

## (12) Österreichische Patentanmeldung

(21) Anmeldenummer: A 50098/2021 (51) Int. Cl.: E04C 2/42 (2006.01)  
(22) Anmeldetag: 15.02.2021  
(43) Veröffentlicht am: 15.05.2022

(56) Entgegenhaltungen: DE 202012013002 U1 US 9162416 B1 AT 401757 B CN 107100268 A	(71) Patentanmelder: Polymer Competence Center Leoben GmbH 8700 Leoben (AT)
	(72) Erfinder: Fleisch Mathias 8020 Graz (AT) Thalhamer Andreas 5112 Lamprechtshausen (AT) Meier Gerald 8700 Leoben (AT)
	(74) Vertreter: Puchberger & Partner Patentanwälte 1010 Wien (AT)

### (54) Struktur zur Bildung eines deformierbaren Körpers

(57) Struktur zur Bildung eines entlang zumindest einer ersten Deformationsachse (1') deformierbaren Körpers (2), umfassend mehrere Knotenelemente (3) und mehrere die Knotenelemente (3) miteinander verbindende Verbindungselemente (4),  
- wobei die Knotenelemente (3) und die Verbindungselemente (4) abwechselnd aneinander gereiht sind und zusammen Gitterachsen (5) eines dreidimensionalen Gitters mit wählbaren Deformationseigenschaften bilden,  
- wobei die Verbindungselemente (4) entlang der ersten Deformationsachse (1') eine kleinere Steifigkeit aufweisen als die Knotenelemente (3),  
- wobei die Verbindungselemente (4) bei einer Krafteinwirkung entlang der ersten Deformationsachse (1') deformiert werden und dadurch eine Relativbewegung der Knotenelemente (3) zueinander ermöglichen,  
- und wobei die Steifigkeit eines ersten Verbindungselements (4') von der Steifigkeit eines zweiten Verbindungselements (4'') abweicht.

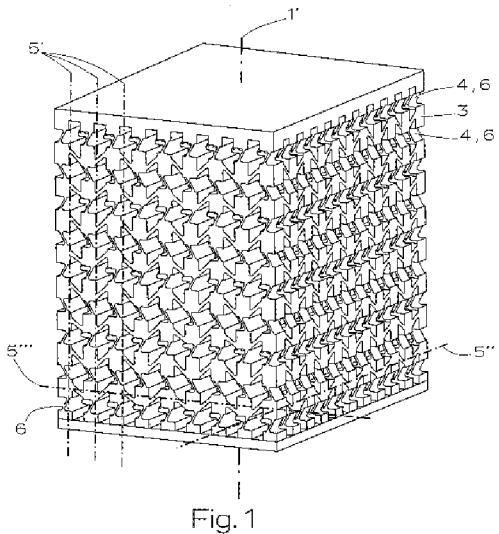


Fig. 1

## Zusammenfassung

Struktur zur Bildung eines entlang zumindest einer ersten Deformationsachse (1') deformierbaren Körpers (2), umfassend mehrere Knotenelemente (3) und mehrere die Knotenelemente (3) miteinander verbindende Verbindungselemente (4),

- wobei die Knotenelemente (3) und die Verbindungselemente (4) abwechselnd aneinander gereiht sind und zusammen Gitterachsen (5) eines dreidimensionalen Gitters mit wählbaren Deformationseigenschaften bilden,
- wobei die Verbindungselemente (4) entlang der ersten Deformationsachse (1') eine kleinere Steifigkeit aufweisen als die Knotenelemente (3),
- wobei die Verbindungselemente (4) bei einer Krafteinwirkung entlang der ersten Deformationsachse (1') deformiert werden und dadurch eine Relativbewegung der Knotenelemente (3) zueinander ermöglichen,
- und wobei die Steifigkeit eines ersten Verbindungselements (4') von der Steifigkeit eines zweiten Verbindungselements (4'') abweicht.

**Fig. 1**

## **Struktur zur Bildung eines deformierbaren Körpers**

Die Erfindung betrifft eine Struktur zur Bildung eines deformierbaren Körpers gemäß den Merkmalen des unabhängigen Patentanspruchs.

Für unterschiedliche technische Gebiete sind Materialien und Strukturen bekannt, die bestimmte Deformationseigenschaften aufweisen. Beispielsweise kann die Fachperson aus unterschiedlichen Materialien wie Elastomeren, Schaumstoffen, Metallfedern etc. wählen, um die für die jeweilige Anwendung gewünschte Eigenschaft zu erhalten.

Bei komplexeren Anwendungen, beispielsweise für eine nicht lineare Federkennlinie oder für Körper, die entlang unterschiedlicher Achsen unterschiedliche Steifigkeiten aufweisen sollen, gestaltet sich die Suche nach einer passenden Struktur erheblich schwieriger. Insbesondere sind derartige Strukturen oft komplexe Konstruktionen aus unterschiedlichen Teilen und Materialien, deren Auslegung und Fertigung mit hohem Aufwand verbunden ist.

Aufgabe der Erfindung ist es nun, eine Struktur zur Bildung eines entlang zumindest einer Deformationsachse deformierbaren Körpers zu schaffen, die einfach hergestellt werden kann und dennoch eine flexible Wahl der Steifigkeit, insbesondere eine nahezu beliebige Wahl einer Federkennlinie und/oder eine beliebige Wahl unterschiedlicher Steifigkeiten entlang unterschiedlicher Achsen ermöglicht.

Die erfindungsgemäße Aufgabe wird insbesondere durch die Merkmale des unabhängigen Patentanspruchs gelöst.

Die Erfindung betrifft eine Struktur zur Bildung eines entlang zumindest einer ersten Deformationsachse deformierbaren Körpers, umfassend mehrere Knotenelemente und mehrere die Knotenelemente miteinander verbindende Verbindungselemente.

Bevorzugt ist vorgesehen, dass die Knotenelemente und die Verbindungselemente abwechselnd aneinander gereiht sind und zusammen Gitterachsen eines dreidimensionalen Gitters mit wählbaren Deformationseigenschaften bilden.

Bevorzugt ist vorgesehen, dass die Verbindungselemente entlang der ersten Deformationsachse eine kleinere Steifigkeit aufweisen als die Knotenelemente, insbesondere dass die Knotenelemente starr ausgebildet sind.

Bevorzugt ist vorgesehen, dass die Verbindungselemente bei einer Krafteinwirkung entlang der ersten Deformationsachse deformiert werden und dadurch eine Relativbewegung der Knotenelemente zueinander ermöglichen.

Bevorzugt ist vorgesehen, dass die Steifigkeit eines ersten Verbindungselements von der Steifigkeit eines zweiten Verbindungselements abweicht, insbesondere dass die Steifigkeit der Verbindungselemente einzeln gewählt werden kann und/oder variiert.

Gegebenenfalls ist vorgesehen, dass die Knotenelemente entlang der Gitterachsen jeweils mit mindestens einem benachbarten Knotenelement, bevorzugt mit jedem benachbarten Knotenelement, über je ein Verbindungselement verbunden sind.

