

(12) **Österreichische Patentanmeldung**

(21) Anmeldenummer: A 9119/2019 (51) Int. Cl.: **B27N 5/00** (2006.01)  
(86) PCT-Anmeldenummer: PCT/EP19056817 **B29C 70/34** (2006.01)  
(22) Anmeldetag: 19.03.2019 **B32B 21/04** (2006.01)  
(43) Veröffentlicht am: 15.04.2021

(30) **Priorität:**  
21.03.2018 EUROPÄISCHES PATENTAMT EP  
18163138.3 beansprucht.

(71) **Patentanmelder:**  
EMPA Eidgenössische Materialprüfungs- und  
Forschungsanstalt  
8600 Dübendorf (CH)  
ETH Zürich  
8092 Zürich (CH)  
Universität Stuttgart  
70174 Stuttgart (DE)

(72) **Erfinder:**  
Rüggeberg Markus  
8604 Volketswil (CH)  
Burgert Ingo  
8008 Zürich (CH)  
Grönquist Philippe  
8052 Zürich (CH)  
Menges Achim  
60327 Frankfurt (DE)  
Wood Dylan  
70469 Stuttgart (DE)

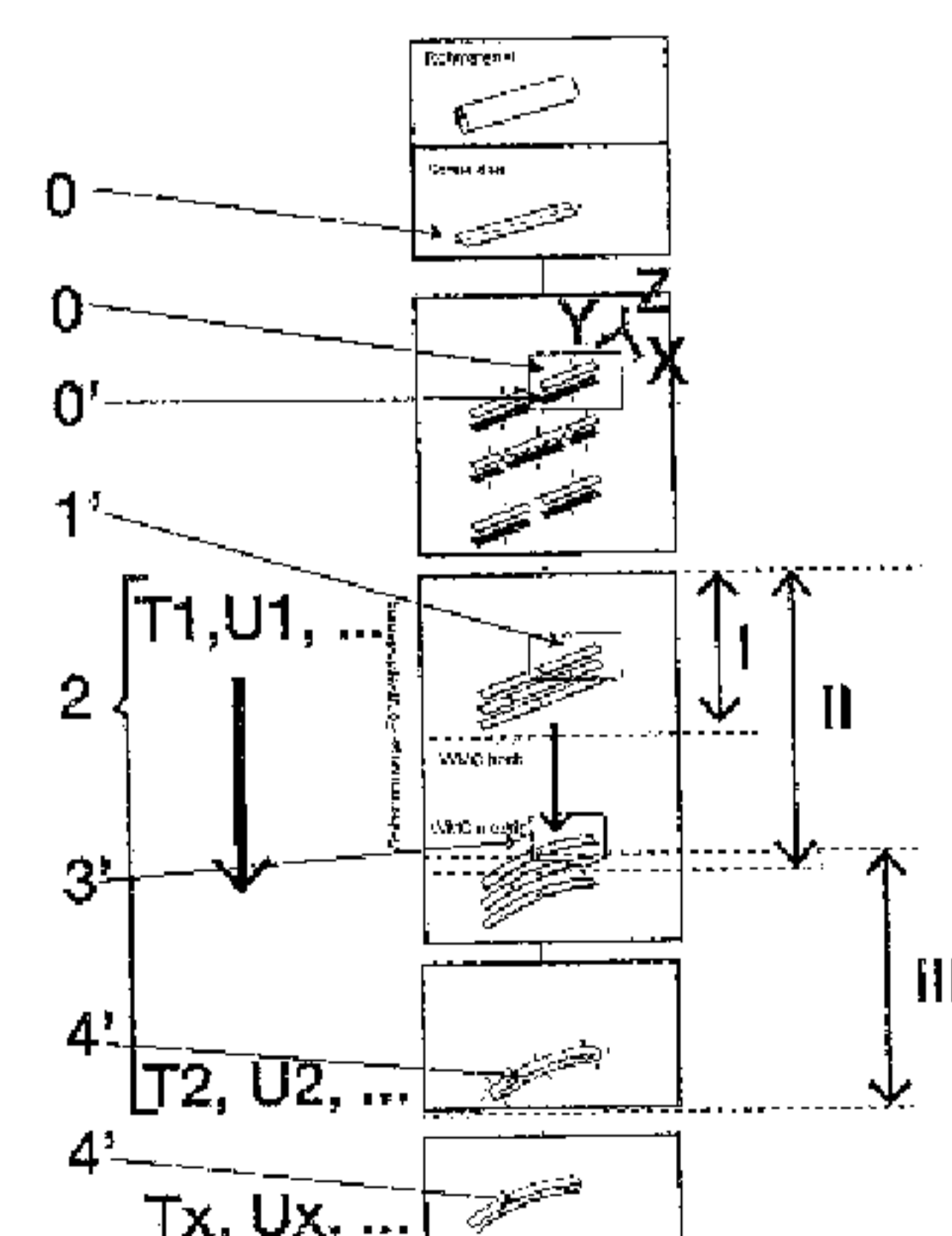
(74) **Vertreter:**  
Hofmann Ralf Mag. Dr.  
6830 Rankweil (AT)  
Fechner Thomas Dr.  
6830 Rankweil (AT)

(54) **Herstellungsverfahren für geformte, gestapelte, mehrschichtige, holzbasierte Baukomponenten**

(57) Die offenbarte Erfindung besteht aus einem Herstellungsverfahren für komplex geformte, laminierte, mehrschichtige, auf Pflanzenfasern basierte Baukomponenten (4') von isotropen oder anisotropen, auf Pflanzenfasern basierten Elementen (0, 0'), das kostengünstiger und ressourceneffizienter ist, da es weniger Abfall produziert. Dies wird dadurch erreicht, dass auf Pflanzenfasern basierte Elemente (0, 0') durch einen Selbstformungsschritt (II) verformt werden, der formgeänderte, auf Pflanzenfasern basierte Baukomponenten (3') durch Anwendung einer Eingabestimulus-(2)-Änderung von Ausgangszustand mit Ausgangsholzfeuchtigkeitsgehalt (U1) und Ausgangstemperatur (T1) zu Endzustand mit Endholzfeuchtigkeitsgehalt (U2) und Endtemperatur (T2) für eine Feuchtigkeitsänderung  $\Delta U$  zwischen 1 % und 20 % und/oder eine Temperaturänderung zwischen 0 °C und 70 °C formt, ehe die

formgeänderten, auf Pflanzenfasern basierten Baukomponenten (3') in einem Stapel- und Befestigungsschritt (III) gestapelt und verbunden werden, der geformte, laminierte, mehrschichtige, auf Pflanzenfasern basierte Baukomponenten (4) für eine weitere Behandlung bildet.

FIG. 2



## ZUSAMMENFASSUNG

Die offenbarte Erfindung besteht aus einem Herstellungsverfahren für komplex geformte, laminierte, mehrschichtige, auf Pflanzenfasern basierte Baukomponenten (4') von isotropen oder anisotropen, auf Pflanzenfasern basierten Elementen (0, 0'), das kostengünstiger und ressourceneffizienter ist, da es weniger Abfall produziert. Dies wird dadurch erreicht, dass auf Pflanzenfasern basierte Elemente (0, 0') durch einen Selbstformungsschritt (II) verformt werden, der formgeänderte, auf Pflanzenfasern basierte Baukomponenten (3') durch Anwendung einer Eingabestimulus-(2)-Änderung von Ausgangszustand mit Ausgangsholzfeuchtigkeitsgehalt (U1) und Ausgangstemperatur (T1) zu Endzustand mit Endholzfeuchtigkeitsgehalt (U2) und Endtemperatur (T2) für eine Feuchtigkeitsänderung  $\Delta U$  zwischen 1 % und 20 % und/oder eine Temperaturänderung zwischen 0 °C und 70 °C formt, ehe die formgeänderten, auf Pflanzenfasern basierten Baukomponenten (3') in einem Stapel- und Befestigungsschritt (III) gestapelt und verbunden werden, der geformte, laminierte, mehrschichtige, auf Pflanzenfasern basierte Baukomponenten (4) für eine weitere Behandlung bildet. (Fig. 2)

HERSTELLUNGSVERFAHREN FÜR GEFORMTE, GESTAPELTE,  
MEHRSCHICHTIGE, HOLZBASIERTE BAUKOMPONENTEN

TECHNISCHES GEBIET

Die vorliegende Erfindung beschreibt ein Herstellungsverfahren für geformte, gestapelte, mehrschichtige, holzbasierte Baukomponenten.

STAND DER TECHNIK

Mehr oder weniger komplex geformte, mehrschichtige Baukomponenten aus entweder isotropem oder anisotropem Material wie gebogenem Holz- oder Holzplastikteilen sind zum Beispiel zur Anwendung in der Architektur, beim Bau von Gehäusen und Decken für Holzbaufirmen oder Möbelfabrikanten interessant.

Es gibt bekannte Verfahren für die Herstellung von geformten, mehrschichtigen Komponenten wie gebogene Holzteile, zum Beispiel kaltes und warmes Formbiegen als das in Industrie und Handwerk gebräuchlichste Verfahren, um große, gebogene Holzteile zu produzieren. Schichten oder Platten aus Holz werden physisch auf eine negative Schalung gebogen und geschraubt, mit Leim aufeinander vakuum- oder presskaschiert, wie in Figur 1 gezeigt.

