



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 602 19 014 T2** 2008.01.03

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 1 404 927 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **602 19 014.2**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/IL02/00523**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **02 743 596.5**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2003/002827**

(86) PCT-Anmeldetag: **27.06.2002**

(87) Veröffentlichungstag
der PCT-Anmeldung: **09.01.2003**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **07.04.2004**

(97) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung beim EPA: **21.03.2007**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **03.01.2008**

(51) Int Cl.⁸: **E04B 1/19** (2006.01)

B28B 7/00 (2006.01)

E02B 3/12 (2006.01)

(30) Unionspriorität:

301133 P 28.06.2001 US

(73) Patentinhaber:

**Tamnor Management & Consulting Ltd., Nethanya,
IL; Kent, Eliyahu, Herzelyia, IL; Alkon, Yoram,
Jerusalem/Jerušalajim, IL**

(74) Vertreter:

COHAUSZ & FLORACK, 40211 Düsseldorf

(84) Benannte Vertragsstaaten:

**AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT,
LI, LU, MC, NL, PT, SE, TR**

(72) Erfinder:

**KENT, Eliyahu, 46660 Herzelyia, IL; ALKON,
Yoram, 91030 Jerusalem, IL**

(54) Bezeichnung: **MODULARE MARINE-ANORDNUNG**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

Beschreibung

Gebiet der Erfindung

[0001] Diese Erfindung betrifft Verfahren und Mittel zum Bauen großer Strukturen und Infrastrukturen zu Land und zu Wasser aus vorgefertigten Modulen.

Allgemeiner Stand der Technik

[0002] Ein bevorzugtes Verfahren in der Praxis von See- und Küstenbau ist der Zusammenbau von vorgefertigten, stahlarmierter Betonfertigelementen. Es ist außerdem vorzuziehen, diese Elemente schwimmfähig herzustellen. Der Vorteil der schwimmenden Betonstrukturen liegt in der Wirtschaftlichkeit der benutzten Materialien (Beton ist für eine Seeumgebung sehr gut geeignet), in der Tatsache, dass es leicht ist, Betonstrukturen zum Schleppen in der Baustufe schwimmfähig sowie dauerhaft schwimmend herzustellen, während sie für eine sichere, dauerhafte Einrichtung schwer genug sind, und in der Tatsache, dass sie außerdem Lagerraum vorsehen können. Betonstrukturen können in einem zweckdienlichen, geschützten Bereich gebaut und dann zur Einrichtungsstelle geflößt werden. Dieses Verfahren wird vorteilhaft benutzt, um die Belegung von kostspieligem Land als Produktionsstelle zu vermeiden. Auch wenn die Einrichtungsmaße dem Wetter in hohem Maße ausgesetzt ist, kann die Struktur während eines kurzen Zeitraums unter günstigen Bedingungen schnell positioniert werden.

[0003] Der Anwendungsbereich von schwimmenden und nicht schwimmenden Betonstrukturen ist ziemlich groß:

- Ölsuch-, -bohr- und Herstellungsplattformen, LPG-Terminals;
- Kähne, Schiffe und Yachten, Schwimmdocks;
- Schwimmende oder meeresbodengestützte künstliche Inseln, Flughäfen, Kraftwerke, Industrieanlagen, Hotels, Einkaufszentren, Brücken, halbtauchende Tunnel, Leuchttürme, Wellenbrecher usw.

[0004] Große Strukturen können aus Fertigbauteilen mit integrierten am Einbauort betonierten Verbindungen oder aneinander betonierten Verbindungen zusammengebaut sein. Eine kombinierte Anwendung von vorgefertigten und am Einbauort betonierten Elementen ist ebenfalls möglich. Die Vorfertigung ermöglicht es, dünne Abschnitte hochfesten Betons zu erzielen.

[0005] Ein zusätzlicher Vorteil ist durch das Herstellen der Fertigbauteile als Module erzielt, d.h. wenn Strukturen aus mehreren großen, im Wesentlichen identischen Modulen zusammengebaut sind. JP 01127710 offenbart daher ein Verfahren zum Bau einer Seestruktur, wie etwa einer Plattform oder einer

künstlichen Insel, aus hohlen Modulen mit gerundeten Böden, ungefähr 10 m im Durchmesser und 5 m tief. Die Module können als rechteckige oder sechseckige Boxen oder als Zylinder geformt sein. Sie werden durch Schwimmen angeordnet und in einer oder zwei Richtungen in einer horizontalen Ebene zusammengebaut, in großen, schwimmenden Gruppen, die dann abgeschleppt und in einer großen Seestruktur verbunden werden können.

[0006] JP 02120418 offenbart ein Verfahren zum Bau von Fundamenten für Seestrukturen aus großen, hohlen, T-förmigen Blöcken. Die Blöcke weisen schwalbenschwanzförmige, vertikale Kanäle an den Verbindungsseiten und vertikale Schächte für Stützen auf. Die Blöcke werden zur Baustelle geschleppt und dort versenkt. Benachbarte Elemente werden durch Stahl- oder Stahlbetonprofile, die in die Schwalbenschwanzkanäle eingeführt werden, verbunden und Tragstützen werden durch die vertikalen Schächte in den Meeresboden getrieben. In den Schwalbenschwanzkanälen werden durch Einspritzen von Mörtel oder Injektionsmittel Verbindungen ausgebildet.

[0007] US 3,799,093 offenbart ein schwimmendes Spannbetonmodul zum Zusammenbauen von Kais. Das Modul ist von rechteckiger boxförmiger Form und weist einen Kern aus schwimmfähigem Material, vorgespannte Stahlstränge entlang der Kanten der Box und Klammern zum Verbinden mit benachbarten Modulen in einer Reihe auf.

[0008] US 5,107,785 beschreibt ein ähnliches schwimmendes Betonmodul zum Gebrauch in Schwimmdocks, Wellenbrechern und dergleichen. Das boxförmige Modul weist einstückige, röhrenförmige Buchsen auf, die entlang einem Satz seiner parallelen Kanten eingelassen sind. Stahlspannkabeln sind durch die röhrenförmigen Buchsen geführt, um eine Reihe von mehreren Modulen in Kompression in einer durchgehenden Beziehung zu erhalten. Ähnliche röhrenförmige Buchsen können in der Querrichtung zum Verbinden mehrerer Reihen von Modulen miteinander vorgesehen sein. Noch ein ähnliches, schwimmendes Betonmodul ist in US 6,199,502 offenbart, wobei das Modul ebenfalls eine boxartige Form aufweist, jedoch mit leicht konkaven angrenzenden Seiten, um eine stabilere Anordnung der benachbarten Module zueinander zu gewährleisten. Es sind Durchgänge für zwei quer verlaufende Sätze von Verbindungskabeln in jedem Modul vorgesehen, in zwei horizontalen Ebenen, die zueinander versetzt sind.

[0009] Die US-Patentschrift Nr. US-A-5 105 589 offenbart eine modulare Baustruktur, die mehrere Tetraederzellen enthält, welche wahlweise zum Ausbilden mehrfacher Wohnungen ausgebildet sind, wobei jede Zelle sechs Stäbe aufweist, von denen zwei ho-

horizontal beabstandet quer verlaufend zueinander sind und die restlichen vier Stäbe diagonal zu den zwei horizontal beabstandeten Stäben sind, die als Stützstäbe wirken.

Kurzdarstellung der Erfindung

[0010] Gemäß einem Aspekt der vorliegenden Erfindung ist ein 3D-Strukturmodul wie in Anspruch 1 beschrieben vorgesehen.

[0011] Gemäß einem Aspekt der vorliegenden Erfindung ist ein 3D-Modul vorgesehen, umfassend zumindest einen RDB, der Verstärkungselemente enthält. Die RDB in einem 3D-Modul können entlang von Außenflächen-R-Diagonalen und/oder entlang von Körper-R-Diagonalen und/oder Diagonalen angeordnet sein, die Mitten von Außenflächen des umschließenden Parallelepipeds verbinden. Die RDB eines einzelnen 3D-Moduls bilden nicht notwendigerweise ein komplettes Tetraeder oder Oktaeder aus – sie sind in der fertig gestellten Modulstruktur ausgebildet.

[0012] Eine bevorzugte Ausführungsform des 3D-Moduls (Grundmodul) umfasst einen Satz von sechs RDB, die entlang von sechs Außenflächendiagonalen (R1-Diagonalen) verlaufen und vier nicht benachbarte Ecken (R1-Ecken) des Parallelepipeds verbinden. Die RDB bilden ein Tetraeder aus, sodass das sich 3D-Grundmodul unter einer Belastung, die in jeglicher der R1-Ecken ausgeübt ist, im Wesentlichen wie ein Tetraeder verhält, der aus sechs Stäben gebaut ist, welche an vier Eckpunkten verbunden sind.

[0013] Vorzugsweise sind die vier anderen Ecken des Parallelepipeds entlang vier jeweiliger Ausschnittflächen ausgeschnitten, und die Ausschnittflächen sind miteinander durch vier jeweilige Tunnel verbunden, welche in der Mitte des Parallelepipeds in einer Tetrapodenform konvergieren.

[0014] Vorzugsweise sind die Ausschnittflächen von elliptischer oder sphärischer Form und an der jeweiligen Ausschnittfläche zentriert, wobei sie jedoch außerdem jegliche gekrümmte oder plane Form aufweisen können. Insbesondere können die Ausschnittflächen und die Tunnel derart geformt sein, dass Abschnitte des 3D-Moduls, die die RDB aufnehmen, im Wesentlichen als Balken mit einheitlichem Querschnitt ausgebildet sein können. Oder die Ausschnittflächen und die Tunnel können derart geformt sein, dass sie einen freien Durchgang für eine vertikale Säule parallel zu einer Kante des Parallelepipeds vorsehen.

[0015] Wiederum eine andere Ausführungsform der vorliegenden Erfindung, ein „mehrfaches“ 3D-Modul, umfasst die zwei Sätze von RDB, die in dem doppel-

ten 3D-Modul eingegliedert sind, umfasst aber ferner einen dritten Satz von zwölf RDB, die entlang zwölf Diagonalen (R3-Diagonalen) verlaufen und Schnittpunkte der R1-Diagonalen und der R2-Diagonalen verbinden. Die R3-Diagonalen bilden ein Oktaeder aus, sodass sich das „mehrfache“ 3D-Modul unter Belastung im Wesentlichen wie eine Mehrtetraederstruktur verhält, die aus acht um ein Oktaeder angeordneten Tetraedern gebaut ist. Das „mehrfache“ 3D-Modul kann aus zwölf Modulelementen zusammengebaut sein, wobei jedes Modulelement einen RDB entlang einer R3-Diagonale, Teile von zwei RDB entlang zweier R1-Diagonalen und Teile von zwei RDB entlang zweier R2-Diagonalen umfasst.

[0016] Daher stützt sich die vorliegende Erfindung auf die bekannten Prinzipien struktureller Mechanik, dass Strukturen, die aus Stäben und Eckpunktverbindern in Formen wie Tetraeder- oder Oktaedergitterwerken (siehe [Fig. 3](#) und [Fig. 4](#) unten) zusammengebaut sind, sehr stabil und starr sind. Ihr Hauptvorteil liegt in der Tatsache, dass jegliche an den Eckpunkten ausgeübte Belastung von außen als Axialbelastung in den Stäben verteilt wird. Die Stäbe funktionieren daher nur bei Kompression oder Spannung, nicht bei Biegung, Drehkraft oder Scherkraft. Mehrere derartiger Formen, beispielsweise in einer Mehrtetraederstruktur organisiert, die mehrere Tetraederschichten umfasst ([Fig. 4](#)), verteilen eine örtliche Belastung von einem Eckpunkt sehr schnell und einheitlich auf alle nahe gelegenen Eckpunkte sowie auf weiter entfernte Eckpunkte. Das ist der Grund dafür, dass eine derartige Mehrtetraederstruktur nicht an jedem Eckpunkt gestützt sein muss, der dem Fundament (beispielsweise dem Meeresboden) zugekehrt ist, sondern eine Anzahl ungestützter Eckpunkte zulassen kann, wie eine Brücke. Die Mehrtetraederstruktur weist zahlreiche redundante Verbindungen auf, d.h. einige der Stäbe könnten ohne erheblichen Starrheitsverlust entfernt werden. Infolgedessen ist eine derartige Struktur im Falle eines strukturellen Versagens einiger Glieder, z.B. bei einem Unfall, einem Zusammenprall oder anderer örtlicher Beschädigung, äußerst zuverlässig. Ferner ist die Mehrtetraederstruktur offen und isomorph, sie kann durch einfaches Hinzufügen von Stäben und Eckpunktverbindern ohne Begrenzungen in alle Richtungen wachsen. Tatsächlich verhält sich diese Struktur mit der wachsenden Anzahl von Schichten eher wie Schaummaterial mit starren Wänden (mit sehr großen Hohlräumen). Derartige Materialien weisen ein ausgezeichnetes Verhältnis von Gewicht zu Belastung auf.

[0017] Die RDB können durch Elemente wie Stahlstragen verstärkt sein. Die RDB können vor- oder nachträglich gespannt sein. Das 3D-Modul der vorliegenden Erfindung weist Aussparungen an den Außenflächen des Parallelepipeds an einer R-Diagonale davon auf, die derart angeordnet sind, dass sie einen

Hohlraum mit einer ähnlichen Aussparung an einem anderen 3D-Modul definieren, wenn die zwei Module einander benachbart angeordnet sind. Der Hohlraum dient zum Aufnehmen eines Verbindungselements, das die zwei Module fest aneinander befestigt. Derartige Aussparungen können die Form von Kanälen aufweisen, die entlang der R-Diagonalen verlaufen, oder sie können in den R-Ecken des Parallelepipedes oder an anderen Stellen entlang der R-Diagonalen hergestellt sein. Vorzugsweise liegen Teile der Verstärkungselemente der RDB, d.h. Stahlstäbe, zur besseren Verbindung in den Aussparungen frei. Die Aussparungen sind mit einem Umfangskanal zum Aufnehmen eines Dichtungselements, wie etwa einer aufblasbaren Dichtung, zum Abdichten des Hohlraums ausgebildet.

