



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 603 10 431 T2 2007.10.11**

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 1 550 085 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **603 10 431.2**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/DK03/00674**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **03 750 398.4**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2004/034333**

(86) PCT-Anmeldetag: **09.10.2003**

(87) Veröffentlichungstag  
der PCT-Anmeldung: **22.04.2004**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **06.07.2005**

(97) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung beim EPA: **13.12.2006**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **11.10.2007**

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: **G06T 17/10 (2006.01)**

**A63H 33/04 (2006.01)**

**G05B 19/4099 (2006.01)**

(30) Unionspriorität:

**200201549 11.10.2002 DK**

**421034 P 24.10.2002 US**

(73) Patentinhaber:

**Lego A/S, Billund, DK**

(74) Vertreter:

**Eisenführ, Speiser & Partner, 20457 Hamburg**

(84) Benannte Vertragsstaaten:

**AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB,  
GR, HU, IE, IT, LI, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK,  
TR**

(72) Erfinder:

**TIMCENKO, Olga, DK-7190 Billund, DK**

(54) Bezeichnung: **VERFAHREN ZUM ERZEUGEN EINES COMPUTERLESBAREN MODELLES**

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 das Gebiet von computergestützter Modellierung einer virtuellen Realität mittels vorbestimmter geometrischer Elemente.

## HINTERGRUND DER ERFINDUNG

**[0002]** Computergestützte Modellierung einer virtuellen Realität stellt die Aufgabe der Erzeugung eines Modells eines geometrischen Objekts, Interpretieren des Modells, Manipulieren des Modells, und auf andere Weise Handhaben eines Modells eines geometrischen Objekts in einem Computersystem dar.

**[0003]** Unter einem ersten Gesichtspunkt betrachtet, stellt die Modellierung einer virtuellen Realität ein interessantes Thema darin dar, dass sie Visualisieren von Ideen ermöglicht, bevor diese tatsächlich in der realen Welt umgesetzt werden. Wenn das Modell einer virtuellen Realität ausreichend einfach zu modifizieren ist, kann viel Zeit bei dem Prozess der Entwicklung und Verfeinerung eines geometrischen Objekts verglichen mit einer Situation eingespart werden, in der der gleiche Prozess in der realen Welt ausgeführt werden sollte. Eine einfache Aufgabe des Malens eines Objekts in der realen Welt würde leicht mehrere Stunden dauern, wohingegen der Computer eine neue Farbe zum Sichtbarmachen eines Modells innerhalb von Millisekunden oder Sekunden aufbringen kann.

**[0004]** Unter einem zweiten Gesichtspunkt betrachtet, ist Modellierung einer virtuellen Realität interessant darin, dass sie ermöglicht, ein Modell eines Objekts zu erzeugen, das in der realen Welt existiert, und über einen Computer das Modell sichtbar zu machen und in irgendeinem Sinne zu gestalten. Somit kann das Modell des Objekts in der realen Welt zu verschiedenen Zwecken gespeichert werden, z. B. zu komplexen Dokumentationszwecken.

**[0005]** Obwohl es ein großes Ausmaß möglicher Anwendungen für computergestützte Modellierung einer virtuellen Realität gibt, besteht eine besondere Anwendung in dem Gebrauch der Modellierung virtueller Realität zur Unterhaltung oder Ausbildung.

**[0006]** Verschiedene Typen von Modellierungskonzepten physikalischer Spielzeugbausätze sind an sich bekannt. Insbesondere waren und sind Konzepte, die modulare oder halb-modulare Konzepte verwenden, sehr beliebt. Typischerweise liefern diese Konzepte eines Satz vorgefertigter Elemente, die miteinander in irgendeiner vorbestimmten Weise gemäß den Modulen der vorgefertigten Elemente verbunden werden können. Die vorgefertigten Elemente ähneln gut bekannten Objekten, die für eine bestimmte Modellieraufgabe angepasst sind. Somit können die Elemente z. B. beim Bauen eines Modells eines Hauses Mauersteinen, Dachziegeln, Türen und Fenstern ähneln. Die Aufgabe der Auswahl der Elemente auf diese Weise besteht darin, dass die mit dem Bauen eines Modells eines Hauses verknüpfte Arbeit verglichen mit einer Situation beträchtlich reduziert wird, in der alle Details des Hauses jedes Mal definiert werden müssen, wenn ein neues Modell angefertigt werden soll. Die vollständige Freiheit beim Bauen eines Hauses oder anderen Objekts wird jedoch gegen die Einfachheit getauscht, das Modell zu bauen.

**[0007]** Dieser Ansatz, vordefinierte Elemente zu haben, ist im technischen Gebiet von computergestützter Modellierung virtueller Realität gut bekannt. Ferner ist das Konzept, modulare Elemente zu haben, die miteinander verbunden werden können, gut bekannt. Wenn es jedoch um die Darstellung solcher Modelle in einem Computer geht, wird die Nützlichkeit des Konzepts, vordefinierte Elemente und modulare Systeme zu haben, im Stand der Technik nicht vollständig erreicht.

**[0008]** Das Dokument WO-A-004359 stellt ein System zum Erzeugen eines computerlesbaren Modells eines geometrischen Objekts dar, das aus einer Mehrzahl miteinander verbindbarer Bauelemente aufgebaut wird.

**[0009]** Solange Computer für computergestützten Entwurf und Modellierung verwendet wurden, bestand eine Aufgabe, die einen großen Berechnungsaufwand erforderte, in der Sichtbarmachung und Gestaltung eines Modells, einschließlich der Berechnung, wie das Modell erscheinen sollte. Einer der Gründe hierfür ist, dass die Komplexität und Verfeinerungen der Modelle virtueller Realität erweitert worden sind, um der immer neuen erhältlichen Computertechnik und Rechenleistung zu folgen.

**[0010]** Wenn es um Übertragung und Austausch von ein Modell darstellenden Daten geht, erscheinen die

Nachteile der Komplexität und Verfeinerungen der Modelle virtueller Realität sehr deutlich. Nun wird irgendein Typ einer externen Einheit in Form einer Speichereinheit oder eines Computerkommunikationsnetzes an den Computer angeschlossen und erweitert somit den Signalweg für Speichern, Laden und/oder Senden, Empfangen eines Modells. Typischerweise haben solche Signalpfade eine relativ niedrige Bandbreite verglichen mit den Signalpfaden innerhalb eines einzelnen Computers. Daher wird ein effizientes Schema zum Darstellen eines Modells benötigt.

**[0011]** Insbesondere im Zusammenhang mit dem Erzeugen eines Modell von vorbestimmten Elementen oder Bauelementen, die miteinander über Verbindungselemente, wie zum Beispiel Verbinder und entsprechende Rezeptoren verbunden werden können, entsteht ein allgemeines Problem der Bestimmung, ob zwei virtuelle Bauelemente verbindbar sind oder nicht, wenn sie in einer bestimmten Position in Bezug zueinander platziert werden. Verbindungsfähigkeitsinformationen sind wichtige Informationen zum Erzeugen realistischer Modelle physikalischer Objekte, zum Beispiel zum Sicherstellen, dass ein virtuelles Modell kein Element aufweist, das über einer Oberfläche schwebt, ohne mit einem tragenden Teil des modellierten Objekts verbunden zu sein.

**[0012]** In den meisten Bausätzen der realen Welt existiert eine große Vielzahl verschiedener Bauelemente, die auf viele verschiedene Arten miteinander verbunden werden können.

**[0013]** Folglich ist es eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren zum Erzeugen eines computerlesbaren Modells eines geometrischen Objekts zu schaffen, bei dem eine Vielzahl verschiedener Bauelemente miteinander verbunden werden kann.

**[0014]** Es ist eine weitere Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren zum Erzeugen eines computerlesbaren Modells eines geometrischen Objekts zu schaffen, bei dem die Bauelemente miteinander in einer Vielzahl möglicher Arten verbunden werden können.

#### ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

**[0015]** Die obigen und andere Probleme werden durch ein Verfahren zum Erzeugen eines computerlesbaren Modells eines geometrischen Objekts gelöst, das aus einer Mehrzahl miteinander verbindbarer Bauelemente aufgebaut ist, wobei jedes Bauelement eine Anzahl von Verbindungselementen zum Verbinden des Bauelements mit einem anderen Bauelement aufweist, wobei das Verfahren umfasst:

Codieren eines ersten und eines zweiten der Mehrzahl von Bauelementen als entsprechende erste und zweite Datenstrukturen, die jeweils die Verbindungselemente des entsprechenden Bauelements darstellen, und wobei mit jedem der Verbindungselemente einer einer Mehrzahl vorbestimmter Verbindungstypen verknüpft ist; Bestimmen eines ersten Verbindungselements des ersten Bauelements und eines zweiten Verbindungselements des zweiten Bauelements, die in einer vorbestimmten Nähe zueinander angeordnet sind; und Abrufen von Verbindungsfähigkeitsinformationen der entsprechenden Verbindungstypen des ersten und zweiten Verbindungselements, die anzeigen, ob das erste und zweite Verbindungselement eine Verbindung zwischen dem ersten zweiten Bauelement bereitstellen.

**[0016]** Es ist ein Vorteil der Erfindung, dass sie eine Modellstruktur und eine Darstellung der Modellstruktur liefert, die zweckdienlich zum Darstellen von Objekten ist, welche aus modularen Spielzeugbauelementen oder Elementen bestehen.

**[0017]** Es ist ein weiterer Vorteil der Erfindung, dass sie ein Verfahren zum Modellieren von Verbindungen einer großen Vielzahl von Bauelementen schafft.

**[0018]** Es ist noch ein weiterer Vorteil der Erfindung, dass sie ein Verfahren zum Modellieren einer großen Vielzahl verschiedener Verbindungselemente schafft, wie zum Beispiel verschiedene Typen von Noppen, Löchern, Rohren, Gelenken, Kanten, Achsen, etc. Durch Bereitstellen einer Mehrzahl von Verbindungselementen mit Verbindungstypen wird eine Darstellung der Verbindungseigenschaften eines Bauelements geliefert, die unabhängig von der genauen geometrischen Form der tatsächlichen Verbinder ist.

**[0019]** Insbesondere ist es ein Vorteil, dass ein Verfahren zum Modellieren von Verbindungen einer großen Vielzahl verschiedener Verbindungselemente geschaffen wird, das unabhängig von dem Aussehen der physikalischen Verbindungselemente und ihrer Konfiguration ist.

**[0020]** Folglich kann ein großer Satz verschiedener vordefinierter Bauelemente, die verschiedene Typen von Verbindungselementen einschließen, modelliert werden.

**[0021]** Der Ausdruck Bauelement umfasst einen jeglichen geeigneten Typ von Bauelement mit Verbindungselementen zum Verbinden desselben mit einem oder mehreren anderen Bauelementen, das zum Erzeugen physikalischer Objekte verwendet werden kann, und das digital auf einem Computer dargestellt werden kann. Beispiele von Bauelementen schließen Elemente eines Spielbausatzes, z. B. Baublöcke so wie Bausteine, etc. ein. Der Ausdruck Bauelement umfasst ferner Aggregate miteinander verbundener kleinerer Bauelemente, z. B. zwei oder mehr miteinander verbundener Bausteine.

**[0022]** In einer Ausführungsform sind die Verbindungstypen zu einer Anzahl von Verbindungsgruppen gruppiert, z. B. Verbinder, Rezeptoren, und Mischelemente. Verbinder sind Verbindungselemente, die durch einen Rezeptor eines anderen Bauelements aufgenommen werden können, wodurch eine Verbindung zwischen den Bauelementen geschaffen wird. Zum Beispiel kann ein Verbinder zwischen Teile eines anderen Elements, in ein Loch, oder dergleichen passen. Rezeptoren sind Verbindungselemente, die einen Verbinder oder andere Bauelemente aufnehmen können. Mischelemente sind Teile, die sowohl als ein Rezeptor als auch ein Verbinder wirken können, typischerweise abhängig von dem Typ des zusammenwirkenden Verbindungselements des anderen Bauelements.

**[0023]** Es ist noch ein weiterer Vorteil der Erfindung, dass sie ein Verfahren zum Modellieren von Verbindungen entlang verschiedener Oberflächen oder Ebenen schafft, die gegeneinander verdreht werden können.

**[0024]** Es ist noch ein weiterer Vorteil der Erfindung, dass sie eine kompakte Darstellung eines Modells eines geometrischen Objekts schafft, die Modellieren komplexer Objekte ermöglicht, welche bewegliche Teile und/oder Teile aufweisen, die rotieren können.

**[0025]** Es ist noch ein weiterer Vorteil der Erfindung, dass sie eine kompakte Darstellung eines Modells eines geometrischen Objekts liefert.

**[0026]** Es ist noch ein weiterer Vorteil der Erfindung, dass sie eine Modellstruktur und eine Darstellung der Modellstruktur liefert, die sehr schnell erzeugt und interpretiert werden kann.

**[0027]** Es ist noch ein weiterer Vorteil der Erfindung, dass sie eine Darstellung einer Modellstruktur schafft, die geeignet ist, über ein Computernetzwerk verteilt zu werden, im Sinne relativ niedriger Bandbreitenanforderung und niedriger Verarbeitungszeit, wenn das Modell Sichtbarmachung unterzogen wird, erzeugt oder manipuliert wird.

**[0028]** In einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung weist das Verfahren ferner auf, eine Verbindungstabelle zu liefern, die Verbindungsfähigkeitsinformationen von Paaren der Verbindungstypen enthält; und weist der Schritt zum Abrufen von Verbindungsfähigkeitsinformationen auf, die Verbindungsfähigkeitsinformationen aus der Verbindungstabelle abzurufen.

**[0029]** Der Ausdruck Verbindungstabelle soll eine jegliche geeignete Datenstruktur zum Speichern von Verbindungsfähigkeitsinformationen für Paare von Verbindungstypen umfassen. Zum Beispiel kann eine solche Datenstruktur eine Nachschlagetabelle sein, die durch Paare von Verbindungstypen indexiert ist.

**[0030]** Durch Bereitstellen einer Verbindungstabelle wird eine effiziente und erweiterbare Datenstruktur zum Speichern von Verbindungsfähigkeitsinformationen bezüglich Paaren von Verbindungstypen geliefert. Außerdem wird schnelle Verbindungsfähigkeitsermittlung ermöglicht.

**[0031]** In einer anderen bevorzugten Ausführungsform der Erfindung stellt jede der jeweiligen Datenstrukturen weiter eine Anzahl von Gittern in Bezug zu dem entsprechenden Bauelement dar, wobei jedes Gitter eine Anzahl von Gitterpunkten aufweist; und jedes der Verbindungselemente des Bauelements mit einem Gitterpunkt verknüpft ist und einen entsprechenden Verbindungstyp aufweist.

**[0032]** Daher können durch Bereitstellen von Gitterstrukturen, wie zum Beispiel quadratischer Gitter, dreieckiger Gitter oder dergleichen, wobei Gitterpunkte zugehörige Verbindungstypen aufweisen, die verschiedenen Eigenschaften der verschiedenen Bauelemente, wie zum Beispiel Größe, Form, Verbindungseigenschaften, etc. auf ein oder mehrere mit jedem der Gitterpunkte verknüpfte Attribute reduziert werden. Folglich wird eine effiziente Darstellung der Verbindungseigenschaften eines Bauelements erreicht.

**[0033]** Es ist ein weiterer Vorteil, dass durch Zuordnen der Verbindungselemente zu Gitterpunkten eine besonders einfache Ermittlung möglich ist, ob zwei Verbindungselemente in einer vorbestimmten Nähe zueinander

der vorliegen. Zum Beispiel kann in einer Ausführungsform, bei der die Bauelemente in einem gemeinsamen getrennten Volumenreferenzgitter platziert werden und alle Koordinaten Mehrfache einer beliebigen Längeneinheit sind, eine genaue Übereinstimmung von Koordinaten für zwei Verbindungselemente erforderlich sein, die innerhalb einer vorbestimmten Nähe zu betrachten sind. In einem kontinuierlichen oder quasi-kontinuierlichen Referenzkoordinatensystem kann es erforderlich sein, dass die Gitterpunkte innerhalb vorbestimmter Grenzen zusammenfallen, d. h. dass sie in einer vorbestimmten Nachbarschaft voneinander platziert sind. Die Größe der Nachbarschaft kann von den Typen zu modellierender physikalischer Verbindungselemente abhängen, z. B. wie sie tatsächlich zum Verbinden zusammenwirken, und von der Genauigkeit der Platzierung von Bauelementen, die durchgesetzt werden soll.

**[0034]** Es ist bevorzugt, dass jede Ebene, entlang der ein Bauelement mit einem anderen Bauelement verbunden werden kann, in Gittersegmente, z. B. Quadrate unterteilt ist, wobei jedes der Gittersegmente einen Gitterpunkt in der Mitte aufweist.

**[0035]** Es ist bevorzugt, dass jedes Verbindungselement eine zugehörige Richtung aufweist, die anzeigt, in welcher Richtung das Verbindungselement mit einem entsprechenden Verbindungselement in Einriff kommen kann.

**[0036]** Es ist weiter bevorzugt, dass alle Verbindungselemente, die auf einer gemeinsamen Ebene angeordnet sind und eine gemeinsame Richtung aufweisen, Segmenten eines orthogonalen Gitters mit vorbestimmtem Abstand zwischen benachbarten Gitterpunkten entsprechen. Vorzugsweise werden die Verbindungselemente aller Bauelemente eines Satzes von Bauelementen auf den Bauelementen gemäß vorbestimmten Regeln platziert, die Verknüpfung jedes Verbindungselements mit einem entsprechenden Gitterpunkt zulassen.

**[0037]** Es wird jedoch festgestellt, dass Verbindungselemente auf verschiedenen, nicht parallelen Ebenen nicht den gleichen Abstand zwischen den jeweiligen Gitterpunkten aufweisen müssen. Zum Beispiel kann der Abstand zwischen Verbindungselementen auf horizontalen Ebenen anders als der Abstand zwischen Verbindungselementen auf vertikalen Ebenen sein.

**[0038]** Außerdem kann durch Verknüpfen von Verbindungselementen mit vorbestimmten Gitterpunkten die Bestimmung, ob ein Verbindungselement eines ersten Bauelements sich in einer vorbestimmten Nachbarschaft eines Verbindungselements eines zweiten Bauelements befindet, in effizienter Weise durchgeführt werden, da die Bestimmung auf Identifizieren benachbarter Gitterpunkte begrenzt werden kann.

**[0039]** In einer anderen bevorzugten Ausführungsform umfasst das Verfahren ferner:

- Bereitstellen einer Kombinationstabelle, die einen resultierenden Verbindungstyp für jedes Paar von Verbindungstypen enthält;
- Bestimmen eines ersten und zweiten Verbindungselements, die in einem vorbestimmten geometrischen Verhältnis zueinander positioniert sind;
- Abrufen eines resultierenden Verbindungstyps des ersten und zweiten Verbindungselements aus der Kombinationstabelle; und
- Zuordnen des abgerufenen resultierenden Verbindungstyps zu mindestens einem resultierenden Verbindungselement.

**[0040]** Daher ist es ein Vorteil, dass die Verbindungstypen der Verbindungselemente dynamisch sind, d. h. sie können abhängig von dem geometrischen Kontext, in den ein Bauelement gesetzt wird, geändert werden, wodurch eine realistischere Modellierung der Verbindungseigenschaften physikalischer Bauelemente bereitgestellt wird. Insbesondere können ein erstes Verbindungselement eines ersten Bauelements und ein zweites Verbindungselement eines zweiten Bauelements bei Positionierung in einer vorbestimmten geometrischen Beziehung zueinander zusammenwirkend andere Verbindungseigenschaften als die einzelnen Verbindungselemente liefern.

