(19) österreichisches patentamt

(10) **AT 519013 A4 2018-03-15**

(12) Österreichische Patentanmeldung

(21) Anmeldenummer: A 50883/2016
(22) Anmeldetag: 30.09.2016
(43) Veröffentlicht am: 15.03.2018

(51) Int. Cl.: ***E04B 1/32*** (2006.01)

(56) Entgegenhaltungen:
WO 2005068740 A1
AT 509290 A1
DE 2923370 A1

(71) Patentanmelder:
Technische Universität Wien
1040 Wien (AT)

(74) Vertreter:
Schwarz & Partner Patentanwälte OG
Wien

(54) **Verfahren zur Herstellung von einfach gekrümmten und zweifach gekrümmten Schalen**

(57) Das Verfahren zur Herstellung von einfach gekrümmten Schalen (1) und zweifach gekrümmten Schalen (10) umfasst: Herstellen von Schalensegmenten (2, 20) unter kontrollierten Bedingungen, vorzugsweise in einem Fertigteilwerk; Vorbrechen der Schalensegmente (2, 20) mittels einer Brechvorrichtung (5) unter kontrollierten Bedingungen, vorzugsweise im Fertigteilwerk, und Transportieren der vorgebrochenen Schalensegmente (2, 20) zu einer Baustelle, oder Transportieren der Schalensegmente (2, 20) zur Baustelle und Vorbrechen der Schalensegmente (2, 20) mittels der Brechvorrichtung (5) auf der Baustelle; Auflegen eines Pneus auf einer, vorzugsweise ebenen, Grundfläche (7); Auflegen und Anordnen der Schalensegmente (2, 20) auf dem Pneu; Anordnen zumindest eines flexiblen Zugglieds, an gegenüberliegenden Seitenrändern (9) einer Basisfläche (8) der einfach gekrümmten Schale (1) oder in Umfangsrichtung an einem äußeren Rand (19) der Basisfläche (80) der zweifach gekrümmten Schale (10); Durchführen des Formgebungsprozesses, also Anheben und Verkrümmen der Schalensegmente (2, 20) durch Einblasen von Luft in den Pneu und/oder unter Zugbelastung des zumindest einen Zugglieds.

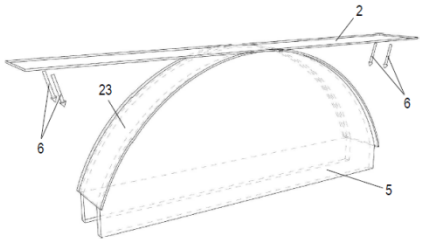


FIG. 3

AT 519013 A4 2018-03-15

Zusammenfassung:

Das Verfahren zur Herstellung von einfach gekrümmten Schalen (1) und zweifach gekrümmten Schalen (10) umfasst: Herstellen von Schalensegmenten (2, 20) unter kontrollierten Bedingungen, vorzugsweise in einem Fertigteilwerk; Vorbrechen der Schalensegmente (2, 20) mittels einer Brechvorrichtung (5) unter kontrollierten Bedingungen, vorzugsweise im Fertigteilwerk, und Transportieren der vorgebrochenen Schalensegmente (2, 20) zu einer Baustelle, oder Transportieren der Schalensegmente (2, 20) zur Baustelle und Vorbrechen der Schalensegmente (2, 20) mittels der Brechvorrichtung (5) auf der Baustelle; Auflegen eines Pneus auf einer, vorzugsweise ebenen, Grundfläche (7); Auflegen und Anordnen der Schalensegmente (2, 20) auf dem Pneu; Anordnen zumindest eines flexiblen Zugglieds, an gegenüberliegenden Seitenrändern (9) einer Basisfläche (8) der einfach gekrümmten Schale (1) oder in Umfangsrichtung an einem äußeren Rand (19) der Basisfläche (80) der zweifach gekrümmten Schale (10); Durchführen des Formgebungsprozesses, also Anheben und Verkrümmen der Schalensegmente (2, 20) durch Einblasen von Luft in den Pneu und/oder unter Zugbelastung des zumindest einen Zugglieds.

(Fig. 3)

T 19712

Verfahren zur Herstellung von einfach gekrümmten und zweifach gekrümmten Schalen

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung von einfach gekrümmten Schalen und zweifach gekrümmten Schalen.

Einfach räumlich gekrümmte Flächen sind in einer Raumebene und zweifach räumlich gekrümmte Flächen sind in zwei unterschiedlichen Raumebenen gekrümmt. Entsprechende Flächentragwerke oder Schalen, zum Beispiel aus Beton, können in einfach gekrümmter Ausbildung beispielsweise als Tunnel und in zweifach gekrümmter Ausbildung beispielsweise als Hallenüberdachung verwendet werden.

Besonders geeignet für die Herstellung von gekrümmten Flächen sind Werkstoffe, die sich gießen lassen, wie z.B. Stahlbeton, Kunststoffe, Wasser bzw. Eis.

Gekrümmte Schalen zeichnen sich dadurch aus, dass sie bei geeigneter Form und Lagerung Lasten überwiegend durch Normalkräfte abtragen. Dies führt zu einer äußerst günstigen Materialausnutzung und geringem Materialverbrauch. Den Ersparnissen beim Materialverbrauch stehen aber ein hoher Aufwand für Lohnkosten und Material für die Herstellung der Schalung gegenüber. Ausgeführte Bogentragwerke und Schalentragwerke, wie sie beispielsweise in „Kuppeln aller Zeiten – aller Kulturen von Erwin Heinle und Jörg Schlaich, DVA, Stuttgart, 1996 und „Heinz Isler – Schalen“ von Ekkard Ramm und Eberhard Schunk (Hrsg.), Karl Krämer Verlag, Stuttgart, 1986, S. 51, 68, 70, 77 beschrieben sind, weisen in der Regel komplizierte, räumlich gekrümmte Schalungen aus Holz, Stahl, Kunststoff oder gefrästen Hartschaumblöcken auf.

Um beim Bau räumlich gekrümmter Schalungen Kosten zu sparen, sind auch pneumatische Schalungen bekannt geworden. Schalen in Kugelform oder in Zylinderform und Schalen mit mehr oder weniger geringfügigen Abwandlungen dieser Grundformen können auf diese Weise hergestellt werden, siehe z.B. „Kuppelbau mit pneumatischer Schalung“ von Franz Derflinger, in „Beton- und Stahlbetonbau“, Jahrgang 1983, Heft 11, Seite 299 bis 302.

Um die Form einer pneumatischen Schalung zu verändern, wird in der DE 35 00 153 vorgeschlagen, auf der Oberfläche der pneumatischen Schalung radial verlaufende Seile anzuordnen, die gegen die pneumatische Schalung vorgespannt sind. Mit der pneumatischen

Schalung gemäß DE 35 00 153 wird die Krümmung der Schalung in der Nähe der Seile örtlich erhöht, was günstig für die Stabilität der auf dieser Schalung herzustellenden Schale ist.

Nachteilig ist, dass das Aufbringen des Baustoffs der Schale in dünnen Schichten, z.B. durch Spritzbeton, erfolgen muss, weil die Tragfähigkeit des Pneus für gleichmäßig verteilte Lasten zwar hoch ist, örtliche Lasten aber zu großen Verformungen des Pneus führen.

Der Begriff „Pneu“ bezeichnet allgemein ein aufblasbares Gebilde.

Weil das Aufbringen des Spritzbetons auf den Pneu zur Herstellung einer Betonschale oder das Aufspritzen von Wasser auf den Pneu zur Herstellung einer Eisschale ein aufwändiger Herstellungsvorgang ist, ist in der EP 1 706 553 vorgeschlagen worden, eine Platte aus gießfähigem Material wie z.B. Beton oder Wasser bzw. Eis auf einer ebenen Arbeitsfläche herzustellen und die monolithisch hergestellte Platte anschließend durch das Aufblasen eines Pneus und das Anspannen von Spanngliedern in eine Schale umzuformen. Nachteilig bei diesem Verfahren ist, dass die Krümmung der mit diesem Verfahren herzustellenden Schale begrenzt ist, weil die im weichen Material während des Umformungsprozesses entstehenden Druckspannungen zu einem Stabilitätsversagen der Bereiche mit weichem Material führen könnten. Die Bereiche mit weichem Material sind deshalb auf kleine Abmessungen beschränkt.

Um das Herstellen einer zweifach gekrümmten Schale aus einer ebenen Ausgangsform zu ermöglichen, ohne dass ein zweites weiches Material in der Schale verbleibt, ist in der AT 506 902 vorgeschlagen worden, ebene Flächentragwerkselemente auf einem Pneu aufzulegen, sodass keilförmige Zwischenräume zwischen den ebenen verlegten Flächentragwerkselementen verbleiben. Die Schale wird durch das Aufblasen des Pneus und das Anspannen von Zuggliedern gebildet. Es hat sich herausgestellt, siehe z.B. Ice Domes – Development of Construction Methods“ von Sonja Dallinger, Dissertation, Technische Universität Wien, 2011, dass nach diesem Verfahren hergestellte Schalen auf kleine Spannweiten von ca. zehn Metern beschränkt sind, weil die Zugkräfte im Pneu, die gleich dem Produkt aus Innendruck und Krümmungsradius sind, sonst zu einem Reißen der Fugen des Pneus führen.

