



(10) **DE 10 2016 200 465 B4 2022.08.18**

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2016 200 465.4**
(22) Anmelddatag: **15.01.2016**
(43) Offenlegungstag: **28.07.2016**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **18.08.2022**

(51) Int Cl.: **B29C 64/393 (2017.01)**
B33Y 10/00 (2015.01)
B29C 64/106 (2017.01)
B33Y 50/02 (2015.01)

Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

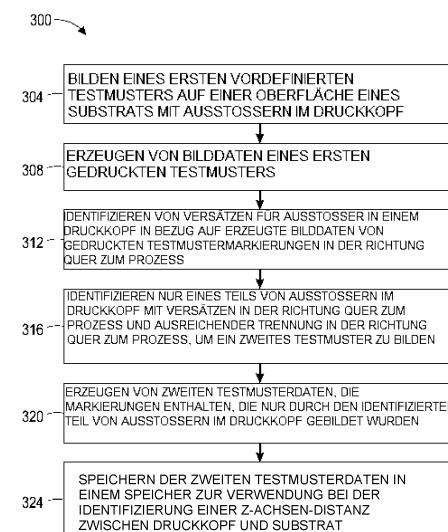
(30) Unionspriorität: 14/603,817 23.01.2015 US	(72) Erfinder: Mizes, Howard A., Pittsford, N.Y., US; Mantell, David A., Rochester, N.Y., US
(73) Patentinhaber: Xerox Corporation, Norwalk, Conn., US	(56) Ermittelter Stand der Technik: DE 10 2010 060 950 A1
(74) Vertreter: Grünecker Patent- und Rechtsanwälte PartG mbB, 80802 München, DE	

(54) Bezeichnung: **Verfahren zum Betreiben eines Druckers für dreidimensionale Objekte mit dem Erzeugen von Testmustern zum Messen einer Distanz zwischen Druckkopf und Substrat und Drucker für dreidimensionale Objekte**

(57) Hauptanspruch: Verfahren zum Betreiben eines Druckers für dreidimensionale Objekte, das umfasst:
Betreiben einer Mehrzahl von Ausstoßern in einem Druckkopf in Bezug auf gespeicherte Bilddaten durch eine Steuereinheit, um ein erstes vordefiniertes Testmuster zu bilden, das eine erste Mehrzahl von Markierungen beinhaltet, die in einer Richtung quer zum Prozess auf einer Oberfläche eines Substrats angeordnet sind;
Erzeugen von ersten erzeugten Bilddaten der ersten Mehrzahl von Markierungen auf dem Substrat mit einem Bildsensor;
Identifizieren einer Mehrzahl von Versetzungen in der Richtung quer zum Prozess für die erste Mehrzahl von Markierungen in den ersten erzeugten Bilddaten des ersten vordefinierten Testmusters durch die Steuereinheit, wobei jeder Versatz in der Richtung quer zum Prozess in Bezug auf einen Unterschied zwischen einer Position einer ersten Markierung in den ersten erzeugten Bilddaten und einer vordefinierten Position der Markierung in den gespeicherten Bilddaten, auf die Bezug genommen wurde, um das erste vordefinierte Testmuster zu erzeugen, identifiziert wird;

Erzeugen von zweiten Testmusterdaten, die einer zweiten Mehrzahl von Markierungen entsprechen, die in der Richtung quer zum Prozess angeordnet sind, durch die Steuereinheit, die nur durch einen Teil der Mehrzahl von Ausstoßern im Druckkopf und ohne eine Markierung zu bilden sind, die durch zumindest einen anderen Ausstoßer in der Mehrzahl von Ausstoßern gebildet wurde, wobei die Markierung dem zumindest einen anderen Ausstoßer ent-

spricht, der einen Versatz der Richtung quer zum Prozess aufweist, der geringer als ein weiterer identifizierter Versatz in der Richtung quer zum Prozess zumindest eines Ausstoßers im Teil der Mehrzahl von Ausstoßern im Druckkopf ist; und
Speichern der zweiten Testmusterdaten in einem Speicher durch die Steuereinheit für den Betrieb des Teils der Mehrzahl von Ausstoßern, um eine Identifizierung einer z-Achsen-Distanz zwischen dem Druckkopf und dem Substrat zu ermöglichen, wobei die z-Achse senkrecht zur Oberfläche des Substrats verläuft.



Beschreibung

[0001] Der dreidimensionale Druck, der auch als additive Fertigung bekannt ist, ist ein Prozess des Herstellens eines dreidimensionalen Feststoffobjekts aus einem digitalen Modell praktisch jeder Form. Bei vielen dreidimensionalen Drucktechnologien wird ein additiver Prozess verwendet, bei dem aufeinander folgende Schichten des Teils auf zuvor aufgetragenen Schichten aufgebaut werden. Bei manchen dieser Technologien wird der Tintenstrahldruck verwendet, wobei ein oder mehrere Druckköpfe aufeinander folgende Materialschichten ausspritzen. Der dreidimensionale Druck ist von herkömmlichen objektbildenden Techniken unterscheidbar, die vorwiegend auf dem Entfernen von Material von einem Werkstück durch einen subtraktiven Prozess wie Schneiden oder Bohren basieren.

[0002] Während der Herstellung von dreidimensionalen gedruckten Objekten mit einem Tintenstrahldrucker stellt der Drucker die relative Position eines oder mehrerer Druckköpfe innerhalb von Distanzen zu einer Oberfläche eines Substrats, das das gebildete Material aufnimmt, in einem vergleichsweise engen Bereich ein. In manchen Fällen ist das Substrat ein Trägerelement im Drucker für dreidimensionale Objekte, wobei das Substrat in anderen Fällen eine Oberschicht eines Objekts ist, die im Drucker für dreidimensionale Objekte gebildet wird. Der Drucker stellt die relative Distanz zwischen den Druckköpfen und dem Trägerelement, das das Objekt hält, ein, um zu ermöglichen, dass die Druckköpfe weitere Materialschichten auf eine Oberschicht des Objekts drucken, während der Drucker das Objekt aus einer Anzahl von Schichten eines Baumaterials bildet. Der Drucker steuert die Position der Druckköpfe, um zu gewährleisten, dass die Druckköpfe nahe genug an einer Oberfläche des Substrats sind, so dass Tropfen des Baumaterials präzise und genau platziert werden. Der Drucker steuert außerdem die Position der Druckköpfe, um eine ausreichende Trennung zwischen dem Druckkopf und dem Substrat beizubehalten, der verhindert, dass das gedruckte Objekt den Druckkopf berührt, was zu einem Verstopfen der Düsen führen würde, wodurch das künftige Abstoßen verhindert werden würde oder ein Fehlabstoßen der Strahlen bewirkt werden würden, zusätzlich zu einer Schädigung des zu bauenden Objekts.

[0003] Während des Betriebs eines Druckers für dreidimensionale Objekte bewegt sich zumindest ein Trägerelement und/oder ein Druckkopf während des Objektdruckprozesses entlang der z-Achse, um das gedruckte Objekt aufzunehmen, das sich vom Trägerelement hin zu den Druckköpfen erstreckt. Genaue Messungen der Distanz zwischen dem Trägerelement oder der Oberschicht des Objekts und den Druckköpfen ermöglichen, dass die Druckköpfe präziser und zuverlässiger arbeiten. Folglich wären verbesserte Systeme und Verfahren zum Identifizieren und Steuern der Trennung zwischen Druckköpfen und Trägerelementen oder Objekten in einem Drucker für dreidimensionale Objekte vorteilhaft.

[0004] Die DE 10 2010 060 950 A1 offenbart ein Verfahren zum Kalibrieren einer Druckvorrichtung mit den Schritten des Bereitstellens einer Testbilddatei, dem Drucken eines Testbildes, der optischen Erfassung des Testbildes, dem Vergleich der Daten der Testbilddatei mit den Daten des gedruckten Testbildes und der Ermittlung eines Korrekturfaktors zum Ausgleich der Abweichungen zwischen Testbilddatei und gedrucktem Testbild. Alternativ zum Korrekturfaktor kann eine das Druckbild überlagernde weitere Bilddatei erzeugt werden.

[0005] Es ist die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren zum Betreiben eines Druckers für dreidimensionale Objekte zu schaffen, das die zuvor genannten Nachteile vermeidet und die Identifizierung einer z-Achsen-Distanz zwischen einem Druckkopf und einem Substrat während eines Druckvorgangs ermöglicht.

[0006] Diese Aufgabe wird mit einem Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1 und mit einem Drucker mit den Merkmalen des Anspruchs 6 gelöst.

[0007] Bei einer Ausführungsform wurde ein Verfahren zum Erzeugen eines Testmusters entwickelt, das bei der Identifizierung einer z-Achsen-Distanz zwischen einem Druckkopf und einem Substrat in einem Drucker für dreidimensionale Objekte verwendet wird. Das Verfahren beinhaltet das Betreiben einer Mehrzahl von Ausstoßern in einem Druckkopf in Bezug auf gespeicherte Bilddaten durch eine Steuereinheit, um ein erstes vordefiniertes Testmuster zu bilden, das eine erste Mehrzahl von Markierungen beinhaltet, die in einer Richtung quer zum Prozess auf einer Oberfläche eines Substrats angeordnet sind, das Erzeugen von ersten erzeugten Bilddaten der ersten Mehrzahl von Markierungen auf dem Substrat mit einem Bildsensor, das Identifizieren einer Mehrzahl von Versetzungen in Richtung quer zum Prozess für die erste Mehrzahl von Markierungen in den ersten erzeugten Bilddaten des ersten vordefinierten Testmusters durch die Steuereinheit, wobei jeder Versatz der Richtung quer zum Prozess in Bezug auf einen Unterschied zwischen einer Position einer ersten Markierung in den ersten erzeugten Bilddaten und einer vordefinierten Position der Markierung in

den gespeicherten Bilddaten, auf die Bezug genommen wurde, um das erste vordefinierte Testmuster zu erzeugen, identifiziert wird, das Erzeugen von zweiten Testmusterdaten, die einer zweiten Mehrzahl von Markierungen entsprechen, die in der Richtung quer zum Prozess angeordnet sind, durch die Steuereinheit, die nur durch einen Teil der Mehrzahl von Ausstoßern im Druckkopf und ohne eine Markierung zu bilden sind, die durch zumindest einen weiteren Ausstoßer in der Mehrzahl von Ausstoßern gebildet wurde, wobei die Markierung dem zumindest einen anderen Ausstoßer entspricht, der einen Versatz der Richtung quer zum Prozess identifiziert hat, der geringer als ein weiterer identifizierter Versatz der Richtung quer zum Prozess zumindest eines Ausstoßers im Teil der Mehrzahl von Ausstoßern im Druckkopf ist, und das Speichern der zweiten Testmusterdaten in einem Speicher durch die Steuereinheit für den Betrieb des Teils der Mehrzahl von Ausstoßern, um eine Identifizierung einer z-Achsen-Distanz zwischen dem Druckkopf und dem Substrat zu ermöglichen, wobei die z-Achse senkrecht zur Oberfläche des Substrats verläuft.

[0008] Bei einer weiteren Ausführungsform wurde ein Drucker für dreidimensionale Objekte entwickelt, der so konfiguriert ist, dass er ein Testmuster erzeugt, das bei der Identifizierung einer z-Achsen-Distanz zwischen einem Druckkopf und einem Substrat verwendet wird. Das Verfahren beinhaltet einen Druckkopf mit einer Mehrzahl von Ausstoßern, die so konfiguriert sind, dass sie Tropfen eines Materials auf eine Oberfläche eines Substrats ausstoßen, ein Betätigungsselement, das so konfiguriert ist, dass es zumindest das Substrat und/oder den Druckkopf entlang einer z-Achse bewegt bewegt, einen Bildsensor, der so konfiguriert ist, dass er Bilddaten der Oberfläche des Substrats und auf dem Substrat gebildete Testmuster erzeugt, und eine Steuereinheit, die funktionsmäßig mit dem Druckkopf, dem Betätigungsselement, dem Bildsensor und dem Speicher verbunden ist. Die Steuereinheit ist so konfiguriert, dass sie die Mehrzahl von Ausstoßern im Druckkopf in Bezug auf Bilddaten betreibt, die im Speicher gespeichert sind, um ein erstes vordefiniertes Testmuster zu bilden, das eine erste Mehrzahl von Markierungen beinhaltet, die in einer Richtung quer zum Prozess auf einer Oberfläche eines Substrats angeordnet sind, erste erzeugte Bilddaten der ersten Mehrzahl von Markierungen auf dem Substrat mit dem Bildsensor erzeugt, eine Mehrzahl von Versetzungen in der Richtung quer zum Prozess für die erste Mehrzahl von Markierungen in den ersten erzeugten Bilddaten des ersten vordefinierten Testmusters identifiziert, wobei jeder Versatz in der Richtung quer zum Prozess in Bezug auf einen Unterschied zwischen einer Position einer ersten Markierung in den ersten erzeugten Bilddaten und einer vordefinierten Position der Markierung in den gespeicherten Bilddaten, auf die Bezug genommen wurde, um das erste vordefinierte Testmuster zu erzeugen, identifiziert wird, zweite Testmusterdaten erzeugt, die einer zweiten Mehrzahl von Markierungen entsprechen, die in der Richtung quer zum Prozess angeordnet sind, die nur durch einen Teil der Mehrzahl von Ausstoßern im Druckkopf und ohne eine Markierung zu bilden sind, die durch zumindest einen anderen Ausstoßer in der Mehrzahl von Ausstoßern gebildet wurde, wobei die Markierung dem zumindest einen anderen Ausstoßer entspricht, der einen Versatz in der Richtung quer zum Prozess aufweist, der geringer als ein weiterer identifizierter Versatz in der Richtung quer zum Prozess zumindest eines Ausstoßers im Teil der Mehrzahl von Ausstoßern im Druckkopf ist, und die zweiten Testmusterdaten im Speicher für den Betrieb des Teils der Mehrzahl von Ausstoßern speichert, um eine Identifizierung einer z-Achsen-Distanz zwischen dem Druckkopf und dem Substrat zu ermöglichen, wobei die z-Achse senkrecht zur Oberfläche des Substrats verläuft.

[0009] Die vorstehenden Aspekte und andere Merkmale einer Vorrichtung oder eines Druckers, die bzw. der gedruckte Testmuster zur Verwendung bei der Identifizierung von z-Richtung-Distanzen zwischen einem oder mehreren Druckköpfen und einem Substrat während des Betriebs erzeugt, sind in der folgenden Beschreibung in Zusammenschau mit den beiliegenden Zeichnungen erläutert.

Fig. 1A ist ein Schaubild eines Druckers für dreidimensionale Objekte.

Fig. 1B ist ein Schaubild des Druckers für dreidimensionale Objekte von **Fig. 1A** während eines Objektdruckbetriebs.

Fig. 2 ist ein Schaubild, das eine veranschaulichende Verteilung von Tropfen zeigt, die von einem Druckkopf auf ein Substrat in unterschiedlichen z-Achsen-Distanzen zwischen dem Druckkopf und dem Substrat ausgestoßen werden.

Fig. 3 ist ein Blockschaubild eines Prozesses zum Erzeugen von Testmusterdaten in einem Druckkopf, wobei das erzeugte Testmuster Markierungen beinhaltet, die nur durch einen Teil der Ausstoßer im Druckkopf gebildet werden.

Fig. 4 ist ein Blockschaubild eines Prozesses zum Erzeugen eines Profils für einen Druckkopf in einem Drucker für dreidimensionale Objekte, das eine Beziehung zwischen z-Achsen-Distanzen des Druckkopfs zu einem Substrat und Abweichungen der Positionen von Tropfen, die vom Druckkopf in den unterschiedlichen z-Achsen-Distanzen ausgestoßen werden, in der Richtung quer zum Prozess beinhaltet.

Fig. 5 ist ein Blockschaubild eines Prozesses zum Identifizieren einer z-Achsen-Distanz zwischen einem Druckkopf und einem Substrat in einem Drucker für dreidimensionale Objekte.

Fig. 6 ist ein veranschaulichendes Beispiel für ein erstes vordefiniertes Testmuster, das gedruckte Markierungen beinhaltet, die in einer Richtung quer zum Prozess gebildet sind, und mit einer zweiten Mehrzahl von Markierungen, die nur durch einen Teil der Ausstoßer in einem Druckkopf gebildet sind, die das vordefinierte Testmuster bilden.

Fig. 7 ist ein Graph, der eine Beziehung zwischen Abweichungen der Positionen von Tropfen, die aus einem Druckkopf ausgestoßen werden, in die Richtung quer zum Prozess auf einer Oberfläche eines Substrats und unterschiedlichen z-Achsen-Abständen zwischen dem Druckkopf und dem Substrat zeigt.

[0010] Für ein allgemeines Verständnis der Umgebung für die hier offenbare Vorrichtung sowie der Details für die Vorrichtung wird auf die Zeichnungen Bezug genommen. In den Zeichnungen weisen gleiche Bezugszeichen gleiche Elemente aus.