Die notwendigen Schalungen sind teuer und verbrauchen schließlich mehr Material als bei den Teilen verwendet wird. Einige Schalungen können wiederverwendet werden, doch sie erfordern für jede neue Geometrie Anpassen und Umgestalten; ein guter Teil der Schalungen wird nur einmal benutzt, ehe er entsorgt wird. Es gibt anpassbare hydraulische Pressen für die Produktion von einzelnen, gebogenen Leimlaminat-Holzteilen mit kundenspezifischen Biegungen. Beim Formbiegen begrenzt die Streckfestigkeit von Holz die Dicke der Profilform und die Abmessungen,

die geformt werden können. Je höher die Biegungen, desto dünnere Schichten oder kleinere Profile der Schalung sind erforderlich. Die Anwendung von dünneren Schichten führt allgemein zu größerem Materialabfall, mehr Arbeitskraft für den Zusammenbau und daher beträchtlich höheren Kosten. In den meisten Fällen begrenzen hohe Kosten wirtschaftlich den Grad der mit herkömmlichen Fertigungsverfahren zu erreichende Biegung. Ein weiterer Nachteil ist die Tatsache, dass die Biegekraft das Teil in einem gestressten Zustand hinterlässt, sodass es von der Schalung zurückfedert und im Laufe der Zeit kriecht.

Formbiegen wird ebenfalls angewandt, um Teile im Möbelbereich mit hohen Biegungen und Details zu produzieren, bei denen dünne Venierschichten verwendet werden. In der Größenordnung einer Baukomponente sind jedoch solche dünnen Schichten nicht praktisch. Informbiegen von Holz mit Dampf ermöglicht die Herstellung von Holzteilen mit hoher Biegung aus dickeren Schichten dadurch, dass das Holz bei hohem Feuchtigkeitsgehalt und hoher Temperatur vor seiner physischen Verformung flexibler ist. Dieses Verfahren verlangt Schalung und hohe Kräfte, um das Holz für eine längere Zeit zu biegen und zu halten. Es erfordert ebenfalls zusätzliche Energie für die Dampferzeugung.

Weitere Verfahren zur Produktion von gebogenen Holzteilen durch Firmen, einschließlich „Flexible Plywood“ (Flexibles Sperrholz) (z. B. Firma Radius Bending Plywood), „SD-Veneer“ (SD-Venier) (z. B. Firmen Reholz/Danzer) und „Cold-Bend Hardwood TM“ (Kaltgebogenes Hartholz) (Firma Pure Timber LLC) verwenden Modifikationen der Holzstruktur, Schwächen der Holzstruktur auf verschiedenen Maßstabebenen oder Änderungen bei der Schichtung im Sperrholz, um höhere Biegungen zu erzielen als sie mit nicht modifiziertem Holz möglich sind. Obgleich diese Prozeduren das Biegen

des Holzes ermöglichen, erfordern sie weiterhin eine Schalung und externe Kraft, um ein gebogenes Teil herzustellen. Oft werden diese Teile nur als ein Überzug einer Unterstruktur oder eines Materials benutzt. Diese Verfahren werden typisch für Kleinserienproduktion von Kunst-, Möbel- und Ausstellungsstücken angewandt. Gebogene Holzteile können aus standardmäßigen, geradlinigen leimkaschierten und querkaschierten Holzrohlingen oder aus leicht gebogenen Teilen subtraktiv gefräst werden. Dies erzeugt eine Menge Abfallmaterial und führt zu Teilen, bei denen die Holzfaserorientierung nicht auf die des gebogenen Teils ausgerichtet ist.

Ökologisch veranlasste Holz Doppelschichten und Holzkompositdoppelschichten sind in den letzten 5 - 10 Jahren eingehend untersucht worden (Holstov et al. 2015 & 2017; Menges & Reichert, 2012; Reichert et al. 2014; Rüggeberg & Burgert 2015, Vailati et al. 2017). Hier ist das Ziel Hochskalierung, die durch die einmalige Kombination von Materialeigenschaften des Holzes ermöglicht wird. Bis jetzt konnte ein Herstellungsverfahren für komplex geformte, mehrschichtige Holzkomponenten nicht wie gewünscht erreicht werden.

Außer Holz Doppelschichten zeigt US2016339627 ein weiteres Verfahren, das ein umformbares Material erreicht, umfassend ein Basismaterial mit einer natürlichen Form zusammen mit einem zweiten Material, das auf dem Basismaterial in einem bestimmten Muster angeordnet wird, um dem Basismaterial eine umgeformte Form aufzuzwingen, wobei die umgeformte Form von der natürlichen Form verschieden ist. Genauer ist das Basismaterial ein dehnbares, zweidimensionales Material und wird vor und während des Auftragens des zweiten Materials einer Vorspannung unterzogen, worauf nach

Entfernen der Spannung das dehnbare Basismaterial sich mit dem aufgetragenen zweiten Material automatisch in eine vorgegebene, dreidimensionale gefertigte Form umformt. Dieses Verfahren erfordert, dass elastische Energie durch extern angewandte Kraft (Dehnen) in das Material eingeführt wird, um eine dreidimensional geformte Doppelschicht aus zwei ursprünglich flachen Schichten zu erstellen, die nach Zusammenfügen stabil bleibt. Dies funktioniert am besten für weitgehend dehnbare, gummiartige Materialien, doch nicht bei Baumaterialien wie Holz.

In US2016340826 wird ein aktives, selbstumformbares Material offenbart, das ein flexibles Basismaterial mit einem aktiven Material umfasst, das auf oder innerhalb des flexiblen Basismaterials in einem spezifischen Muster angeordnet wird. Insbesondere sind das aktive Material und das flexible Basismaterial in ihren Eigenschaften derart verschieden, dass das aktive Material auf einen externen Stimulusauslöser reagiert, der eine automatische Umformung des aktiven selbstumformbaren Materials in eine vorgegebene dreidimensionale umgeformte Form verursacht. Das Verfahren ist nur für flexible Basismaterialien erfolgversprechend, solange das Basismaterial auf eine bestimmte Weise auf einen externen Stimulusauslöser reagiert. Obgleich dieses Verfahren im Prinzip auf erste und zweite Holzschicht oder eine andere isotrope oder anisotrope vielschichtige Komponente angewandt werden könnte, würde es nicht erlauben, mehr komplexe Formen bei niedrigeren Kosten und weniger Abfall zu erreichen. Insbesondere involviert dieses Verfahren das Aufspalten des Materials in kleinere Fasern, was ein Nachteil für größere Teile ist, denn mehr Verarbeitung und zusätzliche Materialien sind erforderlich, um die Stärke von Holz zu erreichen.

### BESCHREIBUNG DER ERFINDUNG

Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht darin, ein kostengünstigeres Herstellungsverfahren zu entwickeln, das dadurch ressourceneffizienter ist, dass es weniger Abfall produziert, während es geformte, laminierte faserbasierte Komponenten für verschiedene Anwendungen mit höheren Biegungen und komplexeren Formen auf reproduzierbare Weise herstellt. Experimente haben gezeigt, dass sogar die Formstabilität der geformten, laminierten, auf Pflanzenfasern basierten Komponenten mit diesem Verfahren verbessert werden könnte.

Eine weitere Aufgabe des Gegenstands der Erfindung besteht darin, ein Herstellungsverfahren zu liefern, das Schalung vermeidet und kundenindividuelle Massenproduktion zulässt.

### KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

Ein besseres Verständnis der verschiedenen Aspekte der Erfindung kann durch Bezugnahme auf die folgende ausführliche Beschreibung zusammen mit den dazugehörigen, nachstehend kurz beschriebenen Zeichnungen gewonnen werden.

Figur 1 zeigt ein Schema der Herstellungsverfahren nach dem Stand der Technik für gebogene Balken und Schalen, umfassend Schneiden, Trocknen und verschiedene mechanische Form- und Verleimungsschritte.

Figur 2 zeigt ein Schema eines Herstellungsverfahrens von geformten, laminierten, auf Pflanzenfasern basierten Komponenten von entweder isotropem oder anisotropem Material nach der Erfindung mit einem Selbstformungsschritt.

Figur 3 zeigt ein schematisches Herstellungsverfahren von gebogenen Balken und Schalen auf verschiedenen Strukturstufen einer geformten, laminierten, auf Pflanzenfasern basierten Komponente aus Multi-Elementdoppelschicht und ebenengleicher Schicht zur endgültig geformten, laminierten, auf Pflanzenfasern basierten Komponente. Die inneren Linien zeigen die Faserorientierung in den einzelnen, auf Pflanzenfasern basierten Elementen.

Figur 4 zeigt

- a) Multi-Schichtkonfigurationen, umfassend mindestens zwei geschnittene, auf Pflanzenfasern basierte Elemente mit angezeigter Faserorientierung in jeder Schicht (Rotationswinkel),
- b) Faserwinkeln zwischen jeder der auf Pflanzenfasern basierten Elementschichten und
- c) die resultierende Verformung der endgültigen, formgeänderten, laminierten, auf Pflanzenfasern basierten Komponente, die Biegen, Verdrehen und Spiralendrehen erreicht.