Da die in EP 1 706 553 und AT 506 902 beschriebenen Verfahren jeweils auf kleine Krümmungen und kleine Spannweiten beschränkt sind, wird in der AT 511 948 vorgeschlagen, die keilförmigen Hohlräume in der ursprünglich ebenen Platte durch

keilförmige Pneus zu füllen. Diese keilförmigen Pneus sind zugbeanspruchte Strukturen und somit auch bei großen Abständen zwischen den Segmenten nicht stabilitätsgefährdet, wenn diese während des Umformens von einer ebenen Fläche zu einer zweifach gekrümmten Schale zusammengedrückt werden. Somit werden größere Krümmungen und auch größere Strukturen ermöglicht. Nachteilig bei diesem Verfahren ist, dass die monolithische Platte in einem Zug unter Baustellenbedingungen gegossen werden muss und, dass die ebene Fläche während des Verformens erstmals in die gekrümmte Form gebracht wird. Spröde Baumaterialien, wie z.B. Beton und Wasser bzw. Eis, müssen während des Umformungsprozesses in die richtige Form „brechen“, was ein erhöhtes Risiko einer Abweichung von der beabsichtigten Form mit sich bringt. Zusätzlich müssen alle Ränder und alle keilförmigen Aussparungen in der Platte auf einmal geschalt werden.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein verbessertes Verfahren zur Herstellung von einfach und zweifach gekrümmten Schalen ohne den Aufbau einer räumlich gekrümmten Schalung und des dazugehörigen Lehrgerüsts zu ermöglichen, das nicht auf kleine Spannweiten und Krümmungen begrenzt ist und bei gleichen Segmenten den Aufwand für die Herstellung der Schalung reduziert.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch ein Verfahren zur Herstellung von einfach gekrümmten Schalen und zweifach gekrümmten Schalen mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst.

Das erfindungsgemäße Verfahren umfasst folgende Schritte:

- Herstellen von, vorzugsweise bewehrten, Schalensegmenten unter kontrollierten Bedingungen, vorzugsweise in einem Fertigteilwerk;
- Vorbrechen der Schalensegmente mittels einer Brechvorrichtung unter kontrollierten Bedingungen, vorzugsweise im Fertigteilwerk, und Transportieren der vorgebrochenen Schalensegmente zu einer Baustelle, oder Transportieren der Schalensegmente zur Baustelle und Vorbrechen der Schalensegmente mittels der Brechvorrichtung auf der Baustelle;
- Auflegen eines Pneus auf einer, vorzugsweise ebenen, Grundfläche, wobei der Pneu vorzugsweise aus einer ersten Folie und einer zweiten Folie besteht, die an ihren Rändern dicht miteinander verbunden sind;
- Auflegen und Anordnen der Schalensegmente auf dem Pneu, und gegebenenfalls anschließendes biegesteifes Verbinden der einzelnen Schalensegmente;
- Anordnen zumindest eines flexiblen Zugglieds, das verschieblich gegenüber den Schalensegmenten ausgebildet ist, an gegenüberliegenden Seitenrändern einer

Basisfläche der einfach gekrümmten Schale oder in Umfangsrichtung an einem äußeren Rand einer Basisfläche der zweifach gekrümmten Schale;

- Durchführen des Formgebungsprozesses, umfassend das Anheben und Verkrümmen der Schalensegmente durch Einblasen von Luft in den Pneu und/oder unter Zugbelastung des zumindest einen Zugglieds.

Zweckmäßig werden die einzelnen Elemente aus gießfähigen Materialien wie beispielsweise Beton, Stahlbeton, Faserbeton, textilbewehrtem Beton, allgemein nichtmetallisch bewehrtem Beton, bewehrtem oder nichtbewehrtem Kunststoff, oder bewehrtem oder nichtbewehrtem Eis gebildet, da diese Materialien eine hohe Stabilität der Schale gewährleisten.

Des Weiteren werden zweckmäßig die Zugglieder aus Spanndrahtlitzen, Monolitzen, Edelstahllitzen oder aus faserverstärktem Kunststoff gebildet, weil sie die nötige Zugfestigkeit und Flexibilität aufweisen.

Gemäß einer bevorzugten Variante wird der Pneu aus zwei übereinanderliegenden, an den Rändern dicht miteinander verbundenen, beispielsweise verschweißten, Folien, einer ersten Folie und einer zweiten Folie, gebildet. Für das Einblasen der Luft werden eine oder mehrere Gaseinleitvorrichtungen an der oberen Folie vorgesehen.

Die Folien bestehen zweckmäßig aus Polyvinylchlorid, Polyethylen, Nylon oder allgemein bewehrten oder unbewehrten dünnen luftundurchlässigen Membranen in allen denkbaren Varianten.

Zur Anpassung an die gewünschte gekrümmte Form kann vorgesehen werden, dass bei der Herstellung der Schalensegmente unter kontrollierten Bedingungen Sollbruchstellen in den Schalensegmenten durch Eindrücken von Kerben in das gegossene, noch nicht ausgehärtete Baumaterial, oder durch Einlegen von Einbauteilen, oder durch nachträgliches Einschneiden vor dem Formgebungsprozess geschaffen werden.

In einer zweckmäßigen Variante des erfindungsgemäßen Verfahrens erfolgt das Anbringen einer Auflast entlang des äußeren Randes der Grundfläche, indem dieser entweder mit zusätzlichen Gewichten, beispielsweise Auflastgewichten, beschwert wird und/oder die Dicke der Schalensegmente entlang des äußeren Randes der Grundfläche größer ausgebildet wird als die Dicke der inneren Bereiche der Schalensegmente.

Vor oder nach dem Formgebungsprozess, also dem Anheben und Verkrümmen der Schalensegmente, werden die Elemente gegebenenfalls durch Verbindungsmittel, die vorzugsweise im Bereich der Seitenkanten der Schalensegmente in die Schalensegmente eingegossen sind, an den Seitenkanten der Schalensegmente miteinander verbunden. Einfach gekrümmte Schalen werden an den Seitenkanten bevorzugt vor dem Formgebungsprozess verbunden, und zweifach gekrümmte Schalen werden an den Seitenkanten bevorzugt nach dem Formgebungsprozess verbunden. Wenn die einzelnen Schalensegmente durch Fugen voneinander getrennt sind, werden die Fugen gegebenenfalls nach dem Umformungsprozess mit einem aushärtenden Vergussmaterial verfüllt, wodurch eine hohe Stabilität der so gebildeten Schale sichergestellt ist.

Als Vergussmaterial hat sich Zementmörtel, Kunstharz, Kunststoff oder Wasser bewährt.

Vorteilhafterweise werden die Verbindungsmittel zweier angrenzender Schalensegmente beim Formgebungsprozess an den Seitenkanten der Schalensegmente automatisch in Bezug auf einander ausgerichtet, wobei die Verbindungsmittel vor oder nach dem Formgebungsprozess zugfest und gegebenenfalls biegesteif miteinander verbunden, vorzugsweise verschraubt, werden.

Gemäß einer weiteren zweckmäßigen Variante wird nicht die gesamte Grundfläche der einfach gekrümmten Schale oder der zweifach gekrümmten Schale mit Schalensegmenten belegt, wodurch Aussparungen entstehen, die in der einfach gekrümmten Schale oder der zweifach gekrümmten Schale eine oder mehrere vorbestimmte Ausnehmungen bilden. Diese Ausnehmungen können anschließend beispielsweise mit transparentem Material abgedeckt werden. In der Mitte der Grundfläche der zweifach gekrümmten Schale können die Schalensegmente am Aussparungsrand der Aussparung zusätzlich durch einen Ring, beispielsweise aus Stahl, biegesteif miteinander verbunden werden, wobei die Schalensegmente beispielsweise mittels eingegossener Verbindungsmittel mit dem Ring verbunden werden können. Hierdurch wird eine sehr schnelle Montage ermöglicht.

Zur Erzielung einer Schale mit hoher Stabilität ist es zweckmäßig, wenn auf die einfach gekrümmte Schale oder die zweifach gekrümmte Schale nach dem Formgebungsprozess der Schalensegmente und gegebenenfalls nach dem Verbinden der Verbindungsmittel, eine zusätzliche Schicht aus einem Baustoff aufgebracht wird, die mit der einfach gekrümmten Schale oder der zweifach gekrümmten Schale schubfest verbunden wird.

In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform wird die zweifach gekrümmte Schale nach dem Verfüllen der Fugen im unteren Bereich vorgespannt, sodass sich ein Druckring ausbildet. Danach wird die zweifach gekrümmte Schale an mindestens drei entlang des Randes der Schale angeordneten Stützen mittels einer Hebevorrichtung hochgehoben. Hierdurch wird eine sehr schnelle und kostengünstige Montage eines mit der Schale überdachten Bauwerks ermöglicht

Die Erfindung ist nachfolgend anhand nicht einschränkender Ausführungsbeispiele unter Bezugnahme auf die Zeichnungen näher beschrieben. In den Zeichnungen zeigen

Fig. 1 ein rechteckiges, vorzugsweise bewehrtes, Schalensegment zur Herstellung einer einfach gekrümmten Schale gemäß einem ersten Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Verfahrens;

Fig. 2 in einem Querschnitt A-A gemäß Fig. 9, eine beispielhafte Ausführung eingegossener Verbindungsmittel angrenzender Schalensegmente vor und nach dem Verbinden;

Fig. 3 das Schalensegment aus Fig. 1 während des Vorbrechens mittels einer Lehre;

Fig. 4 auf einem Pneu aufgelegte und angeordnete Schalensegmente zur Herstellung einer einfach gekrümmten Schale;

Fig. 5 die Schalensegmente aus Fig. 4 während des Formgebungsprozesses;

Fig. 6 eine einfach gekrümmte Schale nach dem Formgebungsprozess, hergestellt gemäß dem ersten Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Verfahrens;

Fig. 7 ein blütenblattförmiges, vorzugsweise bewehrtes, Schalensegment zur Herstellung einer zweifach gekrümmten Schale gemäß einem zweiten Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Verfahrens;

Fig. 8 das Schalensegment aus Fig. 7 während des Vorbrechens mittels einer Lehre;

Fig. 9 auf einem Pneu aufgelegte und angeordnete Schalensegmente zur Herstellung einer zweifach gekrümmten Schale;

Fig. 10 eine zweifach gekrümmte Schale nach dem Formgebungsprozess, hergestellt gemäß dem zweiten Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Verfahrens;

Fig. 11 eine zweifach gekrümmte Schale nach dem Formgebungsprozess gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Verfahrens;

Fig. 12 die zweifach gekrümmte Schale aus Fig. 11, wobei die zweifach gekrümmte Schale an Stützen angehoben ist;

Im Folgenden wird auf die Figuren 1 bis 6 Bezug genommen:

Ein erstes Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Verfahrens erläutert die Herstellung einer einfach gekrümmten Schale 1 aus mehreren rechteckigen Schalensegmenten 2. Die Schale 1 könnte beispielsweise als Tunnelelement oder als Wildwechselbrücke für Straßen oder Bahngleise genutzt werden.