[0011] Wie hier verwendet, bezieht sich der Ausdruck „Baumaterial“ auf ein Material, das in Form von flüssigen Tropfen aus einer Vielzahl von Ausstoßern in einem oder mehreren Druckköpfen ausgestoßen wird, um Materialschichten in einem Objekt zu bilden, das in einem Drucker für dreidimensionale Objekte gebildet wird. Beispiele für Baumaterialien umfassen Thermokunststoffe, UV-härtbare Polymere und Bindemittel, die zum Ausstoßen als flüssige Tropfen aus Ausstoßern in einem oder mehreren Druckköpfen verflüssigt und danach in ein festes Material gehärtet werden können, das ein Objekt durch einen additiven Prozess zum Drucken eines dreidimensionalen Objekts bildet, ohne jedoch darauf beschränkt zu sein. Bei manchen Ausführungsformen eines Druckers für dreidimensionale Objekte werden mehrere Formen von Baumaterial verwendet, um ein Objekt herzustellen. Bei manchen Ausführungsformen bilden unterschiedliche Baumaterialien mit unterschiedlichen physikalischen oder chemischen Charakteristika ein einzelnes Objekt. Bei anderen Ausführungsformen ist der Drucker so konfiguriert, dass er Tropfen eines einzelnen Typs von Baumaterial ausstößt, der unterschiedliche Farben durch Färbemittel oder andere Farbstoffe einbindet, die im Baumaterial enthalten sind. Der Drucker für dreidimensionale Objekte steuert den Ausstoß von Tropfen von Baumaterialien mit unterschiedlichen Farben, um Objekte mit unterschiedlichen Farben und optional mit gedrucktem Text, gedruckten Graphiken oder anderen ein- und mehrfarbigen Mustern auf der Oberfläche des Objekts zu bilden.

[0012] Wie hier verwendet, bezieht sich der Ausdruck „Trägermaterial“ auf ein weiteres Material, das während eines Prozesses zum Drucken eines dreidimensionalen Objekts aus Druckköpfen ausgestoßen wird, um das Objekt zu stabilisieren, das aus den Baumaterialien gebildet wird. Beispielsweise während der Drucker für dreidimensionale Objekte Schichten des Baumaterials aufträgt, um das Objekt zu bilden, stößt zumindest ein Druckkopf im Drucker auch Schichten des Trägermaterials aus, die mit Teilen des Objekts in Eingriff gelangen. Das Trägermaterial hält einen oder mehrere Abschnitte des Baumaterials an der Stelle, bevor das mit dem Baumaterial konstruierte Objekt ein vollständiges Objekt ist, und getragen, da es ein einzelnes Objekt ist. Ein einfaches Beispiel für die Verwendung von Trägermaterial beinhaltet das Konstruieren eines Rohrstocks mithilfe des Druckers für dreidimensionale Objekte. Der gebogene Teil des Rohrstocks befindet sich im oberen Bereich des Objekts und das Trägermaterial stellt eine Stütze für den nach unten zeigenden Teil des Griffes bereit, bevor der obere Bereich des Bogens im Rohrstock fertiggestellt wird. Das Trägermaterial verhindert außerdem, dass neu gebildete Merkmale brechen, bevor ausreichend Baumaterial vorhanden ist, um das Objekt zusammenzuhalten, und verhindert, dass Teile des Baumaterials, die sich noch nicht zur Gänze verfestigt haben, nicht aus der Position fließen, bevor der Härtungsprozess abgeschlossen ist. Beispiele für Trägermaterial beinhalten Wachsmaterialien, die eine Stütze für das Objekt während des Druckprozesses bereitstellen und die nach Abschluss des Druckprozesses leicht vom Objekt entfernt werden können, ohne jedoch darauf beschränkt zu sein.

[0013] Wie hier verwendet, bezieht sich der Ausdruck „Prozessrichtung“ auf eine Bewegungsrichtung eines Trägerelements während eines Prozesses zum Bilden eines dreidimensionalen Objekts an einem oder mehreren Druckköpfen vorbei. Das Trägerelement hält das dreidimensionale Objekt und begleitendes Trägermaterial und Baumaterial während des Druckprozesses. Bei manchen Ausführungsformen ist das Trägerelement ein planares Element wie z. B. eine Metallplatte, bei anderen Ausführungsformen ist das Trägerelement hingegen ein zylindrisches Drehelement oder ein Element mit einer anderen Form, die die Bildung eines Objekts während des Prozess zum Drucken eines dreidimensionalen Objekts stützt. Bei manchen Ausführungsformen bleiben die Druckköpfe stationär, während sich das Trägerelement und das Objekt am Druckkopf vorbeibewegen. Bei anderen Ausführungsformen bewegen sich die Druckköpfe, während das Trä-

gerelement stationär bleibt. Bei noch anderen Ausführungsformen bewegen sich sowohl die Druckköpfe als auch das Trägerelement.

[0014] Wie hier verwendet, bezieht sich der Ausdruck „Richtung quer zum Prozess“ auf eine Richtung, die senkrecht zur Prozessrichtung und in der Ebene zum Trägerelement verläuft. Die Ausstoßer in zwei oder mehr Druckköpfen sind in der Richtung quer zum Prozess registriert, um zu ermöglichen, dass eine Anordnung von Druckköpfen gedruckte Muster aus Baumaterial und Trägermaterial über einen zweidimensionalen planaren Bereich bildet. Während eines Prozesses zum Drucken eines dreidimensionalen Objekts bilden aufeinander folgende Schichten von Baumaterial und Trägermaterial, die aus den registrierten Druckköpfen gebildet werden, ein dreidimensionales Objekt.

[0015] Wie hier verwendet, bezieht sich der Ausdruck „z-Achse“ auf eine Achse, die senkrecht zur Prozessrichtung, zur Richtung quer zum Prozess und zur Ebene des Trägerelements in einem Drucker für dreidimensionale Objekte verläuft. Zu Beginn des Prozesses zum Drucken eines dreidimensionalen Objekts bezieht sich eine Trennung entlang der z-Achse auf eine Trenndistanz zwischen dem Trägerelement und den Druckköpfen, die die Schichten von Baumaterial und Trägermaterial bilden. Während die Ausstoßer in den Druckköpfen jede Schicht von Baumaterial und Trägermaterial bilden, stellt der Drucker die z-Achsen-Trennung zwischen den Druckköpfen und der obersten Schicht ein, um eine im Wesentlichen konstante Distanz zwischen den Druckköpfen und der obersten Schicht des Objekts während des Druckbetriebs beizubehalten. Viele Ausführungsformen von Druckern für dreidimensionale Objekte halten die z-Achsen-Trennung zwischen den Druckköpfen und der obersten Schicht des gedruckten Materials innerhalb vergleichsweise enger Toleranzen, um ein gleichmäßiges Platzieren und eine gleichmäßige Steuerung der ausgestoßenen Tropfen von Baumaterial und Trägermaterial zu ermöglichen. Bei manchen Ausführungsformen bewegt sich das Trägerelement während des Druckbetriebs von den Druckköpfen weg, um die z-Achsen-Trennung aufrechtzuhalten, bei anderen Ausführungsformen hingegen bewegen sich die Druckköpfe von dem teilweise gedruckten Objekt und Trägerelement weg, um die z-Achsen-Trennung aufrechtzuhalten.

[0016] Wie hier verwendet, bezieht sich der Ausdruck „Abweichung“ in Verbindung mit gedruckten Testmustern auf eine beliebige statistische Messung, die einem Unterschied zwischen den relativen Positionen von gedruckten Markierungen in einem gedruckten Testmuster von einem Druckkopf im Drucker in der Richtung quer zum Prozess im Vergleich mit einer vordefinierten Anordnung der gedruckten Markierungen entspricht. Wie hier verwendet, bezieht sich der Ausdruck „Markierung“ auf ein gedrucktes Muster einer oder mehrerer Tropfen, die durch einen einzelnen Ausstoßer in einem Druckkopf gebildet werden und in Prozessrichtungssachse angeordnet sind. Ein Testmuster wird unter Verwendung mehrerer Ausstoßer im Druckkopf aus einer Anordnung von Markierungen gebildet. Beispielsweise beinhaltet ein Testmuster eine oder mehrere Reihen von gedruckten Markierungen, die mit vordefinierten Distanzen zwischen benachbarten Markierungen in jeder Reihe in der Richtung quer zum Prozess gebildet sind. Ein Druckkopf mit Ausstoßern, die Tropfen des Materials parallel zur z-Achse ausstoßen, bildet das vordefinierte Testmuster ohne Abweichung oder mit minimaler Abweichung. Die praktischen Ausführungsformen von Druckköpfen im Drucker beinhalten jedoch zumindest manche Ausstoßer, die Materialtropfen in einem Winkel ausstoßen, der Unterschiede zwischen den Distanzen der gedruckten Markierungen im Testmuster in der Richtung quer zum Prozess im Vergleich mit der erwarteten Distanzen quer zum Prozess erzeugt. Wie nachstehend ausführlicher beschrieben, identifiziert der Drucker die z-Achsen-Distanz zwischen unterschiedlichen Druckköpfen und einem Substrat im Drucker in Bezug auf eine identifizierte Abweichungshöhe der Positionen von gedruckten Markierungen in Testmustern in der Richtung quer zum Prozess.

[0017] Nicht-einschränkende Beispiele für Abweichungsstatistik für Markierungen, die im Testmuster gedruckt werden, beinhalten die Standardabweichung, Varianz, mittlere absolute Abweichung, Bereich, Interquartilsbereich und dergleichen. Beispielsweise beinhaltet ein vordefiniertes Testmuster mehrere Reihen von gedruckten Markierungen, die mit einheitlichen Distanzen zwischen benachbarten Markierungen in jeder Reihe in der Richtung quer zum Prozess gebildet sind. Wie nachstehend ausführlicher beschrieben, führt der Drucker einen Optimierungsprozess durch, um ein Testmuster zu erzeugen, das eine hohe Abweichungshöhe zwischen gedruckten Markierungen beinhaltet, und zwar auf Basis der Charakteristika der Ausstoßer in einem Druckkopf. Der Drucker identifiziert die z-Achsen-Distanz zwischen einem oder mehreren Druckköpfen und einem Substrat im Drucker in Bezug auf eine identifizierte Abweichungshöhe der Positionen der gedruckten Markierungen in dem erzeugten Testmuster in der Richtung quer zum Prozess.

[0018] **Fig. 1A** und **Fig. 1B** zeigen einen Drucker 100 für dreidimensionale Objekte, der so konfiguriert ist, dass er die z-Achsen-Distanz zwischen einem oder mehreren Druckköpfen und einem Substrat im Drucker 100 identifiziert. Der Drucker 100 beinhaltet ein Trägerelement 102, eine erste Druckkopfanordnung, die

Druckköpfe 104A bis 104C beinhaltet, eine zweite Druckkopfanordnung, die Druckköpfe 108A bis 108C beinhaltet, Druckkopfanordnungs-Betätigungsselemente 120A und 120B, ein Trägerelement-Betätigungsselement 124, einen Bildsensor 116, eine Steuereinheit 128 und einen Speicher 132. Bei einer Konfiguration geben die Druckkopfanordnungen 104A bis 104C und 108A bis 108C zwei unterschiedliche Typen von Baumaterial aus, um dreidimensionale gedruckte Objekte mit zwei unterschiedlichen Typen von Baumaterial zu bilden. Bei einer weiteren Konfiguration gibt eine Druckkopfanordnung ein Baumaterial aus und gibt die andere Druckkopfanordnung ein Trägermaterial aus, um dreidimensionale gedruckte Objekte zu bilden. Alternative Druckerausführungsformen beinhalten eine unterschiedliche Anzahl von Druckkopfanordnungen oder eine unterschiedliche Anzahl von Druckköpfen in jeder Druckkopfanordnung.

[0019] Im Drucker 100 ist das Trägerelement 102 ein planares Element, wie z. B. eine Metallplatte, das sich in eine Prozessrichtung P bewegt. Die Druckkopfanordnungen 104A bis 104C und 108A bis 108C und der Bildsensor 116 bilden eine Druckzone 110. Das Trägerelement 102 trägt beliebige zuvor gebildete Schichten des Trägermaterials und des Baumaterials durch die Druckzone 110 in Prozessrichtung P. Während des Druckbetriebs bewegt sich das Trägerelement 102 in einem vordefinierten Prozessrichtungsweg P, der die Druckköpfe mehrmals passiert, um aufeinander folgende Schichten eines dreidimensionalen gedruckten Objekts zu bilden, wie z. B. des Objekts 150, das in **Fig. 1B** gezeigt ist. Die Druckköpfe 104A bis 104C und 108A bis 108C stoßen außerdem Materialtropfen aus, um Testmuster zu bilden, wie z. B. die Testmuster 192A bis 192B und 194A bis 194B, wie in **Fig. 1A** gezeigt, und die Testmuster 184 und 186, die in **Fig. 1B** gezeigt sind. Bei manchen Ausführungsformen passieren mehrere Elemente, die dem Element 102 ähneln, die Druckzone 110 in einer karusselartigen oder ähnlichen Konfiguration. Im Drucker 100 bewegen ein oder mehrere Betätigungsselemente das Element 102 durch die Druckzone 110 in Prozessrichtung P. Bei anderen Ausführungsformen bewegen die Betätigungsselemente 120A und 120B oder andere Betätigungsselemente die Druckköpfe 104A bis 104C bzw. 108A bis 108C in Prozessrichtung P, um das gedruckte Objekt auf dem Trägerelement 102 zu bilden.

[0020] Im Drucker 100 bewegt ein Betätigungsselement 124 auch das Trägerelement 102 entlang der z-Richtung-Achse (z) von den Druckköpfen in der Druckzone 110 weg, nachdem jede Materialschicht auf das Trägerelement aufgetragen wurde. Bei manchen Ausführungsformen ist das eine Betätigungsselement 124 oder sind andere Betätigungsselemente, die funktionsmäßig mit dem Trägerelement 102 verbunden ist, so konfiguriert, dass es bzw. sie einen Kippwinkel des Trägerelements 102 um die Achse CP in die Richtung quer zum Prozess (Kipppfeile 172 und 174) und die Achse P in die Prozessrichtung (Kipppfeile 176 und 178) einstellt bzw. einstellen. Bei einer weiteren Konfiguration bewegen die Betätigungsselemente 120A und 120B die Druckkopfanordnungen 104A bis 104C bzw. 108A bis 108C aufwärts entlang der z-Achse, um die Trennung zwischen den Druckköpfen und einem gedruckten Objekt aufrechtzuerhalten. Im Drucker 100 sind die Betätigungsselemente 124 und 120A bis 120B elektromechanische Betätigungsselemente, wie z. B. Schrittmotoren, die Steuersignale von der Steuereinheit 128 empfangen, um das Trägerelement 102 oder die Druckkopfanordnungen 104A bis 104C und 108A bis 108C um vordefinierte Distanzen entlang der z-Achse zu bewegen. Die veranschaulichende Ausführungsform des Druckers 100 beinhaltet Betätigungsselemente, die die z-Achsen-Positionen sowohl des Trägerelements 102 als auch der Druckkopfanordnungen 104A bis 104C und 108A bis 108C einstellen, alternative Druckerausführungsformen beinhalten jedoch Betätigungsselemente, die funktionsmäßig nur mit dem Trägerelement 102 oder nur mit den Druckköpfen verbunden sind. Die Druckzone 110 bildet eine zusätzliche Schicht zum dreidimensionalen gedruckten Objekt oder zu den dreidimensionalen gedruckten Objekten auf jedem Element während jedes Kreislaufs durch den Weg, um mehrere Sätze von dreidimensionalen Objekten parallel zu bilden.

[0021] Die Druckkopfanordnungen, die die Druckköpfe 104A bis 104C und 108A bis 108C beinhalten, die Material hin zum Trägerelement 102 ausstoßen, um Schichten eines dreidimensionalen gedruckten Objekts zu bilden, wie z. B. des Objekts 150, das in **Fig. 1B** gezeigt ist. Jeder der Druckköpfe 104A bis 104C und 108A bis 108C beinhaltet eine Mehrzahl von Ausstoßern, die verflüssigte Tropfen eines Baumaterials oder Trägermaterials ausstoßen. Bei einer Ausführungsform beinhaltet jeder Ausstoßer eine Fluiddruckkammer, die das flüssige Baumaterial aufnimmt, ein Betätigungsselement, wie z. B. ein piezoelektrisches Betätigungsselement, und eine Auslassdüse. Das piezoelektrische Betätigungsselement verformt sich in Reaktion auf ein elektrisches Abstoßsignal und zwingt das verflüssigte Baumaterial durch die Düse, um einen Tropfen des Baumaterials hin zum Element 102 auszustoßen. Wenn das Element 102 zuvor gebildete Schichten eines dreidimensionalen Objekts aufweist, bilden die ausgestoßenen Tropfen des Baumaterials eine zusätzliche Schicht des Objekts. Jeder der Druckköpfe 104A bis 104C und 108A bis 108C beinhaltet eine zweidimensionale Anordnung der Ausstoßern, wobei eine beispielhafte Druckkopfausführungsform 880 Ausstoßer beinhaltet. Während des Betriebs steuert die Steuereinheit 128 das Erzeugen der elektrischen Abstoßsignale, um ausgewählte Ausstoßern zu unterschiedlichen Zeitpunkten zu betreiben, um jede Schicht des Baumaterials

für das Objekt zu bilden. Wie nachstehend ausführlicher beschrieben, erzeugt die Steuereinheit 128 auch Abstoßsignale für die Ausstoßer in den Druckköpfen 104A bis 104C und 108A bis 108C, um Testmuster zu drucken, die der Drucker 100 verwendet, um eine Distanz entlang der z-Achse zwischen jedem Druckkopf und einem Substrat in der Druckzone 110 zu identifizieren. Das Substrat kann die Oberfläche des Trägerelements 102 oder eine obere Schicht eines dreidimensionalen gedruckten Substrats sein, das auf dem Trägerelement 102 gebildet ist.