**[0041]** Der zusammenwirkende Effekt des ersten und zweiten Verbindungselements wird oft von ihrer gegenseitigen geometrischen Beziehung abhängen, d. h. von der Art, in der die Verbindungselemente in Bezug zueinander platziert sind, z. B. wie nahe sie zueinander platziert sind, in welcher relativen Ausrichtung sie zueinander platziert sind, und/oder dergleichen. In einer Ausführungsform wird dies durch Bestimmen, ob das erste und zweite Verbindungselement innerhalb einer vorbestimmten Nähe voneinander positioniert sind; und, wenn sie in solcher Nähe voneinander platziert sind, Zuordnen des bestimmten resultierenden Verbindungstyps zu dem ersten oder zweiten Verbindungselement modelliert.

**[0042]** In der Datenstruktur wird dies durch Zuordnen eines resultierenden Verbindungstyps zu mindestens einem resultierenden Verbindungselement dargestellt. In einer Ausführungsform ist das resultierende Verbindungselement eins des ersten und zweiten Verbindungselements. In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform wird der resultierende Verbindungstyp sowohl dem ersten als auch dem zweiten Verbindungselement zugeordnet.

**[0043]** Es ist weiter bevorzugt, dass dem ersten und zweiten Verbindungselement ihre jeweiligen Originalverbindungstypen zugeordnet werden, wenn die entsprechenden Bauelemente so umpositioniert werden, dass die Verbindungselemente nicht mehr in der erforderlichen geometrischen Beziehung positioniert sind.

**[0044]** In einer alternativen Ausführungsform kann das resultierende Verbindungselement ein neues Verbindungselement sein, das z. B. so definiert ist, dass es eine Position in Bezug zu den Positionen des ersten und zweiten Verbindungselements aufweist.

**[0045]** Es wird verstanden werden, dass in einigen Ausführungsformen mehr als zwei Verbindungselemente kombiniert werden können, wodurch ein 'resultierender Verbindungstyp erhalten wird.

**[0046]** Der Ausdruck Kombinationstabelle soll eine jegliche geeignete Datenstruktur zum Speichern resultierender Verbindungstypen für Paare von Verbindungstypen aufweisen. Zum Beispiel kann eine solche Datenstruktur eine Nachschlagetabelle sein, die durch Paare von Verbindungstypen indexiert ist, wobei jeder Eintrag der Nachschlagetabelle einen resultierenden Verbindungstyp aufweist, der aus der Kombination eines Paares von Verbindungselementen resultiert, wobei jedes Verbindungselement einen jeweiligen des entsprechenden Paares von Verbindungstypen aufweist.

**[0047]** Durch Vorsehen einer Kombinationstabelle wird eine effiziente und erweiterbare Datenstruktur zum Speichern von Informationen darüber bereitgestellt, wie die Verbindungstypen von Verbindungselementen sich aufgrund ihrer Kombination mit anderen Verbindungstypen ändern können.

**[0048]** Insbesondere im Fall virtueller Baublöcke ist eine häufig auftretende Situation eine Konstellation, bei der zwei Baublöcke nebeneinander platziert werden, d. h. in einer Erstreckung Kante an Kante, so dass die Verbindungselemente an den Kanten der benachbarten Baublöcke ihre Eigenschaften ändern.

**[0049]** In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform wird diese Situation effizient modelliert, wenn jedes der mit den Bauelementen verknüpften Gitter mindestens eine Gitterkante aufweist, und umfasst das Verfahren ferner:

- Bereitstellen einer Kombinationstabelle, die einen resultierenden Verbindungstyp für jedes Paar von Verbindungstypen enthält;
- Ermitteln, ob ein erstes Gitter des ersten Bauelements in einer Erstreckung Kante an Kante eines zweiten Gitters des zweiten Bauelements platziert ist, wobei eine erste Kante des ersten Gitters mit einer zweiten Kante des zweiten Gitters ausgerichtet ist;
- Identifizieren, für ein erstes Verbindungselement des ersten Gitters, eines entsprechenden zweiten Verbindungselements des zweiten Gitters;
- Abrufen eines resultierenden Verbindungstyps einer Kombination des ersten und zweiten Verbindungselements aus der Kombinationstabelle; und
- Zuordnen des abgerufenen resultierenden Verbindungstyps zu dem ersten und zweiten Verbindungselement.

**[0050]** Wenn Bauelemente nebeneinander platziert werden, wobei sich jeweilige ihrer Kanten in dichter Nähe zueinander befinden oder sich sogar berühren, können die Verbindungselemente in den entsprechenden Kanten ihre Eigenschaften abhängig von dem Typ des Verbindungselements an oder nahe der entsprechenden Kante des anderen Bauelements ändern.

**[0051]** Durch Bereitstellen einer Kombinationstabelle, die einen resultierenden Verbindungstyp für jedes Paar von Verbindungstypen einschließt; und durch Zuordnen der resultierenden Verbindungstypen zu den Verbindungselementen an den Kanten der Bauelemente, können bei Ermittlung einer Erstreckung Kante an Kante sogar komplexe Verbindungseigenschaften von zusammenwirkenden Bauelementen modelliert werden.

**[0052]** Der Ausdruck Erstreckung Kante an Kante umfasst die Platzierung von zwei so nebeneinander platzierten Gittern, dass sich dort entsprechende Gitter zu einem kombinierten Gitter kombinieren. Folglich weist der Ausdruck Erstreckung Kante an Kante zwei parallele Gitter mit jeweiligen parallelen Gitterkanten und einer

vorbestimmten Überlappung entlang der parallelen Gitterkanten auf, so dass die Gitterpunkte nahe der Kante zusammenfallen.

**[0053]** In einer anderen bevorzugten Ausführungsform der Erfindung stellt jede der jeweiligen Datenstrukturen weiter ein Begrenzungsvolumen des entsprechenden Bauelements dar, und entspricht jedes Gitter einer Oberfläche des Begrenzungsvolumens.

**[0054]** Folglich kann durch Bereitstellen von Begrenzungsvolumen für die Bauelemente, wo die Gitter den Oberflächen der Begrenzungsvolumen entsprechen, jedes Bauelement durch eine kleine Anzahl von Gittern dargestellt werden, selbst wenn das Bauelement eine komplexe Form hat. Folglich kann eine effiziente Ermittlung zusammenwirkender Bauelemente von zwei Bauelementen erreicht werden, da die Komplexität der Form der Bauelemente in die Verbindungstypen übersetzt wird, die ihrerseits als Attribute den Gitterpunkten in Bezug zu den Oberflächen der Begrenzungsvolumen zugeordnet werden.

**[0055]** Außerdem liefern die Begrenzungsvolumen eine effiziente Darstellung zum Ermitteln benachbarter Bauelemente durch Verwendung bekannte Kollisionsermittlungsalgorithmen.

**[0056]** Die Begrenzungsvolumen können Begrenzungskästen mit zueinander orthogonalen Seiten oder Begrenzungsvolumen mit anderen Formen darstellen.

**[0057]** In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform umfasst das Verfahren weiter: Codieren jeweiliger Positionen des ersten und zweiten Bauelements in Bezug zu einem gemeinsamen Volumenreferenzgitter, wobei das erste und zweite Gitter der entsprechenden ersten und zweiten Bauelemente jeweiligen ersten und zweiten Ebenen des Volumenreferenzgitters entsprechen; und die Gitterpunkte des ersten und zweiten Gitters jeweiligen Referenzgitterpunkten des Volumenreferenzgitters entsprechen; und Ermitteln, ob das erste und zweite Gitter einer gemeinsamen Ebene des Volumenreferenzgitters entsprechen, und ob sich mindestens ein erster Gitterpunkt des ersten Gitters in dem gleichen Referenzgitterpunkt wie ein zweiter Gitterpunkt des zweiten Gitters befindet.

**[0058]** Folglich wird durch Bereitstellen eines Volumenreferenzgitters, z. B. eines kubischen Volumengitters, und Definieren der Oberflächengitter als Ebenen des Referenzvolumengitters, eine besonders einfache Datenstruktur geliefert, die eine besonders effiziente Ermittlung benachbarter Gitterpunkte ermöglicht.

**[0059]** Vorzugsweise sind die Begrenzungsvolumen als Ebenen in Bezug zu dem Volumenreferenzgitter definiert. In einer Ausführungsform können sie mit den Gitterebenen des Volumenreferenzgitters übereinstimmen, oder sie können alternativ als Ebenen zwischen den Gitterebenen des Volumenreferenzgitters definiert sein.

**[0060]** In noch einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Erfindung, umfasst das Verfahren ferner:

- Identifizieren aller Paare übereinstimmender Gitterpunkte des ersten Gitters und des zweiten Gitters;
- Abrufen von Verbindungsfähigkeitsinformationen aus der Verbindungsfähigkeitstabelle für jedes der identifizierten Paare von Gitterpunkten;
- Ablehnen von Verbindung zwischen dem ersten und zweiten Bauelement, wenn mindestens ein Paar von Gitterpunkten einer ungültigen Verbindung entspricht; ansonsten Akzeptieren der Verbindung zwischen dem ersten und zweiten Bauelement, wenn mindestens ein Paar von Gitterpunkten einer gültigen Verbindung entspricht.

**[0061]** Folglich wird ein effizientes Verfahren zum Ermitteln geschaffen, ob zwei benachbarte Bauelemente miteinander verbunden werden können. Der Ausdruck übereinstimmende Gitterpunkte umfasst Gitterpunkte mit den selben Koordinaten. In einer Ausführungsform, in der die Bauelemente in einem getrennten Referenzgitter platziert werden und alle Koordinaten Mehrfache einer willkürlichen Längeneinheit darstellen, kann eine exakte Übereinstimmung von Koordinaten erforderlich sein, d. h. die Gitterpunkte befinden sich in einem gemeinsamen Referenzgitterpunkt. In einem kontinuierlichen oder quasi-kontinuierlichen Referenzkoordinatensystem kann es erforderlich sein, dass die Gitterpunkte innerhalb vorbestimmter Grenzen übereinstimmen.

**[0062]** Wenn jedes der Verbindungselemente ferner eine zugehörige Richtung aufweist, ist ein weiteres Attribut mit jedem Gitterpunkt verknüpft, wodurch ein weiteres Ausmaß von Freiheit bereitgestellt wird.

**[0063]** Der Ausdruck Verbindungsfähigkeitsinformationen soll Informationen über die Verbindungseigenschaften eines Paares von Verbindungstypen aufweisen, z. B. für ein gegebenes Paar von Verbindungstypen,

ob zwei Verbindungselemente dieser Verbindungstypen eine Verbindung bereitstellen oder nicht, ob sie eine Verbindung unmöglich machen und/oder dergleichen. In einer bevorzugten Ausführungsform weisen die Verbindungsfähigkeitsinformationen einen Indikator für jedes Paar von Verbindungstypen auf, der einen einer vorbestimmten Gruppe von Verbindungsfähigkeitstypen anzeigt, wobei die Gruppe aus einer gültigen Verbindung, die eine Verbindung zwischen einem entsprechenden Paar von Verbindungselementen liefert, einer ungültigen Verbindung, die eine Verbindung zwischen einem entsprechenden Paar von Verbindungselementen verhindert, und einer neutralen Verbindung besteht.

**[0064]** Der Ausdruck neutrale Verbindung weist ein Paar von Verbindungstypen auf, die bei Platzierung innerhalb einer vorbestimmten Nachbarschaft voneinander nicht zusammenwirken, um die beiden entsprechenden Bauelemente zu verbinden, die jedoch eine solche Platzierung auch nicht verhindern.

**[0065]** Folglich wird eine effiziente Codierung der möglichen gegenseitigen Verbindungen bereitgestellt.

**[0066]** In noch einer anderen bevorzugten Ausführungsform der Erfindung umfasst der Schritt zum Bestimmen eines ersten Verbindungselements des ersten Bauelements und eines zweiten Verbindungselements des zweiten Bauelements, die in einer vorbestimmten Nähe zueinander angeordnet sind, ferner, das erste und zweite Verbindungselement aus einem vorbestimmten Untersatz von Verbindungselementen zu bestimmen. Deshalb muss nur ein Untersatz von Verbindungselementen gesucht werden, um ein relevantes Paar von Verbindungselementen zu bestimmen, wodurch die Effizienz des Verfahrens erhöht wird.

**[0067]** In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform stellt jede der jeweiligen Datenstrukturen ferner ein Begrenzungsvolumen des entsprechenden Bauelements dar; umfasst das Verfahren weiter, eine Überschneidung der Begrenzungsvolumen des ersten und zweiten Bauelements zu ermitteln; und umfasst der Schritt zum Bestimmen des ersten und zweiten Verbindungselements aus einem vorbestimmten Untersatz von Verbindungselementen, das erste und zweite Verbindungselement aus Verbindungselementen zu bestimmen, die in der bestimmten Überschneidung enthalten sind. Daher wird der Untersatz relevanter Verbindungselemente als Verbindungselemente bestimmt, die potentiell eine Verbindung bereitstellen können, da sie in der Überschneidung der Begrenzungskästen enthalten sind.

**[0068]** Es ist ein weiterer Vorteil der Erfindung, dass sie Datenstrukturen und Algorithmen bereitstellt, die einfach erweitert werden können, um neue Typen von Bauelementen und sogar neue Typen von Verbindungselementen zu enthalten. Zum Beispiel können die Verbindungsfähigkeitseigenschaften von zwei Sätzen existierender Spielzeugbauelemente unterschiedlicher Typen so kombiniert werden, dass die Bauelemente der verschiedenen Spielzeugbausätze miteinander verbunden werden können.

**[0069]** Es ist ein weiterer Vorteil der Erfindung, dass sie Datenstrukturen bereitstellt, die keine große Speicherkapazität erfordern, selbst beim Erzeugen von Modellen, die eine große Anzahl von Bauelementen aufweisen.

**[0070]** Es ist ein weiterer Vorteil der Erfindung, dass sie ein effizientes Verfahren zum Ermitteln bereitstellt, ob zwei oder mehr Bauelemente verbunden sind, wodurch die Verarbeitungszeit verkürzt wird, die ein Computer zum Bestimmen benötigt, ob Bauelemente miteinander verbunden sind. Dies ist ein besonders wichtiges Merkmal in interaktiven Computerprogrammen, bei denen ein Benutzer Bauelemente in Bezug zueinander positionieren kann, da in dieser Situation eine kurze Reaktionszeit auf die Platzierung oder Entfernung eines Bauelements bis zur Bestimmung der Verbindungsfähigkeitseigenschaften des Modells erforderlich ist.

**[0071]** Die vorliegende Erfindung kann in verschiedenen Weisen umgesetzt werden, einschließlich des oben und im Folgenden beschriebenen Verfahrens; eines Systems und ferner von Produktmitteln, die jeweils einen oder mehrere der in Verbindung mit dem erstgenannten Verfahren beschriebenen Nutzen und Vorteile erbringen, und jeweils eine oder mehrere bevorzugte Ausführungsformen aufweisen, die den in Verbindung mit den erstgenannten Verfahren bevorzugten Ausführungsformen entsprechen und in den abhängigen Patentansprüchen offenbart sind.

**[0072]** Die Erfindung bezieht sich ferner auf ein Datenverarbeitungssystem, aufweisend:

- Mittel zum Erzeugen eines computerlesbaren Modells eines geometrischen Objekts, das aus einer Mehrzahl miteinander verbundener Bauelemente aufgebaut wird, wobei jedes Bauelement eine Anzahl von Verbindungselementen zum Verbinden des Bauelements mit einem anderen Bauelement aufweist;
- Mittel zum Codieren eines ersten und eines zweiten der Mehrzahl von Bauelementen als entsprechende erste und zweite Datenstrukturen, die jeweils die Verbindungselemente des entsprechenden Bauelements

darstellen, und wobei mit jedem der Verbindungselemente eine Mehrzahl vorbestimmter Verbindungstypen verknüpft ist;

– Mittel zum Bestimmen eines ersten Verbindungselements des ersten Bauelements und eines zweiten Verbindungselements des zweiten Bauelements, die in einer vorbestimmten Nähe voneinander angeordnet sind; und

– Mittel zum Abrufen von Verbindungsfähigkeitsinformationen der entsprechenden Verbindungstypen des ersten und zweiten Verbindungselements, die anzeigen, ob das erste und zweite Verbindungselement eine Verbindung zwischen dem ersten und zweiten Bauelement bereitstellen.

**[0073]** Es wird festgestellt, dass die Merkmale des oben und im Folgenden beschriebenen Verfahrens in Software umgesetzt und in einem Datenverarbeitungssystem oder anderen Verarbeitungsmitteln veranlasst durch die Ausführung am Computer ausführbarer Anweisungen realisiert werden können. Die Anweisungen können Programmcodemittel sein, die in einen Speicher wie zum Beispiel einen RAM, von einem Speichermedium oder einem anderen Computer über ein Computernetzwerk geladen werden. Alternativ können die beschriebenen Merkmale durch festverdrahtete Schaltsysteme anstelle von Software oder kombiniert mit Software umgesetzt werden.

**[0074]** Die Erfindung bezieht sich ferner auf ein Datenverarbeitungssystem, das zum Ausführen des oben und im Folgenden beschriebenen Verfahrens ausgelegt ist.

**[0075]** Die Erfindung bezieht sich ferner auf ein Computerprogramm, das Programmcodemittel zum Ausführen aller der Schritte des oben und im Folgenden beschriebenen Verfahrens aufweist, wenn man das Programm auf einem Computer laufen lässt.

**[0076]** Die Erfindung bezieht sich ferner auf ein Computerprogrammprodukt, das Programmcodemittel aufweist, die auf einem computerlesbaren Medium zum Ausführen des oben und im Folgenden beschriebenen Verfahrens gespeichert sind, wenn man das Computerprogramm auf einem Computer laufen lässt.

**[0077]** Die Erfindung soll im Folgenden ausführlicher in Verbindung mit einer bevorzugten Ausführungsform und unter Bezugnahme auf die Zeichnung erklärt werden, in der:

#### KURZE BESCHREIBUNG DER FIGUREN:

**[0078]** [Fig. 1a](#)–e perspektivische Ansichten einer Darstellung eines Bauelements gemäß einer Ausführungsform der Erfindung zeigen;

**[0079]** [Fig. 2a](#)–d Beispiele von Bauelementen und ihrer Verbindungselemente darstellen;

**[0080]** [Fig. 3](#) eine perspektivische Ansicht eines Baublocks und zwei seiner entsprechenden Verbindungsfähigkeitsgitter zeigt;

**[0081]** [Fig. 4](#) eine Draufsicht des Baublocks von [Fig. 3](#) zeigt;

**[0082]** [Fig. 5a](#)–b Datenstrukturen illustrieren, die jeweils die Verbindungspunkte einer Oberfläche eines Bauelements darstellen;

**[0083]** [Fig. 6](#) eine Draufsicht von zwei Bauelementen in einer Erstreckung Kante an Kante zeigt;

**[0084]** [Fig. 7](#) eine perspektivische Ansicht eines Bauelements zeigt, das zwei miteinander verbundene Gruppen von Bauelementen einschließt; und

**[0085]** [Fig. 8](#) ein Ablaufdiagramm eines Verfahrens zum Platzieren eines Bauelements innerhalb eines Verfahrens zum Erzeugen eines computerlesbaren Modells eines geometrischen Objekts zeigt;

**[0086]** [Fig. 9](#) ein Ablaufdiagramm des Prozesses zum Verbinden eines digitalen Bauelements mit einem anderen digitalen Bauelement gemäß einer Ausführungsform der Erfindung zeigt;

**[0087]** [Fig. 10](#) ein Ablaufdiagramm eines Unterprozesses zum Aktualisieren der Datenstrukturen zeigt, die das verbundene Bauelement darstellen;

[0088] [Fig. 11](#) ein Datenverarbeitungssystem zum Erzeugen computerlesbarer Modelle geometrischer Objekte gemäß einer Ausführungsform der Erfindung zeigt; und

[0089] [Fig. 12a](#)–[b](#) eine Seitenansicht eines Baublocks mit einer geneigten Oberfläche und Beispiele der entsprechenden Begrenzungsvolumen zeigen.

#### AUSFÜHRLICHE BESCHREIBUNG BEVORZUGTER AUSFÜHRUNGSFORMEN

[0090] [Fig. 1a](#)–[e](#) zeigen perspektivische Ansichten einer Darstellung eines Bauelements gemäß einer erfindungsgemäßen Ausführungsform.