Als erster Schritt wird eine rechteckiges Schalensegment 2 gemäß Figur 1 hergestellt, wobei dieses Schalensegment 2 beispielsweise aus Beton gegossen und mit Stahl bewehrt wird. Wird dieser erste Schritt unter kontrollierten Bedingungen in einem Fertigteilwerk durchgeführt, können das Schalensegment 2 und alle weiteren Schalensegmente 2 in Bezug auf Herstellungszeit, Herstellungskosten und Qualität optimiert werden.

Die „kontrollierten Bedingungen“ beziehen sich hierbei auf Bedingungen die beispielsweise in einem für das Herstellen von Fertigteilen optimierten Fertigteilwerk vorliegen, und die auf einer konventionellen Baustelle üblicherweise nicht vorliegen. Solche Bedingungen umfassen beispielsweise den weitgehenden Ausschluss von Klima- und Wettereinflüssen, gleichbleibende Qualität des Baumaterials, konstante Aushärtebedingungen, optimierte und gleiche Gießformen für alle Schalensegmente 2, usw.

Weiters können Sollbruchstellen durch Eindrücken von Kerben in das gegossene, noch nicht ausgehärtete Baumaterial oder durch Einlegen von Einbauteilen, oder durch nachträgliches Einschneiden von Nuten in das ausgehärtete Baumaterial, in die Schalensegmente 2 eingebracht werden. Hierdurch können die Schalensegmente 2 später besonders gut an ihre endgültige Form als Teil der Schale 1 angepasst werden.

Optional können zusätzlich im Bereich der Seitenkanten 3 der Schalensegmente 2 Verbindungsmittel 4 in die Schalensegmente 2 eingegossen werden. Anhand dieser Verbindungsmittel 4 können die Schalensegmente 2 verbunden werden. Alternativ können die Verbindungsmittel 4 erst nach dem Aushärten des Baumaterials an den Schalensegmenten 2 angebracht werden. Eine beispielhafte Ausführung dieser Verbindungsmittel 4 ist in Figur 2 dargestellt.

In einem zweiten Schritt erfolgt gemäß Figur 3 das Vorbrechen der Schalensegmente 2 mittels einer Brechvorrichtung 5. Diese Brechvorrichtung 5, beispielsweise eine Lehre oder eine Bogenlehre gemäß Figur 3, bildet eine konvexe oder konkave Auflagefläche 23 für zumindest ein Schalensegment 2 aus, an welche Auflagefläche 23 die Schalensegmente 2

gleichzeitig oder nacheinander durch das Vorbrechen angepasst werden. Im Fall der Bogenlehre werden die Schalensegmente 2 mittels Zugkräften 6 über die konvexe Positivform der Lehre gezogen und so an die Positivform der Lehre angepasst. Alternativ kann die Bogenlehre auch eine konkave Negativform aufweisen und die Schalensegmente 2 werden mittels Druckkräften, beispielsweise mittels eines aufblasbaren Pneus, in die Negativform hineingedrückt, und so an die Negativform der Bogenlehre angepasst. Wird dieser zweite Schritt ebenfalls unter kontrollierten Bedingungen in dem Fertigteilwerk durchgeführt, können auch hier die vorgebrochenen Schalensegmente 2 in Bezug auf Herstellungszeit, Herstellungskosten und Qualität optimiert werden.

Die „kontrollierten Bedingungen“ beziehen sich hierbei auf Bedingungen die beispielsweise in einem für das Herstellen von Fertigteilen optimierten Fertigteilwerk vorliegen, und die auf einer konventionellen Baustelle üblicherweise nicht vorliegen. Solche Bedingungen umfassen beispielsweise eine optimierte und für alle Schalensegmente 2 gleiche Schalung, oder eine optimierte Brechvorrichtung 5 zum Vorbrechen der Schalensegmente 2, oder optimierte Werkzeuge zum Einbringen der Sollbruchstellen in die Schalensegmente 2, um das Vorbrechen der Schalensegmente 2 zu optimieren, oder optimierte Werkzeuge zum Einbringen und Eingießen der Verbindungsmittel 4, usw.

Die vorgebrochenen Schalensegmente 2 werden dann stehend oder liegend auf ein Transportmittel, beispielsweise einen LKW, verladen und zu einer Baustelle, wo die einfach gekrümmte Schale 1 errichtet werden soll, transportiert.

Alternativ können die Schalensegmente 2 noch vor dem Vorbrechen zur Baustelle transportiert werden. Das Vorbrechen der Schalensegmente 2 mittels einer Brechvorrichtung 5 erfolgt dann erst auf der Baustelle. Diese Variante kann beispielsweise von Vorteil sein, wenn der Transport der Schalensegmente 2 im Stück, also ungebrochen, von Vorteil ist, oder wenn die Form der Brechvorrichtung 5 erst später auf der Baustelle festgelegt wird, oder wenn sich die Brechvorrichtung 5 bereits auf der Baustelle befindet.

Als dritter Schritt wird auf einer, vorzugsweise ebenen, Grundfläche 7 der Baustelle ein Pneu aufgelegt. Der Pneu, der in den Figuren nicht dargestellt ist, kann beispielsweise aus einer ersten Folie und einer zweiten Folie bestehen, die an ihren Rändern dicht miteinander verbunden sind. Als Material für die erste und die zweite Folie kann beispielsweise Polyvinylchlorid, Polyethylen oder Nylon sowie allgemein luftundurchlässige Membranen in allen handelsüblichen Varianten verwendet werden. Zwischen der ersten Folie und der zweiten Folie kann eine gasdurchlässige Schicht, beispielsweise ein Vlies, angeordnet sein.

In einem vierten Schritt werden auf dem Pneu die vorgebrochenen Schalensegmente 2 aufgelegt und derart angeordnet, dass die Anordnung die Schale 1 in ihrer nicht gekrümmten, vorzugsweise ebenen, Form gemäß Figur 4 ergibt, welche Form eine Fläche aufweist, die einer Basisfläche 8 der einfach gekrümmten Schale 1 entspricht.

Alternativ wird nicht die gesamte Basisfläche 8 der einfach gekrümmten Schale 1 mit Schalensegmenten 2 belegt, wodurch Aussparungen entstehen, die in der einfach gekrümmten Schale 1 eine oder mehrere vorbestimmte Ausnehmungen bilden. Diese Ausnehmungen können anschließend beispielsweise mit transparentem Material abgedeckt werden.

Optional werden die einzelnen Schalensegmente 2 anschließend verbunden. Dies kann mittels der eingegossenen Verbindungsmittel 4 erfolgen, welche beispielsweise mittels einer Schraubverbindung 14 schubfest und biegesteif miteinander verbunden werden. Insbesondere werden einfach gekrümmten Schalen 1 entlang der Seitenkanten 3 vor dem Formgebungsprozess miteinander verbunden. Derartige Verbindungen der einzelnen Schalensegmente 2 erfolgen mittels Verbindungsmitteln 4, welche eine zugfeste, druckfeste und biegesteife Verbindung bilden können.

In einem fünften Schritt werden zusätzlich an den einander gegenüberliegenden Seitenrändern 9 der Basisfläche 8 flexible Zugglieder, die verschieblich gegenüber den Schalensegmenten 2 ausgebildet sind, angebracht. Diese Zugglieder könnten beispielsweise aus Monolitzen, Edelstahllitzen oder aus faserverstärktem Kunststoff gebildet sein.

Zusätzlich kann die Schichtdicke 11 der Schalensegmente 2 im Bereich der Seitenränder 9 vergrößert sein, um damit eine zusätzliche Auflast zu schaffen. Diese zusätzliche Auflast könnte auch durch Auflastsegmente, die im Bereich der Seitenränder 9 an den Schalensegmenten 2 montiert werden, geschaffen werden.

In einem sechsten Schritt gemäß Figur 5 wird der Formgebungsprozess durchgeführt. Während des Formgebungsprozesses werden die Schalensegmente 2 angehoben und verkrümmt, sodass sie im Endzustand, also nach dem Formgebungsprozess, die einfach gekrümmte Schale 1 ausbilden. Das Anheben und Verkrümmen der Schalensegmente 2 erfolgt durch Einblasen von Luft in den Pneu, also beispielsweise zwischen die erste Folie und die zweite Folie, wodurch Druckkräfte 12 auf die Schalensegmente 2 wirken, und unter

Zugbelastung der Zugglieder, wodurch im Bereich der Seitenränder 9 der Schalensegmente 2 Zugkräfte 13 auf die Schalensegmente 2 wirken.

Alternativ kann der Formgebungsprozess auch ausschließlich mittels des Pneus oder ausschließlich mittels der Zugglieder durchgeführt werden.