Figur 5 zeigt ein Foto eines Prototyps einer mehrschichtigen, geformten, laminierten, auf Pflanzenfasern basierten Komponente, die mit dem beanspruchten Verfahren hergestellt wurde und sechs Doppelschichten aus Fichtenholz umfasst.

## BESCHREIBUNG

Ein Herstellungsverfahren für geformte, mehrschichtige Komponenten wird beschrieben. Dieses Verfahren kann für verschiedene Materialien verwendet werden, die isotrope oder anisotrope Dimensionsänderungen auf verschiedene geeignete Eingabestimuli 2 hin zeigen. Mit Eingabestimuli 2 ist eine Änderung der umgebenden klimatischen Bedingungen, nämlich Temperatur und/oder Änderung der relativen Feuchtigkeit um die auf Pflanzenfasern basierten Materialien herum gemeint.

Es sollte möglich sein, die Materialien in einer geschichteten Struktur herzustellen. Die folgende Beschreibung bezieht sich spezifisch beispielhaft auf Materialien und Komposite auf Pflanzenfaserbasis, zum Beispiel Holz, modifiziertes Holz (chemisch und physikalisch), holzbasierte Materialien, technische Holzprodukte, Holz-Kunststoffkompositmaterialien, Zellulosekompositmaterialien, 3D gedruckte auf Holzfaser oder Zellulose basierte Materialien und Strukturen. Der Prozess führt zu komplex geformten, mehrschichtigen, auf Pflanzenfasern basierten Komponenten, besonders holzbasierten Komponenten. Die verwendeten, auf Pflanzenfasern basierten Elemente müssen fest und starr genug sein, um in den komplex geformten, mehrschichtigen, auf Pflanzenfasern basierten Komponenten zu resultieren, die später in der Architektur zum Bau von Wohnungen und Decken oder zum Bau von Möbeln verwendet werden können. Die holzbasierten Elemente, insbesondere in Form von festen Schichten oder Platten formen laminierte, holzbasierte Multi-Elementkomponenten und die später geformten, gestapelten, mehrschichtigen, auf Pflanzenfasern basierten Baukomponenten. Insbesondere sind die Schicht oder Platten starr oder steif. Solche holzbasierten Elemente sind in sich stabil und deshalb selbsttragend.

Einige der holzbasierten Elemente in Form einer solchen Schicht oder solcher Platten erhalten diese Eigenschaften nach Kontakt mit einem Leim.

Im Fall von Holz als Rohmaterial oder von auf Pflanzenfasern basierten Elementen können verschiedene Holzarten verwendet werden, und eine oder mehrere Holzarten können innerhalb einer Komponente oder eines Teils verwendet werden. In einem Fall kann eine Holzart Buchenholz, in einem anderen Fall kann dies Fichtenholz sein.

Figur 2 zeigt ein Schema eines schrittweisen Produktionsverfahrens, das zum Beispiel mit Holzstücken als Rohmaterial beginnt. Das Rohmaterial wird in Stücke geschnitten, die auf Pflanzenfasern basierte Elemente 0, 0' beziehungsweise holzbasierte Elemente 0, 0' mit verschiedenen bekannten Abmessungsänderungen in bekannten Richtungen bilden, wenn eine definierte Änderung der umgebenden klimatischen Bedingungen 2 angewandt wird. Für die gewählten, auf Pflanzenfasern basierten Elemente 0, 0' muss bei Anwenden von Stimulus 2 die resultierende Formänderung oder Biegung für die praktische Anwendung vorgegeben werden, um die gewünschten Ergebnisse zu erreichen. Die Vorgabe könnte nach einer Faustregel erfolgen oder von einer Simulationssoftware errechnet werden.

Die auf Pflanzenfasern basierten Elemente 0, 0' sind Monoschichten, die entweder in z-Richtung (ebenenverschoben) des kartesischen Koordinatensystems oder in x,y-Richtung (ebenengleich) des kartesischen Koordinatensystems kombiniert werden und durch einen ersten Leim verbunden werden, um laminierte, auf Pflanzenfasern basierte Multi-Elementkomponenten 1 zu bilden, beziehungsweise eine laminierte, holzbasierte Multi-Elementkomponente. Bei diesem

Zusammenfügungsschritt I beziehungsweise Laminier- und Bondierschritt I, werden mehrfache laminierte, holzbasierte Multi-Elementkomponenten 1', 1" in einem Anfangszustand oder in einem ersten Formungszustand geformt.

Falls die einzelnen, auf Pflanzenfasern basierten Elemente 0, 0' ebenenverschoben verbunden werden, werden Multi-Elementdoppelschichten 1' geformt, wie in Figur 2 als ein Beispiel im Laminier- und Bondierschritt I gezeigt.

Die laminierten, holzbasierten Multi-Elementkomponenten 1 umfassen mindestens zwei zusammengefügte, auf Pflanzenfasern basierte Elemente 0, 0', die lose, laminierte, holzbasierte Multi-Elementkomponenten 1 ohne Zwischenverbindung formen, die in einem anschließenden Selbstformungs-Formveränderungsschritt II beziehungsweise Selbstformungsschritt II weiter verarbeitet werden.

Der angewandte Eingabestimulus 2 kann eine Änderung der relativen Feuchtigkeit (RH) mit oder ohne Temperaturänderung sein. Der Eingabestimulus führt zu einem bestimmten Feuchtigkeitsgehalt U. Es ist möglich, dass bei dem hier beschriebenen Verfahren ein erstes, auf Pflanzenfasern basiertes Element 0 anfangs bei Probenfeuchtigkeitsgehalt  $U_1$  äquilibriert wird, während das zweite, auf Pflanzenfasern basierte Element 0' bei einem Probenfeuchtigkeitsgehalt  $U_1' \neq U_1$  äquilibriert wird. Doch beide auf Pflanzenfasern basierten Elemente 0, 0' werden bei  $U_2$  äquilibriert nach einer Änderung in umgebender Eingabestimulus-2-Änderung im Selbstformungsschritt II.

Während der Selbstformungsschritt II ausgeführt wird, findet die Änderung der Bedingungen in Bezug auf relative

Feuchtigkeit (RH1) und/oder Temperatur (T1) in eine zweite Bedingung mit einer zweiten relativen Feuchtigkeit (RH2) und/oder einer zweiten Temperatur (T2) statt. Diese Bedingungsänderung wird Änderung von Stimulus 2 genannt, wobei die Proben aus einem Klima mit bestimmter Temperatur und relativer Feuchtigkeit in ein anderes Klima mit verschiedener relativer Feuchtigkeit und/oder Temperatur übertragen werden, was zu einer Erhöhung oder Abnahme des Probenfeuchtigkeitsgehalts von einem Anfangsprobenfeuchtigkeitsgehalt  $U_1$ ,  $U_1'$  bei einer Probentemperatur  $T_1$  auf einen zweiten Probenfeuchtigkeitsgehalt  $U_2$  und/oder eine zweite Probentemperatur  $T_2$  führt. Praktisch müssen wir beim Schichten von auf Pflanzenfasern basierten Elementen  $0$ ,  $0'$  in z-Richtung nur den Feuchtigkeitsgehalt eines auf Pflanzenfasern basierten Elements  $0$ ,  $0'$  ändern.

Je nach dem Verhalten der auf Pflanzenfasern basierten Elemente  $0$ ,  $0'$  bei einer bestimmten Bedingung und Eingabestimulus 2 wird der Feuchtigkeitsgehalt von der ersten Bedingung zu der zweiten Bedingung erhöht oder herabgesetzt.

Aufgrund verschiedener dimensionaler Änderungen in einer Richtung während der Stimulus 2 von beiden zusammengeführten, auf Pflanzenfasern basierten Elementen  $0$ ,  $0'$  geändert wird, ist die laminierte, holzbasierte Multi-Elementkomponente 1 selbstformend, was in einer Formänderung von laminierten, holzbasierten Multi-Elementkomponenten 1 zu resultierenden formgeänderten, auf Pflanzenfasern basierten Komponenten 3 bei der zweiten Bedingung RH2, T2 oder sonstigen führt.

Die Formänderung der laminierten, holzbasierten Multi-Elementkomponenten 1 wird durch Umwandlung von dimensional Änderungen der verschiedenen auf Pflanzenfasern basierten Elemente  $0$ ,  $0'$  in Reaktion auf

Änderungen des Eingabestimulus 2 in Formänderungen erreicht.

Diese formgeänderten, auf Pflanzenfasern basierten Komponenten 3 sind noch nicht miteinander verbunden. Diese Verbindung findet innerhalb eines abschließenden Stapel- und Befestigungsschritts III statt. Formgeänderte, laminierte, auf Pflanzenfasern basierte Komponenten 3 werden nach Wunsch direkt nach Behandeln mit der Stimulus-2-Änderung gestapelt und bilden Stapeln von geformten, laminierten, mehrschichtigen, auf Pflanzenfasern basierten Baukomponenten 4. Das Stapeln erfolgt in z-Richtung, wobei Stapeln von geformten, laminierten, auf Pflanzenfasern basierten Baukomponenten 4 geformt werden, die durch einen zweiten Leim und Vakuumlaminierung zusammengefügt werden. Außerdem können Komponenten ebenfalls in x-y Richtung zusammengefügt werden.

