalls die Steuerung nachjustieren oder nachregeln kann, und/oder um Überwachungsfunktionen auszulösen.

[0023] Alternativ können die Abstützeinrichtungen jeweils als Federelemente ausgebildet sein. Auf diese Weise kann eine sehr einfache und kostengünstige Ausführung verwirklicht werden, die gleichzeitig sehr gute Eigenschaften aufweist. Insbesondere ist es möglich, durch Auswählen bzw. Verwirklichen von gewünschten geeigneten Federcharakteristiken, wie beispielsweise der Verwendung von degressiven Federcharakteristiken, den zeitlichen Verlauf der Biegung der Abdeckung und des Konsolidierens einem gewünschten Verlauf entsprechend einzustellen und so ein gewünschtes und maßgeschneidertes Konsolidieren und Verpressen zu verwirklichen. Auch wenn die Federelemente allein passiv wirkende Elemente darstellen, besteht weiterhin die Möglichkeit des aktiven Eingriffs, insbesondere der Steuerung und/oder Regelung des Verfahrensablaufs, indem beispielsweise eine Steuerung den Betrieb der Vakuumpumpe zum Erzeugen des Unterdrucks in dem Zwischenraum entsprechend steuert und so den herrschenden (Unter-) Druck entsprechend anhebt oder senkt, oder einen gewünschten zeitlichen Druckverlauf anweist, wobei der herrschende Unterdruck im Zusammenspiel mit den Federcharakteristiken der Federelemente wiederum zu einer entsprechenden Ausprägung der Biegung der Abdeckung führt.

[0024] Weiter alternativ können die Abstützeinrichtungen jeweils als Distanzelemente ausgebildet sein, welche eine Höhe aufweisen, die größer als eine Zieldicke der Faserverbundstruktur nach Konsolidierung sind. Mit dieser Ausgestaltung wird eine einfachstmögliche und somit konstruktiv und kostenmäßig am wenigsten aufwändige Lösung verwirklicht, die dennoch gute Ergebnisse erzielt. Die Distanzelemente können zwischen der Faserverbundstruktur und dem Dichtelement angeordnet sein, sind aber bevorzugt außerhalb des Dichtelements angeordnet, wodurch sich eine bessere Handhabung der Distanzelemente ergibt und diese auf die jeweiligen Erfordernisse ohne Probleme ausgetauscht werden können.

[0025] Die Abdeckung und/oder die Unterlage sind bevorzugt als eine Glasplatte ausgebildet oder umfassen diese.

[0026] In einer bevorzugten Weiterbildung kann während des Verpressens der Faserverbundstruktur

eine Erkennung von Blasenbildung ausgeführt werden, wobei im Fall der Blasenbildung der Druck im Zwischenraum temporär erhöht und/oder die Abdeckung angehoben wird, um eine zumindest teilweise Reduzierung der Auflage der Abdeckung, insbesondere die Reduzierung der Auflage des Teilabschnitts auf der Faserverbundstruktur zu erzielen und so einen lokalen Entlüftungspfad zum Abziehen der Luft oder Dampfes zu ermöglichen. Die Erkennung von Blasenbildung kann insbesondere erfolgen, indem der Betrag des Unterdrucks in dem Zwischenraum überwacht wird, und/oder indem mittels einer Thermobildkamera die Temperaturverteilung in der Faserverbundstruktur erfasst wird, wobei bei Vorliegen einer im Thermobild erkennbaren lokalen Kaltstelle relativ zu einer heißen Umgebung auf das Vorliegen einer Blase geschlossen wird.

[0027] Indem zusätzlich eine Blasenerkennung vorgenommen wird, kann die Zuverlässigkeit der Konsolidierung weiter verbessert und die hohe Qualität und Güte eines zum Laminat verpressten und konsolidierten Faserverbundstruktur sichergestellt werden.

[0028] Die Abdichtung kann mittels eines Dichtelements, insbesondere einer elastischen Ringdichtung erfolgen.

[0029] Es kann vorgesehen sein, dass die Erwärmung der Faserverbundstruktur mittels elektromagnetischer Strahlung vor, gleichzeitig oder nach dem Verpressen der Faserverbundstruktur zwischen der Abdeckung und der Unterlage erfolgt.

[0030] In einer bevorzugten Weiterbildung kann die Faserverbundstruktur zumindest einen Bereich einer Erhebung aufweisen, wobei für jeden Bereich einer Erhebung eine Kavität in der Abdeckung vorgesehen ist, um den entsprechenden Bereich aufzunehmen. Dabei kann weiter insbesondere vorgesehen sein, dass jede Kavität die jeweils zugeordnete Erhebung seitlich mit einem Spalt umgibt, wobei der Spalt bevorzugt eine Breite zwischen 3 und 15 mm, besonders bevorzugt zwischen 5 und 10 mm aufweist. Auch kann vorgesehen sein, dass jede Kavität eine Tiefe aufweist, die zwischen dem 0,7-fachen und 1,0-fachen der Höhe der jeweils zugeordneten Erhebung gegenüber der Oberfläche der Faserverbundstruktur in einem nicht erhobenen Bereich beträgt, und/oder jede Kavität (K) eine Tiefe aufweist, die so bemessen ist, den Materialschwund bzw. die Kompaktifizierung des Materials der Faserverbundstruktur während des Konsolidierens auszugleichen.

[0031] Dies macht es möglich, auch Faserverbundstrukturen mit Höhengsprüngen, wie sie zunehmend häufig für verschiedene Anwendungen nachgefragt werden, mit den hierin beschriebenen Verfahren zu verpressen und zu konsolidieren.

[0032] Als eine weitere Lösung wird eine Vorrichtung zum Konsolidieren einer Faserverbundstruktur mit zumindest einem thermoplastischen und/oder thermoelastischen Polymer angegeben, umfassend eine plattenförmige Unterlage; eine plattenförmige Abdeckung; ein Dichtelement zur verlagerbaren Abdichtung der Abdeckung in Bezug auf die Unterlage; zumindest eine Strahlungsquelle zur Erzeugung von elektromagnetischer Strahlung zum Erwärmen der Faserverbundstruktur mittels elektromagnetischer Strahlung vorzugsweise zumindest bis in den Bereich der Schmelztemperatur des zumindest einen thermoplastischen und/oder thermoelastischen Polymers; und eine Vakuumpumpe zum Erzeugen eines Unterdrucks in dem Zwischenraum zwischen der Unterlage und der Abdeckung, so dass der Umgebungsdruck die Abdeckung gegen die Unterlage drückt und die Faserverbundstruktur zwischen der Abdeckung und der Unterlage verpresst wird, wobei die Vorrichtung weiter im Bereich von zumindest zwei gegenüberliegenden Seiten der Abdeckung vorgesehene Abstützeinrichtungen umfasst, welche eingerichtet sind, die Abdeckung gegenüber der Unterlage derart abstützen, um einer durch den Unterdruck im Zwischenbereich verursachten, in Richtung nach unten auf die Abdeckung wirkenden Kraft entgegenzuwirken und so eine Biegung der Abdeckung zu bewirken.

[0033] Die Vorrichtung kann bevorzugt weiter einen Sensor zur Erfassung des Drucks in dem Zwischenraum und/oder eine Thermobildkamera zur Erfassung eines Bildes der Temperaturverteilung in der Faserverbundstruktur umfassen, wobei die Vorrichtung bevorzugt weiter eine Steuereinheit umfasst, die eingerichtet ist, bei Erkennen eines plötzlichen Druckanstiegs bzw. einer im Thermobild erkennbaren lokalen Kaltstelle relativ zu einer heißen Umgebung zu bestimmen, dass eine Blase vorliegt, und bei Vorliegen einer Blase die Vakuumpumpe und/oder die als Aktuatoren ausgebildeten Abstützeinrichtungen anzuweisen, den Druck im Zwischenraum temporär zu erhöhen und/oder die Abdeckung anzuheben, um eine zumindest teilweise Reduzierung der Auflage der Abdeckung, insbesondere die Reduzierung der Auflage des Teilabschnitts auf der Faserverbundstruktur zu erzielen und so einen lokalen Entlüftungspfad zum Abziehen der Luft- oder Dampfblase zu ermöglichen.

[0034] Als eine nochmals weitere Lösung wird eine Anlage zum Konsolidieren einer Faserverbundstruktur mit einer Belade-/Entladestation, einer Pressstation, und einer Kühlstation angegeben, welche eine Vorrichtung wie vorstehend beschrieben umfasst, und die eingerichtet ist: in der Belade-/Entladestation die mit einer Faserverbundstruktur belegte Unterlage aufzunehmen oder die Unterlage zur Belegung mit einer Faserverbundstruktur bereitzustellen, und die Abdeckung über der Unterlage zu positionieren, die Unterlage und die Abdeckung mit der dazwi-

schen platzierten Faserverbundstruktur zur Pressstation zu bewegen, in der Pressstation die Faserverbundstruktur mittels der zumindest einen Strahlungsquelle vorzugsweise zumindest bis in den Bereich der Schmelztemperatur des zumindest einen thermoplastischen und/oder thermoelastischen Polymers zu erwärmen, und mittels der Vakuumpumpe den Unterdruck in dem Zwischenraum zum Verpressen der Faserverbundstruktur zwischen der Abdeckung und der Unterlage zu erzeugen; nach erfolgter Verpressung, die Unterlage und die Abdeckung mit der dazwischen platzierten verpressten Faserverbundstruktur zur Kühlstation zu bewegen, in der Kühlstation, die Anordnung aus Unterlage, Abdeckung und der dazwischen platzierten Faserverbundstruktur zu kühlen; nach erfolgter Abkühlung, die Unterlage und die Abdeckung mit der dazwischen platzierten Faserverbundstruktur zur Belade-/Entladestation zu bewegen; und in der Belade-/Entladestation die Abdeckung von der Unterlage abzuheben zur Entnahme der konsolidierten Faserverbundstruktur von der Unterlage oder zur Entnahme der mit der konsolidierten Faserverbundstruktur belegten Unterlage.

