

Tintendruck: Strahlt er oder strahlt er nicht, das ist hier die Frage!

(Erschienen unter dem Titel "Nur nicht kleckern" in der CHIP 8/94 S. 104 - 112)

Jetzt sitzen Sie schön in der Tinte! Da hat man Ihnen unlängst einen teuren Tintenstrahldrucker verkauft und jetzt behaupte ich, dass in Ihrem Drucker - im Gegensatz zum Laser(strahl)drucker - nichts strahlt und Sie für Ihr Geld "nur" einen Tintendrucker bekommen haben. Bevor Sie sich nun jedoch aufregen und das schöne Stück Ihrem Händler zurücktragen wollen, kann ich Sie beruhigen: Hätte man Ihnen tatsächlich einen "Tintenstrahler" verkauft, hätten Sie ein vielfaches dafür bezahlen müssen und könnten ihn nicht einmal sinnvoll am PC betreiben.

Dem Verfasser dieses Beitrages, selbst seit vierzehn Jahren in der Grundlagenentwicklung des Tintendrucks tätig, fallen zwar in fast jedem Bericht über sein "Lieblingsspielzeug" Fehler auf; Absolution sei indes bereitwillig erteilt, zumal, wie später noch gezeigt wird, selbst in einem deutschen Produktprospekt eines japanischen Systemerfinders haarsträubender Unsinn steht. Vorzuwerfen ist manchem Redakteur allein, diesen offensichtlichen Unfug gedankenlos abzuschreiben...

Tintendruckköpfe sind heute, wie integrierte Schaltungen, Produkte modernster Fertigungstechniken. Da diese nur wenige beherrschen (und bezahlen können), sind, angeführt von Hewlett-Packard und Canon, nur noch eine Handvoll Hersteller übriggeblieben. Die letzte in Deutschland überlebende Firma, die aus dem ehemaligen Siemens Fernschreiberwerk hervorgegangene, 100%ige Kodak-Tochter Inkjet Systems in Berlin und München wurde aufgrund der Finanzkrise der Konzernmutter Ende 1993 geschlossen.

Was unterscheidet nun einen Tintendrucker von einem Tintenstrahldrucker? Warum sind die Tintenstrahldrucker soviel teurer und kaum für den Betrieb am PC zu gebrauchen? Welche Funktionsprinzipien gibt es bisher beim Tintendruck? Wo liegen die Vor- und Nachteile der Varianten? Wie geht es in den nächsten Jahren mit dem Tintendruck weiter? Wie sind seine Marktchancen? Diese und weitere Fragen sollen auf den nächsten Seiten ausführlich mit vielen Grafiken, Bildern und Tabellen beantwortet werden.

Den Tintendruckern, die ja unter anderem mit Nadel- und Laserdruckern konkurrieren, haftete viele Jahre der Ruf an, etwas schmutzig und unzuverlässig zu sein. Zu lesen war oft von eingetrockneten Düsen und der Schwierigkeit, geeignetes Papier für das eigene Modell zu finden. Modernen Tintendruckern sind diese Probleme weitestgehend unbekannt, insbesondere dann, wenn sich die Kunden an die Empfehlungen in der Bedienungsanleitung halten.

Der Weg bis zu den heutigen modernen Tintendruckern war allerdings lang und oft beschwerlich. Er führte über eine ganze Reihe von Zwischenstationen, und sicher ist nur, dass die Endstation noch lange nicht erreicht ist. Kein anderes Druckverfahren hat bisher so viele Varianten hervorgebracht wie der Tintendruck.