[0022] Auch wenn **Fig. 1A** und **Fig. 1B** zwei Druckkopfanordnungen zeigen, die Tropfen des Baumaterials ausstoßen, können alternative Ausführungsformen drei oder mehr Druckkopfanordnungen beinhalten, die gedruckte Objekte mit zusätzlichen Baumaterialien bilden. Eine weitere Ausführungsform beinhaltet nur eine einzelne Druckkopfanordnung. Auch wenn die Druckkopfanordnungen 104A bis 104C, 108A bis 108C jeweils mit drei Druckköpfen gezeigt sind, können alternative Konfigurationen wenige Druckköpfe oder eine höhere Anzahl von Druckköpfen beinhalten, um Druckzonen unterschiedlicher Größen in der Richtung quer zum Prozess aufzunehmen. Außerdem bewegen sich ein oder mehrere Druckköpfe bei gerasterten Ausführungsformen eines Druckers für dreidimensionale Objekte während Druckvorgängen entlang der Achse CP in Richtung quer zum Prozess und optional entlang der Achse P in Prozessrichtung.

[0023] Der Bildsensor 116 beinhaltet eine Anordnung von Photodetektoren, die über die Druckzone 110 in die Richtung CP quer zum Prozess angeordnet ist, die so konfiguriert ist, dass sie digitalisierte Bilddaten erzeugt, die Licht entsprechen, das vom Bildmaterial und Trägermaterial reflektiert wird, das auf dem Element 102 gebildet ist. Bei einer Ausführungsform erzeugen die Photodetektoren grauskalige 8-Bit-Bilddaten mit insgesamt 256 (0 bis 255) Ebenen, die einer Ebene reflektierten Lichts entsprechen, das jeder Photodetektor von der obersten Schicht des gedruckten Trägermaterials und des gedrückten Bildmaterials empfängt. Bei anderen Ausführungsformen enthält der Bildsensor 116 multispektrale Photodetektorelemente, wie z. B. Rot-Grün-Blau-(RGB-)Sensorelemente. Während des Betriebs erzeugt der Bildsensor 116 mehrere Bildabtastzeilen, die gedruckten Mustern von Materialtropfen entsprechen, die gedruckte Testmuster enthalten, die auf dem Trägerelement 102 oder einem Substrat gebildet sind, das aus Schichten von Baumaterial oder Trägermaterial gebildet ist. Während sich das Trägerelement 102 am Bildsensor 116 vorbeibewegt, erzeugt der Bildsensor 116 zweidimensionale erzeuge Bilddaten aus einer Anzahl der Abtastzeilen. Die Steuereinheit 128 empfängt die erzeugten Bilddaten und führt eine weitere Verarbeitung der erzeugten Bilddaten durch, um die Distanzen zwischen den Druckköpfen und dem Substrat in Bezug auf erzeugte Bilddaten von gedruckten Testmustern in z-Achsen-Richtung zu identifizieren.

[0024] Die Steuereinheit 128 ist eine digitale logische Vorrichtung, wie z. B. ein Mikroprozessor, eine Mikrousteuereinheit, ein feldprogrammierbares Gate-Array (FPGA), ein anwendungsspezifischer integrierter Schaltkreis (ASIC) oder eine andere beliebige digitale Logik, die so konfiguriert ist, dass sie den Drucker 100 betreibt. Im Drucker 100 ist die Steuereinheit 128 funktionsmäßig mit dem Betätigungslement 124 verbunden, das die Bewegung des Trägerelements 102 steuert, und mit den Betätigungslementen 120A und 120B, die die z-Achsen-Bewegung der Druckkopfanordnungen 104A bis 104C und 108A bis 108C steuern. Die Steuereinheit 128 ist außerdem funktionsmäßig mit den Druckkopfanordnungen 104A bis 104C und 108A bis 108C, dem Bildsensor 116 und einem Speicher 132 verbunden.

[0025] Bei der Ausführungsform des Druckers 100 beinhaltet der Speicher 132 flüchtige Datenspeichervorrichtungen, wie z. B. Direktzugriffsspeicher-(RAM)-Vorrichtungen, und nicht-flüchtige Datenspeichervorrichtungen, wie z. B. Solid-State-Datenspeichervorrichtungen, magnetische Platten, optische Platten oder andere beliebige geeignete Speichervorrichtungen. Der Speicher 132 speichert programmierte Anweisungen 136, 3D-Objektbilddaten 138, Daten 140 zum vordefinierten Testmuster, Daten 142 zum erzeugten Testmuster vor dem Druckkopf und ein Tropfenabweichung-zu-z-Achsen-Distanz-Profil 144, das mit jedem der Druckköpfe 104A bis 104C und 108A bis 108C assoziiert ist. Die Steuereinheit 128 führt die gespeicherten Programmanweisungen 136 aus, um die Komponenten im Drucker 100 zu betreiben, um sowohl ein dreidimensionales gedrucktes Objekt, wie z. B. das Objekt 150, zu bilden und Testmuster zu drucken, die Distanzen zwischen den Druckköpfen und einem Substrat in der Druckzone 110 in z-Achsen-Richtung identifizieren. Die Steuereinheit 128 erzeugt außerdem Tropfenabweichung-z-Achsen-Distanz-Profile für die Druckköpfe 104A bis 104C und 108A bis 108C, wie nachstehend im Prozess 400 ausführlicher beschrieben. Bei manchen Konfigurationen identifiziert die Steuereinheit 128 außerdem einen Kippwinkel weg von der z-Achse der Oberfläche des Trägerelements 102 oder eines anderen Substrats in der Druckzone 110. Die 3D-Objektbilddaten 138 beinhalten z. B. eine Mehrzahl von zweidimensionalen Bilddatenmustern, die jeder Schicht von Baumaterial und Trägermaterial entsprechen, die der Drucker 100 während des Prozesses zum Drucken eines dreidimensionalen Objekts bildet. Die Steuereinheit 128 stößt Materialtropfen aus den Druckköpfen

104A bis 104C und 108A bis 108C in Bezug auf jeden Satz von zweidimensionalen Bilddaten aus, um jede Schicht des Objekts 150 zu bilden.

[0026] Der Speicher 132 speichert außerdem Testmusterdaten 140, die vordefinierten Mustern von Markierungen entsprechen, die die Ausstoßer in den Druckköpfen 104A bis 104C und 108A bis 108C auf Substraten in der Druckzone 110 bilden. Wie nachstehend ausführlicher beschrieben, bildet der Drucker 100 die vordefinierten Testmuster auf Basis der gespeicherten Testmusterdaten 140, um zusätzliche Testmuster auf Vor-Druckkopf-Basis zu erzeugen. Der Drucker 100 erzeugt ein zweites Testmuster für jeden der Druckköpfe 104A bis 104C und 108A bis 108C, das nur von einem Teil der Ausstoßer im Druckkopf gebildet wird, um die Abweichungshöhe der Markierungen, die auf dem zweiten Testmuster gebildet werden, in die Richtung quer zum Prozess zu erhöhen. Die Steuereinheit 128 speichert das erzeugte zweite Testmuster für jeden Druckkopf mit den Daten 142 zum erzeugten Testmuster vor dem Druckkopf im Speicher 132.

[0027] Fig. 1B zeigt den Drucker 100 während eines Vorgangs zum Drucken eines dreidimensionalen Objekts. In Fig. 1B bilden die Druckköpfe 104A bis 104C und 108A bis 108C ein dreidimensionales Objekt 150. Das Trägerelement 102 beinhaltet einen Randbereich, der so konfiguriert ist, dass er zusätzliche gedruckte Testmuster 184 von einigen oder allen der Druckköpfe 104A bis 104C und 108A bis 108C aufnimmt. Bei der Ausführungsform von Fig. 1B dient die obere Oberfläche des gedruckten Objekts 150 außerdem als Substrat, das ein gedrucktes Testmuster 186 vom Druckkopf 104A aufnimmt. Der Bildsensor 116 erzeugt Bilddaten, die erkennbare gedruckte Markierungen im Testmuster 186 beinhalten, wenn die eine oder mehreren obersten Schichten des Objekts 150 aus optisch unterschiedlichem Material gebildet werden, wie z. B. einem Baumaterial mit einer unterschiedlichen Farbe oder einem Trägermaterial, das aus den Druckköpfen 108A bis 108C ausgestoßen wird. Bei anderen Konfigurationen bilden die Druckköpfe 104A bis 104C und 108A bis 108C Strukturen aus zwei unterschiedlichen Baumaterialien oder einem Baumaterial und Trägermaterial, um Substratstrukturen zu bilden, die gedruckte Testmuster aufnehmen und eine z-Achsen-Höhe ähnlich der Höhe des Objekts 150 aufweisen. Die Steuereinheit 128 verwendet die Substratstrukturen, um die z-Achsen-Distanz zwischen einem oder mehreren der Druckköpfe und der obersten Schicht des Objekts 150 zu identifizieren.

[0028] Fig. 2 zeigt den Druckkopf 104A und das Substrat 202 in einer ersten Position 240 in z-Achsen-Richtung und eine zweite Position 244 in z-Achsen-Richtung. Wie oben beschrieben, kann das Substrat 202 die Oberfläche des Trägerelements 102 oder eine obere Oberfläche einer gedruckten Struktur sein, die auf dem Trägerelement 102 gebildet ist. Bei dem veranschaulichenden Beispiel von Fig. 2 platziert die erste Position 240 in z-Achsen-Richtung den Druckkopf 104A und das Substrat 202 im Vergleich mit der zweiten Position 244 näher aneinander entlang der z-Achse, bei der weiteren Konfiguration platziert die erste Position den Druckkopf 104A und das Substrat 202 in einer größeren z-Achsen-Distanz als die zweite Position. Bei der Konfiguration von Fig. 2 betreibt die Steuereinheit 128 das Betätigungsselement 124, so dass das Substrat entlang der z-Achse zwischen der ersten Position 240 und der zweiten Position 244 bewegt wird, bei anderen Ausführungsformen hingegen bewegt das Betätigungsselement 120A den Druckkopf 104A oder bewegen die Betätigungsselemente 124 und 120A sowohl das Substrat 202 als auch den Druckkopf 104A jeweils entlang der z-Achse.

[0029] Der Druckkopf 104A beinhaltet eine Mehrzahl von Ausstoßern, die entlang der Achse CP in die Richtung quer zum Prozess angeordnet sind. Bei manchen Ausführungsformen beinhaltet der Druckkopf 104A diagonale Anordnungen von Ausstoßern, die über die Fläche des Druckkopfs 104A in einer zweidimensionalen Anordnung versetzt sind. Wie oben beschrieben, betreibt die Steuereinheit 128 nur einen Teil der Ausstoßer im Druckkopf 104, um einen einzelnen Satz von Markierungen in einem Reihensatz des Testmusters zu bilden. Fig. 2 zeigt nur eine Teilmenge von Ausstoßern im Druckkopf 104A, die die Tropfen ausstoßen, um einen einzelnen Reihensatz zu bilden, und der Druckkopf 104A beinhaltet vier Ausstoßer, die jeden der benachbarten aktivierten Ausstoßer in die Richtung CP quer zum Prozess trennen, um die Testmuster 600 und 675 von Fig. 6 zu bilden. Beispielsweise bilden in Fig. 2 die Ausstoßer 220 und 224 benachbarte Markierungen in einer Reihe eines gedruckten Testmusters, vier zusätzliche Ausstoßer trennen jedoch die Ausstoßer 220 und 224 in die Richtung quer zum Prozess. Die Steuereinheit 128 betreibt die Zwischenausstoßer, um andere Reihensätze im vordefinierten Testmuster 600 zu bilden. Bei den unterschiedlichen Testmusterkonfigurationen betreibt die Steuereinheit 128 Ausstoßer, um Markierungen in einem einzelnen Reihensatz zu bilden, wobei zumindest ein Ausstoß zwischen den aktiven Ausstoßern in der Richtung quer zum Prozess angeordnet ist.

[0030] Wie in Fig. 2 gezeigt, erhöht sich die Abweichungshöhe zwischen den Positionen von gedruckten Materialtropfen und Markierungen auf der Substratoberfläche 202, während sich die z-Achsen-Distanz zwi-

schen dem Druckkopf 104A und dem Substrat 202 erhöht. Bei der Ausführungsform von **Fig. 2** bewegen sich die Materialtropfen entlang relativ linearer Wege, nachdem sie von den Ausstoßern im Druckkopf 104A ausgegeben wurden. Aufgrund von Herstellungsabweichungen im Druckkopf 104A geben zumindest manche der Ausstoßer die Materialtropfen in einem Winkel in der Richtung quer zum Prozess aus und folgen die Materialtropfen nicht einem Weg, der parallel zur z-Achse verläuft, um zum Substrat 202 zu gelangen. Beispielsweise geben die Ausstoßer 220, 224, 226 und 228 Materialtropfen in einem Winkel aus, der nicht parallel zur z-Achse ist.

[0031] Wie in **Fig. 2** gezeigt, erhöht sich die Abweichungshöhe zwischen den Positionen der gedruckten Materialtropfen in der Richtung quer zum Prozess, die aus dem Druckkopf 104A ausgestoßen werden, während sich die z-Achsen-Distanz zwischen dem Druckkopf 104A und dem Substrat 202 erhöht. Im praktischen Betrieb bewegen sich die ausgestoßenen Materialtropfen entlang im Wesentlichen linearer Wege zwischen dem Druckkopf 104A und dem Substrat 202. Somit erhöht sich der Grad der Tropfenpositionsabweichung entlang der Achse CP in die Richtung quer zum Prozess für Materialtropfen aus einem bestimmten Ausstoßer, während sich die Distanz zwischen dem Druckkopf 104A und dem Substrat 202 in z-Achsen-Richtung erhöht. In der ersten Position 240 landen die Tropfen 250 und 252, die aus den Ausstoßern 220 bzw. 224 ausgegeben werden, auf Positionen, die in der Richtung quer zum Prozess enger aneinander liegen, als die nominale Distanz in der Richtung quer zum Prozess zwischen benachbarten gedruckten Markierungen ist, wenn beide Ausstoßer Materialtropfen parallel zur z-Achse ausgeben. Andere Ausstoßer, wie z. B. die Ausstoßer 226 und 228, geben die Materialtropfen 254 bzw. 256 auf, die auf der Achse in der Richtung quer zum Prozess weiter voneinander entfernt liegen, als die nominale Trennung in der Richtung quer zum Prozess zwischen benachbarten gedruckten Markierungen ist, wenn beide Ausstoßer Materialtropfen parallel zur z-Achse ausgeben. In der zweiten Position 244 erfolgen die gleichen Typen von Abweichungen der Platzierung von Tropfen in der Richtung quer zum Prozess, der Abweichungsgrad erhöht sich jedoch aufgrund der längeren z-Achsen-Distanz zwischen dem Druckkopf 104A und dem Substrat 202. Beispielsweise sind die Materialtropfen 260 und 262 näher aneinander als die entsprechenden Tropfen 250 und 252 in der ersten Position 240, die Materialtropfen 264 und 266 hingegen sind weiter voneinander entfernt als die entsprechenden Tropfen 254 und 256 in der ersten Position 240.

[0032] Wie in **Fig. 2** gezeigt, weisen die Ausstoßer im Druckkopf 104A in Bezug auf ausgestoßene Materialtropfen variierende Grade des Versatzes in der Richtung quer zum Prozess auf. Die Versätze in der Richtung quer zum Prozess werden infolge von kleinen Varianzen bei der Herstellung des Druckkopfs 104A erzeugt. Unterschiedliche Druckköpfe mit der gleichen Konfiguration wie der Druckkopf 104A, z. B. die Druckköpfe 104B bis 104C und 106A bis 106C im Drucker 100, weisen in Bezug auf unterschiedliche Ausstoßer ebenfalls Abweichungen der Versätze in der Richtung quer zum Prozess auf, auch wenn der genaue Grad und die genaue Richtung von Versätzen zwischen Ausstoßern von Druckkopf zu Druckkopf variiert. In vielen Druckköpfen weisen manche der Ausstoßer einen kleinen oder keinen Versatz in der Richtung quer zum Prozess auf, wenn sie Material ausstoßen. Beispielsweise stößt in **Fig. 2** der Ausstoßer 270 einen Materialtropfen entlang eines Wegs aus, der beinahe parallel zur z-Achse verläuft. Der Ausstoßer 270 gibt Materialtropfen in den Positionen 272 und 274 in der Richtung quer zum Prozess für das Substrat 202 in den Positionen 240 bzw. 244 aus. Wie in **Fig. 2** gezeigt, weisen die Positionen 272 und 274 in der Richtung quer zum Prozess entlang der Achse CP in der Richtung quer zum Prozess nur eine sehr geringe Trennung auf. Somit zeigten erzeugte Bilddaten von gedruckten Markierungen, die der Ausstoßer 270 auf dem Substrat 202 bildet, über die unterschiedlichen z-Achsen-Distanzen zwischen dem Druckkopf 104A und dem Substrat 202 eine geringe oder keine Änderung.

[0033] Auch wenn der Ausstoßer 270 beim Ausstoßen von Material nützlich ist, um ein dreidimensionales gedrucktes Objekt oder Trägermaterialstruktur mit einem minimalen Versatz in der Richtung quer zum Prozess während eines Druckvorgangs zu bilden, tun die gedruckten Markierungen 272 und 274 wenig, um zu ermöglichen, dass der Drucker 100 eine z-Achsen-Distanz zwischen dem Druckkopf 104A und dem Substrat 202 identifiziert. Wie nachstehend beschrieben, erzeugt der Drucker 100 Testmuster für einen oder mehrere Druckköpfe, wie z. B. den Druckkopf 104A, wobei zumindest ein Ausstoßer, der Material mit geringem oder keinem Versatz in der Richtung quer zum Prozess ausstößt, keine Markierungen im erzeugten Testmuster bildet. Stattdessen bildet der Drucker 100 das gedruckte Testmuster unter Verwendung eines Teils der Ausstoßer im Druckkopf, die jeweils den Gesamtversatz in der Richtung quer zum Prozess in einem Testmuster maximieren. Somit bilden manche Ausstoßer, wie z. B. die Ausstoßer 220 bis 228, Markierungen im gedruckten Testmuster, während andere Ausstoßer mit einem geringen oder keinem Versatz in der Richtung quer zum Prozess, wie z. B. der Ausstoßer 270, keine Markierungen im erzeugten Testmuster bilden.

