



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 600 08 537 T2 2004.12.30**

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 1 200 265 B1**

(51) Int Cl.7: **B41J 2/05**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **600 08 537.6**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/IT00/00296**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **00 951 833.3**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 01/05594**

(86) PCT-Anmeldetag: **14.07.2000**

(87) Veröffentlichungstag
der PCT-Anmeldung: **25.01.2001**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **02.05.2002**

(97) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung beim EPA: **25.02.2004**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **30.12.2004**

(30) Unionspriorität:
TO990636 19.07.1999 IT

(84) Benannte Vertragsstaaten:
DE, FR, GB

(73) Patentinhaber:
Olivetti Tecnost, S.p.A., Ivrea, Turin, IT

(72) Erfinder:
SCARDOVI, Alessandro, I-10015 Ivrea, IT

(74) Vertreter:
Hansmann & Vogeser, 81369 München

(54) Bezeichnung: **VERFAHREN ZUR BERECHNUNG DES TRÖPFCHENVOLUMENS FÜR EINEN THERMISCHEN TINTENSTRAHLDRUCKER**

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

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

Beschreibung

Anwendungsgebiet

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Ermitteln des Volumens von Tintenstrahltröpfchen, die von einem Thermo-Tintenstrahlkopf ausgestoßen werden, und einen Tintenstrahldrucker, der gemäß dem Verfahren betrieben wird und den optimalen Druckmodus automatisch einstellt.

Technischer Hintergrund

[0002] Derzeit sind sowohl bei Druckern, die auf der Tintenstrahltechnologie basieren, als auch bei den Druckköpfen, die bei diesen Druckern verwendet werden, die Bauteile größtenteils integriert, um bestmögliche Ergebnisse in Bezug auf Druckqualität und Betriebszuverlässigkeit zu erreichen.

[0003] Tatsächlich treten jedoch selbst bei einem hochintegrierten Aufbau und trotz unterschiedlichster Kunstgriffe bei der Herstellung bei den Tintenstrahl Druckern und den dazugehörigen Thermo-Druckköpfen sowohl Abmessungsfehler in Bezug auf einen Soll-Zustand, wenn auch minimale, als auch Unterschiede von einem Produkt zum nächsten auf, was gelegentlich erhebliche Auswirkungen auf die Leistungsfähigkeit und insbesondere auf die Druckqualität haben kann.

[0004] Dieser Nachteil resultiert üblicherweise aus Fehlern, Toleranzen und Abweichungen, die typisch für den Herstellungs- und/oder Montagezyklus sind, bei dem die verschiedenen Teile, umfassend einen Tintenstrahldrucker und die dazu gehörigen Druckköpfe, hergestellt und zusammengesetzt werden.

[0005] Dies trifft insbesondere auf den Tintenstrahl-druckkopf zum Ausstoßen von Tintentröpfchen zu, der in jedem Drucker angeordnet ist und in einem sehr komplizierten Herstellungsprozess umfassend eine Vielzahl von Arbeitsschritten und durch die Integration von mehreren Komponenten gefertigt wird.

[0006] Darüber hinaus ist es aufgrund der sehr strengen ökonomischen Kriterien, die von den meisten der gegenwärtig angebotenen Tintenstrahl-druckkopfmodellen, insbesondere von denjenigen des Wegwerttyps erfüllt sein müssen, aus Kostengründen weder möglich, jeden hergestellten Druckkopf einzeln zu überprüfen noch irgendwelche bei den Druckköpfen festgestellten Abweichungen von einem Soll-Zustand zu beseitigen.

[0007] Ebenso ist es fast unmöglich, durch kontinuierliches Abgleichen des Druckkopf-Herstellungsprozesses dagegen vorzugehen, so dass letztere bei der Endprüfung tatsächlich immer eine bestimmte Streu-

ung ihrer Eigenschaften und insbesondere ihrer Abmessungen aufweisen, auch wenn diese üblicherweise in Kauf genommen werden.

[0008] Im Allgemeinen sind die Faktoren, die infolge von Fehlern hinsichtlich der Soll-Zustände und/oder der gegenseitigen Wechselwirkungen sowohl die Zuverlässigkeit als auch die endgültige mit einem Tintenstrahldrucker erreichbare Druckqualität beeinflussen, zahlreich, von denen einige zum besseren Verständnis im Folgenden aufgelistet sind:

- die Firmware, die sich auf dem Tintenstrahldrucker befindet, d.h. das spezielle Programm für jedes Druckermodell, das einige Grundoperationen während des Druckens ausführen kann und insbesondere die zeitliche Steuerung des Antriebs des Tintenstrahl-druckkopfes festlegt;
- die Tintenstrahl-druckkopf-Steuereinrichtung, d.h. die Einrichtung zum direkten Steuern des Druckkopfes durch das Zuführen der zum Ausstoßen der Tröpfchen erforderlichen Energie, die typischerweise eine Energieversorgung und mehrere Steuerelemente, die am Drucker sowie am Druckkopf angeordnet sind, aufweist;
- das Volumen der durch den Kopf ausgestoßenen Tröpfchen, das die Größe des gedruckten Punktes bestimmt;
- der Druckertreiber, d.h. das Programm, das normalerweise auf dem am Drucker angeschlossenen Computer installiert ist und mit der auf letzterem befindlichen Firmware zusammenarbeitet, der die Originalabbildung Punkt für Punkt verarbeitet, um deren chromatische Daten in entsprechende Anweisungen für den Drucker zu konvertieren, so dass letzterer die Originalabbildung auf ein Druckmedium, wie z.B. ein Papierblatt, druckt. Insbesondere verarbeitet der Druckertreiber die chromatischen Daten der Abbildung in Abhängigkeit von verschiedenen Parametern, u.a. die Größe der Elementarpunkte der zu druckenden Abbildung, die Art des Druckmediums, usw., und enthält geeignete Algorithmen zum Streuen der Bildfehler, um den Drucker optimal zu steuern und folglich die beste Druckqualität zu erhalten.

[0009] Das Grundkonzept des Steuerns des Volumens der durch einen Thermo-Tintenstrahl-druckkopf ausgestoßenen Tintentröpfchen, um die Leistungsfähigkeit und die endgültige Druckqualität, die mit dem Druckkopf erreichbar ist, zu verbessern, ist nach dem Stand der Technik bereits bekannt.

[0010] Z.B. beschreibt die US-Patentschrift Nr. 5,036,337 ein Verfahren zum Aufrechterhalten über der Zeit des Volumens der durch einen Thermo-Tintenstrahl-druckkopf ausgestoßenen Tröpfchen entsprechend einem Soll-Wert.

[0011] Bei diesem Verfahren wird eine Referenzta-belle, in der die mit dem Tintenstrahl-druckkopf er-

reichbaren Leistungen angegeben sind, durch experimentelle Untersuchungen, die bei einer Vielzahl von hergestellten Thermo-Tintenstrahldruckern durchgeführt wurden, empirisch bestimmt, um Toleranzen und Abweichungen, die typischerweise bei deren Herstellungsprozess auftreten, zu berücksichtigen. Die Referenztafel wird dann während des Druckschrittes abgefragt, um mittels einer Steuereinrichtung die Zeiten und Charakteristiken der Impulse zu bestimmen, die die Betätigungswiderstände des Druckkopfes steuern, um das Ausstoßen der Tröpfchen zu bestimmen.

[0012] Dieses Verfahren ist jedoch beschränkt, da es auf numerischen Referenzdaten, die unveränderlich sind und a priori bestimmt wurden, anstelle von fortlaufend aktualisierter Information in Echtzeit, die den tatsächlichen Verlauf des Druckvorgangs anzeigt, beruht.

[0013] Ein Verfahren ist auch aus der im Namen des Anmelders eingereichten US-Patentschrift Nr. 5,767,872 bekannt, nämlich zum automatischen Einstellen des optimalen energetischen Arbeitspunktes eines Thermo-Tintenstrahldruckkopfes, d.h. des optimalen Wertes zum Steuern der Energie, die den Ausstoßwiderständen des Druckkopfes zuzuführen ist, um ein stabiles Ausstoßen von Tröpfchen bei einem im Wesentlichen konstanten Volumen sicherzustellen.

[0014] Dieses Verfahren umfasst einen Teststartzyklus, bei dem die Ausstoßwiderstände des Tintenstrahldruckkopfes mit einer veränderlichen Steuerenergie gesteuert werden, um einen kritischen Wert der Steuerenergie experimentell zu ermitteln, der einem Betriebszustand des Druckkopfes an der Grenzlinie zwischen einem Bereich der instabilen Emission bei veränderlichem Volumen der Tröpfchen und der stabilen Emission bei einem im Wesentlichen konstanten Volumen der Tröpfchen entspricht.

[0015] Durch das Verfahren wird auf der Grundlage des zuvor ermittelten kritischen Wertes der Steuerenergie und insbesondere durch das Inkrementieren dieses kritischen Wertes gemäß einem vorgegebenen Prozentsatz automatisch ein optimaler Wert für die Steuerenergie berechnet und eingestellt, mit der die Widerstände im Sollbetrieb zu steuern sind.

[0016] Auf diese Weise wird ein Soll-Betrieb jedes Druckkopfes sichergestellt, der sich trotz der Herstellungstoleranzen und der mangelnden Präzision der verschiedenen Druckköpfe mit großer Gewissheit im Bereich der stabilen Emission von Tröpfchen befindet.

[0017] Das Verfahren hat den klaren Vorteil, dass ein wirksames und automatisches Einstellen für jeden Thermo-Tintenstrahldruckkopf, durch welche

Herstellungstoleranzen möglich sind, in einer solchen Weise erfolgt, dass fortlaufend eine stabile Emission von Tröpfchen erreicht wird; jedoch hat es auch den Nachteil, dass zumindest teilweise die Bedeutung der Parameter, d.h. das tatsächliche Volumen der ausgestoßenen Tröpfchen, um fortlaufend eine optimale Druckqualität zu gewährleisten, ungeachtet bleibt. Daneben liefert insbesondere dieses Verfahren keinen Hinweis darauf, wie das tatsächliche Volumen der ausgestoßenen Tröpfchen ermittelt werden kann.

[0018] Ein weiteres Verfahren, das durch das Dokument US 5 682 183 offenbart ist und zum Ermitteln des zu erwartenden Tintenausstoßes bei einer Thermo-Tintenstrahldruckerkarte vorgesehen ist, basiert auf der Feststellung, dass das Tintentropfenvolumen bei einer Aktivierung mit hoher Frequenz rascher abnimmt als bei einer Aktivierung mit niedriger Frequenz, da die Tintenzufuhr abnimmt. Das Verfahren umfasst das Erwärmen des Druckkarten-Druckkopfes und der Tinte auf eine vorgegebene Temperatur; danach arbeitet der Druckkarten-Druckkopf bei einer ersten Aktivierungsfrequenz, um ein Tintenvolumen auszustoßen, wobei der Arbeitsschritt das Erhitzen der Tinte und des Druckkopfes, das Abführen der Wärme im ausgestoßenen Tintenvolumen und das Zuführen eines kühleren Tintenvolumens dem Druckkopf, um das ausgestoßene Volumen zu ersetzen, umfasst; und das Überwachen einer ersten Temperaturabweichung von der vorher festgelegten Temperatur. Anschließend das Erwärmen desselben Druckkarten-Druckkopfes und der Tinte auf eine vorher festgelegte Temperatur; das Betreiben des Druckkarten-Druckkopfes bei einer zweiten Aktivierungsfrequenz, die sich von der ersten Zündfrequenz unterscheidet, um ein Tintenvolumen in Form von Tröpfchen auszustoßen, wobei der Arbeitsschritt das Erhitzen der Tinte und des Druckkopfes, das Abführen der Wärme im ausgestoßenen Tintenvolumen und das Zuführen eines kühleren Tintenvolumens dem Druckkopf, um das ausgestoßene Volumen zu ersetzen, umfasst; und Anzeigen einer zweiten Temperaturabweichung von der zuvor festgelegten Temperatur. Die erste und die zweite Temperaturabweichung werden miteinander verglichen, um eine geringe Tintenzufuhr festzustellen. Jedoch liefert auch dieses Verfahren keinen Hinweis darauf, wie das tatsächliche Volumen der ausgestoßenen Tröpfchen ermittelt werden kann.

Zusammenfassung der Erfindung

[0019] Es ist die Hauptaufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren zum zuverlässigen und genauen Ermitteln des tatsächlichen Volumens der durch einen Thermo-Tintenstrahldruckkopf ausgestoßenen Tintentröpfchen zu schaffen, um eine wirksamere Steuerung und Verwendung dieses wichtigen Parameters beim Tintenstrahldrucken zu ermög-

lichen.

[0020] Es ist eine weitere Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren zur wesentlichen Optimierung der Leistungsfähigkeit, insbesondere der Druckqualität, die mit einem Drucker mit einem Tintenstrahl-druckkopf erreichbar ist, das auf der Ermittlung des Volumens der durch den Tintenstrahl-druckkopf ausgestoßenen Tintentröpfchen beruht, zu schaffen.

[0021] Die obigen Aufgaben werden mittels eines Verfahrens und einer Vorrichtung zum automatischen Ermitteln des Volumens der Tröpfchen, die von einem Thermo-Tintenstrahl-druckkopf ausgestoßen werden, gelöst, wobei die entsprechenden Schritte und Eigenschaften in den unabhängigen Ansprüchen festgelegt sind.

[0022] Insbesondere wird gemäß der Erfindung das Volumen der Tröpfchen, die von einem Thermo-Tintenstrahl-druckkopf ausgestoßen werden, ermittelt, um die Druckmodi automatisch, d.h. ohne irgendein Tätigwerden eines Benutzers während des Betriebs des Druckers, in dem der Druckkopf angeordnet ist, einzustellen, so dass die erhaltene Druckqualität fortlaufend optimiert wird.

Kurzbeschreibung der Zeichnungen

[0023] Diese und weitere Aufgaben, Eigenschaften und Vorteile der Erfindung werden durch die folgende Beschreibung einer bevorzugten Ausführungsform durch ein nicht einschränkendes Beispiel anhand der beigefügten Zeichnungen näher beschrieben.

[0024] **Fig. 1** ist eine vergrößerte perspektivische schematische Ansicht eines Tintenstrahl-druckers, der gemäß dem Verfahren der Erfindung betrieben wird;

[0025] **Fig. 2** zeigt einen Querschnitt des vorderen Teils im vergrößerten Maßstab, wobei das Ausstoßen der Tintentröpfchen durch einen Tintenstrahl-druckkopf, der am Drucker in **Fig. 1** angebracht ist, erfolgt;

[0026] **Fig. 3** ist ein erstes Diagramm, das die Beziehung zwischen dem Volumen der Tröpfchen, die durch den Druckkopf in **Fig. 2** ausgestoßen werden, und der Fläche der Punkte, die auf einem Druckmedium gedruckt werden, darstellt;

[0027] **Fig. 4** ist ein zweites Diagramm des Zeitsteuerungstyps, welches das Signal der Steuerenergie zeigt, das die Thermo-Ausstoßelemente des Druckkopfes in der **Fig. 2** steuert, um ein Ausstoßen der Tröpfchen herbeizuführen;

[0028] **Fig. 5** ist ein drittes Diagramm, das zeigt, wie sich das Volumen der Tröpfchen, die durch den Kopf in **Fig. 2** ausgestoßen werden, in Bezug auf die Steu-

erenergie, die den jeweiligen Thermo-Ausstoßelementen zugeführt wird, verändert;

[0029] **Fig. 6** ist ein viertes Diagramm, das den Verlauf eines kontinuierlichen Steuerzyklus angibt, der bei dem Verfahren der Erfindung erfolgen kann, während dem eine kontinuierlich zunehmende Antriebsenergie E_p den Ausstoßelementen des Druckkopfes in **Fig. 2** zugeführt wird und entsprechend eine Rückführungsenergie E_r im Druckkopf abgeführt wird, um ihn fortlaufend auf einer im Wesentlichen konstanten Stabilisierungstemperatur T_s zu halten; und

[0030] **Fig. 7** ist ein Flussdiagramm betreffend ein Anwendungsbeispiel des Verfahrens der Erfindung zum automatischen Einstellen der Druckmodi bei einem Tintenstrahl-drucker.

Bevorzugte Ausführungsform der Erfindung

[0031] In Bezug auf **Fig. 1** ist ein Tintenstrahl-drucker, der gemäß dem Verfahren der vorliegenden Erfindung zum Ermitteln des Volumens der ausgestoßenen Tröpfchen betrieben werden kann, allgemein mit dem Bezugszeichen **10** angegeben und umfasst einen starren Rahmen **20**, ein vergrößert dargestelltes Außengehäuse **30**, das den starren Rahmen **20** nach außen abschirmt, einen Wagen **15**, der beweglich in Bezug auf den starren Rahmen **20** ist, und einen Tintenstrahl-druckkopf **11**, der abnehmbar am Wagen **15** angebracht ist und Tintentröpfchen ausstoßen kann.