[0018] Vorzugsweise bildet das 3D-Grundmodul eine Strukturschale, die das Hohlvolumen einschließt. Die Schale kann aus vier Schalenelementen mit im Allgemeinen dreieckiger Form zusammengebaut sein, wobei jedes Schalenelement einen der Tunnel und Teile der RDB umfasst, wobei jedes Paar Schalenelemente durch ihre Kanten entlang einer der R1-Diagonalen des Parallelepipedes und entlang einer Stoßstelle von zwei jeweiligen Tunneln dicht verbunden ist.

[0019] Ein dritter Aspekt der vorliegenden Erfindung sieht ein Herstellungsverfahren eines 3D-Strukturmoduls vor, folgende Schritte umfassend:

- a) Gießen von vier Schalenelementen in vier jeweiligen Schalengussformen;
- b) Anordnen von drei der Gussformen um die vierte Gussform in einer horizontalen Ebene und Kuppeln der Kanten der drei Gussformen an die Kante der vierten Gussform mithilfe von Drehgelenken;
- c) Zusammenbauen einer 3D-Tetraederstruktur durch Anheben der drei Gussformen und Drehen derselben um die Drehgelenke; und
- d) Binden von Verbindungen zwischen den Kanten von Schalenelementen entlang der R1-Diagonalen und Binden der Verbindungen zwischen den Tunneln, um ein hohles, fluidundurchlässiges 3D-Strukturmodul zu erhalten.

[0020] Vorzugsweise wird der Schritt a) zunächst durch Gießen von drei planen Wänden für jedes Schalenelement und anschließendes Platzieren der planen Wände in der Gussform für das Schalenelement durchgeführt. Für Seestrukturen werden die Schritte a) bis d) vorzugsweise unter Benutzung von schwimmenden Gussformen durchgeführt, die bis zum Beschweren mit Ballast, Ausbalancieren und Lösen des 3D-Strukturmoduls aus den schwimmenden Gussformen mit dem 3D-Modul zusammengehalten werden.

[0021] Die Erfindung stellt ein wirksames Verfahren zum Bauen von See- und Landstrukturen und -infra-

strukturen aus vorgefertigten Modulen bereit, gekennzeichnet unter anderem durch die folgenden Vorteile:

- die Struktur wird durch Aufstapeln von boxartigen Modulen unter vorteilhafter Benutzung ihrer horizontalen und vertikalen Außenflächen zusammengebaut;
- die zusammengebaute Struktur ist ein räumliches Baufachwerk, das aus diagonalen Verstärkungsbalken, die in einem geeigneten Aufbau eingelassen sind, gebaut ist. Die Bauverbindungen zwischen den Modulen versehen die Fortführung der Verstärkungsbalken in der Struktur und die Verteilung von örtlichen Belastungen auf weite Bereiche der Struktur und zum Fundament;
- die Struktur kann Senkungen im Grund (beispielsweise im Meeresboden) oder uneinheitliche Fundamente überbrücken;
- die Struktur ist sehr zuverlässig und kann das Versagen zahlreicher Strukturglieder überstehen;
- die Struktur ist verhältnismäßig leichtgewichtig und zum Bau in Erdbebengebieten, auf nachgebendem oder weichem Meeresboden oder Treibsand geeignet;
- die Module beinhalten große Hohlvolumina, die Schwimmfähigkeit für leichte Beförderung auf dem Wasserweg und leichten Zusammenbau durch Schwimmen und Füllen vorsehen. Die Volumina können außerdem als Behälter genutzt sein;
- die Module beinhalten große Tunnel, die die zusammengebaute Struktur für Wasserströmungen durchlässig machen;
- die Module sind als Schalenstrukturen gebaut, die eine effiziente Nutzung des Baumaterials vorsehen;
- die Module sind aus identischen Schalenelementen hergestellt, die in schwimmenden Formen gegossen sind. Dieselben Formen können vorteilhaft zum Zusammenbau und zur Beförderung der Module auf dem Wasserweg benutzt werden;
- das Verfahren ist zum Bauen von künstlichen Inseln, Erweitern von bestehenden Inseln sowie zum Abgewinnen von neuem Land auf See geeignet. Es kann als Ersatz (gesamt oder teilweise) zum Auffüllen von weiten Räumen mit Erdreich, bei ausgedehnten Bauarbeiten (Wiederherstellung aufgegebener Steinbrüche usw.) angewendet werden. Es kann beim Bau von Brücken, Dämmen, Kais, Wellenbrechern usw. genutzt werden.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0022] Zum Verständnis der Erfindung und zum Verständnis ihrer Umsetzung in die Praxis wird nun eine bevorzugte Ausführungsform nur als nicht einschränkendes Beispiel unter Bezugnahme auf die beiliegenden Zeichnungen beschrieben.

[0023] Es zeigen:

[0024] [Fig. 1](#) eine Perspektivansicht eines 3D-Grundmoduls gemäß der vorliegenden Erfindung;

[0025] [Fig. 2](#) eine Perspektivansicht einer Struktur, die aus acht 3D-Modulen, wie sie in [Fig. 1](#) gezeigt sind, zusammengebaut ist;

[0026] [Fig. 3](#) eine schematische Ansicht eines einzelnen strukturellen Tetraeders;

[0027] [Fig. 4](#) eine schematische Ansicht einer Mehrtetraederstruktur;

[0028] [Fig. 5](#) eine Nahansicht einer verstärkten Ecke des 3D-Moduls;

[0029] [Fig. 6](#) eine auseinander gezogene Ansicht eines aus Schalenelementen gebauten 3D-Moduls;

[0030] [Fig. 7](#) eine auseinander gezogene Ansicht eines Schalenelements;

[0031] [Fig. 8A](#), [Fig. 8B](#) und [Fig. 8C](#) den Ablauf des Zusammenklappens von 4 angelenkten Formen mit Schalenelementen zu einer Quasitetraederstruktur;

[0032] [Fig. 9](#) eine Perspektivansicht einer elastischen Form zum Gießen von Nähten eines tetrapodenartigen Tunnels;

[0033] [Fig. 10](#) eine Oberflächenstruktur, die aus 3D-Modulen mit 1 und 2 ausgeschnittenen Ecken zusammengebaut ist;

[0034] [Fig. 11](#) eine Perspektivansicht eines ebenflächigen 3D-Moduls;

[0035] [Fig. 12](#) eine Perspektivansicht einer aus ebenflächigen Modulen von [Fig. 11](#) zusammengebauten Struktur;

[0036] [Fig. 13](#) eine Perspektivansicht eines 3D-„Skelettmoduls“;

[0037] [Fig. 14](#) eine Perspektivansicht einer aus 3D-„Skelettmodulen“ zusammengebauten Struktur;

[0038] [Fig. 15A](#) und [Fig. 15B](#) verschiedene Querschnitte der Balken in dem 3D-Skelettmodul;

[0039] [Fig. 16](#) eine Perspektivansicht eines „doppelten“ 3D-Moduls der vorliegenden Erfindung;

[0040] [Fig. 17](#) eine Perspektivansicht eines doppelten 3D-Skelettmoduls;

[0041] [Fig. 18](#) eine Perspektivansicht einer aus doppelten 3D-Skelettmodulen zusammengebauten Struktur;

[0042] [Fig. 19](#) eine Perspektivansicht eines „mehrfachen“ 3D-Moduls der vorliegenden Erfindung;

[0043] [Fig. 20](#) eine Perspektivansicht einer Struktur, die aus 3D-Grundmodulen zusammengebaut und durch vertikale Pfeiler verstärkt ist;

[0044] [Fig. 21](#) eine Perspektivansicht eines „defizienten“ 3D-Moduls mit 4 RDB auf Körperdiagonalen;

[0045] [Fig. 22](#) eine Perspektivansicht eines „defizienten“ 3D-Moduls mit 5 RDB auf Seitendiagonalen; und

[0046] [Fig. 23](#) eine schematische Ansicht eines vollständigen Tetraedergitterwerks, das aus „defizienten“ 3D-Modulen gebildet ist.

DETAILLIERTE BESCHREIBUNG DER ERFINDUNG

[0047] Unter Bezugnahme auf [Fig. 1](#) ist ein 3D-Strukturgrundelement **10** der vorliegenden Erfindung (im Folgenden 3D-Modul) eine Modulbaueinheit mit einer Form, die ein rechteckiges Parallelepipiped **12** bildet, welches durch 6 plane Außenflächen mit unteren Grundeckpunkten ABCD und oberen Grundeckpunkten EFGH definiert ist. In dem gezeigten Beispiel ist ohne jegliche Einschränkungen vorausgesetzt, dass das Parallelepipiped ein geometrischer Würfel mit einer Seitenlänge von ungefähr 10 m ist. Die Form des 3D-Grundmoduls könnte folgendermaßen beschrieben werden:

- vier nicht benachbarte Ecken des Würfels (in diesem Falle B, D, E und G) sind durch Ausschnittflächen S_B , S_D (nicht zu sehen), S_E und S_G ausgeschnitten. Die in [Fig. 1](#) gezeigten Ausschnittflächen sind sphärische Flächen, die in jeweiligen Ausschnittecken des Würfels zentriert sind, jedoch können sie von jeglicher Form sein, die sich zur Mitte des Würfels hin beult, wie etwa von elliptischer, flacher oder komplexerer Form;
- vier Tunnel T_B , T_D , T_E und T_G sind ausgebildet und konvergieren in der Mitte des Würfels zum Ausbilden eines tetrapodenartigen Durchgangs, der die Ausschnittflächen miteinander verbindet. Die Tunnel sind als Zylinderrohre gezeigt, können aber eine andere Form aufweisen;
- sechs plane Flächen, die von den Außenflächen des ursprünglichen Würfels übrig sind, beispielsweise Fläche **14** (Außenfläche EFGH) sind Grundebenen, über die das 3D-Modul andere gleichartige Module berührt. Diese Flächen müssen groß genug zum Gewährleisten einer stabilen Anordnung des Moduls auf einem im Wesentlichen horizontalen Fundament während des Zusammenbauvorgangs sein, wie unten gezeigt.

[0048] [Fig. 2](#) zeigt einen Teil einer Struktur **20**, die aus acht 3D-Modulen der in [Fig. 1](#) gezeigten Art zu-

sammengebaut ist, angeordnet in zwei Lagen (das obere, vordere Modul ist entfernt). Es ist ersichtlich, dass das Aufstapeln und Zusammenbauen der 3D-Module gemäß der Anordnung des umschließenden Würfels ([Fig. 1](#)) große, sphärische Räume ([22](#), [24](#)) schafft, die durch Tunnel ([26](#), [28](#)) miteinander verbunden sind. Daher lässt eine untergetauchte Seestruktur, die aus den 3D-Grundmodulen hergestellt ist, einen freien Wasserdurchfluss zu.

[0049] Die 3D-Module sind mit diagonalen Verstärkungsbalken (RDB) [30](#) ausgebildet, die entlang der sechs Diagonalen (AF, FC, CA, AH, HC und HF) auf den planen Flächen verlaufen, die von den Außenflächen des umschließenden Würfels übrig sind. Die RDB können Verstärkungselemente, beispielsweise Stahlstäbe [32](#), und Material umfassen, in das die Verstärkungselemente eingelassen sind, beispielsweise Beton. Die RDB sind durch drei von vier verstärkten Ecken (R1-Ecken) A, C, F und H des 3D-Moduls zum Ausbilden einer Tetraederform verbunden. Wenn die 3D-Module als Teil der Struktur [20](#) belastet werden, werden die Kräfte, die über die 3D-Module verteilt werden, hauptsächlich entlang der RDB konzentriert. Das strukturelle Verhalten des 3D-Grundmoduls gleicht dem eines aus sechs Stäben [34](#) und vier Eckpunktverbindern [36](#) hergestellten Tetraeders, wie schematisch in [Fig. 3](#) gezeigt. Die zusammengebaute Struktur [20](#) von [Fig. 2](#) erträgt Belastungen ähnlich wie die in [Fig. 4](#) gezeigte räumliche Struktur [40](#), die mehrere Tetraeder und Oktaeder dazwischen umfasst. Der Mehrtetraeder [40](#), der aus Stäben [34](#) und Eckpunktverbindern [36](#) hergestellt ist, ist auf dem Gebiet der technischen Mechanik bekannt, und sein Hauptvorteil liegt in der Tatsache, dass jegliche Belastung von außen, die auf die Eckpunkte ausgeübt ist, als axiale Belastung auf die Stäbe verteilt wird und auf einen großen Abschnitt der Struktur verteilt wird, wie oben erläutert.

[0050] Daher sieht das 3D-Modul der Erfindung vorteilhaftes strukturelles Verhalten sowie eine leichte und effiziente Art und Weise des Zusammenbaus mehrerer derartiger Module in großen Strukturen durch Stapeln auf ihren horizontalen Außenflächen (wie Fläche [14](#) in [Fig. 1](#)) vor. Die vier Ecken des umschließenden Würfels könnten nicht ausgeschnitten sein, da das erwünschte strukturelle Verhalten des 3D-Moduls durch die RDB bereitgestellt ist, die ein Tetraeder ausbilden, nicht so sehr durch die Ausschnitte oder Tunnel.

[0051] Unter Bezugnahme auf [Fig. 1](#) und die vergrößerte Ansicht in [Fig. 5](#) sind Aussparungen [42](#) auf der Oberfläche des Würfels an den Ecken des 3D-Moduls ausgebildet. Enden [44](#) der Verstärkungsstäbe [32](#) liegen in diesen Aussparungen frei. Wenn zwei bis acht 3D-Module [10](#) benachbart zu einer gemeinsamen R-Ecke angeordnet sind, beispielsweise [46](#) in [Fig. 2](#), bilden die Aussparungen Hohlräume

aus, die als Form zum Gießen von Beton oder Einspritzen von Injektionsmittel dienen, um Eckverbindungen [48](#) zu schaffen. Ähnliche Aussparungen [52](#) können entlang der R-Diagonalen ausgebildet sein, wie in [Fig. 1](#) und [Fig. 7](#) unten gezeigt, wobei Teile der RDB ebenfalls darin freiliegen. Wie in [Fig. 5](#) gezeigt, sind Prägungen [50](#) um die Aussparungen [42](#) und [52](#) ausgebildet, um geeignete Dichtungen, wie etwa aufblasbare Röhren, zum Abdichten der Hohlräume zu halten.