[0035] Die genannte Vorrichtung und die genannte Anlage sind bevorzugt so eingerichtet, die hierin genannten Verfahren auszuführen.

[0036] Die Erfindung wird hiernach mit Bezug auf die Zeichnungen beschrieben:

Fig. 1 zeigt ein Verfahren zum Konsolidieren einer Faserverbundstruktur gemäß dem Stand der Technik:

Fig. 2A bis Fig. 2E zeigen ein Verfahren zum Konsolidieren einer Faserverbundstruktur gemäß einer ersten bevorzugten Ausführungsform;

Fig. 3A bis Fig. 3C zeigen ein Verfahren zum Konsolidieren einer Faserverbundstruktur gemäß einer zweiten bevorzugten Ausführungsform;

Fig. 4A und Fig. 4B zeigen ein Verfahren zum Konsolidieren einer Faserverbundstruktur gemäß einer dritten bevorzugten Ausführungsform;

Fig. 5A und Fig. 5B erläutern schematisch ein Verfahren zum Konsolidieren einer Faserverbundstruktur mit einer Erhebung, gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform; und

Fig. 6 veranschaulicht den Aufbau einer Strahlungsquelle und das Erwärmen einer Faserverbundstruktur.

[0037] Mit Bezug auf die **Fig. 2A bis Fig. 2E** wird zunächst ein Verfahren zum Konsolidieren einer Faserverbundstruktur gemäß einer ersten bevorzugten Ausführungsform beschrieben.

[0038] Wie in **Fig. 2A** gezeigt, wird eine mit thermoplastischen oder thermoelastischen Polymeren vorimprägnierten oder mit solchen Polymeren im festen oder gelösten bzw. abgeschiedenen Zustand versetzten Faserverbundstruktur **10** auf einer plattenförmigen Unterlage **20** angeordnet. Unter Vorsehung eines Dichtelements **15**, insbesondere einer elastischen Ringdichtung, welche die Faserverbundstruktur **10** seitlich und bevorzugt in einem Abstand umgibt, wird weiter eine plattenförmige Abdeckung **30** über der auf der Unterlage **20** angeordneten Faserverbundstruktur positioniert. Die Unterlage **20** und die Abdeckung **30** sind jeweils aus einem für elektromagnetische Strahlung, insbesondere Infrarotstrahlung, durchlässigen und hitzebeständigen Material gebildet. Besonders bevorzugt sind die Unterlage **20** und die Abdeckung **30** jeweils als Glasplatten ausgebildet. Beispielsweise können die Abdeckung **30** und die Unterlage **20** jeweils als rechteckige Glasplatten mit einer Breite von 500 mm, 1000 mm, 1500 mm, 2000 mm oder mehr, und einer Länge von 1000 mm, 1500 mm, 2000 mm, 2500 mm oder mehr ausgebildet sein. Die Dicke der Glasplatte kann beispielsweise 2 mm, 3 mm, 5 mm oder mehr betragen.

[0039] Um zu vermeiden, dass sich die Unterlage **20** auf Grund ihres Eigengewichts nach unten hin durchbiegt, ist bevorzugt vorgesehen, dass die Unterlage **20** von unten her gestützt wird, beispielsweise indem sie teilweise oder ganzflächig auf eine Tischplatte oder auf eine andere Stützstruktur (nicht dargestellt) aufgelegt wird, welche die Unterlage **20** von unten stützt. Es ist ebenfalls denkbar, die Unterlage **20** mit einer größeren Dicke auszubilden als die Abdeckung **30**, beispielsweise für die Unterlage **20** eine Glasplatte mit 5 mm oder 8 mm zu verwenden, während für die Abdeckung **30** eine Glasplatte mit 2 mm oder 3 mm verwendet wird. In diesem Fall wird die Unterlage **20** eine inhärent größere Steifigkeit aufweisen und dementsprechend weniger zum Durchbiegen neigen als die Abdeckung **30**.

[0040] Um eine einfachere Handhabung der Abdeckung **30** und der Unterlage **20** zu bieten, können diese jeweils an einem Tragrahmen befestigt sein. Der Tragrahmen kann einteilig oder mehrteilig ausgeführt sein, und kann die Abdeckung **30** und die Unterlage **20** an ihren Seitenkanten vollständig oder teilweise umfassen. Entsprechend zeigt die **Fig. 2A** beispielhaft, dass an der Abdeckung **30** und der Unterlage **20** jeweils zwei Tragrahmenelementen **21** bzw. **31** angeordnet sind. Ein Beispiel eines die Abdeckung **30** vollständig umfassenden bzw. umlaufenden Tragrahmens aus Tragrahmenelementen **31** ist in der **Fig. 2E** zu sehen, welche eine Draufsicht von oben auf eine beispielhafte Abdeckung **30** zeigt. Zur Handhabung der Abdeckung **30**, insbesondere zum Positionieren der Abdeckung **30** über der Unterlage **20** können an den Tragrahmenelementen **31** seitliche Vorsprünge, Ausnehmungen oder dergleichen (nicht

dargestellt) vorgesehen sein, welche es ermöglichen, dass entsprechende Haken oder andere Halteelemente (nicht dargestellt) den Tragrahmen **31**, und somit die Abdeckung **30**, in Eingriff nehmen können. Wird für die Abdeckung **30** und/oder die Unterlage **20** jeweils eine Glasplatte verwendet, kann die Glasplatte beispielsweise durch Verkleben mit den entsprechenden Tragrahmenelementen **21**, **31** fest verbunden sein. Andere Arten der Befestigung, wie Verschrauben, oder auch Klemmen in einer Nut, die in einem Tragrahmenelement **21**, **31** vorgesehen ist, und welche die Glasplatte beidseitig umfasst und klemmt, sind ebenfalls denkbar.

[0041] Wieder mit Bezug auf **Fig. 2A** sind an den an der Abdeckung **30** angeordneten Tragrahmenelementen **31** Aktuatoren **32**, insbesondere Pneumatikaktuatoren angeordnet, die mit einem voreingestellten Druck angesteuert werden können, um einen jeweiligen Zylinder **33** bis zu einer vordefinierten Hubgrenze auszufahren. Über die Zylinder **33**, welche sich auf den an der Unterlage **20** angeordneten Tragrahmenelementen **21** abstützen, können die Aktuatoren **32**, insbesondere die Pneumatikaktuatoren so die an der Abdeckung **30** angeordneten Tragrahmenelementen **31** in einer vorgegebenen Höhe über den an der Unterlage **20** angeordneten Tragrahmenelementen **21** positionieren und halten. Die Aktuatoren **32** mit den Zylindern **33** können daher als eine Abstützungseinrichtung angesehen werden, welche die Abdeckung **30** gegenüber der Unterlage **20** abstützt. Die Kraft aller Aktuatoren **32**, insbesondere Pneumatikaktuatoren ist dabei größer als die Eigengewicht der Abdeckung **30** und den Tragrahmenelementen **31** ausgeübte Gewichtskraft. Auf diese Weise kann durch Beaufschlagen der Pneumatikaktuatoren mit dem voreingestellten Druck die Abdeckung **30** in einer vordefinierten Position über der Unterlage **20** und der auf der Unterlage **20** angeordneten Faserverbundstruktur **10** gehalten und/oder positioniert werden. In dieser Position kann vorteilhaft vorgesehen sein, dass sich die Abdeckung **30** in einer Höhe von 2 bis 20 mm über einer Zieldicke bei abgeschlossener Konsolidierung befindet, und/oder sich die Abdeckung **30** in einer Höhe von wenigstens 0,1 mm, bevorzugt wenigstens 1 mm, weiter bevorzugt wenigstens 3 mm und besonders bevorzugt wenigstens 5 mm über der Oberfläche der Faserverbundstruktur **10** befindet. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass die Abdeckung **30** in dieser Position auf Grund ihres Eigengewichts und dem nur seitlichen Halten durch die Tragrahmenelemente **31** eine Eigenbiegung erfahren kann. Das Ausmaß dieser Eigenbiegung wird wesentlich bestimmt durch die Auswahl des Materials der Abdeckung **30**, insbesondere dessen Steifigkeit und spezifischem Gewicht, sowie der Dicke, der Breite und der Länge der Abdeckung **30**. Besonders bevorzugt werden das Material und die Dicke der Abdeckung **30** so gewählt, dass die Eigenbiegung in einem Bereich zwischen 2 und 20 mm, bevorzugt in einem

Bereich zwischen 3 und 15 mm, besonders bevorzugt in einem Bereich zwischen 5 und 10 mm liegt. Entsprechend sind die genannten Höhenangaben in diesem Fall als Höhenangaben in Bezug auf den tiefsten Punkt der unteren Oberfläche der Abdeckung **30** zu verstehen.

[0042] In der **Fig. 2A** sind weiter Strahlungsquellen **14** dargestellt, die oberhalb der Abdeckung **30** und unterhalb der Unterlage **20** angeordnet sind, und die eingerichtet sind, elektromagnetische Strahlung zur Erwärmung der Faserverbundstruktur **10** abzugeben. Alternativ ist es ebenso möglich, nur eine Strahlungsquelle **14** oberhalb der Abdeckung **30** oder unterhalb der Unterlage **20** anzuordnen. Die Strahlungsquellen **14** sind bevorzugt als Infrarotlichtquellen ausgeführt. Die unterhalb der Unterlage **20** angeordnete Strahlungsquelle **14** kann optional auch in die Stützstruktur (nicht dargestellt) für die Unterlage **20** angeordnet sein. Vorzugsweise sind die Strahlungsquellen **14** als Flächenstrahler ausgebildet, welche die Abdeckung **30** und/oder die Unterlage **20** im Wesentlichen ganzflächig und mit im Wesentlichen gleicher flächenbezogener Strahlungsdichte bestrahlen. Es sei bemerkt, dass in den folgenden **Fig. 2B** bis **Fig. 2D** die Strahlungsquellen **14** der Klarheit der Darstellung halber nicht gezeigt sind.