[0034] Fig. 3 zeigt ein Blockschaubild eines Prozesses 300 zum Erzeugen eines Testmusters, das Markierungen beinhaltet, die aus nur einem Teil der Ausstoßer in einem Druckkopf gebildet wird. Insbesondere bildet der Prozess 300 das Testmuster ohne eine Markierung, die von zumindest einem Ausstoßer im Druckkopf gebildet wird, der Markierungen mit einem Versatz in der Richtung quer zum Prozess druckt, der geringer als ein weiterer identifizierter Versatz in der Richtung quer zum Prozess zumindest eines Ausstoßers im Teil der Ausstoßer ist, die im ersten Testmuster beinhaltet sind. In der nachstehenden Beschreibung bezieht sich eine Bezugnahme auf den Prozess 300, der eine Aktion oder Funktion ausführt, auf den Betrieb einer Steuereinheit in einem Drucker, um gespeicherte Programmanweisungen auszuführen, die die Funktion oder Aktion mit anderen Komponenten im Drucker ausführen. Der Prozess 300 ist in Verbindung mit dem Drucker 100 und den **Fig. 1A bis Fig. 1B**, **Fig. 2** und **Fig. 6** für veranschaulichende Zwecke beschrieben.

[0035] Der Prozess 300 beginnt, wenn der Drucker 100 die Ausstoßer in einem Druckkopf betreibt, um ein erstes vordefiniertes Testmuster auf der Oberfläche des Substrats unter Verwendung der Ausstoßer in einem Druckkopf zu bilden (Block 304). Im Drucker 100 erzeugt die Steuereinheit 128 beispielsweise Abstoßsignale für die Ausstoßer im Druckkopf 104A, um Materialtropfen in einem vordefinierten Testmuster in Bezug auf Daten 140 zum vordefinierten Testmuster auszustoßen. Im Drucker 100 ist das Substrat entweder die Oberfläche des Trägerelements 102 oder eine Oberfläche eines gedruckten 3D-Objekts, wie z. B. des Objekts 150, das aus einem Baumaterial oder Trägermaterial gebildet ist, das sich optisch von dem Material unterscheidet, das aus dem Druckkopf 104A ausgestoßen wird. Der Bildsensor 116 im Drucker 100 erzeugt Bilddaten des gedruckten Testmusters auf dem Substrat und die Steuereinheit 128 empfängt die erzeugten Bilddaten vom Bildsensor 116 (Block 308).

[0036] Im Prozess 300 beinhaltet das erste vordefinierte Testmuster eine Mehrzahl von Markierungen, die die meisten oder alle der betriebsbereiten Ausstoßer im Druckkopf 104A auf dem Trägerelement 102 bilden. **Fig. 6** zeigt ein Beispiel für ein vordefiniertes Testmuster 600. Das vordefinierte Testmuster 600 beinhaltet eine Mehrzahl von gedruckten Markierungen, die entlang der Achse CP in der Richtung quer zum Prozess angeordnet sind. Ein einzelner Ausstoßer in einem Druckkopf, wie z. B. dem Druckkopf 104A, stößt einen oder mehrere Materialtropfen aus, um jede gedruckte Markierung im Testmuster 600 zu bilden. Das vordefinierte Testmuster 600 enthält fünf Reihensätze 602A, 602B, 602C, 602D und 602E. Wie hier verwendet, bezieht sich der Ausdruck „Reihensatz“ auf eine Mehrzahl von gedruckten Markierungen, die auf der Oberfläche des Substrats in einer vordefinierten Anordnung gebildet werden, die sich in der Richtung quer zum Prozess erstreckt. Ein Reihensatz beinhaltet zumindest einen Satz von gedruckten Markierungen, die in einer einzelnen „Reihe“ in der Richtung quer zum Prozess angeordnet sind, auch wenn manche Testmuster Reihensätze mit mehreren Reihen der gedruckten Markierungen beinhalten, die als Reihen in der Prozessrichtung gebildet sind. Der Drucker 100 bildet in manchen Reihensätzen mehrere gedruckte Reihen, um die Wirkungen von willkürlichen Fehlern des Platzierens von Materialtropfen quer zum Prozess während der Identifizierung der Abweichung der Positionen von Markierungen im gedruckten Testmuster in der Richtung quer zum Prozess zu verringern.

[0037] In **Fig. 6** beinhaltet das gedruckte Testmuster 600 eine einzelne Reihe von gedruckten Markierungen in jeder der Reihensätze 602A bis 602F, wobei jeder Reihensatz gedruckte Markierungen beinhaltet, die entlang der Achse CP in der Richtung quer zum Prozess angeordnet sind. Die Steuereinheit 128 betreibt nur einen Teil der Ausstoßer im Druckkopf, um jeden Reihensatz im Testmuster zu bilden. Das Testmuster 600 beinhaltet fünf Reihensätze, da die Steuereinheit 128 benachbarte Markierungen in jedem Reihensatz unter Verwendung eines Satzes von Ausstoßern im Druckkopf 104A bildet, wobei vier Zwischenausstoßer zwischen jedem Paar von Ausstoßern liegen, die benachbarte Markierungen im Reihensatz bilden. Das vordefinierte Testmuster 600 beinhaltet insgesamt fünf Reihensätze, um jeden der Ausstoßer im Druckkopf 104 zu betreiben, so dass eine gedruckte Markierung in einem der Reihensätze gebildet wird. Bei manchen Ausführungsformen bildet die Steuereinheit 128 ein Testmuster, das mehrere Instanzen des Testmusters 600 oder eines weiteren ähnlichen Testmusters in unterschiedlichen Bereichen der Substratoberfläche beinhaltet. Bei anderen Ausführungsformen von Testmustern beinhalten die Reihensätze mehrere Reihen der gedruckten Markierungen. Bei manchen Ausführungsformen beispielsweise beinhaltet jeder Reihensatz eine Anzahl von zwei oder mehreren Reihen der gedruckten Markierungen, die durch einen einzelnen Teil der Ausstoßer im Druckkopf 104A gebildet sind. Die Steuereinheit 128 bildet das gedruckte Testmuster mit mehreren Reihen in jedem Reihensatz, um die Wirkungen von zufälligen Fehlern des Platzierens von Tropfen bei der Identifizierung von Abweichungen zwischen den Positionen von gedruckten Markierungen in der Richtung quer zum Prozess zu verringern.

[0038] Wie in **Fig. 6** gezeigt, zeigt das Testmuster 600 eine idealisierte Anordnung von gedruckten Markierungen, wobei die Distanz zwischen benachbarten Markierungen in der Richtung quer zum Prozess bei

jedem der ausgewählten Markierungsreihensätzen 602A bis 602E gleichmäßig ist. Wie oben in **Fig. 2** jedoch gezeigt, geben manche der Ausstoßer im Druckkopf 104A Materialtropfen entlang eines Wegs aus, der nicht parallel zur z-Achse verläuft, wodurch Versätze der Positionen der gedruckten Markierungen auf der Oberfläche des Substrats in die Richtung quer zum Prozess erzeugt werden. In **Fig. 6** zeigt das gedruckte Testmuster 650 ein Beispiel für erzeugte Bilddaten, die Markierungen beinhalten, die durch einen Druckkopf gebildet sind, der Ausstoßer beinhaltet, die Materialtropfen mit Versätzen in die Richtung quer zum Prozess ausgeben. Da zumindest manche der Ausstoßer im Druckkopf 104A Materialtropfen in variierenden Winkeln in der Richtung quer zum Prozess außer der z-Achse ausgeben, weisen die Distanzen zwischen benachbarten gedruckten Markierungen in den Reihensätzen 652A bis 652E im Testmuster 650 im Vergleich zum Testmuster 600 quer zum Prozess Abweichungen auf.

[0039] Unter erneuter Bezugnahme auf **Fig. 3** fährt der Prozess 300 fort, wenn die Steuereinheit 128 die Versätze der Markierungen in der Richtung quer zum Prozess in den erzeugten Bilddaten des ersten gedruckten Testmusters identifiziert (Block 312). Wie hier verwendet, bezieht sich der Ausdruck „Versatz in der Richtung quer zum Prozess“ auf eine Distanz zwischen einer Position einer gedruckten Markierung, die die Steuereinheit 128 in den erzeugten Bilddaten des gedruckten Testmusters identifiziert, und der entsprechenden Position der Markierung in den Testmusterdaten des vordefinierten Testmusters in der Richtung quer zum Prozess. Beispielsweise trennt in **Fig. 6** der Versatz 611 in der Richtung quer zum Prozess die nominale Position einer Markierung 612A im Testmuster 600 von der tatsächlichen Position der entsprechenden Markierung 612B. Die Steuereinheit 128 identifiziert die Versätze in der Richtung quer zum Prozess zwischen jeder der Markierungen im vordefinierten Testmuster 600 und den entsprechenden Positionen von Markierungen im gedruckten Testmuster 650. Bei einer Ausführungsform führt die Steuereinheit 128 ein Filtern und Konvolutionen mit Rand- oder Mittenerkennungskernen der erzeugten Bilddaten durch, die den gesamten Reihen der gedruckten Markierungen im gedruckten Testmuster entsprechen, um die Positionen in der Richtung quer zum Prozess und die entsprechenden Versätze in der Richtung quer zum Prozess in Bezug auf gedruckte Markierungen für unterschiedliche Ausstoßer im Druckkopf zu identifizieren.

[0040] Der z-Achsen-Versatz hängt von der Abweichung der Versätze in der Richtung quer zum Prozess ab. Die genaueste Messung erfolgt, wenn die Richtung quer zum Prozess jedes Strahls bestimmt wird. Das Messen jedes Strahls auf dem Druckkopf erfordert jedoch mehrere Reihensätze. Manche Ausführungsformen approximieren die Abweichung des Versatzes in der Richtung quer zum Prozess mit einem einzelnen Reihensatz, wie z. B. bei Konfigurationen, bei denen das Substrat eine begrenzte Platzmenge beinhaltet, um das gedruckte Testmuster aufzunehmen. Manche Konfigurationen, die ein Testmuster unter Verwendung eines einzelnen Reihensatzes drucken, werden mit einem Substrat, wie z. B. dem Trägerelement 102 verwendet, das das gedruckte Testmuster zu unterschiedlichen Zeitpunkten und an unterschiedlichen Positionen während eines Prozesses zum Drucken eines dreidimensionalen Objekts aufnimmt. Ein gedrucktes Testmuster, das eine einzelne Reihe oder eine geringe Anzahl von Reihen beinhaltet, deckt einen kleineren Teil des Substrats ab, wodurch ermöglicht wird, dass der Drucker 100 eine größere Anzahl der Testmuster während des Druckprozesses erzeugt, ohne dass die zuvor gedruckten Testmuster von der Substratoberfläche gereinigt werden.

[0041] Der Prozess 300 setzt fort, wenn der Drucker 100 nur einen Teil der Ausstoßer im Druckkopf 104A identifiziert, die Versätze in der Richtung quer zum Prozess und eine ausreichende Trennung in der Richtung quer zum Prozess beinhalten, um ein zweites gedrucktes Testmuster mit einem einzelnen Reihensatz zu bilden (Block 316). Auch wenn das vordefinierte Testmuster für gewöhnlich Markierungen beinhaltet, die durch die meisten oder alle der Ausstoßer im Druckkopf unter Verwendung eines einheitlichen Musters gebildet werden, beinhaltet das zweite gedruckte Testmuster nur Markierungen, die von einem Teil der Ausstoßer im Druckkopf gebildet werden. Die Steuereinheit 128 identifiziert den Teil der Ausstoßer, die das zweite Testmuster ohne zumindest einen Ausstoßer im Druckkopf bilden, der eine Markierung im ersten Testmuster bildet und keine Markierung im zweiten Testmuster bildet. Die Steuereinheit 128 lässt zumindest einen Ausstoßer im Druckkopf 104A mit einem identifizierten Versatz in der Richtung quer zum Prozess aus, der geringer als der Versatz zumindest eines anderen Ausstoßers in der Richtung quer zum Prozess ist, der im Teil der Ausstoßer vorhanden ist, die das zweite Testmuster bilden. Die Steuereinheit 128 lässt ein Minimum von K Strahlen zwischen beliebigen zwei benachbarten Strahlen im zweiten Testmuster aus.

[0042] Bei einer Ausführungsform des Prozesses 300 identifiziert die Steuereinheit 128 den Teil der Ausstoßer im Druckkopf 104A, die im zweiten Testmuster beinhaltet sind, unter Verwendung eines dynamischen Programmierprozesses, der Ausstoßer mit einer maximalen Summe von Versätzen in der Richtung quer zum Prozess identifiziert, wobei gleichzeitig eine minimale Trennung zwischen den identifizierten Ausstoßern in der Richtung quer zum Prozess beibehalten wird. Im Prozess 300 identifiziert die Steuereinheit 128 Aus-

stoßer, die die gedruckten Markierungen mit der größten Gesamtsumme von Versätzen in der Richtung quer zum Prozess für das zweite gedruckte Testmuster aufweisen. Die Steuereinheit 128 identifiziert jedoch die Ausstoßer unter Bezugnahme auf eine Einschränkung für eine minimale Trennung zwischen den identifizierten Ausstoßern in der Richtung quer zum Prozess. Beispielsweise bildet der Druckkopf 104A benachbarte Markierungen in jedem der Reihensätze 652A bis 652E im vordefinierten Testmuster mit einer Trennung in der Richtung quer zum Prozess von vier Ausstoßern im Druckkopf 104A zwischen jedem Paar von Ausstoßern, die benachbarte Markierungen in den Reihensätzen 652A bis 652E bilden. Die Steuereinheit 128 identifiziert die Ausstoßer im Druckkopf 104A, die den maximalen Versatz in der Richtung quer zum Prozess aufweisen, wobei gleichzeitig eine Einschränkung der minimalen Trennung einer vordefinierten Anzahl von Ausstoßern erfüllt wird, die benachbarte Ausstoßer trennen, die Markierungen im zweiten Testmuster bilden. Die Steuereinheit 128 setzt eine Variante einer maximalen Summenteilsequenz mit nicht aufeinander folgenden Elementen um. Die allgemeine maximale Summenteilsequenz mit einem dynamischen Programmierprozess an nicht aufeinander folgenden Elementen ist auf dem Gebiet bekannt. Im Drucker 100 setzt die Steuereinheit 128 eine Variante des dynamischen Programmierprozesses um, der als „Max Sum Min Gap“-Prozess bezeichnet wird. Die Steuereinheit 128 führt die gespeicherten Programmanweisungen 136 aus, um Ausstoßer mit der größten Summe von Versätzen in der Richtung quer zum Prozess (Max Sum; maximale Summe) zu identifizieren und eine Ausstoßertrenneinschränkung zu erfüllen, die den Spalt zwischen Ausstoßern in der Richtung quer zum Prozess (Min Gap; minimaler Spalt) minimiert. Bei anderen Ausführungsformen setzt die Steuereinheit 128 einen beliebigen geeigneten Algorithmus um, um den Teil von Ausstoßern im Druckkopf für das zweite Testmuster zu identifizieren.

[0043] Ein vereinfachtes Beispiel für den Max-Sum-Min-Gap-Algorithmus beinhaltet einen Druckkopf mit neun Ausstoßern mit gemessenen Versätzen in der Richtung quer zum Prozess von [10, 9, 8, 15, 2, 5, 4, 13, 6] µm und eine Einschränkung, dass zumindest zwei Ausstoßer benachbarte Ausstoßer trennen sollten, die für das zweite Testmuster ausgewählt sind. Die Sequenz von Versätzen in der Richtung quer zum Prozess entspricht den Positionen der Ausstoßer im Druckkopf in der Richtung quer zum Prozess. Ein naiver Ansatz, der insgesamt drei gleich beabstandete Ausstoßer ([10, 18, 4], [9, 2, 13] oder [8, 5, 6]) ausgewählt, erzeugt Summen der Richtungen quer zum Prozess von 29 µm, 27 µm bzw. 19 µm. Der dynamische Programmierprozess hingegen identifiziert einen Satz von drei vier Ausstoßern ([10, 15, 13]), die eine größere Gesamtsumme der Richtungen quer zum Prozess von 38 µm erzeugen, wobei gleichzeitig die Einschränkung erfüllt wird, dass zumindest zwei Ausstoßer zwischen dem Teil von Ausstoßern im zweiten Testmuster platziert sind. Der dynamische Programmierprozess lässt einen oder mehrere der Ausstoßer aus, die vergleichsweise geringe Versätze in der Richtung quer zum Prozess aufweisen, wie z. B. den Ausstoßer mit einem Versatz in der Richtung quer zum Prozess von 2 µm, aus dem zweiten Testmuster. Im Drucker 100 führt die Steuereinheit 128 gespeicherte Programmanweisungen aus, um den dynamischen Max-Sum-Min-Gap-Programmierprozess umzusetzen, um Ausstoßer mit der größten Summe von Versätzen in der Richtung quer zum Prozess (Max Sum) zu identifizieren und eine Ausstoßertrenneinschränkung zu erfüllen, die den Spalt zwischen Ausstoßern in der Richtung quer zum Prozess (Min Gap) minimiert. Der Max-Sum-Min-Gap-Algorithmus ist in der folgenden Gleichung angeführt: $T[i] = \max\{T[i - s], T[i - s + 1], \dots, T[i - 1], T[i - s - 1] + a[i]\}$ wobei $a[i]$ der Versatz eines Ausstoßers quer zum Prozess mit einem Index i ist und $T[i]$ die maximale Summe einer Teilsequenz (s) der identifizierten Zahlen zu den Versatzwerten in der Richtung quer zum Prozess mit Indizes in einem Bereich von 1 bis i sind, die den Max-Sum-Min-Gap-Algorithmus erfüllen. Die Steuereinheit 128 verwendet eine dynamische Programmierregel für $T[i]$, um den Teil der Ausstoßern im Druckkopf mit der maximalen Summe von Versätzen in der Richtung quer zum Prozess zu identifizieren.