[0091] [Fig. 1a](#) zeigt eine Darstellung eines Bauelements **101**. Das Bauelement **101** ist eine digitale Darstellung eines physikalischen Baublocks, der auf einer seiner als **103** bezeichneten Flächen zwei Noppen **102** aufweist, die sich mit entsprechenden Löchern eines anderen Baublocks verbinden können. Der Baublock weist ferner ein Loch **104** auf, das den Baublock von einer Fläche **105** zur entgegengesetzten Fläche des Baublocks durchdringt. Das Loch ist ausgelegt, um entsprechende Verbinder anderer Baublöcke aufzunehmen.

[0092] Die digitale Darstellung des Baublocks **101** umfasst ein Begrenzungsvolumen **106**, das in [Fig. 1a](#) durch dicke Linien dargestellt ist. Das Begrenzungsvolumen **106** ist ein Begrenzungsvolumen des Baublocks **101** einschließlich der Noppen **102**. Die digitale Darstellung des Baublocks ist weiter in Bezug zu einem internen rechtsgerichteten Koordinatensystem **107** beschrieben. Es wird verstanden werden, dass die Auswahl des Koordinatensystems, insbesondere der Stelle seines Ursprungs und der Richtungen der Achsen, gemäß einer jeglichen geeigneten Konvention ausgewählt werden kann. Folglich kann in einer entsprechenden Datenstruktur die Position und Ausrichtung des Baublocks durch die Koordinaten des Ursprungs und der Richtung der Achsen des Koordinatensystems **107** in Bezug zu einem externen Koordinatensystem, z.B. dem Koordinatensystem eines anderen Baublocks oder einem globalen "Welt"-Koordinatensystem dargestellt werden.

[0093] Das Begrenzungsvolumen kann in einer Datenstruktur in Bezug zum Koordinatensystem **107** z. B. durch die Koordinaten der beiden Ecken **110** in Bezug zum Koordinatensystem **107** dargestellt werden.

[0094] [Fig. 1b](#) zeigt eine Darstellung von Baublöcken **101** mit einem Begrenzungsvolumen **108**, das den Baublock jedoch ohne die Noppen **102** einschließt. In einer Ausführungsform beruht Kollisionsermittlung zwischen verschiedenen Baublöcken auf beiden Typen von Begrenzungsvolumen, d. h. dem in [Fig. 1a](#) gezeigten Begrenzungsvolumen und dem Begrenzungsvolumen **108** von [Fig. 1b](#).

[0095] Der Erfindung zufolge kann jede Ebene, entlang der der Baublock mit einem anderen Baublock verbunden sein kann, in Quadrate mit einem Verbindungspunkt in der Mitte jedes Quadrats unterteilt werden, d. h. die Kanten der Quadrate entsprechen Halbabständen zwischen benachbarten Verbindungspunkten.

[0096] [Fig. 1c](#) zeigt den Baublock **101** und illustriert die Darstellung der Verbindungselemente auf einer Fläche des Baublocks. Die Darstellung zeigt ein Quadratgitter **109** in der Ebene der Fläche **103** des Baublocks, der die zwei Noppen **102** einschließt. Das Quadratgitter weist eine Anzahl von Quadraten auf, jeweils mit einem Gitterpunkt als eine Mitte, wie beispielhaft durch Quadrat **130** und Gitterpunkt **111** gezeigt ist. Jeder Gitterpunkt weist eine zugehörige Richtung auf, wie durch Pfeile, z. B. Pfeil **112** des Gitterpunkts **111** angezeigt ist. Die Richtung der Gitterpunkte des Gitters **109** zeigt nach außen, d. h. in die Richtung der y-Achse des Koordinatensystems **107**. Folglich kann in einer Datenstruktur eine Darstellung des Gitters **109** die Koordinaten eines vorbestimmten Gitterpunkts, z. B. des Gitterpunkts **113** in Bezug zum Koordinatensystem **107**, die Richtung der Gitterpunkte, d.h. die Richtung des Pfeils **114** in Bezug zum Koordinatensystem, die Größe des Gitters, d. h. die Anzahl von Quadraten in x-Richtung bzw. z-Richtung, und die Attribute in Bezug zu jedem der Gitterpunkte aufweisen. Ein Beispiel einer solchen Darstellung soll im Folgenden ausführlicher beschrieben werden.

[0097] [Fig. 1d](#) stellt das Verbindungsgitter **120** der Fläche **116** dar, die der Fläche **103** (nicht gezeigt in [Fig. 1d](#)) des Baublocks **101** entgegengesetzt ist. Diese Fläche des Baublocks weist zwei Löcher **117** auf, die durch die Kanten **118** und einen kleinen mittleren Noppen **119**, einen sogenannten Sekundärstift begrenzt werden. Die Löcher des physikalischen Baublocks sind so angeordnet, dass sie Noppen wie zum Beispiel die Noppen **102** eines anderen Baublocks aufnehmen können, wodurch zusammenwirkend zwei Baublöcke verbunden werden. Der Erfindung zufolge sind die Löcher durch die entsprechenden Gitterpunkte des Gitters **120** dargestellt, wie durch Pfeile **121** gezeigt ist.

[0098] Es wird festgestellt, dass gemäß dieser Ausführungsform der Ursprung des Koordinatensystems dem Gitterpunkt **122** entspricht.

[0099] [Fig. 1e](#) stellt das Verbindungsgitter **123** der Fläche **105** des Baublocks **101** dar, der das Loch **104** aufweist. Dementsprechend stellt der Gitterpunkt **124** die Verbindungsfähigkeitseigenschaften des Lochs **104** dar.

[0100] Es wird verstanden werden, dass beim graphischen Darstellen des Baublocks auf einer Anzeige, z. B. einem Computerbildschirm, die Begrenzungsvolumen, Koordinatensysteme und Gitter nicht gezeigt werden müssen. Vorzugsweise enthält eine graphische Darstellung nur eine Wiedergabe des Baublocks selbst.

[0101] Die [Fig. 2a–c](#) stellen Beispiele von Bauelementen und ihrer Verbindungselemente dar.

[0102] [Fig. 2a](#) zeigt zwei Baublöcke **201** und **202**. Der Baublock **201** ist ein Baustein mit vier Noppen **203** auf seiner oberen Fläche und vier entsprechenden Löchern auf der Bodenfläche (nicht gezeigt). Der Baustein **202** ist ein Beispiel eines Baublocks mit einer Oberfläche, die Ebenen aufweist, welche nicht orthogonal zueinander sind. Spezifisch weist der Baublock **202** eine geneigte Fläche **204** auf. Wie in [Fig. 2a](#) dargestellt ist, verbinden sich die Baublöcke **201** und **202** in ihren aktuellen Positionen nicht.

[0103] [Fig. 2b](#) zeigt einen Baublock **210** mit einer nicht rechteckigen oberen und unteren Fläche. Die untere Fläche weist Löcher **211**, **212** und **213** zum Aufnehmen entsprechender Noppen eines oder mehrerer anderer Baublöcke auf. Die Löcher sind durch Kanten **214**, die Sekundärstifte **215** sowie die Ecken **216** und **217** begrenzt. Folglich bestimmen die Eigenschaften aller der oben genannten Elemente die Verbindungsfähigkeitseigenschaften dieser Fläche des Baublocks.

[0104] [Fig. 2c](#) stellt einen Baublock **220** dar, der mit einem Baublock **221** verbunden ist, wodurch ein kombinierter Baublock gebildet wird. Der Baublock **220** weist Noppen **222** auf seiner oberen Fläche auf, die in entsprechende Löcher eines anderen Baublocks passende Verbinder sind. Wie durch [Fig. 2c](#) dargestellt ist, können jedoch auch andere Verbindungstypen erreicht werden: Die Zwischenräume **223** zwischen den Noppen dienen als Rezeptoren für andere Verbinder, so wie die Seitenfläche **224** des Blocks **221**. Für die physikalischen Baublöcke wird diese Eigenschaft durch die Abmessungen der Zwischenräume und die Abmessungen des Baublocks **221**, d. h. die Breite **225** seiner Seiten bestimmt. Bei der digitalen Darstellung gemäß der Erfindung werden diese Eigenschaften durch entsprechende Attribute von Verbindungspunkten dargestellt, wie detaillierter im Folgenden dargestellt werden soll.

[0105] [Fig. 2d](#) stellt eine ungültige Verbindung eines Baublocks mit einem anderen Baublock dar, der eine Anzahl von Bausteinen aufweist. Der Baublock **231** weist Bausteine **232**, **233**, **234**, **235**, **236** und **237** auf. Jeder Baublock weist Noppenverbinder und Noppengegenstückrezeptoren wie oben beschrieben auf. Baublöcke **232**, **233** und **236** weisen Noppenverbinder und auf einer oberen Seite sowie auf den Seitenflächen auf: Insbesondere weist der Baublock **232** einen Noppen **238** auf der Seitenfläche auf, während der Baublock **233** einen Noppen **239** auf der Seitenfläche aufweist, und Baublock **236** weist einen Noppen **240** auf seiner Seitenfläche auf.

[0106] In dem Beispiel von [Fig. 2d](#) wird aufgrund der Abmessungen der Baublöcke, ihrer Noppen und somit ihrer entsprechenden Verbindungspunkte kein rechteckiges Gitter gebildet. Folglich ist, wenn versucht wird, einen Baublock in der durch die Strichlinie **241** angezeigte Position mit seinen Verbindungspunkten wie durch Kreuze **242**, **243**, **244** angezeigt zu platzieren, eine gültige Verbindung ist nicht möglich. Es soll im Folgenden beschrieben werden, wie das erfindungsgemäße Verfahren diesen Typ von Situation ermittelt.

[0107] [Fig. 3](#) zeigt eine perspektivische Ansicht eines Baublocks und seiner entsprechenden Verbindungsfähigkeitsgitter. Der Baublock **301** hat eine obere Oberfläche **302** mit acht Noppen **303a–h**, eine untere Oberfläche mit entsprechenden Löchern (nicht gezeigt) und Seitenflächen **304**. In [Fig. 3](#) sind Verbindungsfähigkeitsgitter **305** und **306** der oberen Oberfläche bzw. der unteren Oberfläche gezeigt. Die Verbindungspunkte sind durch Kreise dargestellt, wie sie durch Kreise **307a–k** exemplifiziert sind. Folglich entsprechen Verbindungspunkte **307a–h** jeweils Noppen **303a–h**. Da die Seitenflächen **304** keine Verbindungselemente aufweisen, müssen für sie keine Verbindungsgitter definiert werden. In einer alternativen Ausführungsform können Verbindungsgitter, die nur unbesetzte Rezeptoren aufweisen, für die Seitenflächen definiert werden.

[0108] Wie [Fig. 3](#) zu entnehmen ist, unterwirft eine Darstellung der Verbindungselemente des Baublocks durch die in einem gleichmäßigen Gitter platzierten Verbindungspunkte die physikalische Platzierung der Verbindungselemente auf den physikalischen Baublöcken bestimmten Beschränkungen.

**[0109]** Das Gitter **305** ist in der Ebene der oberen Oberfläche des Baublocks angeordnet, von der sich die Noppen **303** erstrecken. In dem Beispiel von [Fig. 3](#) sind die Gitterpunkte in einem quadratischen Gitter platziert, wobei jedes Quadrat eine Abmessung von  $5 \times 5$  Einheiten einer beliebigen Längeneinheit (LU) aufweist. Folglich sind in dieser Geometrie die Verbindungselemente auch auf einem entsprechenden quadratischen Gitter platziert, und der Abstand zwischen den Verbindungselementen in einer Ebene der Baublöcke ist ein Mehrfaches von 10 LU. In dem Beispiel von [Fig. 3](#) sind die obere und untere Oberfläche des Baublocks rechteckig und haben eine Abmessung von  $20 \text{ LU} \times 40 \text{ LU}$ , und benachbarte Verbindungselemente sind um 10 LU beabstandet.

**[0110]** In der vertikalen Richtung, andererseits, sind die Verbindungselemente um 12 LU beabstandet. Folglich können die Gitterabmessungen in verschiedenen Abmessungen variieren, wodurch potentiell Situationen verursacht werden, wie sie in [Fig. 2d](#) oben gezeigt sind.

**[0111]** Die Stellung der Verbindungspunkte ist in Bezug zu dem internen Koordinatensystem **308** des Baublocks definiert.

**[0112]** [Fig. 4](#) zeigt eine Draufsicht des Baublocks von [Fig. 3](#). Das Verbindungsfähigkeitsgitter **305** ist einschließlich der Gitterpunkte gezeigt. Die Richtung der Gitterpunkte in dem Beispiel von [Fig. 3](#) zeigt aus der Ebene der Zeichnung heraus.

**[0113]** In einer Ausführungsform weist eine das Gitter von Verbindungspunkten darstellende Datenstruktur für jeden Verbindungspunkt auf: Die Koordinaten des Verbindungspunkts in Bezug zu dem Koordinatensystem **308**, die Richtung des Verbindungselements sowie einen Verbindungsfähigkeitstyp.

**[0114]** Beim Entwerfen eines neuen Baublocks muss die digitale Darstellung des Baublocks erzeugt werden. Der Baustein in dem Beispiel von [Fig. 4](#) hat 45 Verbindungspunkte auf der oberen Oberfläche und 35 Verbindungspunkte auf der unteren Oberfläche. Bestimmen der obigen Werte für jeden der Verbindungspunkte ist eine zeitaufwendige und fehleranfällige Aufgabe.

**[0115]** Für viele Typen von Baublöcken sind die Verbindungspunkte jedoch in gleichmäßigen Strukturen angeordnet, wodurch automatische Datenerzeugung ermöglicht und vorteilhaft wird. In dem Beispiel von [Fig. 4](#) können die Koordinaten der Verbindungspunkte iterativ bestimmt werden, und die Richtung der Verbindungselemente ist die gleiche für alle Verbindungspunkte eines Gitters.

**[0116]** Folglich umfasst in einer bevorzugten Ausführungsform eine das Gitter von Verbindungspunkten darstellende Datenstruktur:

- Die Koordinaten des Gitterpunkts **401** in Bezug zu dem Koordinatensystem **308**. Daher sind in dem Beispiel von [Fig. 4](#) die Koordinaten in LUs des Gitterpunkts **401**  $P_0 = (-5, 12, -15)$ .
- Die Richtung der Verbindungselemente, d. h. in dem Beispiel von [Fig. 4](#)  $(0, 1, 0)$ , d. h. die Richtung der y-Achse des Koordinatensystems **308**.
- Die Anzahl von Gitterpunkten in x- und z-Richtung, d. h. in dem Beispiel von [Fig. 4](#)  $n_x = 9$  bzw.  $n_z = 5$ .
- Eine Matrix von  $5 \times 9$  Datenstrukturen, die jeweils die Verbindungseigenschaften eines entsprechenden Verbindungspunkts aufweisen. Ein Beispiel einer solchen Matrix soll im Folgenden beschrieben werden.

**[0117]** In dem Beispiel von [Fig. 4](#), können die Koordinaten jedes Verbindungsfähigkeitpunkts als  $P_0 + (5i, 0, 5j)$ , für  $i = 0, \dots, 4$ ,  $j = 0, \dots, 8$  (in LUs) ausgedrückt werden.

**[0118]** Die Eigenschaften der Verbindungspunkte können dann als zweidimensionale Matrix C indexiert durch i und j dargestellt werden, wobei  $C[0,0]$  Verbindungspunkt **401** entspricht und  $C[i,j]$  dem Verbindungspunkt mit den Koordinaten  $P_0 + (5i, 0, 5j)$  entspricht.

**[0119]** In einer anderen Ausführungsform kann ein zweidimensionales Koordinatensystem in der Ebene des Verbindungsfähigkeitgitters definiert werden. In [Fig. 4](#) ist dies durch das Koordinatensystem **402** dargestellt. Das zweidimensionale Koordinatensystem kann dann durch die Koordinaten seines Ursprungs **401** und einer Rotationsmatrix in Bezug zu dem internen Koordinatensystem **308** des Baublocks dargestellt werden.

**[0120]** Die [Fig. 5a–b](#) stellen Beispiele von Datenstrukturen dar, die die Verbindungspunkte gemäß einer Ausführungsform der Erfindung darstellen.

**[0121]** [Fig. 5a](#) illustriert eine Datenstruktur, die die Verbindungspunkte des oberen Gitters des Baublocks von

**Fig. 4** darstellen. Die Datenstruktur entspricht einer zweidimensionalen Matrix  $C[i,j]$ , wie oben beschrieben ist. Jedes Matrixelement entspricht einem Verbindungstyp. Zum Beispiel sind Noppen (z. B. Noppen **303** in **Fig. 4**) als  $C[i,j] = K$  dargestellt, ein Zwischenraum zwischen Noppen (z. B. Zwischenraum **404** in **Fig. 4**) wird als ein "doppelkantiger Zwischenraum" bezeichnet und als  $C[i,j] = 2EG$  dargestellt, ein Zwischenraum in der Mitte von vier Noppen (z. B. Zwischenraum **405** in **Fig. 4**) wird als "Rohrz Zwischenraum" bezeichnet und als  $C[i,j] = TG$  dargestellt. Noppen sind Verbinder, die durch Rezeptoren anderer Baublöcke, z. B. durch in **Fig. 2b** dargestellte Löcher **212** aufgenommen werden können. Kantenzwischenräume sind Rezeptoren, die Kanten aufnehmen können, wie z. B. in **Fig. 2c** dargestellt, oder Kanten **211**, die in **Fig. 2b** dargestellt sind. Rohrz Zwischenräume sind Rezeptoren, die andere Verbinder aufnehmen können, z. B. Noppen oder Rohre einer geeigneten Größe.

**[0122]** An den Grenzen des Baublocks treten andere Verbindungstypen auf: Die Ecken (z. B. Ecke **401** in **Fig. 4**) sind als  $C[i,j] = 1/4 TG$  dargestellt, da sie einem Rohrz Zwischenraum mit nur einem von vier Angrenzenden aufweisen. In ähnlicher Weise stellt  $C[i,j] = 1/2 TG$  einen Rohrz Zwischenraum dar, der zwei von vier Noppen um ihn herum aufweist, z. B. Verbindungspunkt **406** in **Fig. 4**. Schließlich entspricht  $C[i,j] = EG$  einem Kantenzwischenraum mit nur einem angrenzenden Noppen, z. B. Verbindungspunkt **407** in **Fig. 4**.

**[0123]** Es wird verstanden werden, dass ein Baublock wie der in **Fig. 4** dargestellte, jedoch mit einer anderen Anzahl von Noppen, einer Verbindungsfähigkeitsmatrix ähnlich der in **Fig. 5a** gezeigten entspricht. Daher können diesen Typ von Baublöcken darstellende Datenstrukturen automatisch durch Bestimmen der Abmessungen des Baublocks bestimmt werden.

**[0124]** Es wird verstanden werden, dass allgemein für Bauelemente mit gleichmäßigen Geometrien eine Anzahl verschiedener Typen von Verbindungsfähigkeitsmatrizen definiert werden kann, z. B. Matrixtypen für obere, Seiten- und untere Oberflächen von gleichmäßigen Baublöcken wie der Baublock von **Fig. 3**. Fälle dieser Matrixtypen können dann automatisch für eine Vielzahl verschiedener Typen und Größen ähnlicher Bauelemente erzeugt werden. Folglich ist es ein Vorteil, dass die eine große Vielzahl von Baublöcken darstellenden Datenstrukturen in einer effizienten Weise erzeugt werden können.

**[0125]** **Fig. 5b** zeigt die Verbindungsfähigkeitsmatrix, die der Bodenfläche des in **Fig. 2b** gezeigten Baublocks entspricht.

**[0126]** Hier entspricht  $C[i,j] = EC$  einer Kantenecke, z. B. entspricht die Ecke **217** in **Fig. 2b**  $C[0,0] = EC$ . Außerdem entspricht  $C[i,j] = E$  einer "Kante" wie zum Beispiel den Kanten **214** in **Fig. 2b**.  $C[i,j] = 3/4 EC$  entspricht einer Ecke, wie sie durch die Ecke **216** in **Fig. 2b** illustriert ist.  $C[i,j] = AK$  entspricht einem "Noppengegenstück", d. h. einem Loch **212** zum Aufnehmen eines Noppens, während  $C[i,j] = SP$  einem "Sekundärstift" **215** entspricht.