Der erste "Tintenstrahler"

Obwohl sich schon der Physiker und Nobelpreisträger Lord Rayleigh im vergangenen Jahrhundert sehr gründlich mit dem Zerfall von Flüssigkeitsstrahlen und der Tropfenformung auseinandergesetzt hat [13], kann man doch 1948 als Geburtsjahr des Tintenstrahldrucks bezeichnen. Damals wurde von Siemens Elema in Schweden eine Vorrichtung zum Patent [2] angemeldet, die wie ein Galvanometer arbeitet, aber statt eines Messzeigers eine Düse besitzt ([Bild 1](#)). Bei diesem Messschreiber presst eine Pumpe kontinuierlich einen haarfeinen Tintenstrahl aus der Düse, die dabei zugleich von einem Elektromagneten proportional zur angelegten Spannung ausgelenkt wird. Wird ein Papierstreifen gleichmäßig an der Düse vorbeigezogen, entsteht auf dem Papier eine Kurve, die den Spannungsverlauf am Elektromagneten als Funktion der Zeit darstellt.

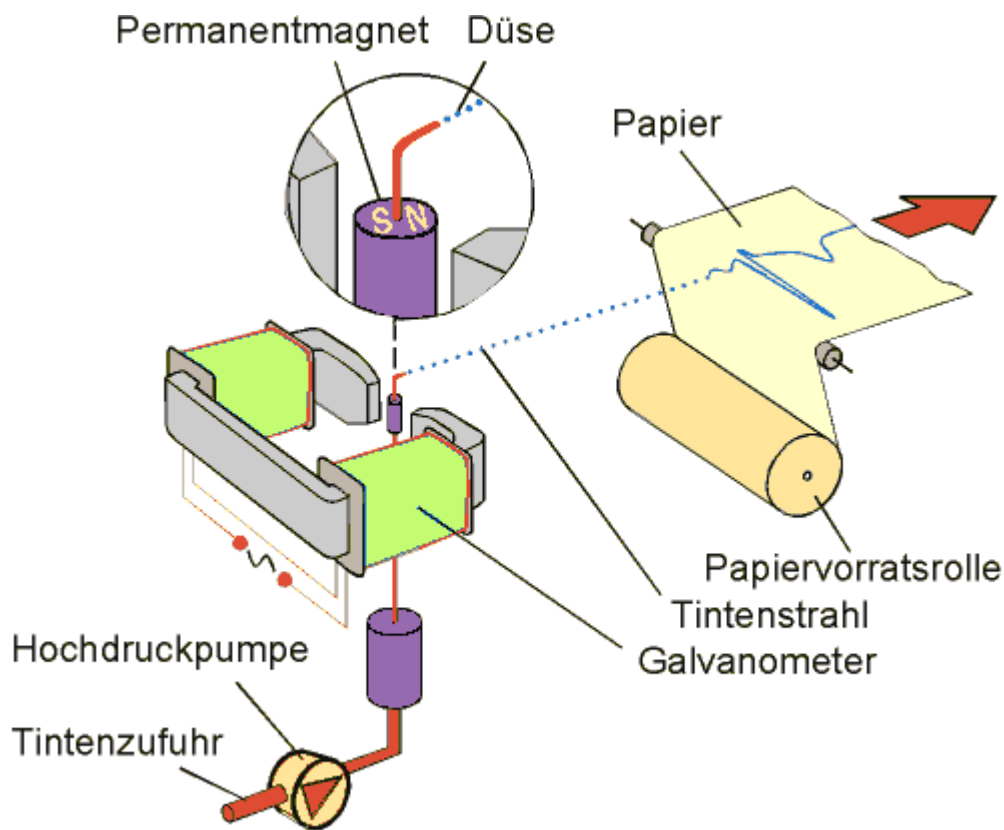


Bild 1: Oszillomink von Siemens-Elema, der erste Tintenstrahler, heute vor allem noch in EKG-Geräten genutzt

Heute, fast ein halbes Jahrhundert später wird dieses Drucksystem, genial einfach wie es ist, noch häufig eingesetzt: Hat man bei Ihnen schon einmal ein EKG (Elektrokardiogramm) machen lassen? Wenn ja, dann sehr wahrscheinlich mit einem Nachfolger des ersten Tintenstrahlers (Bild 2). In Fachkreisen wurde dieser Flüssigkeitsoszillograph unter dem Namen Oszillomink bekannt. Die Kombination aus geringer bewegter Düsenmasse und minimalen Reibungskräften erlaubt es, Signale bis zu einer maximalen Frequenz von einigen Kilohertz korrekt aufzuzeichnen.