[0044] Im obigen Beispiel leitet die Steuereinheit 128 den dynamischen Programmierprozess mit der Bedingung $T[-2] = 0$, $T[-1] = 0$ und $T[0] = 0$ ein. Die Steuereinheit 128 führt danach die Funktionen, die den folgenden Gleichungen entsprechen, für das veranschaulichende Beispiel des Max-Sum-Min-Gap-Algorithmus aus:

$$T[1] = \max\{T[-1], T[0], T[1-3] + a[1]\} = \max\{0, 0, 0 + 10\} = 10$$

$$T[2] = \max\{T[0], T[1], T[2-3] + a[2]\} = \max\{0, 10, 0 + 9\} = 10$$

$$T[3] = \max\{T[1], T[2], T[3-3] + a[3]\} = \max\{10, 10, 0 + 8\} = 10$$

$$T[4] = \max\{T[2], T[3], T[4-3] + a[4]\} = \max\{10, 10, 10 + 15\} = 25$$

$$T[5] = \max\{T[3], T[4], T[5-3] + a[5]\} = \max\{10, 25, 10 + 2\} = 25$$

$$T[6] = \max\{T[4], T[5], T[6-3] + a[6]\} = \max\{25, 25, 10 + 5\} = 25$$

$$T[7] = \max\{T[5], T[6], T[7-3] + a[7]\} = \max\{25, 25, 25 + 4\} = 29$$

$$T[8] = \max\{T[6], T[7], T[8-3] + a[8]\} = \max\{25, 29, 25 + 13\} = 38$$

$$T[9] = \max\{T[7], T[8], T[9-3] + a[9]\} = \max\{29, 38, 25 + 3\} = 38$$

[0045] Die Steuereinheit 128 berechnet die Gleichung T[9], um einen Max-Sum-Min-Gap-Wert von 38 zu erzeugen, der anhand der Untersuchung des oben dargebotenen Beispiels als korrekt angesehen werden kann. Für einen größeren Satz von Strahlen erzeugt dieser Algorithmus die größere Summe der Ausstoßerversätze, die die Kriterien einer minimalen Trennung zwischen Ausstoßern erfüllen.

[0046] Die genauen Ausstoßer, die die maximale Summe erzeugen, kann unter Verwendung von Gegenzeigern identifiziert werden. Die Steuereinheit 128 speichert das Maximum der Sequenz von Termen, wie oben beschrieben, und eine Sequenz der Terme, die das Maximum im Speicher 132 erzeugten, um die Gegenzeiger zu erzeugen. Beispielsweise ist das Maximum der Terme, die T[8] erzeugen, die letzte der Sequenz, die sich aus T[5] ergibt. Die Steuereinheit 128 erzeugt einen Gegenzeiger aus einem Ausstoßer 8, der den Ausstoßer 5 referenziert. Das Maximum der Terme, die T[9] erzeugen, die letzte der mittlere Term, der sich aus T[8] ergibt. Die Steuereinheit 128 erzeugt aus diesem Grund einen Gegenzeiger aus einem Ausstoßer 9, der sich auf den Ausstoßer 8 bezieht. Um die Sequenz zu rekonstruieren, beginnt die Steuereinheit 128 mit dem letzten Ausstoßer in der Sequenz und folgt einer Sequenz von Gegenzeigern, um die restlichen Ausstoßer in der Sequenz zu identifizieren. Wenn sich der Gegenzeiger eines Ausstoßers auf einen benachbarten Ausstoßer bezieht (z. B. ein Gegenzeiger von Ausstoßer 4 bezieht sich auf einen Ausstoßer 3), dann ersetzt der benachbarte Ausstoßer den aktuellen Ausstoßer in der ausgewählten Sequenz von Ausstoßern. Wenn sich der Gegenzeiger nicht auf einen benachbarten Ausstoßer bezieht, fügt die Steuereinheit 128 den aktuellen Ausstoßer zur Liste von Ausstoßern hinzu, die es für die Konstruktion zu verwenden gilt, und die Steuereinheit 128 setzt den Prozess zum Erzeugen von Gegenzeigern mit dem nächsten Ausstoßer fort, auf den sich der aktuelle Ausstoßer bezieht. Die Steuereinheit 128 wieder den Gegenzeigerprozess, bis der niedrigste Ausstoßer im Druckkopf oder in der Gruppe von Ausstoßern erreicht ist, die das Testmuster bilden.

[0047] Während des Prozesses 300 erzeugt die Steuereinheit 128 zweite Testmusterdaten, die Markierungen beinhalten, die unter Verwendung des Teils der oben identifizierten Ausstoßer und ohne Verwendung zumindest eines anderen Ausstoßers im Druckkopf gebildet werden (Block 320). Die Steuereinheit 128 speichert die zweiten Testmusterdaten mit den Vor-Druckkopf-Testmusterdaten 142 im Speicher 132, der mit dem Druckkopf 104A assoziiert ist (Block 324). Die zweiten Testmusterdaten beinhalten beliebige Daten, die die Steuereinheit 128 verwendet, um den Druckkopf 104A zu betreiben, um ein zweites Testmuster zu bilden, das nur gedruckte Markierungen aufweist, die vom identifizierten Teil der Ausstoßer gebildet wurden, und ohne Markierungen, die von den restlichen Ausstoßern im Druckkopf gebildet wurden. Bei einer Ausführungsform erzeugt die Steuereinheit 128 ein gerastertes gedrucktes Bild für die zweiten Testmusterdaten, das zumindest eine Markierung beinhaltet, die von jedem der Ausstoßer im identifizierten Teil von Ausstoßern für den Druckkopf 104A gebildet wurde.

[0048] **Fig. 6** zeigt ein veranschaulichendes Beispiel für eine Mehrzahl von Markierungen, die in einem zweiten Testmuster 675 gebildet werden. In **Fig. 6** beinhaltet das zweite Testmuster 675 mehrere gedruckte Reihen der Markierungen in einem Reihensatz unter Verwendung von Ausstoßern, die anhand des Max-Sum-Min-Gap-Algorithmus bestimmt wurden. Der Bildsensor 116 erzeugt Bilddaten der mehreren Markierungsreihen, um zu ermöglichen, dass die Steuereinheit 128 die Positionen der Markierungen von jedem Ausstoßer in der Richtung quer zum Prozess mit größerer Genauigkeit identifizieren kann. Das zweite Testmuster 675 beinhaltet Markierungen, die nur durch einen Teil der Ausstoßer gebildet sind, die Markierungen in den Testmustern 600 und 650 bilden. Beispielsweise während des dynamischen Programmierprozesses, der oben beschrieben ist, identifiziert die Steuereinheit 128 die Markierungen 612A, 614A, 616A, 618A, 620A und 622A im Testmuster 600 bzw. entsprechende gedruckte Markierungen 612B, 614B, 616B, 618B, 620B und 622B im Testmuster 650 während des Max-Sum-Min-Gap-Prozesses. Die Ausstoßer, die den Markierungen 612A/B bis 622A/B entsprechen, sind voneinander ebenfalls durch eine ausreichend große Distanz in der Richtung quer zum Prozess getrennt, um zu ermöglichen, dass der Bildsensor 116 die Positionen von gedruckten Markierungen von unterschiedlichen Ausstoßern im Druckkopf 104A klar unterscheiden kann. Das zweite Testmuster 675 lässt auch Markierungen von manchen der Ausstoßern aus. Beispielsweise haben die Markierung 610A im Testmuster 600 und eine entsprechende Markierung 610B im Testmuster

einen minimalen Versatz in der Richtung quer zum Prozess. Somit zeigt die Position der gedruckten Markierung 610B nur eine geringe Änderung, wenn sich die Distanz zwischen dem Druckkopf 104A und einem Substrat in z-Achsen-Richtung ändert, und die Steuereinheit 128 lässt den Ausstoßer, der die Markierungen 610A/610B bildet, im zweiten Testmuster 675 aus.

[0049] Beim Drucker 100 führt die Steuereinheit 128 den Prozess 300 für jeden der Druckköpfe 104A bis 104C und 108A bis 108C durch, da die Herstellungsprozesse für die Druckköpfe Ausstoßer mit unterschiedlichen Graden der Abweichung quer zum Prozess in jedem Druckkopf erzeugen. Die Steuereinheit 128 speichert die zweiten Testmusterdaten für jeden der Druckköpfe im Speicher 132 mit den Daten 142 zum erzeugten Testmuster vor dem Druckkopf zur Verwendung bei der Identifizierung der z-Achsen-Distanz zwischen den Druckköpfen 104A bis 104C und 108A bis 108C und einem Substrat im Drucker 100.

[0050] **Fig. 4** zeigt ein Blockschaubild eines Prozesses 400 zum Erzeugen eines Profils zwischen der z-Achsen-Distanz zwischen einem Druckkopf und einem Substrat und einer Höhe der Abweichung einer Tropfenplatzierung in der Richtung quer zum Prozess eines Druckkopfs in einem Drucker für dreidimensionale Objekte. In der nachstehenden Beschreibung bezieht sich eine Bezugnahme auf den Prozess 400, der eine Aktion oder Funktion ausführt, auf den Betrieb einer Steuereinheit in einem Drucker, um gespeicherte Programmanweisungen auszuführen, die die Funktion oder Aktion mit anderen Komponenten im Drucker ausführen. Der Prozess 400 ist in Verbindung mit dem Drucker 100 und den **Fig. 1A** bis **Fig. 1B**, **Fig. 2**, **Fig. 6** und **Fig. 7** für veranschaulichende Zwecke beschrieben.

[0051] Der Prozess 400 beginnt, wenn der Drucker 100 einen Druckkopf und das Substrat in einer ersten Position mit einer ersten Trenndistanz entlang der z-Achse platziert (Block 404). Beispielsweise betreibt die Steuereinheit 128 eines oder beide der Betätigungslemente 120A und 124, um den Druckkopf 104A und ein Substrat in der ersten Position entlang der z-Achse zu platzieren. Wie oben beschrieben, ist das Substrat entweder das Trägerelement 102 oder eine obere Oberfläche einer Baumaterial- oder Trägermaterialstruktur, die ein Drucksubstrat bildet. Beim Drucker 100 beispielsweise betreibt die Steuereinheit 128 optional die Druckköpfe 108A bis 108C, um eine Struktur aus einem zweiten Baumaterial oder Trägermaterial mit einer gleichmäßigen Substratoberfläche zu bilden, die sich optisch vom Material unterscheidet, das vom Druckkopf 104A ausgestoßen wird. Die Steuereinheit 128 bildet das gedruckte Testmuster bei manchen Konfigurationen auf der Oberfläche der Struktur und nicht auf der Oberfläche des Trägerelements.

[0052] Der Prozess 400 setzt fort, wenn die Steuereinheit 128 den Druckkopf 104A betreibt, um ein Testmuster auf der Oberfläche des Substrats zu bilden, wobei der Druckkopf und das Substrat um die erste Distanz entlang der z-Achse getrennt sind (Block 408). Im Drucker 100 verwendet die Steuereinheit 128 die Vor-Druckkopf-Testmusterdaten 142, die während des Prozesses 300 erzeugt werden und im Speicher 132 gespeichert sind, um das zweite Testmuster zu bilden, das Markierungen von Ausstoßern beinhaltet, die als einer erhöhten Höhe des Versatzes von gedruckten Markierungen in der Richtung quer zum Prozess auf dem Substrat aufweisend identifiziert wurden.

[0053] Der Prozess 400 setzt fort, wenn der Bildsensor 116 Bilddaten des Substrats und des zweiten gedruckten Testmusters erzeugt, das auf dem Substrat gebildet ist, während sich der Druckkopf in der ersten Distanz zum Substrat entlang der z-Achse befindet (Block 412). Beim Drucker 100 empfängt die Steuereinheit 128 die erzeugten Bilddaten vom Bildsensor 116. Die Steuereinheit 128 identifiziert die eine erste Abweichung der Positionen der gedruckten Markierungen in der Richtung quer zum Substrat in Bezug auf die Positionen in der Richtung quer zum Substrat und entsprechende Distanzen in der Richtung quer zum Substrat, die die gedruckten Markierungen im abgetasteten Bild des Testmusters trennen (Block 416). Wie hier verwendet, bezieht sich der Ausdruck „Abweichung“ auf die identifizierten Versätze zwischen gedruckten Markierungen in den erzeugten Bilddaten des gedruckten Testmusters in der Richtung quer zum Prozess im Vergleich mit den vordefinierten Positionen der gedruckten Markierungen für das Testmuster, wenn die gedruckten Markierungen ohne Versatz in der Richtung quer zum Prozess gebildet wurden.

[0054] Bei einer Ausführungsform identifiziert die Steuereinheit 128 die Abweichungen der Positionen der Markierungen in der Richtung quer zum Prozess in Bezug auf die Standardabweichung der Distanzen zwischen Markierungen in der Richtung quer zum Prozess im Vergleich mit einer durchschnittlichen Distanz zwischen den Markierungen in der Richtung quer zum Prozess in den Reihensätzen des gedruckten Testmusters. Bei einer Konfiguration identifiziert die Steuereinheit 128 die Abweichung in Bezug auf die durchschnittliche Distanz zwischen Markierungen in der Richtung quer zum Prozess empirisch anhand der abgetasteten Bilddaten des gedruckten Testmusters (z. B. die durchschnittliche Distanz zwischen Markierungen in den abgetasteten Bilddaten des Testmusters 650) und identifiziert danach die Standardabweichung in

Bezug auf den empirischen Durchschnitt. Bei einer weiteren Konfiguration verwendet die Steuereinheit 128 die vordefinierte Trennung zwischen Markierungen im vordefinierten Testmuster in der Richtung quer zum Prozess (z. B. die Trennung zwischen Markierungen im Testmuster 600 in der Richtung quer zum Prozess) als Durchschnitt und identifiziert die Standardabweichung in Bezug auf den vordefinierten Durchschnitt. Bei einer weiteren Konfiguration identifiziert die Steuereinheit 128 die Standardabweichung auf Basis von Paaren von gedruckten Markierungen. Die Steuereinheit 128 identifiziert die Standardabweichung zwischen der Distanz in der Richtung quer zum Prozess, die benachbarte gedruckte Markierungen im Testmuster trennt, und der durchschnittlichen vordefinierten Trenndistanz zwischen den Markierungen im vordefinierten Testmuster. Bei einer weiteren Konfiguration identifiziert die Steuereinheit 128 die durchschnittliche Distanz zwischen benachbarten Gruppen von Markierungen in der Richtung quer zum Prozess und identifiziert danach die Standardabweichung in Bezug auf den empirischen Durchschnitt der Gruppe, zu der jeder Strich gehört. Bei einer Konfiguration beispielsweise identifiziert die Steuereinheit 128 die Standardabweichung für Gruppen von 16 Strichen im Testmuster und identifiziert die Gesamtabweichung als Durchschnitt der Standardabweichungswerte für jede Gruppe von Strichen.

[0055] Der Prozess 400 setzt fort, wenn der Drucker 100 die Steuereinheit 128 einstellt, um eines oder beide des Druckkopf-Betätigungsselement 120A und des Trägerelement-Betätigungsselement 124 zu betreiben, um den Druckkopf 104A und das Substrat um eine vordefinierte Distanz entlang der z-Achse in eine zweite Position mit einer zweiten Trenndistanz entlang der z-Achse zu bewegen (Block 420). Die Steuereinheit 128 betreibt den Druckkopf 104A, um das zweite Testmuster aus den Vor-Druckkopf-Testmusterdaten 142 in der zweiten Position zu bilden (Block 424), während der Druckkopf um die zweite Distanz entlang der z-Achse vom Substrat getrennt ist, erzeugt zweite Bilddaten des gedruckten Testmusters mit dem Bildsensor 116 (Block 428) und identifiziert eine zweite Abweichung der Distanzen zwischen Markierungen im zweiten erzeugten Bild in der Richtung quer zum Prozess (Block 432). Die Steuereinheit 128 betreibt die Tintenstrahlen in jedem Druckkopf unter Verwendung der Bilddaten 142 zum erzeugten Testmuster vor dem Druckkopf, die der Drucker 100 während des Prozesses 300 erzeugt, um das gedruckte Testmuster mit der erhöhten Abweichungshöhe zwischen Markierungspositionen zu erzeugen. Der Drucker 100 führt die Verarbeitung der Blöcke 424 bis 432 auf im Wesentlichen die gleiche Weise wie die Verarbeitung der Blöcke 408 bis 416 durch. Die Steuereinheit 128 identifiziert eine zweite Abweichung für die Distanzen zwischen gedruckten Markierungen im Testmuster in der Richtung quer zum Prozess, das in der zweiten z-Achsen-Position gedruckt wird, im Vergleich mit der ersten Abweichung des Testmusters, das in der ersten z-Achsen-Position gedruckt wird, in zwei unterschiedlichen z-Achsen-Distanzen zwischen dem Druckkopf 104A und dem Substrat. Beispielsweise wenn der Drucker 100 die z-Achsen-Distanz zwischen dem Druckkopf 104A und dem Substrat in der zweiten Position erhöht, erhöhen sich die Abweichungshöhen, da die Tropfen von ausgestoßenem Material aus dem Druckkopf sich um eine längere lineare Distanz zur Oberfläche des Substrats bewegen. Wenn jedoch die zweite Position eine kürzere z-Achsen-Distanz als die erste Position aufweist, nimmt die Abweichung ab, da die Tropfen von ausgestoßenem Material aus dem Druckkopf sich um eine kürzere lineare Distanz zur Oberfläche des Substrats bewegen.