Gegebenenfalls ist vorgesehen, dass die Verbindungselemente und die Knotenelemente aus demselben Material gebildet sind.

Gegebenenfalls ist vorgesehen, dass die Verbindungselemente und die Knotenelemente einstückig aus demselben Material gebildet sind.

Gegebenenfalls ist vorgesehen, dass die Struktur durch additive Fertigung wie 3D-Druck gebildet ist.

Gegebenenfalls ist vorgesehen, dass die Verbindungselemente jeweils als Biegestrebe ausgebildet sind, die zwei entlang einer Gitterachse benachbarte Knotenelemente miteinander verbindendet.

Gegebenenfalls ist vorgesehen, dass die Biegestreben einen vom Verlauf der jeweiligen Gitterachse abweichenden Verlauf aufweisen und insbesondere schräg zur jeweiligen Gitterachse verlaufen.

Gegebenenfalls ist vorgesehen, dass die Knotenelemente dreidimensionale Körper sind, die insbesondere würfelförmig ausgestaltet sind.

Gegebenenfalls ist vorgesehen, dass sich die Verbindungselemente, insbesondere die Biegestreben, jeweils schräg von einer Seitenkante eines Knotenelements zur schräg gegenüber liegenden Seitenkante eines benachbarten Knotenelements erstrecken.

Gegebenenfalls ist vorgesehen, dass die Verbindungselemente relativ zur jeweiligen Gitterachse geneigt und/oder gekrümmmt verlaufen.

Gegebenenfalls ist vorgesehen, dass die Verbindungselemente entlang der jeweiligen Gitterachse abwechselnd in unterschiedliche Richtungen zur Gitterachse geneigt verlaufen.

Gegebenenfalls ist vorgesehen, dass die Verbindungselemente entlang einer Gitterachse zick-zack-förmig oder gewellt verlaufen.

Gegebenenfalls ist vorgesehen, dass das erste Verbindungselement, zur Erzeugung der unterschiedlichen Steifigkeit, anders dimensioniert ist als das zweite Verbindungselement.

Gegebenenfalls ist vorgesehen, dass das erste Verbindungselement, zur Erzeugung der unterschiedlichen Steifigkeit, eine andere Form aufweist als das zweite Verbindungselement.

Gegebenenfalls ist vorgesehen, dass der Körper zwei, drei oder mehr Deformationsachsen mit unterschiedlichen Deformationseigenschaften aufweist.

Gegebenenfalls ist vorgesehen, dass die Struktur zwei drei oder mehr Gitterachsen mit unterschiedlichen Deformationseigenschaften aufweist.

Gegebenenfalls ist vorgesehen, dass zwischen den Knotenelementen Freiräume freigehalten sind, die durch die Verbindungselemente durchsetzt werden.

Gegebenenfalls ist vorgesehen, dass die Struktur mindestens eine Standardzelle enthält.

Gegebenenfalls ist vorgesehen, dass sich die Standardzelle innerhalb der Struktur wiederholt, sodass eine regelmäßige Geometrie der Struktur gebildet wird.

Gegebenenfalls ist vorgesehen, dass die Steifigkeit mindestens einer Standardzelle von der Steifigkeit einer weiteren Standardzelle abweicht.

Gegebenenfalls ist vorgesehen, dass zur Veränderung der Steifigkeit einer oder mehrere der folgenden Parameter verändert sind:

- Dicke des Verbindungselements,
- Dicke der Biegestrebe,
- Übergangsradius zwischen dem Verbindungselement bzw. der Biegestrebe und dem Knotenelement,

- Abstand zwischen zwei Knotenelementen,
- Durchmesser bzw. Kantenlänge eines Kontenelements.

Gegebenenfalls ist vorgesehen, dass alle Verbindungselemente aus demselben Material bestehen.

Gegebenenfalls ist vorgesehen, dass alle Verbindungselemente, die in einer Normalebene einer Gitterachse, insbesondere in einer Normalebene der Deformationsachse liegen, parallel zueinander verlaufen.

Moderne Fertigungsverfahren, beispielsweise additive Fertigungsverfahren wie 3D-Druck, erlauben einerseits die Bildung von Strukturen aus wählbaren Materialien, andererseits aber auch eine nahezu uneingeschränkte Wahl des geometrischen Aufbaus einer Struktur. So kann durch herkömmliche 3D-Druckverfahren die Steifigkeit eines Körpers dadurch eingestellt werden, welches Material verwendet wird.

Gemäß der vorliegenden Erfindung wird zudem eine spezielle Struktur hergestellt, die Knotenelemente und mehrere die Knotenelemente miteinander verbindende Verbindungselemente umfasst. Die Verbindungselemente sind bevorzugt zwischen den Knotenelementen vorgesehen und weisen eine gewisse Steifigkeit auf, die in der Regel kleiner ist, als die Steifigkeit der Knotenelemente. Dies bedeutet insbesondere, dass bei einer Einleitung einer Kraft entlang einer Deformationsachse die Verbindungselemente verformt werden, während die Knotenelemente im Wesentlichen unverformt bleiben.

Bevorzugt sind jeweils zwei benachbarte Knotenelemente über ein Verbindungselement miteinander verbunden. Durch die Deformation des Verbindungselementes können die zwei durch dieses Verbindungselement miteinander verbundenen Knotenelemente relativ zueinander bewegt werden.

Bevorzugt sind die Knotenelemente und die Verbindungselemente derart angeordnet, dass sie zusammen Gitterachsen der Struktur bilden. Diese Gitterachsen können beispielsweise orthogonal zueinander verlaufen, sodass ein kubisches Gitter gebildet wird. Grundsätzlich entspricht es jedoch auch dem Gedanken der Erfindung, dass die

Gitterachsen in einer beliebigen Anordnung gebildet werden, um gewünschte Eigenschaften der Struktur zu schaffen.

Durch diesen geometrischen Aufbau der Struktur kann ein Körper geschaffen werden, der je nach Dimensionierung der Verbindungselemente und/oder der Knotenelemente bestimmte Deformationseigenschaften aufweist.

Insbesondere ist die Struktur derart ausgebildet, dass die Verbindungselemente und die Knotenelemente aus demselben Material gebildet sind, wobei die Steifigkeit der Struktur entlang der Deformationsachse kleiner ist, als jene Steifigkeit, die ein massiver Körper aus demselben Material hätte. Dies wird insbesondere dadurch bewirkt, dass die Verbindungselemente bei einer Krafteinwirkung deformiert werden.

Beispielsweise sind die Verbindungselemente als Biegestreben ausgebildet, die bei einer Krafteinwirkung verbogen und bevorzugt elastisch, aber gegebenenfalls auch plastisch, verformt werden. Die Biegestreben sind insbesondere derart ausgebildet, dass deren Verlauf vom Verlauf der jeweiligen Gitterachse bzw. vom Verlauf der Deformationsachse abweicht. Beispielsweise verlaufen die Verbindungselemente jeweils schräg von einem Knotenelement zum nächsten. Bei einer Krafteinwirkung werden die Knotenelemente zueinander bewegt und die Verbindungselemente werden verbogen bzw. verwunden.