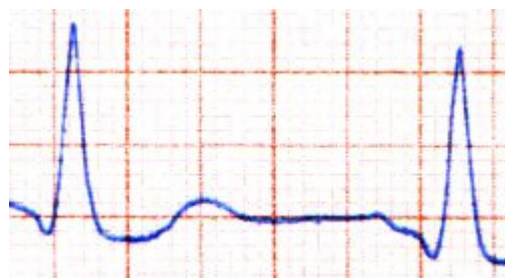


Bild 2: Mit kontinuierlichen Tintenstrahl geschrieben: Ein Elektrokardiogramm (EKG)

Mit einem Flüssigkeitsoszillographen kann man Kurven, jedoch keine Texte und Grafiken drucken. Das gelang erst mit der Weiterentwicklung zu den ersten Tintenstrahldruckern, auch Continuous-Jet- oder Hochdruckverfahren genannt.
Tintenstrahlverfahren

Continuous-Jet, Hochdruckverfahren

Zwei Probleme hatten die Entwickler zu lösen: Zum einen musste der Tintenstrahl in ganz definierte Mikrotröpfchen zerfallen und zum anderen durfte der größte Teil der Tropfen das Papier gar nicht erst erreichen (So liegt z. B. bei Textdruck der Anteil bedruckter Fläche bei nur zwei bis fünf Prozent). Zugute kam den Entwicklern die von dem schon erwähnten Lord Rayleigh festgestellte Neigung

eines Flüssigkeitsstrahls, in Einzeltropfen zu zerfallen. Man musste dem zufälligen Zerfall des Strahls nur etwas nachhelfen, indem man dem unter hohen Druck (bis 30 bar) austretenden Tintenstrahl mit Hilfe eines piezoelektrischen Wandlers hochfrequente Druckwellen überlagerte **Bild 3** [5,12].

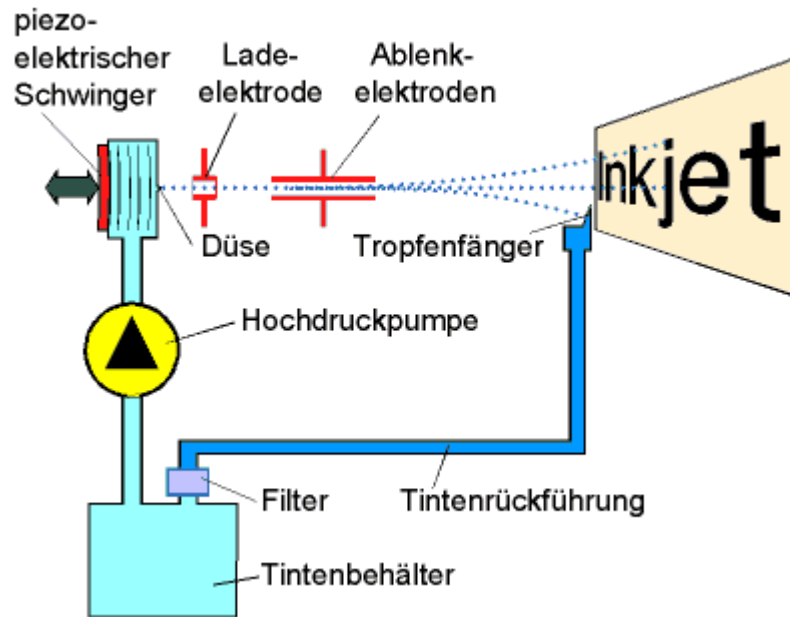


Bild 3: Nur Hochdrucksysteme spritzen Tinte im kontinuierlichen Strahl aus und verdienen den Namen Tintenstrahldrucker zu Recht

Auf diese Weise lassen sich bis zu einer Million (!) Tropfen pro Sekunde ausstoßen. Je nach Düsengeometrie sind sie nur wenige Mikrometer groß und fliegen mit bis zu 40 m/s. Es handelt sich, wie auch zeigt, hier um "echte Tintenstrahler"; die Fachwelt bezeichnet sie als Continuous-Jet- oder Hochdrucksysteme. Besonders verdient gemacht um die Entwicklung der Hochdruckverfahren hat sich im übrigen Prof. Hertz in Schweden [5], ein enger Verwandter des Namenspatrons für die Einheit der Schwingungen (Hz).