[0052] Die 3D-Grundmodule ([Fig. 1](#)) können hohle, wasserdichte Volumina in ihrem Körper aufweisen. Derartige Volumina können Reservoirs bilden, die mit Seewasser für Ballastzwecke oder mit jeglichem anderen Material nach Bedarf gefüllt werden können (z.B. Trinkwasser, Brennstoff, Abwasser, Sand oder anderen Materialien). Die Hohlvolumina der Module belaufen sich auf ungefähr ein Viertel des Volumens des umschließenden Würfels und sind durch Öffnungen und Sperrventile verbindbar, die eine vollständige Steuerung ihrer Inhalte ermöglichen. Diese Elemente können an jeglicher geeigneten Stelle in den Modulwänden eingefügt sein und sind daher in den Figuren nicht gezeigt.

[0053] Die steuerbaren Volumina sind groß genug, um die 3D-Module mit Schwimmeigenschaften zu versehen. Durch Einlassen von Luft kann die Schwimmfähigkeit des 3D-Moduls sowie der zusammengebaute Struktur in der Gesamtheit gesteuert werden.

[0054] Wie in [Fig. 6](#) gezeigt, ist das 3D-Grundmodell [10](#) aus vier Schalenelementen [54](#) gebaut, die, im zusammengebauten Modul, entlang von Nähten auf Würfel diagonalen dicht verbunden sind. Die Schalenelemente [54](#) umfassen plane Wände (Gewölbe) [56](#), Tunnelwände [58](#) und sphärische Wände [60](#), wie außerdem aus [Fig. 7](#) ersichtlich. Die Aussparungen [52](#), an den Kanten der Schalenelemente [54](#), können zum Gießen von Verbindern zwischen benachbarten 3D-Modulen benutzt werden.

[0055] Unter Bezugnahme auf [Fig. 6](#), [Fig. 7](#) und [8](#) wird das 3D-Grundmodul durch folgenden Prozess aus Schalenelementen [54](#) hergestellt:

Phase „A“: Die Schalenelemente [54](#) werden zunächst durch Gießen von drei Betongewölben [56](#) gefertigt. Das Gießen kann horizontal in flachen Formen erfolgen. Verstärkungsstahlstäbe [32](#) werden zum Schaffen von RDB verwendet, wobei freie Stabenden [44](#) in den Aussparungen [42](#) zur späteren Verbindung freiliegen. Aussparungen [52](#) werden ausgebildet, und quer verlaufende Verstärkungsstäbe werden außerdem eingerichtet (nicht gezeigt), mit freien Stabenden entlang von Kanten der Schalenelemente zur Verbindung mit den anderen Schalenteilen in den nächsten Phasen des Betongießens.

Phase „B“: Drei Gewölbe [56](#) werden für jedes Scha-

lenelement **54** in einer Gussform platziert. Zusätzliche Verstärkungsstäbe für die RDB können in die Formen eingeführt werden, und ebenso alle starren Elemente, die beim Gießen eingelassen werden müssen, wie etwa Flansche, Ventile und Hähne zur Schwimmfähigkeitssteuerung, Luken zum Öffnen/Schließen von Lagerbehältern, Aufhängeösen usw. Die freien Stahlenden können beispielsweise durch Schweißen verbunden werden. Die Schalenelementform kann zweiseitig oder einseitig oder eine Kombination aus beiden sein. Beispielsweise können die Tunnelwände **58** in zweiseitigen Formen gegossen werden. Vorzugsweise sind die Schalenelementformen für Seestrukturen zusammen mit dem Gussbetonelement treibend (schwimmfähig).

Schritt „C“: Fertigstellung der Erzeugung des Schalenelements durch Gießen des Betons in die Form. Die sphärischen Wände **60** und die Tunnelwände **58** werden gegossen, und die Spalte zwischen den planen Gewölben **56** werden verfüllt. Damit sind alle Teile verbunden, und das Schalenelement **54** ist fertig gestellt. Die Betonabbindung kann in den Formen und bei Bedarf auf dem Wasser treibend erfolgen. Nach dem Abschluss der Abbindung ist das Schalenelement **54** zum Zusammenbau mit drei anderen Schalenelementen zum Ausbilden des 3D-Moduls bereit.

Phase „D“: Vier Gussformen mit den Schalenelementen **54** darin werden mithilfe von Drehgelenken in einer Anordnung von vier gleichseitigen Dreiecken, die ein großes, klappbares Dreieck ([Fig. 8A](#)) ausbilden, aneinander gekuppelt.

Phase „E“: Die Gussformen werden zusammen mit den Schalenelementen **54** um die Drehgelenke „geklappt“ (zusammengezogen), um eine „Quasitetraederstruktur“ auszubilden ([Fig. 8B](#) und [Fig. 8C](#)). Die vier Schalenelemente sind nun in ihrer genauen Position im dreidimensionalen Raum verriegelt. Am Ende dieser Phase wird eine einzelne, große, äußere Form geschaffen.

Phase „F“: Nach dem Schließen der Formen sind die vier Tunnelwände **58** ebenfalls zueinander hin geschlossen und bilden einen röhrenförmigen Tetrapoden **61** ([Fig. 9](#)). Spezielle bogenförmige Umgürtungen **62** werden in die Spalte zwischen den Wänden **58** eingeführt und mithilfe von Verbindungselementen **63** an der Außenseite der Wände (bezüglich des Durchgangs durch den Tetrapoden) gestreckt, sodass die Spalten zwischen den Wänden **58** von der Innenseite des 3D-Moduls geschlossen werden. Nun können die Verbindungsstellen zwischen den Kanten der Tunnelwände **58** durch Betongießen oder Ausschmieren mit zähflüssigem Mörtel oder Spritzbetonieren abgedichtet werden.

Phase „G“: Binden der „Nähte“ zwischen den Kanten der Schalenelemente **52**. Die Enden der quer verlaufenden Verstärkungsstäbe werden verbunden, und Injektionsmittel oder Beton wird zwischen die Kanten der Schalenelemente eingespritzt. Das Schließen der Nähte ermöglicht es dem 3D-Modul, seine größte

Festigkeit und sein geplantes strukturelles Verhalten zu erreichen.

[0056] Wenn das geschlossene 3D-Modul und seine Form ein Schwimmvermögen aufweisen, werden die geschlossene Form und das abgebundene 3D-Modul darin in das Wasser in einen schwimmenden Zustand abgelassen. Wenn das 3D-Modul und seine Form bezüglich der Schwimmfähigkeit ausbalanciert ist, wird die Form geöffnet und das 3D-Modul zum Treiben auf dem Wasser heraus gelöst. Seine Schwimmfähigkeit kann durch Ballastwasser, Bojen und/oder Gewichte und Hebeegeräte gesteuert werden.

[0057] Gemäß der vorliegenden Erfindung sind außerdem andere Ausführungsformen des 3D-Moduls vorgeschlagen. Zum Erzielen einer fortlaufenden flachen Strukturfläche kann ein spezielles Oberflächenmodul **66** gestaltet sein ([Fig. 10](#)). Dieses Modul weist nur zwei der vier nicht benachbarten Ecken ausgeschnitten auf, die Ecken E und G sind vollständig. Ein 3D-Modul **68** für eine freiliegende Ecke der zusammengebauten Struktur könnte 3 vollständige Ecken aufweisen (nur Ecke B ist ausgeschnitten).

[0058] Ein vereinfachtes ebenflächiges 3D-Modul **70** ist in [Fig. 11](#) gezeigt. Die Ausschnittflächen **72** sind in diesem Falle plan. Eine aus derartigen ebenflächigen Modulen **70** gebaute Struktur **74** ist in [Fig. 12](#) gezeigt. Die Räume zwischen dieser Art von 3D-Modulen erlangen die Form eines Oktaeders anstelle einer Kugel, wie in [Fig. 2](#) gezeigt.

[0059] Ein alternatives 3D-„Skelettmodul“ **80** ist in [Fig. 13](#) gezeigt. Das Skelettmodul weist dieselbe äußere Topologie (vier ausgeschnittene Ecken und vier Tunnel, in einem Tetrapoden verbunden) wie das 3D-Grundmodul und außerdem dieselbe aus RDB hergestellte Verstärkungsstruktur auf. Das Skelettmodul **80** weist jedoch keine Hohlvolumina und daher keine Schwimmfähigkeit auf. Das Skelettmodul umfasst sechs Balken **82** mit im Allgemeinen einheitlichem Querschnitt, die in einer Tetraedergestaltung angeordnet sind. Der Querschnitt der Balken kann rechteckig sein, jedoch außerdem einen offenen Kanal **84** aufweisen, sodass zwei benachbarte Skelettmodule einen hohlen Raum zwischen sich definieren, der entlang der R-Diagonale des umschließenden Würfels verläuft. Eine zusammengebaute Struktur mit benachbarten Skelettmodulen ist in [Fig. 14](#) gezeigt, und der Querschnitt zweier benachbarter Balken **82** mit Kanälen **84** ist aus [Fig. 15A](#) ersichtlich. Der hohle Raum in den Kanälen **84** hat dieselbe Verbindungsfunktion wie die Hohlräume, die durch die Aussparungen **42** oder **52** gebildet sind. Teile der Verstärkungselemente können in diesem Raum freiliegen, beispielsweise Enden oder Schleifen quer verlaufender Stahlstäbe. Der Raum ist mit Injektionsmittel oder anderem Fixierungsmaterial gefüllt, um

die RDB der benachbarten Module aneinander zu befestigen und das strukturelle Verhalten der zusammengebauten Struktur zu verbessern.

[0060] Eine andere Art und Weise, das strukturelle Verhalten zu verbessern, ist die Nutzung eines „T“-förmigen oder „U“-förmigen Querschnitts des Balkens oder jeglicher anderen Form, die das Trägheitsmoment in der senkrechten Richtung zur flachen Seite des Balkens erhöht (siehe [Fig. 15B](#)).

[0061] Die Eigenschaften der Skelettmodule gleichen denen des 3D-Grundmoduls. Sie können wie Würfel aufeinander gestapelt sein, sie können auf dieselbe Art und Weise miteinander verbunden sein wie die 3D-Grundmodule, um eine große Struktur **86** (siehe [Fig. 4](#)) auszubilden, die sich strukturell wie in Verbindung mit [Fig. 3](#) und [Fig. 4](#) erläutert verhält.

[0062] Eine hohle Betonbox, mit oder ohne Öffnungen in jeder oder in einem Teil ihrer sechs Außenflächen, kann als alternatives „würfelförmiges“ 3D-Modul dienen. Diese Alternative kann schwimmfähig sein, wenn die Box geschlossen und mit Luft gefüllt ist, oder nicht schwimmfähig, wenn sie Öffnungen aufweist. Sie unterscheidet sich von jeglichen anderen in der Praxis bekannten Betonstrukturboxen durch ihre Verstärkung, die dieselbe wie in dem 3D-Grundmodul ist, beispielsweise durch RDB, die das „würfelförmige“ Modul mit den strukturellen Eigenschaften eines Tetraeders versehen. Die Art und Weise der Verbindung ist dieselbe wie bei den 3D-Grundmodulen.

[0063] Eine weitere Ausführungsform des 3D-Moduls der vorliegenden Erfindung ist ein „doppeltes“ 3D-Modul. Das doppelte Modul **90**, das in [Fig. 16](#) gezeigt ist, weist die RDB des Grundmoduls auf, umfasst jedoch außerdem einen zweiten Satz von sechs RDB **91**, die entlang der anderen sechs Diagonalen (R2-Diagonalen) des Würfels verlaufen und eine zweite Tetraederform ausbilden. In [Fig. 3](#) ist das zweite Tetraeder durch Stäbe **92** und Eckpunktverbinder **94** schematisiert, die in gestrichelter Linie gezeigt sind. Das strukturelle Verhalten unter Belastung des zweiten Tetraeders ist dasselbe wie dasjenige des ersten. Tatsächlich ist die Wechselwirkung zwischen den zwei Tetraedern sehr schwach, trotz der Tatsache, dass ihre jeweiligen RDB im selben Modul eingelassen sind.

[0064] Das doppelte 3D-Modul **90** ist anders ausgeschnitten, da alle ihre acht Eckpunkte als Verbindungen benutzt sind. Zwölf sphärische Flächen S_{AD} , S_{AB} usw. sind um jede Kante des Würfels ausgeschnitten, und zwölf Tunnel T_{AB} , T_{BF} usw. sind von den ausgeschnittenen Flächen zur Mitte des Würfels gebohrt. Die Mitte des Würfels kann ferner durch Ausschneiden einer zentralen Sphäre geleert werden. Die Ausschnittsflächen können außerdem verschiedene For-

men aufweisen, wobei jedoch die RT-Diagonalen und R2-Diagonalen nicht unterbrochen werden dürfen. Das doppelte Modul kann hohle, wasserdichte Volumina in seinem Körper wie das Grundmodul **10** aufweisen. Es kann aus sechs Modulelementen zusammengebaut sein, die jedes zwei RDB umfassen, die zu zwei verschiedenen Tetraedern gehören, beispielsweise Element ABFE (leicht schattiert gezeigt). Das doppelte 3D-Modul kann außerdem aus Schalenelementen zusammengebaut sein. Alternativ kann das Modul als 3D-Skelettmodul **96** gebaut sein (siehe [Fig. 17](#)), und eine aus acht derartigen Modulen zusammengebaute Struktur **98** ist in [Fig. 18](#) gezeigt.