**[0127]** Es wird verstanden werden, dass, obwohl die Verbindungstypen in den **Fig. 5a–b** durch Mnemotechnik dargestellt sind, die die tatsächliche physikalische Funktion der Verbindungselemente anzeigt, die Verbindungstypen durch ein jegliches anderes geeignetes Mittel, z. B. durch Aufzählen von Verbindungstypen, Bitcodierung oder dergleichen codiert werden können.

**[0128]** Allgemein kann ein Verbindungstyp eine Verbindungskategorie und ein Parameter aufweisen. Zum Beispiel die Verbindungskategorie Rohrz Zwischenraum\_TG, wobei  $\_ = \_, \_, \_, 1$ .

**[0129]** Die Verbindungseigenschaften der verschiedenen Verbindungstypen sind in einer entsprechenden Verbindungstabelle definiert. Die Verbindungstabelle zeigt für jedes Paar von Verbindungstyp die Verbindungsfähigkeitseigenschaften an. Vorzugsweise wird die Verbindungstabelle als eine Nachschlagetabelle in einer geeigneten Datenstruktur gespeichert. Eine Ausführungsform einer solchen Verbindungstabelle ist in Tabelle 1 dargestellt.

	K	SP	E	_EC	VC	_AK	_TG	_EG	VR	Tu
K	F									
SP	F	V								
E	F	V	V							
_EC	F	V	V	V						
VC	F	V	V	V	V					
_AK	T	V	V	V	V	V				
_TG	F	V	V	V	V	V	V			
_EG	F	V	V, wenn _ = 2 T, wenn _ = 1	F	V	V	V	V		
VR	V	V	V	V	V	V	V	V	V	
Tu	T	V	V	V	V	V	T	F	V	V

Tabelle 1.

**[0130]** Daher zeigt jedes Feld in Tabelle 1 die Verbindungsfähigkeit der entsprechenden zwei Verbindungstypen an.

**[0131]** Die abgekürzten Verbindungstypen von Tabelle 1 sind:

K: Noppen, z. B. Noppen **102** in den [Fig. 1a–e](#), d. h. ein kreisförmiges Element.

SP: Sekundärstift, z. B. Sekundärstift **215** in [Fig. 2b](#), d. h. ein kleiner Noppen.

E: Kante, z. B. Kante **214** in [Fig. 2b](#), d. h. eine Außenkante eines Elements.

\_EC: Kantenecke mit Parameter  $\_$ .  $\_ = 3/4$  EC entspricht einer Ecke wie sie durch Ecke **216** in [Fig. 2b](#) dargestellt ist.

VC: Unbesetzter Verbinder, d. h. ein Teil eines Baublocks, der weder die meisten anderen Elemente abweist noch sich mit einem anderen Element verbindet, z. B. eine ebene Oberfläche. Unbesetzte Verbinder weisen Noppen ab, wirken jedoch nicht mit irgendwelchen anderen Rezeptoren oder Verbindern zusammen.

\_AK: Noppengegenstücke mit Parameter  $\_$ , z. B. Noppengegenstücke **215** in [Fig. 2b](#), d. h. ein unregelmäßig geformtes Loch, in das ein Noppen passt.

\_TG: Rohrzwischenraum mit Parameter  $\_$ . Zum Beispiel zeigt [Fig. 4](#) den Rohrzwischenraum **405** mit  $\_ = 1$ , d. h. eine Fläche zwischen vier benachbarten Noppen, in die ein Rohr passen kann.

\_EG: Eckenzwischenraum mit Parameter  $\_$ , zum Beispiel Doppelkantenzwischenraum mit  $\_ = 2$  und Kantenzwischenraum **407** mit  $\_ = 1$ , d. h. ein Zwischenraum zwischen zwei benachbarten Noppen oder zwischen einem Noppen und einer Kante.

VR: Unbesetzter Rezeptor, d. h. ein Teil eines Baublocks, der irgendein anderes Element weder abweist noch sich mit diesem verbindet.

Tu: Rohr, ein kreisförmiges Rohr, das ein Rezeptor für einen Noppen sein kann und ein Verbinder sein kann, der zwischen vier benachbarten Noppen, d. h. in einen Rohrspalt eingeklemt ist.

**[0132]** In Tabelle 1 sind die Verbindungsfähigkeiten der obigen Verbindungstypen wie folgt angezeigt:

- T: wahr, d. h. eine Verbindung ist gültig, und die entsprechenden Verbindungselemente kommen in Eingriff, um die beiden Baublöcke zu verbinden.
- F: falsch, d. h. eine Verbindung ist in dieser Position nicht erlaubt.
- V: unbesetzt oder neutral, d. h. es ist nichts vorhanden, das eine Verbindung verhindert, aber auch nichts, das tatsächlich verbindet.

**[0133]** Zum Beispiel erbringt gemäß Tabelle 1 ein Doppelkantenzwischenraum ( $\_EG$ , wobei  $\_ = 2$ ) eine unbesetzte Verbindung mit einer Kante (E), während ein Kantenzwischenraum, d. h.  $\_EG$  mit  $\_ = 1$ , tatsächlich mit einer Kante (E) verbindet, d. h. die Verbindungsfähigkeit ist in diesem Fall wahr (T).

**[0134]** Es wird festgestellt, dass die Verbindungstabelle von Tabelle 1 symmetrisch entlang der Diagonalen ist.

**[0135]** Es wird ferner festgestellt, dass die obige Tabelle einfach erweitert werden kann, um einen neuen Verbindungstyp aufzuweisen, indem eine entsprechende Reihe und Spalte mit den entsprechenden Verbindungsfähigkeiten des neuen Verbindungstyps mit den jeweiligen existierenden Verbindungstypen hinzugefügt

wird.

[0136] Fig. 6 zeigt eine Draufsicht von zwei Bauelementen in einer Erstreckung Kante an Kante. In dem Beispiel von Fig. 6 sind zwei Baublöcke 601 und 602 in einer Erstreckung Kante an Kante platziert, d. h. ihre oberen Oberflächen sind in der selben Ebene platziert und ein Untersatz ihrer jeweiligen Verbindungspunkte stimmt überein, wie durch die Strichellinie 603 angezeigt ist. In dem Beispiel von Fig. 6 wird angenommen, dass jeder der Baublöcke 601 und 602 von dem in den Fig. 3 und Fig. 4 gezeigten Typ ist.

[0137] Durch Platzieren der beiden Baublöcke in einer Erstreckung Kante an Kante wird der effektive Verbindungstyp der überlappenden Verbindungspunkte in dem Bereich 603 geändert. Zum Beispiel entspricht Verbindungspunkt 605 einem Verbindungspunkt 605 des Typs 1/4TG des Baublocks 601 und des Typs 1/2TG des Baublocks 602. Bei Platzierung in der Erstreckung Kante an Kante von Fig. 6, ist der kombinierte Verbindungspunkt 605 jedoch vom Typ 3/4TG. In ähnlicher Weise ist der Verbindungspunkt 606 vom Typ EG von jedem der Baublöcke 601 und 602, während er vom Typ 2EG in dem kombinierten Baublock ist. Schließlich ist der Verbindungspunkt 607 vom Typ 1/2TG von jedem der Baublöcke 601 und 602, während er in dem kombinierten Baublock vom Typ TG ist.

[0138] Daher können sich die Verbindungsfähigkeitseigenschaften von Verbindungselementen allgemein abhängig von der Platzierung des entsprechenden Bauelements in Bezug zu anderen Bauelementen ändern.

[0139] Der Erfindung zufolge kann diese Situation durch Definieren einer Kombinationstabelle modelliert werden, die die kombinierten oder resultierenden Verbindungstypen überlappender Verbindungspunkte beschreibt. Tabelle 2 ist ein Beispiel einer solchen Kombinationstabelle, die die Kombinationen der oben vorgestellten Verbindungstypen anzeigt. Vorzugsweise wird die Kombinationstabelle als eine Nachschlagetabelle in einer geeigneten Datenstruktur gespeichert.

	K	SP	E	_EC	VC	_AK	TG	_EG	VR	Tu
K	F									
SP	F	F								
E	F	F	2E							
_EC	F	F	( _+2) EC	( _+_ ) EC						
VC	F	F	VC	VC	VC					
_AK	T	F	F	F	F	( _+_ ) AK				
TG	F	F	F	F	( +1 ) TG	F	( + )			
							TG			
_EG	F	F	F	F	( _+1 ) EG	( _+1 ) EG	( _+1 ) EG	( _+_ ) EG		
VR	S	SP	E	_EC	VC	_AK	_TG	_EG	VR	
Tu	T	F	F	F	F	F	F	F	F	F

Tabelle 2

[0140] In Tabelle 2 weist jedes Feld den kombinierten Verbindungstyp auf. Wenn eine Kombination von zwei Verbindungstypen keinen Verbindungstyp erbringt, der sich mit irgendeinem anderen Verbindungstyp verbindet, ist der Tabelleneintrag F.

[0141] Wenn zum Beispiel ein Kantenzwischenraum (\_EG) neben einem unbesetzten Verbinder (VC), z. B. einer leeren Oberfläche platziert wird, kann das resultierende Verbindungselement so betrachtet werden, dass es ein breiterer Zwischenraum ist. In Tabelle 2 ist dies durch (\_+1)EG angenähert.

[0142] Es wird weiter verstanden werden, dass die obige Kombinationstabelle auch zum Bestimmen eines resultierenden Verbindungstyps in Situationen verwendet werden kann, wenn mehr als zwei Verbindungselemente zu kombinieren sind, z. B. die Ecken von drei oder vier Baublöcken. In dieser Situation kann ein resultierender Verbindungstyp für z. B. drei Verbindungselemente bestimmt werden, indem zuerst der erste resultierende Verbindungstyp für zwei der kombinierten Verbindungselemente bestimmt wird, und anschließend ein

zweiter resultierender Verbindungstyp der Kombination des ersten resultierenden Verbindungstyps und des Verbindungstyps des dritten Verbindungselements bestimmt wird.

**[0143]** Es wird ferner festgestellt, dass die obige Tabelle einfach erweitert werden kann, um einen neuen Verbindungstyp aufzuweisen, in dem eine entsprechende Reihe und Spalte mit entsprechenden resultierenden Verbindungstypen hinzugefügt wird, die aus einer Kombination des neuen Verbindungstyps mit den jeweiligen existierenden Verbindungstypen resultieren.

**[0144]** Folglich sind im Vorhergehenden Datenstrukturen für eine effiziente und erweiterbare Darstellung von Verbindungsfähigkeitseigenschaften von Baublöcken sowie eine effiziente und erweiterbare Darstellung von Regeln darüber offenbart, wie Verbindungstypen zu kombinieren sind.

**[0145]** [Fig. 7](#) zeigt eine perspektivische Ansicht eines geometrischen Objekts, das zwei verbundene Gruppen von Baublöcken einschließt. Das geometrische Objekt weist fünf Elemente **701**, **702**, **703**, **704** und **705** auf. In dem Beispiel von [Fig. 7](#) weist das geometrische Objekt zwei Gruppen von Baublöcken auf: Eine erste Gruppe von Baublöcken umfasst Baublöcke **701**, **702** und **703**, während eine zweite Gruppe Baublöcke **704** und **705** einschließt. Die Baublöcke **701** und **704** sind in diesem Beispiel drehbar verbunden, z. B. durch eine wie oben beschriebene einzelne Verbindung von Noppen – Noppengegenstück, oder durch irgendeine andere Art von Verbindung, die keine Rotation der Baublöcke in Bezug zueinander verhindert, z. B. eine Gelenkverbindung, zwei oder mehr Verbindungen von Noppen – Noppengegenstück auf einer gemeinsamen Linie, etc. Daher ist das geometrische Objekt von [Fig. 7](#) ein Beispiel von Baublöcken, die nicht unbedingt an die Positions- und Ausrichtungseinschränkungen gebunden sind, die innerhalb eines geometrischen Objekts gegeben sind. Andere Beispiele solcher Verbindungen schließen Verbindungen zwischen Baublöcken ein, die eine relative Übersetzung der verbundenen Baublöcke zulassen. Folglich müssen solche Gruppen von Baublöcken möglicherweise durch getrennte Koordinatensysteme beschrieben werden, wie es durch die Gittersysteme **706** und **707** beschrieben ist.

**[0146]** [Fig. 8](#) zeigt ein Ablaufdiagramm eines Verfahrens zum Platzieren eines Bauelements als einen Teil eines vom Computer ausgeführten Prozesses zum Erzeugen eines computerlesbaren Modells eines geometrischen Objekts.

**[0147]** In einem Anfangsschritt **801** wird ein Bauelement in einer vorbestimmten Anfangsposition platziert. Das Bauelement ist durch eine wie oben beschriebene Datenstruktur dargestellt, und die Position und Ausrichtung des Bauelements wird durch geeignete Koordinaten beschrieben, die die Position und Ausrichtung des internen Koordinatensystems des Bauelements in Bezug zu einem geeigneten Koordinatensystem, z. B. einem dreidimensionalen rechtgerichteten "Welt-" oder Referenzkoordinatensystem beschreiben.

**[0148]** Folglich erzeugt und hält der Prozess für einen gegebenen Kontext, z. B. eine Szene, ein geometrisches Objekt, oder dergleichen einen Satz von Datenstrukturen, der jeweils einen in diesem Kontext platzierten Baublock darstellt. Platzieren eines neuen Bauelements in diesem Zusammenhang entspricht der Erzeugung eines neuen Falls einer entsprechenden Datenstruktur als ein Teil dieses Satzes von Datenstrukturen.

**[0149]** Die Platzierung des Bauelements kann durch einen Benutzerbefehl verlasst werden, z. B. während eines interaktiven Prozesses zum Bau eines digitalen Modells eines geometrischen Objekts. Zum Beispiel kann ein Computer eine Benutzeroberfläche bereitstellen, die einem Benutzer ermöglicht, verschiedene Bauelemente, z. B. Bauelemente verschiedener Typen, Form, Größe, Farbe, etc. auszuwählen und ein ausgewähltes Bauelement in einer vorbestimmten Position und Ausrichtung in einer dreidimensionalen graphischen Szene zu platzieren, die auf der Anzeige des Computers wiedergegeben wird. Zum Beispiel kann die Benutzeroberfläche Drag und Drop-Operation zum Platzieren des Bauelements sowie Operationen zum Manipulieren, z. B. Drehen, des Bauelements bereitstellen.

**[0150]** In einer Ausführungsform kann die Platzierung des Bauelements z. B. auf getrennte Positionen auf einem vorbestimmten Gitter begrenzt sein, z. B. können in einem System, in dem alle Abstände als Mehrfache einer beliebigen Längeneinheit (LU) gemessen werden, die Gitterpunkte des Referenzgitters um 1 LU voneinander beabstandet sein.

**[0151]** Im Schritt **802** ermittelt der vom Computer umgesetzte Prozess, ob das Bauelement, das in Schritt **801** platziert wurde, sich mit irgendeinem anderen Bauelement überschneidet, das bereits in der Szene vorhanden ist, z. B. vorhergehend durch den Benutzer platzierte Bauelemente. Diese Kollisionsermittlung kann durch ein jegliches geeignetes Kollisionsermittlungsverfahren, vorzugsweise ein Kollisionsermittlungsverfahren ausge-

führt werden, das auf einem Begrenzungsvolumen des Bauelements basiert. Beispiele solcher Algorithmen sind z. B. in David H. Eberly: "3D Game Engine Design", Morgan Kaufmann, 2001 offenbart.

**[0152]** Die Kollisionsermittlung kann dazu führen, dass die Position, in der das Bauelement platziert wurde, bereits durch ein anderes Bauelement besetzt ist. Diese Situation kann durch Ermitteln einer Überschneidung der Begrenzungsvolumen ermittelt werden, die größer als eine vorbestimmte Grenze ist. Wenn eine ungültige Überschneidung ermittelt wird, kann die Platzierung des Bauelements an dieser Position und Ausrichtung abgelehnt werden.

**[0153]** Wenn keine ungültige Überschneidung ermittelt wird, prüft der Prozess in Schritt **803**, ob das neu platzierte Bauelement sich gültig mit einem anderen Bauelement überschneidet. Eine gültige Überschneidung kann zum Beispiel als eine Überschneidung der jeweiligen Begrenzungsvolumen ermittelt werden, die kleiner als eine vorbestimmte Grenze ist.

**[0154]** In der Ausführungsform von **Fig. 1** weist die Darstellung des Bauelements zwei Begrenzungsvolumen auf, ein Begrenzungsvolumen, das die Verbindungselemente (**Fig. 1a**) einschließt, und ein Begrenzungsvolumen, das den Körper des Bauelements, jedoch nicht die Verbindungselemente einschließt (**Fig. 1b**). Der Kollisionsermittlungsschritt kann diese beiden Begrenzungsvolumen zum Ermitteln einer ungültigen Kollision verwenden, wenn sich die Begrenzungsvolumen ohne Verbindungselemente der jeweiligen Bauelemente überlappen. Eine gültige Überlappung wird ermittelt, wenn sich die Begrenzungsvolumen einschließlich der Verbindungselemente überlappen, jedoch nicht die Begrenzungsvolumen ohne Verbindungselemente, oder wenn sich irgendwelche der Oberflächen eines jeglichen der Begrenzungsvolumen überschneiden, die Begrenzungsvolumen sich jedoch nicht überlappen.

**[0155]** Außerdem wird ermittelt, ob die Begrenzungsvolumen so ausgerichtet sind, dass die Achsen ihrer Begrenzungsvolumen dem selben Referenzkoordinatensystem entsprechen.

**[0156]** Wenn keine gültig Kollision ermittelt wird, kann der Prozess gemäß einer jeglichen geeigneten Strategie fortfahren. In einigen Ausführungsform kann es akzeptabel sein, neue Bauelemente in dem Zwischenraum zu platzieren, ohne sie mit jeglichen früheren Bauelementen zu verbinden; in einigen Ausführungsformen kann dies nur akzeptabel sein, wenn kein anderes Bauelement bereits in der Szene vorliegt. In noch anderen Ausführungsformen kann dies abgelehnt werden. Zum Beispiel kann in einer Ausführungsform irgendeine Anfangsszene ohne vom Benutzer platzierten Bauelementen ein Standardbauelement, z. B. eine Trägerplatte mit Verbindungselementen zum Platzieren von Bauelementen auf die Bodenplatte aufweisen.

**[0157]** Wenn eine gültige Kollision zwischen dem neu platzierten Bauelement und einem oder mehreren anderen Bauelementen in Schritt **803** ermittelt wurde, fährt der Prozess bei Schritt **804** fort und prüft, ob das neu platzierte Bauelement gültig mit dem (den) Bauelement(en) verbunden werden kann, mit denen es sich gültig überschneidet. Eine bevorzugte Ausführungsform dieses Unterprozesses der Verbindungsfähigkeitsermittlung soll im Folgenden detaillierter beschrieben werden. Die Verbindungsfähigkeitsermittlung kann zu einer Akzeptierung der Platzierung des Bauelements, wenn es sich gültig mit dem (den) Bauelement(en) verbindet, mit denen es sich überschneidet, oder zu einer Ablehnung führen, wenn es sich nicht gültig mit einem der Bauelemente verbindet, mit denen es sich überschneidet.

**[0158]** Wenn die Platzierung des Bauelements akzeptiert oder abgelehnt wird, kann der Prozess erneut durch eine Benutzeraktion initiiert werden, z. B. durch Neuplatzieren des abgelehnten Bauelements in einer alternativen Position und/oder Ausrichtung, durch Platzierung eines anderen Bauelements in der Szene, oder dergleichen.