Diffiziler ist es bei Hochdrucksystemen, die unerwünschten Tropfen gezielt wieder abzufangen. Die Lösung fand man im Oszillograph: Wie dort den Elektronenstrahl lenkt man beim Tintenstrahlverfahren die einzelnen Tröpfchen elektrostatisch ab. Nach dem Zerfall des Tintenstrahls durchfliegt die Tinte eine Ringelektrode, die sie elektrisch auflädt. Gesteuert durch die Druckerelektronik lenkt ein elektrisches Feld zwischen den nachfolgenden Elektroden die überschüssigen Tröpfchen so ab, dass sie genau in die Fangvorrichtung fliegen. Von dort fließt die Tinte durch einen Filter zurück in den Vorratsbehälter, so dass keine Tinte verlorengeht.

Die ersten Continuous-Jet-Drucker waren Anfang der siebziger Jahre serienreif. Es gibt inzwischen ebenfalls Varianten des Hochdruckprinzips, bei denen die gerade fliegenden Tropfen eingefangen werden, die also mit den abgelenkten drucken. In gewissem Umfang lässt sich damit gleich durch gezieltes Ablenken der Tropfen nicht nur eine Linie, sondern ein schmaler Streifen in einem Durchgang bedrucken.

Anwendungen

Obwohl, wie schon erwähnt, die wenigsten von uns je einen Tintenstrahldrucker zu sehen bekommen haben, gehen wir doch täglich mit Dingen um, die von Hochdrucksystemen beschriftet wurden. Ideal eignen sich diese Drucker nämlich dazu, fast beliebige Oberflächen und Gegenstände zu markieren und zu kodieren. Mit ihnen lässt sich so ungefähr alles verspritzen was flüssig ist, seien es Tinten, Lacke, Öle oder gar Klebstoffe und Harze.

Wegen der hohen Fluggeschwindigkeit der Tropfen darf die Oberfläche überdies stark uneben und dazu, je nach geforderter Druckqualität, ein paar Zentimeter entfernt sein. Suchen Sie doch einmal selbst Tintenstrahlmarkierungen, wie beispielsweise Haltbarkeitsdaten auf Kartons, Flaschen, Dosen, Eiern, Kabeln usw. (**Bild 4**)! Man erkennt den Druck meist schnell an dem etwas ungleichmäßig oder ausfransend gedruckten Punkten. Auch die Deutsche Bundespost kodiert in ihren automatischen Verteilanlagen Briefe und Postkarten mit Continuous-Jet-Druckern. Zu erkennen ist das an den

hellorange Punktstrichen unter oder neben dem Anschriftenfeld.



Bild 4: Mindesthaltbarkeitsdatum, gedruckt mit Tintenstrahl. Gehen Sie doch einmal selbst auf die Suche!

Ein ganz anderes Einsatzgebiet haben sich die Tintenstrahler unter anderem bei den Geographen und Designern erschlossen, wo sie z. B. als Color-Proof-Drucker zur möglichst exakten Vorhersage des späteren Massendruckergebnisses benutzt werden. Wie Bild 5 beweist, lassen sich mit diesen Geräten, hier von IRIS, hervorragend brillante und hochauflösende Halbtondrucke, auch in großen Formaten, in Fotoqualität drucken.

Es liegt auf der Hand, dass der beträchtliche apparative Aufwand der Tintenstrahlsysteme zu großen, kostspieligen Maschinen führt - unter zehntausend Mark geht gar nichts und für einen Farbdrucker für Drucke à la Bild 5 sind mindestens 30.000 Mark anzulegen. Aus diesen Gründen werden sich die Continuous-Jet-Verfahren wohl nie bei den Bürodruckern durchsetzen.