[0065] Mehr RDB können zum Erzeugen mehrerer 3D-Module innerhalb des Anwendungsbereichs der vorliegenden Erfindung hinzugefügt sein. Beispielsweise ist, wie in [Fig. 19](#) gezeigt, ein „mehrfaches“ 3D-Modul **100** erzielt, wenn zwölf RDB **102**, die Mitten der Würfelaußenflächen verbinden, zu einem doppelten Modul hinzugefügt werden, um eine interne Oktaederstruktur auszubilden. Das mehrfache Modul kann als von acht Tetraedern (beispielsweise LMNE) gebildet betrachtet werden, die an der internen Oktaederstruktur angebracht sind. Das strukturelle Schema des mehrfachen Moduls ist tatsächlich identisch mit dem der aus 8 3D-Grundmodulen zusammengebauten Struktur (siehe [Fig. 4](#)). Das mehrfache Modul kann Tunnel aufweisen, beispielsweise T_{EA} , T_{EF} , T_{EH} , die in einer Dreibeinform unter dem entsprechenden Eckpunkt E konvergieren. Aussparungen zur Ausbildung von Verbindungen sind an den Eckpunkten des Würfels (Aussparung **42**), an Diagonalen des Würfels (Aussparung **52**) sowie an Mitten von Würfelaußenflächen (Aussparung **104**) vorgesehen. Ein mehrfaches 3D-Modul kann aus 12 Schalenelementen zusammengebaut sein, wie etwa EMFL. Drei derartige Schalenelemente können zunächst in einer Gussform zum Ausbilden eines Zwischensatzes AFHE zusammengebaut werden, dann können vier derartige Sätze zusammen mit den Formen zu einem 3D-Modul zusammengebaut werden, wie in Verbindung mit [Fig. 8A](#), [Fig. 8B](#) und [Fig. 8C](#) gezeigt und erläutert. Alternativ kann zunächst ein Schalenelement, wie etwa EMFL, aus Unterelementen, wie etwa LME und LMF, zusammengebaut werden. Hohlvolumina können in der internen Oktaederstruktur sowie in den peripheren Tetraedern ausgebildet sein.

[0066] Ein „defizientes“ Modul ist ein 3D-Modul der vorliegenden Erfindung, bei dem die einzelnen RDB kein vollständiges Tetraeder ausbilden. Z.B. zeigt [Fig. 21](#) ein „defizientes“ 3D-Modul **114**, das vier RDB entlang der vier Körperdiagonalen des umschließenden Würfels in einer Doppelkreuzausbildung aufweist. Alternativ zeigt [Fig. 22](#) ein „defizientes“ 3D-Modul **118** mit fünf RDB entlang von fünf der Außenflächendiagonalen des umschließenden Würfels, ein räumliches Viereck AFCH mit einer Diagonalen FH ausbildend. Die Struktur des letzten Moduls könn-

te auch als Tetraeder AFCH beschrieben werden, bei dem die Kante AC fehlt. Ein „defizientes“ Modul wird jedoch Teil eines vollständigen Tetraedergitterwerks, wenn es mit anderen 3D-Modulen in einer Modularstruktur zusammengebaut ist. Eine derartige Struktur **120** ist als Gitterwerk in [Fig. 23](#) gezeigt, wobei zwei aus „defizienten“ 3D-Modulen **118** gebaute Schichten **122** und **124** aufeinander gesetzt sind. Die fehlenden RDB **126** in der oberen Schicht **122** sind in der zusammengebauten Struktur durch RDB **128** in der unteren Schicht **124** vervollständigt.

[0067] Die oben beschriebenen, alternativen 3D-Module – nämlich das 3D-Grundmodul, das Oberflächenmodul, das ebenflächige Modul, das Skelettmodul, das würfelförmige Modul, das doppelte Modul, das mehrfach Modul und das „defiziente“ Modul – sind alle modular und können gemäß spezifischer Planungsanforderungen sich gegenseitig ersetzen oder in Kombination benutzt werden (sind gegeneinander austauschbar). Ihre Austauschbarkeit ist durch dieselbe Größe des umschließenden Parallelepipeds, die plane Fläche entlang der R-Diagonalen und die identischen oder kompatiblen Anordnungen für Verbindungen entlang der entsprechenden R-Diagonalen gewährleistet. Zudem kann das mehrfache Modul mit Modulen von halber Größe zusammengebaut werden, wodurch für flexiblere Gestaltungen von Land- und Seestrukturen gesorgt ist.

[0068] Eine Seestruktur wird folgendermaßen aus den oben beschriebenen 3D-Modulen zusammengebaut:

Der Meeresboden und Fundamente zum Errichten der Seestruktur werden durch herkömmliche Verfahren unter Benutzung mechanischer Geräte für Unterwasserbauarbeiten vorbereitet. Bei Bedarf können Kiesverfüllungs- oder andere Verfahren zur Stabilisierung der Basis zur Anwendung kommen.

[0069] Die Fundamente sind dafür ausgelegt, die statischen und dynamischen Nutzlasten sowie die Eigenlasten und die zu Wasser vorkommenden dynamischen Lasten (Strömungen, Auftriebskraft, Gezeiten, Stürme, Wellen, Erdbeben, Seebeben usw.) zu tragen. Zudem dienen die Fundamente zum Nivellieren der 3D-Module in der Struktur.

[0070] Ein 3D-Modul wird in treibendem Zustand in das Wasser über die für seine Platzierung bestimmte Stelle befördert (geschleppt). Das Modul wird mit Krankabeln verbunden und zum Einpassen in seine Endposition in der Struktur in seine Planposition gedreht und gehoben.

[0071] Das Modul wird durch Einlassen einer geeigneten Wassermenge in sein Hohlvolumen, mithilfe von Bojen oder mithilfe eines Hubkrans usw. in das Wasser eingetaucht. Die endgültige Feinpositionierung des 3D-Moduls in seinen genauen Lageort kann

durch konische Führungen (männlich und weiblich) durchgeführt werden, die beim Gießen oder durch andere geeignete Verfahren in den Modulen eingepasst werden.

[0072] Nach der Anordnung aller der Module um eine gemeinsame R-Ecke (maximal acht Module um eine R-Ecke), sodass die Aussparungen **42** benachbarter Module einen geschlossenen Raum ausbilden, der als Form zum Gießen einer Eckverbindung **48** (Siehe [Fig. 5](#) und [Fig. 2](#)) dient, können die Verbindungen zwischen den benachbarten 3D-Modulen folgendermaßen fertig gestellt werden:

- die Verbindungsform wird durch Einführen von Dichtungen, wie etwa pneumatisch oder hydraulisch aufblasbaren Röhren, in die Prägungen **50** ([Fig. 5](#)), die einander in dem schmalen Spalt zwischen den Modulen zugekehrt sind, vorbereitet. Die Dichtungen können außerdem vor dem Zusammenbau der Module in den Prägungen befestigt werden, z.B. durch Kleben. Vorzugsweise werden zwei Sätze Dichtungen benutzt, die jeder an dem jeweiligen Modul angebracht werden und dem anderen Satz zugekehrt sind, sodass, wenn das Aufblasen einer der Dichtungen fehlschlägt, die gegenüberliegende Dichtung den Spalt abdichten könnte. Eine geeignete Verstärkung kann in die Form eingefügt werden (Verstärkungsstahlstäbe, Verstärkungsmaschenwerke, Verstärkungsfasern, Verstärkungsstifte oder jegliches andere Verstärkungsmittel), und die freiliegenden Enden **44** der Verstärkungsstäbe **32** werden verbunden. In Fällen, in denen weniger als acht Module an der Verbindung (d.h. an den Strukturabgrenzungen) zusammentreffen, kann die Form mithilfe geeigneter Einfassungen geschlossen werden;

- Ein Injektionsmitteleinlassrohr ist am oberen Ende der Form aus der Richtung des sphärischen Volumens zwischen den Modulen vorgesehen, vorzugsweise während der Herstellung des 3D-Moduls voreingerichtet. Ein Seewasserauslassrohr ist im unteren Ende der Form vorgesehen, ebenfalls vorzugsweise in dem Modul voreingerichtet, und außerdem ist ein Rohr für Druckluft vorgesehen. Die pneumatisch/hydraulisch aufblasbaren Röhren werden aufgeblasen, um den Spalt zwischen den benachbarten Modulen abzdichten, die den geschlossenen Raum der Verbindungsform umgeben;

- die Zuleitung von Druckluft in den Formraum führt das Seewasser aus der Form das Auslassrohr hinunter ab. Injektionsmittel oder anderes Fixierungsmaterial wird durch das Einlassrohr zum Ausfüllen des Verbindungsformraums eingespritzt. Nach der Aushärtung des Injektionsmittels kann der Druck in der aufblasbaren Abdichtung abgelassen werden.

[0073] Zusätzliche Verbindungen können auf ähnli-

che Art und Weise zwischen den 3D-Modulen erzeugt werden, beispielsweise unter Benutzung der Aussparungen **52** für Verbindungselemente (siehe [Fig. 1](#) und [Fig. 7](#)) oder Kanäle **84** ([Fig. 15A](#)). Diese Verbindungselemente lassen die RDB um eine R-Diagonale, die zu zwei Modulen oder vier Schalenelementen gehören, als einstückigen Stab wirken, wodurch ein Zusammenfallen der RDB unter starken Belastungen verhindert ist.

[0074] Die 3D-Module können zunächst in treibenden, 2 oder mehr Module enthaltenden Makromodulen (Gruppen) zusammengebaut werden, die dann zur Baustelle geschleppt, positioniert und mit dem Rest der Seestruktur verbunden werden. In diesem Falle ist es vorzuziehen, das Makromodul nur mit solchen Verbindungen zusammenzubauen, die nicht an der Verbindung mit dem Rest der Seestruktur beteiligt sind, d.h. nur unter Benutzung der Aussparungen **52**, Kanäle **84** oder gänzlich interner R-Ecken.

[0075] Die obere Schicht der Seestruktur, die dazu bestimmt ist, über den Meeresspiegel hinauszuragen (unter Berücksichtigung von Hochwasser und Wellen), kann aus den „Flächenmodulen“ **66** und **68** ([Fig. 10](#)) gebaut sein.

[0076] Die Seestruktur oder jegliches einzelne 3D-Modul kann durch Füllen der Hohlvolumina in dem 3D-Modul mit Injektionsmittel oder anderem Fixiermaterial verstärkt sein, wodurch sie zu einem örtlich verstärkten Fundament umgewandelt werden, das zum Übernehmen größerer örtlicher Belastungen geeignet ist.

[0077] Eine andere Option örtlicher Verstärkung nach dem Zusammenbau der Struktur und ungeachtet der Gestaltungsfestigkeit der 3D-Module ist durch das Errichten zusätzlicher Pfeiler gegeben. Die Ausschnittflächen und die Tunnel in den 3D-Modulen können derart geformt sein, dass sie durchgehende Räume entlang der Struktur offen lassen. Diese Räume können zum Einführen von Pfeilern **110** hinunter zum Meeresboden genutzt werden (siehe [Fig. 20](#)). Durch Wahrnehmung dieser Option besteht kein Bedarf, die Festigkeit der Seestruktur im Voraus zu bestimmen. Derartige Pfeiler können jederzeit und nach Bedarf hinzugefügt werden.

[0078] Die oben genannten offenen Räume ermöglichen die Führung von bis zu 4 Pfeilern durch ein 3D-Modul. Der Durchmesser der in [Fig. 20](#) gezeigten Pfeiler **110** beträgt 1,5 m in einem Modul mit Abmessungen von 10 × 10 × 10 m und einem Tunneldurchmesser von 6 m. Diese Option kann für alle praktischen Zwecke erhebliche Nutzlasten tragen.

[0079] Obgleich eine Beschreibung spezifischer Ausführungsformen vorgelegt ist, wird in Betracht gezogen, dass verschiedene Änderungen vorgenom-

men werden könnten, ohne vom Anwendungsbe-
reich der vorliegenden Erfindung wie durch die Ansprüche definiert abzuweichen. Beispielsweise sind die Strukturmaterialien, die zum Herstellen der 3D-Module oder der bestandteilbildenden Schalenelemente zur Benutzung kommen, nicht auf armierten Beton beschränkt. Es kann Polymerbeton, Aschebeton (Flugaschebeton) sowie Verstärkungsfasern aus Kohlenstoff, Glas, Kunststoff oder Stahl benutzt sein. Die Schalenelemente können in als Gussformen benutzten, faserverstärkten Kunststoffaußenschalen (FK-Außenschalen) gegossen sein, während die RDB als FK-Innenunterglieder ausgebildet sein können.

[0080] Wie vorstehend angegeben, besteht kein Erfordernis, dass die RDB in jedem einzelnen 3D-Modul ein geschlossenes Tetraeder ausbilden. Eine große Vielfalt „defizienter“ 3D-Module mit einigen fehlenden RDB kann im Anwendungsbereich der vorliegenden Erfindung gestaltet sein, sogar Module, die nur einen oder zwei RDB oder RDB umfassen, die nicht miteinander verbunden sind. Es versteht sich, dass derartige RDB nur Glieder der vorteilhaften Mehrtetraeder/-oktaederstruktur werden, wenn das „defiziente“ 3D-Modul in der zusammengebauten See- oder Landstruktur enthalten ist.

Patentansprüche

1. 3D-Strukturmodul (**10**), im Folgenden als 3D-Modul bezeichnet, zum Zusammenbau in einer lasttragenden, modularen Seestruktur, wobei das 3D-Modul als Körper gestaltet ist, der ein teilweise ausgeschnittenes Parallelepiped mit rechteckigen Seiten bildet, **dadurch gekennzeichnet**, dass das 3D-Modul (**10**) zumindest einen diagonalen Verstärkungsbalken (**30**), im Folgenden als RDB bezeichnet, umfasst, der entlang einer Diagonalen, im Folgenden als R-Diagonale bezeichnet, angeordnet ist, welche Eckpunkte, im Folgenden als R-Ecken bezeichnet, des Parallelepipeds verbindet, wobei der Körper plane Außenflächen aufweist, die Teile der rechteckigen Seiten bilden, wobei der RDB (**30**) Mittel für einen starren Zusammenbau mit einem RDB (**30**) eines anderen 3D-Moduls (**10**) aufweist, sodass mehrere 3D-Module entlang ihrer planen Außenflächen aneinander anstoßen können und ihre RDB (**30**) an den planen Außenflächen derart zusammengebaut sein können, dass sie ein starres 3D-Mehrtetraedergitterwerk in der Modularstruktur ausbilden, wodurch sich die Modularstruktur unter Belastung als Mehrtetraederstruktur verhält, und wobei zumindest zwei Ecken des Parallelepipeds, die keine R-Ecken sind, entlang einer Ausschnittfläche ausgeschnitten sind, und wobei vier Ecken des Parallelepipeds, die keine R-Ecken sind, entlang vier jeweiliger Ausschnittflächen ausgeschnitten und durch vier Tunnel miteinander verbunden sind, die in der Nähe der Mitte des Parallelepipeds in einer Tetrapodenform konvergieren.

2. 3D-Modul (10) nach Anspruch 1, wobei zumindest ein RDB (30) Verstärkungselemente enthält.

3. 3D-Modul (10) nach Anspruch 1, wobei der zumindest eine RDB (30) und die R-Diagonale auf einer Seite des Parallelepipeds angeordnet sind.