[0043] Mit Hilfe einer Pumpe oder dergleichen (nicht dargestellt) wird dann der von der Abdeckung **30**, der Unterlage **20** und dem Dichtelement **15** abgedichtete Zwischenraum evakuiert, so dass sich ein Unterdruck in dem Zwischenraum einstellt. Auf Grund des sich an der Abdeckung **30** einstellenden Druckunterschieds zwischen Umgebungsdruck, einerseits, und Unterruck im Zwischenraum, andererseits, stellt sich eine Druckkraft auf die Abdeckung **30** ein, wie durch den Pfeil in **Fig. 2B** dargestellt. Da die Abdeckung **30** an den seitlichen Rändern (hier beispielsweise die Ränder in Längsrichtung der Abdeckung **30**) durch die Tragrahmenelemente **31** gehalten werden, und diese mittels des Aktuatoren **32** und der Zylinder **33** in der Höhe in Position gehalten werden, führt die auf die Abdeckung **30** ausgeübte Druckkraft, zusammen mit dem Eigengewicht der Abdeckung **30**, zu einer Biegung der Abdeckung **30**, so dass sich die Abdeckung nach unten hin wölbt, wie in **Fig. 2B** ebenfalls schematisch dargestellt.

[0044] Mit zunehmendem Unterdruck wird sich die auf die Abdeckung **30** ausgeübte Kraft zunehmend größer, so dass sich die Abdeckung **30** zunehmend stärker durchbiegen und sich in der Mitte zuerst auf der Faserverbundstruktur **10** auflegen wird. Mit anderen Worten berührt die Abdeckung **30** die Faserverbundstruktur **10** nur in einem relativ kleinen Teilabschnitt **A** der Oberfläche der Faserverbundstruktur **10**, wie in **Fig. 2C** schematisch dargestellt. Mit zunehmendem Unterdruck vergrößert sich der Teilabschnitt

A und dessen Grenzen wandern allmählich nach außen.

[0045] Die Abdeckung **30** drückt somit in einem zunehmend größeren Bereich auf die Faserverbundstruktur **10**, welche von den Strahlungsquellen **14** vorzugsweise soweit erwärmt wurde, dass die thermoplastischen oder thermoelastischen Polymere bis in den Kern der Faserverbundstruktur **10** hinein schmelzflüssig geworden sind.

[0046] Sobald die Summe aus der vom Eigengewicht der Abdeckung **30** und den Tragrahmenelementen **31** (sowie gegebenenfalls an der Abdeckung **30** weiterer vorgesehener Tragrahmenelemente **31** und/oder anderer Elemente) hervorgerufenen Gewichtskraft und der auf Grund des Unterdrucks auf die Abdeckung **30** ausgeübte Kraft, abzüglich der über den Teilabschnitt **A** in die Faserverbundstruktur **10** eingeleiteten Druckkraft, einen vorgegebenen Betrag überschreitet, insbesondere den Betrag der maximalen Hubkraft der Aktuatoren **32**, insbesondere Pneumatikaktuatoren, öffnen an den Aktuatoren **32** vorgesehene Druckbegrenzungen. Infolgedessen können sich die Tragrahmenelemente **31** absenken, wie durch die Pfeile in der **Fig. 2C** versinnbildlicht, und die Abdeckung **30** schließt vollständig gegen die Unterlage **20** bis zur vollständigen Auflage der Abdeckung **30** auf der Faserverbundstruktur **10**, wie in der **Fig. 2D** dargestellt. Die Tragrahmenelemente **21** und **31** können dabei so ausgebildet und bemessen sein, dass sie einen Anschlag definieren, welcher den Abstand der Unterlage **20** und der Abdeckung **30** zueinander bei vollständigem Schließen definiert, mithin die Zieldicke der zu konsolidierenden Faserverbundstruktur **10** definiert. Bevorzugt ist jedoch, dass die Tragrahmenelemente **21** und **31** jeweils mit den entsprechenden Oberflächen der Abdeckung **30** und der Unterlage **20** flüchtig ausgebildet sind, und dass ein die Verpressung begrenzender, die Zieldicke der Faserverbundstruktur **10** definierender Anschlag auf andere Weise vorgesehen wird. So kann beispielsweise die minimale Hubgrenze der Aktuatoren **32**, insbesondere Pneumatikaktuatoren, als Anschlag genutzt werden, wobei die Aktuatoren **32** so angeordnet und relativ zu den Tragrahmenelementen **31** positioniert befestigt werden, dass die durch die minimale Hubgrenze der Aktuatoren **32** definierte Lage der gewünschten Zieldicke der zu verpressenden Faserverbundstruktur **10** entspricht. Alternativ kann auch ein separater Anschlag vorgesehen sein, wie etwa ein Anschlagstück, das zwischen den Tragrahmenelementen **21**, **31** und/oder zwischen der Unterlage **20** und der Abdeckung **30** angeordnet wird, und das mit einer Dicke bemessen ist, die der Zieldicke der zu verpressenden Faserverbundstruktur **10** entspricht.

[0047] Das Verpressen und Konsolidieren der Faserverbundstruktur **10** erfolgt daher nicht gleichzeitig über die gesamte Fläche, wie dies etwa beim mit

Bezug auf **Fig. 1** erläuterten Verfahren geschieht. Vielmehr wird die Faserverbundstruktur **10** mittels der gebogenen Abdeckung **30** ausgehend von einem schmalen Teilabschnitt **A** sukzessive und kontrolliert nach außen hin verpresst, so dass durch die Verschiebung von Faser- und Polymermaterial, die durch die lokale Einwirkung der von der gebogenen Abdeckung **30** ausgeübten Druckkraft hervorgerufen wird, in der Faserverbundstruktur **10** eingeschlossene Luft oder sich durch die Erwärmung bildende Dämpfe herausgedrückt werden und nach einer nur relativ kurzen Strecke in einen Bereich gelangen, in dem die Abdeckung **30** auf Grund der Biegung derselben noch nicht oder noch nicht so stark auf die Faserverbundstruktur **10** drückt, so dass die eingeschlossene Luft oder sich durch die Erwärmung bildende Dämpfe einfacher aus der Faserverbundstruktur **10** heraus in den Zwischenraum entweichen und über die angeschlossene Vakuumpumpe abgezogen werden können. Dies ermöglicht es, die Faserverbundstruktur **10** weitestgehend ohne Bildung von Lufteinschlüssen oder mit nur sehr kleinen Lufteinschlüssen bzw. Poren zu konsolidieren und somit zu einem hochqualitativen Laminat hoher Güte zu formen.

[0048] Es ist weiterhin auch denkbar, dass während des Verpressens der Faserverbundstruktur eine Erkennung von Blasenbildung ausgeführt wird. Beispielsweise kann mit einem Drucksensor der im Zwischenraum herrschende (Unter-) Druck gemessen und von der Steuereinheit ausgewertet werden. Wird dabei ein rascher Druckanstieg gemessen, kann die Steuereinheit dies als die Bildung einer Blase, beispielsweise durch Verdampfen von Flüssigkeit, bewerten. Alternativ oder ergänzend kann auch vorgesehen sein, die Oberfläche der Faserverbundstruktur **10** mit Hilfe einer Thermokamera in Form eines Thermobilds zu erfassen und auszuwerten. Die Steuereinheit kann dabei auf das Vorkommen von lokalen Heißstellen oder lokalen Kaltstellen im Thermobild achten. Eine lokale Heißstelle, das heißt, ein Ort, an dem die im Thermobild abgebildete Temperatur der Faserverbundstruktur **10** deutlich höher ist als die Temperatur in umgebenden Bereichen kann beispielsweise auf das Vorhandensein von Fremdkörpern hindeuten, die sich unter Einfluss der elektromagnetischen Strahlung schneller und höher aufheizen, als das Imprägnierpolymer. Umgekehrt kann eine lokale Kaltstelle, das heißt, ein Ort, an dem das Thermobild eine deutlich geringere Temperatur anzeigt als für umgebende Orte, auf eine Luft- oder Dampfblase hindeuten. Dies liegt darin, dass im Fall des Vorliegens einer Blase durch die Blase Polymer- und Fasermaterial verdrängt wird. Da heißes Polymer- und Fasermaterial mehr Infrarotstrahlung emittiert, die von der Thermobildkamera erfasst wird, als eine Dampf- oder Luftblase (selbst bei selber Temperatur derselben), wird das Thermobild an dieser Stelle daher dunkler erscheinen.

[0049] Wenn die Steuereinheit auf diese Weise eine Blasenbildung erkennt, kann die Steuereinheit veranlassen, dass die Vakuumpumpe gedrosselt wird, so dass der Druck im Zwischenraum steigt und weniger Unterdruck herrscht. Die Abdeckung **30** wird sich daher weniger Biegen und der Teilabschnitt **A**, in welchem die Abdeckung **30** sich auf der Faserverbundstruktur **10** aufstützt wird schmaler. Gleichzeitig oder alternativ kann die Steuereinheit auch die Aktuatoren **32**, insbesondere die Pneumatikaktuatoren ansteuern, die Zylinder **33** weiter auszufahren und so die Abdeckung **30** an den Seiten anzuheben, was ebenfalls den Teilabschnitt **A**, in welchem die Abdeckung **30** sich auf der Faserverbundstruktur **10** aufstützt, verschmälert. Auf diese Weise kann für eine verbesserte Entlüftung der Faserverbundstruktur **10**, insbesondere ein Abziehen der Blasen, gesorgt werden.