In allen Ausführungsformen ist bevorzugt vorgesehen, dass die Knotenelemente beabstandet voneinander angeordnet sind. In allen Ausführungsformen ist bevorzugt vorgesehen, dass zwischen beabstandet angeordneten Knotenelementen Verbindungselemente vorgesehen sind. Insbesondere ist vorgesehen, dass die beabstandet voneinander angeordneten Knotenelemente über Verbindungselemente miteinander verbunden sind.

Bei einer Krafteinwirkung auf den Körper kommt es bevorzugt zu einer Relativbewegung der Knotenelemente zueinander. Dies geschieht dadurch, dass die Verbindungselemente durch die Krafteinwirkung verformt werden. Diese Verformung kann im elastischen Bereich erfolgen, sodass es sich um eine reversible Verformung

handelt. Gegebenenfalls kann jedoch alternativ oder zusätzlich eine plastische Verformung der Verbindungselemente stattfinden, die gegebenenfalls nicht mehr reversibel ist.

In allen Ausführungsformen ist bevorzugt vorgesehen, dass zwischen den Knotenelementen Freiräume freigehalten sind, die durch die Verbindungselemente durchsetzt werden.

In allen Ausführungsformen sind die Biegestreben bevorzugt derart ausgestaltet, dass sie sich bei einer bestimmungsgemäßen Krafteinwirkung bzw. Verformung der Struktur biegen, und insbesondere nicht nur auf Druck belastet sind.

Gegebenenfalls ist vorgesehen, dass der Körper entlang einer Deformationsachse, entlang zweier Deformationsachsen oder entlang dreier Deformationsachsen deformiert und insbesondere mit einer Kraft beaufschlagt wird.

In allen Ausführungsformen ist bevorzugt vorgesehen, dass die Verbindungselemente jeweils als Biegestreben ausgebildet sind. Gegebenenfalls ist vorgesehen, dass die Knotenelemente dreidimensionale Körper sind, die beispielsweise würfelförmig ausgebildet sind. Bevorzugt weisen die Knotenelemente eine Form auf, die dazu geeignet ist, das gewünschte Gitter der Struktur zu bilden. Bei einem kubischen Gitter bieten sich hierfür würfelförmige oder quaderförmige Knotenelemente an.

Gegebenenfalls können die Knotenelemente aber auch pyramidenförmig sein, oder eine andere beliebige Form aufweisen. Bevorzugt ist vorgesehen, dass alle Knotenelemente dieselbe geometrische Form aufweisen. Gegebenenfalls ist vorgesehen, dass die Knotenelemente zwar alle die gleiche geometrische Form aufweisen, jedoch eine unterschiedliche Größe haben.

Bevorzugt ist vorgesehen, dass sich die Verbindungselemente, insbesondere die Biegestreben, schräg von einer Seitenkante eines Knotenelements zur schräg gegenüber liegenden Seitenkante eines benachbarten Knotenelements erstrecken.

Gegebenenfalls enthält die Struktur mindestens eine Standardzelle. Bevorzugt ist vorgesehen, dass sich die Standardzelle innerhalb der Struktur wiederholt, sodass eine regelmäßige Geometrie der Struktur gebildet wird. Jedoch können Parameter der Standardzelle, insbesondere die Steifigkeit der Verbindungselemente beeinflussende Parameter, von Standardzelle zu Standardzelle variiert werden.

Beispielsweise kann ein Bereich des Körpers gebildet werden, dessen Verbindungselemente eine größere Steifigkeit aufweisen. Dadurch können Körper gebildet werden, die an einem Bereich eine geringere Steifigkeit aufweisen als in einem anderen Bereich. Die Variation der Parameter der Knotenelemente und/oder der Verbindungselemente kann in beliebiger Weise erfolgen. Beispielsweise kann eine graduelle Erhöhung der Steifigkeit entlang einer Deformationsachse oder entlang einer Gitterachse erfolgen. Diese Erhöhung kann beispielsweise auch stufenweise erfolgen. Dadurch kann beispielsweise eine progressive Federkennlinie entlang der Deformationsachse erzielt werden.

Zur Variation der Steifigkeiten der Verbindungselemente können unterschiedliche Parameter angepasst werden. Beispielsweise kann zur Veränderung der Steifigkeit eines Verbindungselements die Dicke des Verbindungselements bzw. einer Biegestrebe verändert werden. Gegebenenfalls kann der Übergangsradius zwischen dem Verbindungselement bzw. einer Biegestrebe und dem Knotenelement angepasst werden. Hierdurch wird im Wesentlichen die Form des Verbindungselements geändert. Gegebenenfalls kann der Abstand zwischen zwei Knotenelementen verändert werden. Insbesondere kann die Größe der Knotenelemente verringert werden, um den Abstand zu vergrößern. Dadurch wird die Länge des Verbindungselements bzw. einer Biegestrebe verändert.

Bevorzugt erfolgt die Variation der Parameter bzw. die Änderung der Steifigkeit der Verbindungselemente bei Beibehaltung der Materialparameter. Insbesondere ist bevorzugt vorgesehen, dass die Verbindungselemente und die Knotenelemente aus demselben Material und insbesondere einstückig hergestellt sind. Dennoch kann durch Variation der Parameter der Struktur an unterschiedlichen Bereichen eine unterschiedliche Steifigkeit verliehen werden.

Bei einer Variation der Steifigkeit der Verbindungselemente quer zur Deformationsachse, können am Körper nebeneinander ein Bereich mit geringerer Steifigkeit und ein Bereich mit erhöhter Steifigkeit vorgesehen sein.

Gegebenenfalls kann ein Körper bzw. eine Struktur gebildet werden, die entlang unterschiedlicher Deformationsachsen unterschiedliche Steifigkeiten aufweisen. So können beispielsweise die entlang einer ersten Gitterachse zwischen den Knotenelementen vorgesehenen ersten Verbindungselemente eine größere Steifigkeit aufweisen, als die zweiten Verbindungselemente, die entlang einer zweiten Gitterachse zwischen den Knotenelementen vorgesehen sind.

Sind entlang einer Deformationsachse unterschiedliche Verbindungselemente mit unterschiedlichen Steifigkeiten vorgesehen, so kann beispielsweise eine progressive Federkennlinie bewirkt werden.

Gegebenenfalls ist vorgesehen, dass zur Wahl der Steifigkeit eines Verbindungselements einer oder mehrere der folgenden Parameter der Struktur verändert werden:

- Dicke des Verbindungselements,
- Abstand der Knotenelemente,
- Länge der Verbindungselemente,
- Radius des Übergangs zwischen Verbindungselement und Knotenelement.