4. 3D-Modul (10) nach Anspruch 1, wobei das Parallelepiped ein Würfel ist.

5. 3D-Modul (10) nach Anspruch 1, wobei die Ausschnittflächen (SB, SD, SE, SG) und die Tunnel (TB, TD, TE, TG) derart geformt sind, dass Abschnitte der 3D-Module (10), die die RDB (30) aufnehmen, im Wesentlichen als Balken mit einheitlichem Querschnitt ausgebildet sind, die entlang der R-Diagonalen verlaufen.

6. 3D-Modul (10) nach Anspruch 1, wobei zumindest zwei der Ausschnittflächen und/oder der Außenflächen des Parallelepipeds des 3D-Moduls (10) durch einen Tunnel miteinander verbunden sind.

7. 3D-Modul (10) nach Anspruch 1, wobei die Ausschnittflächen (SB, SD, SE, SG) und die Tunnel (TB, TD, TE, TG) derart geformt sind, dass sie einen freien Durchgang für eine Säule vorsehen, die parallel zu einer Kante des Parallelepipeds verläuft.

8. 3D-Modul (10) nach Anspruch 1, wobei zumindest eine der Ausschnittflächen (SB, SD, SE, SG) eine plane Fläche ist.

9. 3D-Modul (10) nach Anspruch 1, wobei die zumindest eine Ausschnittfläche (SB, SD, SE, SG) eine elliptische oder sphärische Fläche ist, die an der jeweiligen Ausschnittecke zentriert ist.

10. 3D-Modul (10) nach Anspruch 3, wobei das Mittel zum Zusammenbau zumindest eine Aussparung (52) in zumindest einer der planen Außenflächen des Körpers an der Seiten-R-Diagonalen des Parallelepipeds umfasst, wobei die zumindest eine Aussparung (42, 52) derart angeordnet ist, dass sie mit einer entsprechenden Aussparung (42, 52) in einem anderen 3D-Modul (10) einen Hohlraum definiert, wenn die Module (10) benachbart zueinander angeordnet sind.

11. 3D-Modul (10) nach Anspruch 10, wobei die zumindest eine Aussparung (42, 52) ein Kanal an der Außenfläche ist, der entlang der Seiten-R-Diagonale verläuft.

12. 3D-Modul (10) nach Anspruch 10, wobei sich die zumindest eine Aussparung (42, 52) in einer der R-Ecken des Parallelepipeds befindet.

13. 3D-Modul (10) nach Anspruch 10, wobei der zumindest eine RDB Verstärkungselemente umfasst,

wobei Teile der Verstärkungselemente in der zumindest einen Aussparung (42, 52) freiliegen.

14. 3D-Modul (10) nach Anspruch 10, wobei die Aussparung (42, 52) mit einem peripheren Kanal zum Aufnehmen eines Dichtungselements zum Abdichten des Hohlraums ausgebildet ist.

15. 3D-Modul (10) nach Anspruch 1, umfassend ein geschlossenes, fluidundurchlässiges Hohlvolumen und Mittel, die das Füllen und Entleeren des Hohlvolumens mit/von einem Fluid ermöglichen.

16. 3D-Modul (10) nach Anspruch 1, wobei das 3D-Modul (10) aus vier Schalenelementen zusammengebaut ist, wobei jedes Schalenelement eine Wand von einem der Tunnel umfasst, wobei jeweils zwei Schalenelemente durch ihre Kanten entlang einer Seiten-R-Diagonale des Parallelepipeds und entlang einer Verbindung von Wänden von zwei jeweiligen Tunneln dicht verbunden sind.

17. 3D-Modul (10) nach Anspruch 3, umfassend einen ersten Satz von sechs RDB, die entlang von sechs Seitendiagonalen, im Folgenden als RT-Diagonalen bezeichnet, verlaufen und vier nicht benachbarte Ecken, im Folgenden als RT-Ecken bezeichnet, des Parallelepipeds verbinden, wobei die RDB ein Tetraeder ausbilden, sodass sich das 3D-Modul (10) unter Belastung, die an jeglicher der RT-Ecken ausgeübt ist, im Wesentlichen wie ein Tetraeder verhält, das aus sechs Stäben gebaut ist, welche an vier Eckpunkten verbunden sind.

18. 3D-Modul (10) nach Anspruch 17, ferner umfassend einen zweiten Satz von sechs RDB, die entlang von sechs Seitendiagonalen, im Folgenden als R2-Diagonalen bezeichnet, des Parallelepipeds verlaufen, welche sich von den R1-Diagonalen unterscheiden, und vier nicht benachbarte Ecken, im Folgenden als R2-Ecken bezeichnet, verbinden und ein zweites Tetraeder ausbilden, sodass sich das 3D-Modul unter Belastung, die an jeglicher der R2-Ecken ausgeübt ist, im Wesentlichen wie ein Tetraeder verhält, das aus sechs Stäben gebaut ist, welche an vier Eckpunkten verbunden sind.

19. 3D-Modul (10) nach Anspruch 18, wobei ein Abschnitt des Parallelepipeds, der zumindest einer der Kanten des Parallelepipeds benachbart ist, entlang einer Ausschnittfläche ausgeschnitten ist.

20. 3D-Modul (1) nach Anspruch 18, wobei zwei bis zwölf Tunnel aus dem Parallelepiped ausgeschnitten sind, wobei jeder Tunnel an einer der Kanten des Parallelepipeds beginnt, wobei alle Tunnel in der Nähe der Mitte des Parallelepipeds konvergieren.

21. 3D-Modul (10) nach Anspruch 20, wobei die Tunnel derart geformt sind, dass Abschnitte des

3D-Moduls (**10**), die die RDB aufnehmen, im Wesentlichen als Balken mit einheitlichem Querschnitt ausgebildet sind, welche entlang der R1-Diagonalen und der R2-Diagonalen verlaufen.

22. 3D-Modul (**10**) nach Anspruch 18, zusammengebaut aus Modulelementen, wobei zumindest eines der Modulelemente einen RDB entlang einer R1-Diagonale und einen RDB entlang einer R2-Diagonalen umfasst, sodass das 3D-Modul (**10**) aus sechs derartigen Modulelementen zusammengebaut sein kann, die Seite an Seite zu dem Parallelepiped angeordnet sind.

23. 3D-Modul (**10**) nach Anspruch 18, ferner umfassend einen dritten Satz von zwölf RDB, die entlang von zwölf Diagonalen, im Folgenden als R3-Diagonale bezeichnet, verlaufen und Schnittpunkte der R1-Diagonalen und der R2-Diagonalen verbinden und ein Oktaeder ausbilden, sodass sich das 3D-Modul (**10**) unter Belastung im Wesentlichen wie eine Mehrtetraederstruktur verhält, die aus acht Tetraedern gebaut ist, welche um ein Oktaeder angeordnet sind.

24. 3D-Modul (**10**) nach Anspruch 23, zusammengebaut aus Modulelementen (**10**), wobei zumindest eines der Modulelemente (**10**) einen RDB entlang einer R3-Diagonale, Teile von zwei RDB entlang zweier R1-Diagonalen und Teile von zwei RDB entlang zweier R2-Diagonalen umfasst.

25. 3D-Modul (**10**) nach Anspruch 23, zusammengebaut aus Modulelementen, wobei zumindest eines der Modulelemente einen Teil von einem RDB entlang einer R3-Diagonale und Teile von zwei RDB entlang zweier R1-Diagonalen umfasst.

26. Strukturschalenelement (**20**) zum Zusammenbauen eines 3D-Moduls (**10**) nach Anspruch 1, wobei das 3D-Modul (**10**) vier R-Ecken aufweist, die durch sechs RDB in einer Tetraedergestaltung verbunden sind, und vier Ecken des Parallelepipeds, die keine R-Ecken sind und entlang von vier jeweiligen Ausschnittflächen ausgeschnitten und durch vier Tunnel, die in der Nähe der Mitte des Parallelepipeds in einer Tetrapodenform konvergieren, miteinander verbunden sind, aufweist, wobei das Schalenelement eine im Allgemeinen dreieckige Form mit Kanten aufweist, die Teile der RDB enthalten, umfassend eine Wand eines der Tunnel und drei im Allgemeinen plane Wände, die die planen Außenflächen des 3D-Moduls (**10**) ausbilden, sodass zwei der Schalenelemente durch ihre Kanten entlang einer Seiten-R-Diagonale des Parallelepipeds und entlang einer Verbindung von Wänden ihrer Tunnel verbunden sein können und vier derartige Schalenelemente zum Ausbilden des 3D-Moduls (**10**) zusammengebaut sein können.

27. Verfahren zum Erzeugung des 3D-Strukturmoduls (**10**) nach Anspruch 1 aus den dreieckigen Schalenelementen (**20**) von Anspruch 28, das Verfahren umfassend:

- a) Gießen von vier Schalenelementen (**20**) in vier jeweiligen Schalengussformen;
- b) Anordnen von drei der Gussformen um die vierte Gussform, wobei Kanten der dreieckigen Schalenelemente (**20**), die die RDB enthalten, einander benachbart sind, und Kuppeln von entsprechenden Kanten der drei Gussformen an benachbarte Kanten der vierten Gussform mithilfe von Drehgelenken;
- c) Zusammenbauen einer 3D-Tetraederstruktur durch Anheben der drei Gussformen und Drehen derselben um die Drehgelenke; und
- d) Binden von Verbindungen zwischen den Kanten der Schalenelemente (**20**) entlang der Seiten-R1-Diagonalen und Binden der Verbindungen zwischen den Wänden der Tunnel, um nach seinem Auslösen aus den Formen das 3D-Strukturmodul (**10**) zu erhalten.

28. Verfahren zur Erzeugung des 3D-Strukturmoduls (**10**) nach Anspruch 27, wobei der Schritt a) durch vorheriges Gießen von drei planen Wänden für jedes Schalenelement (**20**) und anschließendes Platzieren der planen Wände in den vier Schalengussformen durchgeführt wird.

29. Verfahren zur Erzeugung des 3D-Strukturmoduls (**10**) nach Anspruch 27, wobei das 3D-Modul (**10**) ein geschlossenes, fluidundurchlässiges Hohlvolumen, das zwischen den Schalenelementen ausgebildet ist, und Mittel umfasst, die das Füllen und Entleeren des Hohlvolumens mit/von einem Fluid ermöglichen, wobei die Schritte a) bis d) unter Benutzung von schwimmenden Gussformen durchgeführt werden, die bis zu einem zusätzlichen Schritt des Beschwerens mit Ballast, Ausbalancierens und Lösens des 3D-Moduls (**10**) aus den schwimmenden Gussformen mit dem 3D-Modul (**10**) zusammengehalten werden.