**[0159]** **Fig. 9** zeigt ein Ablaufdiagramm des Unterprozesses **804** zum Verbinden eines ersten digitalen Bauelements mit einem anderen, zweiten digitalen Bauelement gemäß einer Ausführungsform der Erfindung. Zum Beispiel kann das erste Bauelement ein neu platzierter Baustein sein und kann das zweite Bauelement eine vorhergehend konstruierte Struktur von Bausteinen sein, wo ein Ermittlungsalgorithmus eine Überschneidung zwischen dem neu platzierten Baustein und dem zweiten Bauelement ermittelt hat.

**[0160]** Im Folgenden wird angenommen, dass die Bauelemente in ihren Anfangspositionen so ausgerichtet sind, dass Hauptachsen ihrer Begrenzungsvolumen x-, y- und z-Achsen eines rechtsgerichteten orthogonalen Weltkoordinatensystems entsprechen.

**[0161]** In dieser Ausführungsform wird weiter angenommen, dass den Bauelementen eine Anzahl vorbe-

stimmter Regeln für Platzierungen von Verbindungselementen auferlegt wird, obwohl sich Verbindungselemente selbst in Beschaffenheit und Form unterscheiden können.

**[0162]** Die Annahmen für die Platzierung von Verbindungselementen sind:

Für jedes Bauelement entsprechen die Achsen aller Verbindungselemente in der gleichen horizontalen Ebene Segmenten eines orthogonalen Gitters mit festem Abstand zwischen benachbarten Segmenten.

**[0163]** Der Abstand zwischen Achsen von Verbindungselementen in horizontalen und vertikalen Ebenen muss nicht der gleiche sein.

**[0164]** Im Anfangsschritt **902** werden alle Verbindungspunkte des ersten Bauelements und des zweiten Bauelements betrachtet, die zu der ermittelten Überschneidung gehören. Nur diese Verbindungspunkte, die noch nicht bereits verbunden sind, müssen berücksichtigt werden; diese Verbindungspunkte werden als die relevanten Verbindungspunkte bezeichnet werden.

**[0165]** In Schritt **903** wird ein erster relevanter Verbindungspunkt des ersten Bauelements ausgewählt. Dies kann ein beliebig gewählter Verbindungspunkt, ein durch den Benutzer ausgewählter Verbindungspunkt, oder dergleichen sein.

**[0166]** In Schritt **904** prüft der Prozess für den ausgewählten Verbindungspunkt des ersten Bauelements, ob es irgendwelche relevanten Verbindungspunkte des zweiten Bauelements mit den gleichen Koordinaten wie der ausgewählte Verbindungspunkt gibt. In einer Ausführungsform, bei der die Bauelemente in einem getrennten Volumenreferenzgitter platziert werden und alle Koordinaten Mehrfache einer beliebigen Längeneinheit sind, kann eine genaue Übereinstimmung von Koordinaten erforderlich sein. In einem kontinuierlichen oder quasi-kontinuierlichen Referenzkoordinatensystem kann es erforderlich sein, dass die Gitterpunkte innerhalb vorbestimmter Grenzen übereinstimmen.

**[0167]** Wenn kein solcher übereinstimmender Verbindungspunkt gefunden wird, fährt der Prozess bei Schritt **914** fort.

**[0168]** In Schritt **914** wird ermittelt, ob es irgendwelche anderen der relevanten Verbindungspunkte innerhalb einer vorbestimmten Nachbarschaft des ausgewählten Verbindungspunkts gibt. In der Ausführungsform von [Fig. 9](#) entspricht die vorbestimmte Nachbarschaft einem Würfel ( $x \pm 5LU$ ,  $y \pm 5LU$ ,  $z \pm 5LU$ ) um den ausgewählten Verbindungspunkt bei  $(x, y, z)$  herum, da in dieser Ausführungsform der Abstand zwischen zwei benachbarten Verbindungselementen **10** LU beträgt. Wenn irgendwelche anderen der relevanten Verbindungspunkte innerhalb einer vorbestimmten Nachbarschaft des ausgewählten Verbindungspunkts vorliegen, wird Verbindung der zwei Bauelemente abgelehnt (Schritt **911**) und der Algorithmus endet. Da die Verbindungspunkte in dieser Ausführungsform auf einem gleichmäßigen Gitter platziert werden, kann daher eine ungültige Platzierung des Bauelements effizient ermittelt werden: Wenn eine Fehlanpassung mit einem relevanten Verbindungspunkt des zweiten Bauelements für einen der relevanten Verbindungspunkte des ersten Bauelements gefunden wird, brauchen die verbleibenden Verbindungspunkte des ersten Bauelements nicht geprüft werden, wodurch die Geschwindigkeit des Ermittlungsprozesses erhöht wird. Der obige Test stellt sicher, dass eine wie in [Fig. 2d](#) angezeigte Verbindung abgelehnt wird, da der dem Noppen **239** entsprechende Verbindungspunkt in Bezug zu dem gleichmäßigen Gitter falsch platziert ist. Es wird festgestellt, dass in dem Beispiel von [Fig. 2d](#) der Verbindungspunkt **243** keinen Konflikt verursachen würde, da er aufgrund des geringfügigen Unterschieds in der Höhe nicht zu der Überschneidung von Begrenzungsvolumen gehört, d. h. es liegt kein Kontakt zwischen Baustein **241** und **236** vor.

**[0169]** Wenn in Schritt **914** kein widersprüchlicher relevanter Verbindungspunkt gefunden wird, fährt der Prozess bei Schritt **909** fort.

**[0170]** Wenn ein übereinstimmender Verbindungspunkt in Schritt **904** gefunden wurde, fährt der Prozess bei Schritt **905** fort, wo ermittelt wird, ob irgendwelche anderen relevanten Verbindungspunkte innerhalb einer vorbestimmten Nachbarschaft des ausgewählten Verbindungspunkts, in dieser Ausführungsform in einem Würfel ( $x \pm 5LU$ ,  $y \pm 5LU$ ,  $z \pm 5LU$ ) um den ausgewählten Verbindungspunkt bei  $(x, y, z)$  wie oben beschrieben vorliegen. Wenn ein anderer Verbindungspunkt in der vorbestimmten Nachbarschaft gefunden wird, wird die Position abgelehnt (Schritt **911**). Ansonsten fährt der Prozess bei Schritt **906** fort.

**[0171]** In alternativen Ausführungsformen ist die obige Beschränkung möglicherweise nicht erwünscht. Außerdem kann in noch einer anderen Ausführungsform die obige Beschränkung auf bestimmte Verbindungstypen

pen, z. B. in dem obigen Beispiel alle anderen Verbindungstypen außer "unbesetzt" begrenzt sein.

**[0172]** In Schritt **906** ermittelt der Prozess, ob der ausgewählte Verbindungspunkt und der ermittelte übereinstimmende Verbindungspunkt entgegengesetzte Richtungen aufweisen, d. h., wenn ihre zugehörigen Richtungen entlang einer gemeinsamen Linie, jedoch in entgegengesetzter Ausrichtung verlaufen. Daher werden nur Verbindungselemente akzeptiert, die in einer relativen Ausrichtung positioniert sind, welche für Eingriff derselben geeignet ist.

**[0173]** Es wird festgestellt, dass in alternativen Ausführungsformen diese Begrenzung z. B. durch Akzeptieren eines Bereichs von Ausrichtungen in den Ausführungsformen gelockert werden kann, in denen die Verbindungselemente einen Bereich von Ausrichtungen akzeptieren.

**[0174]** Wenn die relative Ausrichtung der Verbindungspunkte akzeptiert wird, fährt der Prozess bei Schritt **907** fort, ansonsten wird die Position abgelehnt (Schritt **911**).

**[0175]** In Schritt **907** werden die Verbindungstypen des ausgewählten Verbindungspunkts und des entsprechenden ermittelten übereinstimmenden Verbindungspunkts durch Abrufen der Verbindungsfähigkeitsregel des entsprechenden Paares von Verbindungstypen aus einer gespeicherten Verbindungstabelle **913**, z. B. einer Verbindungstabelle gemäß der obigen Tabelle 1 verglichen. In dieser Ausführungsform kann die Verbindungsfähigkeit wahr, falsch, oder unbesetzt sein, wie in Verbindung mit Tabelle 1 beschrieben ist.

**[0176]** In dem nachfolgenden Schritt **908** wird geprüft, ob das Verbindungsfähigkeitsergebnis "falsch" ist, d. h. keine gültige Verbindung ist zwischen den entsprechenden Verbindungstypen möglich. Wenn das Verbindungsfähigkeitsergebnis "falsch" ist, wird die Position des ersten Bauelements abgelehnt (Schritt **911**), ansonsten wird das Verbindungsfähigkeitsergebnis gespeichert und der Prozess schreitet zu Schritt **909** fort.

**[0177]** In Schritt **909** wird geprüft, ob alle relevanten Verbindungspunkte des ersten Bauelements verarbeitet worden sind. Wenn nicht, wird ein noch unverarbeiteter relevanter Verbindungspunkt ausgewählt (Schritt **912**) und durch Ausführen der obigen Schritte **904**, **905**, **906**, **907** und **908** mit dem jetzt ausgewählten Verbindungspunkt verarbeitet.

**[0178]** Wenn alle relevanten Verbindungspunkte des ersten Bauelements verarbeitet wurden und die Position nicht abgelehnt wurde, wird die Position akzeptiert und der Prozess fährt bei Schritt **910** fort. In Schritt **910** wird basierend auf den gespeicherten Verbindungsfähigkeitsergebnissen bestimmt, wie sich die Bauelemente verbinden, und ihre jeweiligen Datenstrukturen werden dementsprechend aktualisiert. Dies soll detaillierter in Verbindung mit [Fig. 10](#) beschrieben werden. Wenn die Datenstrukturen aktualisiert worden sind, endet der Unterprozess und kehrt zum Gesamtprozess von [Fig. 8](#) zurück.

**[0179]** [Fig. 10](#) zeigt ein Ablaufdiagramm einer Ausführungsform des Unterprozesses **910** zum Aktualisieren der Datenstrukturen, die das verbundene Bauelement darstellen. Die Aktualisierung basiert auf den Verbindungsfähigkeitsergebnissen, die für alle relevanten Verbindungspunkte der Überschneidung der Begrenzungsvolumen des ersten und zweiten Bauelements bestimmt wurden.

**[0180]** Zuerst wird in Schritt **1001** geprüft, ob alle Verbindungsfähigkeitsergebnisse "unbesetzt" sind. Wenn ja, d. h. nichts verhindert eine Position des Bauelements, aber keines der Verbindungselements kommt tatsächlich in Eingriff, um die Bauelemente zu verbinden, wird das neue Bauelement in seiner aktuellen Position zugelassen.

**[0181]** Abhängig von der Anwendung kann die Datenstruktur des ersten und zweiten Bauelements aktualisiert werden. Da die Bauelemente nicht tatsächlich verbunden sind, sollte das erste Bauelement vorzugsweise nicht mit dem zweiten Bauelement zu einem kombinierten Bauelement kombiniert werden, das ein kombiniertes Begrenzungsvolumen hat, etc.

**[0182]** In einer Ausführungsform kann ein zusätzlicher Algorithmus z. B. basierend auf den Begrenzungsvolumen entscheiden, ob ein in dieser Position platzierter physikalischer Baublock herunterfallen, kippen würde, etc., und die Position dementsprechend erlauben oder ablehnen.

**[0183]** Anderenfalls, d. h. wenn eines oder mehrere Verbindungsfähigkeitsergebnisse wahr sind, fährt der Prozess bei Schritt **1002** fort, wo der Prozess bestimmt, wie die Bauelemente verbunden werden, d. h., ob sie starr verbunden werden oder ob die Verbindung eine Relativdrehung, Übersetzung und/oder dergleichen zu-

lässt.

**[0184]** Wenn in der Ausführungsform der [Fig. 1a–e](#) genau ein Verbindungsergebnis wahr ist und alle anderen unbesetzt sind, kann eine Drehung und/oder Übersetzung abhängig von den Verbindungstypen möglich sein. Wenn darüber hinaus mehr als ein Verbindungsergebnis wahr ist und die entsprechenden Verbindungspunkte alle auf einer gemeinsamen Linie liegen, kann eine Drehung und/oder Übersetzung möglich sein.

**[0185]** Wenn eine nicht starre Verbindung ermittelt wird, fährt der Prozess bei Schritt **1005** fort, wo das erste und zweite Bauelement jeweiligen Gruppen zugeordnet werden, die jeweils ihr entsprechendes Referenzkoordinatensystem, entsprechende Begrenzungsvolumen, etc. aufweisen, wodurch Modellierung verschiedener Relativpositionen und/oder Ausrichtungen der Gruppen von Bauelementen zugelassen wird. Ein Beispiel einer solchen Situation wurde in Verbindung mit [Fig. 7](#) oben dargestellt.

**[0186]** Daher kann eine verbundene Struktur von Bauelementen durch eine Datenstruktur beschrieben werden, die eine Anzahl von Gruppen von Bauelementen aufweist. Eine Gruppe ist eine Struktur, in der alle Bauelemente starr in einer solchen Art verbunden sind, dass alle Verbindungspunkte aller Bauelemente Gitterpunkte des selben orthogonalen Gitters sind. Jede Gruppe von Bauelementen schließt ein oder mehr Bauelemente ein, wobei die Gruppe ein gemeinsames orthogonales Koordinatensystem (Gitter), ein Begrenzungsvolumen und Verbindungsfähigkeitsgitter der Bauelemente dieser Gruppe bestimmt.

**[0187]** Wenn in Schritt **1002** eine starre Verbindung ermittelt wurde, fährt der Prozess bei Schritt **1003** fort. Wie in Verbindung mit [Fig. 6](#) oben beschrieben wurde, können einer oder mehrere der Verbindungsfähigkeitspunkte des ersten und zweiten Bauelements ihren Verbindungsfähigkeitstyp aufgrund der Verbindung ändern. Daher werden in Schritt **1003** diejenigen Verbindungspunkte des ersten und zweiten Bauelements ermittelt, die die selbe Position und die selbe Richtung aufweisen. Für diese kombinierten Verbindungspunkte wird ein resultierender Verbindungstyp in einer gespeicherten Kombinationstabelle **1006** nachgeschlagen, wie in Verbindung mit der oben aufgeführten Tabelle 2 beschrieben wurde.

**[0188]** Schließlich wird in Schritt **1004** die Datenstruktur des zweiten Bauelements mit der Information von dem ersten Bauelement aktualisiert, d. h. das Begrenzungsvolumen des zweiten Bauelements wird aktualisiert, um eine Vereinigung der Begrenzungsvolumen des ersten und zweiten Bauelements zu sein, die Verbindungsfähigkeitsgitter werden aktualisiert, um auch die Verbindungsfähigkeitspunkte des ersten Bauelements einzuschließen, etc.

**[0189]** Durch Wiederholen des Prozesses der [Fig. 8](#), [Fig. 9](#) und [Fig. 10](#) kann eine Vielzahl von Bauelementen zum Bilden eines digitalen Modells eines geometrischen Objekts kombiniert werden. Daher ist im Vorhergehenden ein Verfahren zum Erzeugen eines digitalen Modells eines geometrischen Objekts offenbart worden.

**[0190]** Es wird verstanden werden, dass eine Fachperson innerhalb des Umfangs der Erfindung Variationen des obigen Verfahrens umsetzen kann. Zum Beispiel kann die Reihenfolge einiger der obigen Schritte geändert werden, Schritte können kombiniert werden, etc.

**[0191]** Außerdem kann die Ablehnung einer Position eines neuen Bauelements aufgrund einer ungenauen Platzierung, z. B., da kein Verbindungspunkt an der selben Position gefunden wird oder da die Verbindungspunkte nicht genau entgegengesetzte Richtungen aufweisen, zu einer weiteren Verarbeitung anstatt einer einfachen Ablehnung führen: In einer Ausführungsform können hypothetische benachbarte Positionen oder kleine Verschiebungen analysiert werden zur Entscheidung, ob eine akzeptable Position erreicht werden kann. Dies kann dazu führen, dass das Bauelement innerhalb vorbestimmter Grenzen in die dichteste Position einschnappt, die eine akzeptable Position bereitstellt.

**[0192]** Außerdem können zusätzliche Einschränkungen auferlegt werden oder können andere Einschränkungen gelockert werden, um ein Modellierungssystem mit einem größeren oder kleineren Ausmaß von Freiheit und somit Komplexität zu schaffen.

**[0193]** Wenn ein Bauelement aus einer Struktur entfernt wird, z. B. als Reaktion auf einen entsprechenden Benutzerbefehl, wird seine Datenstruktur aus der kombinierten Datenstruktur entfernt. In einer Ausführungsform kann dies durch Neuberechnung der kombinierten Datenstruktur der verbleibenden Bauelemente erfolgen.

**[0194]** [Fig. 11](#) zeigt ein Datenverarbeitungssystem zum Erzeugen von computerlesbaren Modellen geomet-

rischer Objekte gemäß einer Ausführungsform der Erfindung.

**[0195]** Das mit **1101** bezeichnete Computersystem wird ausgelegt, um Entwerfen, Speichern, Manipulieren und Teilen von geometrischen Konstruktionen gemäß der Erfindung zu vereinfachen. Das Computersystem **1101** kann als ein alleinstehendes System oder als ein Client in einem Client/Server-System verwendet werden. Der Computer weist einen Speicher **1102** auf, der teilweise als ein flüchtiges und ein nichtflüchtiges Speichermittel realisiert ist, z. B. eine Festplatte und ein Direktzugriffsspeicher (RAM). Der Speicher weist einen Modellcodeinterpretierer **1107**, Modellcodegenerator **1108**, eine Benutzeroberflächen-Ereignisbehandlungsroutine **1109** und eine Modellieranwendung **1110** auf, die durch die zentrale Verarbeitungseinheit **1103** ausführbar ist. Ferner weist der Speicher Modelldaten **1111** auf.

**[0196]** Der Codeinterpretierer **1107** ist zum Lesen und Interpretieren eines Codes ausgelegt, der ein Modell gemäß der Erfindung definiert, d. h. einen Code, der die Datenstrukturen der Bauelemente eines Modells darstellt. In einer bevorzugten Ausführungsform ist der Codeinterpretierer zum Lesen eines erfindungsgemäßen Modells und zum Konvertieren eines solchen Modells in ein bekanntes Graphikformat zur Präsentation auf einer Computeranzeige ausgelegt. Basierend auf den oben zum Darstellen eines Modells eines Objekts beschriebenen Datenstrukturen, kann diese Konvertierung durch eine Fachperson in diesem Gebiet durch Anwendung gut bekannter graphischer Prinzipien realisiert werden, die im Gebiet graphischer Berechnung bekannt sind.

**[0197]** Die Benutzeroberflächen-Ereignisbehandlungsroutine **1109** ist ausgelegt, um eine Interaktion eines Benutzers mit einer Benutzeroberfläche in richtige Benutzerbefehle zu konvertieren, die durch den Codegenerator **1108** erkennbar sind. Ein Satz möglicher und erkennbarer Befehle kann umfassen: Erhalten eines Bauelements aus einer Elementbibliothek, Platzieren eines Bauelements, das mit einem anderen Bauelement zu verbinden ist, Lösen eines Bauelements, Ausrangieren eines Bauelements, Manipulieren eines Bauelements, einer Gruppe von Bauelementen, etc., z. B. durch Initiieren einer Drehung, etc. Jedem Befehl kann ein Satz entsprechender Parameter zugeordnet sein, z. B. Koordinaten, Typen von Bauelementen, etc.

**[0198]** Der Codegenerator **1108** ist zum Modifizieren der Datenstrukturen, die ein wie oben beschriebenes aktuelles Modell gemäß der Erfindung beschreiben, als Reaktion auf Befehle eines Benutzers ausgelegt. Als eine gleichzeitige oder anschließende Aufgabe kann der Codeinterpretierer zum Präsentieren des Ergebnisses des Codegenerators ausgeführt werden.

**[0199]** Die Modellieranwendung **1110** ist zum Steuern von Speicher, Dateien, der Benutzeroberfläche, etc. ausgelegt.

**[0200]** Ein Benutzer **1105** kann mit dem Computersystem **1101** mittels der Benutzeroberfläche **1106** interagieren.