Bevorzugt ist vorgesehen, dass die Variation der Parameter die Wahl der Steifigkeit der Verbindungselemente bewirkt, wobei alle Verbindungselemente aus demselben Material bestehen.

Gegebenenfalls ist vorgesehen, dass die Struktur eine Leichtbaustruktur ist.

Gegebenenfalls ist vorgesehen, dass die Verbindungselemente relativ zur jeweiligen Gitterachse geneigt und/oder gekrümmmt verlaufen. Insbesondere ist vorgesehen, dass die Verbindungselemente abwechselnd in unterschiedliche Richtungen zur Gitterachse geneigt verlaufen.

Gegebenenfalls ist vorgesehen, dass alle Verbindungselemente, die in einer Normalebene einer Gitterachse, insbesondere in einer Normalebene der Deformationsachse liegen, parallel zueinander verlaufen. Bei einer derartigen Konfiguration werden bei einer Deformation alle Knotenelemente in einer Normalebene der betrachteten Gitterachse, insbesondere der Deformationsachse, parallel zueinander bewegt. Dadurch kann eine flexible Wahl der Steifigkeiten in unterschiedliche Richtungen erfolgen.

Bevorzugt ist vorgesehen, dass im Bereich des Übergangs eines Verbindungselements zum anliegenden Knotenelement ein Übergangsradius vorgesehen ist. Dieser Übergangsradius vereinfacht die Fertigung und vermeidet Kraftspitzen.

Durch Wahl der Parameter der Struktur kann die Dichte der Struktur und dadurch auch die Dichte des Körpers gewählt werden. Insbesondere durch Vergrößerung des Abstands zwischen den Knotenelementen, durch Verringerung des Volumens der Knotenelemente, durch Verringerung der Dicke der Verbindungselemente und gegebenenfalls durch Vergrößerung der Länge der Verbindungselemente kann die Dichte der Struktur und des Körpers verringert werden.

In weiterer Folge wird die Erfindung anhand exemplarischer, nicht einschränkender Ausführungsformen weiter beschrieben.

Fig. 1 zeigt eine schematische Schrägangansicht einer möglichen Struktur.

Fig. 2 zeigt eine schematische Schrägangansicht eines Teilbereichs einer möglichen Struktur.

Fig. 3 zeigt eine Schnittdarstellung eines Teilbereichs einer möglichen Struktur.

Wenn nicht anders angegeben, so entsprechen die Bezugszeichen folgenden Komponenten: Deformationsachse 1, Körper 2, Knotenelement 3, Verbindungselement 4, Gitterachse 5, Biegestrebe 6.

**Fig. 1** zeigt eine Schrägansicht einer möglichen Struktur und insbesondere einen deformierbaren Körper 2. Die Struktur weist an ihrer entlang einer ersten Deformationsachse 1' gesehenen Oberseite und an der Unterseite jeweils eine durchgehende Platte auf. Eine derartige Platte kann vorgesehen sein, um beispielsweise eine punktuelle Krafteinleitung auf die gesamte Struktur wirken zu lassen. Grundsätzlich kann eine derartige Platte jedoch auch entfallen oder durch eine andere Form ersetzt werden.

Die Struktur des Körpers 2 umfasst eine Vielzahl an Knotenelementen 3, die über Verbindungselemente 4 miteinander verbunden sind. Die Knotenelemente 3 und die Verbindungselemente 4 sind in dieser Ausführungsform abwechselnd aneinander gereiht angeordnet. Die Knotenelemente 3 und die Verbindungselemente 4 bilden in der vorliegenden Ausführungsform Gitterachsen 5. In der vorliegenden Ausführungsform sind erste Gitterachsen 5' vorgesehen, die im Wesentlichen parallel zur ersten Deformationsachse 1' verlaufen. Grundsätzlich könnten Gitterachsen 5 der Struktur jedoch auch schräg oder quer zur Deformationsachse 1, insbesondere zur ersten Deformationsachse 1' verlaufen.

Durch die Aneinanderreihung der Knotenelemente 3 und der Verbindungselemente 4 und die dadurch gebildeten Gitterachsen 5 kann ein dreidimensionales Gitter gebildet werden. In der vorliegenden Ausführungsform ist dieses dreidimensionale Gitter ein kubisches Gitter, dessen Gitterachsen 5', 5'' und 5''' im Wesentlichen orthogonal zueinander verlaufen.

Bei einer Krafteinwirkung auf den Körper 2 kommt es bevorzugt zu einer Relativbewegung der Knotenelemente 3 zueinander. Dies geschieht dadurch, dass bei einer Krafteinwirkung die Verbindungselemente 4 verformt werden. Diese Verformung kann im elastischen Bereich erfolgen, sodass es sich um eine reversible Verformung handelt. Gegebenenfalls kann jedoch auch eine plastische Verformung der Verbindungselemente 4 stattfinden, die gegebenenfalls nicht mehr reversibel ist.

Bevorzugt sind die Knotenelemente 3 und die Verbindungselemente 4 derart ausgestaltet, dass es bei einer Verformung des Körpers 2 bzw. der Struktur zu keinem Verziehen oder Versatz des Körpers 2 kommt. In der vorliegenden Ausführungsform sind die Verbindungselemente 4 entlang der Deformationsachse 1 und insbesondere in der vorliegenden Ausführungsform auch entlang der Gitterachse 5' Zick-Zack-förmig ausgebildet. Bei einer Deformation werden daher die Knotenelemente 3 nicht nur entlang der Deformationsachse 1' zueinander bewegt, sondern versetzen sich abwechselnd in gegengesetzte Richtungen. Insgesamt bleibt dadurch die seitliche Versetzung der Knotenelemente 3 und dadurch auch die Form des Körpers 2 im Wesentlichen ausgeglichen.

Bevorzugt ist vorgesehen, dass die Knotenelemente 3 und die Verbindungselemente 4 aus demselben Material und insbesondere einstückig ausgebildet sind. Eine derartige Struktur kann beispielsweise durch additive Fertigung, insbesondere durch 3D-Druck hergestellt werden.

In allen Ausführungsformen ist bevorzugt vorgesehen, dass zwischen den Knotenelementen 3 Freiräume freigehalten sind, die durch die Verbindungselemente 4 durchsetzt werden. Die Verbindungselemente 4 sind bevorzugt als Biegestreben 6 ausgebildet, die sich bei Krafteinwirkung verbiegen bzw. verformen. Die Biegestreben 6 sind hierzu bevorzugt derart ausgestaltet, dass deren Verlauf vom Verlauf der Deformationsachse 1 und insbesondere auch von der Gitterachse 5 abweicht. In der vorliegenden Ausführungsform verlaufen die Biegestreben 6 zwischen zwei zu verbindenden Knotenelementen 3 schräg. Alternativ können die Biegestreben 6 auch bogenförmig, schlängelförmig oder v-förmig ausgebildet sein.