[0032] Der Druckkopf **11** ist im am Schlitten **15** angebrachten Zustand mit einem vorderen Abschnitt einem Druckmedium zugewandt, das nicht in **Fig. 1** dargestellt ist und z.B. ein Blatt Papier ist, das so angeordnet ist, dass es durch geeignete Elemente des Druckers **10** bewegt werden kann.

[0033] Der Wagen **15** ist wiederum in Bezug auf den starren Rahmen **20** des Druckers **10** bewegbar, um den Druckkopf **11** abwechselnd vor einem Druckmedium vor und zurück zu bewegen, während der Druckkopf **11** die Tintentröpfchen auf letzteres schleudert.

[0034] Das Ausstoßen der Tröpfchen wird durch eine geeignete Steuereinrichtung, die im Drucker **10** aufgenommen ist, gesteuert, um Symbole, Buchstaben und Abbildungen auf dem Druckmedium zu bilden, da die Summe der gedruckten Punkte den ausgestoßenen Tröpfchen entspricht. Der Druckkopf **11** ist auf der Grundlage der sog. Thermo-Tintenstrahl-drucktechnologie, gelegentlich auch als Blasen-Tintenstrahl-drucktechnologie bezeichnet, betreibbar, bei der die im Druckkopf **11** enthaltene Tinte auf den Siedepunkt gebracht wird, um in der Tinte Dampfblasen zu erzeugen, die durch Expansion das Ausstoßen von Tröpfchen durch mehrere Düsen des Druckkop-

fes **11** bewirken.

[0035] Der Druckkopf **11** kann entsprechend den verschiedenen auf dem Gebiet der Drucker und den entsprechenden Tintenstrahldruckköpfen gegenwärtigen und weit verbreiteten Lösungen entweder nur schwarze Tinte enthalten, so dass nur ein Schwarz-Weiß-Druck möglich ist, oder eine oder mehrere Farbtinten enthalten, so dass ein Farbdruck möglich ist.

[0036] Die Innendetails des Druckkopfes **11** sind in **Fig. 2** zu sehen, die einen Querschnitt des vorderen Abschnitts des Druckkopfes **11**, der vor einem Druckmedium angeordnet ist, zeigt. Letzteres ist durch das Bezugszeichen **18** angegeben und ist typischerweise ein Papierblatt.

[0037] Insbesondere umfasst der Druckkopf **11** ein äußeres Gehäuse **12**, das üblicherweise aus einem Kunststoffmaterial besteht und im Inneren einen Behälter **15** für eine Tintenreserve **13** bildet; eine Platte **14**, die mit mehreren Düsen **16** versehen ist und daher auch als Düsenplatte bezeichnet wird, die dem Druckmedium **18** zugewandt ist; mehrere Ausstoßelemente **17**, die jeweils einer entsprechenden Düse **16** zum Ausstoßen von Tintentröpfchen **22** durch letztere in Richtung auf das Druckmedium **18** zugeordnet sind; ein Substrat **21**, das auch „die“ genannt wird und aus einem Halbleitermaterial, wie z.B. Silizium, hergestellt ist, auf dessen Oberfläche die Ausstoßelemente **17** angeordnet sind; eine Schicht **35**, die z.B. aus einem Photopolymermaterial hergestellt ist, durch welche die Düsenplatte **14** am Substrat **21** befestigt ist; und eine Hydraulikeinrichtung, die allgemein mit dem Bezugszeichen **19** angegeben ist und deren Funktion es im Wesentlichen ist, die Tinte vom Reservebehälter **13** zum Bereich der Ausstoßelemente **17** zu fördern, so dass die Tinte letztere berührt und entsprechend auf den Siedepunkt gebracht wird, um die Tröpfchen **22** auszustoßen, wie im Folgenden näher beschrieben.

[0038] Darüber hinaus ist eine Steuereinheit **31**, die schematisch in **Fig. 2** dargestellt und im Folgenden detaillierter beschrieben ist, vorgesehen, um den Betrieb des Druckkopfes **11** zu steuern, und zu diesem Zweck an jedes Ausstoßelement **17** über mehrere Leitungen **32** elektrisch angeschlossen.

[0039] Die Hydraulikeinrichtung **19** umfasst eine mittlere Öffnung oder einen Schlitz **26**, durch die bzw. den der Behälter **15** mit dem Bereich der Ausstoßelemente **17** und der Düse **16** in Verbindung steht, sowie mehrere größtenteils nicht in **Fig. 2** gezeigte Kanäle und Kammern, die miteinander in Verbindung stehen und, wie bereits beschrieben, die die Funktion haben, den Tintenstrom mit jedem Ausstoßelement **17** in Berührung zu bringen. Diese Kanäle und Kammern sind überwiegend in der Schicht **35** aus Photopolymer ge-

bildet und erstrecken sich in einer Ebene senkrecht zu der in **Fig. 2**.

[0040] Insbesondere bildet die Hydraulikeinrichtung **19** entsprechend jedem Ausstoßelement **17** zwischen der Düsenplatte **14** und dem Substrat **21** eine Kammer **24** mit einer Dicke S mit einem sehr geringen Wert, die mit Tinte aus dem Reservebehälter **13** gefüllt ist.

[0041] Das Substrat **21** ist am Gehäuse **12** mit Hilfe eines Klebstoff- oder Füllmaterials, das durch das Bezugszeichen **45** angegeben ist, angebracht, um den Tank **15** hermetisch abzudichten.

[0042] Das Substrat **21**, die auf dem Substrat **21** angeordneten Ausstoßelemente **17**, die Verbindungseinrichtung und Bahnen, die den Elementen **17** zugeordnet sind, zusammen mit weiteren, im Folgenden beschriebenen Teilen, werden in einem Herstellungszyklus auf der Grundlage der Halbleitertechnologie hergestellt, durch den ein hoher Miniaturisierungsgrad der hergestellten Teile erreicht wird, wie er beim Aufbau der Tintenstrahldruckköpfe erforderlich ist.

[0043] Die Ausstoßelemente **17** sind längs des Substrats **21** vor den jeweiligen Düsen **16** angeordnet und von letzteren durch eine dünne Schicht aus Tinte, die durch die Kammer **24** gebildet wird, getrennt.

[0044] Die Ausstoßelemente **17** und die entsprechenden Düsen **16** sind wiederum gemäß weit verbreiteten Konfigurationen, wie z.B. in mehreren Reihen ausreichend weit voneinander beabstandet angeordnet. Beispielhaft ist in **Fig. 2** der Fall gezeigt, bei dem die Düsen **16** und die Elemente **17** in zwei Reihen gruppiert sind, die in Richtung senkrecht zur der mit dem Pfeil **27** angegebenen Bewegungsrichtung des Druckkopfes **11** in Bezug auf das Druckmedium **18** angeordnet sind.

[0045] Die Ausstoßelemente **17** sollen wahlweise durch entsprechende, im Folgenden näher beschriebene elektrische Signale, die von der Steuereinheit **31** erzeugt werden und über die Leitungen **32** zu den Ausstoßelementen **17** gelangen, gesteuert werden.

[0046] Wie in **Fig. 2** durch die Pfeile entlang der Linien **32** angegeben, dienen diese Signale dazu, die Betätigungselemente **17** zu aktivieren, um Tintentröpfchen **22** auszustoßen.

[0047] Der Endabschnitt der Leitungen **32**, der einstückig mit dem Kopf **11** gebildet ist, besteht aus flachen Kabeln **23**, die an der Außenseite des Gehäuses **12** verlaufen mit einem Ende an den verschiedenen Ausstoßelementen **17** angeschlossen sind und an dem nicht in den Zeichnungen gezeigten anderen Ende mit Kontakten versehen sind, die, wenn der Druckkopf **11** am Wagen **15** des Druckers **10** ange-

bracht wird, mit entsprechenden, ebenfalls nicht in den Zeichnungen gezeigten Kontakten, die im bewegbaren Wagen **15** aufgenommen sind, in Kontakt gebracht werden können.

[0048] Auf diese Weise wird der Druckkopf **11** bei der Anbringung am Wagen **15** an die Steuereinheit **31** elektrisch angeschlossen und kann somit die jeweiligen Signale zum Steuern des Druckkopfes **11** empfangen während er sich in Querrichtung vor dem Druckmedium **18** bewegt.

[0049] Die elektronische Steuereinheit **31** umfasst typischerweise einen Mikroprozessor und besteht aus Komponenten, die sich entweder auf dem Druckkopf **11** befinden können und folglich mit letzterem mitbewegt werden, oder am starren Rahmen **20** des Druckers **10** vorgesehen sind, was jedoch keinerlei Auswirkungen auf die Eigenschaften der Erfindung hat.

[0050] Die Steuereinheit **31** hat darüber hinaus die Aufgabe, den Informationsausföusch zwischen dem Drucker **10** und den anderen Teilen des Systems, in dem der Drucker **10** enthalten ist, zu ermöglichen.

[0051] Es sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass der Drucker **10** in den seltensten Fällen alleine betrieben wird, sondern üblicherweise in einem System bestehend aus einem Computer enthalten ist, in dem der Drucker **10** als Ausgabeeinrichtung, üblicherweise zum Drucken von Daten, die von dem Computer verarbeitet werden, dient.

[0052] Bei diesem System sind die computereigenen Programme zum Verarbeiten der Daten mit der Steuereinheit **31** des Druckers **10** mit Hilfe eines speziellen Programms, auch „Druckertreiber“ genannt, verbunden, das üblicherweise im Computer installiert ist, wobei es dessen Funktion ist, die vom Computer verarbeiteten Daten in geeignete Befehle für den Drucker **10** zu konvertieren, so dass die Daten gedruckt werden können. Normalerweise ist der Druckertreiber speziell für jeden Tintenstrahldruckertyp vorgesehen, da insbesondere der Aufbau des oder der jeweiligen Druckköpfe und dessen oder deren Funktionseigenschaften berücksichtigt werden müssen.

[0053] Der Druckertreiber arbeitet wiederum mit einem Programm zusammen, auch „Firmware“ genannt, das normalerweise bei der Herstellung des Druckers **10** in die Steuereinheit **31** geladen wird, um die tatsächlichen Druckimpulse, die auf den Leitungen **32** den Ausstoßelementen **17** zugeführt werden, auszugeben und folglich die vom Computer verarbeiteten Daten auf einem Druckmedium **18** auszudrucken.

[0054] Insbesondere sind die Ausstoßelemente **17**

betriebsmäßig vergleichbar mit Widerständen, die von der Steuereinheit **31** über die Leitungen **32** eine Steuerenergie E_p in Impulsform aufnehmen, wobei jeder Impuls der Steuerenergie E_p einem zu druckenden Punkt entspricht, und die empfangenen Impulse durch den Joule-Effekt in Wärme umwandeln können.

[0055] Die somit erzeugte Wärme wird wiederum an die Tinte abgegeben, die die Ausstoßelemente **17** berührt, wodurch in der unmittelbaren Umgebung jedes Ausstoßelements **17** eine Tintendampfblase erzeugt wird, die durch Expansion die in der Kammer **24** enthaltene Tinte durch die jeweilige Düse **16** drückt, so dass die Tinte in Form von Tröpfchen **22** ausgestoßen wird.

[0056] Die Steuerenergie E_p entspricht einer Steuerleistung P_p , die durch die Steuereinheit **31** den Ausstoßelementen **17** gemäß einem Signal **55** zugeführt wird, das über der Zeit t einen im Diagramm in **Fig. 4** qualitativ dargestellten Impulsverlauf hat.

[0057] Wie zu sehen, umfasst das Signal **55** mehrere Zyklen, wobei jeder Zyklus eine Gesamtdauer t hat, die wiederum in ein erstes Zeitintervall t_1 , in dem die Steuerleistung P_p einen maximalen Wert P_{pmax} annimmt, und ein darauf folgendes zweites Zeitintervall t_2 , in dem die Steuerleistung P_p praktisch null ist, unterteilt ist.

[0058] Jeder einzelne Zyklus des Signals **55** der Dauer t_0 bewirkt eine rasche Erwärmung gefolgt von einer raschen Abkühlung der Ausstoßelemente **17**, wodurch, wie bereits beschrieben, eine Tintendampfblase gebildet wird, die anschließend ein rasches Zerplatzen zur Folge hat, so dass jeder Zyklus dem Ausstoß eines Tröpfchens **22** entspricht.

[0059] Naturgemäß wird die Abfolge der Leistungs- oder Energiezyklen auf dem Signal **55** durch den Druckertreiber zusammen mit der Firmware des Druckers **10** abhängig von der speziellen Information, die gedruckt werden soll, d.h. von den entsprechenden Buchstaben und Bildsymbolen, die auf dem Druckmedium **18** gedruckt werden sollen, festgelegt.

[0060] Die Zyklen des Signals **55** werden synchron mit der Bewegung des Kopfes **11** vor dem Druckmedium **18** aktiviert und können eine maximale Frequenz entsprechend der maximalen Anzahl von Zyklen der Dauer t_0 pro Zeiteinheit erreichen, die durch die typischen Eigenschaften des Druckkopfes **11** festgelegt ist und üblicherweise ausreicht, um das korrekte Ausstoßen von zwei aufeinander folgenden Tröpfchen ohne irgendeine Überlappung zwischen den jeweiligen Zyklen der Tintendampfblasenbildung, der Expansion und des Zerplatzens zu ermöglichen.

[0061] Es sind verschiedene zyklische Verläufe, die

jedoch immer Blasen erzeugen können, für das Steuerleistungssignal P_p gemäß den häufig verwendeten Anordnungen und Kriterien möglich.

[0062] Es sei nebenbei bemerkt, dass, da bekanntlich die Leistung als die pro Zeiteinheit zugeführte Energie definiert ist, ein direkter Zusammenhang zwischen der Steuerenergie E_p und der Steuerleistung P_p , die jedem Ausstoßelement **17** zugeführt wird, besteht.

[0063] Es ist daher selbstverständlich, dass diese beiden Größen, d.h. die Steuerleistung P_p und die Steuerenergie E_p , in einer äquivalenten Weise im Zusammenhang mit dieser Beschreibung verwendet werden können, so dass die Bezugnahme auf die eine oder die andere Größe nach Belieben erfolgen kann.

[0064] Insbesondere ist die Steuerenergie E_p , die von einem üblichen Ausstoßelement **17** während einer vorher festgelegten Zeitdauer von ausreichender Länge, um eine Vielzahl von Zyklen der Dauer t_0 des Signals **55** unterzubringen, absorbiert wird, charakteristisch für die dem üblichen Ausstoßelement **17** zugeführten Durchschnittsleistung.

[0065] Wie aus dem periodischen Verlauf des Signals **55** hervorgeht, ist es ausreichend, um den Wert der Steuerenergie E_p , die in der Zeiteinheit einem üblichen Ausstoßelement **17** zugeführt wird, zu verändern, das Verhältnis zwischen der Zeit t_2 und der Zeit t_1 im periodischen Signal zu verändern; d.h. den Parameter, der dem Fachmann auf diesem Gebiet als „duty cycle“ bekannt ist.

[0066] Der Druckkopf **11** umfasst darüber hinaus einen Temperatursensor **28**, der an die Steuereinheit **31** angeschlossen ist, und die Funktion hat, letzterer ein Signal zuzuführen, das für die Temperatur im Druckkopf **11** charakteristisch ist. Vorzugsweise ist der Sensor **28** benachbart zum Siliziumsubstrat **21** auf der Seite, auf der sich die mehreren Ausstoßelemente **17** befinden, angeordnet.

[0067] Auf diese Weise ist aufgrund der guten Wärmeleiteigenschaften des Siliziumsubstrats **21** die durch den Sensor **28** ermittelte Temperatur charakteristisch für die tatsächlichen Wärmezustände im Druckkopf **11** während seines Betriebs, insbesondere in dem Bereich, in dem die Ausstoßelemente **17** einer periodischen Erwärmung und Abkühlung ausgesetzt sind, um Tröpfchen **22** auszustoßen.

[0068] Der Temperatursensor **28** kann auf verschiedene Weisen sowohl in Bezug auf das Material als auch in Bezug auf die Form hergestellt sein. Er kann z.B. aus einem Widerstand mit einem temperaturveränderlichen Widerstandswert hergestellt sein und kann darüber hinaus punktförmig sein oder zumin-

dest eine begrenzte Größe haben, um ein Temperatursignal abzugeben, das für die Temperatur in einem genau abgegrenzten Bereich des Druckkopfes **11** charakteristisch ist.