**[0201]** Zum Laden von Modellen, geometrischen Beschreibungen oder anderer Daten weist das Computersystem eine Ein-/Ausgabeeinheit (E/A) auf. Die Ein-/Ausgabeeinheit kann als eine Schnittstelle für verschiedene Typen von Speichermedien und verschiedene Typen von Computernetzen verwendet werden, z. B. das Internet. Ferner kann die Ein-/Ausgabeeinheit (E/A) **1104** zum Austauschen von Modellen mit anderen Benutzern, z. B. interaktiv verwendet werden.

**[0202]** Datenaustausch zwischen dem Speicher **1102**, der zentralen Verarbeitungseinheit (CPU) **1103**, der Benutzeroberfläche (UI) **1106** und der Ein-/Ausgabeeinheit **1104** wird mittels des Datenbusses **1112** erreicht.

**[0203]** [Fig. 12a](#) zeigt eine Seitenansicht eines Baublocks, z. B. des Baublocks **202** von [Fig. 2a](#) mit einer geneigten Oberfläche und entsprechenden Begrenzungsvolumen gemäß einer ersten Ausführungsform der Erfindung. Der Baublock **202** umfasst eine geneigte Oberfläche **204** und Noppen **1201** auf der Oberseite des Baublocks. Diesem Beispiel zufolge, weist die Darstellung des Baublocks **202** eine Hierarchie von Begrenzungsvolumen auf. Ein erstes Begrenzungsvolumen **1202** weist eine geneigte Oberfläche auf, während ein zweites Begrenzungsvolumen **1203** einen Kasten mit Seiten darstellt, die orthogonal zueinander sind. Diesem Beispiel zufolge, werden zwei Baublöcke nur als in Kontakt stehend ermittelt, wenn das Begrenzungsvolumen **1202** eine Überschneidung mit einem entsprechenden Begrenzungsvolumen eines anderen Baublocks aufweist. Das Begrenzungsvolumen **1202** kann für eine anfängliche effiziente Ermittlung möglicherweise verbundener Baublöcke verwendet werden. Es wird verstanden werden, dass die Darstellung des Baublocks **202** zusätzliche Begrenzungsvolumen aufweisen kann, wie zum Beispiel Begrenzungsvolumen, die wie in Verbindung mit den [Fig. 1a–b](#) beschriebene Verbindungselemente einschließen.

[0204] [Fig. 12b](#) zeigt eine Seitenansicht des Baublocks **202** mit einer geneigten Oberfläche und die entsprechenden Begrenzungsvolumen gemäß einer zweiten Ausführungsform der Erfindung. Wie in dem obigen Beispiel weist die Darstellung des Baublocks **202** eine Hierarchie von Begrenzungsvolumen auf. Diesem Beispiel zufolge, weist die Darstellung jedoch anstelle eines Begrenzungsvolumens mit einer geneigten Oberfläche ein Begrenzungsvolumen **1204** mit einer stufenfunktionsartigen Form auf, wodurch eine Annäherung einer geneigten Oberfläche geliefert wird.

[0205] Das obige Verfahren und System können in Verbindung mit einer Computeranwendung zum Entwerfen physikalischer Modelle, z. B. einer Computeranwendung angewendet werden, die das Verbindungsverhalten eines entsprechenden Satzes physikalischer Bauelemente simuliert. Zum Beispiel kann ein physikalischer Spielzeugbausatz durch eine digitale Version dieses Bausatzes ergänzt werden, wodurch einem Benutzer, z. B. einem Kind ermöglicht wird, digitale Modelle zu entwerfen, ohne die Anzahl verfügbarer Bauelemente, etc. zu begrenzen, wodurch eine interessante Spielerfahrung bereitgestellt wird. Es ist ein Vorteil der Erfindung, dass sie ein Verfahren und System schafft, die realistische Modellierung selbst komplexer Verbindungsfähigkeitseigenschaften eines physikalischen Bausatzes ermöglichen und gleichzeitig einen effizienten Modellierungsprozess bereitstellen. Folglich erlebt ein Benutzer einen interaktiven digitalen Bauprozess, ohne auf eine Bestimmung durch den Computer warten zu müssen, ob eine vorgeschlagene Position eines Bauelements den Verbindungsregeln des Bausatzes entspricht.

[0206] Das Verfahren kann ferner zum Analysieren von Eigenschaften eines entworfenen Modells, zum Erzeugen von Bauanweisungen, oder dergleichen angewendet werden. Allgemein kann das Verfahren in der Computerspielindustrie und allen anderen Bereichen von Computergraphik angewendet werden, wo vorbestimmte 3D-Elemente gemäß einer Vielzahl von Verbindungsregeln zusammengesetzt werden müssen.

### Patentansprüche

1. Verfahren zum Erzeugen eines computerlesbaren Modells eines geometrischen Objekts (**231**), das aus einer Mehrzahl miteinander verbindbarer Bauelemente aufgebaut ist, wobei jedes Bauelement (**232**, **233**, **234**, **235**) eine Anzahl von Verbindungselementen zum Verbinden des Bauelements mit einem anderen Bauelement aufweist, wobei das Verfahren umfasst:

Codieren eines ersten und eines zweiten der Mehrzahl von Bauelementen als entsprechende erste und zweite Datenstrukturen, die jeweils die Verbindungselemente (**307x**) des entsprechenden Bauelements darstellen, und wobei mit jedem der Bauelemente einer einer Mehrzahl vorbestimmter Verbindungstypen verknüpft ist; Bestimmen eines ersten Verbindungselements (**238**) des ersten Bauelements und eines zweiten Verbindungselements (**242**) des zweiten Bauelements, die in einer vorbestimmten Nähe zueinander angeordnet sind; und Abrufen von Verbindungsfähigkeitsinformationen der entsprechenden Verbindungstypen des ersten und zweiten Verbindungselements, die anzeigen, ob das erste und zweite Verbindungselement eine Verbindung zwischen dem ersten und zweiten Bauelement bereitstellen.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Verfahren ferner aufweist, eine Verbindungstabelle zu liefern, die Verbindungsfähigkeitsinformationen von Paaren der Verbindungstypen enthält; und der Schritt zum Abrufen von Verbindungsfähigkeitsinformationen aufweist, die Verbindungsfähigkeitsinformationen aus der Verbindungstabelle abzurufen.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass das Verfahren weiter umfasst:

- Bereitstellen einer Kombinationstabelle, die einen resultierenden Verbindungstyp für jedes eines vorbestimmten Satzes von Verbindungstypenpaaren enthält;
- Bestimmen eines ersten und zweiten Verbindungselements, die in einem vorbestimmten geometrischen Verhältnis zueinander positioniert sind;
- Abrufen eines resultierenden Verbindungstyps des ersten und zweiten Verbindungselements aus der Kombinationstabelle; und
- Zuordnen des abgerufenen resultierenden Verbindungstyps zu mindestens einem resultierenden Verbindungselement.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass die jeweiligen Datenstrukturen weiter eine Anzahl von Gittern in Bezug zu dem entsprechenden Bauelement darstellen, wobei jedes Gitter eine Anzahl von Gitterpunkten aufweist; und jedes der Verbindungselemente des Bauelements mit einem der Gitterpunkt verknüpft ist und einen entsprechenden Verbindungstyp aufweist.

5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass jedes der Gitter mindestens eine Gitterkante

aufweist und das Verfahren ferner umfasst:

- Bereitstellen einer Kombinationstabelle, die einen resultierenden Verbindungstyp für jedes Paar von Verbindungstypen enthält;
- Ermitteln, ob ein erstes Gitter des ersten Bauelements in einer Erstreckung Kante an Kante eines zweiten Gitters des zweiten Bauelements platziert ist, wobei eine erste Kante des ersten Gitters mit einer zweiten Kante des zweiten Gitters ausgerichtet ist;
- Identifizieren, für ein erstes Verbindungselement des ersten Gitters, eines entsprechenden zweiten Verbindungselements des zweiten Gitters;
- Abrufen eines resultierenden Verbindungstyps einer Kombination des ersten und zweiten Verbindungselements aus der Kombinationstabelle; und
- Zuordnen des abgerufenen resultierenden Verbindungstyps zu dem ersten und zweiten Verbindungselement.

6. Verfahren nach Anspruch 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, dass jede der jeweiligen Datenstrukturen weiter ein Begrenzungsvolumen des entsprechenden Bauelements darstellt, und jedes der Gitter einer Oberfläche des Begrenzungsvolumens entspricht.

7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass das Verfahren ferner umfasst: Codieren jeweiliger Positionen des ersten und zweiten Bauelements in Bezug zu einem gemeinsamen Volumenreferenzgitter, wobei das erste und zweite Gitter der entsprechenden ersten und zweiten Bauelemente jeweiligen ersten und zweiten Ebenen des Volumenreferenzgitters entsprechen; und die Gitterpunkte des ersten und zweiten Gitters jeweiligen Referenzgitterpunkten des Volumenreferenzgitters entsprechen; und Ermitteln, ob das erste und zweite Gitter einer gemeinsamen Ebene des Volumenreferenzgitters entsprechen und ob sich mindestens ein erster Gitterpunkt des ersten Gitters in dem gleichen Referenzgitterpunkt wie ein zweiter Gitterpunkt des zweiten Gitters befindet.

8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass das Verfahren ferner umfasst: Identifizieren aller Paare übereinstimmender Gitterpunkte des ersten Gitters und des zweiten Gitters; Abrufen von Verbindungsfähigkeitsinformationen aus der Verbindungsfähigkeitstabelle für jedes der identifizierten Paare von Gitterpunkten; Ablehnen von Verbindung zwischen dem ersten und zweiten Bauelement, wenn mindestens ein Paar von Gitterpunkten einer ungültigen Verbindung entspricht; ansonsten Akzeptieren der Verbindung zwischen dem ersten und zweiten Bauelement, wenn mindestens ein Paar von Gitterpunkten einer gültigen Verbindung entspricht.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass jedes der Verbindungselemente weiter eine zugehörige Richtung aufweist.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Verbindungsfähigkeitssinformationen einen Indikator für jedes Paar von Verbindungstypen aufweisen, der einen einer vorbestimmten Gruppe von Verbindungsfähigkeitstypen anzeigt, wobei die Gruppe aus einer gültigen Verbindung, die eine Verbindung zwischen einem entsprechenden Paar von Verbindungselementen liefert, einer ungültigen Verbindung, die eine Verbindung zwischen einem entsprechenden Paar von Verbindungselementen verhindert, und einer neutralen Verbindung besteht.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass der Schritt zum Bestimmen eines ersten Verbindungselements des ersten Bauelements und eines zweiten Verbindungselements des zweiten Bauelements, die in einer vorbestimmten Nähe zueinander angeordnet ist, ferner umfasst, das erste und zweite Verbindungselement aus einem vorbestimmten Untersatz von Verbindungselementen zu bestimmen.

12. Verfahren nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass die jeweiligen Datenstrukturen ferner ein Begrenzungsvolumen des entsprechenden Bauelements darstellen; das Verfahren weiter umfasst, eine Überschneidung der Begrenzungsvolumen des ersten und zweiten Bauelements zu ermitteln; und der Schritt zum Bestimmen des ersten und zweiten Verbindungselements aus einem vorbestimmten Untersatz von Verbindungselementen umfasst, das erste und zweite Verbindungselement aus Verbindungselementen zu bestimmen, die in den bestimmten Überschneidungen enthalten sind.

13. Datenverarbeitungssystem (**1101**), aufweisend: Mittel zum Erzeugen einer computerlesbaren Modells eines geometrischen Objekts (**231**), das aus einer Mehr-

zahl miteinander verbundener Bauelemente aufgebaut wird, wobei jedes Bauelement (**232, 233, 234, 235**) eine Anzahl von Verbindungselementen zum Verbinden des Bauelements mit einem anderen Bauelement aufweist;

Mittel zum Codieren eines ersten und eines zweiten der Mehrzahl von Bauelementen als entsprechende erste und zweite Datenstrukturen, die jeweils Verbindungselemente (**301x**) des entsprechenden Bauelements darstellen, und mit jedem der Verbindungselemente eine Mehrzahl vorbestimmter Verbindungstypen verknüpft ist;

Mittel zum Bestimmen eines ersten Verbindungselements (**238**) des ersten Bauelements und eines zweiten Verbindungselements (**242**) des zweiten Bauelements, die in einer vorbestimmten Nähe voneinander angeordnet sind; und

Mittel zum Abrufen von Verbindungsfähigkeitsinformationen der entsprechenden Verbindungstypen des ersten und zweiten Verbindungselements, die anzeigen, ob das erste und zweite Verbindungselement eine Verbindung zwischen dem ersten und zweiten Bauelement bereitstellen.

14. Datenverarbeitungssystem nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass das Datenverarbeitungssystem weiter Speichermittel zum Speichern einer Verbindungstabelle aufweist, die Verbindungsfähigkeitsinformationen von Paaren der Verbindungstypen enthält.

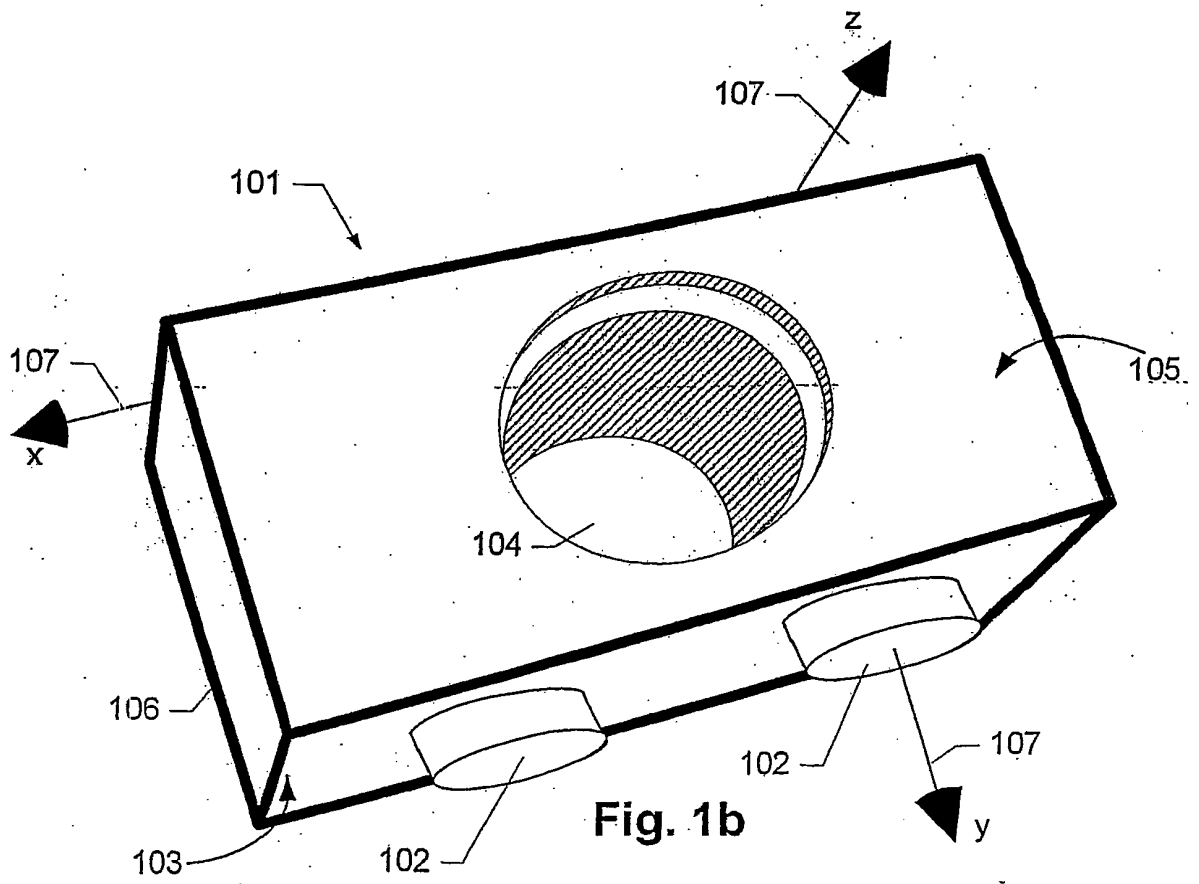
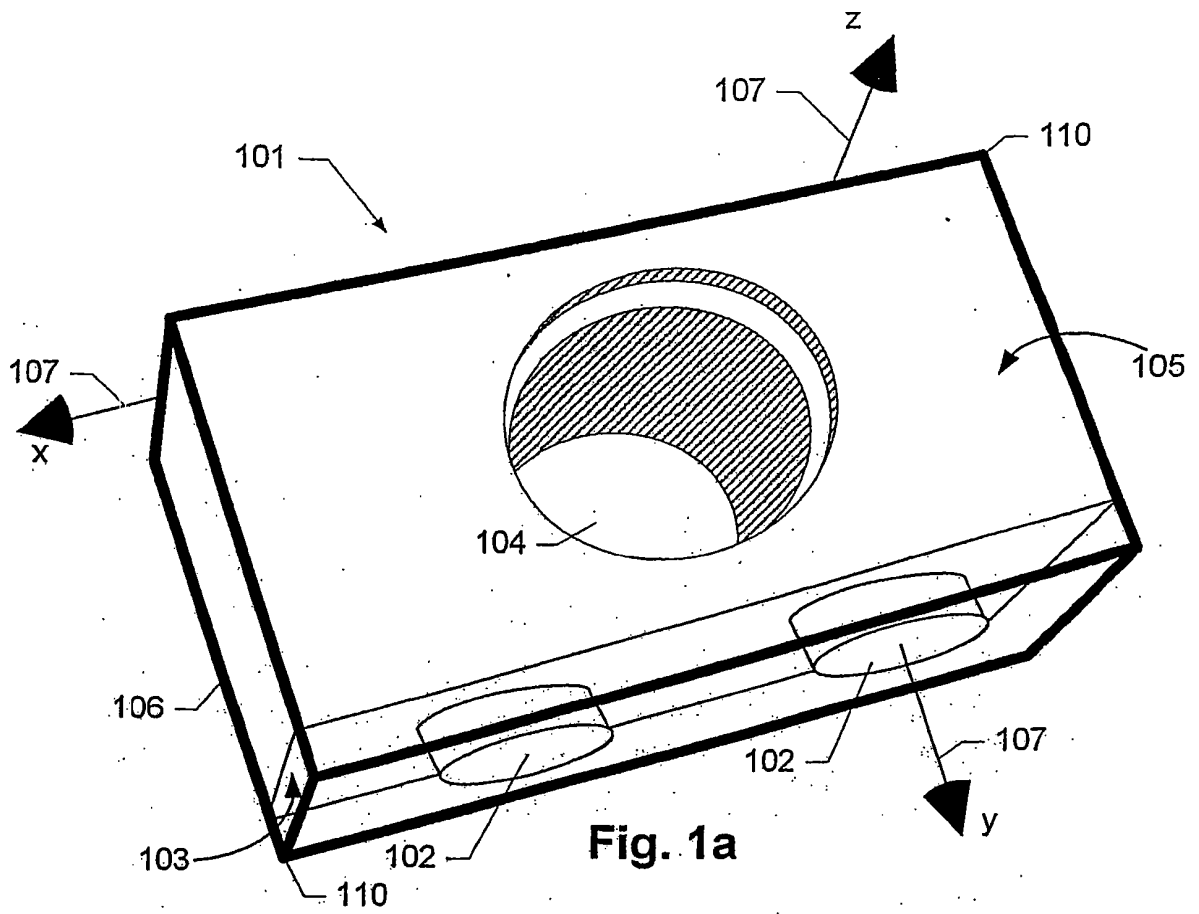
15. Datenverarbeitungssystem nach Anspruch 13 oder 14, dadurch gekennzeichnet, dass das Datenverarbeitungssystem weiter Speichermittel zum Speichern einer Kombinationstabelle aufweist, die einen resultierenden Verbindungstyp für jedes eines vorbestimmten Satzes von Verbindungstypenpaaren enthält.