[0050] Nachdem auf diese Weise die Faserverbundstruktur **10** verpresst und zu einem Laminat, auch aus Tailored Blank bezeichnet, konsolidiert wurde, und nachdem das Laminat ausgekühlt ist, kann die Abdeckung **30** geöffnet werden. Dies kann auf einfache Weise geschehen, indem das Vakuum bzw. der Unterdruck in dem Zwischenraum abgestellt und die Abdeckung **30** abgehoben wird. Es wird jedoch bevorzugt, in der umgekehrten Reihenfolge zu der in den **Fig. 2A** bis **Fig. 2D** gezeigten Abfolge vorzugehen. So werden bei weiterhin bestehendem Unterdruck im Zwischenraum die Aktuatoren **32**, insbesondere die Pneumatikaktuatoren, mit Druckluft beaufschlagt, um die Abdeckung **30** zu biegen. Die Abdeckung **30** wölbt sich daher an den seitlichen Enden nach oben und löst sich lokal von dem konsolidierten Laminat. Anschließend wird der Unterdruck im Zwischenraum sukzessive reduziert, so dass sich die Abdeckung **30** nach und nach vom Laminat löst und sich das Laminat auf diese Weise von der Abdeckung **30** abschält. Dies hat den Vorteil, dass sich das Laminat zuverlässiger und zerstörungsfrei von der Abdeckung **30** trennen lässt.

[0051] Während im Vorstehenden insbesondere die Verwendung von Pneumatikaktuatoren als Abstützungseinrichtungen beschrieben wurde, ist dies nicht beschränkend, und es können auch andere Aktuatoren **32** oder Vorrichtungen verwendet werden, um die Abdeckung **30** gegenüber der Unterlage **20** abzustützen. Beispielsweise können als Abstützungseinrichtungen auch Hydraulikaktuatoren, elektromotorische Aktuatoren oder andere Aktuatoren verwendet werden, insbesondere auch Servoaktuatoren, welche unter Steuerung durch eine Steuereinrichtung ein Positionieren der Abdeckung **30** in der Höhe und/oder ein Aufbringen einer vordefinierten Kraft ermöglichen.

[0052] Das Verfahren kann bevorzugt in einer Anlage (nicht dargestellt) zum Konsolidieren einer Faserverbundstruktur **10** ausgeführt werden, die eine Bela-

de-/Entladestation, eine Presstation und eine Kühlstation aufweist.

[0053] In der Belade-/Entladestation kann die Unterlage **20** beispielsweise für einen Bediener so zugänglich gemacht werden, dass der Bediener eine Faserverbundstruktur, wie beispielsweise ein im Tapelegetverfahren gelegte Tapestruktur auf die Unterlage **20** platzieren kann. Über eine in der Anlage vorgesehene Halterung, die beispielsweise an dem Tragrahmen bzw. den Tragrahmenelementen **31** der Abdeckung **30** angreifen kann, wird die Abdeckung **30** auf oder über der Unterlage **20** platziert, so dass die Faserverbundstruktur **10** wie vorstehend mit Bezug auf **Fig. 2A** beschrieben in dem mittels einen Dichtelement **15** abgedichteten Zwischenraum angeordnet ist.

[0054] Die Unterlage **20** kann dann, zusammen mit der darauf angeordneten Faserverbundstruktur **10** sowie der ebenso darüber angeordneten Abdeckung **30**, zu der Presstation bewegt werden, in der die Faserverbundstruktur **10** von den Strahlungsquellen **14** bestrahlt und erwärmt wird, beispielsweise auf eine Temperatur im Bereich zwischen 200 und 400 °C, abhängig vom Imprägnierpolymer, bis der Kern der Faserverbundstruktur **10** schmelzflüssig ist. In der Presstation kann dabei vorgesehen sein, dass ein Hubtisch angeordnet ist, der vorzugsweise mit einer flachen Tischfläche ausgebildet ist, um die Unterlage **20** von einer (nicht dargestellten) Fördereinrichtung, die für den Transport in der Anlage sorgt, abzuheben und so in eine wohldefinierte Position zu verbringen. Anschließend wird das Vakuum im Zwischenraum aufgebaut und die Verpressung wie weiter in den **Fig. 2B** bis **Fig. 2D** beschrieben ausgeführt.

[0055] Nach erfolgter Verpressung wird, vorzugsweise bei weiter angelegtem Vakuum, die Gesamtheit aus Unterlage **20**, Abdeckung **30** und dazwischen gepresster Faserverbundstruktur **10** zur Kühlstation bewegt.

[0056] In der Kühlstation kann ein Kühlstisch vorgesehen sein, auf den die Unterlage **20** abgelegt wird, oder der angehoben werden kann, um in Kontakt mit der Unterlage **20** gebracht zu werden. Ebenfalls kann eine Kühlvorrichtung vorgesehen sein, die von oben her in Kontakt mit der Abdeckung **30** gebracht wird. Alternativ kann der Kühlstisch die Unterlage **20** so weit anheben, bis die Abdeckung **30** in Kontakt mit der Kühlvorrichtung gebracht wird. Mit dem Kühlstisch und der Kühlvorrichtung werden die Abdeckung **30** und die Unterlage **20**, sowie mittelbar die Faserverbundstruktur **10** abgekühlt, beispielsweise bis die Faserverbundstruktur **10** im Kern auf eine Temperatur unter 150 °C, bevorzugt unter 100 °C abgekühlt ist und das Imprägnierpolymer verfestigt.

[0057] Anschließend kann die Gesamtheit aus Unterlage **20**, Abdeckung **30** und dazwischen gepresster Faserverbundstruktur **10** zur Belade-/Entladestation bewegt werden, in der die Abdeckung **30** abgehoben werden und der Bediener die fertig zum Laminat konsolidierte Faserverbundstruktur entnehmen kann.

[0058] Mit Bezug auf **Fig. 3A** bis **Fig. 3C** wird nun eine zweite Ausführungsform der Erfindung beschrieben. Die zweite Ausführungsform unterscheidet sich von der ersten Ausführungsform im Wesentlichen dadurch, dass Federelemente **35** anstelle der in der ersten Ausführungsform eingesetzten Aktuatoren **32** vorgesehen sind. Die Federelemente **35** sind bevorzugt in den Tragrahmenelementen **31** der Abdeckung **30** gehalten und stützen auf Grund der inhärenten Federkraft die Abdeckung **30** gegenüber der Unterlage **20** bzw. den Tragrahmenelementen **21** der Unterlage **20** ab. Die Federelemente **35** können als einfache Federn ausgeführt werden. Bevorzugt wird jedoch, dass die Federelemente **35** mit einer degressiven Federcharakteristik ausgeführt werden. Damit kann erreicht werden, dass bei einer anfänglichen Belastung der Federelemente **35**, hier in Folge des zunehmenden Unterdrucks im Zwischenraum, zunächst eine nur geringe Kompression der Federelemente **35** erfolgt, so dass wie in **Fig. 3B** gezeigt die Abdeckung **30** wiederum eine Biegung erfährt, welche die Abdeckung **30** in dem schmalen Teilbereich **A** zur Auflage auf und Abstützung gegen die Faserverbundstruktur **10** treten lässt. Mit zunehmendem Unterdruck, und damit zunehmender Belastung der Federelemente **35**, gelangen die Federelemente **35** in den Bereich flacherer Steigung der degressiven Federcharakteristik, so dass die Federelemente **35** eine zunehmend größere Kompression erfahren und sich dementsprechend die seitlichen Enden der Abdeckung **30** zunehmend absenken. Der Teilabschnitt **A**, in dem die Abdeckung **30** sich auf der Faserverbundstruktur **10** abstützt, weitet sich daher zunehmend in der Breite, bis die Abdeckung **30** schließlich ganzflächig in Auflage auf die Faserverbundstruktur **10** kommt und diese verpresst, wie in **Fig. 3C** gezeigt. Auch hier kann in bevorzugter Weise wieder vorgesehen sein, dass eine Steuereinheit die Vakuumpumpe so ansteuert, dass ein gewünschter zeitlicher Verlauf des (Unter-) Drucks in dem Zwischenraum eingestellt wird, um so unter Berücksichtigung der Federcharakteristik der Federelemente **35** einen gewünschten Verlauf der Biegung der Abdeckung **30**, und damit einen gewünschten Verlauf des Verpressens zu steuern und/oder zu regeln.

[0059] Um eine übermäßige Kompression der Faserverbundstruktur **10** zu vermeiden, kann, wie in den **Fig. 3A** bis **Fig. 3C** weiter gezeigt, bevorzugt vorgesehen sein, Anschlagstücke **36** zwischen der Abdeckung **30** und der Unterlage **20** und/oder zwischen den entsprechenden Tragrahmenelementen **31**, **21**

vorzusehen. Die Anschlagstücke **36** sind in ihrer Höhe entsprechend der Zieldicke der konsolidierten Faserverbundstruktur **10** bemessen. Die Anschlagstücke **36** können beispielsweise aus einem Metall gefertigt sein. Bevorzugt sind die Anschlagstücke **36** jedoch aus einem temperaturfesten Kunststoffmaterial, insbesondere mit geringer spezifischer Wärmekapazität ausgebildet. Dies hat den Vorteil, dass diese Anschlagstücke **36** sich beim Abkühlen der Faserverbundstruktur **10** ebenfalls rasch abkühlen und es nicht zu einem Effekt kommt, dass die Anschlagstücke **36** über den Kühlprozess hinaus heiß bleiben und bei einem nächsten Einbringen einer Faserverbundstruktur **10** diese vorzeitig und unerwünscht lokal erhitzt, was zu einer ungleichmäßigen Verpressung und Konsolidierung führen könnte. Die Anschlagstücke **36** können zwischen der Faserverbundstruktur **10** und dem Dichtelement **15** angeordnet sein. Alternativ und bevorzugt können diese Anschlagstücke auch nach bzw. hinter dem Dichtelement **15** angeordnet sein, um flexibel und schnell auf eine geänderte Zieldicke der Faserverbundstruktur einzugehen ohne hierbei auf das Dichtelement **15** besondere Acht zu geben, da dies am seinem Ort verbleiben kann.