Bild fehlt

Bild 5: Auch das ist Tintenstrahldruck: Perfekte Farbbilder in Fotoqualität (fehlt, hat die Redaktion von Chip verschlampt)

Tintendruckverfahren (Drop-on-Demand-Systeme)

Schon während der Entwicklung der Continuous-Jet-Systeme war abzusehen, dass mit den Tintenstrahlverfahren den damals dominierenden, und schon recht kompakten Typenrad- und Nadeldruckern keine Konkurrenz zu machen war. Die hohen Kosten und Nachteile für den alltäglichen Betrieb im Büro waren zu gravierend: Die Tintenstrahler benötigen viel Platz, die Tinte muss zirkulieren und dabei immer wieder gereinigt werden. Tintenstrahler für normalen Druckeinsatz haben nur eine Düse, bzw. bei Farbe vier, weshalb sich trotz sehr hoher Tropfenfrequenz keine hohe Druckgeschwindigkeit erzielen lässt. Außerdem ist es wegen des kontinuierlich austretenden Tintenstrahls und der geringen Düsenzahl nicht praktikabel, das Papier zeilenweise und bidirektional zu bedrucken. Statt dessen muss das Papier auf eine schnell rotierende Trommel gespannt werden. Anfang der siebziger Jahre setzte deshalb eine rege Forschungstätigkeit ein, um Systeme ohne die Nachteile der Hochdrucksysteme zu entwickeln. Die erste Lösung fand man in Tintendruckköpfen mit piezoelektrischen Wandlern, die auf Abruf einzelne Tintentropfen ausstoßen. Die Idee des Drop-on-Demand-Tintendrucks war geboren...

Druckwerke mit piezoelektrischen Aktoren¹

Die ersten Pionierpatente über Tintendrucksysteme mit piezoelektrischen Aktoren wurden in den Jahren 1970 und 1971 angemeldet [10,16,20]. Nach einigen Jahren der Grundlagenforschung bei verschiedenen Firmen und Instituten gelang es zuerst dem Hause Siemens mit einer Gruppe um Prof. Heinzl (heute Technische Universität München), das Prinzip marktreif fertigzuentwickeln [6]. Der erste Drop-on-Demand-Tintendrucker, der PT 80i wurde 1977 vorgestellt. Selbst für Insider war er eine Revolution, schaffte er es doch mit seinen zwölf Düsen, immerhin 270 Zeichen/s (bei 10 Zeichen/ Zoll) nahezu geräuschlos zu drucken.

Piezoröhrchen

Siemens benutzte als elektromechanische Wandler Piezoröhrchen, die in einem durch Gießharz geformten Kanal eingebettet sind (Bild 6 und 7). Auf der Vorderseite schließt eine Düsenplatte alle Kanäle ab. Besonders vorteilhaft für die Funktion ist die Querschnittserweiterung am Kanalende. Der Energie- und Stofftransport beruht ausschließlich auf Druckwellen, die sich nach akustischen Gesetzen im Kanal ausbreiten. Druckwellen, die das Kanalende erreichen, werden dort mit Phasenumkehr reflektiert. Auf diese Weise wird an dieser Stelle aus einer Überdruckwelle eine Unterdruckwelle und umgekehrt. Da sich die Tintenflasche ein paar Zentimeter tiefer als die Düsenöffnungen befindet, herrscht in den Düsen ein geringer statischer Unterdruck. Die Kanäle laufen trotzdem nicht leer, da starke Kapillarkräfte die Tinte in den engen Düsen festhalten [5,6,14].