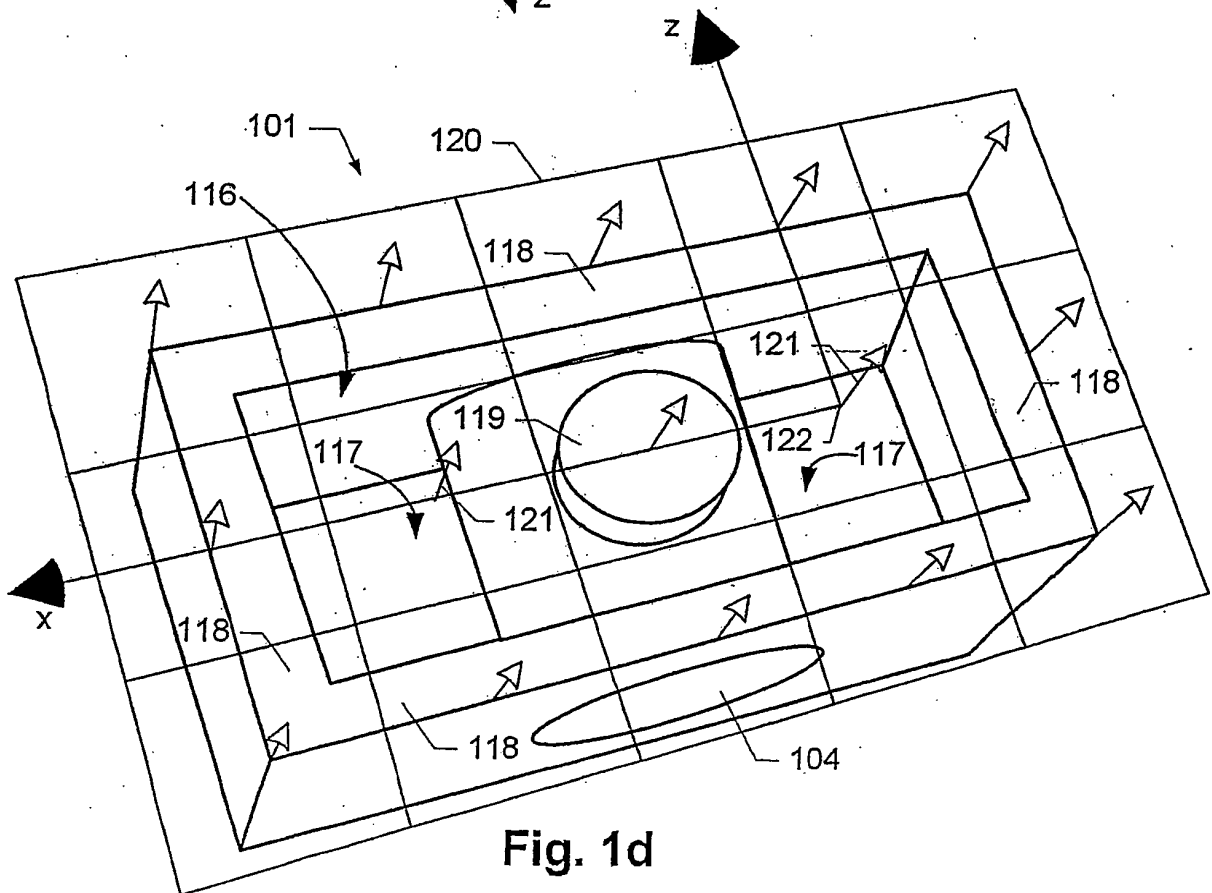
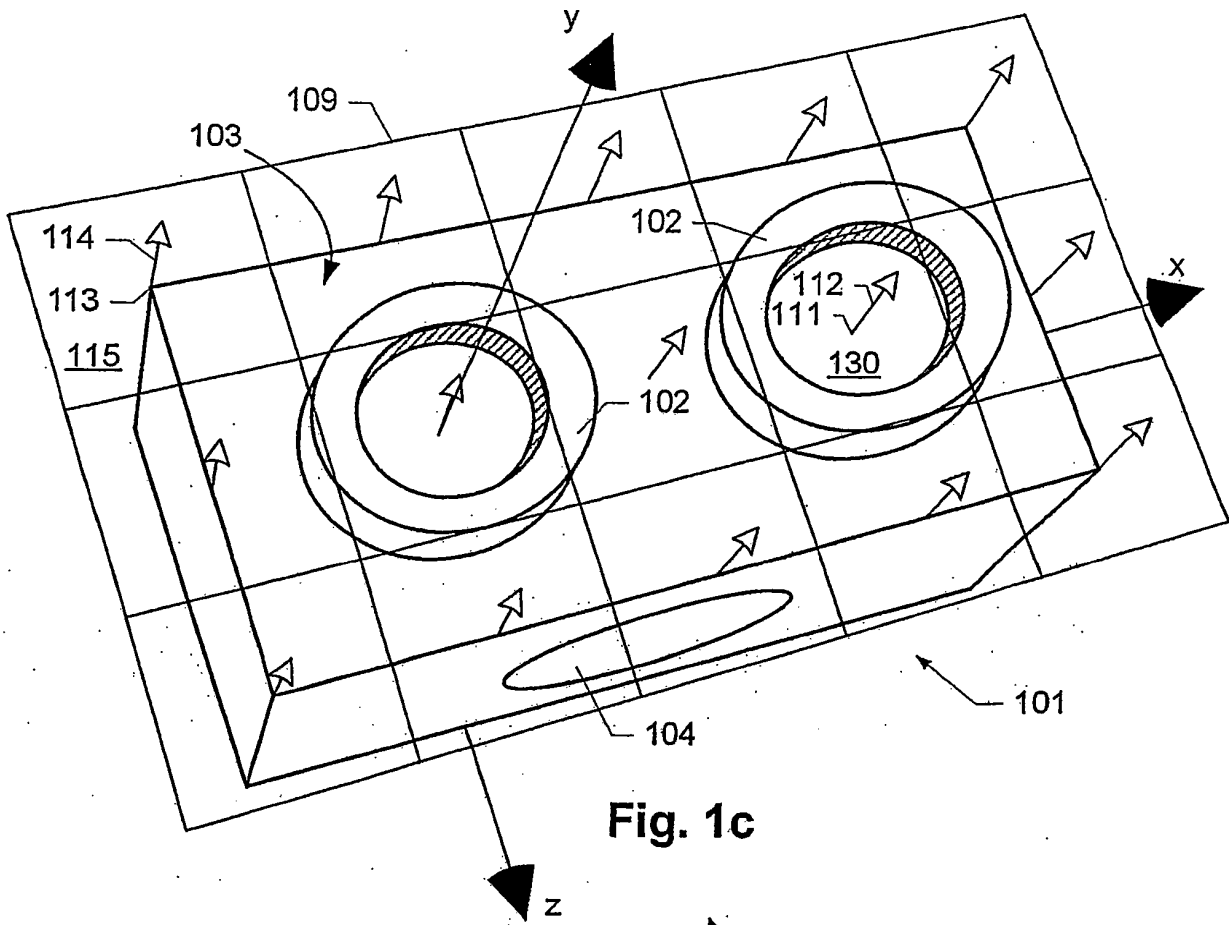
16. Computerprogramm, das Programmcodemittel zum Ausführen aller der Schritte eines jeglichen der Ansprüche 1 bis 12 aufweist; wenn man das Programm auf einem Computer laufen lässt.

17. Computerprogrammprodukt, das Programmcodemittel aufweist, die auf einem computerlesbaren Medium zum Ausführen des Verfahrens eines jeglichen der Ansprüche 1 bis 12 gespeichert sind, wenn man das Computerprogramm auf einem Computer laufen lässt.

Es folgen 10 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen





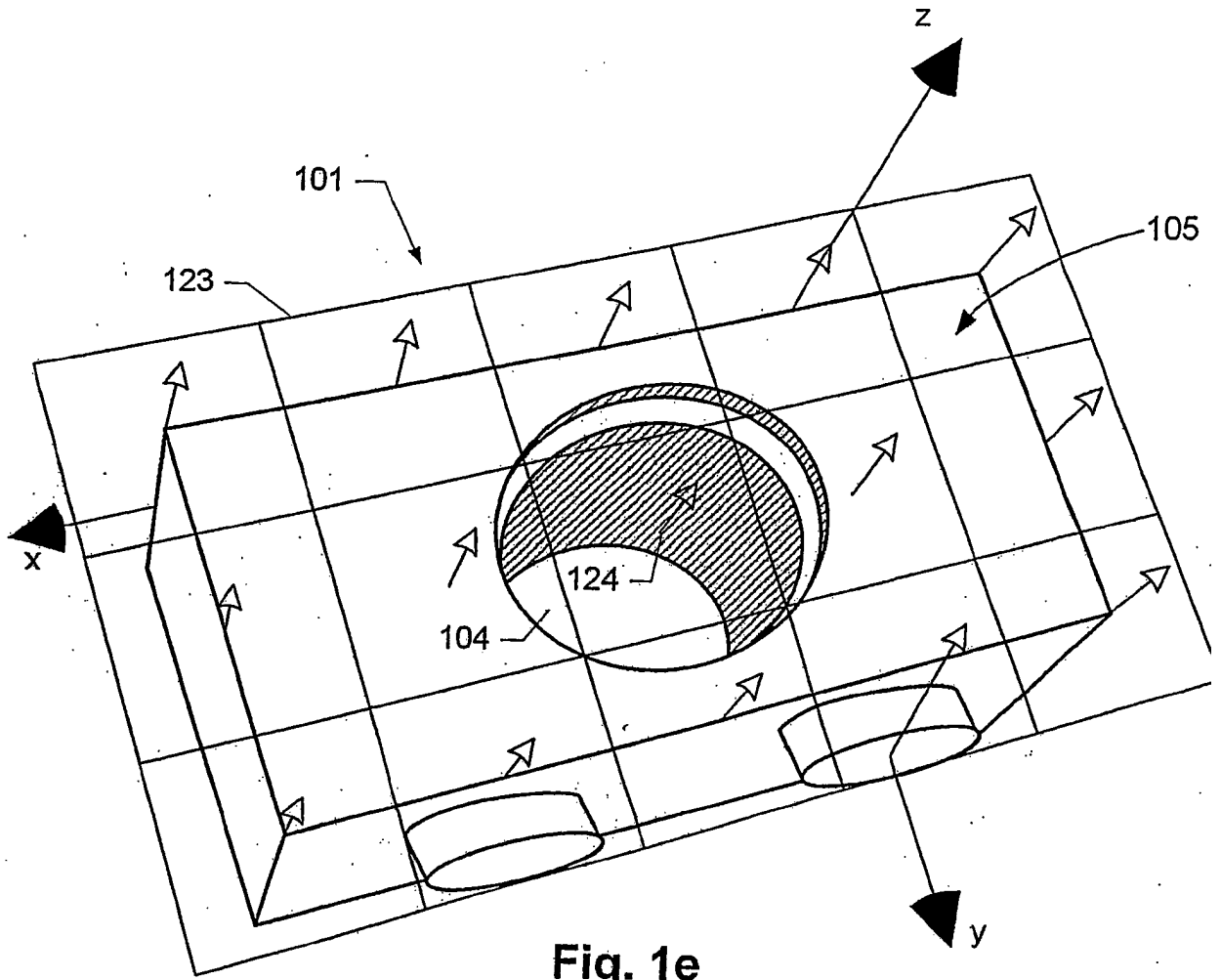


Fig. 1e

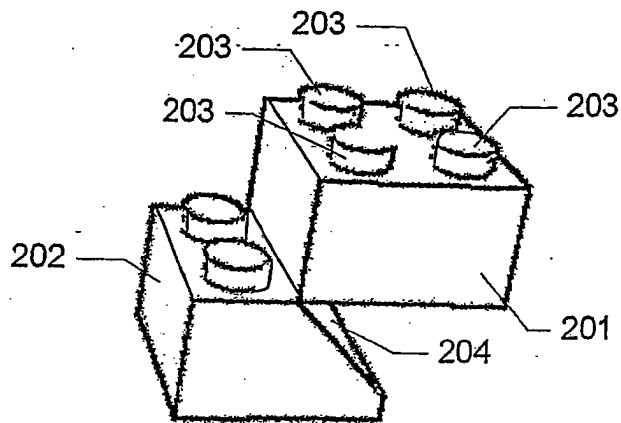
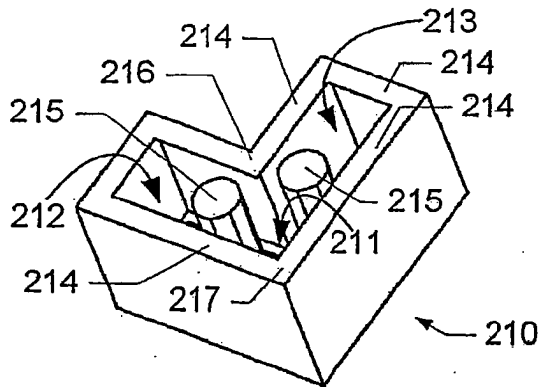
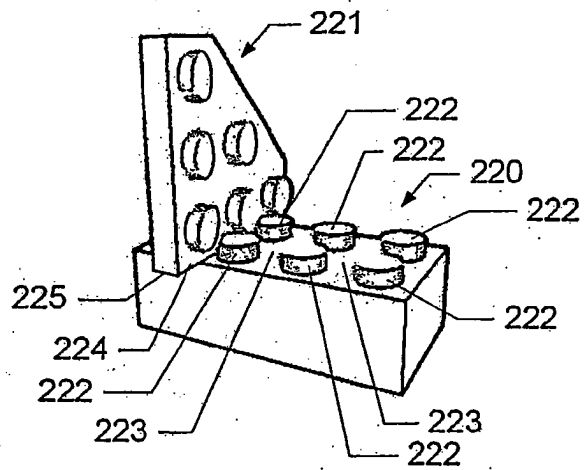


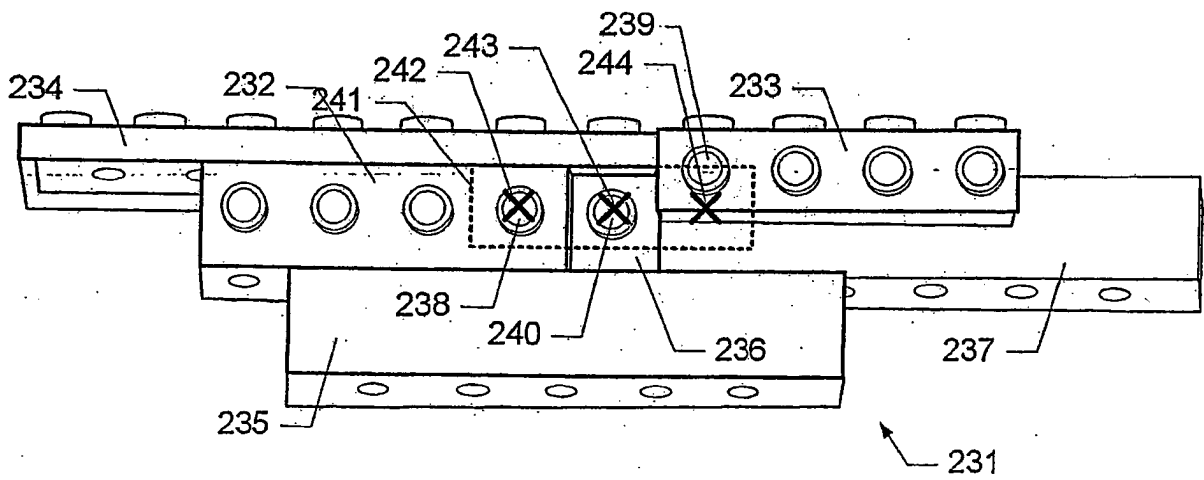
Fig. 2a



**Fig. 2b**



**Fig. 2c**



**Fig. 2d**

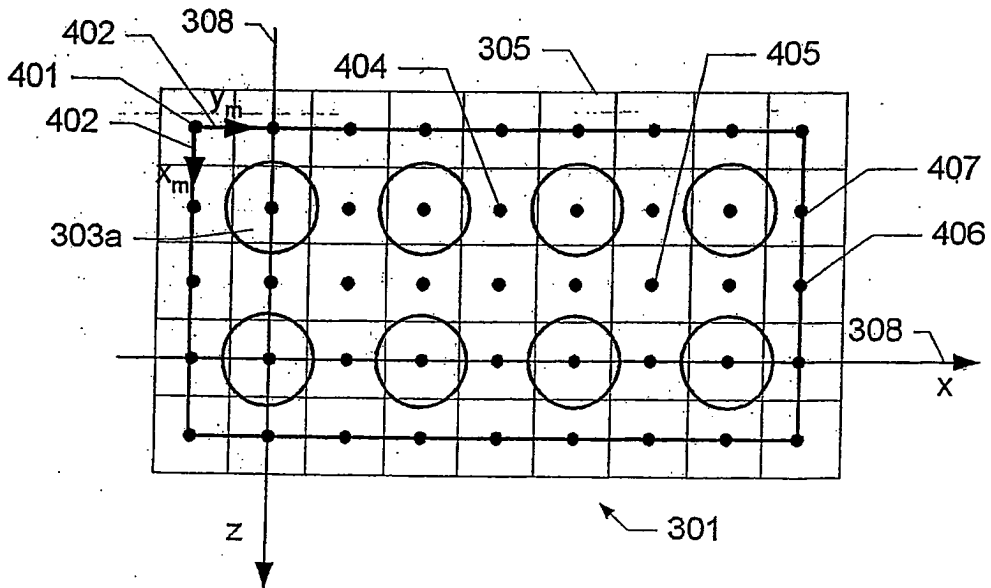
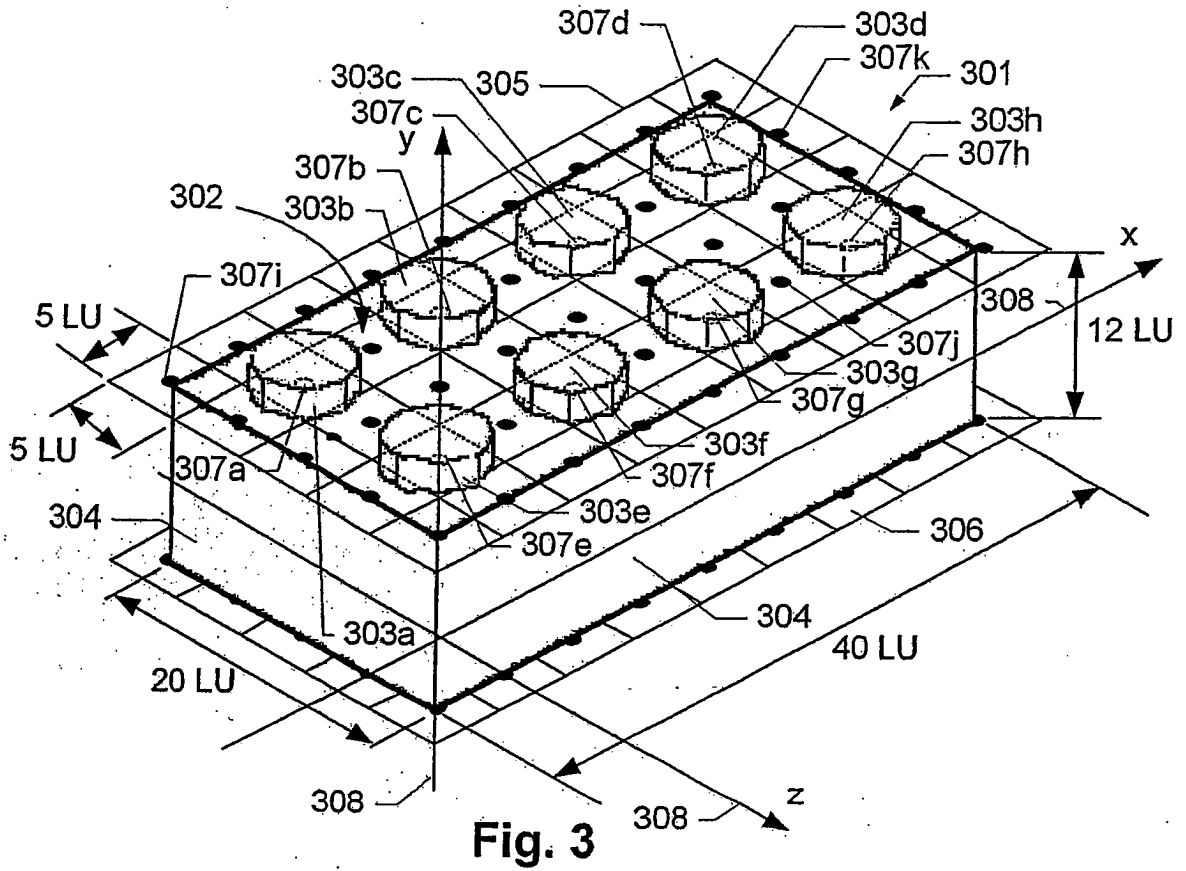