Optional können die einzelnen Schalensegmente 2 erst nach dem Formgebungsprozess verbunden werden. Dies kann mittels der eingegossenen Verbindungsmittel 4 erfolgen, welche mittels der Schraubverbindung 14 schubfest und biegesteif miteinander verbunden werden, wobei sich die Verbindungsmittel 4 zweier angrenzender Schalensegmente 2 beim Formgebungsprozess automatisch an den Seitenkanten 3 gegeneinander ausrichten, und wobei zwischen zwei angrenzenden Schalensegmenten 2 die Fuge 15 verbleiben kann.

Die Fugen 15 können anschließend zusätzlich mit einem aushärtenden Vergussmaterial verfüllt werden, wodurch die, durch das Verformen der Elemente entstandenen Risse wieder verfüllt werden und eine hohe Stabilität der einfach gekrümmten Schale 1 sichergestellt ist. Als Vergussmaterial kann beispielsweise Zementmörtel, Kunstharz, Kunststoff oder Wasser zum Einsatz kommen.

In einem letzten Schritt kann nach dem Formgebungsprozess optional eine Schicht bestehend aus einem Baustoff, beispielsweise Spritzbeton, aufgebracht werden, die mit der einfach gekrümmten Schale 1 schubfest verbunden wird. Hierdurch wird eine besonders hohe Stabilität der so gebildeten, einfach gekrümmten Schale 1 sichergestellt.

Nach Abschluss des Formgebungsprozesses kann die Luft aus dem Pneu abgelassen oder abgesaugt werden. Fig. 6 zeigt die einfach gekrümmte Schale 1 mit einer Ausnehmung 17 in ihrem Endzustand. Die Ausnehmung 17 dient als Eingang. Alternativ kann die Ausnehmung als Lichteinlass, insbesondere als Fensteröffnung, oder Ähnliches dienen.

Im Folgenden wird auf die Figuren 7 bis 10 Bezug genommen:

Ein zweites Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Verfahrens erläutert die Herstellung einer zweifach gekrümmten Schale 10 aus mehreren blütenblattförmigen Schalensegmenten 20. Die Schale 10 könnte beispielsweise ganz allgemein als Kuppeldach oder spezifischer als Hallenüberdachung genutzt werden.

Als erster Schritt wird ein blütenblattförmiges Schalensegment 20 gemäß Figur 7 hergestellt, wobei dieses Schalensegment 20 beispielsweise aus Beton gegossen und mit Stahl bewehrt wird. Wird dieser erste Schritt unter den zuvor beschriebenen kontrollierten Bedingungen in einem Fertigteilwerk durchgeführt, können das Schalensegment 20 und alle weiteren Schalensegmente 20 in Bezug auf Herstellungszeit, Herstellungskosten und Qualität optimiert werden.

Weiters können Sollbruchstellen durch Eindrücken von Kerben in das gegossene, noch nicht ausgehärtete Baumaterial oder durch Einlegen von Einbauteilen, oder durch nachträgliches Einschneiden von Nuten in das ausgehärtete Baumaterial, in die Schalensegmente 20 eingebracht werden. Hierdurch können die Schalensegmente 20 später besonders gut an ihre endgültige Form als Teil der Schale 10 angepasst werden.

Optional können zusätzlich im Bereich der Seitenkanten 3 der Schalensegmente 20 Verbindungsmittel 4 in die Schalensegmente 20 eingegossen werden. Anhand dieser Verbindungsmittel 4 können die Schalensegmente 20 verbunden werden. Alternativ dazu werden die Verbindungsmittel 4 erst nach dem Aushärten des Baumaterials an den Schalensegmenten 20 angebracht. Eine beispielhafte Ausführung dieser Verbindungsmittel 4 ist in Figur 2 dargestellt.

In einem zweiten Schritt erfolgt gemäß Figur 8 das Vorbrechen der Schalensegmente 20 mittels einer Brechvorrichtung 5. Diese Brechvorrichtung 5, beispielsweise eine Lehre oder eine Bogenlehre gemäß Figur 8, bildet eine konvexe oder konkave Auflagefläche 24 für zumindest ein Schalensegment 20 aus, an welche Auflagefläche 24 die Schalensegmente 20 gleichzeitig oder nacheinander durch das Vorbrechen angepasst werden. Im Fall der Bogenlehre werden die Schalensegmente 20 mittels Zugkräften 6 über die konvexe Positivform der Lehre gezogen und so an die Positivform der Lehre angepasst. Alternativ kann die Bogenlehre auch eine konkave Negativform aufweisen und die Schalensegmente 20 werden mittels Druckkräften, beispielsweise mittels eines aufblasbaren Pneus, in die Negativform hineingedrückt, und so an die Negativform der Bogenlehre angepasst. Wird dieser zweite Schritt ebenfalls unter den zuvor beschriebenen kontrollierten Bedingungen in dem Fertigteilwerk durchgeführt, können auch hier die vorgebrochenen Schalensegmente 20 in Bezug auf Herstellungszeit, Herstellungskosten und Qualität optimiert werden.

Die vorgebrochenen Schalensegmente 20 werden dann stehend oder liegen auf ein Transportmittel, beispielsweise einen LKW, verladen und zu einer Baustelle, wo die zweifach gekrümmte Schale 10 errichtet werden soll, transportiert.

Alternativ können die Schalensegmente 20 noch vor dem Vorbrechen zur Baustelle transportiert werden. Das Vorbrechen der Schalensegmente 20 mittels einer Brechvorrichtung 5 erfolgt dann erst auf der Baustelle. Diese Variante kann beispielsweise von Vorteil sein, wenn der Transport der Schalensegmente 20 im Stück, also ungebrochen, von Vorteil ist, oder wenn die Form der Brechvorrichtung 5 erst später auf der Baustelle festgelegt wird, oder wenn sich die Brechvorrichtung 5 bereits auf der Baustelle befindet.

Als dritter Schritt wird auf einer, vorzugsweise ebenen, Grundfläche 7 der Baustelle ein Pneu aufgelegt. Der Pneu, der in den Figuren nicht dargestellt ist, kann beispielsweise aus einer ersten Folie und einer zweiten Folie bestehen, die an ihren Rändern dicht miteinander verbunden sind. Als Material für die erste und die zweite Folie kann beispielsweise Polyvinylchlorid, Polyethylen oder Nylon sowie allgemein luftundurchlässige Membranen in allen handelsüblichen Varianten verwendet werden. Zwischen der ersten Folie und der zweiten Folie kann eine gasdurchlässige Schicht, beispielsweise ein Vlies, angeordnet sein.

In einem vierten Schritt werden auf dem Pneu die vorgebrochenen Schalensegmente 20 aufgelegt, angeordnet und, beispielsweise mit Hilfe einer wie in Figur 2 dargestellten Verbindung, zusammengefügt, wobei die Anordnung die Schale 10 in ihrer nicht gekrümmten, vorzugsweise ebenen Form gemäß Figur 9 ergibt, welche Form eine Fläche aufweist, die einer Basisfläche 80 der zweifach gekrümmten Schale 10 entspricht.

Alternativ wird nicht die gesamte Basisfläche 80 der zweifach gekrümmten Schale 10 mit Schalensegmenten 2 belegt, wodurch Aussparungen 16 entstehen, die in der zweifach gekrümmten Schale 10 eine oder mehrere vorbestimmte Ausnehmungen 17 bilden. Diese Ausnehmungen 17 können anschließend beispielsweise mit transparentem Material abgedeckt werden. Gemäß dem zweiten Ausführungsbeispiel befindet sich eine solche Aussparung 16 in der Mitte der Basisfläche 80 der zweifach gekrümmten Schale 10. Die Schalensegmente 20 können hierdurch am Aussparungsrand 18 dieser Aussparung 16 zusätzlich durch einen Ring, beispielsweise aus Stahl, biegesteif miteinander verbunden werden. Hierbei können die Schalensegmente 20 beispielsweise mittels eingegossenen Verbindungsmitteln 4, insbesondere vor dem Formgebungsprozess, mit dem Ring verbunden werden, wodurch eine sehr schnelle Montage ermöglicht wird.

In einem fünften Schritt wird zusätzlich in Umfangsrichtung an einem äußeren Rand 19 der Basisfläche 80 ein flexibles Zugglied verschieblich gegenüber den Schalensegmenten 20 angebracht. Dieses Zugglied kann beispielsweise aus einer gefetteten und in einem

Polyethylenhüllrohr angeordneten Spanndrahtlitze bestehen, oder aus Monolitzen, Edelstahllitzen oder aus faserverstärktem Kunststoff gebildet sein.

Zusätzlich kann die Schichtdicke 11 der Schalensegmente 20 im Bereich des äußeren Rands 19 vergrößert sein, um damit eine zusätzliche Auflast zu schaffen. Diese zusätzliche Auflast könnte auch durch Auflastsegmente 21, die in Figur 11 dargestellt sind und im Bereich des äußeren Rands 19 an den Schalensegmenten 20 angebracht werden, geschaffen werden.

In einem sechsten Schritt wird, ähnlich wie in Figur 5 für den Fall der einfach gekrümmten Schale 1 dargestellt, der Formgebungsprozess durchgeführt. Während des Formgebungsprozesses werden die Schalensegmente 20 angehoben und verkrümmt, sodass sich im Endzustand, also nach dem Formgebungsprozess, die zweifach gekrümmte Schale 10 ausbildet. Das Anheben und Verkrümmen der Schalensegmente 20 erfolgt durch Einblasen von Luft in den Pneu, also beispielsweise zwischen die erste Folie und die zweite Folie, und durch anspannen des Zugglieds. Das entlang des äußeren Randes 19 verlegte Zugglied übt hierbei Umlenkkräfte im Bereich des äußeren Randes 19 auf die Schale 10 aus.