[0069] Alternativ kann der Temperatursensor **28** eine längliche Form, die sich typischerweise serpentinartig entlang des Substrats **21** erstreckt, aufweisen, um ein Signal zu erzeugen, das für die Durchschnittstemperatur über einen weiten Bereich des Druckkopfes **11** charakteristisch ist.

[0070] Insbesondere sollte, wie in der Darstellung in Fig. 2 zu sehen ist, der Temperatursensor **28** eine längliche Form haben, die um die Reihen von Ausstoßelementen **17** gebildet ist, so dass er sich im Querschnitt betrachtet an zwei gegenüberliegenden Enden in Bezug auf den Bereich der Ausstoßelemente **17** befindet.

[0071] Der Druckkopf **11** umfasst weiterhin ein Wärmesteuerungselement **29**, das an die Steuereinheit **31** angeschlossen ist, und gemäß den bekannten Verfahren durch die vom Sensor **28** ermittelte Temperatur konditioniert wird, um fortlaufend die thermischen Bedingungen im Druckkopf **11** über der Zeit zu steuern und zu stabilisieren und um insbesondere letzteren auf einer vorgegebenen konstanten Temperatur, auch Stabilisierungstemperatur T_s genannt, zu halten.

[0072] Auf diese Weise bilden der Temperatursensor **28**, das Wärmesteuerungselement **29** und die Steuereinheit **31** die typischen Komponenten eines Wärmesteuerungssystems des Rückführungstyps, das die Temperatur des Druckkopfes **11** fortlaufend während des Betriebs steuern kann und insbesondere rasch und automatisch tätig wird, um die Stabilisierungstemperatur T_s im Druckkopf **11** infolge irgendeiner Abweichung davon wiederherzustellen.

[0073] Zu diesem Zweck besteht das Steuerungselement **29** typischerweise aus einem Widerstand, der zur Aufnahme einer elektrischen Rückführungsenergie E_r und zum Abführen dieser Energie durch den Joule-Effekt in Wärme im Druckkopf **11** dient.

[0074] Wie die Steuerenergie E_p wird die Rückführungsenergie E_r normalerweise dem Wärmesteuerungselement **29** nicht mittels eines kontinuierlichen sondern mittels eines diskreten Signals zugeführt, das sich aus einer Abfolge von Zyklen zusammensetzt, von denen jeder ein Zeitintervall hat, in dem das Signal hoch ist und folglich die Rückführungsenergie E_r wirksam dem Wärmesteuerungselement **29** zugeführt wird, und ein Zeitintervall hat, in dem das Signal niedrig oder null ist und daher keine Aufnahme der Rückführungsenergie E_r durch das Steuerungselement **29** erfolgt.

[0075] Es ist insbesondere möglich, wie bereits in Bezug auf das periodische Signal **55** der den Ausstoßelementen **17** zugeführten Steuerungsleistung P_p angegeben, die Rückführungsenergie E_r , die dem Wärmesteuerungselement **29** pro Zeiteinheit zugeführt wird, durch das Verändern in jedem Zyklus des periodischen Signals der Rückführungsenergie E_r des Verhältnisses der Dauer von zwei Zeitintervallen, in denen das Signal jeweils hoch und niedrig ist, d.h. den als „duty cycle“ bekannten Parameter, zu verändern.

[0076] Bei der hierin beschriebenen und dargestellten bevorzugten Ausführungsform sind der Temperatursensor **28** und das Wärmesteuerungselement **29** vom Material her ein und dasselbe Teil, d.h. sie bestehen aus physikalischer Sicht aus einem einzigen Widerstand, der abwechselnd als Heizelement zum Erzeugen von Wärme durch Joule-Effekt, die an die Umgebung abgegeben werden soll, und als Sensor zum Abgreifen der Temperatur auf der Grundlage der Veränderung des Widerstandswertes des Widerstandes, verwendet wird.

[0077] Selbstverständlich können der Temperatursensor **28** und das Wärmesteuerungselement **29** separat hergestellt sein ohne den Schutzzumfang der Erfindung zu verlassen.

[0078] Die Steuereinheit **31** zur Steuerung des Betriebs des Druckkopfes **11** sowie die Ausstoßelemente **17** sind ebenfalls an den Temperatursensor **28** und folglich an das Wärmesteuerungselement **29** über eine Leitung **33** angeschlossen.

[0079] In der Praxis steuert, wie bereits angegeben, die Steuereinheit **31**, während sich der Druckkopf **11** vor dem Druckmedium **18** bewegt, das Ausstoßen der Tröpfchen **22** durch das Übertragen von Impulsen an die Ausstoßelemente **17** gemäß einer geeigneten Folge, so dass die Tröpfchen **22**, die durch die Düsen **16** ausgestoßen werden, die gewünschten Zeichen und Abbildungen auf dem Druckmedium **11** erzeugen.

[0080] Insbesondere entspricht jedes Tröpfchen **22**, das durch den Druckkopf **11** ausgestoßen wird, einem gedruckten Punkt **25** auf dem Blatt **18**, so dass rasch erkennbar ist, wie stark die Fläche A des gedruckten Punktes **25** vom Volumen Vol des einzelnen Tintentröpfchens **22** abhängig ist.

[0081] Der Druckkopf **11** dient zur Erzeugung einer festgelegten Sollgröße des Punktes **25**, auf der der Druckvorgang basiert, der durch den Drucker **10** ausgeführt wird, um eine korrekte Bedeckung des Dokuments in Bezug auf die Druckeinstellungen, die am Drucker **10** eingestellt sind, zu erhalten. Insbesondere wird der Druckertreiber abhängig von der Nenngröße des Punktes **25** mit seinen Kalibrierungsalgo-

rithmen betrieben, um eine korrekte Sättigung, Verteilung und Überlappung auf dem Dokument der mehreren gedruckten Punkte zu erreichen.

[0082] Bei der Herstellung ist es jedoch nicht möglich, Druckköpfe **11** zu fertigen, bei denen auf dem Papierblatt **18** ein Punkt **25** mit einer Größe, die immer konstant ist und dem Sollwert entspricht, erreicht werden kann, da viele Parameter und Größen des Druckkopfes **11** eigene Herstellungstoleranzen aufweisen und sich im Laufe der Zeit verändern.

[0083] Als Beispiele dieser Parameter wären der Durchmesser der Düsen und die Fläche des Widerstandes zu nennen, die aufgrund ihrer Veränderungen erhebliche Auswirkungen auf die Volumengröße der Tröpfchen **22** haben.

[0084] Die Herstellungsabweichungen bestimmter Parameter der Druckköpfe können auch beträchtlich sein (± 10 bis 15%), so dass, da die Drucktechnologie immer höhere Auflösungen fordert, zunehmend die Verwendung von sehr kleinen Tröpfchen erforderlich ist.

[0085] Es kann in einfacher Weise hergeleitet werden, dass mit der Verringerung der Herstellungsgröße der Tintenstrahl-druckköpfe, die zum Erzeugen von Druckköpfen mit immer kleineren Durchmesser erforderlich ist, entsprechend das prozentuale Auftreten von Herstellungsabweichungen bei Druckköpfen zunimmt; in einer ähnlichen Weise die Schwierigkeiten, diese Abweichungen auf ein akzeptierbares Maß zu begrenzen.

[0086] Zum besseren Verständnis sind in dem Diagramm in **Fig. 3** drei gerade Linien **61**, **62** und **63** gezeigt, die qualitativ das Verhältnis des Volumens Vol der ausgestoßenen Tröpfchen **22** zur Fläche A des gedruckten Punktes **25** festlegen, wobei sich jede der geraden Linien auf eine spezifische Kombination von Druckmedium, Tinte und Druckkopftyp bezieht.

[0087] Wie zu sehen ist, hat das Verhältnis, wie auch immer die Kombination sein mag, einen linearen Verlauf, so dass die Fläche A tendenziell direkt proportional zum Volumen Vol zunimmt. Wie bereits angegeben, ist für ein gegebenes Volumen Vol der ausgestoßenen Tröpfchen die Fläche A abhängig von der ausgewählten bestimmten Kombination, insbesondere von der Papier- und der Tintenart. Das Diagramm in **Fig. 3** zeigt darüber hinaus, wie sogar geringe prozentuale Veränderungen des Volumens Vol beträchtliche Veränderungen der Fläche A und folglich der optischen Dichte der gedruckten Punkte zur Folge haben.

[0088] Der Ursache dafür, dass das Verhältnis einen linearen Verlauf hat, kann in einfacher Weise hergeleitet werden, wenn man sich überlegt, wie das Phä-

nomen der Ablagerung von Tröpfchen auf speziellen oberflächenbehandelten Druckmedien entsteht, wobei das Tröpfchen im Wesentlichen ausschließlich in die Oberflächenschicht des Druckmediums, d.h. in das, was gelegentlich auch als "coating" bezeichnet wird, eindringt und einen Zylinder konstanter Dicke mit einem freigelegten Bereich hat, der proportional dem Volumen Vol des Tröpfchens ist.

[0089] Folglich können die Veränderungen des Tröpfchenvolumens beträchtliche Veränderungen der Schwärzung, insbesondere in den Zwischentönen, verursachen, die bis zu 30% betragen können.

[0090] Wie bereits bekannt, haben Thermo-Tintenstrahldruckköpfe des Blasentyps eine Betriebscharakteristik des Ausstoßens der Tröpfchen, nämlich ein experimentelles Verhältnis des Volumens Vol der ausgestoßenen Tröpfchen zu der den Ausstoßelementen zugeführten Steuerenergie Ep, die einen eindeutig festlegbaren Verlauf hat, das typisch für diese Art von Druckköpfen ist.

[0091] Dieses experimentelle Verhältnis ist durch die Kurve 40 in Fig. 3 angegeben, wobei die Werte der einem üblichen Ausstoßelement zugeführten Steuerenergie Ep in jedem Ausstoßzyklus auf der x-Achse aufgetragen sind und die entsprechenden Werte des Volumens Vol der durch die Düse, die dem Ausstoßelement zugeordnet ist, ausgestoßenen Tröpfchen auf der y-Achse aufgetragen sind.

[0092] Das Diagramm in Fig. 3 hat eine im Wesentlichen qualitative Aussagekraft und liefert keine quantitativen und zahlenmäßigen Hinweise über das Volumen Vol und die Steuerenergie Ep. Der Vollständigkeit wegen muss jedoch herausgestellt werden, dass im Zusammenhang mit der Thermo-Tintenstrahldrucktechnologie, auf der diese Erfindung beruht, das Volumen Vol jedes ausgestoßenen Tröpfchens Werte annimmt, die sich in einer Größenordnung von Picolitern (pl) bewegen, während die entsprechende Steuerenergie Ep in Mengen zugeführt wird, die sich in der Größenordnung von Mikrojoule (μJ) bewegen.

[0093] Durch die Kurve 40 ist insbesondere angegeben: ein erster Schwellenwert Eps der Steuerenergie Ep, unterhalb welchem das Volumen Vol null ist, d.h. dass kein Ausstoßen der Tröpfchen erfolgt; ein geneigter Abschnitt 41, in dem ein Ausstoßen von Tröpfchen erfolgt, wenngleich nicht in einer stabilen Weise, wobei das Volumen Vol der Tröpfchen nach und nach in Bezug auf die Steuerenergie Ep zunimmt; ein Kniebereich 42, der einem Kniewert Epg der Steuerenergie Ep entspricht, an dem der geneigte Abschnitt 41 am oberen Ende endet und in welchem das Volumen Vol der ausgestoßenen Tröpfchen nicht mehr zunimmt; und schließlich ein im Wesentlichen flacher Bereich 43, in welchem die Tröpf-

chen stabil mit einem im Wesentlichen konstanten Volumen trotz der zunehmenden Steuerenergie Ep ausgestoßen werden.

[0094] Der Sollwert Epn der Steuerenergie Ep wird normalerweise so eingestellt, dass er einem zentralen Bereich des flachen Bereichs 43 der Kurve 40 entspricht, wodurch sichergestellt wird, dass das Ausstoßen von Tröpfchen nicht nur stabil sondern auch ausreichend vom kritischen Bereich entfernt ist, der dem Kniebereich 42 der Kurve 40 entspricht.

[0095] Beispielsweise entsprechen der Schwellenwert Eps, der Kniewert Epg und der Sollwert Epn der Steuerenergie einer Temperatur des Ausstoßelementes gleich 320 °C, 350 °C bzw. 450 °C.

[0096] Wie bereits angegeben, liegt dem Verfahren der Erfindung die Aufgabe zugrunde, mit einer hohen Genauigkeit das tatsächliche Volumen von Tintentröpfchen 22, die durch den Druckkopf 11 ausgestoßen werden, zu ermitteln, und es hat einige nennenswerte Analogien zum in der zuvor genannten und vom Anmelder eingereichten US-Patentschrift Nr. 5,767,872 beschriebenen Verfahren zum automatischen Einstellen des energetischen Arbeitspunktes eines Thermo-Tintenstrahldruckers.

[0097] Tatsächlich wird durch das vorliegende Verfahren auch zunächst ein kontinuierlicher Steuerzyklus geschaffen, bei dem ein oder mehrere Ausstoßelemente 17 mit einer bestimmten Steuerenergie Ep gesteuert werden, die sich nach und nach ändert, z.B. beginnend von einer anfänglichen Größe der Steuerenergie Ep zunimmt, die wesentlich geringer ist als es zum Ausstoßen von Tintentröpfchen erforderlich ist, bevor die Steuerenergie Ep erhöht wird, so dass der Druckkopf 11 nach und nach vom Zustand des Nicht-Ausstoßens von Tröpfchen in einen Zustand des stabilen Aufstoßens von Tintentröpfchen 22 übergeht.

[0098] Genau gesagt besteht dieser kontinuierliche Steuerzyklus aufgrund der progressiven Zunahme der Größe der Steuerenergie Ep aus drei Schritten: Jeweils einem ersten Schritt, der bei niedriger Steuerenergie erfolgt wird, bei dem die Steuerenergie Ep, die den Ausstoßelementen 17 zugeführt wird, auch bei einer Zunahme eine ausreichende Höhe nicht erreicht, um ein Ausstoßen von Tröpfchen 22 zu bewirken; einem zweiten Zwischenschritt, bei dem der Druckkopf 11 Tintentröpfchen mit instabilen Eigenschaften ausstößt, d.h. Tröpfchen mit einem Volumen, das sich in Abhängigkeit von der Höhe der den Ausstoßelementen 17 zugeführten Steuerenergie verändert; und schließlich einem dritten Schritt, der bei hoher Steuerenergie erfolgt, bei dem der Druckkopf 11 andererseits Tintentröpfchen mit stabilen Eigenschaften ausstößt, d.h. Tröpfchen mit einem im Wesentlichen konstanten Volumen trotz der Verän-

derung der Höhe der Steuerenergie E_p , die den Ausstoßelementen **17** zugeführt wird.

[0099] Während des gesamten Ablaufs dieses kontinuierlichen Steuerzyklus wird der Druckkopf **11** auf einer im Wesentlichen konstanten Stabilisierungstemperatur T_s , wie z.B. in etwa 40 bis 50 °C, insbesondere entsprechend der Oberfläche des Substrates **21**, auf dem die Ausstoßelemente **17** angeordnet sind, durch das Wärmesteuerungssystem des Rückführungstyps basierend auf den Temperatursensor **28** und dem Wärmesteuerungselement **28** gehalten.

[0100] Zu diesem Zweck arbeitet der Widerstand, der den Temperatursensor **28** sowie das Steuerelement **29** bildet, abwechselnd als Sensor und als Heizelement, wobei er der Steuereinheit **31** in einem ersten Schritt ein Signal, das charakteristisch für die Temperatur des Druckkopfes **11** ist, überträgt und anschließend im Druckkopf **11** in einem nachfolgenden zweiten Schritt eine bestimmte Wärmemenge proportional zur Rückführungsenergie E_r , die von der Steuereinheit **31** aufgenommen wurde und abhängig von der im vorhergehenden Schritt erfassten Temperatur ist, abgibt.

[0101] Wie zuvor angegeben, wird die Wärmemenge, die vom Wärmesteuerelement **29** zum Abführen im Druckkopf **11** erzeugt wurde, durch das Verändern der Dauer der Impulse, die das Signal der Rückführungsenergie E_r bilden, eingestellt.

[0102] Die Stabilisierungstemperatur T_s kann auf verschiedene Weisen eingestellt werden. Z.B. kann sie vorher dauerhaft festgelegt werden; oder sie kann am Anfang jedes Steuerzyklus in Bezug auf die Umgebungstemperatur in der unmittelbaren Umgebung des Druckkopfes **11** eingestellt werden.