[0060] Eine dritte Ausführungsform der Erfindung ist in den **Fig. 4A** und **Fig. 4B** beschrieben. Wie gezeigt, sind in dieser Ausführungsform Distanzstücke **40** vorgesehen, die zwischen der Unterlage **20** und der Abdeckung **30** und/oder optionalen entsprechenden Tragrahmenelementen (in **Fig. 4A** und **Fig. 4B** nicht dargestellt) angeordnet werden. Die Distanzstücke **40** können beispielsweise fest mit der Unterlage **20** verbunden sein. Die Distanzstücke **40** haben eine Höhe, die der Zieldicke der zu konsolidierenden Faserverbundstruktur **10** entspricht, zusätzlich mit einem kleinen Übermaß, bevorzugt im Bereich zwischen 0,1 und 0,5 mm. Die Distanzstücke **40** können ebenfalls aus Metall oder bevorzugt aus einem temperaturbeständigen Kunststoffmaterial insbesondere mit geringer spezifischer Wärmekapazität ausgebildet sein. Die Distanzstücke **40** sind bevorzugt in einem Abstand zwischen 20 und 200 mm von dem Außenrand der Faserverbundstruktur **10** angeordnet.

[0061] Wie in den **Fig. 4A** und **Fig. 4B** gezeigt, haben die Distanzstücke **40** ebenfalls die Wirkung, die Abdeckung **30** abzustützen, so dass es unter der Einwirkung des Unterdrucks in dem Zwischenraum wiederum zu einer Biegung der Abdeckung **30** kommt.

[0062] Die vorstehend beschriebenen Ausführungsformen eignen sich insbesondere zum Verpressen und Konsolidieren von flachen Faserverbundstrukturen **10**, das heißt, Faserverbundstrukturen **10**, die eine im Wesentlichen gleichmäßige Dicke aufweisen. Für zunehmend viele Anwendungen und Einsatzgebiete von faserverstärkten Bauteile besteht jedoch die Anforderung, dass diese Bauteile lokale Verstärkungen aufweisen sollen, beispielsweise in Bau-

teilmitteln, an denen später Scharniere angesetzt werden sollen, oder an denen eine Verbindung mit anderen Bauteilen erfolgen soll. Für derartige Anwendungen werden bereits die Faserverbundstrukturen **10**, beispielsweise als im Tapelegeverfahren ausgebildete Tailored Blanks, mit entsprechenden lokal verstärkten Abschnitten gelegt. Um derartige lokal verstärkte, mit Erhebungen versehene Faserverbundstrukturen **10** zu verpressen und zu einem Laminat zu konsolidieren, wird mit einer weiteren bevorzugten Ausführungsform, wie in den **Fig. 5A** und **Fig. 5B** gezeigt, vorgesehen, eine angepasste Abdeckung **30'** zu verwenden.

[0063] Die **Fig. 5A** zeigt schematisch eine Faserverbundstruktur **10'**, welche hier beispielhaft in einem mittleren Bereich einen lokal verstärkten Abschnitt mit einer Erhebung **E** aufweist. Weiter ist vorgesehen, die Abdeckung **30'** mit einer der Erhebung **E** entsprechenden Kavität **K** auszubilden. Die Kavität **K** in der Abdeckung **30'** kann beispielsweise durch Fräsen gebildet werden. In der **Fig. 5B**, welche eine Ansicht der Abdeckung **30'** von unten zeigt, ist dabei zu erkennen, dass die Kavität **K** die Erhebung **E** mit einem umlaufenden Spalt **S** umgibt. Der Spalt **S** weist dabei bevorzugt eine Breite zwischen 3 und 15 mm, besonders bevorzugt zwischen 5 und 10 mm auf. Indem ein derartiger Spalt **S** vorgesehen wird, wird ein freier Strömungskanal bereitgestellt, über den unter Wirkung des Unterdrucks und mittels der Vakuumpumpe (nicht dargestellt) in der Faserverbundstruktur **10'**, insbesondere im Bereich der Erhebung **E**, eingeschlossene Luft oder sich durch die Erwärmung bildende Dämpfe abgesaugt und abgeführt werden können.

[0064] Das freie Strömen und Abführen von Luft und Dämpfen wird dabei insbesondere von der Biegung der Abdeckung **30** unterstützt, wie vorstehend beschrieben, welche dafür sorgen kann, dass der Spalt **S** zu einer Seite der Abdeckung **30** hin erst zu einem späten Zeitpunkt in Kontakt mit der Oberfläche der Faserverbundstruktur **10'** kommt und somit geschlossen wird, zu welchem Zeitpunkt bereits eine weitgehende Absaugung für den Bereich der Erhebung **E** stattgefunden hat. Alternativ oder ergänzend kann auch eine aktive Entlüftung des Spalts **S** vorgesehen werden, beispielsweise indem der Druck im Zwischenraum temporär erhöht, bzw. das Vakuum verringert wird, und/oder die Abdeckung **30'** angehoben wird, um eine zumindest teilweise Reduzierung der Auflage der Abdeckung **30'** auf der Faserverbundstruktur **10'** zu erzielen und so eine Entlüftung des Spalts **S** zu ermöglichen. Es kann ebenfalls in Betracht gezogen werden, einen Entlüftungskanal vorzusehen, der beispielsweise als eine schmale Nut in die Oberfläche der Abdeckung **30'** eingearbeitet wird, oder als Bohrung, die sich durch die Abdeckung **30'** hindurch erstreckt und ebenfalls mit der Vakuumpum-

pe verbunden wird. Andere Arten einer Entlüftung des Spalts **S** sind ebenfalls denkbar.

[0065] Wie aus den **Fig. 5A** und **Fig. 5B** zu erkennen, bilden die Faserverbundstruktur **10'** und die Abdeckung **30'** weitgehend komplementäre Geometrien, so dass die Gesamtgeometrie von Unterlage **20**, Faserverbundstruktur **10'** und Abdeckung **30'** insgesamt eine im Wesentlichen plattenförmige Form gleichbleibender Dicke aufweist.

[0066] Es wird sich dabei der Vorteil zu Nutze gemacht, dass insbesondere eine als Glasplatte ausgebildete Abdeckung **30'** eine weitgehend ähnliche Wärmekapazität aufweist wie die üblicherweise in Faserverbundstrukturen **10'** verwendete Materialien. Aus diesem Grund kann bei einer gleichen Flächenstrahlleistung der Strahlungsquellen **14** der lokal verstärkte Abschnitt der Erhebung **E**, das heißt, der dickere Abschnitt der Faserverbundstruktur **10'**, auf Grund der an dieser Stelle dünneren Glasschicht der Abdeckung **30'** in derselben Zeit durchgeheizt werden, wie dies an den Stellen mit dünnerer Dicke der Faserverbundstruktur **10'** der Fall ist.

[0067] Die Kavität **K** wird bevorzugt mit Untermaß ausgebildet, um die Schwindung des Materials durch die Konsolidierung auszugleichen.

[0068] Wie in der **Fig. 5B** weiter zu erkennen ist, wird die Kavität **K** vorzugsweise mit hinterschnittenen Eckenradien **H** ausgebildet, so dass auch Erhebungen **E** mit scharfkantigen Ecken geeignet bearbeitet werden können. Dies ist insbesondere vorteilhaft, wenn die zu verpressenden und zu konsolidierenden Faserverbundstrukturen durch ein Tapelegeverfahren gebildet werden, in welchem üblicher Weise rechteckige Tapeabschnitte verarbeitet und zu einer gewünschten Faserverbundstruktur gelegt werden.

[0069] Die mit einer Kavität **K** versehene Abdeckung **30'** kann geeignet als Abdeckung **3** oder **30** in den hierin beschriebenen und/oder genannten Verfahren zum Konsolidieren verwendet werden, um die genannten Verfahren geeignet zum Konsolidieren von Faserverbundstrukturen **10**, **10'** mit Höhengsprüngen zu ertüchtigen.