Fig. 4

$C[0,0] = \frac{1}{4}TG$	$C[0,1] = EG$	$C[0,2] = \frac{1}{2}TG$	$C[0,3] = EG$	$C[0,4] = \frac{1}{2}TG$	$C[0,5] = EG$	$C[0,6] = \frac{1}{2}TG$	$C[0,7] = EG$	$C[0,8] = \frac{1}{4}TG$
$C[1,0] = EG$	$C[1,1] = S$	$C[1,2] = 2EG$	$C[1,3] = S$	$C[1,4] = 2EG$	$C[1,5] = S$	$C[1,6] = 2EG$	$C[1,7] = S$	$C[1,8] = EG$
$C[2,0] = \frac{1}{2}TG$	$C[2,1] = 2EG$	$C[2,2] = TG$	$C[2,3] = 2EG$	$C[2,4] = TG$	$C[2,5] = 2EG$	$C[2,6] = TG$	$C[2,7] = 2EG$	$C[2,8] = \frac{1}{2}TG$
$C[3,0] = EG$	$C[3,1] = S$	$C[3,2] = 2EG$	$C[3,3] = S$	$C[3,4] = 2EG$	$C[3,5] = S$	$C[3,6] = 2EG$	$C[3,7] = S$	$C[3,8] = EG$
$C[4,0] = \frac{1}{4}TG$	$C[4,1] = EG$	$C[4,2] = \frac{1}{2}TG$	$C[4,3] = EG$	$C[4,4] = \frac{1}{2}TG$	$C[4,5] = EG$	$C[4,6] = \frac{1}{2}TG$	$C[4,7] = EG$	$C[4,8] = \frac{1}{4}TG$

Fig. 5a

$C[0,0] = EC$	$C[0,1] = E$	$C[0,2] = E$	$C[0,3] = E$	$C[0,4] = EC$
$C[1,0] = E$	$C[1,1] = AS$	$C[1,2] = SP$	$C[1,3] = AS$	$C[1,4] = E$
$C[2,0] = E$	$C[2,1] = SP$	$C[2,2] = \frac{3}{4}EC$	$C[2,3] = E$	$C[2,4] = EC$
$C[3,0] = E$	$C[3,1] = AS$	$C[3,2] = E$		
$C[4,0] = EC$	$C[4,1] = E$	$C[4,2] = EC$		

Fig. 5b

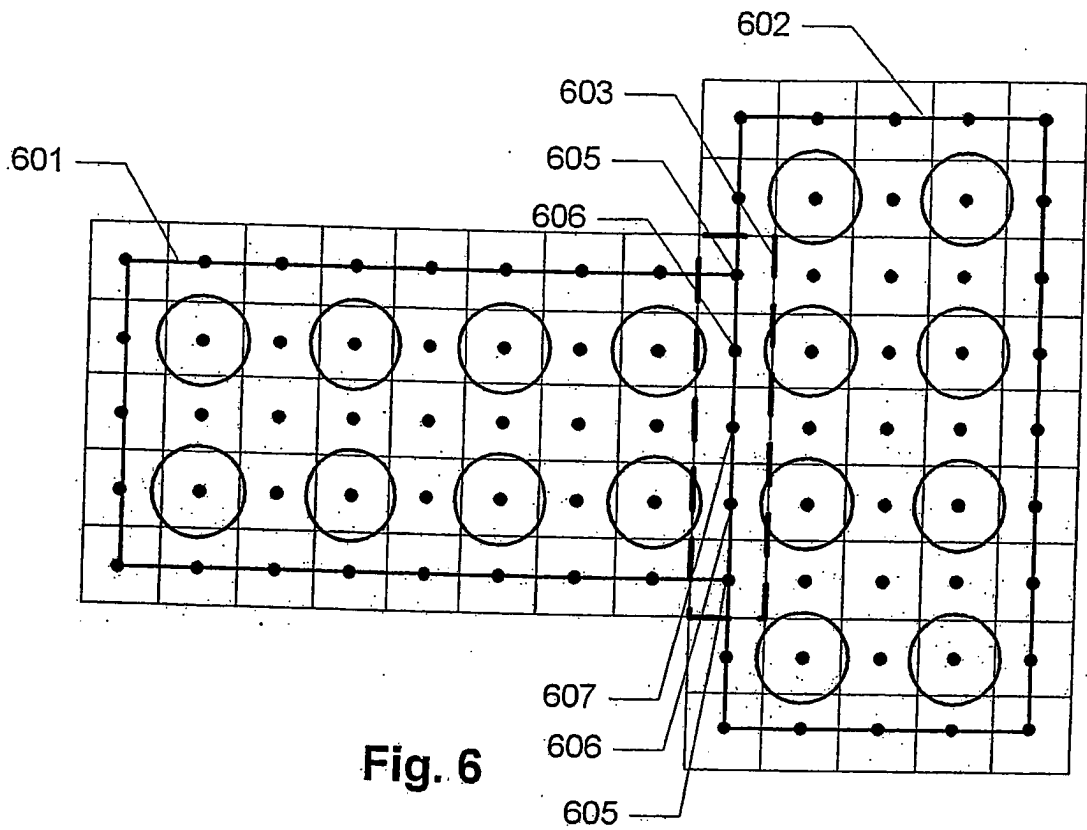


Fig. 6

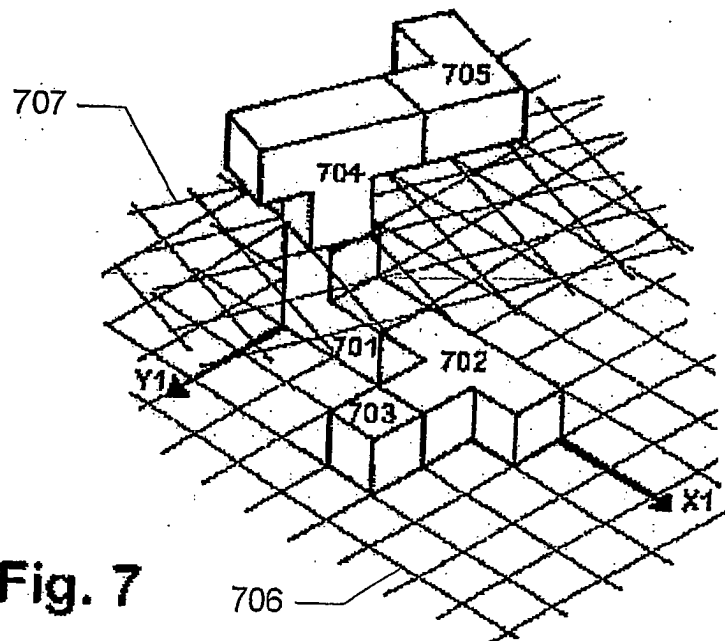


Fig. 7

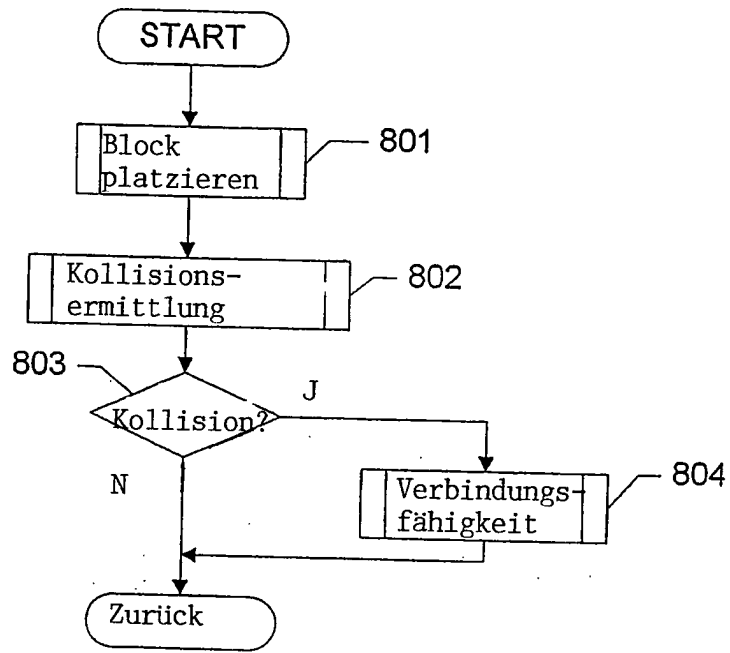


Fig. 8

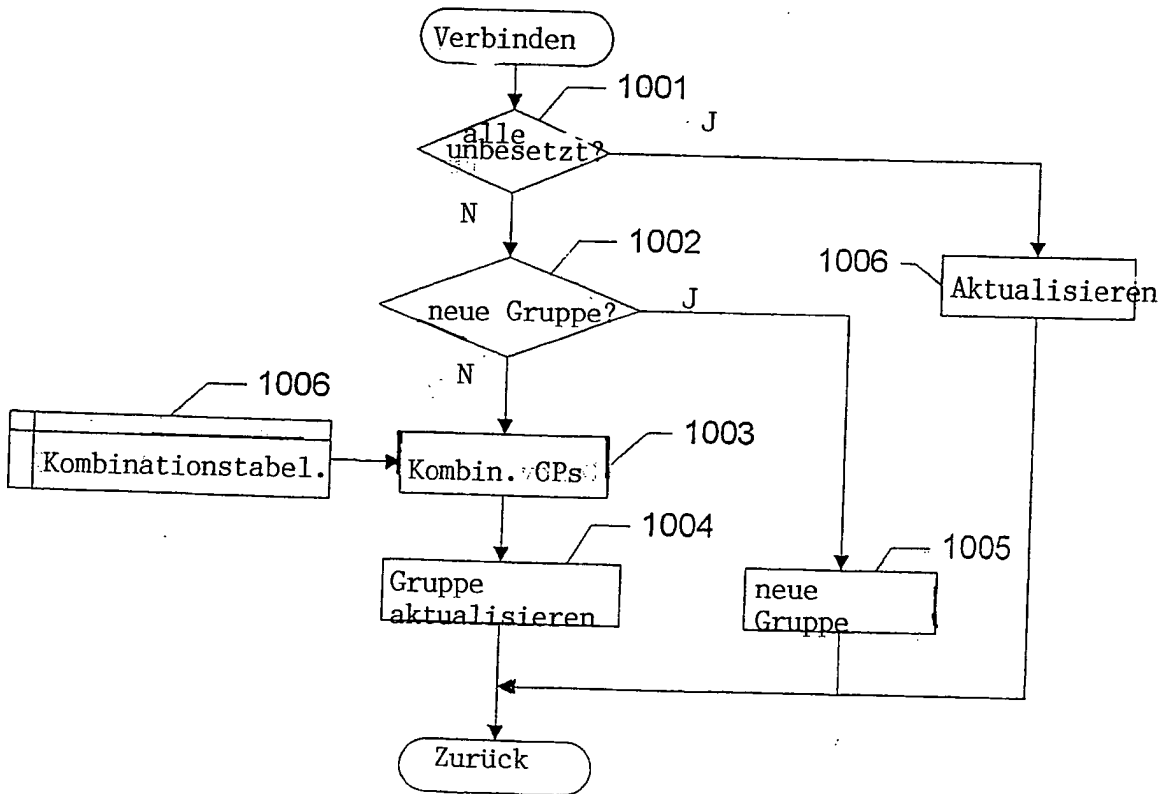


Fig. 10

\*CP - connetion point -  
Verbindungspunkt

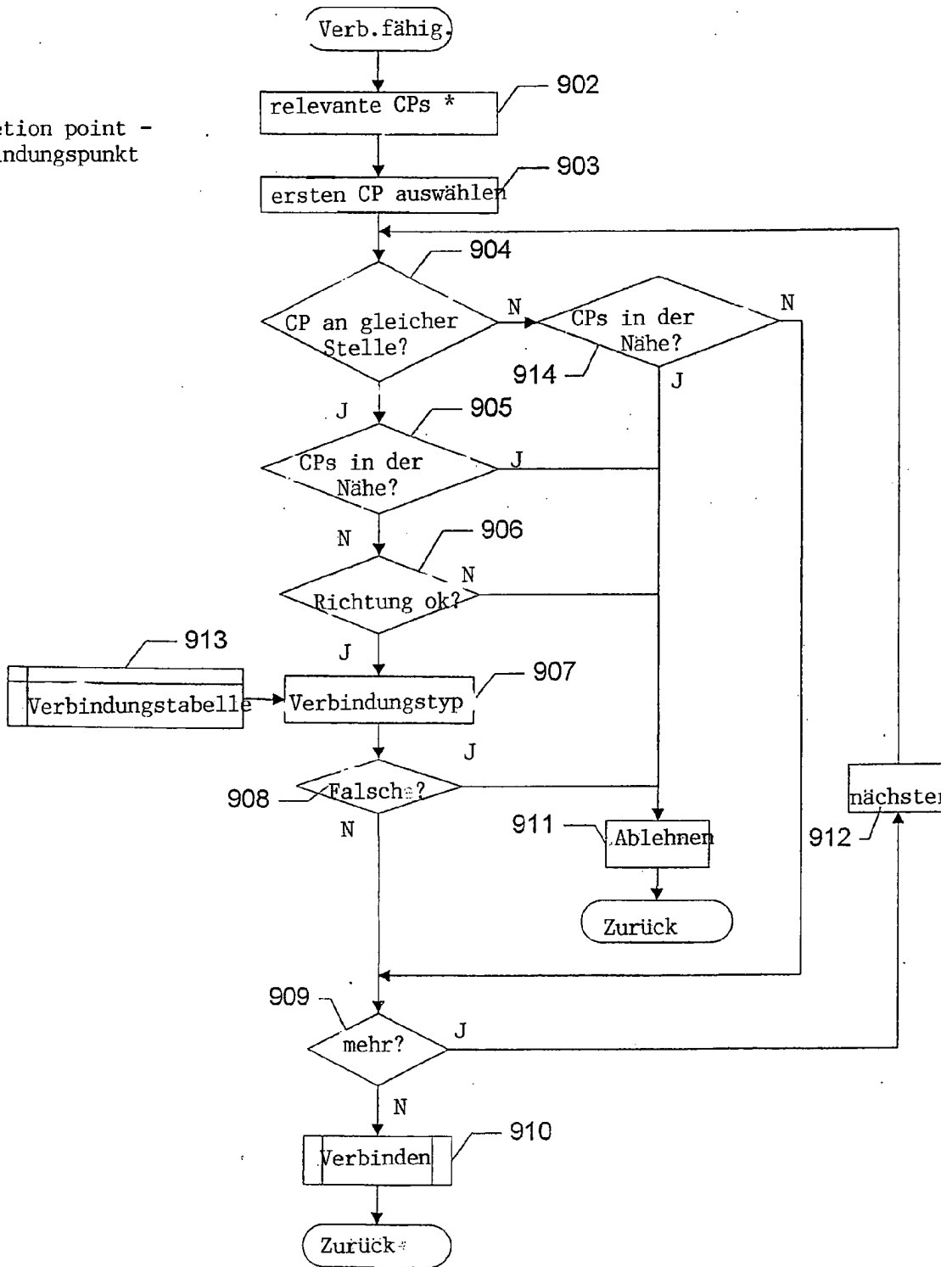


Fig. 9

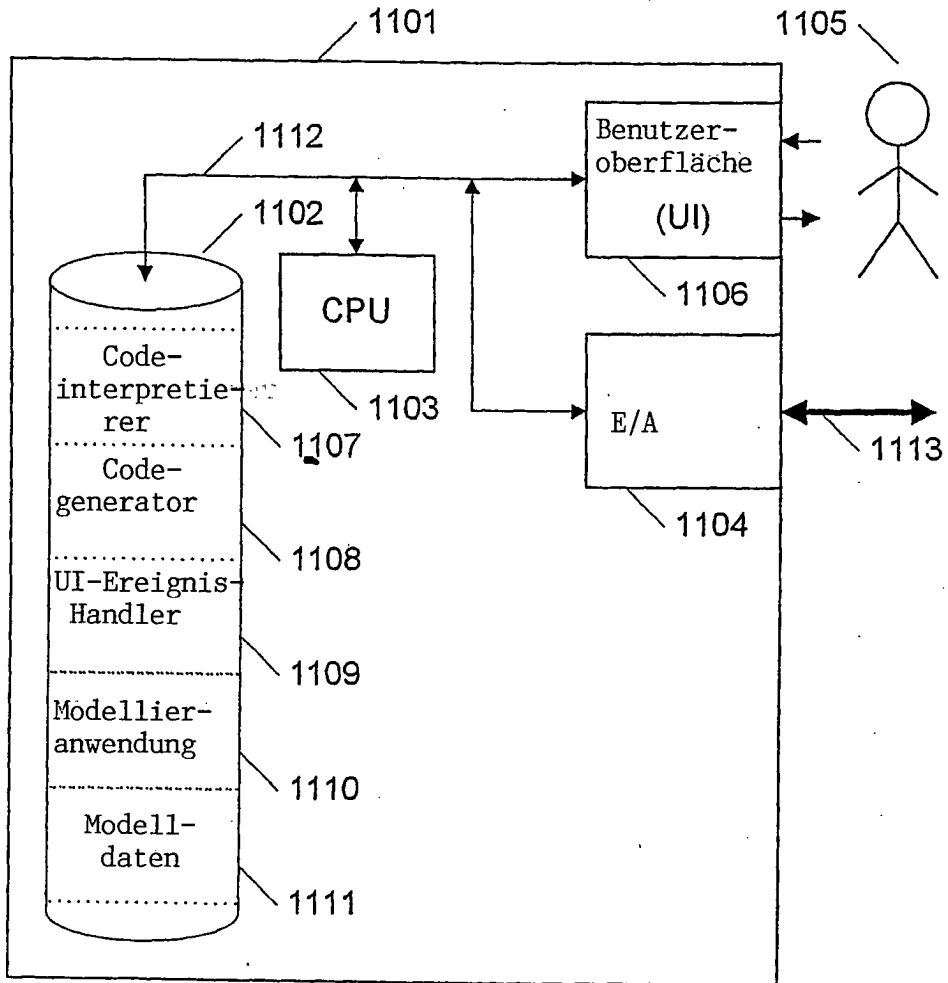


Fig. 11

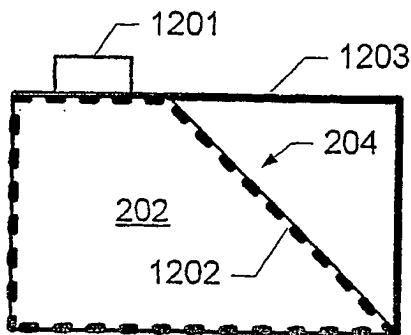


Fig. 12a

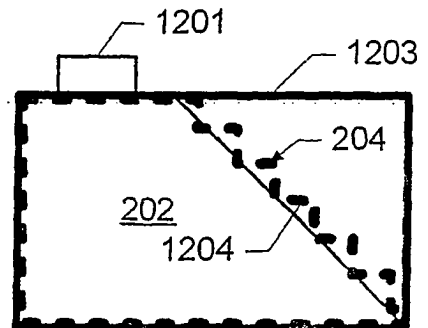


Fig. 12b