Nach dem Stapel- und Befestigungsschritt III ist die Form der sich ergebenden geformten, laminierten, mehrschichtigen, auf Pflanzenfasern basierten Baukomponenten 4 dimensional stabil, selbst bei weiter geänderter Bedingung. Die resultierenden geformten, laminierten, mehrschichtigen, auf Pflanzenfasern basierten Baukomponenten 4 können zum Beispiel als Möbelteile, als kreuzlaminiertes Schnittholz (CLT) bei Konstruktionen, Gebäuden oder im architektonischen Bereich verwendet werden.

Bis jetzt ist die dimensionale Instabilität von auf Pflanzenfasern basierten Elementen 0, 0' oder hölzernen Kunststoffelementen im Allgemeinen als ein Nachteil und eine Einschränkung gesehen worden und weniger als eine Möglichkeit zur Anwendung von hölzernen Kunststoffelementen als eine Basis für geformtes Baumaterial. Für das vorgeschlagene Verfahren sind

Kombinationen von mehr als einer Holzart möglich, wobei jede Art von Holzart geeignet ist, die dimensionale Änderungen, beispielsweise nach Änderungen ihres Holzfeuchtigkeitsgehalts oder des allgemeinen Probenfeuchtigkeitsgehalts, aufweisen.

Das vorgeschlagene Verfahren ist insofern universell, als dasselbe Verfahren verwendet werden kann, um fast jede Art von Endform der resultierenden geformten, laminierten, mehrschichtigen, auf Pflanzenfasern basierten Baukomponenten 4 zu produzieren. Neue Komplexitätsstufen der Form können ohne extensives Fräsen erzielt werden. Im Gegensatz zu heutigen Techniken und Fertigungsverfahren für gebogene Holzkomponenten, wie in Figur 1 gezeigt, ist keine Schalung beim vorgeschlagenen Verfahren notwendig, wie in Figur 2 gezeigt, was Materialien und Kosten spart. In Fällen, bei denen starke Biegungen und komplexe Formen durch Formbiegen nicht erreicht werden konnten, ist extensives Fräsen angewandt worden. Damit werden große Mengen von Abfall erzeugt, doch es ist der einzige wirtschaftlich gängige Weg gewesen, um starke Biegungen zu erreichen. Dieses Fräsen wird durch das hier vorgeschlagene Verfahren weitgehend vermieden. Die Formänderung wird im Layout programmiert und durch Ändern des Feuchtigkeitsgehalts U (mit Trocknen oder Nässen) und danach Stapeln und Aneinanderbefestigen der formgeänderten, auf Pflanzenfasern basierten Komponenten 3 durch Laminieren im Stapel- und Befestigungsschritt III erreicht.

Mit dem neuen Verfahren wird eine 3D-Form ohne extern angewandte Kräfte oder chemisches oder mechanisches Schwächen des Materials erreicht. Die selbstgeformten, formgeänderten, laminierten, auf Pflanzenfasern basierten Komponenten 3 sind gleichzeitig Teil und Schablone für die Herstellung von geformten,

laminierten, mehrschichtigen, auf Pflanzenfasern basierten Baukomponenten 4.

In Figur 2 wird das Verfahren erklärt, wobei mit zwei auf Pflanzenfasern basierten Elementen 0, 0' begonnen wird, die verschiedene dimensionale Änderungen in derselben Richtung zeigen, wenn dieselbe Stimulus-2-Änderung angewandt wird. Beide, auf Pflanzenfasern basierten Elemente 0, 0' werden ebenenverschoben in z-Richtung zusammengefügt, um eine Multi-Elementdoppelschicht 1' zu erhalten, gewöhnlich bei einer ersten Bedingung.

Verschiedene Doppelschichten 1' werden gezeigt, die in seitlicher Richtung (x, y-Richtung) verbunden werden können. Dann wird das Selbstformungsverfahren der Multi-Elementdoppelschicht 1' ausgeführt, während oder nachdem die externe Stimulus-2-Änderung angewandt worden ist. Hier werden die erste relative Feuchtigkeit RH1 und die erste Temperatur T1, die einen ersten Probenfeuchtigkeitsgehalt U1 ergeben hatten, auf eine zweite relative Feuchtigkeit RH2 und die zweite Temperatur T2 abgeändert, die in einem zweiten Probenfeuchtigkeitsgehalt U2 resultieren. Hier wird der Probenfeuchtigkeitsgehalt auf  $U2 = 12 \%$  reduziert, während T2 gleich T1 oder verschieden sein kann.

Praktisch wird die Stimulus-2-Änderung mindestens eine Stunde beziehungsweise mehrere Stunden lang angewandt. Aus kommerziellen Gründen sollte die Stimulusänderung insbesondere mindestens einige Stunden dauern.

Das Ergebnis des Selbstformungsschritts II nach der Stimulus-2-Änderung ist hier eine formgeänderte Doppelschicht 3'. Eine Vielzahl einer solchen formgeänderten Doppelschicht 3' wird dann im Stapel- und Befestigungsschritt III verbunden, was zu einem

laminierten Doppelschichtstapel 4' führt, der insbesondere mit Vakuumlaminiierung laminiert wird. Nach der Laminierung beziehungsweise dem Stapel- und Befestigungsschritt III kann die Bedingung geändert werden, solange die resultierenden geformten, laminierten, mehrschichtigen, auf Pflanzenfasern basierten Baukomponenten 4 in ihrer Form stabil sind. Wahlweise kann eine Vielzahl von formgeänderten Doppelschichten 3' in x, y-Richtung vor oder mit dem Stapel- und Befestigungsschritt III verbunden werden.

Mit diesem Verfahren können Balken oder Platten produziert werden, die eine gewünschte Formänderung aufweisen.

Bei einem Beispiel wurden ein Fichtenbalken 0 und ein Buchenbalken 0' mit verschiedenen Faserorientierungen verbunden. Beide Holzarten zeigen verschiedenes Verhalten, wenn die relative Feuchtigkeit geändert wird. Wenn die Faserorientierung von beiden Balken optimiert wird, wird der Buchenbalken größere dimensionale Änderungen in einer Richtung zeigen als der Fichtenbalken. Eine Multi-Elementdoppelschicht 1' zeigt eine Formänderung, die für den stabilen Feuchtigkeitsgehalt U der zwei Elemente 0 und 0' konstant bleiben wird, die hier als Balken geformt sind.

Wie in Figur 3 gezeigt, können neben der Balkenproduktion, wie in der linken Spalte gezeigt, auch Schalen und andere plattenartig geformte Formen produziert werden, wie in der rechten Spalte gezeigt. Zur Schalenherstellung wird eine Vielzahl von auf Pflanzenfasern basierten Elementen 0, 0' mit bekannten dimensional Änderungen während der Anwendung derselben Stimulus-2-Änderung im Laminier- und Bondierschritt I verbunden, womit laminierte, holzbasierte Multi-Elementkomponenten 1 in Form einer ebenengleichen Multi-

Elementschicht 1" aufgebaut werden. Während der Anwendung der Stimulus-2-Änderung von der ersten Bedingung (RH1, T1, U1, ...) zur zweiten Bedingung (RH2, T2, U2, ...) im Selbstformungsschritt II wird die ebenengleiche Multi-Elementschicht 1" selbstgeformt und führt zur formgeänderten ebenengleichen Schicht 3". Der gewünschten Schale entsprechend wird eine Vielzahl von formgeänderten, ebenengleichen Schichten 3" während des anschließenden Stapel- und Befestigungsschritts III verbunden und damit die laminierte, ebenengleiche Schicht 4" aufgebaut, die insbesondere mit Vakuumlaminiierung laminiert wird.

Wie in Figur 3 gezeigt, können gebogene oder verdrehte Balken aus laminierten Doppelschichten 4' und synklastische oder antiklastische Schalen mit Stapeln von laminierten, ebenengleichen Schicht 4" hergestellt werden.

Dem Verfahren entsprechend kann jedes auf Pflanzenfasern basierte Element 1 aus einer, zwei oder mehr Schichten in z-Richtung bestehen, die auf den Anfangsfeuchtigkeitsgehalt U1 äquilibriert worden sind. Eine externe Stimulus-2-Änderung wird angewandt, ehe die Schichten in flachem oder gebogenem Zustand gestapelt und aneinander befestigt werden. Jede Schicht kann aus einem oder mehreren Elementen bestehen, die seitlich aneinander befestigt sind. Es ist ebenfalls möglich, Teile aus zwei oder mehr Schichten herzustellen, wobei eine Schicht nur aus einem Element besteht und die Teile dann seitlich aneinander gebondet werden.

Die einzelnen, auf Pflanzenfasern basierten Elemente 0, 0' innerhalb einer laminierten, holzbasierten Multi-Elementkomponente 1 können verschiedene Faserorientierung und verschiedene Jahresringorientierung aufweisen, die zu verschiedenen

isotropen oder anisotropen dimensionalen Änderungen der verschiedenen auf Pflanzenfasern basierten Elemente 0 infolge des externen Stimulus 2 führen. Für doppelgeschichtete oder mehrfachgeschichtete Teile zeigen die einzelnen, kontinuierlichen Schichten verschiedene Faserorientierung (linke Spalte) mit einem Faserwinkel von  $0 - 90^\circ$  zwischen der Faserrichtung der Schichten. Darüber hinaus kann diese Winkeleinstellung von kontinuierlichen Schichten im Bereich von  $0 - 180^\circ$  in Bezug auf das Bezugskordinatensystem der Holzkomponente rotiert werden (Rotationswinkel), wie in Figur 4 gezeigt.