In allen Ausführungsformen sind die Biegestreben 6 bevorzugt derart ausgestaltet, dass sie sich bei einer bestimmungsgemäßen Krafteinwirkung bzw. Verformung der Struktur biegen, und insbesondere nicht nur auf Druck belastet sind.

In der vorliegenden Ausführungsform sind die Knotenelemente 3 auch quer zur Deformationsachse, insbesondere zur ersten Deformationsachse 1' über

Verbindungselemente 4 miteinander verbunden. Dadurch werden auch zweite Gitterachsen 5“ und im vorliegenden Fall auch dritte Gitterachsen 5“ gebildet.

Bevorzugt verlaufen die Verbindungselemente 4 entlang der zweiten Gitterachsen 5“ Zick-Zack-förmig. Insbesondere sind sie derart ausgestaltet, dass es entlang der zweiten Gitterachse 5“ bei einer Deformation im Wesentlichen zu keinem Versatz oder Verziehen der Struktur und des Körpers 2 kommt.

Bevorzugt verlaufen die Verbindungselemente 4 entlang der dritten Gitterachsen 5“ Zick-Zack-förmig. Insbesondere sind sie derart ausgestaltet, dass es entlang der dritten Gitterachse 5“ bei einer Deformation im Wesentlichen zu keinem Versatz oder Verziehen der Struktur und des Körpers 2 kommt.

Durch die spezielle Ausgestaltung der Struktur weist der Körper 2 entlang der Deformationsachse 1 eine geringere Steifigkeit auf, als es das Material der Struktur selbst aufweisen würde. Dies wird insbesondere durch die Verformbarkeit der Verbindungselemente 4 bewirkt.

**Fig. 2** zeigt einen Ausschnitt einer möglichen Struktur. Die Struktur umfasst mehrere Knotenelemente 3, die durch Verbindungselemente 4 miteinander verbunden sind.

Der in Fig. 2 dargestellte Abschnitt einer Struktur kann als Standardzelle der Struktur betrachtet werden, die durch Vervielfältigung oder gleichartige Aneinanderreihung die Struktur und insbesondere den Körper 2 bildet. Zur Bildung der Struktur wird diese Standardzelle mit unverändertem geometrischem Grundaufbau im Wesentlichen in die gewünschten Raumrichtungen vervielfältigt bzw. aneinandergesetzt. Diese Standardzellen weisen jedoch beispielsweise im Randbereich der Struktur eine andere Form auf, da in diesem Bereich nach außen hin gegebenenfalls keine Verbindungselemente 4 von den Knotenelementen 3 abstehen.

Bevorzugt ist vorgesehen, dass die Struktur und insbesondere der Körper 2 einen Bereich aufweist, dessen Steifigkeit von der Steifigkeit eines weiteren Bereichs

abweicht. Insbesondere weicht die Steifigkeit eines ersten Verbindungselements 4' von der Steifigkeit eines weiteren Verbindungselements 4“ ab.

In der vorliegenden Ausführungsform sind die Knotenelemente 3 dreidimensionale Körper, die würfelförmig ausgebildet sind. Bevorzugt weisen die Knotenelemente 3 eine Form auf, die dazu geeignet ist, das gewünschte Gitter der Struktur zu bilden. Bei einem kubischen Gitter bieten sich hierfür würfelförmige Knotenelemente 3 an.

Bevorzugt ist vorgesehen, dass sich die Verbindungselemente 4, insbesondere die Biegestreben 6, schräg von einer Seitenkante eines Knotenelements 3 zur schräg gegenüber liegenden Seitenkante eines benachbarten Knotenelements 3 erstrecken.

Die Standardzelle wiederholt innerhalb der Struktur, sodass eine regelmäßige Geometrie der Struktur gebildet wird. Jedoch können Parameter der Standardzelle, insbesondere die Steifigkeit der Verbindungselemente 4 beeinflussende Parameter, von Standardzelle zu Standardzelle variiert werden.

Beispielsweise kann ein Bereich des Körpers 2 gebildet werden, dessen Verbindungselemente 4 eine größere Steifigkeit aufweisen. Dadurch können Körper 2 gebildet werden, die an einem Bereich eine geringere Steifigkeit aufweisen als in einem anderen Bereich. Die Variation der Parameter der Knotenelemente 3 und/oder der Verbindungselemente 4 kann in beliebiger Weise erfolgen. Beispielsweise kann eine graduelle Erhöhung der Steifigkeit entlang einer Deformationsachse 1 oder entlang einer Gitterachse 5 erfolgen. Diese Erhöhung kann beispielsweise auch stufenweise erfolgen. Dadurch kann beispielsweise eine progressive Federkennlinie entlang der Deformationsachse 1 erzielt werden.

**Fig. 3** zeigt eine Schnittdarstellung eines Abschnitts einer Struktur. Die Struktur weist entlang der Deformationsachse 1, insbesondere entlang einer ersten Deformationsachse 1‘ mehrere Knotenelemente 3 und mehrere Verbindungselemente 4 auf. Die Knotenelemente 3 und die Verbindungselemente 4 sind entlang von Gitterachsen 5 aneinander gereiht. Insbesondere ist zwischen je zwei benachbarten Knotenelementen 3 ein Verbindungselement 4 vorgesehen. Die Knotenelemente 3 sind

durch die Verbindungselemente 4 miteinander verbunden. Entlang der Deformationsachse 1 weist ein erstes Verbindungselement 4' eine andere Steifigkeit auf, als ein weiteres Verbindungselement 4''. Insbesondere ist das erste Verbindungselement 4' anders dimensioniert als das zweite Verbindungselement 4''. Beispielsweise können die beiden Verbindungselemente 4', 4'' eine unterschiedliche Form aufweisen.

Zur Variation der Steifigkeiten der Verbindungselemente 4 können unterschiedliche Parameter angepasst werden. Beispielsweise kann zur Veränderung der Steifigkeit eines Verbindungselements 4 die Dicke d des Verbindungselements 4 bzw. einer Biegestrebe 6 verändert werden. Gegebenenfalls kann der Übergangsradius r zwischen dem Verbindungselement 4 bzw. einer Biegestrebe 6 und dem Knotenelement 3 angepasst werden. Hierdurch wird im Wesentlichen die Form des Verbindungselements 4 geändert. Gegebenenfalls kann der Abstand a zwischen zwei Knotenelementen 3 verändert werden. Insbesondere kann die Größe der Knotenelemente 3 verringert werden, um den Abstand a zu vergrößern. Dadurch wird die Länge l des Verbindungselements bzw. einer Biegestrebe verändert.

Bevorzugt erfolgt die Variation der Parameter bzw. die Änderung der Steifigkeit der Verbindungselemente 4 bei Beibehaltung der Materialparameter. Insbesondere ist bevorzugt vorgesehen, dass die Verbindungselemente 4 und die Knotenelemente 3 aus demselben Material und insbesondere einstückig hergestellt sind. Dennoch kann durch Variation der Parameter der Struktur an unterschiedlichen Bereichen eine unterschiedliche Steifigkeit verliehen werden.