Alternativ kann der Formgebungsprozess auch ausschließlich mittels des Pneus oder ausschließlich mittels des Zugglieds durchgeführt werden, wobei im zweiten Fall zumindest ein Anheben der Schalensegmente, beispielsweise an dem Ring der am Aussparungsrand 18 der Aussparung 16 angebracht ist, durchgeführt wird.

Die einzelnen Schalensegmente 20 können nach dem Formgebungsprozess entlang ihrer Seitenkanten 3 zugfest und/ oder biegesteif miteinander verbunden werden. Dies kann mittels der eingegossenen Verbindungsmittel 4 erfolgen. Während des Formgebungsprozesses wird der Abstand zwischen den Schalensegmenten 20 geringer und die Fugen 15 werden kleiner, wodurch sich die Verbindungsmittel 4 zweier angrenzender Schalensegmente 20 während des Formgebungsprozesses vorzugsweise automatisch an den Seitenkanten 3 gegeneinander ausrichten, und wobei zwischen zwei angrenzenden Schalensegmenten 20 eine Fuge 15 verbleiben kann. Alternativ werden die Schalensegmente 20 der zweifach gekrümmten Schalen 10 an den Seitenkanten 3 ausschließlich nach dem Formgebungsprozess zugfest miteinander verbunden, wobei die Verbindungsmittel 4 nach dem Formgebungsprozess ein- oder angebracht werden.

Die Fugen 15 können anschließend zusätzlich mit einem aushärtenden Vergussmaterial verfüllt werden, wodurch eine hohe Stabilität der zweifach gekrümmten Schale 10

sichergestellt ist. Als Vergussmaterial kann beispielsweise Zementmörtel, Kunstharz, Kunststoff oder Wasser zum Einsatz kommen.

In einem letzten Schritt kann nach dem Formgebungsprozess optional eine Schicht bestehend aus einem Baustoff, beispielsweise Spritzbeton, aufgebracht werden, die mit der zweifach gekrümmten Schale 10 schubfest verbunden wird. Hierdurch werden die, durch das Verkrümmen der Schalensegmente 20 entstandenen Risse wieder verfüllt und eine besonders hohe Stabilität der so gebildeten, zweifach gekrümmten Schale 10 kann sichergestellt werden.

Nach Abschluss des Formgebungsprozesses kann die Luft aus dem Pneu abgelassen oder abgesaugt werden. Fig. 10 zeigt die zweifach gekrümmte Schale 10 in ihrem Endzustand.

Figuren 11 und 12 zeigen eine zweifach gekrümmte Schale 10 nach dem Formgebungsprozess gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Verfahrens. Die Schale 10 ist in Umfangrichtung entlang des äußeren Randes 19 vorgespannt. Die Schale 10 weist im Bereich des äußeren Randes 19 Auflastsegmente 21 auf, wodurch eine zusätzliche Auflast für eine verbesserte Durchführung des Formgebungsprozesses geschaffen wird. Weiters sind entlang des Randes 19 der zweifach gekrümmte Schale 10 vier Stützen 22 angeordnet. Mittels einer Hebevorrichtung, beispielsweise zumindest einem (Bau-)Kran oder mit Hilfe von Litzenhebern, kann die Schale 10 an diesen Stützen 22 hochgehoben werden. Alternativ kann die Schale mittels der Hebevorrichtung auf ein Gebäude gehoben werden, wobei die Schale 10 nicht an Stützen 22 angeordnet ist. Hierdurch wird eine sehr schnelle und kostengünstige Montage eines mit der Schale 10 überdachten Bauwerks ermöglicht.

In den Beispielen wurde die Herstellung von Schalen 1, 10 mit rechteckigem und kreisförmigem Grundriss beschrieben. Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren ist jedoch die Herstellung einfach und zweifach räumlich gekrümmter Schalen beliebiger Form über beliebigen Grundrissen möglich.

Ansprüche:

1. Verfahren zur Herstellung von einfach gekrümmten Schalen (1) und zweifach gekrümmten Schalen (10) aus, vorzugsweise bewehrten, vorgefertigten Schalensegmenten (2, 20), **gekennzeichnet durch**:

- Vorbrechen der Schalensegmente (2, 20) mittels einer Brechvorrichtung (5) unter kontrollierten Bedingungen, vorzugsweise im Fertigteilwerk, und Transportieren der vorgebrochenen Schalensegmente (2, 20) zu einer Baustelle, oder Transportieren der Schalensegmente (2, 20) zur Baustelle und Vorbrechen der Schalensegmente (2, 20) mittels der Brechvorrichtung (5) auf der Baustelle;
- Auflegen eines Pneus auf einer, vorzugsweise ebenen, Grundfläche (7), wobei der Pneu vorzugsweise aus einer ersten Folie und einer zweiten Folie besteht, die an ihren Rändern dicht miteinander verbunden sind;
- Auflegen und Anordnen der Schalensegmente (2, 20) auf dem Pneu, und gegebenenfalls anschließendes zugfestes und biegesteifes Verbinden der einzelnen Schalensegmente (2, 20);
- Anordnen zumindest eines flexiblen Zugglieds, das verschieblich gegenüber den Schalensegmente (2, 20) ausgebildet ist, an gegenüberliegenden Seitenrändern (9) einer Basisfläche (8) der einfach gekrümmten Schale (1) oder in Umfangsrichtung an einem äußeren Rand (19) der Basisfläche (80) der zweifach gekrümmten Schale (10);
- Durchführen des Formgebungsprozesses, umfassend das Anheben und Verkrümmen der Schalensegmente (2, 20) durch Einblasen von Luft in den Pneu und/oder unter Zugbelastung des zumindest einen flexiblen Zugglieds.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass nur ein Teil der Basisfläche (8, 80) der einfach gekrümmten Schale (1) oder der zweifach gekrümmten Schale (10) mit Schalensegmenten (2, 20) belegt wird, wodurch Aussparungen (16) entstehen, die in der einfach gekrümmten Schale (1) oder der zweifach gekrümmten Schale (10) eine oder mehrere vorbestimmte Ausnehmungen (17) bilden.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass nach dem Auflegen und Anordnen der Schalensegmente (2, 20) auf dem Pneu das Anbringen einer Auflast auf den Schalensegmenten (2, 20) an den gegenüberliegenden Seitenrändern (9) der Basisfläche (8) der einfach gekrümmten Schale (1) oder entlang des äußeren Randes (19) der Basisfläche (80) der zweifach gekrümmten Schale (10) durchgeführt wird.

4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass der Schritt des Anbringens einer Auflast mittels einer Vergrößerung der Dicke der Schalensegmente (2, 20) an den einander gegenüberliegenden Seitenrändern (9) der Basisfläche (8) der einfach gekrümmten Schale (1) oder entlang des äußeren Randes (19) der Basisfläche (80) der zweifach gekrümmten Schale (10) durchgeführt wird.

5. Verfahren nach Anspruch 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet, dass Auflastsegmente (21) im Bereich der einander gegenüberliegenden Seitenränder (9) der Basisfläche (8) der einfach gekrümmten Schale (1) oder im Bereich des äußeren Randes (19) der Basisfläche (80) der zweifach gekrümmten Schale (10) angebracht werden.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Schalensegmente (2, 20) vor oder nach Durchführen des Formgebungsprozesses an ihren Seitenkanten (3) mittels Verbindungsmittel (4), die vorzugsweise in die Schalensegmente (2, 20) eingegossen sind, schubfest und gegebenenfalls biegesteif miteinander verbunden werden.

7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Verbindungsmittel (4) zweier angrenzender Schalensegmente (2, 20) während des Formgebungsprozesses an den Seitenkanten (3) in Bezug aufeinander ausgerichtet werden, wobei die Verbindungsmittel (4) einander angrenzender Schalensegmente (2, 20) vor oder nach Durchführen des Formgebungsprozesses schubfest und gegebenenfalls biegesteif miteinander verbunden werden.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass eine in der Mitte der Basisfläche (80) der zweifach gekrümmten Schale (10) liegende Aussparung (16) ausgebildet wird, und dass die Schalensegmente (20) an einem Aussparungsrand (18) durch einen Ring miteinander verbunden werden.

9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Schalensegmente (20) am Aussparungsrand (18) mittels Verbindungsmittel (4), die vorzugsweise in die Schalensegmente (20) eingegossen sind, an dem Ring miteinander verbunden werden.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass nach dem Formgebungsprozess ein Verfüllen von Fugen (15) zwischen den Schalensegmenten (2, 20) mit einem aushärtenden Vergussmaterial durchgeführt wird.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass auf die einfach gekrümmte Schale (1) oder die zweifach gekrümmte Schale (10) nach dem Formgebungsprozess und gegebenenfalls nach dem Verbinden der Verbindungsmittel (4) eine Schicht aus einem Baustoff aufgebracht wird, die mit der einfach gekrümmten Schale (1) oder der zweifach gekrümmten Schale (10) schubfest verbunden wird.

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass bei der Herstellung der Schalensegmente (2, 20) unter kontrollierten Bedingungen Sollbruchstellen durch Eindrücken von Kerben in das gegossene, noch nicht ausgehärtete Baumaterial, oder durch Einlegen von Einbauteilen, oder durch nachträgliches Einschneiden vor dem Formgebungsprozess, in den Schalensegmenten (2, 20) geschaffen werden.

13. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass die fertiggestellte zweifach gekrümmte Schale (10) an mindestens drei entlang des äußeren Randes (19) der Basisfläche (80) der zweifach gekrümmten Schale (10) angeordneten Stützen (22) mittels einer Hebevorrichtung hochgehoben wird.

14. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass die Schalensegmente (2, 20) aus zumindest einem gießfähigen Material, insbesondere Beton, Stahlbeton, Faserbeton, textilbewehrter Beton, allgemein nichtmetallisch bewehrter Beton, bewehrter oder nichtbewehrter Kunststoff, oder bewehrtes oder nichtbewehrtes Eis, hergestellt werden.

15. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass das flexible Zugglied aus einer Spanndrahtlitze, Monolitze, Edelstahllitze oder aus faserverstärktem Kunststoff gebildet wird.

16. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 15, dadurch gekennzeichnet, dass die Brechvorrichtung (5) als Lehre oder Bogenlehre ausgebildet ist, die eine konvexe oder konkave Auflagefläche (23, 24) für zumindest ein Schalensegment (2, 20) aufweist.

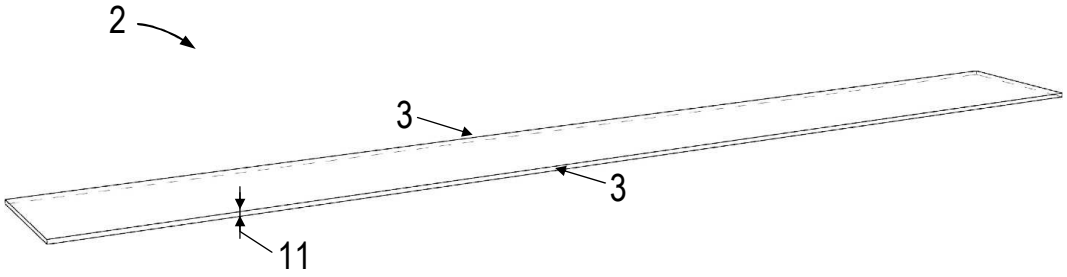


FIG. 1

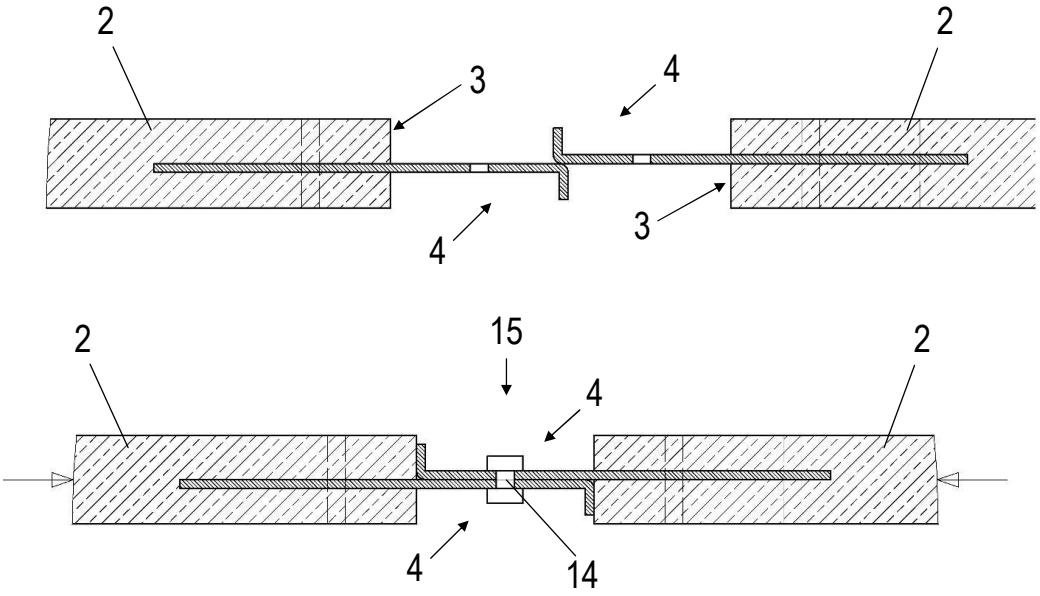


FIG. 2

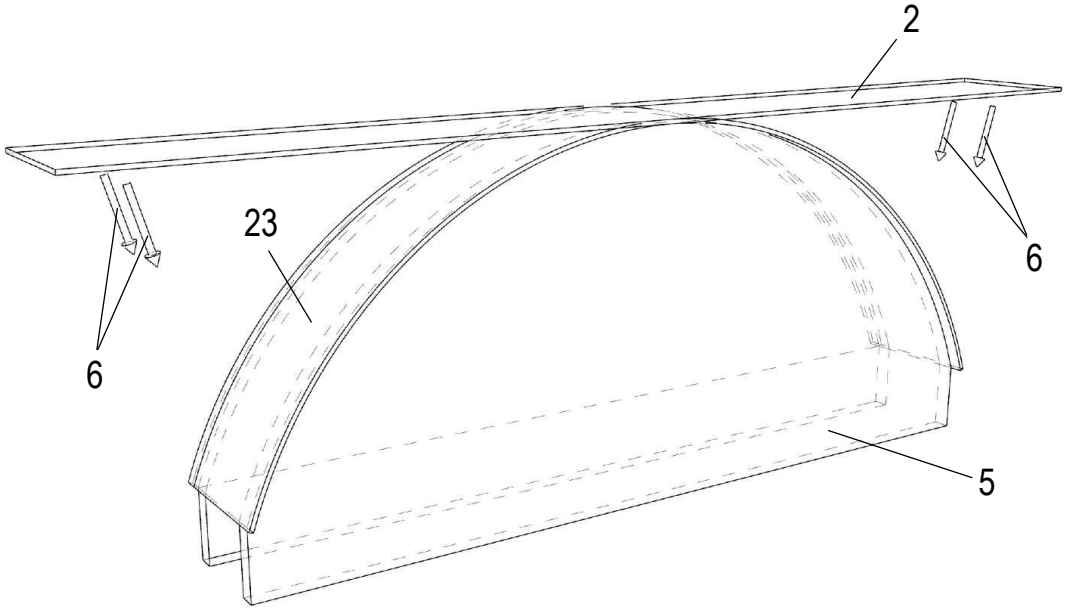


FIG. 3

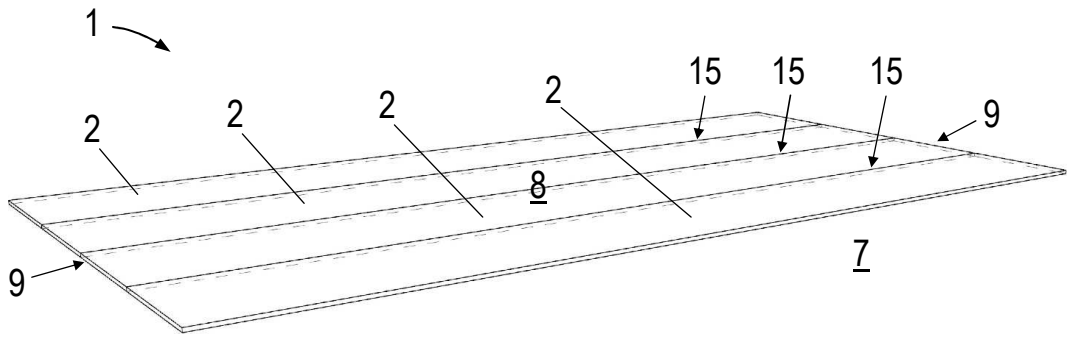


FIG. 4

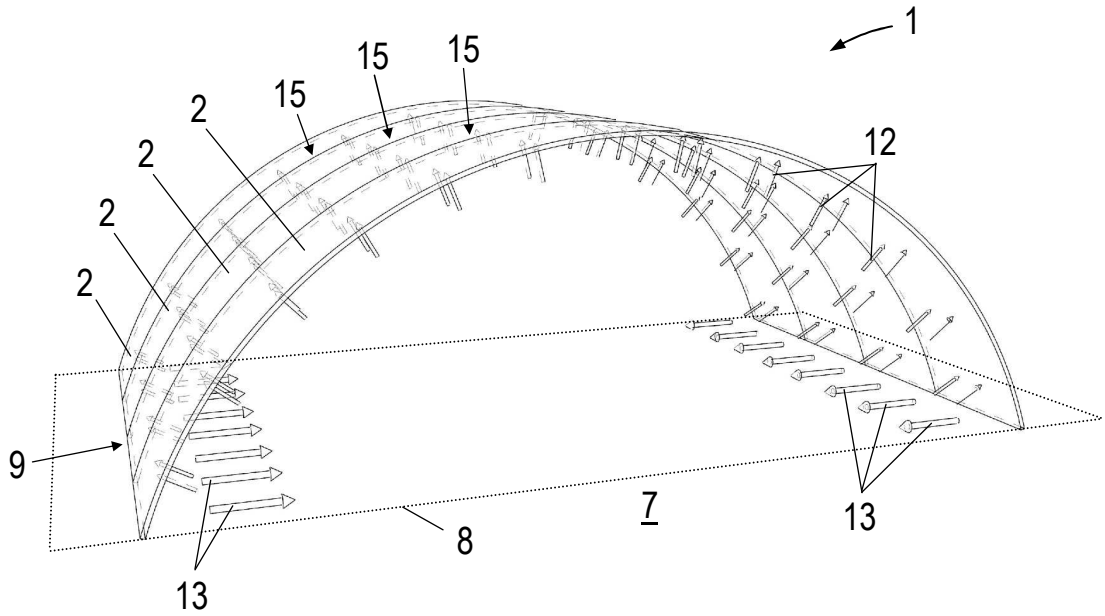


FIG. 5

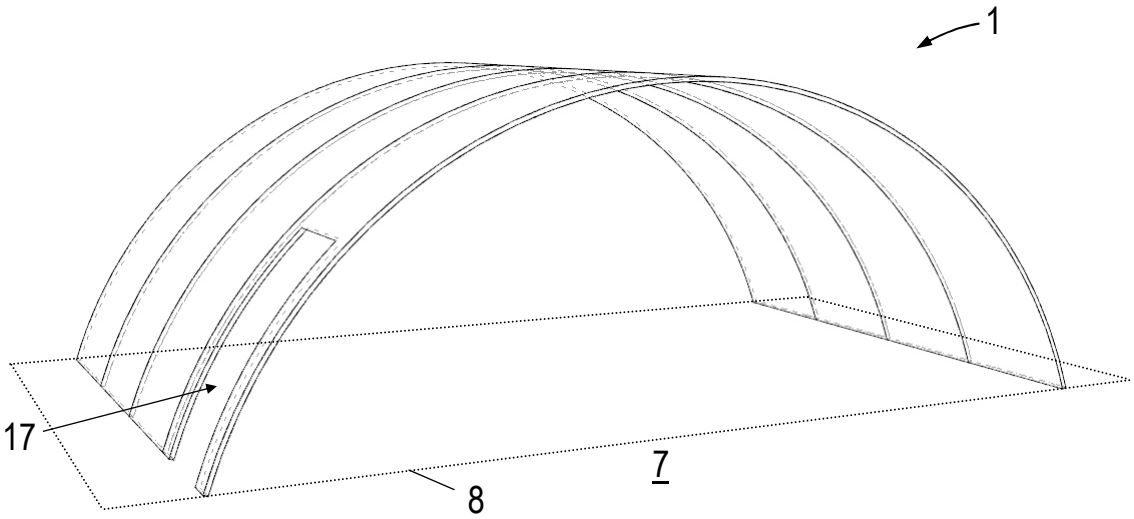


FIG. 6

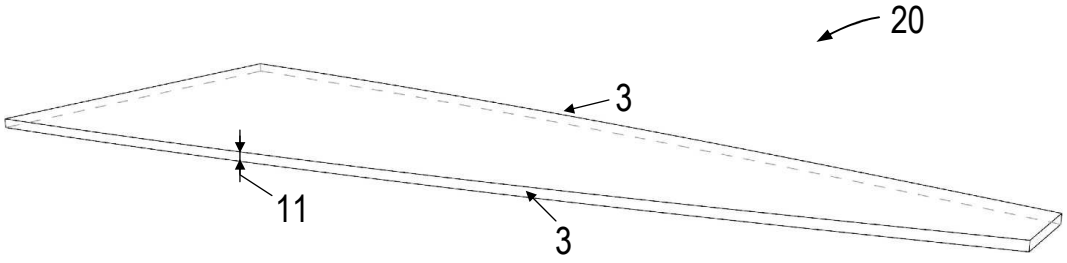


FIG. 7

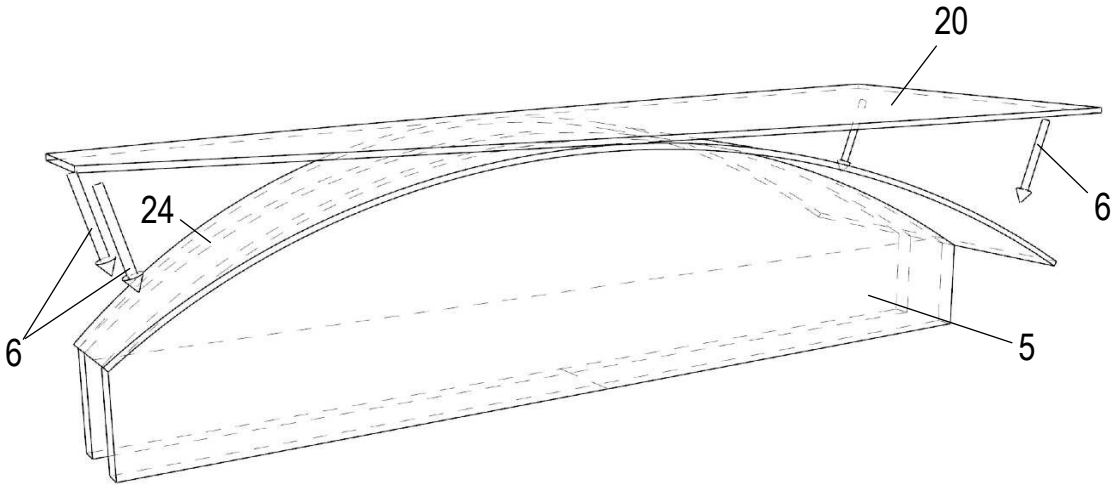


FIG. 8

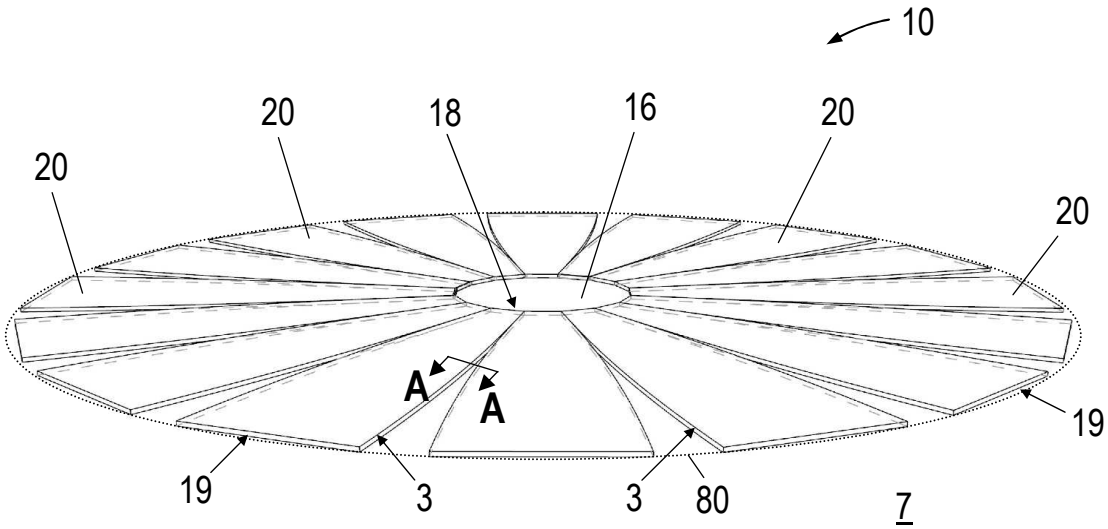


FIG. 9

FIG. 10

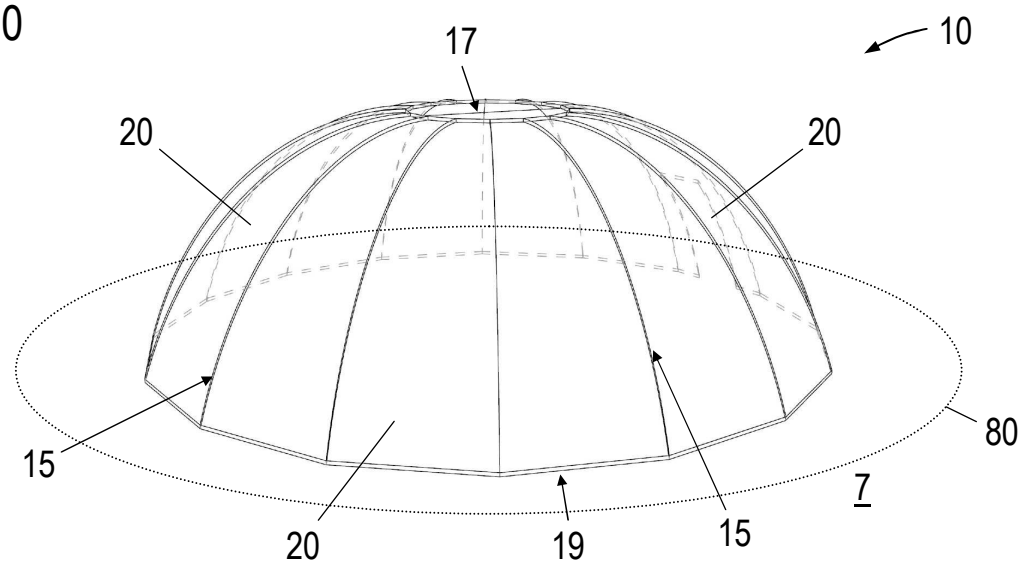


FIG. 11

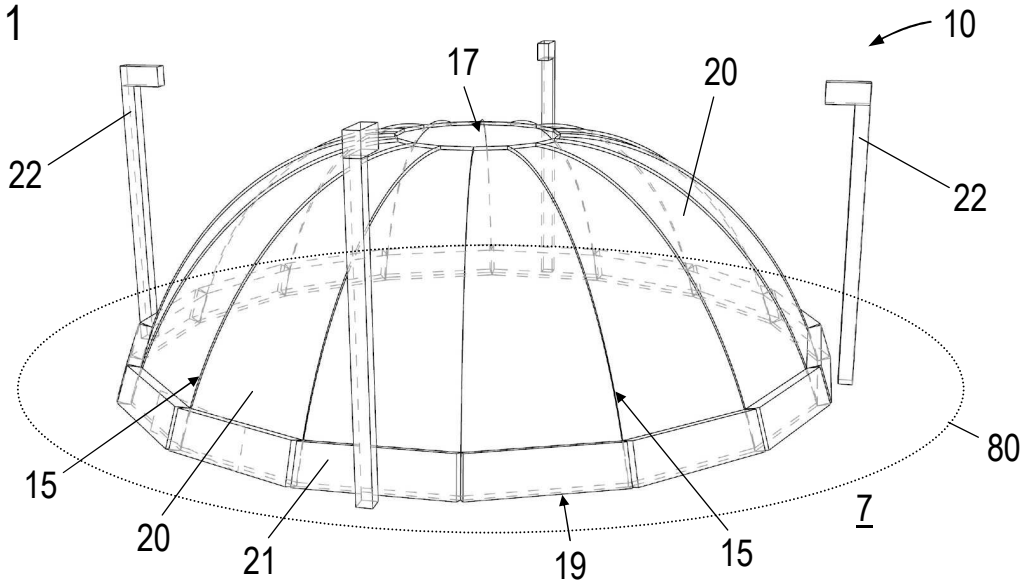
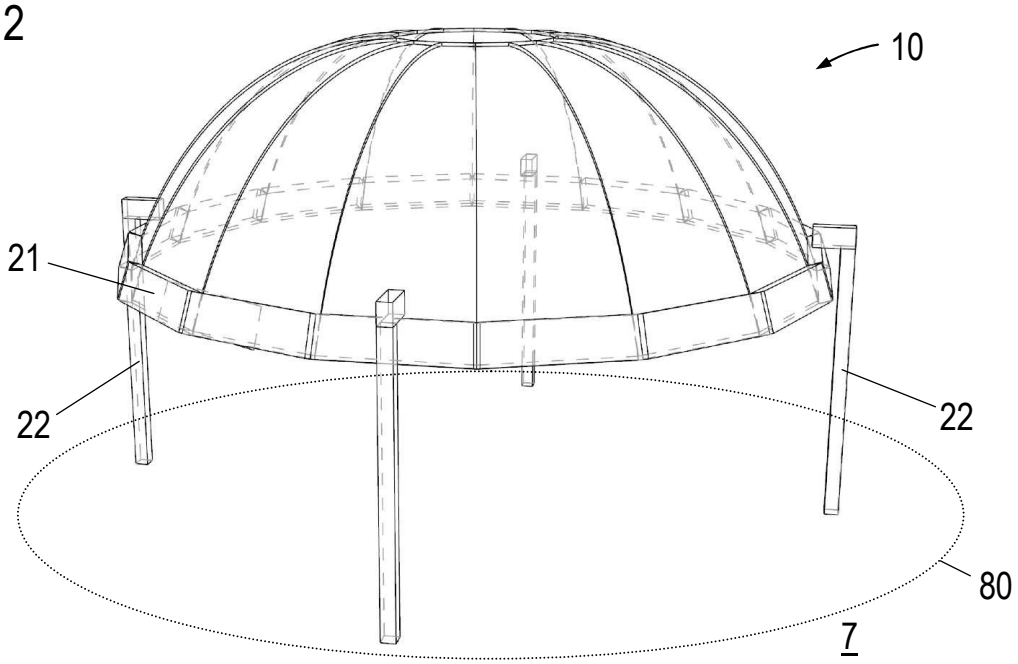


FIG. 12



Ansprüche:

1. Verfahren zur Herstellung von einfach gekrümmten Schalen (1) und zweifach gekrümmten Schalen (10) aus, vorzugsweise bewehrten, vorgefertigten Schalensegmenten (2, 20), **gekennzeichnet durch**:

- Vorbrechen der Schalensegmente (2, 20) mittels einer Brechvorrichtung (5) unter kontrollierten Bedingungen, vorzugsweise im Fertigteilwerk, und Transportieren der vorgebrochenen Schalensegmente (2, 20) zu einer Baustelle;
- Auflegen eines Pneus auf einer, vorzugsweise ebenen, Grundfläche (7), wobei der Pneu vorzugsweise aus einer ersten Folie und einer zweiten Folie besteht, die an ihren Rändern dicht miteinander verbunden sind;
- Auflegen und Anordnen der Schalensegmente (2, 20) auf dem Pneu, und gegebenenfalls anschließendes zugfestes und biegesteifes Verbinden der einzelnen Schalensegmente (2, 20);
- Anordnen zumindest eines flexiblen Zugglieds, das verschieblich gegenüber den Schalensegmente (2, 20) ausgebildet ist, an gegenüberliegenden Seitenrändern (9) einer Basisfläche (8) der einfach gekrümmten Schale (1) oder in Umfangsrichtung an einem äußeren Rand (19) der Basisfläche (80) der zweifach gekrümmten Schale (10);