Die verschiedene Orientierung des Materials in den zwei Schichten 0, 0', die vom Faserwinkel Theta festgelegt wird, kann im Bereich einiger Grad bis zu  $90^\circ$  liegen. Die Orientierung des Materials in Bezug auf das Koordinatensystem des Teils, die durch den Rotationswinkel Phi festgelegt wird, kann im Bereich von  $0^\circ$  bis  $180^\circ$  liegen. Falls  $\text{Theta} = 90^\circ$  und  $\text{Phi} = 0^\circ$  oder  $90^\circ$  ist, wird reines Biegen erreicht, während für  $\text{Theta} = 90^\circ$  und  $\text{Phi} = 45^\circ$  oder  $-45^\circ$  reines Verdrehen erreicht wird. Andere Kombinationen führen zu kombinierten Verdrehen und Biegen, wie in Fig. 4c), dritte Reihe, gezeigt.

Durch laterales Befestigen von Elementen als auch durch Stapeln und Befestigen von Schichten mit verschiedener Faserorientierung werden die anisotropen dimensional Änderungen in Formänderungen der Multi-Elementdoppelschicht 1' oder ebenengleichen Multi-Elementschicht 1" nach Änderung des Feuchtigkeitsgehalts umgewandelt. Die Form der endgültigen Komponente kann unidirektionale Biegung, bidirektionale Biegung (negative (antiklastische) oder positive (synklastische) Gaußsche Biegung), Doppelbiegung, Verdrehung, Kombinationen von Verdrehung und Biegung mit möglichen

seitlichen Kombinationen dieser Formänderungen innerhalb einer Komponente aufweisen.

Figur 5 zeigt einen Prototyp 4' von 1,5 m Länge, 12 cm Breite und 20 cm Dicke, der aus sechs gebogenen, formgeänderten Doppelschichten 3' aus Fichtenholz hergestellt wurde. Jede formgeänderte Doppelschicht 3' besteht aus einem 20 mm dicken und einem 10 mm dicken Brett mit R- und L-Orientierung jeweils parallel zu der langen Achse des Balkens, zwei Fichtenbretter (L-Orientierung) mit einer Dicke von 10 mm wurden auf der Innenseite und Außenseite hinzugefügt; Durchschnittradius von 2 m; Biegung wurde durch eine Stimulus-2-Änderung des Proben/Holzfeuchtigkeitsgehalts von 20 % auf 9 % erreicht. Als Leim wurde ein auf Polyurethan basierender Leim verwendet.

Formänderung von Multi-Elementdoppelschicht 1' ist erfolgreich für Größen bis zu 40 mm Dicke, 220 cm Länge und 500 cm Breite und für Unterschiede im Proben/Holzfeuchtigkeitsgehalt als Stimulus-2-Änderung bis zu 11 % nachgewiesen worden. Eine solche Multi-Elementdoppelschicht 1' führte dazu, dass gebogene, formgeänderte Doppelschichten 3' gestapelt und laminiert wurden, um ein gebogenes Holzteil 4' zu erhalten, bei dem die Form durch Stapeln und Laminieren festgelegt wurde.

Trocknen von Doppelschichten zum Einführen einer Formänderung durch Ausführen des Selbstformungsschritts II ist bei einer Temperatur von 55 °C in einer ventilierten Klimakammer für beschleunigtes Trocknen, ähnlich milden Ofentrocknungsbedingungen, erfolgreich durchgeführt worden. Auch erfolgreiche Formänderungen bei 70 °C wurden bei anderen Beispielen durchgeführt.

Die erhaltenen Biegungsänderungen waren denjenigen vergleichbar, die bei Raumtemperatur nach Verfahren des Stands der Technik ohne jeden sichtbaren Schaden durch Leimversagen bei dieser Temperatur erhalten wurden.

Eine Vorhersage der Biegung ist mit einer nur 10 % Abweichung von der experimentell bestimmten Biegung erreicht worden. Scannen von Holz und digitales Design sind bereits vorgeführt worden.

Zum Befestigen von auf Pflanzenfasern basierten Elementen 0 und geformten, geänderten, auf Pflanzenfasern basierten Komponenten 2 kann jede Art von Befestigungstechnik angewandt werden wie zum Beispiel

- Bonden mit geeigneten Leimen,
- mechanisches Befestigen wie mit Bolzen, Schrauben oder Kabeln,
- mechanisches Verbinden zum Beispiel mit Fingergelenken, Schweißen, Nähen, Heften etc.;

im Fall von Bonden mit Leimen kann der während des Bondens erforderliche Druck entweder durch eine Pressmaschine (für flache Teile), durch Vakuumlaminiierung oder durch Schraubenklemmung ausgeführt werden.

Die einzelnen, formgeänderten, auf Pflanzenfasern basierten Komponenten 3, die gestapelt und aneinander befestigt werden, um die endgültigen geformten, laminierten, mehrschichtigen, auf Pflanzenfasern basierten Baukomponenten 4 zu erhalten, werden entweder in flachem Zustand oder in einem anfänglich gebogenen Zustand bei einem spezifischen Feuchtigkeitsgehalt U1

hergestellt, auf den sie unter Bedingung RH1 und T1 äquibriert worden sind.

Im abschließenden Schritt werden die Teile aufeinander und/oder seitlich zueinander gestapelt und befestigt, um die endgültige, komplex geformte Komponente 4 zu erhalten. Durch Stapeln dieser Teile 3 und Aneinanderbefestigen wird jede weitere Formänderung der Teile 3 und der endgültigen Komponente 4 in Reaktion auf Änderungen der umgebenden relativen Feuchtigkeit weitgehend verhindert, und die endgültige mehrschichtige Komponente 4 behält ihre endgültige, programmierte Form unabhängig von der umgebenden relativen Feuchtigkeit.

Die Formänderung der laminierten, holzbasierten Multi-Elementkomponenten 1 von ihrem anfänglichen Zustand während der Herstellung zur endgültigen Form wird durch Ändern des Feuchtigkeitsgehalts der Holzteile durch Ändern der umgebenden relativen Feuchtigkeit und/oder Temperatur erreicht. Holz kann zum Beispiel bei einem hohen Feuchtigkeitsgehalt ohne vorheriges technisches (Ofen)-Trocknen in Produktion genommen werden. Das übliche Ofentrocknungsverfahren zum Erreichen von Verfahrens- und Betriebsbedingungen kann genutzt werden, um die programmierte Formänderung der Teile 1 zu erreichen.

Es ist ebenfalls möglich, das neue Verfahren mit den herkömmlichen Verfahren zur Herstellung von gebogenen Strukturen zu kombinieren. Hierbei dient eine selbstverformte, formgeänderte, laminierte, auf Pflanzenfasern basierte Komponente oder ein geformtes Laminat als eine Schablone für die endgültige, komplex geformte Komponente. Weitere Schichten oder Teile werden dann durch elastisches Kalt- oder Warmbiegen an dieser Schablone befestigt, um die endgültige, komplex geformte Komponente zu erhalten. Diese Kombination lässt eine

schalungsfreie Herstellung zu, wobei sie ebenfalls die Herstellung von brettschichtholzartigen Strukturen mit unidirektional orientierten Fasern erlaubt. Sie wird brettschichtholzartige Struktur genannt, da mindestens eine Schicht mit kreuzorientierten Fasern als Teil der anfänglichen Schablonendoppelschicht vorhanden ist.

Auf Pflanzenfasern basierte Elemente 0, 0' und resultierende geformte, laminierte, auf Pflanzenfasern basierte Komponenten 4 können mit Hilfe einer geeigneten Befestigungstechnik aneinander befestigt werden, die die notwendige Formänderung, die Umweltbedingungen und die entstehenden inneren Stresse in der komplexen geformten Komponente 4 während der Nutzungsdauer zulässt und durchsteht. Eine solche Befestigungstechnik kann durch Bonden unter Anwendung eines geeigneten Leims, mechanisches Befestigen mit Schrauben oder Bolzen, mechanisches Verbinden z. B. durch Fingergelenke, Nähen, Heften, Schweißen etc. ausgeführt werden, doch ist nicht darauf beschränkt. Im Falle einer Basierung auf Pflanzenfasern wird das Bonden mit Leim unter Anwendung irgendeines geeigneten, für Holz spezifizierten Leims durchgeführt, der zum Bonden von Holz unter besonderer Berücksichtigung des spezifischen Probefeuchtigkeitsgehalts der Elemente, Schichten, Teile und Komponenten zur Zeit des Bondens geeignet und spezifiziert ist. In einem Fall kann dies ein Ein-Komponenten-Polyurethanleim (1K-PUR) sein.

#### Änderung der umgebenden Klimabedingung

Ein Eingabestimulus in Form einer Änderung der umgebenden Klimabedingung 2 wird angewandt, der zu dimensional Änderungen des Materials führt. Im Fall von auf Pflanzenfasern basierten Elementen kann der Eingabestimulus 2 die umgebende relative Feuchtigkeit, die Temperatur oder eine Kombination von beiden sein.