[0070] Mit Bezug auf **Fig. 6** wird weiter eine beispielhafte Ausgestaltung der Strahlungsquellen **14** erläutert. Wie in **Fig. 6** gezeigt, umfassen die Strahlungsquellen **14** vorzugsweise eine Vielzahl von Infrarotröhren **51**, **52**, die sich quer zur Abdeckung **30** bzw. zur Unterlage **20** erstrecken. Die Infrarotröhren **51**, **52** sind bevorzugt so ausgelegt und angeordnet, eine gleichmäßige flächenbezogene Strahlungsleistung zu erzeugen, um eine möglichst gleichmäßige Erwärmung der Faserverbundstruktur **10** zu ermöglichen. Besonders bevorzugt ist dabei vorgesehen,

dass die Infrarotröhren **51**, **52** einzeln oder in Gruppen selektive eingeschaltet werden können, so dass abhängig von der Größe, Form und Lage der Faserverbundstruktur **10** nur notwendige Bereiche bestrahlt werden. In dem Beispiel der Fig. 6 können beispielsweise die Infrarotröhren **52**, welche sich über die Faserverbundstruktur **10** erstrecken, eingeschaltet werden, während die Infrarotröhren **51**, welche die Faserverbundstruktur **10** nicht überlappen, ausgeschaltet verbleiben. Dies kann zu einer Einsparung von Energie und damit zur Kostensenkung verwendet werden. Ebenfalls kann vorgesehen werden, dass in Bereichen, in denen eine Bestrahlung mit Infrarotlicht nur teilweise erforderlich bzw. gewünscht ist, ein Abschattenelement **55** vorgesehen ist, um zu verhindern, dass in diesem Bereich, in dem sich kein Anteil der Faserverbundstruktur **10** befindet, die Abdeckung **30** bzw. die Unterlage **20** bestrahlt und aufgeheizt wird, oder sich die obere und untere Strahlungsquellen **14** in diesem Bereich auf Grund der nicht vorhandenen Faserverbundstruktur **10** durch die Abdeckung **30** und die Unterlage **20** hindurch allein gegenseitig aufheizen und so gegenseitig thermischer Belastung und gegebenenfalls vorzeitiger Alterung aussetzen.

Bezugszeichenliste

1, 10, 10'	Faserverbundstruktur
2,20	Unterlage
3, 30, 30'	Abdeckung
4, 14	Strahlungsquelle
5, 15	Dichtelement
6	Rohrstutzen
21	Tragrahmenelement
31	Tragrahmenelement
32	Aktuator
33	Zylinder
35	Federelement
36	Anschlagstück
40	Distanzstück
51, 52	Infrarotröhren
55	Abschattenelement
A	Teilabschnitt
E	Erhebung
H	Eckenradius
K	Kavität
S	Spalt

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- WO 2014/083196 A1 [0007]
- US 8048253 [0007]
- DE 102014004053 A1 [0009]

Patentansprüche

1. Verfahren zum Konsolidieren einer Faserverbundstruktur (10, 10') mit zumindest einem thermoplastischen und/oder thermoelastischen Polymer, umfassend Anordnen der Faserverbundstruktur (10, 10') zwischen einer plattenförmigen Unterlage (20) und einer plattenförmigen Abdeckung (30, 30'), wobei die Abdeckung (30, 30') durch ein Dichtelement (15) in Bezug auf die Unterlage (20) verlagerbar gegen die Unterlage (20) abgedichtet wird, Erzeugen eines Unterdrucks in dem Zwischenraum zwischen der Unterlage (20) und der Abdeckung (30, 30'), so dass der Umgebungsdruck die Abdeckung (30, 30') gegen die Unterlage (20) drückt und die Faserverbundstruktur (10, 10') zwischen der Abdeckung (30, 30') und der Unterlage (20) verpresst wird, und Erwärmen der Faserverbundstruktur (10, 10') mittels elektromagnetischer Strahlung vorzugsweise zumindest bis in den Bereich der Schmelztemperatur des zumindest einen thermoplastischen und/oder thermoelastischen Polymers, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Verfahren weiter umfasst:

Herbeiführen einer Biegung der Abdeckung (30, 30'), so dass die Abdeckung (30, 30'), gegebenenfalls unter zusätzlicher Absenkung der Abdeckung (30, 30'), die Oberfläche der Faserverbundstruktur (10, 10') in einem Teilabschnitt (A) berührt;

und weiteres Biegen und/oder Absenken der Abdeckung (30, 30'), bis die Abdeckung (30, 30') die gesamte Oberfläche der Faserverbundstruktur (10, 10') berührt und die Faserverbundstruktur (10, 10') zwischen der Abdeckung (30, 30') und der Unterlage (20) verpresst wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Abdeckung (30, 30') anfänglich in einem Abstand über der Faserverbundstruktur (10, 10') positioniert wird.

3. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Abdeckung (30, 30') an zumindest zwei gegenüberliegenden Seiten jeweils ein Tragrahmenelement (31) aufweist, und/oder die Unterlage (20) an zumindest zwei gegenüberliegenden Seiten jeweils ein Tragrahmenelement (21) aufweist.

4. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass im Bereich von zumindest zwei gegenüberliegenden Seiten der Abdeckung (30, 30') jeweils eine Abstützeinrichtung vorgesehen ist, welche die Abdeckung (30, 30') gegenüber der Unterlage (20) derart abstützt, um einer durch den Unterdruck im Zwischenbereich verursachten, in Richtung nach unten auf die Abdeckung (30, 30') wirkenden Kraft entgegenzuwirken und so das Biegen der Abdeckung (30, 30') herbeizuführen.

5. Verfahren nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Abstützeinrichtungen jeweils als ein oder mehrere Aktuatoren (32), insbesondere als Pneumatikaktuatoren, Hydraulikaktuatoren oder elektromotorische Aktuatoren ausgebildet sind.

6. Verfahren nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Abstützeinrichtungen jeweils als Federelemente (35) ausgebildet sind.

7. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Abdeckung (30, 30') und/oder die Unterlage (20) als eine Glasplatte ausgebildet ist oder diese umfasst.

8. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass während des Verpressens der Faserverbundstruktur (10, 10') eine Erkennung von Blasenbildung ausgeführt wird, wobei im Fall der Blasenbildung der Druck im Zwischenraum temporär erhöht und/oder die Abdeckung (30, 30') angehoben wird, um eine zumindest teilweise Reduzierung der Auflage der Abdeckung (30, 30'), insbesondere die Reduzierung der Auflage des Teilabschnitts (A) auf der Faserverbundstruktur (10, 10') zu erzielen und so einen lokalen Entlüftungspfad zum Abziehen der Luft oder des Dampfes zu ermöglichen.

9. Verfahren nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Erkennung von Blasenbildung erfolgt, indem der Betrag des Unterdrucks in dem Zwischenraum überwacht wird, und/oder indem mittels einer Thermobildkamera die Temperaturverteilung in der Faserverbundstruktur (10, 10') erfasst wird, wobei bei Vorliegen einer im Thermobild erkennbaren lokalen Kaltstelle relativ zu einer heißen Umgebung auf das Vorliegen einer Blase geschlossen wird.

10. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Abdichtung mittels einem Dichtelement (15), insbesondere einer elastischen Ringdichtung erfolgt.

11. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Erwärmung der Faserverbundstruktur (10, 10') mittels elektromagnetischer Strahlung vor, gleichzeitig oder nach dem Verpressen der Faserverbundstruktur (10, 10') zwischen der Abdeckung (30, 30') und der Unterlage (20) erfolgt.

12. Vorrichtung zum Konsolidieren von Faserverbundstrukturen (10, 10') mit zumindest einem thermoplastischen und/oder thermoelastischen Polymer, umfassend
eine plattenförmige Unterlage (20);
eine plattenförmige Abdeckung (30, 30');
ein Dichtelement (15) zur verlagerbaren Abdichtung der Abdeckung (30, 30') in Bezug auf die Unterlage (20);

zumindest eine Strahlungsquelle (14) zur Erzeugung von elektromagnetischer Strahlung zum Erwärmen der Faserverbundstruktur (10, 10') mittels elektromagnetischer Strahlung vorzugsweise zumindest bis in den Bereich der Schmelztemperatur des zumindest einen thermoplastischen und/oder thermoelastischen Polymers; und

eine Vakuumpumpe zum Erzeugen eines Unterdrucks in dem Zwischenraum zwischen der Unterlage (20) und der Abdeckung (30, 30'), so dass der Umgebungsdruck die Abdeckung (30, 30') gegen die Unterlage (20) drückt und die Faserverbundstruktur (10, 10') zwischen der Abdeckung (30, 30') und der Unterlage (20) verpresst wird, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Vorrichtung weiter im Bereich von zumindest zwei gegenüberliegenden Seiten der Abdeckung (30, 30') vorgesehene Abstützeinrichtungen umfasst, welche eingerichtet sind, die Abdeckung (30, 30') gegenüber der Unterlage (20) derart abstützen, um einer durch den Unterdruck im Zwischenbereich verursachten, in Richtung nach unten auf die Abdeckung (30, 30') wirkenden Kraft entgegenzuwirken und so eine Biegung der Abdeckung (30, 30') zu bewirken.

13. Vorrichtung nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Abdeckung (30, 30') an zumindest zwei gegenüberliegenden Seiten jeweils ein Tragrahmenelement (31) aufweist, und/oder die Unterlage (20) an zumindest zwei gegenüberliegenden Seiten jeweils ein Tragrahmenelement (21) aufweist.

14. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 12 bis 13, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Abstützeinrichtungen jeweils als ein oder mehrere Aktuatoren (32), insbesondere als Pneumatikaktuatoren, Hydraulikaktuatoren oder elektromotorische Aktuatoren ausgebildet sind.

15. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 12 bis 14, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Abstützeinrichtungen jeweils als Federelemente (35) ausgebildet sind.

16. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 12 bis 15, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Abdeckung (30, 30') und/oder die Unterlage (20) als eine Glasplatte ausgebildet ist oder diese umfasst.

17. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 12 bis 16, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Vorrichtung einen Sensor zur Erfassung des Drucks in dem Zwischenraum und/oder eine Thermobildkamera zur Erfassung eines Bildes der Temperaturverteilung in der Faserverbundstruktur (10, 10') umfasst, wobei die Vorrichtung weiter eine Steuereinheit umfasst, die eingerichtet ist, bei Erkennen eines plötzlichen Druckanstiegs bzw. einer im Thermobild erkennbaren lokalen Kaltstelle relativ zu einer heißen Umgebung zu bestimmen, dass eine Blase vorliegt, und bei Vorliegen einer Blase die Vakuumpumpe und/oder

die als Aktuatoren ausgebildeten Abstützeinrichtungen anzuweisen, den Druck im Zwischenraum temporär zu erhöhen und/oder die Abdeckung (30, 30') anzuheben, um eine zumindest teilweise Reduzierung der Auflage der Abdeckung (30, 30'), insbesondere die Reduzierung der Auflage des Teilabschnitts (A) auf der Faserverbundstruktur (10, 10') zu erzielen und so einen lokalen Entlüftungspfad zum Abziehen der Luft oder des Dampfes zu ermöglichen.

18. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 12 bis 17, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Vorrichtung eingerichtet ist, das Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11 auszuführen.

19. Anlage zum Konsolidieren einer Faserverbundstruktur (10, 10'), mit einer Belade-/Entladestation, einer Pressstation, und einer Kühlstation, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Anlage eine Vorrichtung nach einem der Ansprüche 12 bis 18 aufweist, und die Anlage eingerichtet ist:

in der Belade-/Entladestation die mit einer Faserverbundstruktur (10, 10') belegte Unterlage (20) aufzunehmen oder die Unterlage (20) zur Belegung mit einer Faserverbundstruktur (10, 10') bereitzustellen, und die Abdeckung (30, 30') über der Unterlage (20) zu positionieren,

die Unterlage (20) und die Abdeckung (30, 30') mit der dazwischen platzierten Faserverbundstruktur (10, 10') zur Pressstation zu bewegen,

in der Pressstation die Faserverbundstruktur (10, 10') mittels der zumindest einen Strahlungsquelle (14) vorzugsweise zumindest bis in den Bereich der Schmelztemperatur des zumindest einen thermoplastischen und/oder thermoelastischen Polymers zu erwärmen, und mittels der Vakuumpumpe den Unterdruck in dem Zwischenraum zum Verpressen der Faserverbundstruktur (10, 10') zwischen der Abdeckung (30, 30') und der Unterlage (20) zu erzeugen; nach erfolgter Verpressung, die Unterlage (20) und die Abdeckung (30, 30') mit der dazwischen platzierten verpressten Faserverbundstruktur (10, 10') zur Kühlstation zu bewegen,

in der Kühlstation, die Anordnung aus Unterlage (20), Abdeckung (30, 30') und der dazwischen platzierten Faserverbundstruktur (10, 10') zu kühlen;

nach erfolgter Abkühlung, die Unterlage (20) und die Abdeckung (30, 30') mit der dazwischen platzierten Faserverbundstruktur (10, 10') zur Belade-/Entladestation zu bewegen; und in der Belade-/Entladestation die Abdeckung (30, 30') von der Unterlage (20) abzuheben zur Entnahme der konsolidierten Faserverbundstruktur (10, 10') von der Unterlage (20) oder zur Entnahme der mit der konsolidierten Faserverbundstruktur (10, 10') belegten Unterlage (20).

20. Anlage nach Anspruch 19, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Anlage eingerichtet ist, das Ver-

fahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11 auszuführen.