Bei einer Variation der Steifigkeit quer zur Deformationsachse 1, also wenn quer zur Deformationsachse 1 ein Bereich mit geringerer Steifigkeit und ein Bereich mit erhöhter Steifigkeit vorgesehen ist, kann (Formulierung anpassen). Gegebenenfalls kann ein Körper 2 bzw. eine Struktur gebildet werden, die entlang unterschiedlicher Deformationsachsen 1 unterschiedliche Steifigkeiten aufweisen. So können beispielsweise die entlang einer ersten Gitterachse 5' zwischen den Knotenelementen 3 vorgesehenen ersten Verbindungselemente 4' eine größere Steifigkeit aufweisen, als

die zweiten Verbindungselemente 4“, die entlang einer zweiten Gitterachse 5“ zwischen den Knotenelementen 3 vorgesehen sind.

Sind entlang einer Deformationsachse 1 unterschiedliche Verbindungselemente 4‘, 4“ mit unterschiedlichen Steifigkeiten vorgesehen, so kann beispielsweise eine progressive Federkennlinie bewirkt werden.

In der vorliegenden Ausführungsform weist das erste Verbindungselement 4 eine größere Dicke d auf als das zweite Verbindungselement 4“. Bei einer Deformation entlang der ersten Deformationsachse 1 werden beide Verbindungselemente 4‘ und 4“ deformiert. Durch die dickere Ausgestaltung des ersten Verbindungselements 4 weist dieses jedoch eine größere Steifigkeit auf als das zweite Verbindungselement 4“.

Gemäß einer exemplarischen Ausführungsform, insbesondere der Ausführungsform aus den Fig. 1, 2 und/oder 3, weisen die Knotenelemente eine Kantenlänge bzw. einen Durchmesser von 2 bis 8 mm, bevorzugt von 5 mm auf. Gegebenenfalls beträgt der Abstand a zwischen den Knotenelementen zwischen 2 und 5 mm. Gegebenenfalls beträgt die Dicke d der Verbindungselemente zwischen 0,5 und 1,5 mm. Gegebenenfalls beträgt der Radius r zwischen 0,1 und 0,6 mm.

Es entspricht jedoch auch dem Erfindungsgedanken, die Dimensionen je nach Anwendung anzupassen. Insbesondere kann auch der verwendete Werkstoff gewählt werden.

## Patentansprüche

1. Struktur zur Bildung eines entlang zumindest einer ersten Deformationsachse (1') deformierbaren Körpers (2), umfassend mehrere Knotenelemente (3) und mehrere die Knotenelemente (3) miteinander verbindende Verbindungselemente (4),
  - wobei die Knotenelemente (3) und die Verbindungselemente (4) abwechselnd aneinander gereiht sind und zusammen Gitterachsen (5) eines dreidimensionalen Gitters mit wählbaren Deformationseigenschaften bilden,
  - wobei die Verbindungselemente (4) entlang der ersten Deformationsachse (1') eine kleinere Steifigkeit aufweisen als die Knotenelemente (3),
  - und wobei die Verbindungselemente (4) bei einer Krafeinwirkung entlang der ersten Deformationsachse (1') deformiert werden und dadurch eine Relativbewegung der Knotenelemente (3) zueinander ermöglichen, **dadurch gekennzeichnet**,
  - dass die Steifigkeit eines ersten Verbindungselements (4') von der Steifigkeit eines zweiten Verbindungselements (4'') abweicht.
2. Struktur nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Knotenelemente (3) entlang der Gitterachsen (5) jeweils mit mindestens einem benachbarten Knotenelement (3), bevorzugt mit jedem benachbarten Knotenelement (3), über je ein Verbindungselement (4) verbunden sind.
3. Struktur nach einem der Ansprüche 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet,
  - dass die Verbindungselemente (4) und die Knotenelemente (3) aus demselben Material gebildet sind,
  - und/oder dass die Verbindungselemente (4) und die Knotenelemente (3) einstückig aus demselben Material gebildet sind,
  - und/oder dass die Struktur durch additive Fertigung wie 3D-Druck gebildet ist.
4. Struktur nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet,
  - dass die Verbindungselemente (4) jeweils als Biegestrebe (6) ausgebildet sind, die zwei entlang einer Gitterachse (5) benachbarte Knotenelemente (3) miteinander verbindet,
  - und dass die Biegestreben (6) einen vom Verlauf der jeweiligen Gitterachse (5)

abweichenden Verlauf aufweisen und insbesondere schräg zur jeweiligen Gitterachse (5) verlaufen.

5. Struktur nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Knotenelemente (3) dreidimensionale Körper (2) sind, die insbesondere würfelförmig ausgestaltet sind.
6. Struktur nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass sich die Verbindungselemente (4), insbesondere die Biegestreben (6), jeweils schräg von einer Seitenkante eines Knotenelements (3) zur schräg gegenüber liegenden Seitenkante eines benachbarten Knotenelements (3) erstrecken.
7. Struktur nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet,
  - dass die Verbindungselemente (4) relativ zur jeweiligen Gitterachse (5) geneigt und/oder gekrümmmt verlaufen,
  - und/oder dass die Verbindungselemente (4) entlang der jeweiligen Gitterachse (5) abwechselnd in unterschiedliche Richtungen zur Gitterachse (5) geneigt verlaufen,
  - und/oder dass die Verbindungselemente (4) entlang einer Gitterachse (5) zick-zack-förmig oder gewellt verlaufen.
8. Struktur nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet,
  - dass das erste Verbindungselement (4'), zur Erzeugung der unterschiedlichen Steifigkeit, anders dimensioniert ist als das zweite Verbindungselement (4''),
  - und/oder dass das erste Verbindungselement (4'), zur Erzeugung der unterschiedlichen Steifigkeit, eine andere Form aufweist als das zweite Verbindungselement (4'').
9. Struktur nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet,
  - dass der Körper (2) zwei, drei oder mehr Deformationsachsen (1) mit unterschiedlichen Deformationseigenschaften aufweist,
  - und/oder dass die Struktur zwei drei oder mehr Gitterachsen (5) mit unterschiedlichen Deformationseigenschaften aufweist.

10. Struktur nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen den Knotenelementen (3) Freiräume freigehalten sind, die durch die Verbindungselemente (4) durchsetzt werden.
11. Struktur nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet,
  - dass die Struktur mindestens eine Standardzelle enthält,
  - dass sich die Standardzelle innerhalb der Struktur wiederholt, sodass eine regelmäßige Geometrie der Struktur gebildet wird,
  - wobei die Steifigkeit mindestens einer Standardzelle von der Steifigkeit einer weiteren Standardzelle abweicht.
12. Struktur nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet,
  - dass zur Veränderung der Steifigkeit einer oder mehrere der folgenden Parameter verändert sind:
    - Dicke (d) des Verbindungselements (4)
    - Dicke (d) der Biegestrebe (6)
    - Übergangsradius (r) zwischen dem Verbindungselement (4) bzw. der Biegestrebe (6) und dem Knotenelement (3),
    - Abstand (a) zwischen zwei Knotenelementen (3),
    - Durchmesser bzw. Kantenlänge eines Kontenelements (3),
    - wobei bevorzugt alle Verbindungselemente (4) aus demselben Material bestehen.
13. Struktur nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass alle Verbindungselemente (4), die in einer Normalebene einer Gitterachse (5), insbesondere in einer Normalebene der Deformationsachse (1) liegen, parallel zueinander verlaufen.