- Durchführen des Formgebungsprozesses, umfassend das Anheben und Verkrümmen der Schalensegmente (2, 20) durch Einblasen von Luft in den Pneu und/oder unter Zugbelastung des zumindest einen flexiblen Zugglieds.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass nur ein Teil der Basisfläche (8, 80) der einfach gekrümmten Schale (1) oder der zweifach gekrümmten Schale (10) mit Schalensegmenten (2, 20) belegt wird, wodurch Aussparungen (16) entstehen, die in der einfach gekrümmten Schale (1) oder der zweifach gekrümmten Schale (10) eine oder mehrere vorbestimmte Ausnehmungen (17) bilden.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass nach dem Auflegen und Anordnen der Schalensegmente (2, 20) auf dem Pneu das Anbringen einer Auflast auf den Schalensegmenten (2, 20) an den gegenüberliegenden Seitenrändern (9) der Basisfläche (8) der einfach gekrümmten Schale (1) oder entlang des äußeren Randes (19) der Basisfläche (80) der zweifach gekrümmten Schale (10) durchgeführt wird.

4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass der Schritt des Anbringens einer Auflast mittels einer Vergrößerung der Dicke der Schalensegmente (2, 20) an den

ZULETZT VORGELEGTE ANSPRÜCHE

einander gegenüberliegenden Seitenrändern (9) der Basisfläche (8) der einfach gekrümmten Schale (1) oder entlang des äußeren Randes (19) der Basisfläche (80) der zweifach gekrümmten Schale (10) durchgeführt wird.

5. Verfahren nach Anspruch 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet, dass Auflastsegmente (21) im Bereich der einander gegenüberliegenden Seitenränder (9) der Basisfläche (8) der einfach gekrümmten Schale (1) oder im Bereich des äußeren Randes (19) der Basisfläche (80) der zweifach gekrümmten Schale (10) angebracht werden.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Schalensegmente (2, 20) vor oder nach Durchführen des Formgebungsprozesses an ihren Seitenkanten (3) mittels Verbindungsmittel (4), die vorzugsweise in die Schalensegmente (2, 20) eingegossen sind, schubfest und gegebenenfalls biegesteif miteinander verbunden werden.

7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Verbindungsmittel (4) zweier angrenzender Schalensegmente (2, 20) während des Formgebungsprozesses an den Seitenkanten (3) in Bezug aufeinander ausgerichtet werden, wobei die Verbindungsmittel (4) einander angrenzender Schalensegmente (2, 20) vor oder nach Durchführen des Formgebungsprozesses schubfest und gegebenenfalls biegesteif miteinander verbunden werden.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass eine in der Mitte der Basisfläche (80) der zweifach gekrümmten Schale (10) liegende Aussparung (16) ausgebildet wird, und dass die Schalensegmente (20) an einem Aussparungsrand (18) durch einen Ring miteinander verbunden werden.