Die Eingabestimulusänderungen führen zu Änderungen beim Feuchtigkeitsgehalt und daher zu anisotropen dimensional Änderungen.

Experimente zeigten gute Resultate, starteten mit einem Anfangsfeuchtigkeitsgehalt  $U_1$  zwischen 0 - 30 % und endeten mit  $U_2$  zwischen 5 % und 15 % oder einem  $\Delta U$  zwischen 2 % und 15 %.

Ein typischer Temperaturbereich zwischen  $T_1$  und  $T_2$  liegt zwischen 10 °C und 60 °C, wobei eine Zunahme oder Abnahme möglich ist.

Die Zeitskala des Verfahrens, beziehungsweise die Eingabestimulusänderung, liegt vornehmlich im Bereich von einigen Stunden und wird vornehmlich vier Stunden lang angewandt. Natürlich kann die Selbstformungsformänderung II mindestens ein Tag oder mehrere Tage dauern.

Das hier beschriebene Verfahren erfordert Vorhersagen der Formänderung von auf Pflanzenfasern basierten Elementen 0, 0', beziehungsweise laminierten, holzbasierten Multi-Elementkomponenten 1, was Erfahrung oder eine Simulationssoftware und ein Scannen und Sortieren des Holzes erfordert, da die Formänderung von der Jahresringorientierung und Faserrichtung abhängt. Der Planungsprozess kann komplexer werden, da digital entworfene Teile möglicherweise spezifischen Bereichen auf Holzbrettern zugewiesen werden müssen. Holz ist ein biologisches Material mit intrinsischer Variabilität der Eigenschaften, die die Vorhersagbarkeit beeinflussen, und dies ist daher zu berücksichtigen, um annehmbare Grenzen bei der Genauigkeit z. B. der Biegung festzulegen und um das digitale Konstruktionswerkzeug und das industrielle Herstellungsverfahren einzurichten. Die auf

Pflanzenfasern basierten Elemente 0, 0' können Naturholz und holzbasierte Komposite umfassen.

Experimente zeigten, dass die Schritte II und III ebenfalls bei einzelnen, auf Pflanzenfasern basierten Elementen 0 angewandt werden können, bevor sie mit anderen verbunden werden. In diesem Fall besteht die eine Schicht des auf Pflanzenfasern basierten Elements 0 aus einem Gradientenmaterial, das einen allmählich verschiedenen Koeffizienten der dimensionalen Änderung entlang mindestens einer Richtung aufweist, um eine Formänderung zu erreichen. Die auf Pflanzenfasern basierten Elemente 0 werden nach dem Selbstformungsschritt II mit dem Stapel- und Befestigungsschritt III verbunden, wie oben beschrieben, und bilden Stapeln von geschichteter, laminiertes Doppelschicht 4'. Wiederum wird der Selbstformungsschritt II durch eine Stimulus-2-Änderung von einem anfänglichen Zustand in einen resultierenden Zustand ausgeführt, während die auf Pflanzenfasern basierten Elemente 0 anfänglich flach oder anfänglich gebogen sein mögen und programmierte Formänderungen durchlaufen, um den komplexen, geformten Endzustand nach Änderung eines geeigneten Eingabestimulus 2 zu erreichen. Das Stapeln und Befestigen der Teile, um die endgültige Komponente zu erhalten, verhindert jede weitere Formänderung der Komponente während der Nutzungsdauer. Die Form der endgültigen Komponente kann unidirektionale Biegung, bidirektionale Biegung (negative oder positive Gaußsche Biegung), Doppelbiegung, Verdrehung aufweisen, wobei Kombinationen von Verdrehung und Biegung mit verschiedenen Positionen innerhalb der Komponente möglicherweise verschiedene Biegung in möglicherweise verschiedenen Richtungen aufweisen. Die gestapelten Teile haben kompatible Biegunszustände für Stapeln und Befestigen, doch können in Größe und Geometrie verschieden sein.

Für anisotrope Materialien kann dasselbe Material für zwei Schichten von auf Pflanzenfasern basierendem Element  $0, 0'$  verwendet werden. Doch verschiedene Orientierung des Materials in den zwei Schichten wird benutzt, um eine verschiedene dimensionale Änderung der zwei Schichten mindestens in einer Richtung des Teils zu bewirken. In einem Fall könnte ein solches anisotropes Material Holz sein. Für anisotrope Materialien können Schichten, die aus mehr als einem Element bestehen, verschiedene Orientierung des Materials in den einzelnen Elementen aufweisen, um zum Beispiel eine bidirektionale Biegung zu erreichen.

LISTE DER BEZUGSZAHLEN

0, 0'	auf Pflanzenfasern (beziehungsweise Holz) basiertes Element
1	Laminierte, holzbasierte Multi-Elementkomponente (Anfangsbedingung)
1'	Multi-Elementdoppelschicht (ebenenverschoben in z-Richtung zusammengefügt)
1"	Ebenengleiche Multi-Elementschicht (in x, y Richtung zusammengefügt)
2	Änderung der umgebenden klimatischen Bedingung / Stimulus ( $\Delta T$ , $\Delta RH$ )
3	formgeänderte, laminierte, auf Pflanzenfasern basierte Komponente
3'	Formgeänderte Doppelschicht
3"	Formgeänderte ebenengleiche Schicht
4	geformte, gestapelte, mehrschichtige, holzbasierte Baukomponente (insbesondere auf Pflanzenfaserbasis)
4'	(Vakuum)-laminierte Doppelschicht (Stapeln)
4"	(Vakuum)-laminierte, ebenengleiche Schicht (Stapeln)
I	Laminier- und Bondierschritt
II	Selbstformungsschritt
III	Stapel- und Befestigungsschritt

## PATENTANSPRÜCHE

1. Herstellungsverfahren für geformte, gestapelte, mehrschichtige, holzbasierte Baukomponenten (4) von holzbasierten Elementen (0, 0'),

dadurch gekennzeichnet, dass:

- zuerst holzbasierte Elemente (0, 0') in einem Laminier- und Bondierschritt (I) bei erster anfänglicher klimatischer Bedingung mit relativer Feuchtigkeit (RH1) und Anfangstemperatur (T1) zusammengefügt werden, was zu einem Anfangsfeuchtigkeitsgehalt (U1, U1') der holzbasierten Elemente (0, 0') führt, wobei der Laminier- und Bondierschritt (I) ebenengleich oder ebenenverschoben durchgeführt wird, um laminierte, holzbasierte Multi-Elementkomponenten (1) zu erhalten, was entweder zu Multi-Elementdoppelschichten (1') oder ebenengleichen Multi-Elementschichten (1'') führt,

während ein Bonden der holzbasierten Elemente (0, 0') mit Bondiertechnik angewandt wird, gefolgt von

- einem Selbstformungsschritt (II) von laminierten, holzbasierten Multi-Elementkomponenten (1', 1''),

während eine Änderung des Eingabestimulus (2) in Form einer Änderung von umgebenden klimatischen Bedingungen ausgeführt wird, die sich von Anfangsbedingung mit relativer Anfangsfeuchtigkeit (RH1) und Anfangstemperatur (T1) auf Endbedingung mit relativer Endfeuchtigkeit (RH2) und Endtemperatur (T2) ändern, was zu einem

Feuchtigkeitsgehalt (U2) für eine Feuchtigkeitsänderung ( $\Delta U$ ) zwischen 1 % und 30 % und/oder einer Temperaturänderung ( $\Delta T$ ) zwischen 10 °C und 70 °C führt und in formgeänderten Doppelschichten (3') oder formgeänderten, ebenengleichen Schichten (3'') resultiert,

und einem nachfolgendem

- Stapel- und Befestigungsschritt (III) einer Vielzahl von formgeänderten Doppelschichten (3') oder formgeänderten, ebenengleichen Schichten (3'') bei Endbedingung mit relativer Endfeuchtigkeit (RH2) und Endtemperatur (T2), die geformte, gestapelte, mehrschichtige, holzbasierte Baukomponenten (4) formen, die mindestens ungefähr ihre Form bei einer Temperatur und/oder Feuchtigkeit beibehalten, die von der Endtemperatur (T2) und relativen Endfeuchtigkeit (RH2) verschieden sind.
- 2. Herstellungsverfahren nach Anspruch 1, wobei der Stapel- und Befestigungsschritt (III) durch eine Bondiertechnik erfolgt, die einen Leim und ein Vakuum laminierungsverfahren verwendet.
- 3. Herstellungsverfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei mindestens zwei holzbasierte Elemente (0, 0') in einem Laminier- und Bondierschritt (I) bei Anfangsfeuchtigkeitsgehalt (U1, U1') und/oder Anfangstemperatur (T1) ebenenverschoben in einer z-Richtung eines kartesischen Koordinatensystems zusammengefügt werden, um Multi-Elementdoppelschichten (1') zu erhalten, ehe der Selbstformungsschritt (II) ausgeführt wird, während eine Änderung von umgebenden klimatischen Bedingungen (2) in

formgeänderten Doppelschichten (3') resultieren, wobei eine Vielzahl von formgeänderten Doppelschichten (3') nachfolgend ebenenverschoben in z-Richtung des kartesischen Koordinatensystems im Stapel- und Befestigungsschritt (III) bei Endfeuchtigkeitsgehalt (U2) und/oder Endtemperatur (T2) der Doppelschichten (3') gestapelt und ebenenverschoben befestigt wird, um gestapelte und befestigte laminierte Doppelschichtstapeln (4') zu erhalten.

4. Herstellungsverfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 2, wobei mindestens zwei holzbasierte Elemente (0, 0') in einem Laminier- und Bondierschritt (I) bei erster Bedingung des Feuchtigkeitsgehalts (U1) und/oder Anfangstemperatur (T1) ebenengleich in einer x, y-Richtung eines kartesischen Koordinatensystems zusammengefügt werden, um eine ebenengleiche Multi-Elementschicht (1") zu erhalten,

ehe der Selbstformungsschritt (II) ausgeführt wird, während die Änderung von umgebenden klimatischen Bedingungen (2) in formgeänderter ebenengleicher Schicht (3") resultiert, wobei eine Vielzahl von formgeänderter, ebenengleicher Schicht (3") nachfolgend gestapelt und ebenenverschoben in einer z-Richtung und/oder ebenengleich in einer x, y-Richtung eines kartesischen Koordinatensystems im Stapel- und Befestigungsschritt (III) bei Endfeuchtigkeitsgehalt (U2) und/oder Endtemperatur (T2) der formgeänderten, ebenengleichen Schichten (3") gestapelt und befestigt wird, um gestapelte und befestigte, laminierte, ebenengleiche Schichtstapeln (4") zu erhalten.

5. Herstellungsverfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei während der Anwendung des Selbstformungsschritts (II) der Anfangsfeuchtigkeitsgehalt (U1) der laminierten, holzbasierten Multi-Elementkomponente (1, 1', 1") zwischen 0 % und 30 % , insbesondere auf einen Endfeuchtigkeitsgehalt (U2) zwischen 5 % und 20 % geändert wird, was zu einer Feuchtigkeitsänderung ( $\Delta U$ ) zwischen 1 % und 20 % führt.
6. Herstellungsverfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die geformten, gestapelten, mehrschichtigen, holzbasierten Baukomponenten (4) aus im Anfangszustand flach geformten, holzbasierten Elementen (0) oder flach geformten laminierten, holzbasierten Multi-Elementkomponenten (1) hergestellt werden, die durch den Selbstformungsschritt (II) verformt werden, während umgebende klimatische Bedingungen von Anfangsbedingung (T1, RH1) auf Endbedingung (T2, RH2) geändert werden.
7. Herstellungsverfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die Temperatur während des Selbstformungsschritts (II) von Anfangstemperatur (T1) auf Endtemperatur (T2),  $T1 < T2$ , erhöht wird.
8. Herstellungsverfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei der Eingabestimulus (2) in Form einer Änderung der umgebenden klimatischen Bedingungen während des Selbstformungsschritts (II) auf eine festgelegte Weise für mindestens eine bis einige Stunden, insbesondere für vier Stunden, angewandt wird.
9. Herstellungsverfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die holzbasierten Elemente (0, 0')

Arten von natürlichem Holz wie Buchen- oder Fichtenholz und holzhaltige Komposite wie Sperrholz sind.