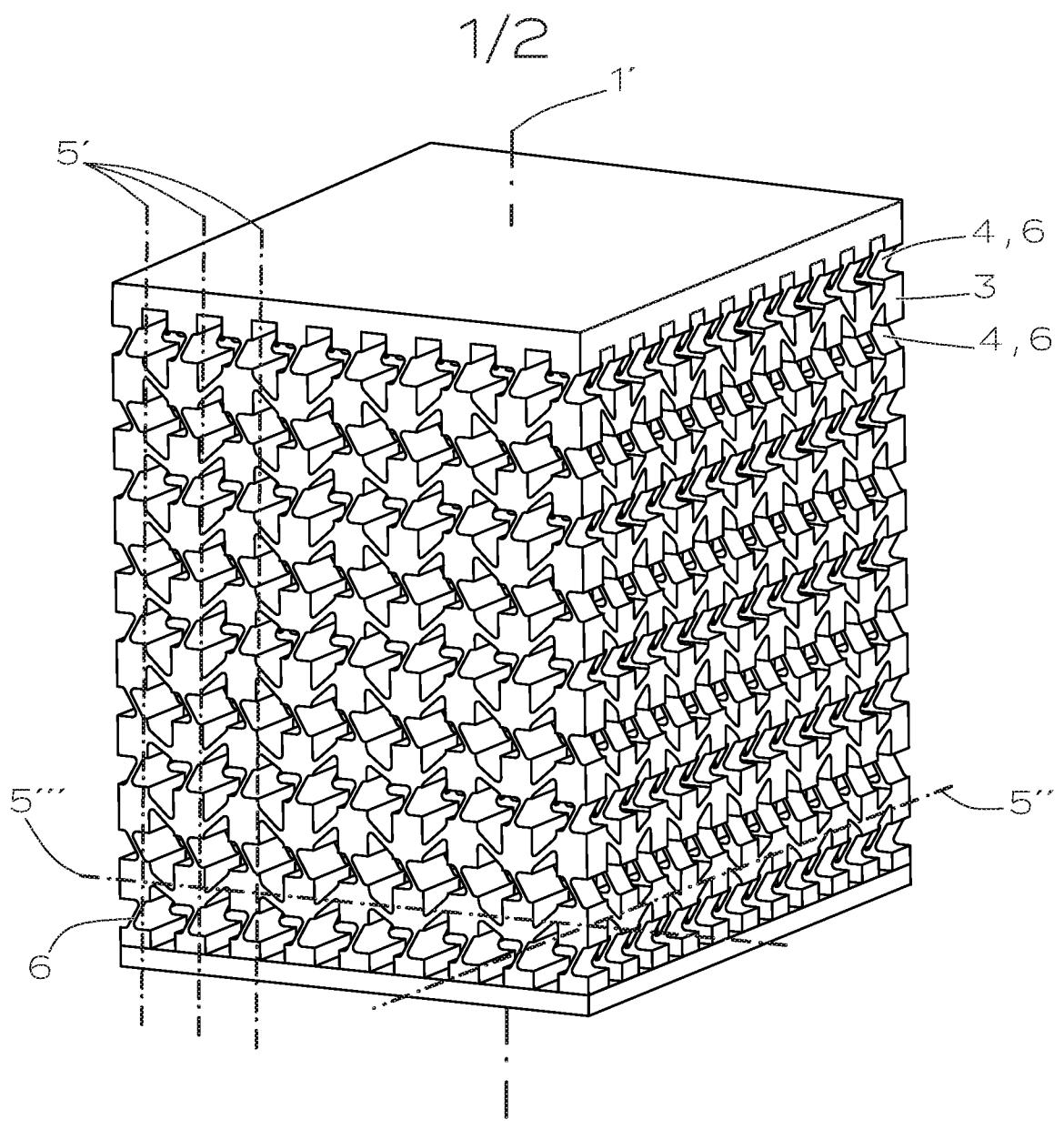


Fig. 1

2/2

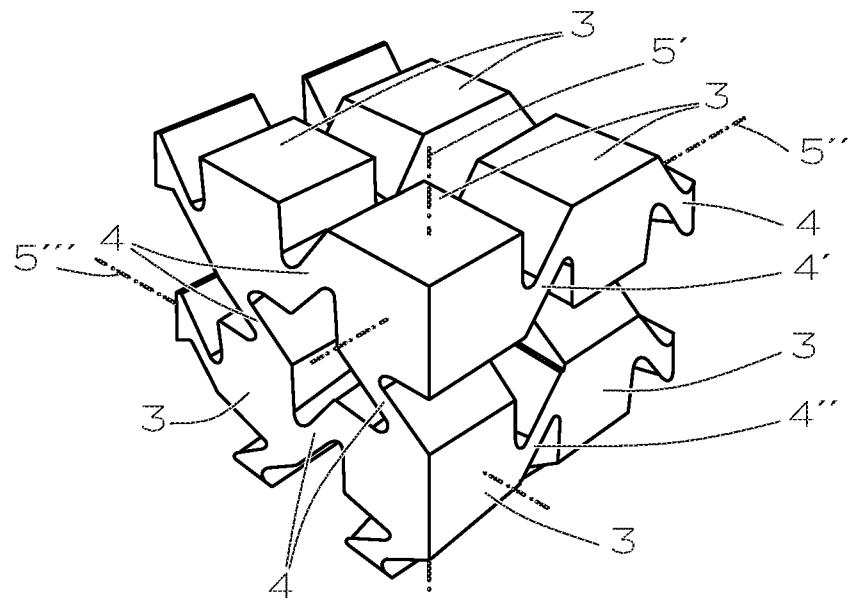


Fig. 2

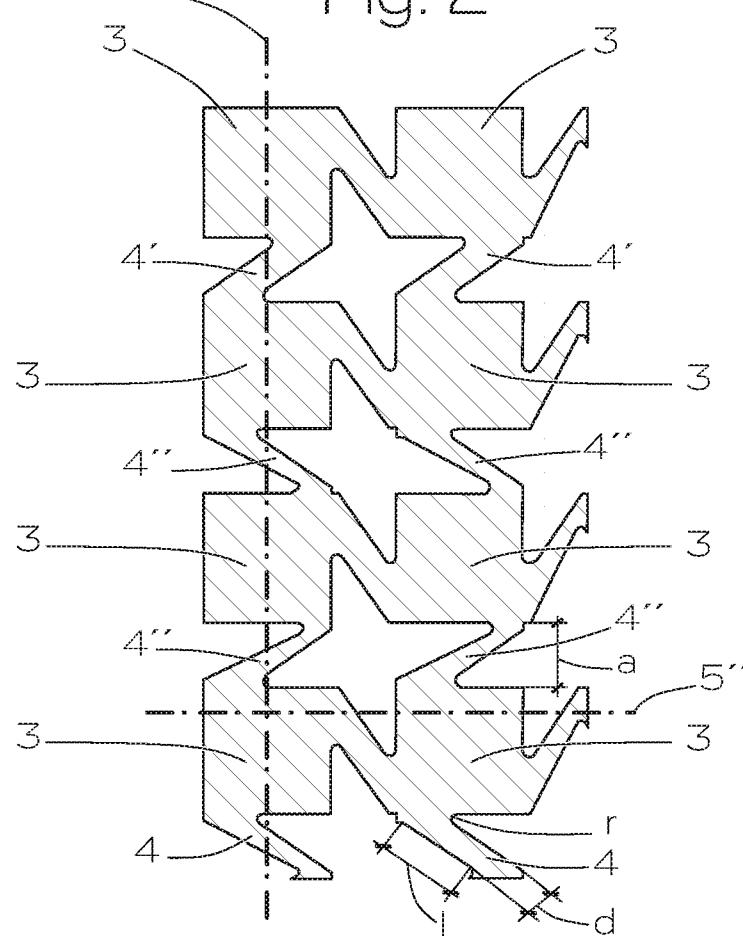


Fig. 3

## Patentansprüche

1. Struktur zur Bildung eines entlang zumindest einer ersten Deformationsachse (1') deformierbaren Körpers (2), umfassend mehrere Knotenelemente (3) und mehrere die Knotenelemente (3) miteinander verbindende Verbindungselemente (4),
  - wobei die Verbindungselemente (4) entlang der ersten Deformationsachse (1') eine kleinere Steifigkeit aufweisen als die Knotenelemente (3),
  - wobei die Verbindungselemente (4) bei einer Krafteinwirkung entlang der ersten Deformationsachse (1') deformiert werden und dadurch eine Relativbewegung der Knotenelemente (3) zueinander ermöglichen,
  - und wobei die Steifigkeit eines ersten Verbindungselements (4') von der Steifigkeit eines zweiten Verbindungselements (4'') abweicht,  
**dadurch gekennzeichnet,**
    - dass die Knotenelemente (3) und die Verbindungselemente (4) abwechselnd aneinandergereiht sind und zusammen Gitterachsen (5) eines dreidimensionalen Gitters mit wählbaren Deformationseigenschaften bilden, und
    - dass die Knotenelemente (3) dreidimensionale Körper sind, die würfelförmig ausgestaltet sind.
2. Struktur nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Knotenelemente (3) entlang der Gitterachsen (5) jeweils mit mindestens einem benachbarten Knotenelement (3), bevorzugt mit jedem benachbarten Knotenelement (3), über je ein Verbindungselement (4) verbunden sind.
3. Struktur nach einem der Ansprüche 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet,
  - dass die Verbindungselemente (4) und die Knotenelemente (3) aus demselben Material gebildet sind,
  - und/oder dass die Verbindungselemente (4) und die Knotenelemente (3) einstückig aus demselben Material gebildet sind,
  - und/oder dass die Struktur durch additive Fertigung wie 3D-Druck gebildet ist.

4. Struktur nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet,
  - dass die Verbindungselemente (4) jeweils als Biegestrebe (6) ausgebildet sind, die zwei entlang einer Gitterachse (5) benachbarte Knotenelemente (3) miteinander verbindendet,
  - und dass die Biegestreben (6) einen vom Verlauf der jeweiligen Gitterachse (5) abweichenden Verlauf aufweisen und insbesondere schräg zur jeweiligen Gitterachse (5) verlaufen.
5. Struktur nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Knotenelemente (3) dreidimensionale Körper (2) sind, die insbesondere würfelförmig ausgestaltet sind.
6. Struktur nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass sich die Verbindungselemente (4), insbesondere die Biegestreben (6), jeweils schräg von einer Seitenkante eines Knotenelements (3) zur schräg gegenüber liegenden Seitenkante eines benachbarten Knotenelements (3) erstrecken.