[0103] Insbesondere wird gemäß einer sehr vorteilhaften Anordnung, wie in Folgenden näher beschrieben, die Stabilisierungstemperatur T_s durch das Ermitteln des Wertes der Umgebungstemperatur und Erhöhen des somit ermittelten Wertes um einen vorher festgelegten Betrag, z.B. 25 °C, erhalten, so dass die Stabilisierungstemperatur T_s immer einer festgelegten Übertemperatur in Bezug auf die Umgebungstemperatur entspricht.

[0104] Während des gesamten Verlaufs des Steuerzyklus werden sämtliche Ausstoßelemente **17** oder wenigstens einige von ihnen durch ein Impulssignal der Steuerenergie E_p mit einer konstanten Frequenz, z.B. zwischen 500 und 1.000 Hertz, gesteuert, wohingegen die Dauer oder die Breite jedes Impulses des Signals, wie bereits zuvor angegeben, beginnend von einem Wert niedriger als der zum Ausstoßen von Tröpfchen erforderliche nach und nach erhöht wird.

[0105] Die allmähliche Zunahme der Impulsbreite

der Steuerenergie E_p erfolgt in geringen prozentualen Zuwächsen von 1 bis 2%, so dass sich die Veränderungen der Steuerenergie E_p , die im Verlauf des Steuerzyklus auftreten, in einer bestimmten stetigen Weise vollziehen. Auf diese Weise hat der Druckkopf **11**, der, wie bereits beschrieben, ein thermisches Ansprechverhalten besitzt, das nicht unmittelbar sondern durch interne thermische Konstanten bedingt, die abhängig vom Aufbau des Druckkopfes selbst sind, ausreichend Zeit, um seine thermischen Zustände nach jeder Veränderung der Steuerenergie problemlos einzustellen.

[0106] Darüber hinaus können auf diese Weise die Werte der Steuerenergie E_p und der Rückführungsenergie E_r , die miteinander in Wechselbeziehung stehen, um den Druckkopf **11** auf der Stabilisierungstemperatur T_s zu halten, mit einer hohen Genauigkeit während des gesamten Verlaufs des Steuerzyklus erfasst werden.

[0107] Es ist offensichtlich, dass im Verlauf des kontinuierlichen Steuerzyklus das Wärmesteuerungssystem, das im Druckkopf **11** angeordnet ist, dafür sorgt, dass die Veränderungen der Wärmemenge, die im Druckkopf **11** durch die Ausstoßelemente **17** abgegeben wird, aufgrund der stetigen Zunahme der Steuerenergie E_p durch entsprechende Veränderungen der Wärmemenge, die im Druckkopf **11** durch das Wärmesteuerungselement **28** abgegeben wird, ausgeglichen werden, um die Temperatur des Druckkopfes **11** über der Zeit konstant zu halten.

[0108] Wie im Folgenden ausführlich beschrieben, wird während des gesamten Verlaufs des kontinuierlichen Steuerzyklus, mit Ausnahme des Zwischenschritts des unstabilen Aufstoßens von Tröpfchen **22**, durch eine Zunahme der Steuerenergie E_p , die pro Zeiteinheit den Ausstoßelementen **17** zugeführt wird, eine entsprechende Abnahme der Rückführungsenergie E_r , die dem Steuerelement **28** während der selben Zeiteinheit zugeführt wird, festgelegt.

[0109] Um die Besonderheiten und den exakten Verlauf des zuvor beschriebenen kontinuierlichen Steuerzyklus besser beurteilen zu können, ist dieser in dem Diagramm in **Fig. 6** gezeigt, bei dem auf der x-Achse die stetig zunehmende Menge an Steuerenergie E_p , die den Ausstoßelementen **17** zugeführt wird, und auf der y-Achse die dazu in Wechselbeziehung stehenden Mengen der Rückführungsenergie E_r , die dem Wärmesteuerelement **28** zugeführt werden, um den Druckkopf fortlaufend auf der Stabilisierungstemperatur T_s während des Steuerzyklus zu halten, aufgetragen sind.

[0110] Auf diese Weise wird eine Kennlinie **50** erhalten, die folglich die experimentelle Beziehung festlegt, durch die im Verlauf dieses kontinuierlichen Steuerzyklus die Menge an Steuerenergie E_p und die

Menge an Rückführungsenergie E_r , die pro Zeiteinheit zugeführt werden, miteinander in Verbindung stehen.

[0111] Offensichtlich entsprechen, da die Ausstoßdüsen **17** mit einem Impulssignal konstanter Breite P_{pmax} und einer stetig zunehmenden Impulsdauer t_1 gesteuert werden, die Zeiten, die die Dauer dieser Impulse festlegen, den Werten der Steuerenergie E_p und können folglich auf der x-Achse anstelle der zuletzt genannten in dem Diagramm in **Fig. 6** angegeben werden.

[0112] In ähnlicher Weise können, wenn die Rückführungsenergie E_r durch ein Rückführungsleistungssignal P_r mit einem Impulsverlauf zugeführt wird, auf der y-Achse die Werte der Rückführungsenergie E_r den Zeiten der Impulse, die das Rückführungsleistungs-Impulssignal E_r bilden, entsprechen und durch diese angegeben werden.

[0113] Aus Gründen der Vollständigkeit ist im Diagramm in **Fig. 6** oben eine Linie **60** bezüglich der Stabilisierungstemperatur T_s des Druckkopfes **11** gezeigt, die demgemäß einen horizontalen Verlauf hat, um anzugeben, dass sich die Stabilisierungstemperatur T_s trotz der stetigen Zunahme der Steuerenergie E_p nicht verändert.

[0114] Durch das Verfahren der Erfindung können im Verlauf dieses Steuerzyklus die verschiedenen miteinander in Wechselbeziehung stehenden Mengen der Steuerenergie E_p bzw. der Rückführungsenergie E_r , durch welche die Kennlinie **50** festlegt ist, und die den Druckkopf **11** auf der Stabilisierungstemperatur T_s halten können, ermittelt werden und in einem Speicher der Steuereinheit **31** gespeichert werden.

[0115] Genau gesagt hat die Kennlinie **50** einen ersten geradlinigen Abschnitt oder Teil **51** konstanter Neigung, der sich zwischen den Punkten P_1 und P_2 erstreckt. Dieser Abschnitt **51** entspricht dem Anfangsschritt bei niedriger Steuerenergie, bei dem die Steuerenergie E_p nicht in der Lage ist, Tröpfchen **22** auszustoßen, und befindet sich daher unterhalb des Schwellenwertes, der erforderlich ist, um die Tinte zum Sieden zu bringen.

[0116] Im Abschnitt **51** wird durch die Steuerenergie E_p und die Rückführungsenergie E_r , die jeweils Wärme abführen und folglich den Druckkopf **11** erwärmen können, mit jeweils im Wesentlichen äquivalenten jedoch mit entgegengesetzten Vorzeichen versehenen Energiemengen die Temperatur des Druckkopfes **11** konstant gehalten. Dies wird in einfacher Weise dadurch verdeutlicht, dass, wie bereits angegeben, einerseits der Verlauf des Steuerzyklus eine Zunahme der Steuerenergie E_p , die pro Zeiteinheit zugeführt wird, bewirkt, und auf der anderen Seite das Wärme-

steuerungssystem des Druckkopfes **11** automatisch auf diese Zunahme durch ein Verringern der Rückführungsenergie E_r , die in der selben Zeiteinheit zugeführt wird, reagiert.

[0117] Folglich besagen die Höhe der Steuerenergie E_p und der Rückführungsenergie E_r , die zugeführt werden, dass die Kennlinie **50** zunächst einem nach unten gerichteten Verlauf entsprechend Abschnitt **51** folgt, bis das Ausstoßen der Tröpfchen **22** entsprechend dem Punkt, bei dem die Kennlinie **50** den linearen Verlauf ändert, erfolgt.

[0118] In ähnlicher Weise ist es selbstverständlich, dass, wenn das Ausstoßen von Tröpfchen durch Kräfteinwirkung, z.B. durch das Verstopfen der Düsen an der Außenseite des Druckkopfes **11**, auch nachdem der Schwellenwert der Steuerenergie E_p erreicht ist, beeinträchtigt würde, die Kennlinie **50** trotzdem ihren linearen Verlauf nicht ändern sondern im Abschnitt **51'** mit der selben Neigung, wie im Teil **51**, verlaufen würde.

[0119] Bei diesem hypothetischen Fall würde, obwohl ein Sieden der Tinte, d.h. eine Umwandlung von Energie in der im Druckkopf **11** enthaltenden Tinte erfolgt, die gesamte zugeführte Energie innerhalb des Druckkopfes **11** bleiben, ohne dass irgendwelche Verluste entstehen, bevor die schließlich nach mehreren Umwandlungsvorgängen in Wärmeenergie übergeht, so dass die Beziehung zwischen der Steuerenergie E_p und der Rückführungsenergie E_r im Abschnitt **51'** weiterhin linear wäre.

[0120] Dagegen verlässt, wenn ein Aufstoßen der Tröpfchen **22** erfolgt, ein Teil der Energie den Druckkopf **11** zusammen mit den Tröpfchen **22**, so dass dadurch eine lineare Gesetzmäßigkeit zwischen der Steuerenergie E_p und der Rückführungsenergie E_r nicht aufrechterhalten werden kann.

[0121] Nach dem Abschnitt **51** hat die Kennlinie **50** einen gekrümmten Abschnitt **52**, der am geradlinigen Abschnitt **51** anschließt, eine gebogene Form hat und zwischen den Punkten P_2 und P_3 verläuft, wobei die Kennlinie **50** jenseits dieses Punktes im Abschnitt **53** einen linearen Verlauf annimmt.

[0122] Dieser gekrümmte Abschnitt **52** entspricht dem Zwischenschritt des Steuerzyklus, an dessen Anfang ein Ausstoßen der Tintentröpfchen **22** aus den Düsen **16** erfolgt und in dessen Verlauf die Tröpfchen **22** instabil mit einem Volumen Vol , das sich in Bezug auf die Menge der zugeführten Steuerenergiemenge E_p verändert, ausgestoßen werden.

[0123] Die Tatsache, dass der Verlauf der Kennlinie **50** im gekrümmten Abschnitt **52** zwischen den Punkten P_2 und P_3 nicht sprunghaft ist sondern sich über einen bestimmten Bereich der Veränderung der

Steuerenergie E_p entwickelt, ist im Wesentlichen auf die beiden folgenden Ursachen zurückzuführen.

[0124] Erstens erfolgt das Sieden in sämtlichen Düsen nicht bei demselben Wert der Steuerenergie E_p sondern es gibt immer eine bestimmte Abweichung oder Streuung von einer Düse zur nächsten. Darüber hinaus entspricht der Abschnitt **52**, wie bereits beschrieben, dem Anfangsbereich **41** des in **Fig. 6** dargestellten Energieverlaufs, der eine ansteigende Tendenz des Volumens Vol der ausgestoßenen Tröpfchen zeigt.

[0125] Die Charakteristiken des gekrümmten Abschnitts **52** können durch Bezugnahme auf dessen Ableitung genauer analysiert werden, die als Kurve **65** in dem Diagramm in **Fig. 5** angegeben ist. Wie zu sehen ist, hat der Abschnitt **52** drei charakteristische Punkte, von denen zwei mit den Buchstaben A und B entsprechend einem Nullwert der Ableitung **65** angegeben sind und ein Dritter mit dem Buchstaben C entsprechend einem maximalen Wert der Ableitung **65** angegeben ist.

[0126] Diese Punkte A, B und C sind entsprechend einiger typischer Betriebszustände des Druckkopfes **11** angeordnet. Insbesondere entspricht in Bezug auf **Fig. 5** der Punkt A in etwa der Schwellenwertenergie E_{ps} , die erforderlich ist, um das Ausstoßen von Tröpfchen zu bewirken, der Punkt B in etwa der Knieenergie E_{pg} , wohingegen der Punkt C einem Zwischenwert der Steuerenergie E_p zwischen dem Schwellenwert E_{ps} und dem Kniewert E_{pg} entspricht.

[0127] Folglich können durch die Ableitung **65** in einfacher Weise und mit hoher Genauigkeit die Eckpunkte der Kurve **40** in **Fig. 5** bestimmt werden, die die für jeden Druckkopf typische Betriebseigenschaft des Ausstoßens der Tröpfchen angeben.

[0128] Insbesondere ist es, wie bereits angegeben, möglich, beginnend von den Eckpunkten, die in der Kurve **40** angegeben sind, den optimalen energetischen Arbeitspunkt für den Druckkopf **11** korrekt auszuwählen und einzustellen, d.h. den optimalen Wert für die Steuerenergie, die den Ausstoßelementen zugeführt werden muss, um ein stabiles Ausstoßen von Tröpfchen, welches in ausreichendem Abstand vom kritischen Bereich des instabilen Ausstoßens von Tröpfchen erfolgt, zu erhalten.

[0129] Durch ein solches Einstellen des Arbeitspunktes kann die Streuung, die bei der Herstellung von Druckköpfen auftritt, kompensiert werden.

[0130] Wie bereits beschrieben, setzt sich die Kennlinie **50** jenseits des Punktes P3, der sich am Ende des Abschnitts **52** befindet, im Abschnitt **53** fort, der dem Schritt hoher Steuerenergie entspricht, und

nimmt wieder einen linearen Verlauf mit einer Neigung ähnlich der anfänglichen im Abschnitt **51** an.

[0131] In dieser Weise verläuft die Kennlinie **50** bis zum Punkt P4 im Wesentlichen parallel zum Abschnitt **51'**, den man, wie zuvor beschrieben, erhalten würde, wenn der Zustand des vollständigen Ausbleibens des Tröpfchenausstoßens infolge einer Krafteinwirkung während des gesamten Verlaufs des kontinuierlichen Steuerungszyklus aufrechterhalten würde.

[0132] Gemäß dem Verfahren der Erfindung kann mit Hilfe der Kennlinie **50** nicht nur Information in Verbindung mit den Eckpunkten der Kurve **40**, d.h. mit den Betriebseigenschaften des Ausstoßens der Tröpfchen, die für jeden Druckkopf **11** typisch sind, sondern auch andere Information betreffend das Volumen der ausgestoßenen Tröpfchen **22** erhalten werden.

[0133] Insbesondere wird durch das Verfahren der Erfindung nach Beendigung des kontinuierlichen Steuerzyklus, um die Kennlinie **50** zu erhalten, die die experimentelle Gesetzmäßigkeit des Veränderns der Rückführungsenergie E_r bezüglich der Steuerenergie E_p festlegt, bei der der Druckkopf **11** auf der Stabilisierungstemperatur T_s gehalten wird, die Verschiebung im Zusammenhang mit dem Diagramm in **Fig. 6** zwischen den linearen Abschnitten **51** und **53** der somit erhaltenen Kennlinie **50** mit dem Phänomen des Ausstoßens der Tröpfchens in Beziehung gebracht, um aus dieser Verschiebung Information über das Volumen Vol der Tröpfchen **22**, die von dem Druckkopf **11** ausgestoßen werden, zu erhalten.

[0134] Im Speziellen werden die beiden Abschnitte **51** und **53** mit ihren jeweiligen Verlängerungen verglichen, um einen mit ΔE_p angegebenen Term zu definieren, der charakteristisch für die Zunahme der Menge der Steuerenergie E_p ist, die den Ausstoßelementen **17** für eine ähnliche Menge an abgeführter Rückführungsenergie E_r im Übergangsbereich vom Schritt des Nicht-Ausstoßens zu dem des stabilen Ausstoßens von Tröpfchen **22** zugeführt werden muss.

[0135] Wie in **Fig. 6** zu sehen, hat dieser Term ΔE_p einen im Wesentlichen konstanten Wert für jede Kennlinie **50**, die einem bestimmten Druckkopf **11** zugeordnet ist und wird z.B. durch die Überschneidung der Endabschnitte **51** und **53** der Kennlinie **50** oder ihrer jeweiligen Verlängerungen mit einer Linie parallel zur Abszisse der Steuerenergie E_p bestimmt.

[0136] Es wird festgestellt, dass, da die beiden Abschnitte **51** und **53** im Wesentlichen parallel zueinander sind, der Wert des Terms ΔE_p bei unterschiedlichen Werten der Rückführungsenergie E_r bestimmt werden kann.

[0137] Vorzugsweise erfolgt das Bestimmen des Terms ΔE_p im mittleren Abschnitt der Kennlinie **50**, der den Zwischenabschnitt **52** hat, und in den seitlich hierzu benachbarten Bereichen der Abschnitte **51** und **53**.

[0138] Schließlich wird der somit erhaltene Term ΔE_p ausgewertet, um Information über das Volumen V_{ol} der ausgestoßenen Tröpfchen zu erhalten.

[0139] Insbesondere wird gemäß einer Berechnung, die nicht als alleingültig anzusehen ist, sondern lediglich eine der möglichen Vorgehensweisen zur Ermittlung des Volumens V_{ol} der ausgestoßenen Tröpfchen **22** ausgehend vom Term ΔE_p ist, letzterer mit einem konstanten Wert, der zuvor festgelegt wurde und der im Folgenden näher beschrieben wird, multipliziert.