9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Schalensegmente (20) am Aussparungsrand (18) mittels Verbindungsmittel (4), die vorzugsweise in die Schalensegmente (20) eingegossen sind, an dem Ring miteinander verbunden werden.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass nach dem Formgebungsprozess ein Verfüllen von Fugen (15) zwischen den Schalensegmenten (2, 20) mit einem aushärtenden Vergussmaterial durchgeführt wird.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass auf die einfach gekrümmte Schale (1) oder die zweifach gekrümmte Schale (10) nach dem

ZULETZT VORGELEGTE ANSPRÜCHE

Formgebungsprozess und gegebenenfalls nach dem Verbinden der Verbindungsmittel (4) eine Schicht aus einem Baustoff aufgebracht wird, die mit der einfach gekrümmten Schale (1) oder der zweifach gekrümmten Schale (10) schubfest verbunden wird.

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass bei der Herstellung der Schalensegmente (2, 20) unter kontrollierten Bedingungen Sollbruchstellen durch Eindrücken von Kerben in das gegossene, noch nicht ausgehärtete Baumaterial, oder durch Einlegen von Einbauteilen, oder durch nachträgliches Einschneiden vor dem Formgebungsprozess, in den Schalensegmenten (2, 20) geschaffen werden.

13. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass die fertiggestellte zweifach gekrümmte Schale (10) an mindestens drei entlang des äußeren Randes (19) der Basisfläche (80) der zweifach gekrümmten Schale (10) angeordneten Stützen (22) mittels einer Hebevorrichtung hochgehoben wird.

14. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass die Schalensegmente (2, 20) aus zumindest einem gießfähigen Material, insbesondere Beton, Stahlbeton, Faserbeton, textilbewehrter Beton, allgemein nichtmetallisch bewehrter Beton, bewehrter oder nichtbewehrter Kunststoff, oder bewehrtes oder nichtbewehrtes Eis, hergestellt werden.

15. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass das flexible Zugglied aus einer Spanndrahtlitze, Monolitze, Edelstahllitze oder aus faserverstärktem Kunststoff gebildet wird.

16. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 15, dadurch gekennzeichnet, dass die Brechvorrichtung (5) als Lehre oder Bogenlehre ausgebildet ist, die eine konvexe oder konkave Auflagefläche (23, 24) für zumindest ein Schalensegment (2, 20) aufweist.

ZULETZT VORGELEGTE ANSPRÜCHE