7. Struktur nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet,
  - dass die Verbindungselemente (4) relativ zur jeweiligen Gitterachse (5) geneigt und/oder gekrümmmt verlaufen,
  - und/oder dass die Verbindungselemente (4) entlang der jeweiligen Gitterachse (5) abwechselnd in unterschiedliche Richtungen zur Gitterachse (5) geneigt verlaufen,
  - und/oder dass die Verbindungselemente (4) entlang einer Gitterachse (5) zick-zack-förmig oder gewellt verlaufen.
8. Struktur nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet,
  - dass das erste Verbindungselement (4'), zur Erzeugung der unterschiedlichen Steifigkeit, anders dimensioniert ist als das zweite Verbindungselement (4''),
  - und/oder dass das erste Verbindungselement (4'), zur Erzeugung der unterschiedlichen Steifigkeit, eine andere Form aufweist als das zweite Verbindungselement (4'').

9. Struktur nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet,
  - dass der Körper (2) zwei, drei oder mehr Deformationsachsen (1) mit unterschiedlichen Deformationseigenschaften aufweist,
  - und/oder dass die Struktur zwei drei oder mehr Gitterachsen (5) mit unterschiedlichen Deformationseigenschaften aufweist.
10. Struktur nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen den Knotenelementen (3) Freiräume freigehalten sind, die durch die Verbindungselemente (4) durchsetzt werden.
11. Struktur nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet,
  - dass die Struktur mindestens eine Standardzelle enthält,
  - dass sich die Standardzelle innerhalb der Struktur wiederholt, sodass eine regelmäßige Geometrie der Struktur gebildet wird,
  - wobei die Steifigkeit mindestens einer Standardzelle von der Steifigkeit einer weiteren Standardzelle abweicht.
12. Struktur nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet,
  - dass zur Veränderung der Steifigkeit einer oder mehrere der folgenden Parameter verändert sind:
    - Dicke (d) des Verbindungselements (4)
    - Dicke (d) der Biegestrebe (6)
    - Übergangsradius (r) zwischen dem Verbindungselement (4) bzw. der Biegestrebe (6) und dem Knotenelement (3),
    - Abstand (a) zwischen zwei Knotenelementen (3),
    - Durchmesser bzw. Kantenlänge eines Kontenelements (3),
  - wobei bevorzugt alle Verbindungselemente (4) aus demselben Material bestehen.
13. Struktur nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass alle Verbindungselemente (4), die in einer Normalebene einer Gitterachse (5), insbesondere in einer Normalebene der Deformationsachse (1) liegen, parallel zueinander verlaufen.