Es folgen 12 Blatt Zeichnungen

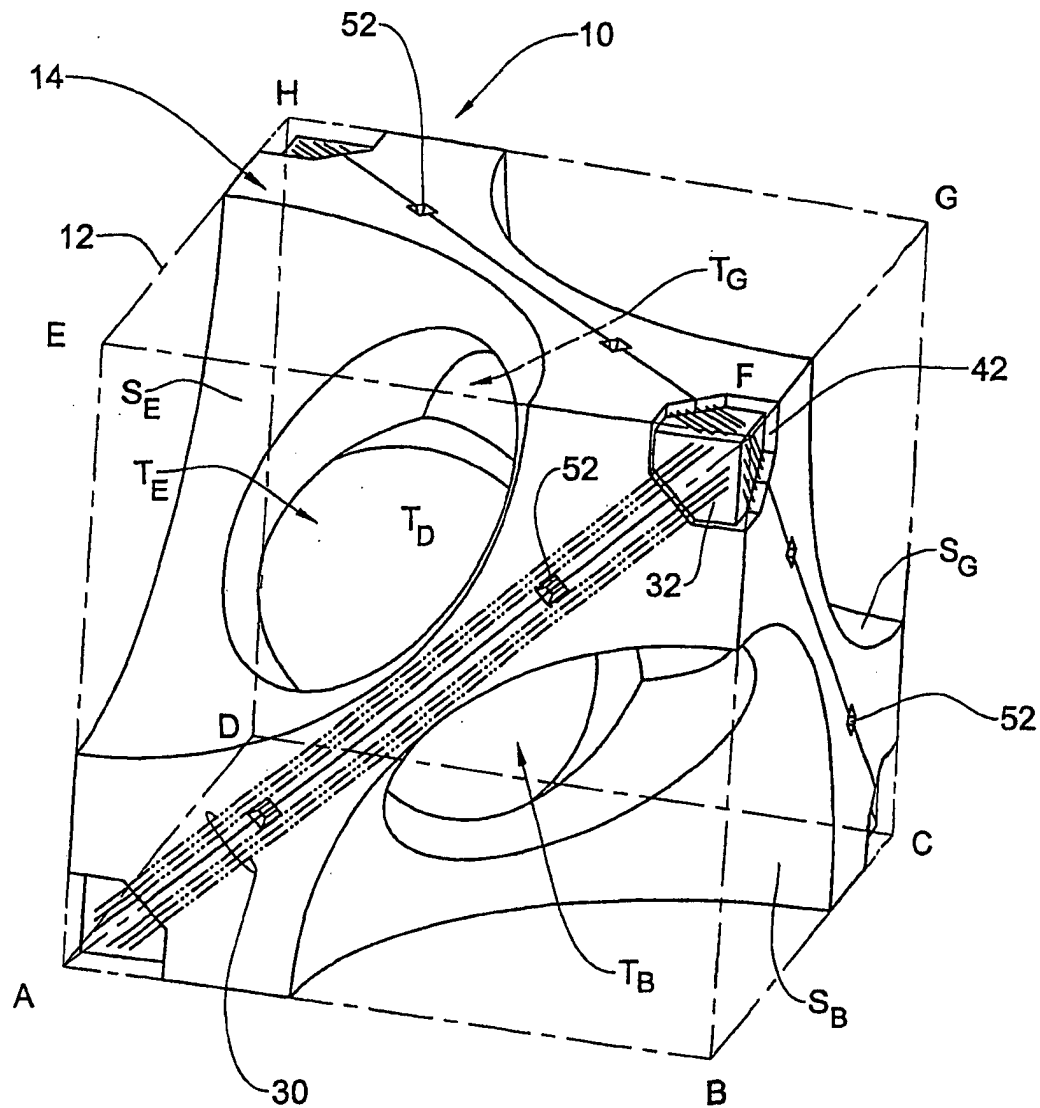


FIG. 1

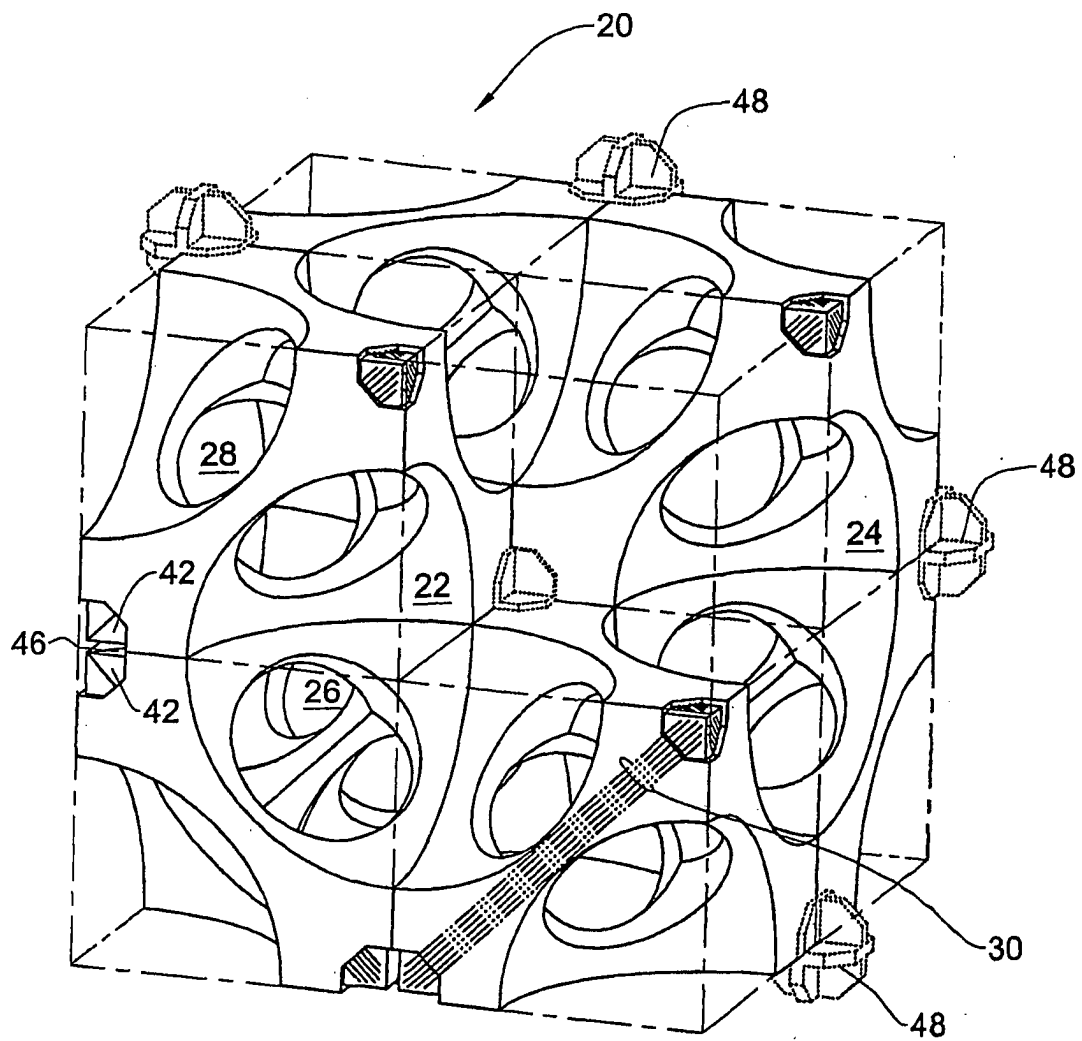


FIG. 2

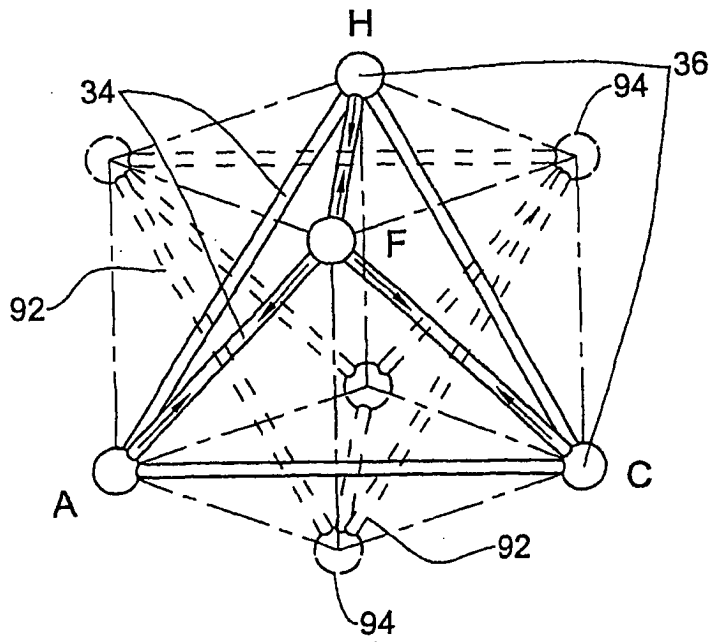


FIG. 3

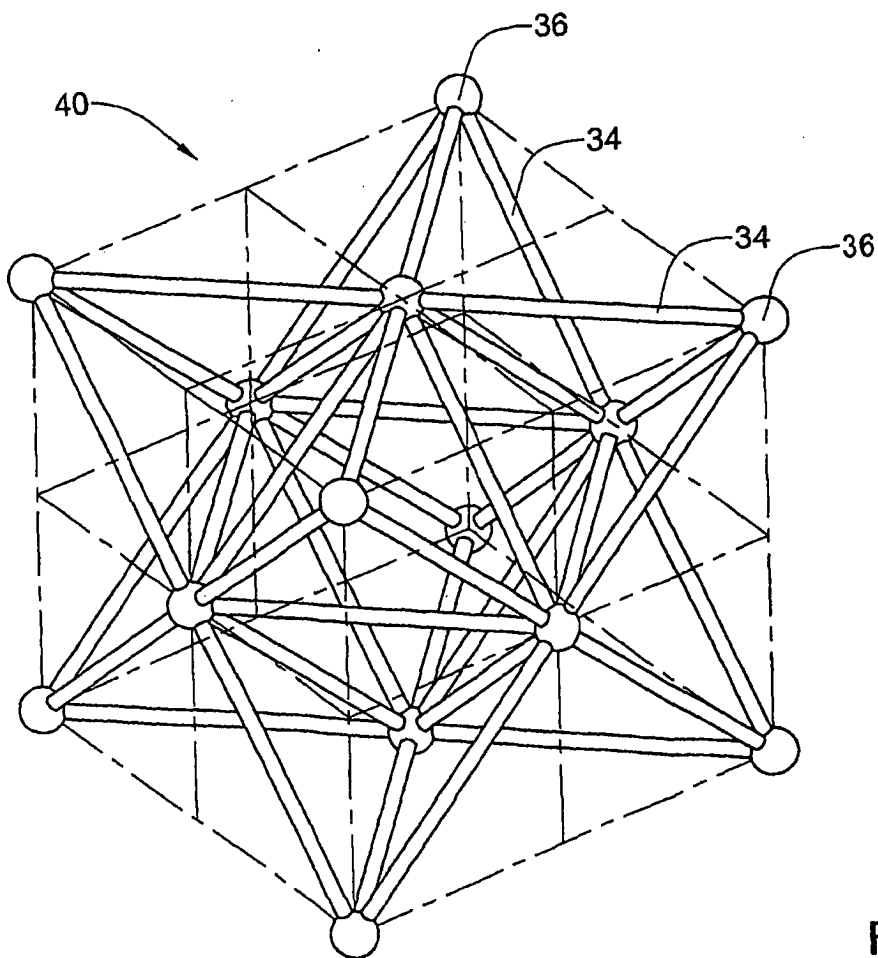


FIG. 4

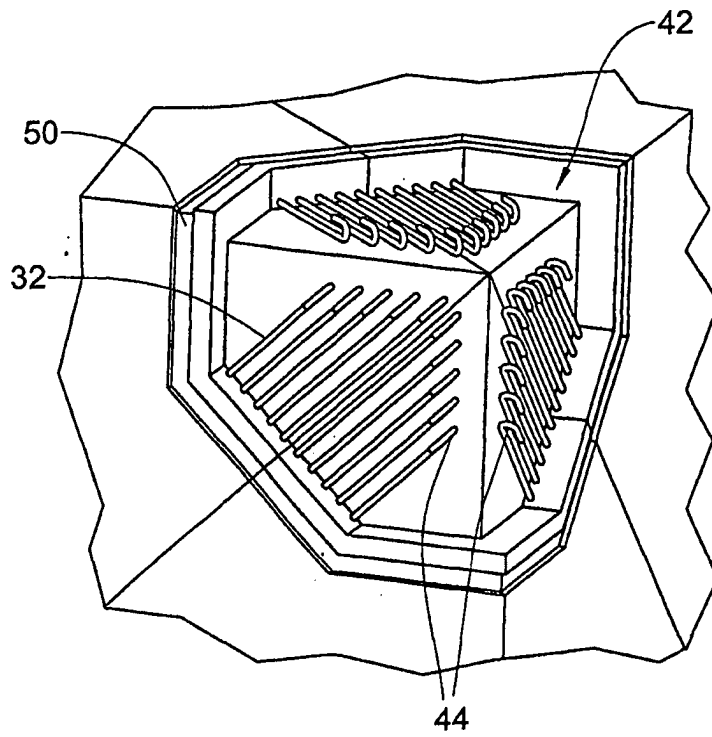


FIG. 5

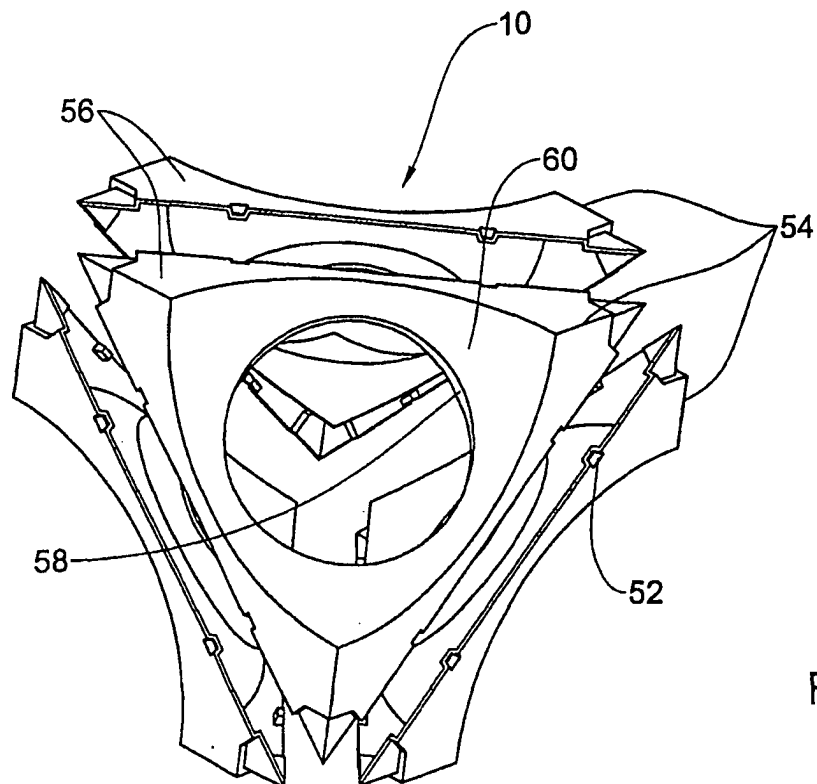


FIG. 6

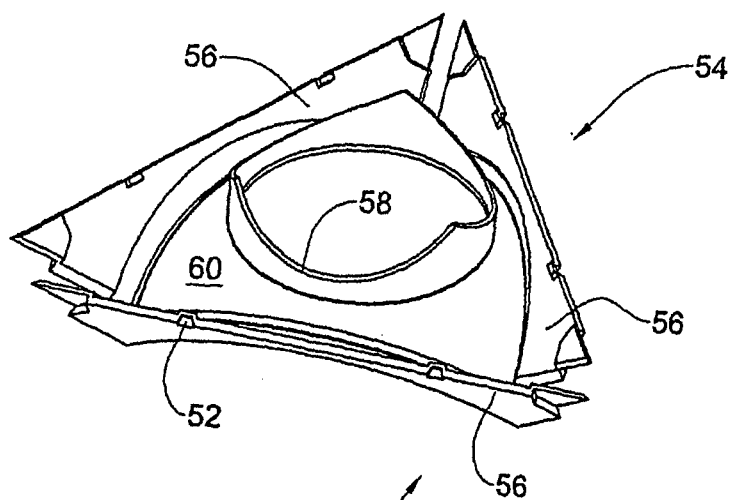


FIG. 7

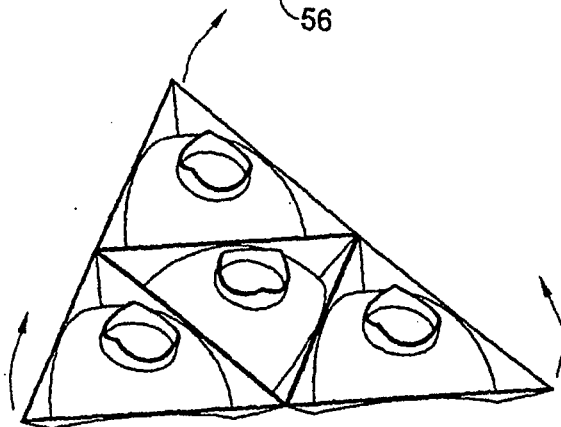