Es folgen 5 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

Fig. 1

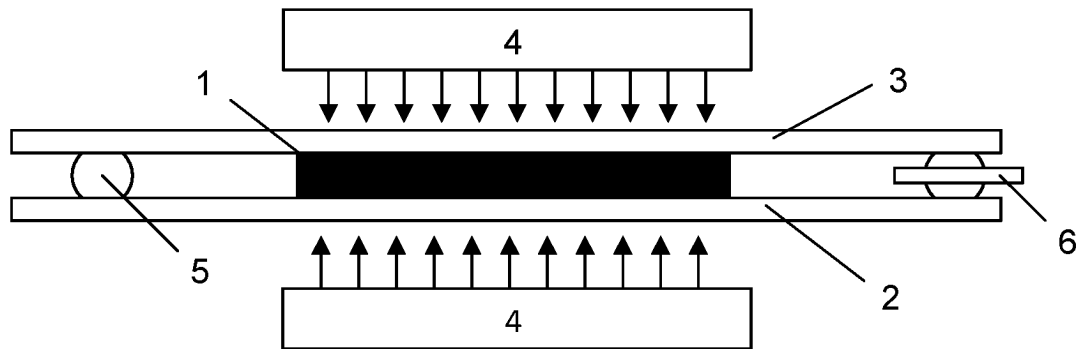


Fig. 2A

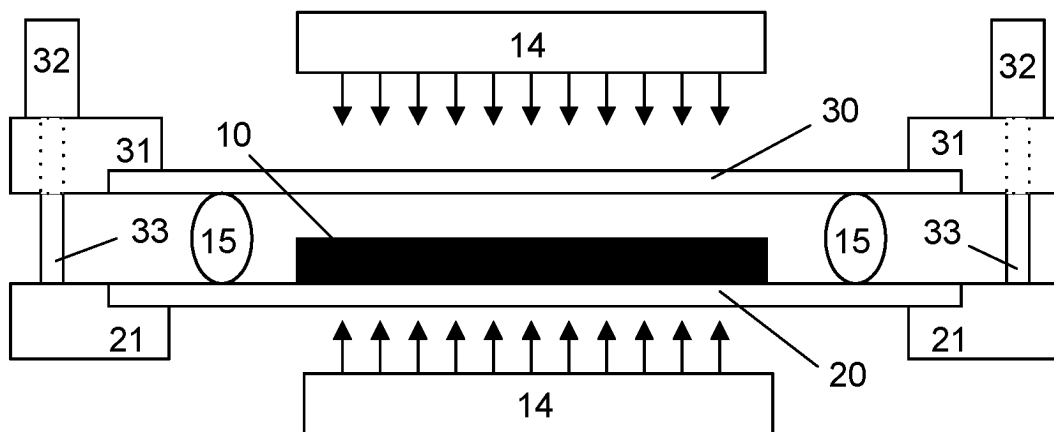


Fig. 2B

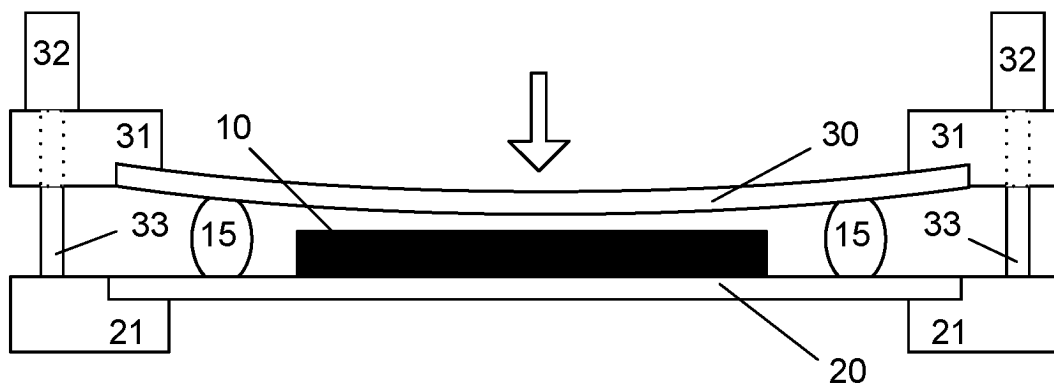


Fig. 2C

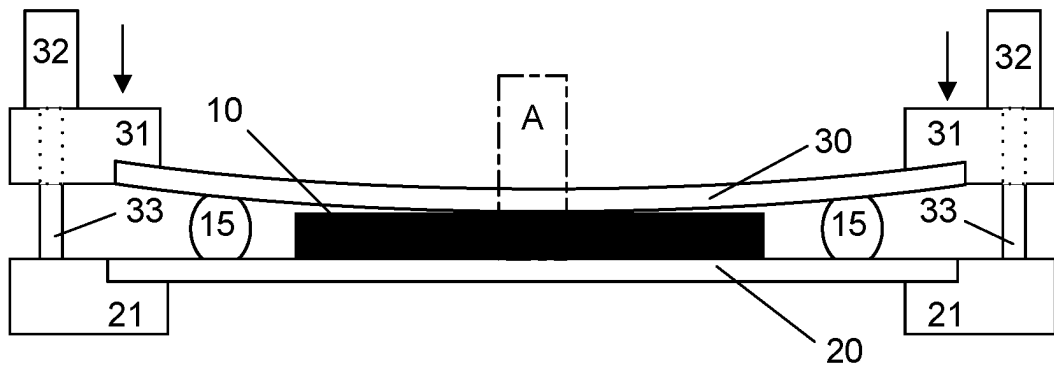


Fig. 2D

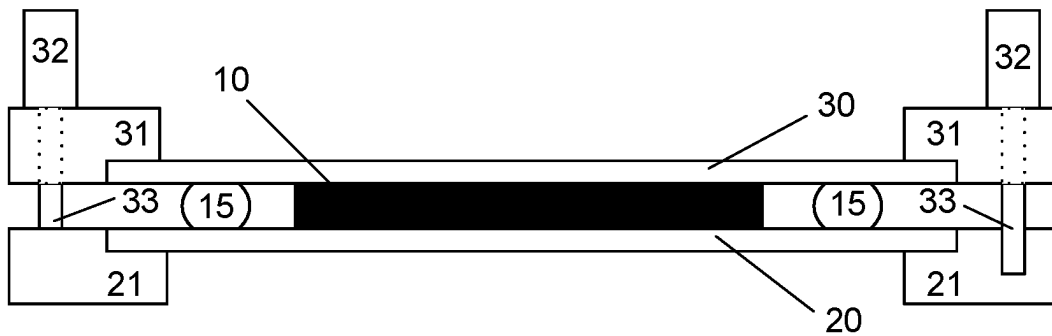


Fig. 2E

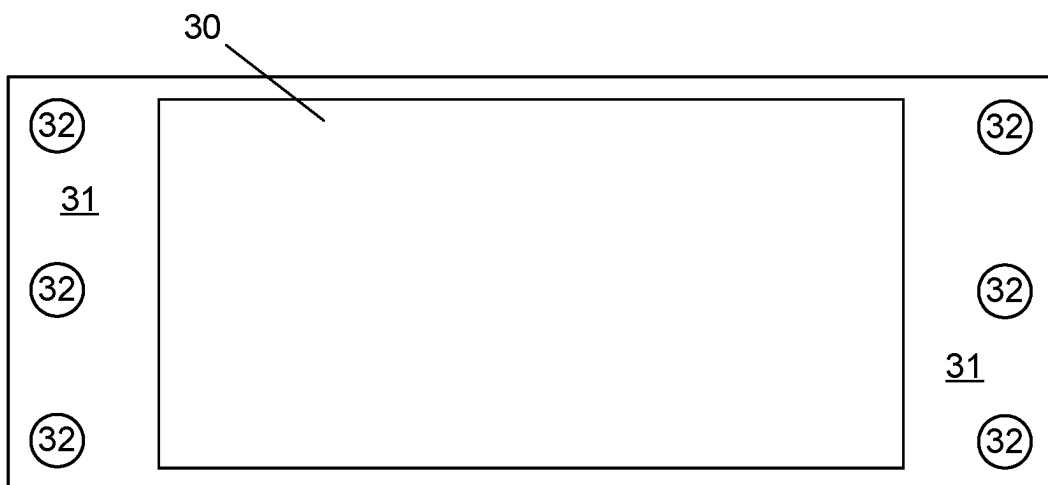


Fig. 3A

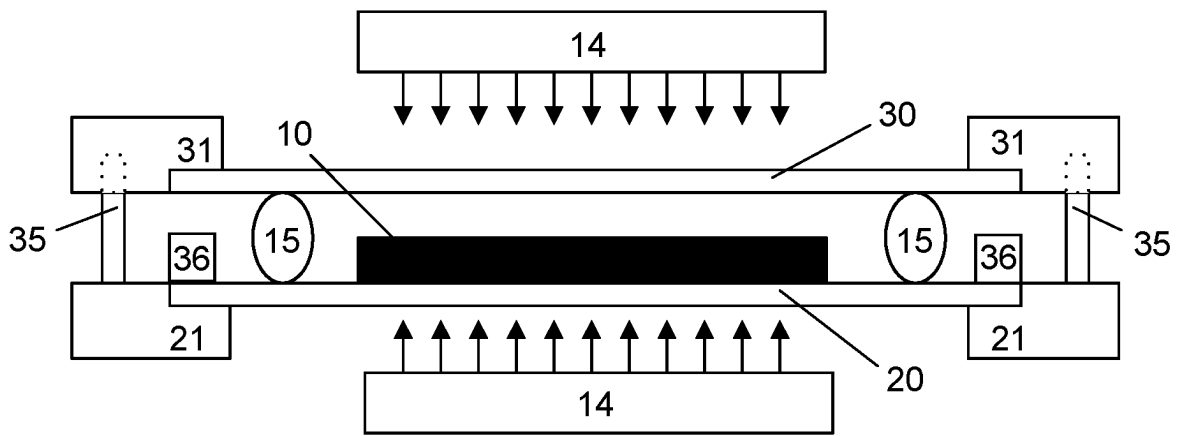


Fig. 3B

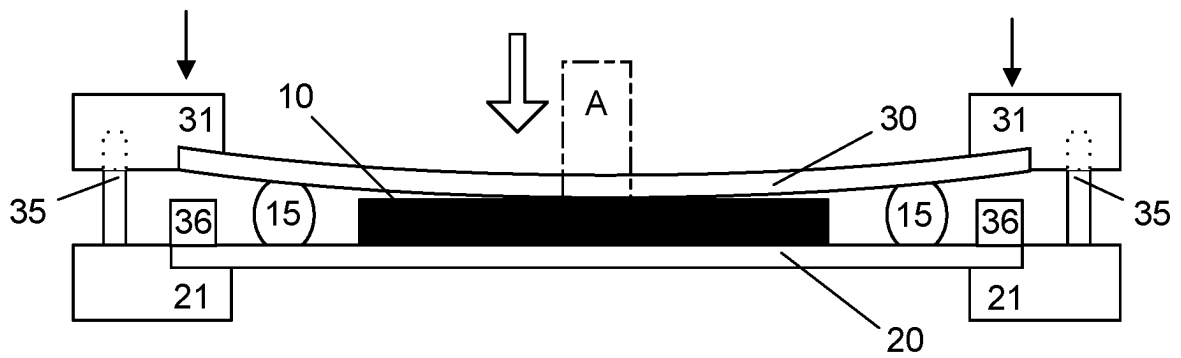


Fig. 3C



Fig. 4A

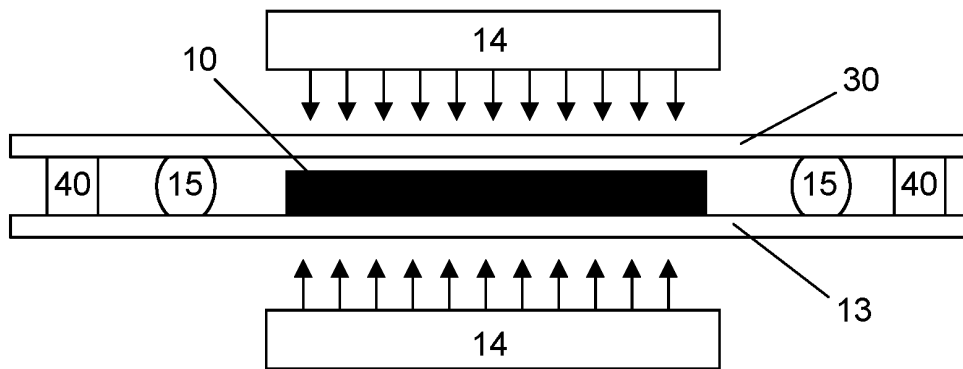


Fig. 4B

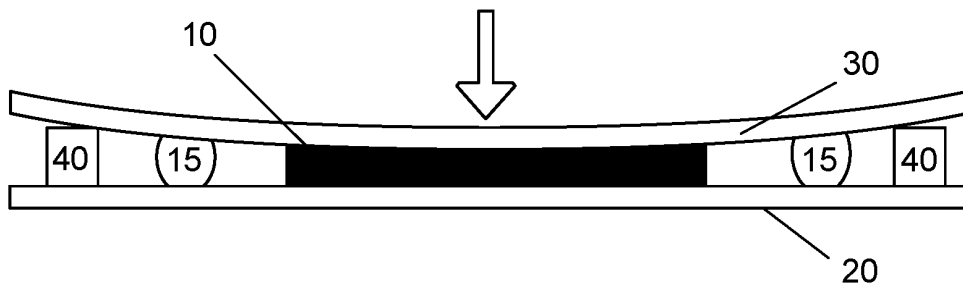


Fig. 5A

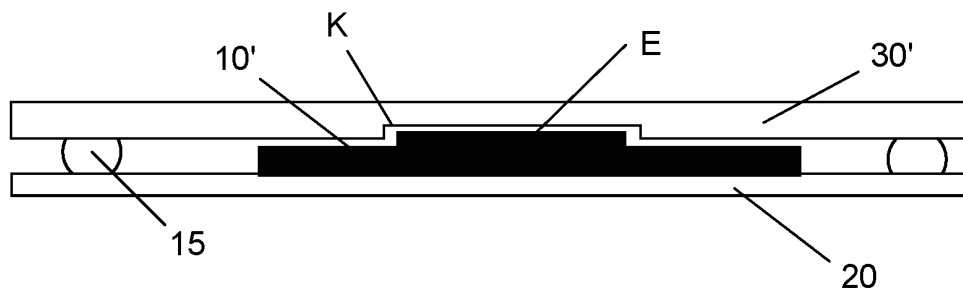


Fig. 5B

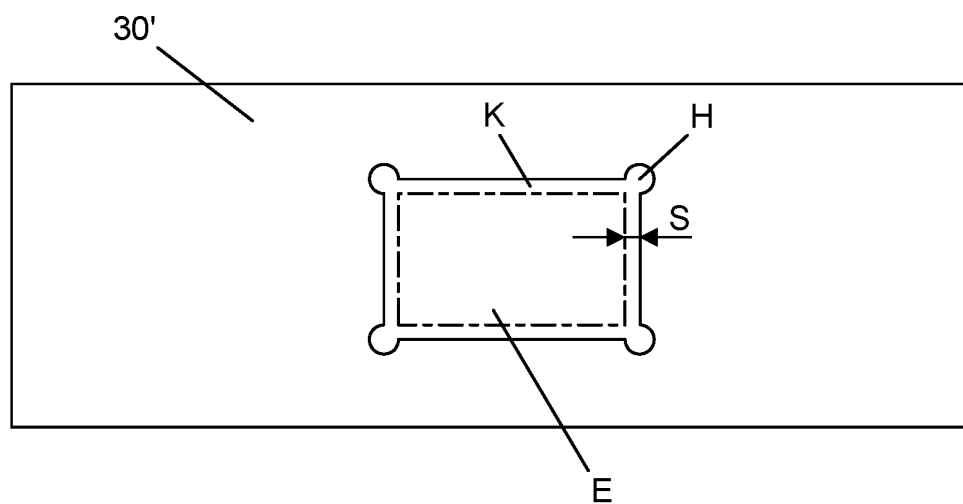


Fig. 6