Mögliche Varianten im Schutzbereich der Erfindung

[0140] Selbstverständlich können Veränderungen und Verbesserungen bei dem bisher beschriebenen Verfahren durchgeführt werden, ohne den Schutzbereich der Erfindung zu verlassen.

[0141] Zum Beispiel kann gemäß einer ersten Variante der kontinuierliche Steuerzyklus, der auf dem Verfahren der Erfindung basiert, ebenso in einer Richtung durchgeführt werden, die der zuvor beschriebenen entgegengesetzt ist, d.h. durch das Zuführen den Ausstoßelementen **17** pro Zeiteinheit einer nach und nach einer abnehmenden Menge an Steuerenergie E_p derart, dass der Druckkopf **11** zunächst im Zustand des stabilen Ausstoßens von Tröpfchen arbeitet und anschließend in den Zustand des Nicht-Ausstoßens von Tröpfchen übergeht, wobei er den Bereich des instabilen Ausstoßens von Tröpfchen durchläuft.

[0142] Diesbezüglich wird aus Gründen der Vereinfachung darauf hingewiesen, dass diese Beschreibung lediglich eine detaillierte Untersuchung des ersten Falls beinhaltet, bei dem der Steuerzyklus bei zunehmender Steuerenergie erfolgt, wobei selbstverständlich das bereits beschriebene auch auf einen Steuerzyklus mit abnehmender Energie übertragbar ist.

[0143] Zusätzlich können auf der Grundlage einer zweiten Variante die Ausstoßelemente **17** auch zum Zwecke des Konstanthaltens der Temperatur des Druckkopfes **11** im Verlauf des kontinuierlichen Steuerzyklus in Kombination mit der Verwendung des Wärmesteuerungselements **29** oder als Alternative dazu verwendet werden.

[0144] Zum Beispiel können die Ausstoßelemente **17** durch Arbeitsschritte gesteuert werden, die sich mit dem ersten Impulssignal, das zum Steuern der

Ausstoßelemente **17** mit einer Steuerenergie E_p vorgesehen ist, die nach und nach in einer vorgegebenen Weise gemäß dem kontinuierlichen Steuerzyklus, wie zuvor beschrieben, oder mit einem zweiten Signal, ebenfalls des Impulstyps, das zum kontinuierlichen Halten des Druckkopfes **11** auf der Stabilisierungstemperatur T_s während des gesamten Verlaufs des kontinuierlichen Steuerzyklus vorgesehen ist, zeitlich ändern.

[0145] Insbesondere wird dieses zweite Signal der Steuerenergie E_p , das sich mit dem ersten Signal ändert, durch die vom Sensor **28** festgestellte Temperatur konditioniert und kann aus kurzen Impulsen bestehen, um zu verhindern, dass die Tinte den Siedepunkt erreicht.

[0146] In Bezug auf eine dritte Variante wird wiederum ein erster Teil der Ausstoßelemente **17** fortlaufend und in einer vorgegebenen Weise gemäß dem kontinuierlichen Steuerzyklus gesteuert, so dass der Druckkopf vom Zustand des Nicht-Ausstoßens von Tröpfchen in den Zustand des stabilen Ausstoßens von Tröpfchen übergeht; im Gegensatz dazu ist ein zweiter, vom ersten verschiedener Teil der Ausstoßelemente vorgesehen, um die Temperatur des Druckkopfes während des Verlaufs des kontinuierlichen Steuerzyklus zu steuern.

[0147] In diesem Fall kann die Kennlinie **50** vorzugsweise in Normalform festgelegt sein, so dass ein Ausstoßelement **17** lediglich durch das Dividieren der insgesamt zugeführten Menge an Steuerenergie E_p und der insgesamt zugeführten Menge an Rückführungsenergie E_r durch die Anzahl der Ausstoßelemente **17**, die dem ersten bzw. zweiten Teil angehören, gegeben ist.

Weitere Betrachtungen und theoretische Analysen des Verfahrens der Erfindung

[0148] Das Verfahren der Erfindung wird im Folgenden vom theoretischen Standpunkt aus mit Hilfe von mathematischen Formeln weiter untersucht und detailliert beschrieben, um die Charakteristiken des Verfahrens und die theoretischen Prinzipien, auf denen es beruht, zu verdeutlichen.

[0149] Zunächst wird die durch dieses Verfahren vorgeschlagene Lösung, bei der die experimentell ermittelte Verschiebung zwischen den beiden Abschnitten **51** und **53** der Kennlinie **50** mit dem tatsächlichen Volumen V_{ol} der ausgestoßenen Tröpfchen in Beziehung gebracht wird, durch die Betrachtung, dass die beiden Abschnitte **51** und **53**, die jeweils dem Schritt des Nicht-Ausstoßens und dem des stabilen Ausstoßens der Tröpfchen **22** entsprechen, einen im Wesentlichen linearen Verlauf haben, wie in dem Diagramm in **Fig. 6** gezeigt, gestützt und experimentell bestätigt.

[0150] Darüber hinaus kann die in diesem Verfahren enthaltene Wechselbeziehung zwischen dem Term ΔE_p , der experimentell durch das Ermitteln der Kennlinie **50** erhalten wird, und den Größen, die das Phänomen des Ausstoßens der Tröpfchen bestimmen, durch eine nähere Untersuchung des Betriebs des Druckkopfes **11** im Normalzustand des Ausstoßes der Tröpfchen besser verstanden werden.

[0151] In diesem Zusammenhang sei zuallererst darauf hingewiesen, dass die Kennlinie **50** an einen bestimmten Punkt seinen im Wesentlichen linearen Verlauf, den sie ursprünglich im Abschnitts **51** hatte, verlässt, wenn infolge des Ausstoßens der Tröpfchen das physikalische System, das im Druckkopf angeordnet ist und in dem das Phänomen des Ausstoßens der Tröpfchen stattfindet, Energie entzogen wird.

[0152] Bei normalen Betriebsbedingungen des Kopfes **11** zum Ausstoßen der Tintentröpfchen **22** fließt die Tinte von der Reserve **13**, der sich auf der Umgebungstemperatur T_a befindet, in Richtung des Bereichs der Ausstoßelemente **17**.

[0153] Die Tinte streift bei Erreichen des Nahbereichs des Siliziumsubstrats **21** dieses langsam, und zwar zunächst den hinteren Bereich, der der Reserve **13** zugewandt ist, und anschließend entlang des Schlitzes **26** und der Kanäle, die zu den verschiedenen Kammern **24** führen, so dass sie sich fortlaufend nach und nach den Ausstoßdüsen **17** annähert.

[0154] Folglich erwärmt sich die Tinte nach und nach entlang ihres Weges in Richtung zu den Ausstoßelementen **17** und durch das Berühren des Substrates **21**, wodurch dem Substrat **21** Wärme entzogen wird, so dass die Tinte zu dem Zeitpunkt, in dem sie schließlich die Ausstoßelemente **17** erreicht, dieselbe Temperatur T_s wie das Substrat **21** angenommen hat.

[0155] Auf diese Weise wird, wie bereits angegeben, der Tinte, wenn sie in Richtung nach außen durch die Düsen **16** in Form von Tröpfchen **22** ausgestoßen wird, dem physikalischen System, das sich im Druckkopf befindet, eine bestimmte Menge an Energie entzogen.

[0156] D.h. darüber hinaus, dass das Temperatursteuerungssystem im Druckkopf **11** fortlaufend eingreifen muss, um die Wärmemenge, die durch das Ausstoßen der Tröpfchen **22** entzogen wurde, zu kompensieren, um den Druckkopf **11** rechtzeitig auf der vorgegebenen konstanten Temperatur T_s zu halten.

[0157] Quantitativ ist die gesamte abgegebene Energie E_t infolge des Ausstoßens von n Tröpfchen gegeben durch:

$$n \cdot (T_s - T_a) \cdot Mg \cdot Cs + n \cdot 0,5 \cdot Mg \cdot Ug^2 = E_t = n \cdot E_s; \quad (f1)$$

wobei:

T_s = vorgegebene Stabilisierungstemperatur;

T_a = Umgebungstemperatur;

Mg = Tröpfchenmasse;

C_s = spezifische Wärme von Tinte (gleich in etwa $4186 \text{ J/Kg} \cdot ^\circ\text{C}$);

Ug = Tropfengeschwindigkeit;

n = Anzahl der Tröpfchen;

E_s = Energie, die durch das Ausstoßen eines einzelnen Tröpfchens entzogen wird.

[0158] Der erste Term der Formel (f1) definiert die Wärmeenergie, die durch das Ausstoßen der Tröpfchen entzogen wird, wohingegen der zweite Term die kinetische Energie der ausgestoßenen Tröpfchen definiert.

[0159] Man beachte, dass durch das Eliminieren des Terms n in der Formel (f1) die Energie E_s , die durch jedes Tröpfchen **22** entzogen wird, erhalten wird.

[0160] Durch das Einsetzen in (f1) der tatsächlich im Durchschnitt auftretenden Zahlenwerte, zeigt sich nun, dass der zweite Term, der in etwa 1000 Mal kleiner ist, in Bezug auf den ersten vernachlässigbar ist.

[0161] Folglich wird durch das Gleichsetzen der durch jedes ausgestoßene Tröpfchen entzogenen Energie E_s mit dem Term ΔE_p , der experimentell auf der Grundlänge der Kennlinie **50** gemessen wurde und die Zunahme der Steuerenergie E_p vom Schritt des Nicht-Ausstoßens zu dem des Ausstoßens von Tröpfchen bestimmt, unter der Annahme gleicher Mengen an Rückführungsenergie E_r der folgende Ausdruck, der das Volumen Vol des Tröpfchens mit dem gemessenen Term ΔE_p verbindet, erhalten:

$$Vol = \Delta E_p / \Delta T \cdot C_s \cdot P_s; \quad (f2)$$

wobei P_s das spezifische Gewicht der Tinte angibt und $\Delta T = (T_s - T_a)$ ist.

[0162] Die Formel (f2) definiert quantitativ die Beziehung zwischen dem Volumen Vol und dem Term ΔE_p und liefert darüber hinaus eine theoretische Bestätigung der Möglichkeit des Einstellens des Temperatursteuerungssystems des Druckkopfs **11**, so dass letzterer rechtzeitig auf einem stabilen Übertemperaturwert (z. B. 25°C) in Bezug auf die Umgebungstemperatur gehalten werden kann. Auf diese Weise wird der Nenner des Ausdrucks (f2) konstant, so dass folglich die Volumendaten unabhängig von irgendwelchen Temperaturmessungen oder -werten sind, d.h.:

$$Vol = K \cdot \Delta E; \quad (f3)$$

wobei K eine Konstante ist, die eine Proportionalitätsbeziehung des Terms ΔE_p , der in Mikrojoule (μJ) angegeben wird, und dem Volumen des Tröpfchens, das in Picoliter (pl) angegeben wird, definiert.

[0163] Zum Beispiel hat unter der Annahme, dass $\Delta T = 25^\circ\text{C}$ ist und Cs und Ps eine Tinte mit Eigenschaften ähnlich denjenigen von Wasser betreffen, K einen Wert von in etwa 10.

[0164] Die Formel (f3) ist ein sehr einfacher Ausdruck, der theoretisch die durch das Verfahren der Erfindung angegebene Lösung bestätigt, nämlich des Erhaltens von Information über das Volumen Vol des Tröpfchens **22** ausgehend vom Term ΔE_p , der durch das Erhalten der Kennlinie **50**, insbesondere in einfacher Weise durch das Multiplizieren dieses Terms ΔE_p mit einem konstanten Wert ermittelt wird.

[0165] Im Folgenden soll nun die Art und Weise untersucht werden, in der es bei Anwendung möglich ist, den Wert des Terms ΔE_p , der in die Formel (f3) einzusetzen ist, um das Volumen Vol zu erhalten, mit einer ausreichenden Genauigkeit zu bestimmen. Insbesondere wird die gesamte Untersuchung unter der Annahme durchgeführt, dass sowohl die Steuerenergie E_p als auch die Rückführungsenergie E_r in Impulsform, d.h. durch eine Folge von Impulsen von der Steuereinheit **31**, die den Betrieb des Druckkopfes **11** steuert, zugeführt werden.

[0166] Zu diesem Zweck ist im Folgenden zunächst die allgemeine Formel angegeben, die die Energie E definiert, die mit jedem Impuls einem üblichen Widerstand, wie z.B. einem Ausstoßelement **17**, zugeführt wird:

$$E = P_{\max} \cdot t_p = R \cdot I^2 \cdot t_p; \quad (\text{f4})$$

wobei P_{\max} die Breite jedes Impulses definiert, d.h. die maximale oder Spitzenleistung, mit der der Widerstand entsprechend mit jedem Impuls gesteuert wird und entspricht z.B. dem in **Fig. 4** angegebenen Wert P_{\max} ; t_p die Steuerzeit, d.h. die Dauer eines jeden Impulses ist, und entspricht z.B. der in **Fig. 4** angegebenen Zeit t_1 ; R der üblicherweise in Ohm ausgedrückte Wert des typischen Widerstandswertes des Widerstands ist; und schließlich I der in den Widerständen fließende Strom ist.

[0167] Die Formel (f4) zeigt deutlich, wie die Leistung P_{\max} von den zuvor unbekanntenen Größen abhängt, deren Werte nur durch experimentelle Messungen genau bestimmt werden können.

[0168] D.h., dass in Formel (f4) lediglich die Zeit t_p genau bekannt ist, die direkt vom Mikroprozessor der Steuereinrichtung bestimmt wird, wohingegen die tatsächlichen Werte der anderen beiden Größen, nämlich R und I, nicht bekannt sind.

[0169] Insbesondere ist der Widerstandswert R eine Größe, die abhängig vom Druckkopf ist, und von der der Nennwert sicher bekannt ist, da dieser ein Teil der Herstellungsdaten jedoch nicht der tatsächliche Wert jedes einzelnen Druckkopfes ist und die verschiedenen Druckköpfe infolge ihrer Herstellungstoleranzen eine Steuerung unterliegen.

[0170] Darüber hinaus ist der Strom I gegeben durch:

$$I = V/R + R_s;$$

wobei V die Steuerspannung und R_s der Gesamtwiderstandswert der Steuerkomponenten ist, die mit dem Widerstandswert R, d.h. mit dem Widerstand, der das Ausstoßelement **17** bildet, in Reihe geschaltet sind.

[0171] Folglich sind in diesem Fall die unbekanntenen oder zumindest nicht genau bekannten Größen, die durch experimentelle Einrichtungen gemessen werden müssen, um den Strom I genau bestimmen zu können, drei an der Zahl, nämlich die Versorgungsspannung V, der Widerstandswert R und der Reihenwiderstand R_s , der durch die Steuerkomponenten des Druckkopfes angegeben ist.

[0172] D.h., dass die maximale Leistung P_{\max} , die mit jedem Impuls einen üblichen Widerstand mit dem Widerstandswert R zugeführt wird, durch die folgende Formel definiert ist:

$$P_{\max} = R \cdot V^2 / (R + R_s)^2; \quad (\text{f5})$$

[0173] Wie jedoch in einfacher Weise durch Betrachten der Formel (f5) erkennbar ist, treten bei einer Lösung zum Bestimmen der Leistung P_{\max} ausgehend von der Messung der einzelnen Größen, die diese bilden, zumindest potentiell erhebliche Konstruktionsprobleme auf.

[0174] Insbesondere sind diese Schwierigkeiten einerseits von der sehr hohen Anzahl der zu messenden Größen abhängig und andererseits mit der Tatsache verknüpft, dass einige der Größen, auch unter der Annahme, dass in dem Tintenstrahldrucker spezielle Einrichtungen und geeignete Messanordnungen zur vorhanden sind, nicht ohne weiteres experimentell ermittelt werden können.

[0175] Es soll daher eine Lösung vorgeschlagen werden, durch die eine umfassende und ausreichend präzise Berechnung der maximalen Leistung P_{\max} erfolgen kann, so dass eine zeitliche Messung der Größen, die diese definieren, vermeidbar ist.

[0176] Nur auf diese Weise ist es möglich, sowohl die Steuerleistung P_p als auch die Rückführungsleistung P_r und folglich die Größen der Steuerungsenergie

gie E_p und der Rückführungsenergie E_r , die die experimentelle Kennlinie **50** definieren, zu bestimmen, ohne eine experimentelle Messung der verschiedenen Größen, die zur Bestimmung der Leistungswerte P_p und P_r erforderlich sind, durchzuführen.