FIG. 8A

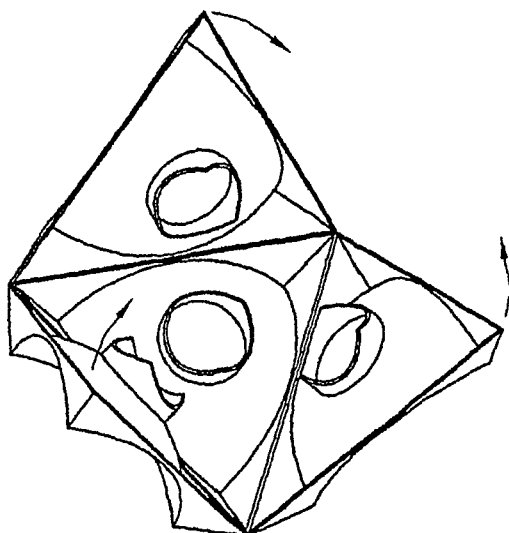


FIG. 8B

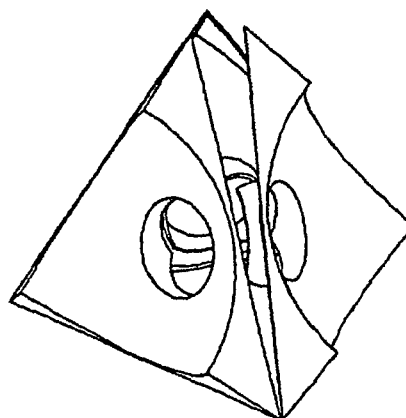


FIG. 8C

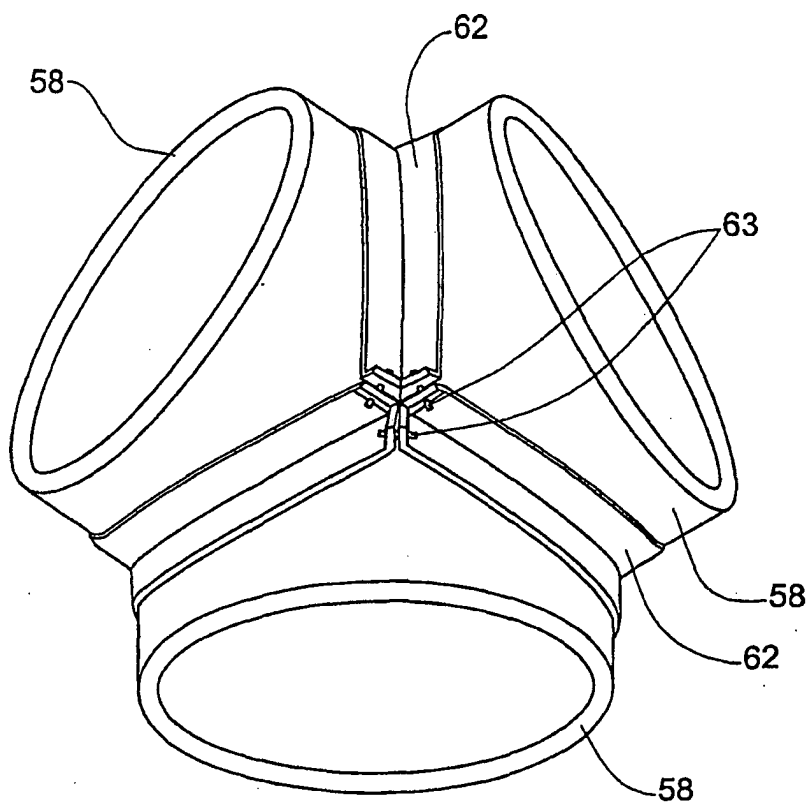


FIG. 9

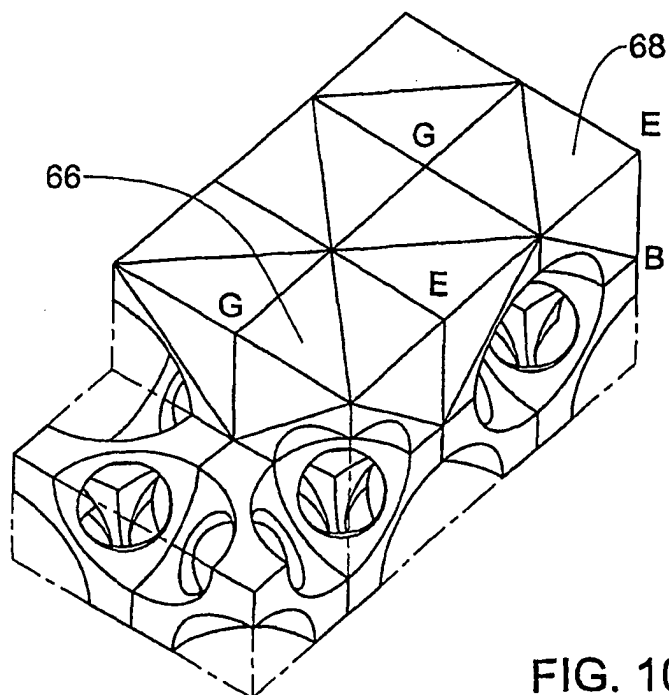


FIG. 10

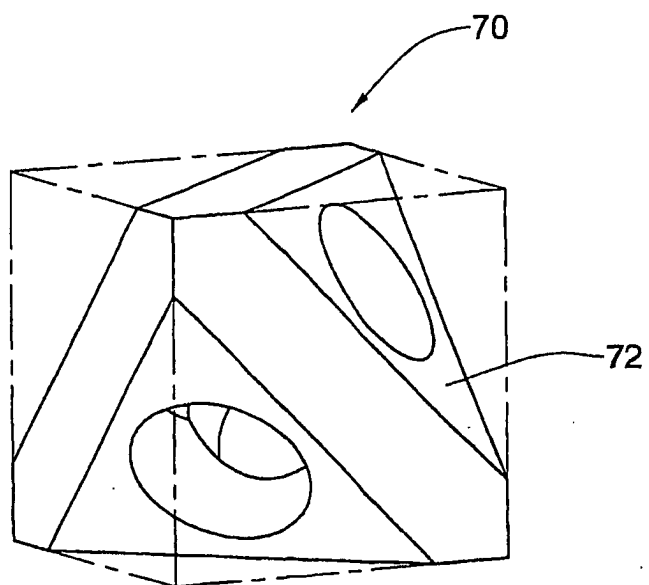


FIG. 11

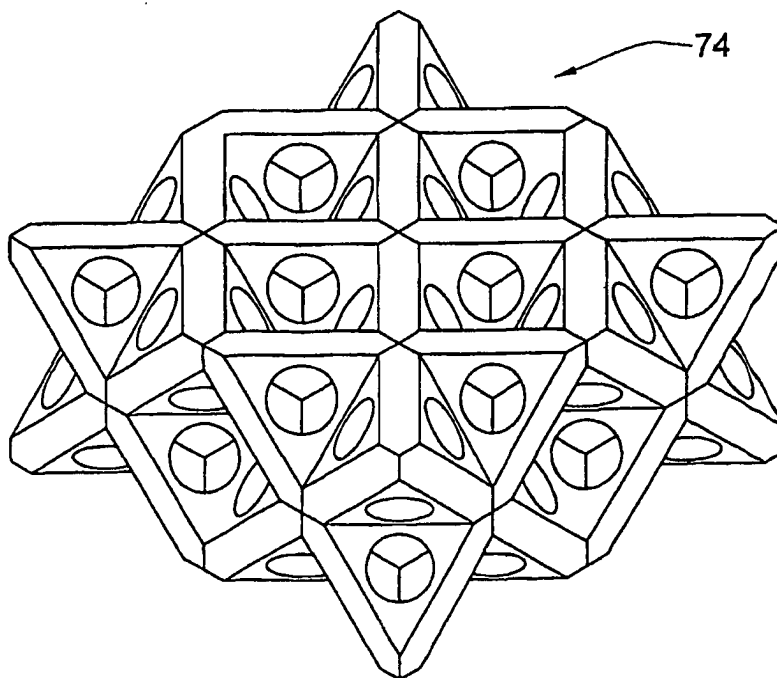


FIG. 12

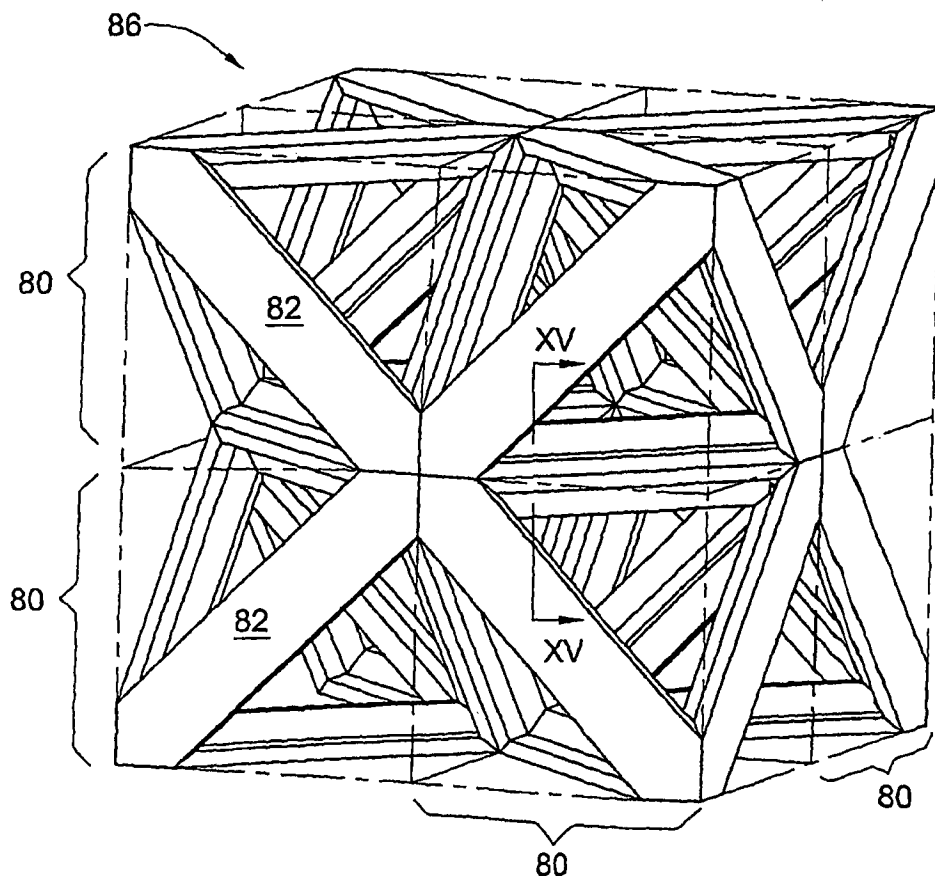
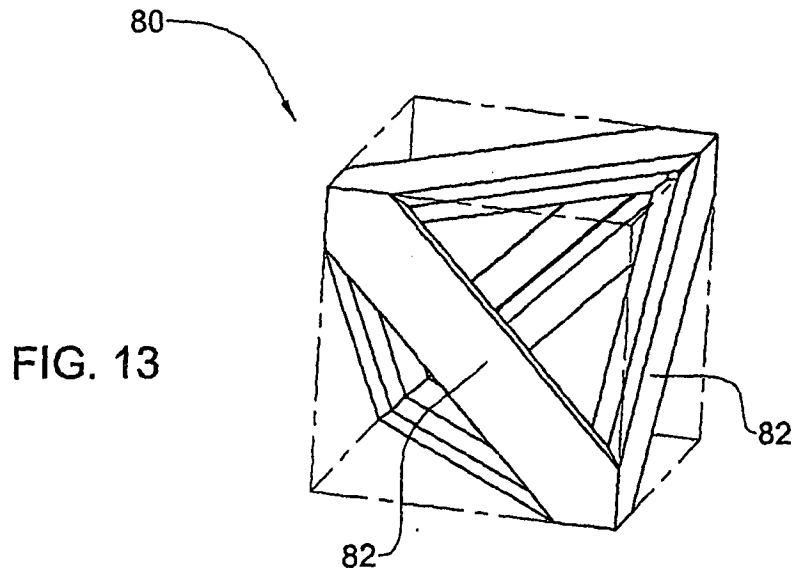