FIG. 1

STAND DER  
TECHNIK

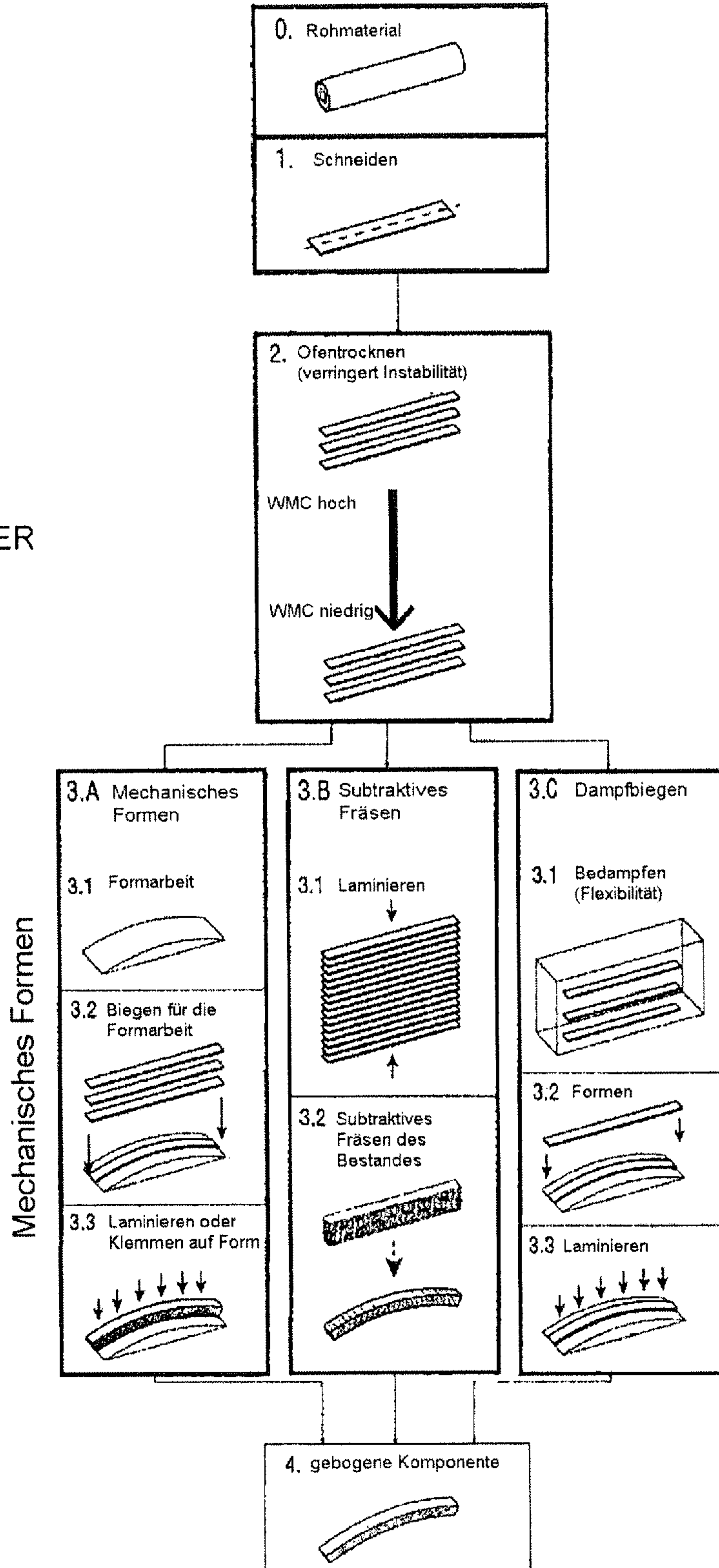


FIG. 2

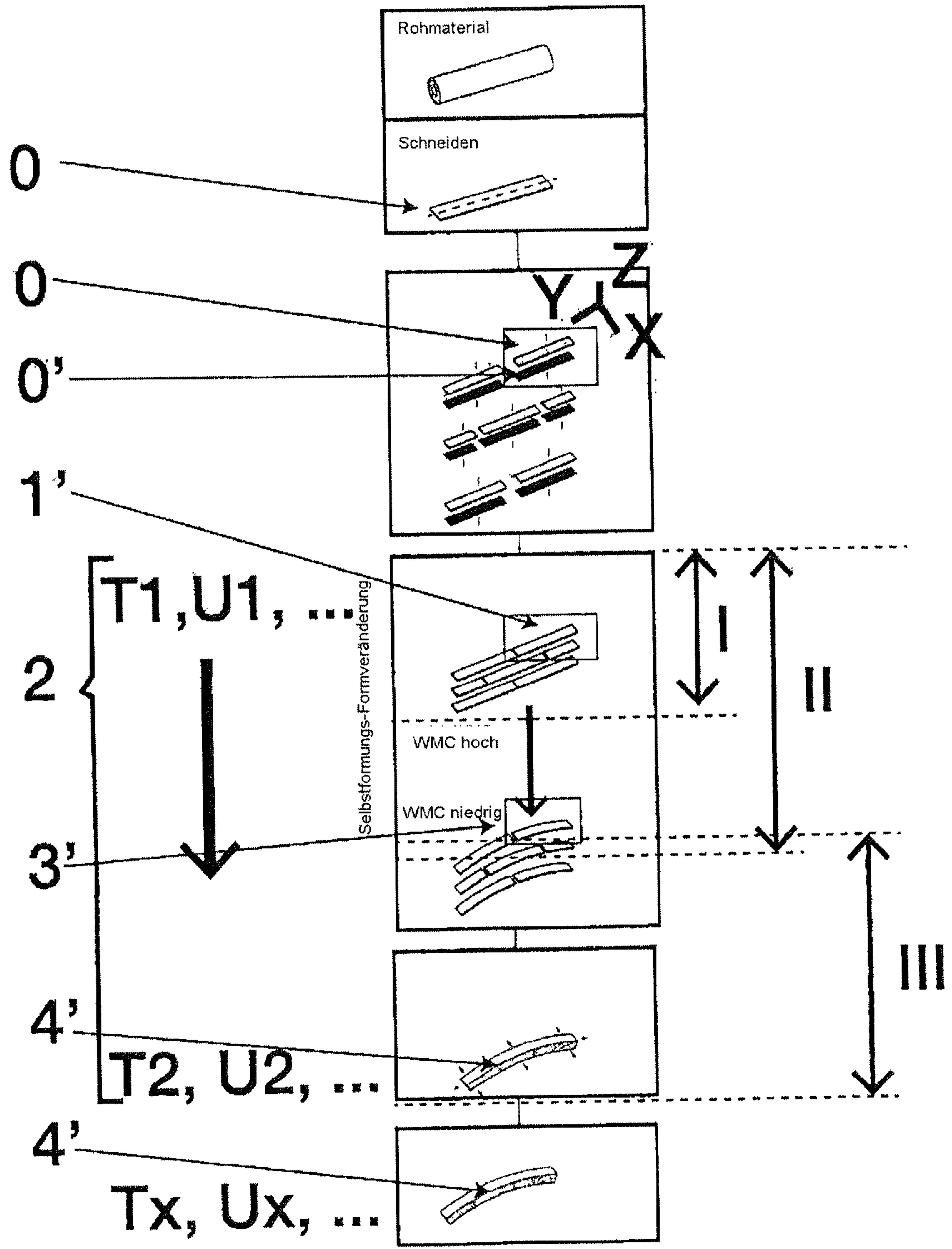


FIG. 3

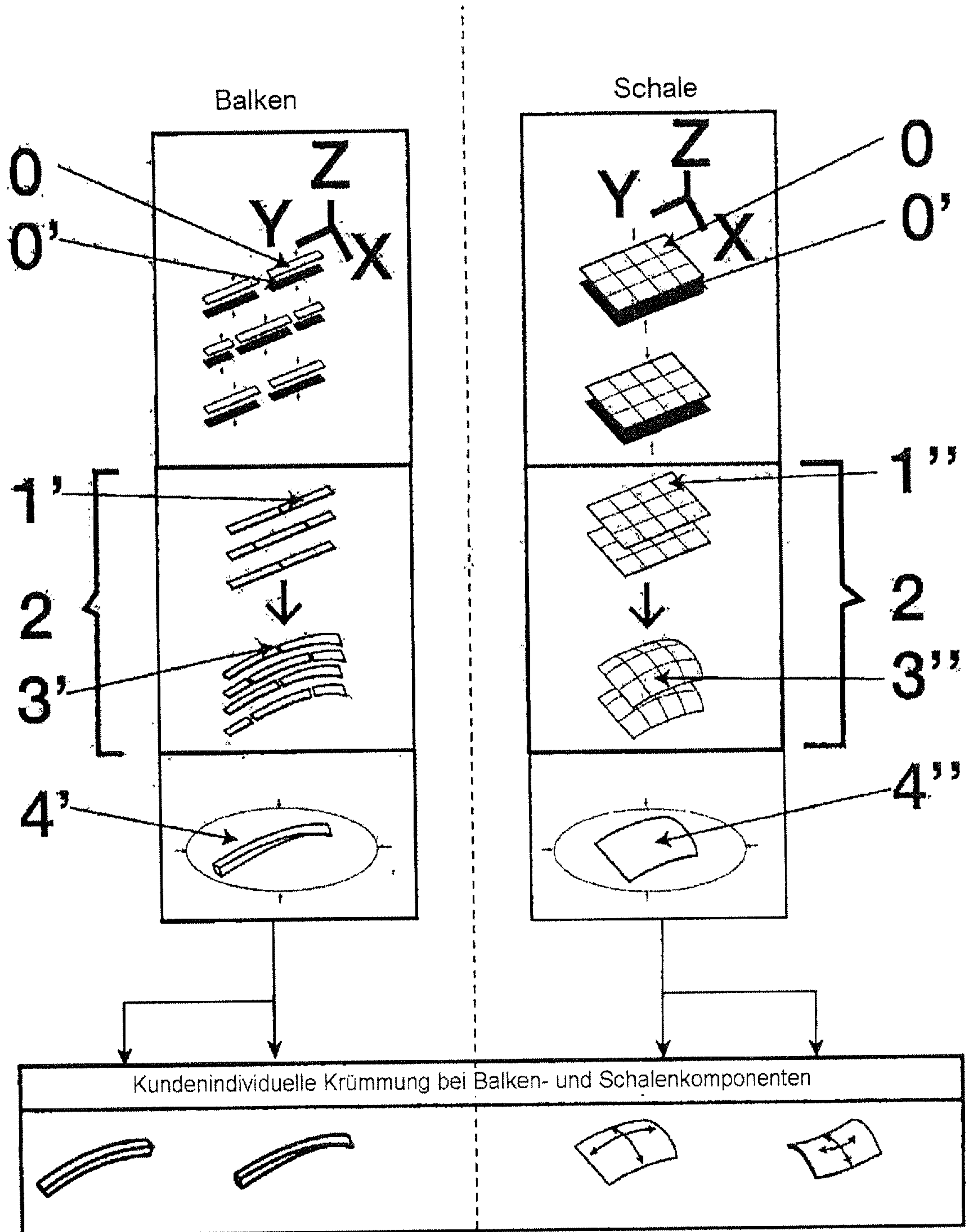


FIG. 4

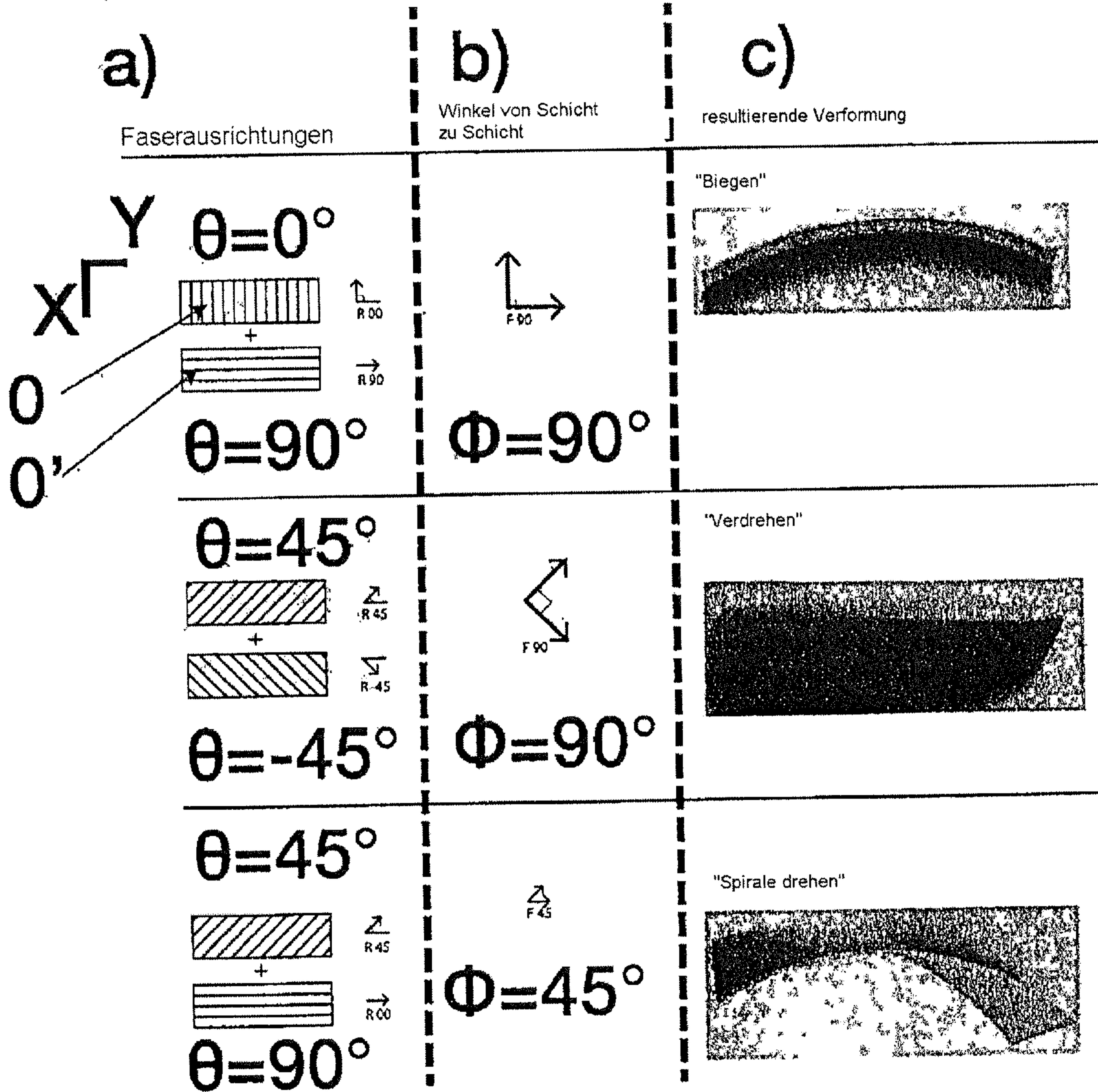


FIG. 5