[0177] Eine mögliche Lösung wird im Folgenden beispielhaft beschrieben und analysiert, wobei von der Annahme ausgegangen wird, dass das Wärmesteuerungssystem, das auch „Rückführungs“-System genannt wird, die Aufgabe hat, die Temperatur im Druckkopf **11** fortlaufend zu steuern, wie bereits in Bezug auf eine Variante beschrieben, auf der Verwendung von Heizelementen basiert, die aus einer bestimmten Anzahl von Ausstoßelementen **17**, die den Düsen **16** zugeordnet sind, und irgendwelche andere zusätzliche Heizelemente nicht verwendet.

[0178] D.h., dass diese Ausstoßelemente **17**, die von dem Wärmesteuerungssystem verwendet werden, zwischen einer ersten Betriebsart, um den Druckkopf **11** auf der Stabilisierungstemperatur T_s zu halten, bei der die Ausstoßelemente **17** mit kurzen Impulsen gesteuert werden, die alleine nicht in der Lage sind, die Tinte auf den Siedepunkt zu bringen, und einer zweiten Betriebsart, bei der die Ausstoßelemente **17** wiederum in Impulsform, jedoch nach und nach gemäß den vorgegebenen Ablaufregeln des kontinuierlichen Steuerzyklus in einer solchen Weise gesteuert werden, dass die Tröpfchen nach und nach ausgestoßen werden.

[0179] Sowohl die Steuerleistung P_p als auch die Rückführungsleistung P_r , die zu Beginn und im Verlauf des kontinuierlichen Steuerzyklus zugeführt werden, können durch die folgende Formel ausgedrückt werden:

$$P_{med} = P_{max} \cdot t_p \cdot f, \quad (f6)$$

wobei P_{med} die Durchschnittsleistung bezüglich der Steuerleistung P_p sowie der Rückführungsleistung P_r ist, die, wie angenommen wird, kontinuierlich und konstant während eines Zyklus des jeweiligen Steuerleistungs- oder Rückführungsleistungssignals zugeführt werden;

P_{max} , wie bereits angegeben, die maximale Leistung bezüglich der Steuerleistung sowie der Rückführungsleistung ist, die bei jedem Impuls des jeweiligen Signals auftritt;

t_p , wie bereits definiert, die Dauer jedes Impulses ist; und

f die Frequenz der Impulse ist, die das periodische Signal der Steuerleistung P_p sowie das periodische Signal der Rückführungsleistung P_r bildet.

[0180] Man beachte, dass das Produkt $t_p \cdot f$ den zeitlichen Anteil oder den Arbeitszyklus definiert, für den das Signal der Steuerleistung P_p oder der Rückführungsleistung P_r hoch, d.h. gleich P_{max} ist.

[0181] Zunächst wird die Umgebungstemperatur T_a ermittelt und der Wert der Stabilisierungstemperatur T_s des Druckkopfes so eingestellt, dass er einem höheren Wert oder der Übertemperatur ΔT entspricht, der bzw. die vorher festgelegt wurde und bezüglich der ermittelten Umgebungstemperatur T_a konstant ist.

[0182] Anschließend werden, noch immer im Zustand des Nicht-Zuführens von Steuerenergie E_p , durch die Steuereinheit **31** sämtliche thermischen Rückführungsvoreinstellungen und Rückführungsaktivierungsoperationen ausgeführt, um den Druckkopf **11** auf die Übertemperatur ΔT zu bringen und stabil zu halten.

[0183] Die durchschnittliche Rückführungsleistung $P_{rmed(o)}$, die während dieses Anfangsschritts in Bezug auf jedes Ausstoßelement **17**, das von der Wärmerückführung verwendet wird, zugeführt wird, um den Druckkopf auf der Übertemperatur ΔT zu halten, ist entsprechend durch folgende Formel definiert:

$$P_{rmed(o)} = P_{max} \cdot t_{p(o)} \cdot f(o), \quad (f7)$$

wobei $t_{p(o)}$ und $f(o)$ jeweils die Dauer jedes Impulses und die Frequenz der Impulse des Signals der Rückführungsleistung P_r sind, wie ursprünglich durch die thermische Rückführung festgelegt. Daher gibt das Produkt $t_{p(o)} \cdot f(o)$ den Arbeitszyklus an, der durch die Steuereinheit **31** eingestellt wird, der erforderlich ist, um den Druckkopf **11** am Anfang auf der Übertemperatur ΔT zu halten.

[0184] Die Terme, die Bestandteil des zweiten Teils der Formel (f7) sind mit Ausnahme der Leistung P_{max} bekannt, da sie durch die Steuereinheit **31** festgelegt werden, wie zuvor beschrieben.

[0185] Folglich kann, da der Wert von P_{max} unbekannt ist, alleine durch die Formel (f7) der Wert der durchschnittlichen Rückführungsleistung $P_{rmed(o)}$ im Anfangszustand, bei dem die Steuerenergie P_p Null ist und kein Ausstoßen der Tröpfchen erfolgt, nicht berechnet werden, wenn der kontinuierliche Steuerzyklus noch erfolgen muss.

[0186] Es ist jedoch möglich, die durchschnittliche Anfangs-Rückführungsleistung $P_{rmed(o)}$ durch die folgende einfache Beziehung zu bestimmen:

$$P_{rmed(o)} = \Delta T / \theta; \quad (f8)$$

wobei θ der Wärmewiderstand des Druckkopfes **11** ist, wenn er sich im Zustand des Nicht-Ausstoßens von Tröpfchen befindet, und ΔT die Übertemperatur in Bezug auf die Umgebungstemperatur T_a ist, auf der der Druckkopf **11** durch die thermische Rückführung gehalten wird.

[0187] Es ist festzustellen, dass die Gleichung (f8) desjenigen Typs ist, der das Phänomen des Wärmeaustauschs, das im Bereich des Thermo-Druckkopfes zum kontinuierlichen Halten auf der Übertemperatur ΔT auftritt, quantitativ beschreibt.

[0188] θ ist ein Datenwort, das als bekannt anzusehen ist, da es mit großer Genauigkeit im Labor ermittelt werden kann und auch nicht potentiellen und erheblichen Veränderungen ausgesetzt ist, da die eingestellte Übertemperatur ΔT konstant ist und die Oberflächen des vorderen Teils des Druckkopfes, die beim Wärmeaustausch betroffen sind, nämlich der vordere Teil mit der Außenumgebung und der hintere Teil mit der Tinte, keinen nennenswerten Herstellungsstreuungen unterliegen.

[0189] Tatsächlich ist die Herstellungsgenauigkeit der Druckköpfe derart, dass üblicherweise keine erheblichen prozentualen Veränderungen der Abmessungen dieser Austauschoberflächen vorliegen, was auch auf die Tatsache zurückzuführen ist, dass diese Teile nicht so klein wie andere Teile des Druckkopfes sind.

[0190] Insgesamt kann bevor der kontinuierliche Steuerzyklus beginnt und nachdem die Steuereinheit **31** alle thermischen Voreinstellungs- und Aktivierungsschritte der Rückführung durchgeführt hat, unter Verwendung der Formel (f8) die Anfangs-Rückführungsleistung $P_{med(o)}$ mit einer hohen Genauigkeit bestimmt werden.

[0191] Folglich kann ausgehend von der somit berechneten durchschnittlichen Anfangs-Rückführungsleistung $P_{med(o)}$ die Leistung P_{max} , die in der Formel (f7) erscheint, erhalten werden, d.h.:

$$P_{max} = P_{med(o)} / (t_{p(o)} \cdot f_{(o)}); \quad (f9)$$

[0192] Wie bereits angegeben, sind die Zeiten, die sowohl die Dauer als auch die Frequenz der Impulse festlegen, die das Signal der Rückführungsleistung P_r bilden, vollständig bekannt, da sie von der Steuereinheit **31**, die den Betrieb des Druckkopfes **11** steuert, eingestellt oder berechnet werden.

[0193] Auf diese Weise wird der Wert für die Leistung P_{max} berechnet, die sich, wie bereits angegeben, nicht nur auf die Rückführungsleistung P_r sondern auch auf die Steuerleistung P_p bezieht, da den Ausstoßelementen entweder die Steuerleistung P_p oder die Rückführungsleistung P_r in Impulsform zugeführt wird.

[0194] Daraus folgt auch, dass, wenn der Wert der Leistung P_{max} einmal erhalten wurde, in dem Diagramm in **Fig. 6** der Anfangspunkt P_1 oder wenigstens der Anfangsbereich der Kennlinie **50** festgelegt werden kann, der der Situation entspricht, bei der die

Menge der zugeführten Steuerenergie E_p Null oder gering ist und keinesfalls ausreicht, ein Ausstoßen von Tröpfchen **22** zu bewirken.

[0195] Anschließend hat der kontinuierliche Steuerzyklus einen Verlauf, bei dem die Steuereinheit **31** einerseits einschreitet, um automatisch die Frequenz der kurzen Impulse einzustellen oder unter der Annahme, dass der Betrieb bei niedriger Frequenz erfolgt, deren Dauer derart einstellt, um rechtzeitig den Druckkopf zunächst auf der erreichten Übertemperatur ΔT zu halten, während andererseits dieselbe Steuereinheit **31** einschreitet, um den Druckkopf **31** mit einer nach und nach zunehmenden Menge an Steuerenergie P_p zu betreiben, so dass der Druckkopf **31** allmählich vom Zustand des Nicht-Ausstoßens von Tröpfchen in den Zustand des stabilen Ausstoßens von Tröpfchen übergeht.

[0196] Wie bereits angegeben, werden die Größen der Energien E_p und E_r im Verlauf des kontinuierlichen Steuerzyklus durch das Verändern bestimmter Parameter der jeweiligen Signale, insbesondere durch das Variieren der Dauer der Impulse, die die Signale der Steuerleistung P_p und der Rückführungsleistung P_r bilden, verändert.

[0197] Da nun der Anfangspunkt der Kennlinie **50** bestimmt wurde, werden die nachfolgenden Punkte der Kennlinie **50** entsprechend den fortschreitenden Größen der Steuerenergie E_p genau bestimmt, während der kontinuierliche Steuerzyklus abläuft.

[0198] Zum Beispiel können diese nachfolgenden Punkte mit der Formel $E_p = P_{max} \cdot t_1$ bestimmt werden, wobei t_1 (**Fig. 4**) die sich nach und nach verändernde Dauer der Impulse des Signals der Steuerleistung P_p ist.

[0199] Üblicherweise werden die Punkte der Kennlinie **50** durch nach und nach veränderliche Werte des Parameters, typischerweise die Dauer oder die Frequenz der Impulse, der so verändert wird, um die Größe der Steuerenergie E_p in einer vorgegebenen Weise zu erhöhen, und durch die entsprechenden Werte der Parameter, wie z.B. die Dauer der Kurzzeitimpulse, die in Bezug auf die Rückführungsenergie E_r so verändert werden, um den Druckkopf auf der Stabilisierungstemperatur T_s und folglich auf der vorgegebenen Übertemperatur ΔT einzustellen und zu halten, bestimmt.

[0200] Auf diese Weise werden alle Punkte der Kennlinie **50** sicher und eindeutig bestimmt, so dass die Kennlinie **50** erhalten und bearbeitet werden kann, um den Term ΔE_p zu berechnen, der wiederum in die Formel (3) eingesetzt wird, um das Volumen Vol der ausgestoßenen Tröpfchen zu ermitteln.

[0201] Daraus ist ersichtlich, wie durch die zuvor an-

gegebene Lösung die Punkte der Kennlinie **50** als Ganzes bestimmt werden können und folglich der Term ΔE_p erhalten wird, der in die Formel (f3) eingesetzt wird, um das Volumen Vol der Tröpfchen präzise und zuverlässig, insbesondere ohne direkte Messungen der Größen, die jeweils einzeln betrachtet zur Bestimmung der Steuerenergie E_p und der Rückführungsenergie E_r beitragen, zu ermitteln.

Anwendungsbeispiel des Verfahrens der Erfindung zum automatischen Einstellen der Druckmodus

[0202] Dieses Verfahren kann in vorteilhafter Weise in verschiedenen Formen im Zusammenhang mit der thermischen Tintenstrahl Drucktechnologie verwendet werden und z.B. einige wichtige und vorteilhafte Merkmale unterstützen, wie z.B. das automatische Einstellen der Betriebsarten, die welche die von dem Drucker **10** durchgeführten Druckoperationen gesteuert werden, wenn entweder in Schwarz-Weiß oder in Farbe gedruckt wird, um immer die optimale Druckqualität unter allen Umständen zu erhalten.

[0203] So kann ausgehend von der Ermittlung des tatsächlichen Wertes des Volumens der ausgestoßenen Tröpfchen das System, das den Drucker **10** verwaltet, die Dimensionen der gedruckten Punkte zurückverfolgen und folglich dem Druckertreiber die entsprechende Information zuführen, um die Druckparameter, insbesondere die Einstellungen der Verteilung und Verbreitung, bekannt als „Dithering“, der auf einem Blatt Papier gedruckten Punkte optimal zu kalibrieren.

[0204] Das Volumen oder die Volumina der von den Thermo-Tintenstrahl Druckköpfen ausgestoßenen Tröpfchen, die am Drucker **10** angebracht sind, können, wenn sie einmal bekannt sind, in irgendeiner bekannten Weise gespeichert werden, so dass sie dem Druckertreiber, der im Computer, der den Drucker steuert, installiert ist, zur Verfügung stehen, wenn der Druckertreiber diese benötigt.

[0205] Das Flussdiagramm in **Fig. 7** zeigt das Betriebsverfahren des Druckertreibers zum Steuern der Druckqualität und insbesondere zum ausschließlich automatischen Ermitteln der besten Druckeinstellungen bei einem Tintenstrahl drucker, beginnend mit der Information **90**, die unter Verwendung dieses Verfahrens erhalten wird, über das Volumen der von einem oder mehreren am Drucker angebrachten Druckköpfen in Schwarz-Weiß oder in Farbe ausgestoßenen Tröpfchen.

[0206] Dem Diagramm ist klar zu entnehmen, wie die Information **90**, die mit dem Verfahren der Erfindung erhalten wurde, mit der anderen Information, die von dem Druckertreiber gesteuert wird, zusammenarbeitet, um bessere Ergebnisse bei der Erzeugung von Schwarz/Weiß- und Farbdrucken von hoher

Qualität zu ermöglichen.

[0207] D.h. der Druckertreiber ermittelt bezüglich des Volumens der ausgestoßenen Tröpfchen die optimale Anzahl von Tröpfchen, die verwendet werden können, um einen bestimmten Bereich des Druckmediums zu bedecken oder um einen Elementarpunkt der auf dem Druckmedium reproduzierten Abbildung zu bilden, wobei die Grundregel für optimales Drucken, nämlich je geringer das Volumen der Tröpfchen desto größer muss die Anzahl der verwendeten Tröpfchen sein, wohingegen je größer das Volumen der Tröpfchen desto geringer ist die Anzahl der zum Drucken erforderlichen Tröpfchen, berücksichtigt wird.

[0208] Selbstverständlich können Veränderungen und/oder Verbesserungen bei dem Verfahren zum Ermitteln des Volumens der Tröpfchen, die von einem Thermo-Tintenstrahl druckkopf ausgestoßen werden, und auch bei dem Tintenstrahl drucker zum Durchführen des Verfahrens, das zuvor beschrieben wurde, vorgenommen werden, ohne den Schutzzumfang der vorliegenden Erfindung, wie in den anhängigen Ansprüchen festgelegt, zu verlassen.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Ermitteln des Volumens (Vol) von Tintentröpfchen (**22**), die von einem Thermo-Tintenstrahl druckkopf (**11**) ausgestoßen werden, wobei der Druckkopf (**11**) mit einem oder mehreren Ausstoßelementen (**17**) zum Ausstoßen der Tröpfchen (**22**) versehen ist, und weiterhin mit einem Wärmesteuerungssystem (**31**, **29**, **28**; **31**, **17**) des Rückführungstyps verbunden ist, um die Temperatur im Druckkopf (**11**) zu steuern, aufweisend die folgenden Schritte des

– Aussetzens des Thermo-Tintenstrahl druckkopfs (**11**) einem kontinuierlichen Steuerzyklus, der sich ausgehend von einem ersten Zustand des Nicht-Ausstoßens von Tröpfchen durch den Druckkopf (**11**) in einen zweiten Zustand des stabilen Ausstoßens von Tröpfchen mit im Wesentlichen konstantem Volumen durch den Druckkopf (**11**) übergeht, wobei während des kontinuierlichen Steuerzyklus eine bestimmte Anzahl von Ausstoßelementen (**17**) mit einer Steuerenergie (E_p) angetrieben wird, die nach und nach in einer vorgegebenen Weise verändert wird, während entsprechend das Wärmesteuerungssystem (**31**, **29**, **28**; **31**, **17**) im Druckkopf (**11**) eine Rückführungsenergie (E_r) abführt, durch die er trotz der Veränderung der Steuerenergie (E_p) auf einer im Wesentlichen konstanten Stabilisierungstemperatur (T_s) gehalten wird;

– Erhaltens einer Kennlinie (**50**), die die Wechselbeziehung während des Verlaufs des kontinuierlichen Steuerzyklus zwischen der Menge der Steuerenergie (E_p), die nach und nach in einer vorgegebenen Weise den Ausstoßelementen (**17**) zugeführt wird, und

der entsprechenden Höhe der Rückführungsenergie (Er), die vom Wärmesteuerungssystem (29) im Druckkopf (11) abgeführt wird, festgelegt, um ihn auf der Stabilisierungstemperatur (Ts) zu halten, und

- Kombinierens eines ersten und eines zweiten Endabschnitts (51) und (53) der Kennlinie (50), die jeweils dem ersten Zustand des Nicht-Ausstoßens von Tröpfchen und dem zweiten Zustand des stabilen Ausstoßens von Tröpfchen entsprechen, um Information über das tatsächliche Volumen (Vol) der Tröpfchen (22), die vom Druckkopf (11) im zweiten Zustand des stabilen Ausstoßens von Tröpfchen ausgestoßen werden, zu erhalten.

2. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem der Schritt des Kombinierens das miteinander Vergleichen der Endabschnitte (51, 53) der Kennlinie (50) und insbesondere die folgenden Schritte des

- Ermittlens einer Abweichung (ΔE_p) zwischen dem ersten und dem zweiten Abschnitt (51) und (53) der Kennlinie (50), und
- Berechnens auf der Grundlage der Abweichung (ΔE_p) des tatsächlichen Volumens (Vol) der Tröpfchen (22), die vom Druckkopf (11) stabil ausgestoßen werden, aufweist:

3. Verfahren nach Anspruch 2, bei dem die Abweichung (ΔE_p) durch die Zunahme der Menge der den Ausstoßelementen (17) zugeführten Steuerenergie (Ep) definiert ist, die zwischen einem ersten Punkt, der auf dem ersten Abschnitt (51) der Kennlinie oder der relativen Verlängerung liegt, und einem zweiten Punkt, der auf dem zweiten Abschnitt (53) der Kennlinie oder der relativen Verlängerung liegt, auftritt, wobei der erste und der zweite Punkt so ausgewählt werden, dass sie einer identischen Menge der Rückführungsenergie (Er), die durch das Wärmesteuerungssystem (31, 28, 29; 31, 17) abgeführt wird, entsprechen.

4. Verfahren nach Anspruch 2 oder 3, bei dem der Schritt des Berechnens die Multiplikation der Abweichung (ΔE_p) mit einem konstanten Koeffizienten (K) umfasst.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, bei dem die Steuerenergie (Ep) und die Rückführungsenergie (Er) durch ein entsprechendes Signal mit einer Impulsfolge zugeführt werden.

6. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem die Steuerenergie (Ep) während des kontinuierlichen Steuerzyklus in einer Richtung zunimmt, so dass letzterer ausgehend vom ersten Zustand des Nicht-Ausstoßens von Tröpfchen in den zweiten Zustand des stabilen Ausstoßens von Tröpfchen übergeht.

7. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem das Wärmesteuerungssystem (31, 28, 29) einen Temperatursensor (28), der zum Ermitteln der Temperatur des

Druckkopfs (11) dient, und wenigstens ein Wärmesteuerungselement (29), welches durch den Temperatursensor (28) zum Abführen der Rückführungsenergie (Er) im Druckkopf (11) rückwirkend konditioniert wird, um den Druckkopf (11) fortlaufend auf der Stabilisierungstemperatur (Ts) zu halten, aufweist.

8. Verfahren nach Anspruch 7, bei dem der Temperatursensor (28) und das Wärmesteuerungselement (29) einstückig gebildet sind und aus einem im Tintenstrahl-druckkopf (11) integrierten Widerstand bestehen, wobei der Widerstand sowohl zum Ermitteln der Temperatur des Druckkopfs (11) als auch zum Abführen der Rückführungsenergie (Er) im zuletzt genannten dient.

9. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem das Wärmesteuerungssystem (31, 17) als Wärmesteuerungselement wenigstens einen Teil der Ausstoßelemente (17) des Druckkopfs (11) aufweist.

10. Verfahren nach Anspruch 9, bei dem das oder die Elemente des Wärmesteuerungssystems (31, 17) im Verlauf des kontinuierlichen Steuerzyklus abwechselnd entweder zum Abführen der Rückführungsenergie (Er) im Druckkopf (11), um ihn auf der Stabilisierungstemperatur (Ts) zu halten, oder zum Aufnehmen der Steuerenergie (Ep), die sich nach und nach in einer vorgegebenen Weise verändert, betrieben werden.

11. Verfahren nach Anspruch 9, bei dem das Ausstoßelement oder die Ausstoßelemente (17) des Wärmesteuerungssystems (31, 17) von dem- oder denjenigen verschieden sind, denen die Steuerenergie (Ep), die sich nach und nach in einer vorgegebenen Weise im Verlauf des kontinuierlichen Steuerzyklus verändert, zugeführt wird.

12. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass es weiterhin die folgenden Schritte des

- Ermittlens zunächst des Wertes der Umgebungstemperatur (Ta) in der Umgebung des Druckkopfs (11),
- Erhöhens des ermittelten Wertes der Umgebungstemperatur um einen vorgegebene Betrag (ΔT), um einen inkrementierten Temperaturwert zu erhalten,
- Einstellens für die Stabilisierungstemperatur (Ts) des inkrementierten Temperaturwerts, so dass die eingestellte Stabilisierungstemperatur (Ts) einer vorher festgelegten Übertemperatur (ΔT) in Bezug auf die Umgebungstemperatur (Ta) entspricht.

13. Verfahren nach Anspruch 12, der auf Anspruch 2 rückbezogen ist, bei dem

- im Verlauf des kontinuierlichen Steuerzyklus einem ersten Teil des wenigstens einen Ausstoßelements (17) des Druckkopfs (11) die Steuerenergie (Ep) zugeführt wird, die sich nach und nach in einer vorgege-

benen Weise verändert, und einem zweiten Teil des wenigstens einen Ausstoßelements (17), da er ein Bestandteil des Wärmesteuerungssystems (31, 17) ist, die Rückführungsenergie (Er) zugeführt wird, um den Druckkopf (11) auf der vorher festgelegten Übertemperatur (ΔT) zu halten, und bei dem darüber hinaus

– sowohl die Steuerleistung (Pp) entsprechend der Steuerenergie (Ep) als auch die Rückführungsleistung (Pr) entsprechend der Rückführungsenergie (Er) den Ausstoßelementen (17) jeweils mittels periodischer Signale, die aus mehreren Impulsen bestehen, zugeführt werden, wobei die beiden Signale jeweils bezüglich des im kontinuierlichen Steuerzyklus verwendeten Ausstoßelements (17) durch eine bekannte Formel des Typs $P_{med} = P_{max} \cdot t_p \cdot f$ festgelegt sind, wobei P_{med} die Durchschnittsleistung bezüglich sowohl der Steuerleistung (Pp) als auch der Rückführungsleistung (Pr) ist, die hypothetisch während der Signale kontinuierlich und gleichmäßig zugeführt wird, P_{max} die maximale Leistung bezüglich sowohl der Steuerleistung als auch der Rückführungsleistung ist und einen konstanten Wert hat, der die Breite jedes Impulses der Signale festlegt, t_p jeweils die Dauer der Impulse ist, die das Signal bilden, und f die Zeitfrequenz der Impulse ist, so dass das Produkt $t_p \cdot f$ dem prozentualen zeitlichen Anteil entspricht, bei dem die Signale die maximale Leistung P_{max} haben, und

wobei das Verfahren die folgenden Schritte aufweist:

– Bestimmen der durchschnittlichen Anfangs-Rückführungsleistung $P_{med(o)}$, die erforderlich ist, um bei Steuerleistung gleich null und folglich auch beim Nicht-Ausstoßen von Tröpfchen den Druckkopf (11) auf der Übertemperatur (ΔT) in Bezug auf die Umgebungstemperatur (T_a) zu halten, unter Verwendung der Formel des Typs $P_{med(o)} = \Delta T / \theta$, wobei ΔT die Übertemperatur ist und θ ein jeweils für das Model eines thermischen Tintenstrahldruckkopfs typischer Koeffizient ist, der im Wesentlichen von der Wärmeleitfähigkeit im Bereich des Thermo-Tintenstrahldruckkopfs (11), in dem das Phänomen des Ausstoßens der Tröpfchen (22) auftritt, abhängt, wobei der Koeffizient θ vorzugsweise vorher durch eine Versuchseinrichtung bestimmt wurde,

– Berechnen der maximalen Leistung P_{max} in Bezug auf das Impulssignal der Rückführungsleistung (Pr) mit einer Formel des Typs $P_{max} = P_{med(o)} / (t_p(o) \cdot f(o))$, wobei $P_{med(o)}$ die durchschnittliche Anfangs-Rückführungsleistung ist, die unter Verwendung der vorhergehenden Formel berechnet wurde, und $t_p(o)$ und $f(o)$ jeweils die Dauer und die Frequenz der durch das Wärmesteuerungssystem (31, 17) festgelegten Impulse des Signals der Rückführungsleistung (Pr) sind, die erforderlich sind, um zunächst den Druckkopf (11) auf der Übertemperatur (ΔT) zu halten, wenn keine Steuerleistung (Pp) zugeführt wird, und

– Bilden der Steuerenergiemenge (Ep), die im Verlauf des kontinuierlichen Steuerzyklus zugeführt wird

durch eine Formel des Typs $E_p = P_{max} \cdot t_1$, wobei P_{max} die zuvor berechnete Leistung ist, die sich, wie zuvor festgestellt, auf das Steuerleistungssignal bezieht, und t_1 die Dauer der Impulse des Signals der Steuerleistung (Pp), die sich gemäß der vorgegebenen Verhaltensweise des kontinuierlichen Steuerzyklus verändert, ist, d.h. im allgemeinen durch das Kombinieren der maximalen Leistung P_{max} mit dem Wert eines oder mehrerer temporärer Parameter (t_1), die die Impulse des Signals der Steuerleistung (Pp) festlegen,

– so dass es auf diese Weise möglich ist, alle Punkte der Kennlinie (50) zum Zwecke des Ermitteln der Abweichung (ΔE_p) zwischen dem ersten und dem zweiten Abschnitt (51) und (53) der Kennlinie (50) allgemein und genau zu bestimmen, ohne die verschiedenen Anteile, die zur Bildung der Menge der Steuerenergie (Ep) und der Rückführungsenergie (Er), die den Ausstoßelementen (17) im Verlauf des kontinuierlichen Steuerzyklus zugeführt wird, einzeln erfassen zu müssen.

14. Verfahren nach Anspruch 13, bei dem der Schritt des Bestimmens der durchschnittlichen Anfangs-Rückführungsleistung $P_{med(o)}$ die folgenden Schritte des

– Ermitteln des Druckkopftyps, und

– Auswählens aus einer vorgegebenen Tabelle, die in dem den Tintenstrahldruckkopf (11) steuernden System (31) gespeichert ist, eines Wertes der durchschnittlichen Anfangs-Rückführungsleistung $P_{med(o)}$ entsprechend des Typs des ermittelten Druckkopfs (11) und der Übertemperatur (ΔT), umfasst.

15. Verfahren zum Ermitteln des Volumens (Vol) von Tintentröpfchen (22), die von einem Thermo-Tintenstrahldruckkopf (11) ausgestoßen werden, bestehend aus

– wenigstens einer Düse (16),

– wenigstens einem Ausstoßelement (17), das der Düse (16) zum Ausstoßen der Tröpfchen (22) zugeordnet ist,

– einem Temperatursensor (28) zum Ermitteln der Temperatur des Druckkopfes (11), und

– wenigstens einem Wärmesteuerungselement (29), das rückwirkend durch den Temperatursensor (28) konditioniert wird, um die Temperatur des Druckkopfs (11) zu steuern,

aufweisend die folgenden Schritte:

– ein kontinuierlicher Steuerzyklus, während dem das Thermoelement (17) mit einer Steuerenergie (Ep), die nach und nach in einer vorgegebenen Weise verändert wird, gesteuert wird, wohingegen das Wärmesteuerungselement (29) entsprechend in Abhängigkeit der von dem Sensor (28) ermittelten Temperatur eine Rückführungsenergie (Er) aufnimmt und abführt, die zum Halten des Druckkopfs (11) auf einer im Wesentlichen konstanten Stabilisierungstemperatur (T_s) trotz des Veränderns der Steuerenergie (Ep)

dient, wobei der Steuerzyklus einen ersten Schritt bei geringer Steuerenergie derart, dass keine Tröpfchens (**22**) ausgestoßen werden, und einen zweiten Schritt bei hoher Steuerenergie entsprechend einem Normalbetrieb des Druckkopfs (**11**) derart, dass ein stabiles Ausstoßen von Tintentröpfchen (**22**) mit im Wesentlichen konstantem Volumen erfolgt, und einen Zwischenschritt zwischen dem ersten und dem zweiten Schritt, bei dem das Ausstoßen der Tröpfchen (**22**) unstabil und mit veränderlichem Volumen erfolgt, umfasst,

- Erhalten einer Kennlinie (**50**), die die experimentelle Wechselbeziehung, die im Verlauf des Steuerzyklus auftritt, zwischen der Menge an Steuerenergie (E_p), die nach und nach dem Ausstoßelement (**17**) zugeführt wird, und der entsprechenden Menge an Rückführungsenergie (E_r), die von dem Wärmesteuerungselement (**29**) aufgenommen wird, wobei die Kennlinie (**50**) aus einem ersten Abschnitt (**51**) entsprechend dem ersten Schritt bei geringer Steuerenergie mit einem im Wesentlichen linearen Verlauf, einem zweiten Abschnitt (**53**) entsprechend dem zweiten Schritt bei hoher Steuerenergie ebenfalls mit einem im Wesentlichen linearen Verlauf, und einem dritten Abschnitt (**52**), der sich zwischen dem ersten und dem zweiten Abschnitt (**51**) und (**53**) befindet, mit einem kurvigen Verlauf in etwa der Form einer Krümmung, besteht,

- Ermitteln einer Abweichung (ΔE_p) zwischen dem ersten und dem zweiten Abschnitt (**51**) und (**53**) der Kennlinie (**50**), und

- Berechnen auf der Grundlage der Abweichung (ΔE_p) des tatsächlichen Volumens (Vol) der Tröpfchen (**22**), die beim zweiten Schritt vom Druckkopf (**11**) stabil ausgestoßen werden, d.h. bei Normalbetrieb des Druckkopfs (**11**).

16. Tintenstrahldrucker (**10**), dadurch gekennzeichnet, dass er eine Einrichtung (**31**) zum Ausführen des Verfahrens nach Anspruch 1 oder Anspruch 15 zum Ermitteln des Volumens (Vol) der Tintentröpfchen (**22**), die von einem im Drucker (**10**) angeordneten Thermo-Tintenstrahldruckkopf (**11**) ausgestoßen werden, aufweist.

17. Tintenstrahldrucker (**10**) nach Anspruch 16, der gemäß mehrerer Druckmodi betreibbar ist, dadurch gekennzeichnet, dass eine Einrichtung zum automatischen Einstellen der Druckmodi abhängig vom ermittelten Volumenwert (Vol) vorgesehen ist.