[0056] Unter erneuter Bezugnahme auf **Fig. 4** setzt ein Prozess 400 fort, wenn die Steuereinheit 128 ein Profil für den Druckkopf 104A erzeugt, das eine Beziehung zwischen der z-Achse-Distanz und den ersten und zweiten Abweichungen der Distanzen zwischen gedruckten Markierungen in der Richtung quer zum Prozess und der vordefinierten z-Achsen-Distanz zwischen der ersten Position und der zweiten Position beinhaltet (Block 436). Bei einer Ausführungsform identifiziert die Steuereinheit 128 die Beziehung als lineare Beziehung zwischen den ersten und zweiten Abweichungshöhen auf einer Achse und der vordefinierten Verschiebungsdistanz entlang der z-Achse zwischen den ersten und zweiten Positionen entlang einer weiteren Achse. Die Steuereinheit 128 speichert das erzeugte Profil im Speicher 132 mit den Daten 144 zum Tropfenabweichung-zu-z-Achsen-Distanz-Profil, die mit dem Druckkopf 104A assoziiert sind.

[0057] **Fig. 7** zeigt einen Graphen 700 eines Beispiels für eine Beziehung zwischen Abweichungen der Positionen von Markierungen in den gedruckten Testmustern in der Richtung quer zum Prozess und der z-Achsen-Distanz im Druckkopfprofil. Der Graph 700 beinhaltet die Linie 732, die dem Anstieg 728 entspricht, der der vordefinierten Änderung der Druckkopf- und Substratdistanzen entspricht, und den Verlauf 730, der der Veränderung der identifizierten Abweichungen der Tropfenplatzierung in der Richtung quer zum Prozess zwischen der ersten Positionsabweichung 720 und der zweiten Positionsabweichung 724 entspricht. Der Graph 700 beinhaltet außerdem zusätzliche identifizierte Abweichungshöhen, die bei unterschiedlichen z-Achsen-Distanzen zwischen dem Druckkopf und dem Substrat erzeugt werden, und die Steuereinheit 128 erzeugt die lineare Beziehung 732 als Best-Fit-Linie durch die unterschiedlichen Abweichungshöhen. Auch wenn **Fig. 7** eine lineare Beziehung für das Druckkopfprofil zeigt, können alternative Profilausführungsformen Kur-

ven, Splines oder andere Beziehungen zwischen den Abweichungshöhen in der Richtung quer zum Prozess und der z-Achsen-Distanz beinhalten.

[0058] **Fig. 5** zeigt ein Blockschaubild eines Prozesses 500 zum Identifizieren einer Distanz zwischen einem Druckkopf und einem Substrat in einem Drucker für dreidimensionale Objekte entlang einer z-Achse. In der nachstehenden Beschreibung bezieht sich eine Bezugnahme auf den Prozess 500, der eine Aktion oder Funktion ausführt, auf den Betrieb einer Steuereinheit in einem Drucker, um gespeicherte Programmanweisungen auszuführen, die die Funktion oder Aktion mit anderen Komponenten im Drucker ausführen. Der Prozess 500 ist in Verbindung mit dem Drucker 100 und den **Fig. 1B** für veranschaulichende Zwecke beschrieben. Der Prozess 500 ist in Verbindung mit dem Druckkopf 104A für veranschaulichende Zwecke beschrieben, aber der Drucker 100 führt den gleichen Prozess für manche oder alle der Druckköpfe 104A bis 104C und 108A bis 108C durch.

[0059] Der Prozess 500 beginnt, wenn die Steuereinheit 128 den Druckkopf 104A betreibt, um ein dreidimensionales gedrucktes Objekt zu bilden (Block 504). Während des Betriebs betreibt die Steuereinheit 128 im Drucker 100 den Druckkopf 104A und die anderen Druckköpfe 104B bis 104C und 108A bis 108C, um ein gedrucktes Objekt zu bilden, wie z. B. das gedruckte Objekt 150, das in **Fig. 1B** gezeigt ist. Während des Druckprozesses betreibt die Steuereinheit 128 die Ausstoßer im Druckkopf 104A, um das Testmuster auf der Oberfläche des Substrats in Bezug auf die Vor-Druckkopf-Testmusterdaten 142 zu bilden, die mit dem Druckkopf 104A assoziiert sind. In **Fig. 1B** ist das Substrat das Trägerelement 102, das die Testmuster 184 aufnimmt, oder eine andere Substratoberfläche, wie z. B. die obere Schicht des Objekts 150, die auf dem Trägerelement 102 gebildet ist (Block 508). Bei dem Beispiel von **Fig. 1B** bildet die obere Schicht des Objekts 150 ein Substrat unter Verwendung eines optisch unterschiedlichen Materials aus den Druckköpfen 108A bis 108C, um eine Oberfläche zu bilden, die zum gedruckten Testmuster 186 aus dem Druckkopf 104A einen Kontrast bildet. Bei anderen Ausführungsformen bilden die Druckköpfe 104A bis 104C und 108A bis 108C getrennte Substratstrukturen, die der Höhe des dreidimensionalen gedruckten Objekts entlang der z-Achse entsprechen.

[0060] Der Prozess 500 setzt fort, wenn der Drucker 100 Bilddaten der gedruckten Testmuster mit dem Bildsensor 116 erzeugt (Block 512), und die Steuereinheit 128 identifiziert Abweichungen der Positionen der gedruckten Markierungen im Testmuster in der Richtung quer zum Prozess in Bezug auf die erzeugten Bilddaten (Block 516). Die Steuereinheit 128 führt die Verarbeitung der Blöcke 512 und 516 auf ähnliche Weise wie die Testmusterabtastung und Abweichungsidentifizierung wie oben in den Blöcken 412 bzw. 416 oder 424 bzw. 428 im Prozess 400 beschrieben durch.

[0061] Während des Prozesses 500 verwendet die Steuereinheit 128 die identifizierte Abweichung der Positionen der Markierungen im gedruckten Testmuster in der Richtung quer zum Prozess und die Abweichung-zu-z-Achsen-Distanz-Profildaten 144, die im Speicher 132 gespeichert sind, um die z-Achsen-Distanz zwischen dem Druckkopf 104A und dem Substrat zu identifizieren (Block 520). Wie oben in Bezug auf **Fig. 7** beschrieben, verwendet die Steuereinheit 128 die zuvor erzeugte lineare Beziehung, um eine Distanz entlang der z-Achsen-Distanz zwischen dem Druckkopf 104A und dem Substrat zu identifizieren, wie z. B. dem Trägerelement 102 oder der oberen Schicht des Objekts 150. Wenn die identifizierte z-Achsen-Distanz zwischen dem Druckkopf und dem Substrat innerhalb eines vordefinierten Toleranzbereichs liegt (Block 524), setzt der Drucker 100 fort und verwendet den Druckkopf 104A, um das dreidimensionale gedruckte Objekt zu bilden, und die Steuereinheit 128 führt optional den Prozess 500 zu einem späteren Zeitpunkt des Druckprozesses erneut durch. Wenn die z-Achsen-Distanz zwischen dem Druckkopf 104A und dem Substrat jedoch zu klein oder zu groß ist, betreibt die Steuereinheit 128 eines oder beide der Betätigungsselemente 120A und 124, um die z-Achsen-Distanz zwischen dem Druckkopf 104A und dem Substrat auf innerhalb des vordefinierten Toleranzbereichs einzustellen (Block 528). Beispielsweise bei der Ausführungsform des Druckers 100 liegt die annehmbare z-Achsen-Distanz in einem Bereich von ungefähr 0,4 mm bis 0,8 mm, auch wenn die z-Achsen-Distanz bei unterschiedlichen Ausführungsformen des Druckers für dreidimensionale Objekte variiert.

[0062] Bei manchen Ausführungsformen ist eine oder sind beide der ersten Position und der zweiten Position entlang der z-Achse in einer vordefinierten gemessenen Distanz (z. B. 0,5 mm und 1 mm) zwischen dem Druckkopf und dem Substrat. Bei diesen Ausführungsformen kann die Steuereinheit 128 die Profildaten verwenden, um eine absolute Distanz zwischen dem Druckkopf 104A und dem Substrat zu identifizieren und um zu identifizieren, ob die z-Achsen-Distanz für Druckvorgänge zu klein oder zu groß ist. Der Drucker 100 kann jedoch das Profil ohne Messungen der absoluten z-Achsen-Distanz zwischen dem Druckkopf und der Substratoberfläche erzeugen. Stattdessen erzeugt die Steuereinheit 128 das Profil mit einer bekannten z-Achsen-Verschiebung zwischen der ersten Position und der zweiten Position des Druckkopfs und Substrats

entlang der z-Achse. Die Steuereinheit 128 verwendet das Profil, das der relativen z-Achsen-Distanz zwischen dem Druckkopf und dem Substrat entspricht, um zu identifizieren, ob der Druckkopf entlang der z-Achse zu nahe am Substrat oder zu weit von diesem entfernt liegt.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Betreiben eines Druckers für dreidimensionale Objekte, das umfasst:

Betreiben einer Mehrzahl von Ausstoßern in einem Druckkopf in Bezug auf gespeicherte Bilddaten durch eine Steuereinheit, um ein erstes vordefiniertes Testmuster zu bilden, das eine erste Mehrzahl von Markierungen beinhaltet, die in einer Richtung quer zum Prozess auf einer Oberfläche eines Substrats angeordnet sind;

Erzeugen von ersten erzeugten Bilddaten der ersten Mehrzahl von Markierungen auf dem Substrat mit einem Bildsensor;

Identifizieren einer Mehrzahl von Versetzungen in der Richtung quer zum Prozess für die erste Mehrzahl von Markierungen in den ersten erzeugten Bilddaten des ersten vordefinierten Testmusters durch die Steuereinheit, wobei jeder Versatz in der Richtung quer zum Prozess in Bezug auf einen Unterschied zwischen einer Position einer ersten Markierung in den ersten erzeugten Bilddaten und einer vordefinierten Position der Markierung in den gespeicherten Bilddaten, auf die Bezug genommen wurde, um das erste vordefinierte Testmuster zu erzeugen, identifiziert wird;

Erzeugen von zweiten Testmusterdaten, die einer zweiten Mehrzahl von Markierungen entsprechen, die in der Richtung quer zum Prozess angeordnet sind, durch die Steuereinheit, die nur durch einen Teil der Mehrzahl von Ausstoßern im Druckkopf und ohne eine Markierung zu bilden sind, die durch zumindest einen anderen Ausstoßer in der Mehrzahl von Ausstoßern gebildet wurde, wobei die Markierung dem zumindest einen anderen Ausstoßer entspricht, der einen Versatz der Richtung quer zum Prozess aufweist, der geringer als ein weiterer identifizierter Versatz in der Richtung quer zum Prozess zumindest eines Ausstoßers im Teil der Mehrzahl von Ausstoßern im Druckkopf ist; und

Speichern der zweiten Testmusterdaten in einem Speicher durch die Steuereinheit für den Betrieb des Teils der Mehrzahl von Ausstoßern, um eine Identifizierung einer z-Achsen-Distanz zwischen dem Druckkopf und dem Substrat zu ermöglichen, wobei die z-Achse senkrecht zur Oberfläche des Substrats verläuft.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das Erzeugen der zweiten Testmusterdaten des Weiteren umfasst: Identifizieren des Teils der Mehrzahl von Ausstoßern in Bezug auf einen Max-Sum-Min-Gap-Prozess, der auf die Mehrzahl von Versätzen in der Richtung quer zum Prozess angewandt wird, durch die Steuereinheit, um den Teil der Mehrzahl von Ausstoßern zu identifizieren, die Markierungen in der ersten Mehrzahl von Markierungen mit maximierten Versätzen in der Richtung quer zum Prozess bilden.

3. Verfahren nach Anspruch 2, wobei der Max-Sum-Min-Gap-Prozess des Weiteren umfasst:

Identifizieren des Teils der Mehrzahl von Ausstoßern während des Max-Sum-Min-Gap-Prozesses mit einer vordefinierten Mindestanzahl von Ausstoßern in der Mehrzahl von Ausstoßern durch die Steuereinheit, die nicht im Teil der Mehrzahl von Ausstoßern sind, die Ausstoßer im Teil der Mehrzahl von Ausstoßern trennen, die benachbarte Markierungen in der Richtung quer zum Prozess in den zweiten Testmusterdaten bilden.

4. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das Erzeugen der zweiten Testmusterdaten des Weiteren umfasst: Erzeugen der zweiten Testmusterdaten durch die Steuereinheit, die eine Mehrzahl von Reihen von Markierungen beinhalten, die vom Teil der Mehrzahl von Ausstoßern im Druckkopf gebildet werden.

5. Verfahren nach Anspruch 1, das des Weiteren umfasst:

Betreiben der Mehrzahl von Ausstoßern im Druckkopf in Bezug auf die zweiten Testmusterdaten durch die Steuereinheit, um ein zweites Testmuster, das die zweite Mehrzahl von Markierungen aufweist, auf der Oberfläche des Substrats in einer ersten z-Achsen-Distanz zwischen dem Druckkopf und dem Substrat in Bezug auf die zweiten Testmusterdaten zu bilden;

Erzeugen von zweiten erzeugten Bilddaten der zweiten Mehrzahl von Markierungen im zweiten Testmuster auf dem Substrat in der ersten z-Achsen-Distanz durch den Bildsensor;

Identifizieren einer ersten Abweichung von Distanzen zwischen Markierungen in der zweiten Mehrzahl von Markierungen des zweiten Testmusters in Bezug auf die zweiten erzeugten Bilddaten in der Richtung quer zum Prozess durch die Steuereinheit;

Betreiben eines Betätigungselements, um zumindest eines des Druckkopfs und des Substrats um eine vordefinierte Versatzdistanz entlang der z-Achse zu bewegen, um den Druckkopf und das Substrat um eine zweite z-Achsen-Distanz zu trennen;

Betreiben der Mehrzahl von Ausstoßern im Druckkopf in Bezug auf die zweiten Testmusterdaten durch die Steuereinheit, um das zweiten Testmuster auf der Oberfläche des Substrats in der zweiten z-Achsen-Distanz zwischen dem Druckkopf und dem Substrat zu bilden;

Erzeugen von dritten erzeugten Bilddaten des zweiten Testmusters auf dem Substrat in der zweiten z-Achsen-Distanz durch den Bildsensor;

Identifizieren einer zweiten Abweichung von Distanzen zwischen Markierungen in der zweiten Mehrzahl von Markierungen des zweiten Testmusters in Bezug auf die dritten erzeugten Bilddaten in der Richtung quer zum Prozess durch die Steuereinheit;

Erzeugen eines Profils für den Druckkopf in Bezug auf die erste Abweichung, die zweite Abweichung und die vordefinierte Versatzdistanz durch die Steuereinheit, wobei in das Profil eine Beziehung zwischen einer Mehrzahl von Abweichungen von Distanzen zwischen Markierungen in Testmustern in der Richtung quer zum Prozess und entsprechenden z-Achsen-Distanzen zwischen dem Druckkopf und dem Substrat enthält; und

Speichern des Profils in einem Speicher zur Verwendung bei der Identifizierung der z-Achsen-Distanz zwischen dem Druckkopf und dem Substrat während eines Druckvorgangs.

6. Drucker für dreidimensionale Objekte, der umfasst:

einen Druckkopf mit einer Mehrzahl von Ausstoßern, die so konfiguriert sind, dass sie Tropfen eines Materials auf eine Oberfläche eines Substrats ausstoßen;

ein Betätigungsselement, das so konfiguriert ist, dass es zumindest das Substrat und/oder den Druckkopf entlang einer z-Achse bewegt

einen Bildsensor, der so konfiguriert ist, dass er Bilddaten der Oberfläche des Substrats und von auf dem Substrat gebildeten Testmustern erzeugt;

einen Speicher; und

eine Steuereinheit, die funktionsmäßig mit dem Druckkopf, dem Betätigungsselement, dem Bildsensor und dem Speicher verbunden ist, wobei die Steuereinheit konfiguriert ist zum:

Betreiben der Mehrzahl von Ausstoßern im Druckkopf in Bezug auf im Speicher gespeicherte Bilddaten, um ein erstes vordefiniertes Testmuster zu bilden, das eine erste Mehrzahl von Markierungen beinhaltet, die in einer Richtung quer zum Prozess auf der Oberfläche des Substrats angeordnet sind;

Erzeugen von ersten erzeugten Bilddaten der ersten Mehrzahl von Markierungen auf dem Substrat mit dem Bildsensor;

Identifizieren einer Mehrzahl von Versetzungen in der Richtung quer zum Prozess für die erste Mehrzahl von Markierungen in den ersten erzeugten Bilddaten des ersten vordefinierten Testmusters, wobei jeder Versatz in der Richtung quer zum Prozess in Bezug auf einen Unterschied zwischen einer Position einer ersten Markierung in den ersten erzeugten Bilddaten und einer vordefinierten Position der Markierung in den gespeicherten Bilddaten, auf die Bezug genommen wurde, um das erste vordefinierte Testmuster zu erzeugen, identifiziert wird;

Erzeugen von zweiten Testmusterdaten, die einer zweiten Mehrzahl von Markierungen entsprechen, die in der Richtung quer zum Prozess angeordnet sind, die nur durch einen Teil der Mehrzahl von Ausstoßern im Druckkopf und ohne eine Markierung zu bilden sind, die durch zumindest einen anderen Ausstoßer in der Mehrzahl von Ausstoßern gebildet wurde, wobei die Markierung dem zumindest einen anderen Ausstoßer entspricht, der einen Versatz der Richtung quer zum Prozess aufweist, der geringer als ein weiterer identifizierter Versatz in der Richtung quer zum Prozess zumindest eines Ausstoßers im Teil der Mehrzahl von Ausstoßern im Druckkopf ist; und

Speichern der zweiten Testmusterdaten im Speicher für den Betrieb des Teils der Mehrzahl von Ausstoßern, um eine Identifizierung einer z-Achsen-Distanz zwischen dem Druckkopf und dem Substrat zu ermöglichen, wobei die z-Achse senkrecht zur Oberfläche des Substrats verläuft.