FIG. 15A



FIG. 15B

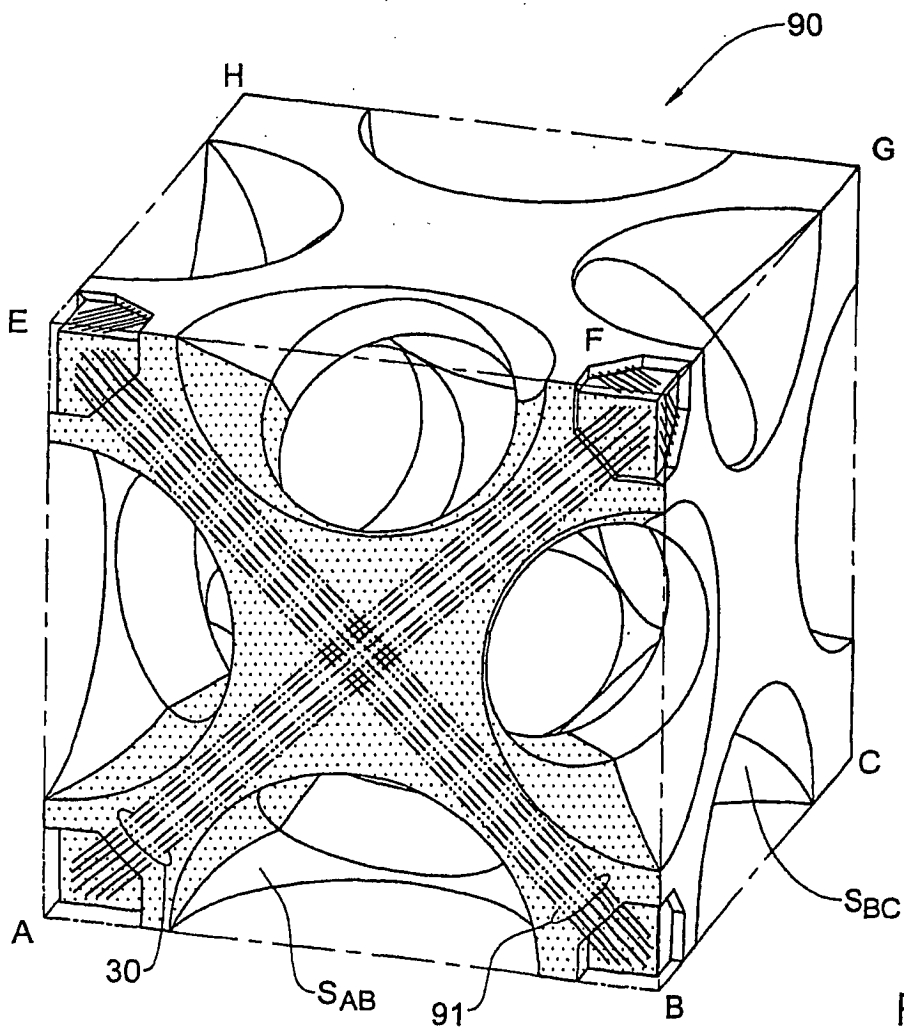


FIG. 16

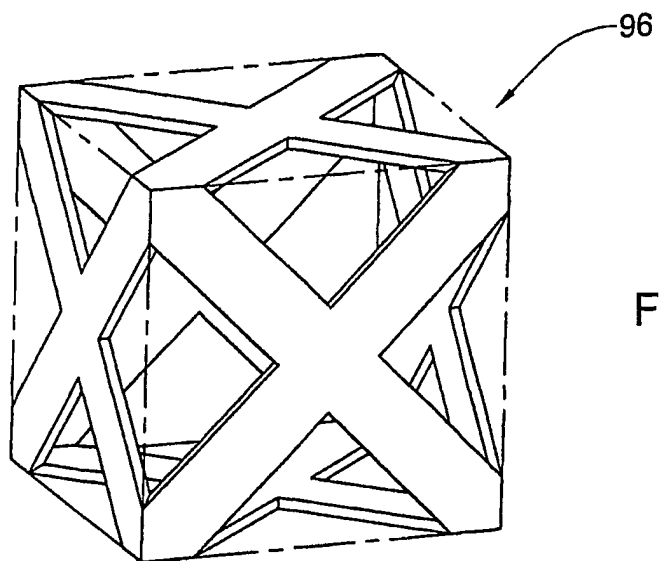


FIG. 17

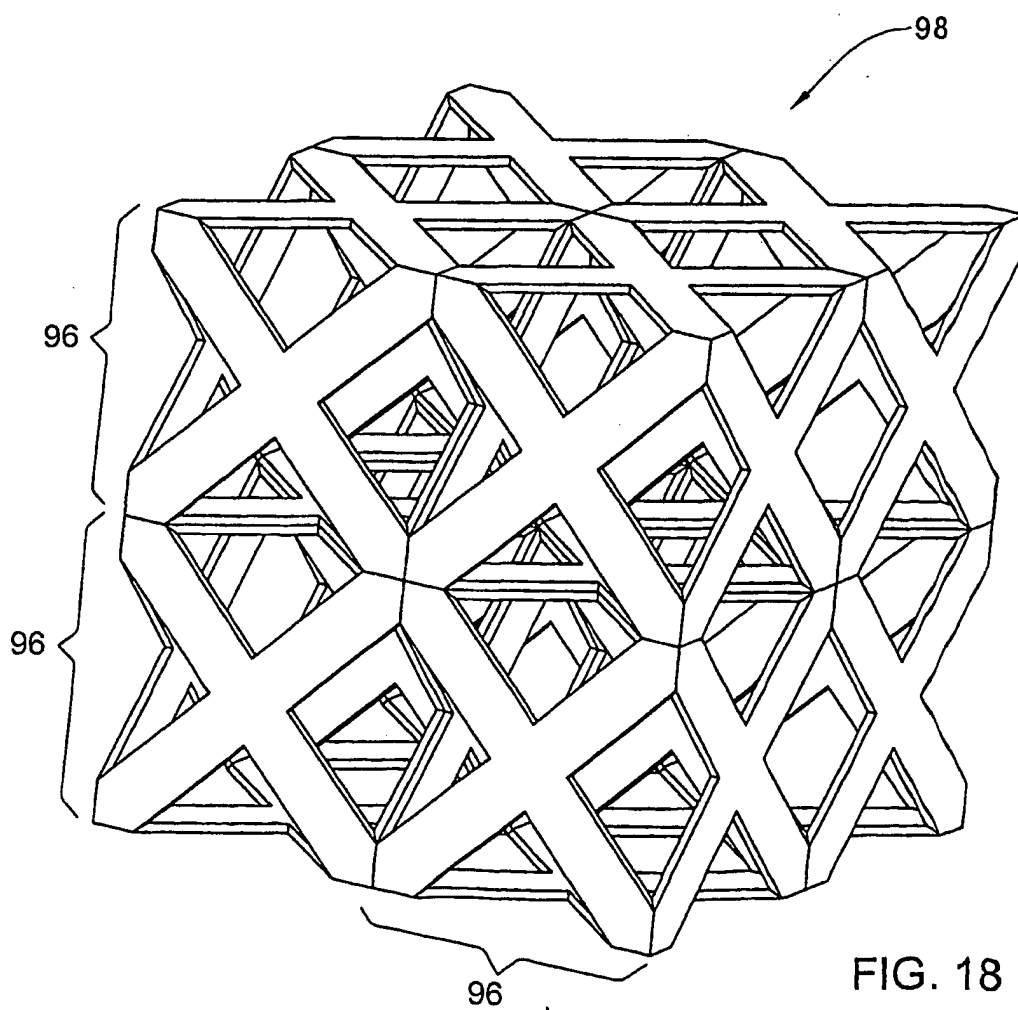


FIG. 18

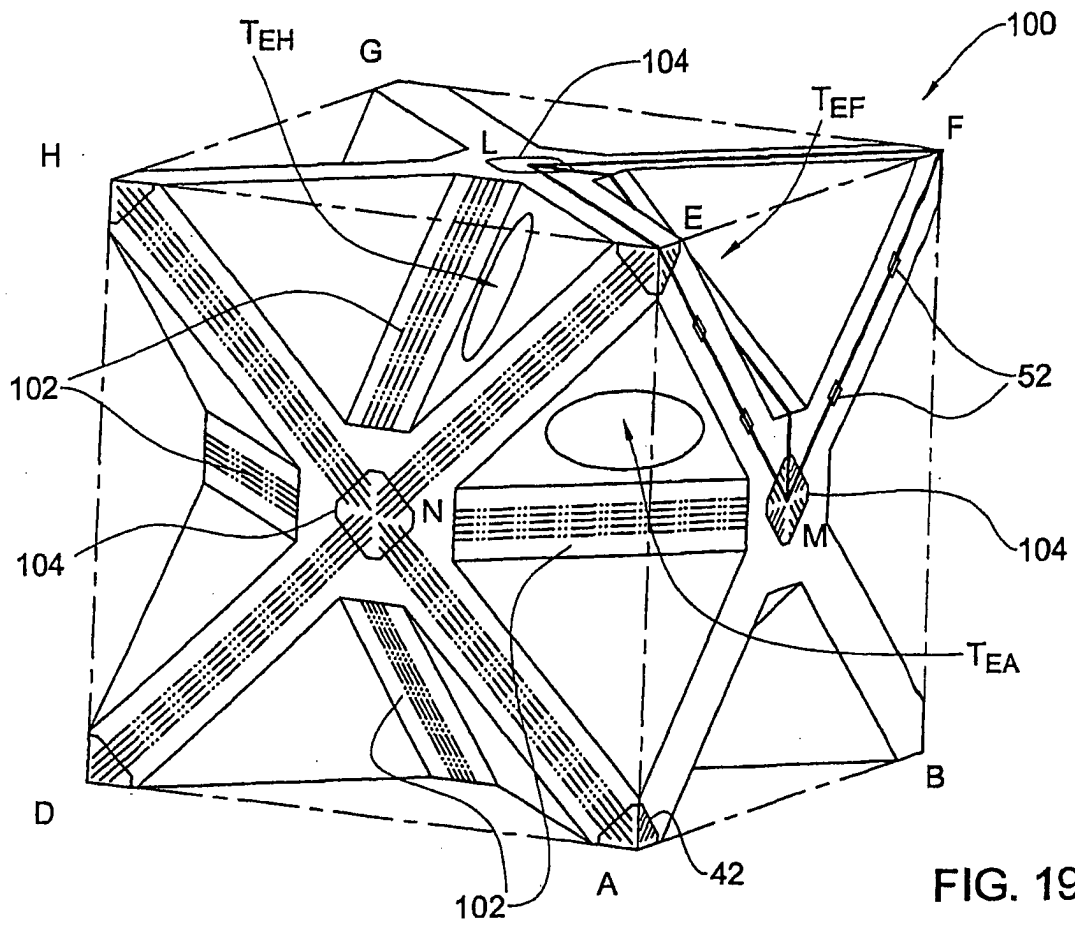


FIG. 19

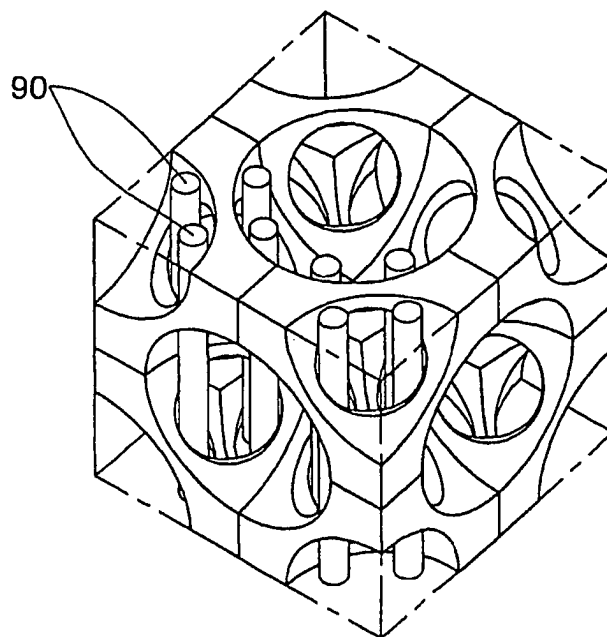


FIG. 20

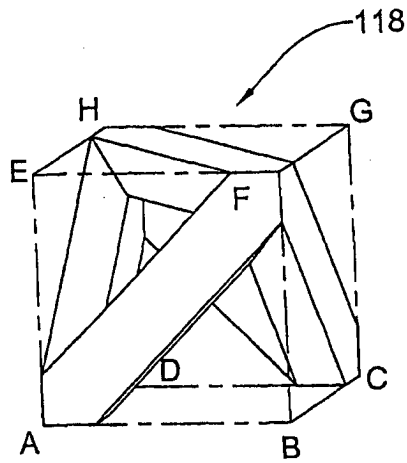


FIG. 22

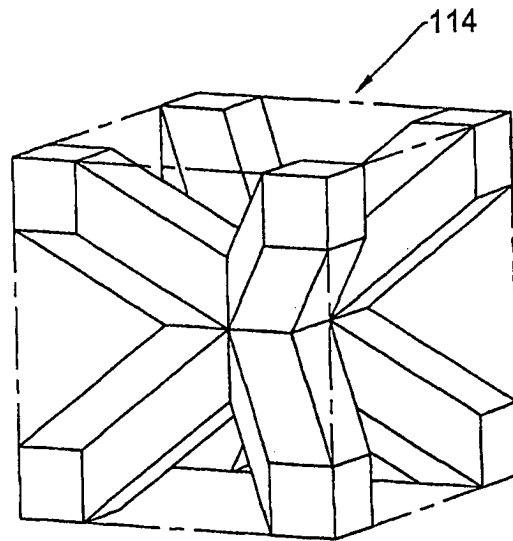


FIG. 21

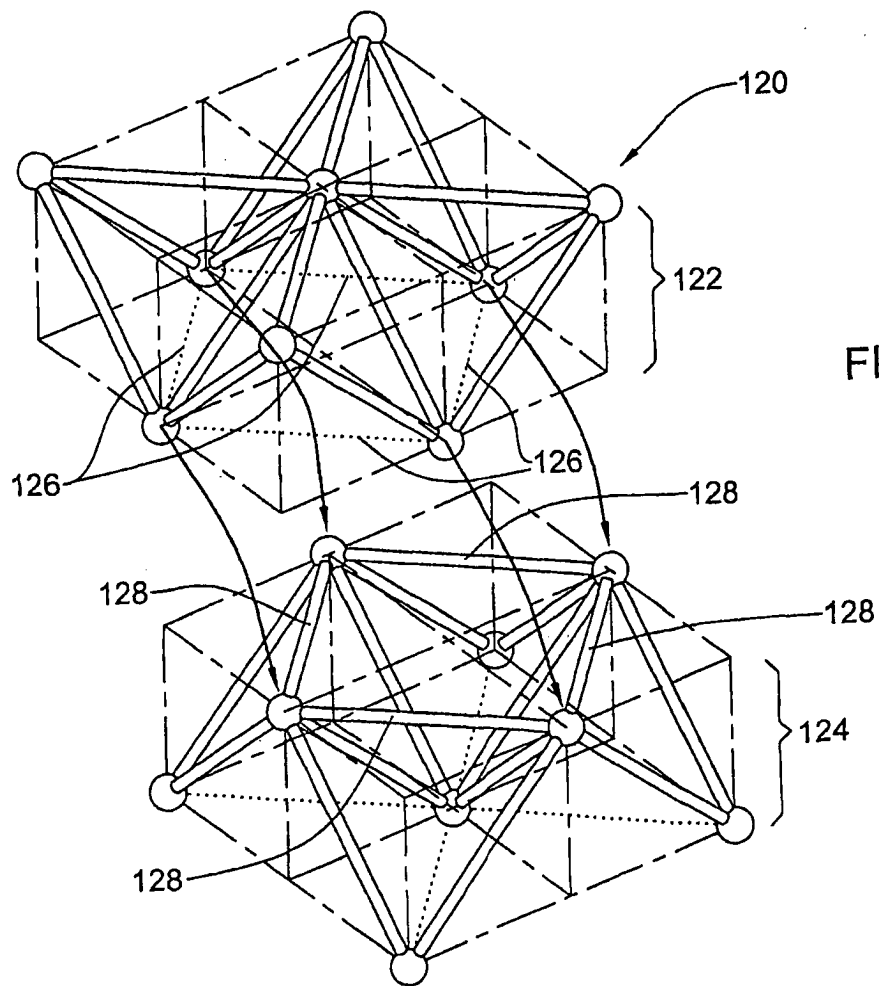


FIG. 23