Es folgen 4 Blatt Zeichnungen

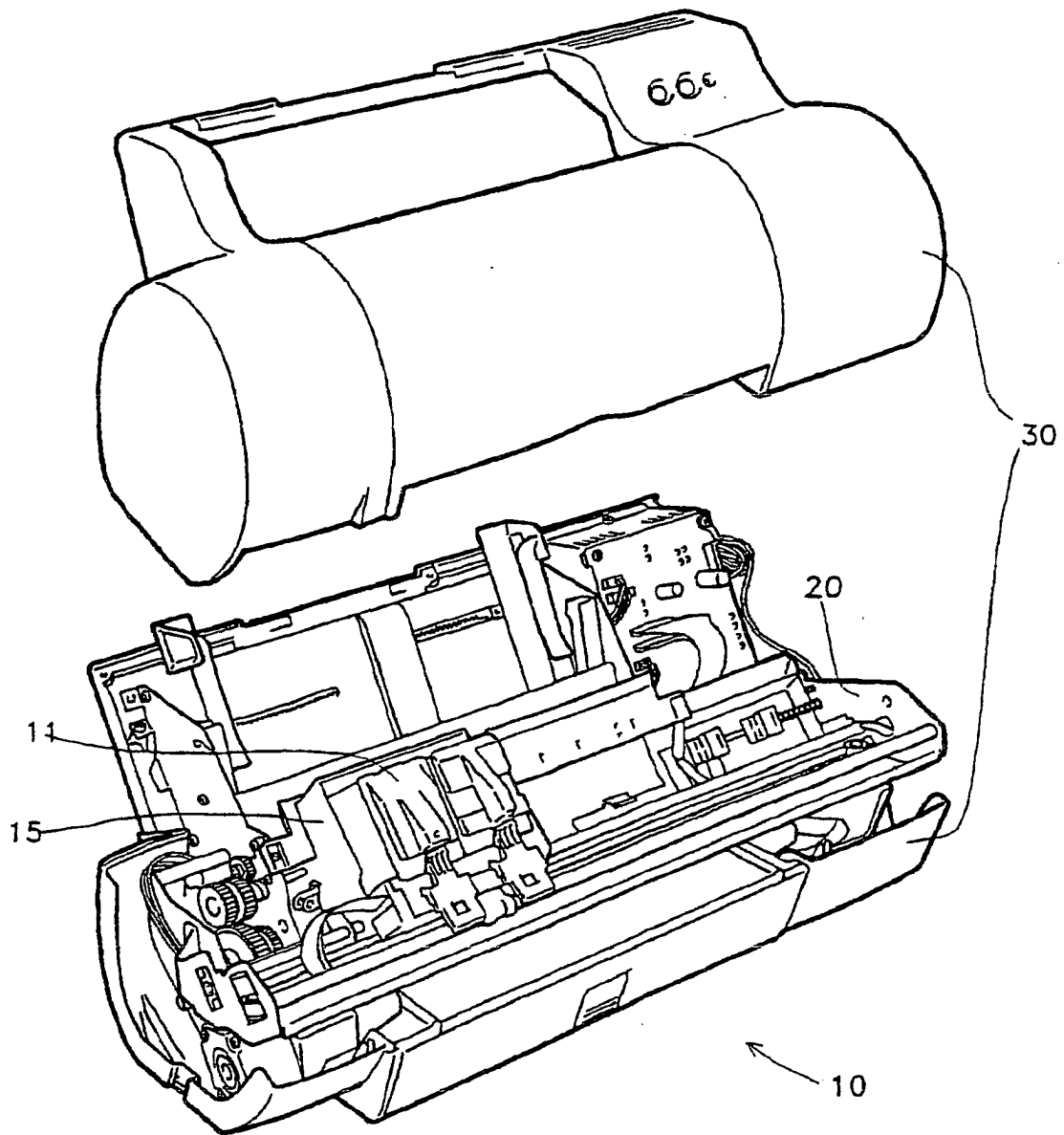


Fig. 1

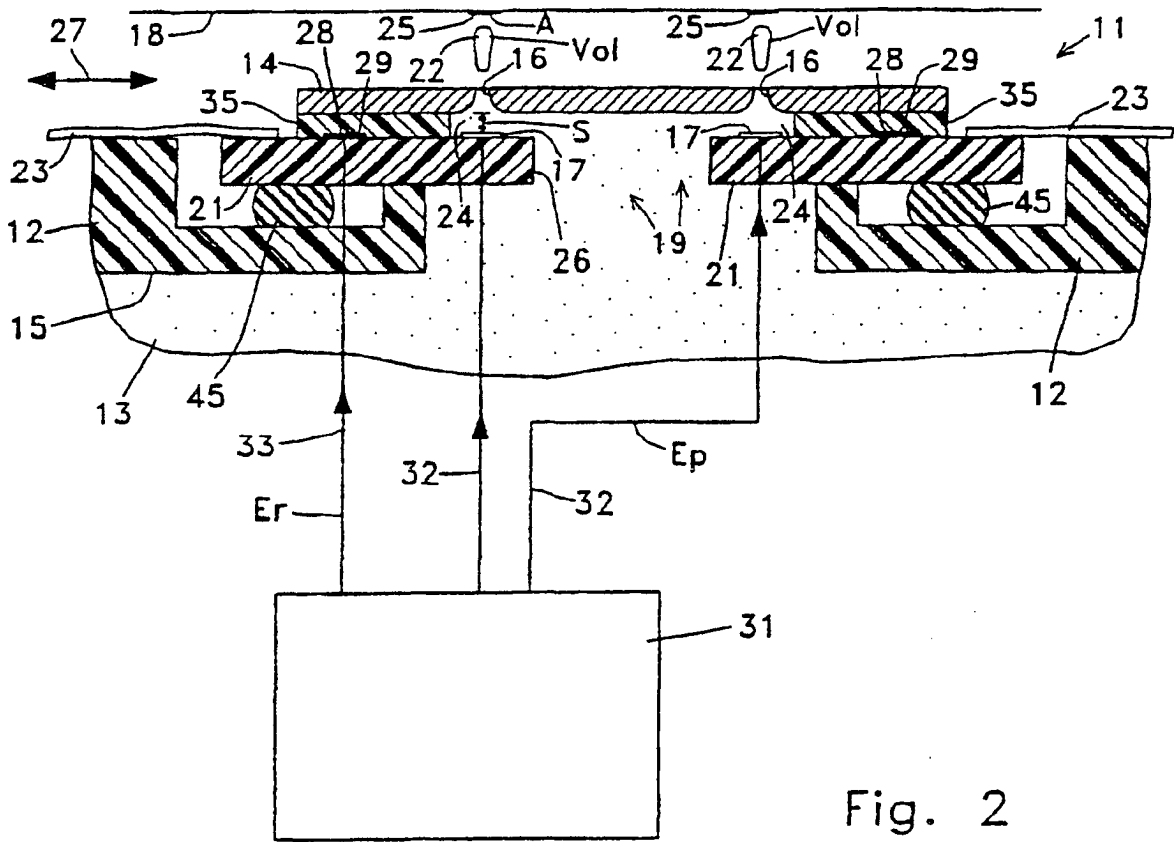


Fig. 2

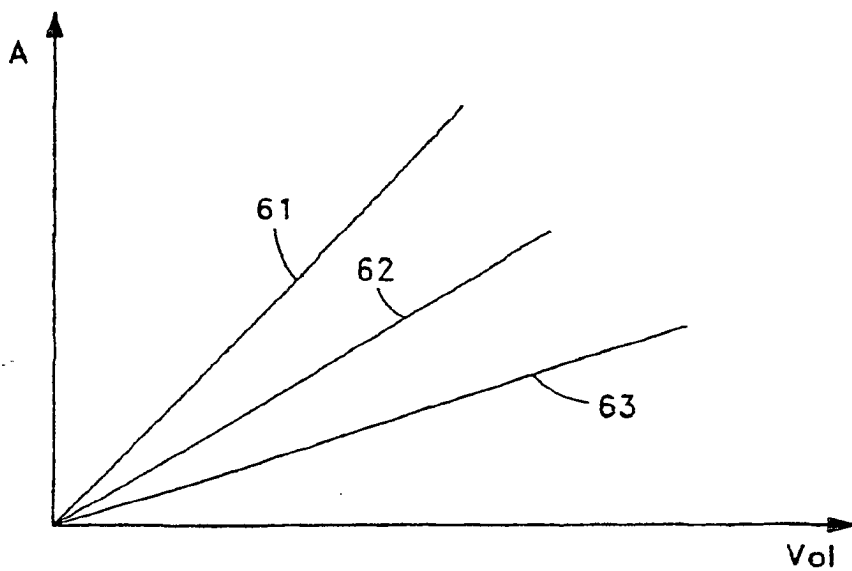


Fig. 3

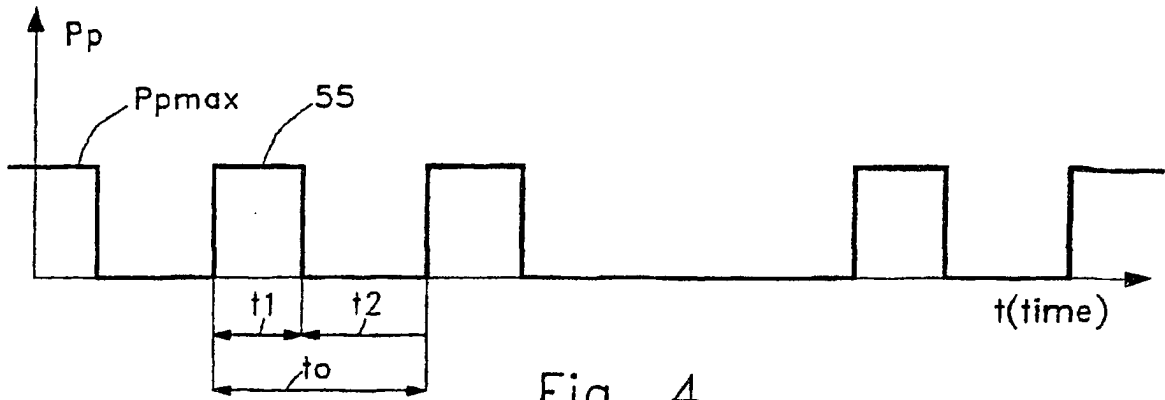


Fig. 4

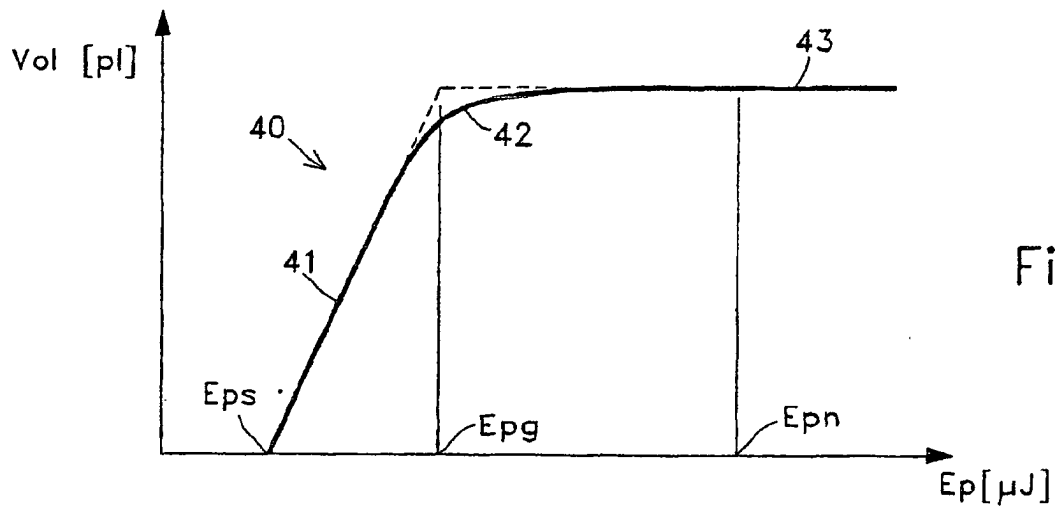


Fig. 5

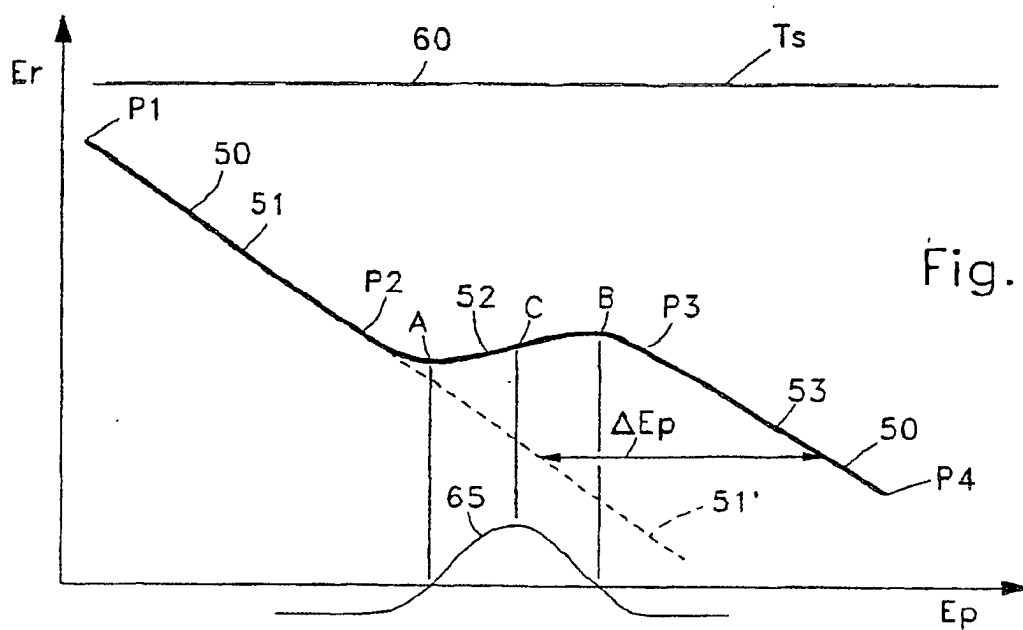


Fig. 6

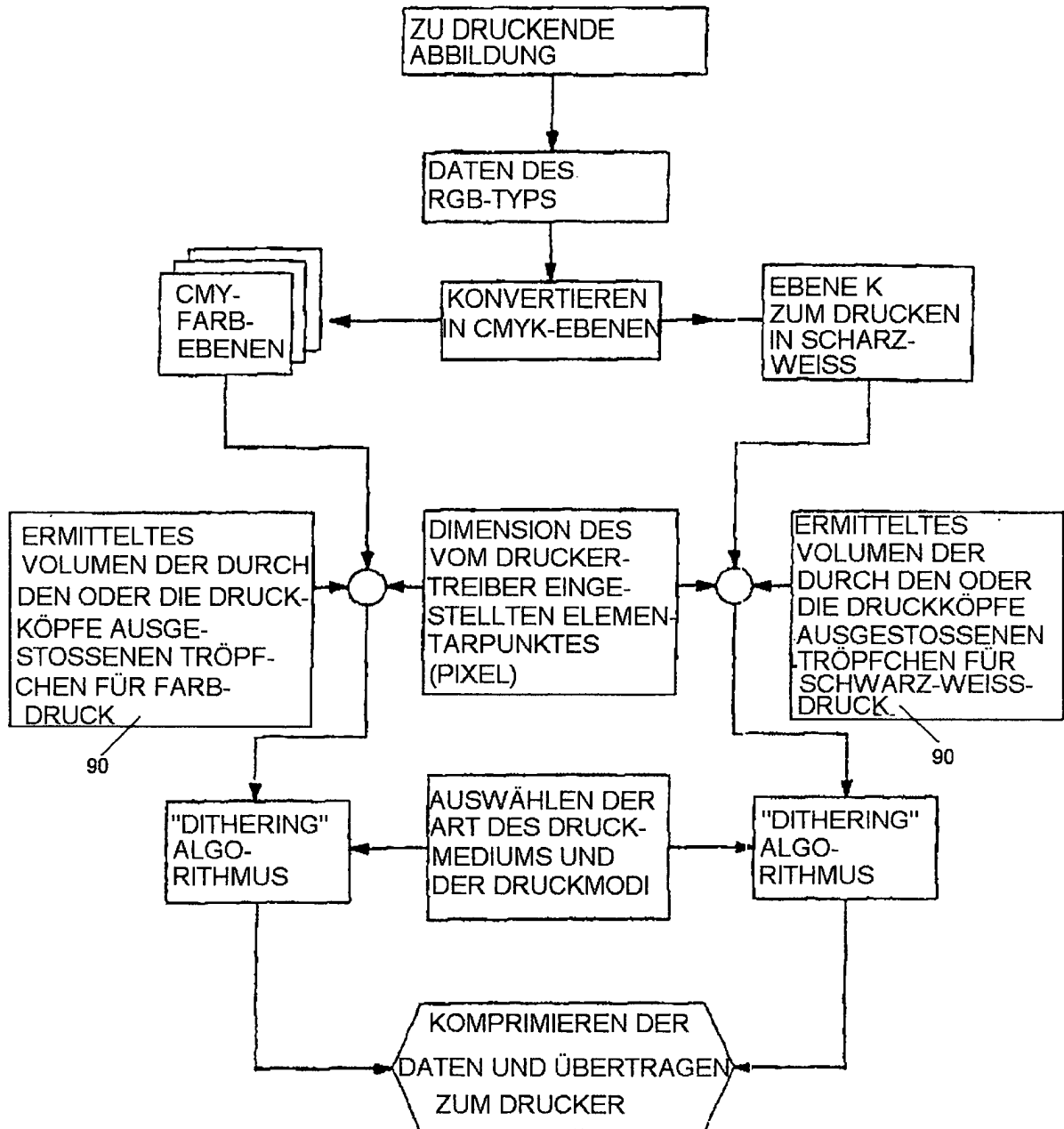


Fig. 7