7. Drucker für dreidimensionale Objekte nach Anspruch 6, wobei die Steuereinheit des Weiteren konfiguriert ist zum:

Identifizieren des Teils der Mehrzahl von Ausstoßern in Bezug auf einen Max-Sum-Min-Gap-Prozess, der auf die Mehrzahl von Versätzen in der Richtung quer zum Prozess angewandt wird, um den Teil der Mehrzahl von Ausstoßern zu identifizieren, die Markierungen in der ersten Mehrzahl von Markierungen mit maximierten Versätzen in der Richtung quer zum Prozess bilden.

8. Drucker für dreidimensionale Objekte nach Anspruch 7, wobei die Steuereinheit des Weiteren konfiguriert ist zum:

Identifizieren des Teils der Mehrzahl von Ausstoßern während des Max-Sum-Min-Gap-Prozesses mit einer vordefinierten Mindestanzahl von Ausstoßern in der Mehrzahl von Ausstoßern, die nicht im Teil der Mehr-

zahl von Ausstoßern sind, die Ausstoßer im Teil der Mehrzahl von Ausstoßern trennen, die benachbarte Markierungen in der Richtung quer zum Prozess in den zweiten Testmusterdaten bilden.

9. Drucker für dreidimensionale Objekte nach Anspruch 6, wobei die Steuereinheit des Weiteren konfiguriert ist zum:

Erzeugen der zweiten Testmusterdaten, die eine Mehrzahl von Reihen von Markierungen beinhalten, die vom Teil der Mehrzahl von Ausstoßern im Druckkopf gebildet werden.

10. Drucker für dreidimensionale Objekte nach Anspruch 6, wobei die Steuereinheit des Weiteren konfiguriert ist zum:

Betreiben der Mehrzahl von Ausstoßern im Druckkopf in Bezug auf die zweiten Testmusterdaten, um ein zweites Testmuster, das die zweite Mehrzahl von Markierungen aufweist, auf der Oberfläche des Substrats in einer ersten z-Achsen-Distanz zwischen dem Druckkopf und dem Substrat in Bezug auf die zweiten Testmusterdaten zu bilden;

Erzeugen von zweiten erzeugten Bilddaten der zweiten Mehrzahl von Markierungen im zweiten Testmuster auf dem Substrat in der ersten z-Achsen-Distanz durch den Bildsensor;

Identifizieren einer ersten Abweichung von Distanzen zwischen Markierungen in der zweiten Mehrzahl von Markierungen des zweiten Testmusters in Bezug auf die zweiten erzeugten Bilddaten in der Richtung quer zum Prozess;

Betreiben des Betätigungselements, um zumindest eines des Druckkopfs und des Substrats um eine vordefinierte Versatzdistanz entlang der z-Achse zu bewegen, um den Druckkopf und das Substrat um eine zweite z-Achsen-Distanz zu trennen;

Betreiben der Mehrzahl von Ausstoßern im Druckkopf in Bezug auf die zweiten Testmusterdaten, um das zweite Testmuster auf der Oberfläche des Substrats in der zweiten z-Achsen-Distanz zwischen dem Druckkopf und dem Substrat zu bilden;

Erzeugen von dritten erzeugten Bilddaten des zweiten Testmusters auf dem Substrat durch den Bildsensor; Identifizieren einer zweiten Abweichung von Distanzen zwischen Markierungen in der zweiten Mehrzahl von Markierungen des zweiten Testmusters in Bezug auf die dritten erzeugten Bilddaten in der Richtung quer zum Prozess;

Erzeugen eines Profils für den Druckkopf in Bezug auf die erste Abweichung, die zweite Abweichung und die vordefinierte Versatzdistanz, wobei das Profil eine Beziehung zwischen einer Mehrzahl von Abweichungen von Distanzen zwischen Markierungen in Testmustern in der Richtung quer zum Prozess und entsprechenden z-Achsen-Distanzen zwischen dem Druckkopf und dem Substrat enthält; und

Speichern des Profils im Speicher zur Verwendung bei der Identifizierung der z-Achsen-Distanz zwischen dem Druckkopf und dem Substrat während eines Druckvorgangs.

Es folgen 8 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

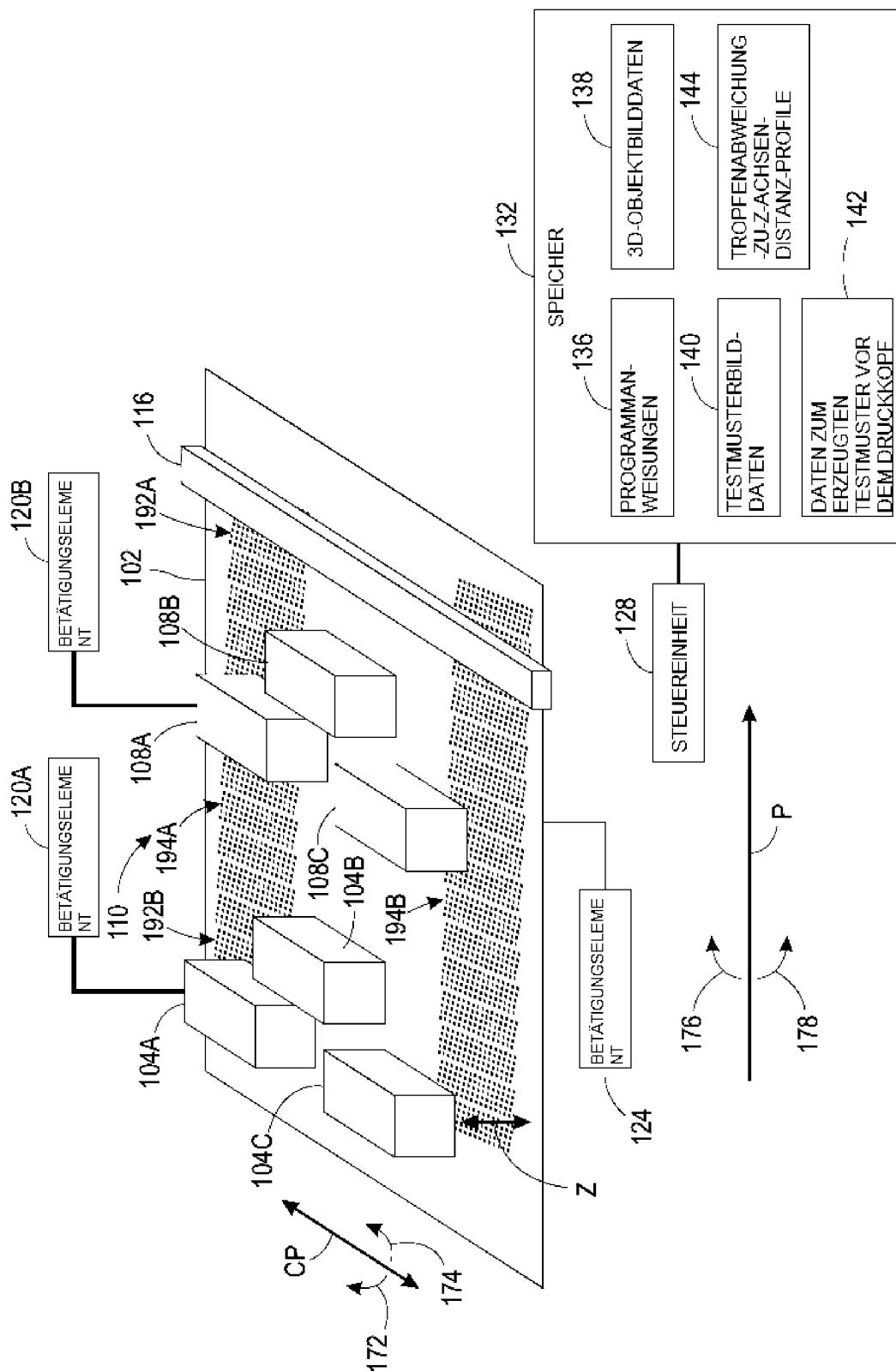


FIG. 1A

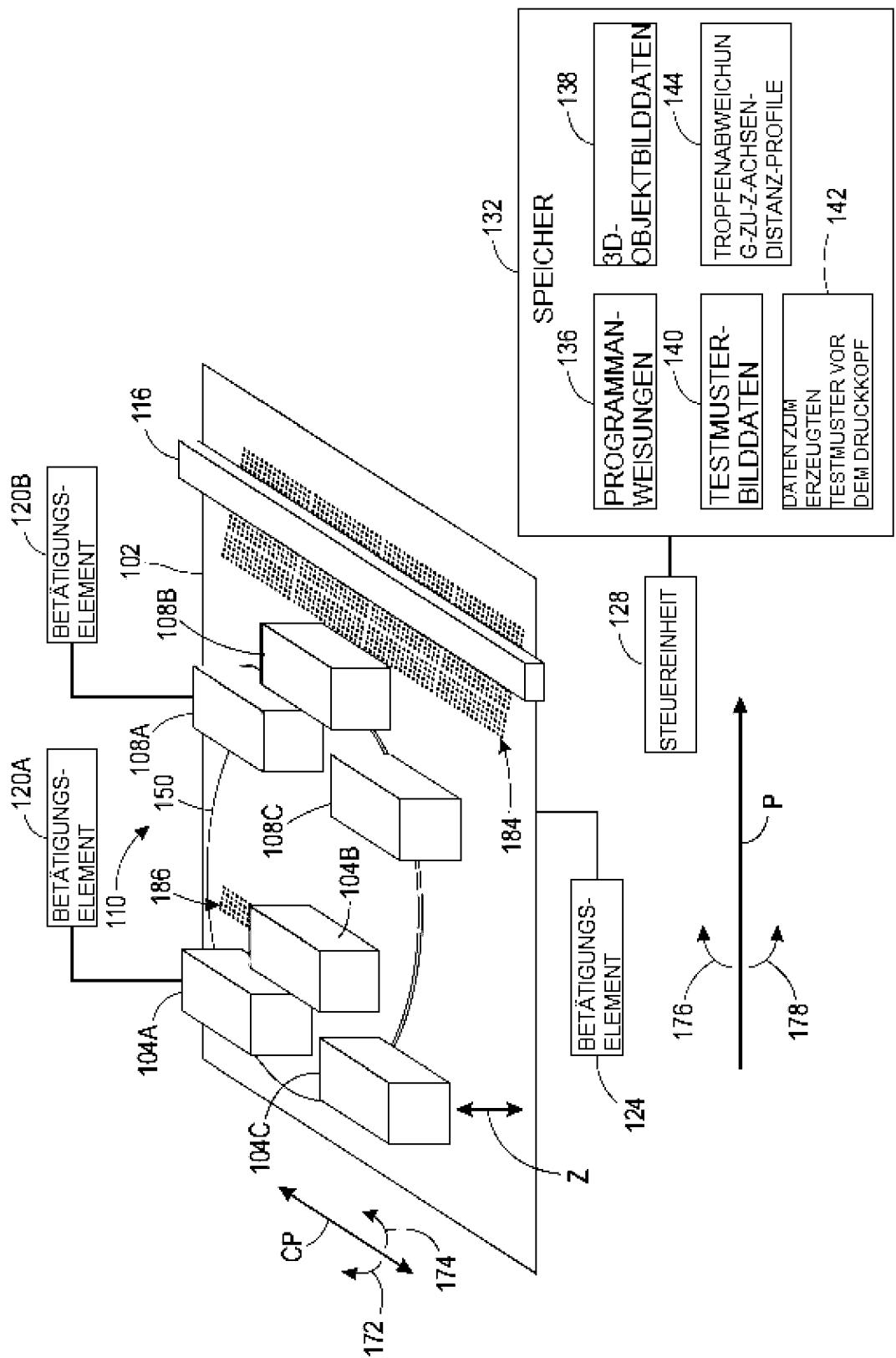


FIG. 1B

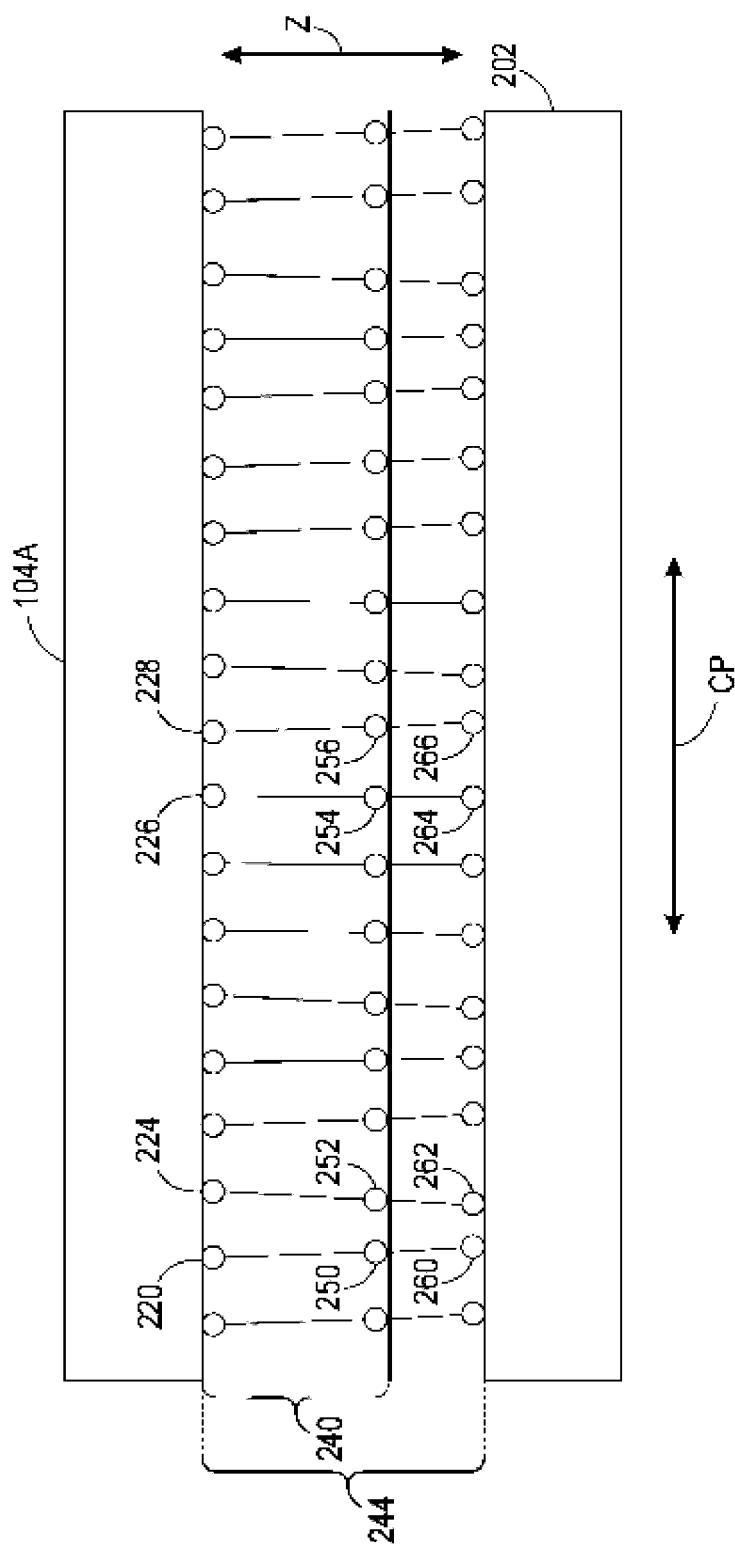


FIG. 2

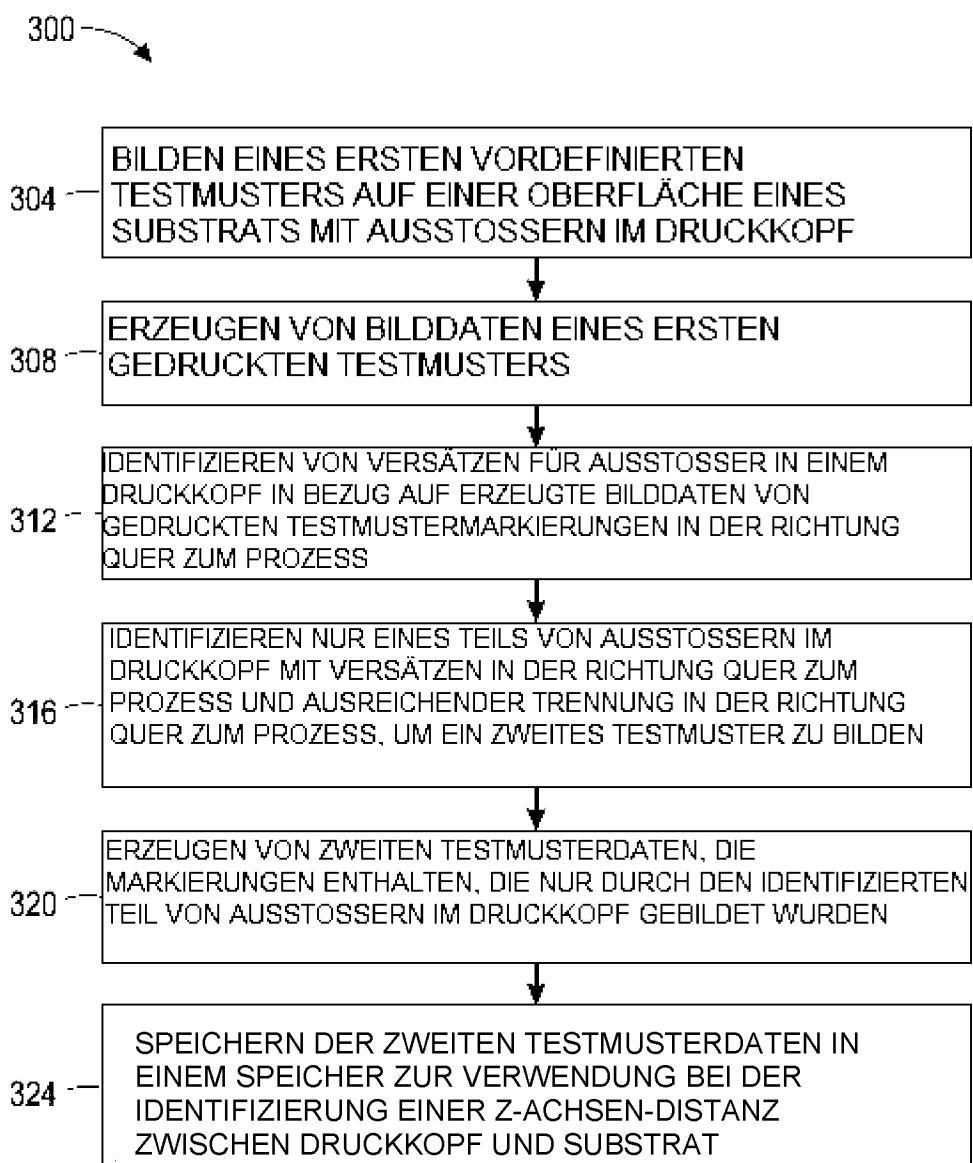


FIG. 3

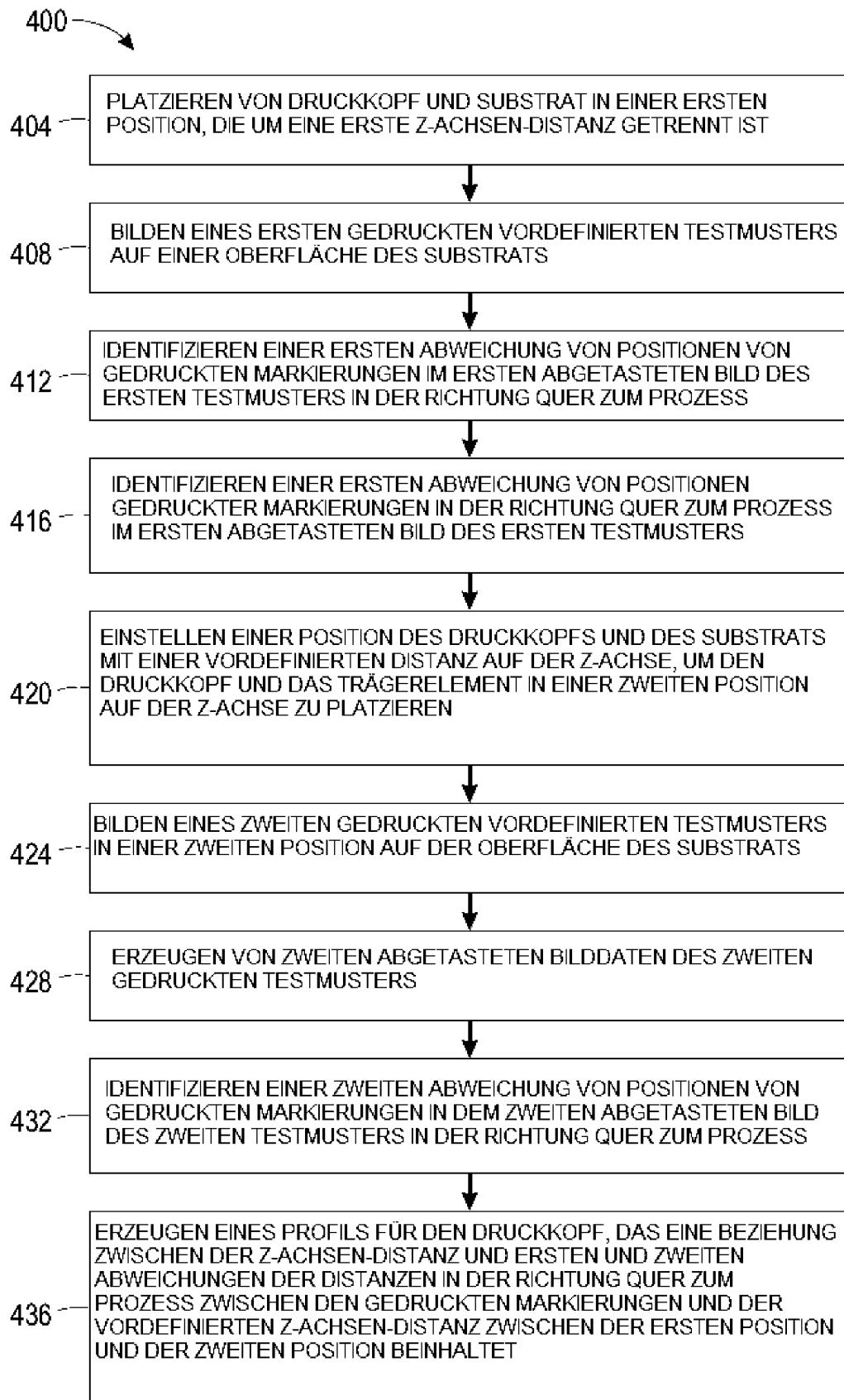


FIG. 4

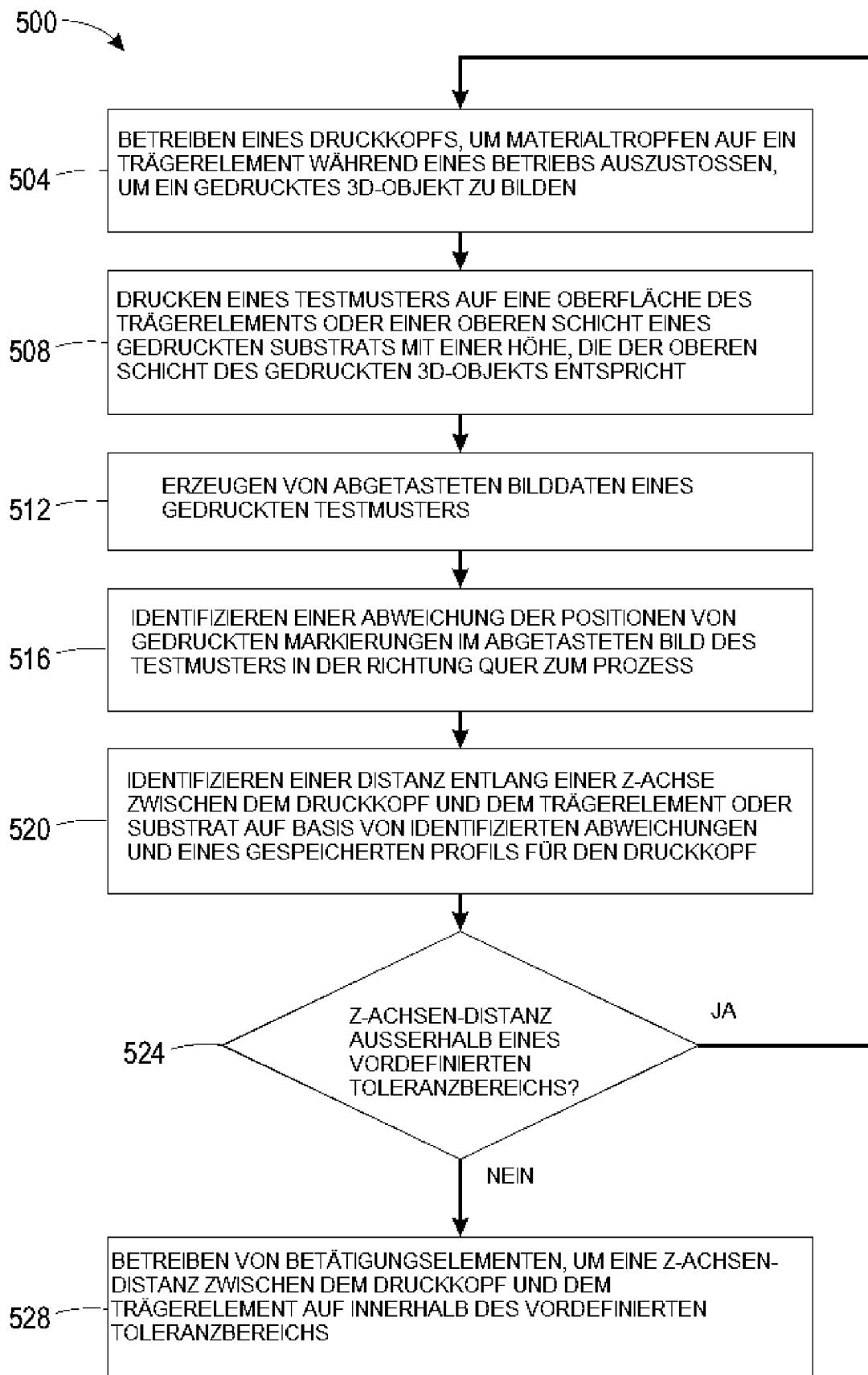


FIG. 5

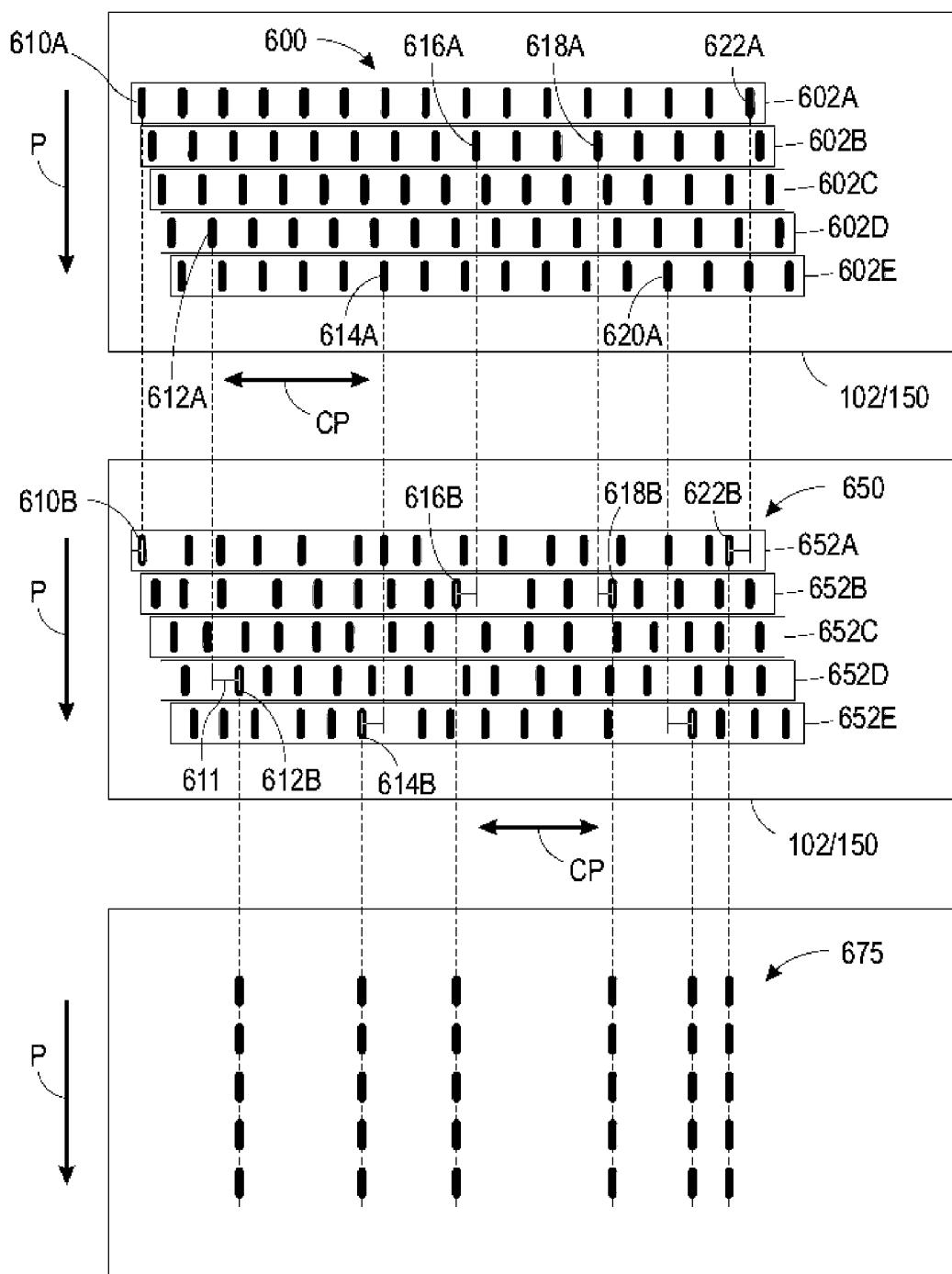


FIG. 6

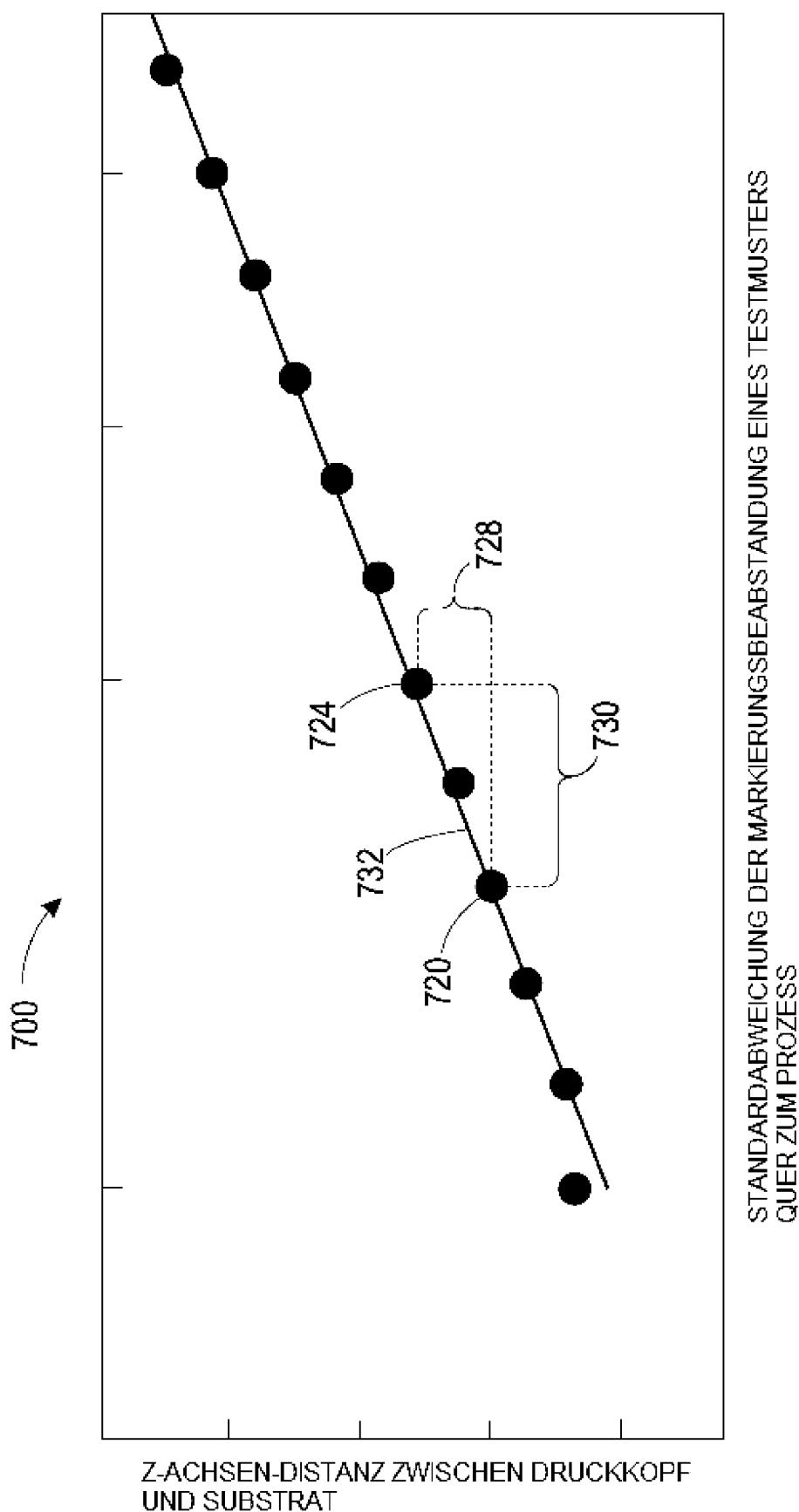


FIG. 7