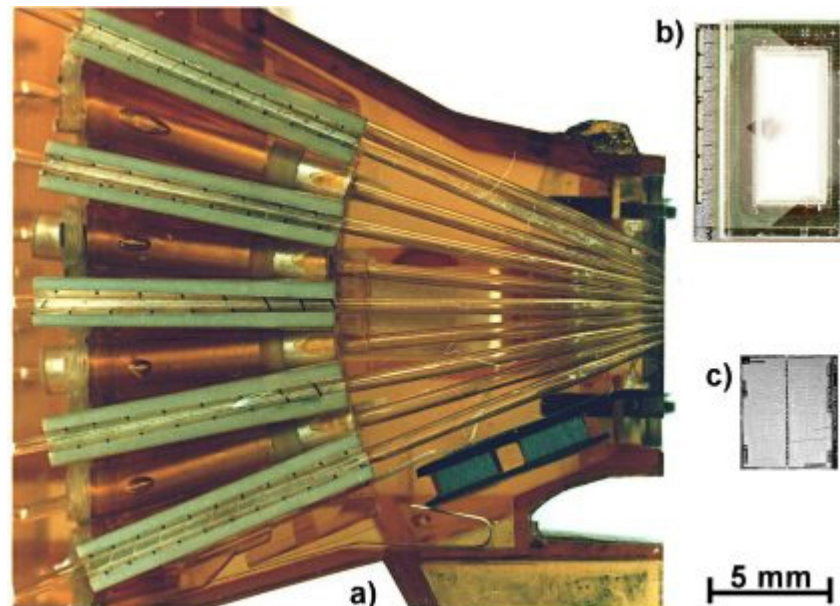


Bild 6: Filigran, und doch für heutige Verhältnisse doch noch recht voluminös, ein Querschnitt durch den PT88S-Druckkopf von Siemens mit neun Piezoröhrchen (a).

Auf die Chip-Bilder b) und c) wird in der Veröffentlichung **"Tintendrucktechnologie: Paradigma und Motor der Mikrosystemtechnik"** näher eingegangen.

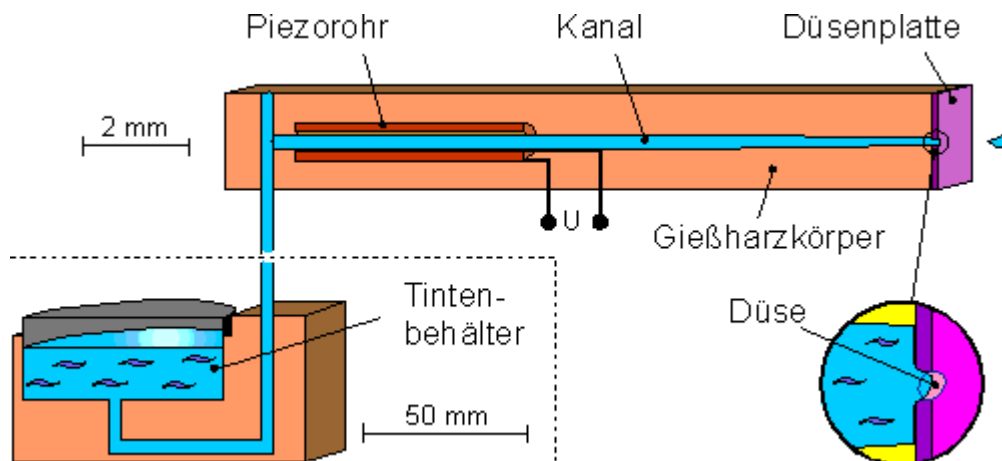


Bild 7: Wegbereiter des Tintendrucks: Das Drop-on-Demand-System mit Piezoröhrchen von Siemens

In einem "akustischen" Finite-Elemente-Programm konnte der gesamte komplexe Vorgang der Tropfenbildung entschlüsselt werden [18]. Stark vereinfacht lässt sich der Prozess wie folgt beschreiben (Bild 8): Die erste Flanke des Spannungsimpulses erweitert (!) den inneren Querschnitt des Piezoröhrchens um Bruchteile eines Mikrometers. Dadurch entsteht in der Tinte innerhalb des Röhrchens ein Unterdruck ($t=10 \mu\text{s}$), der als Welle zur Düse läuft und dort "zum Schwungholen" die Tinte etwas zurückzieht ($t=40 \mu\text{s}$).

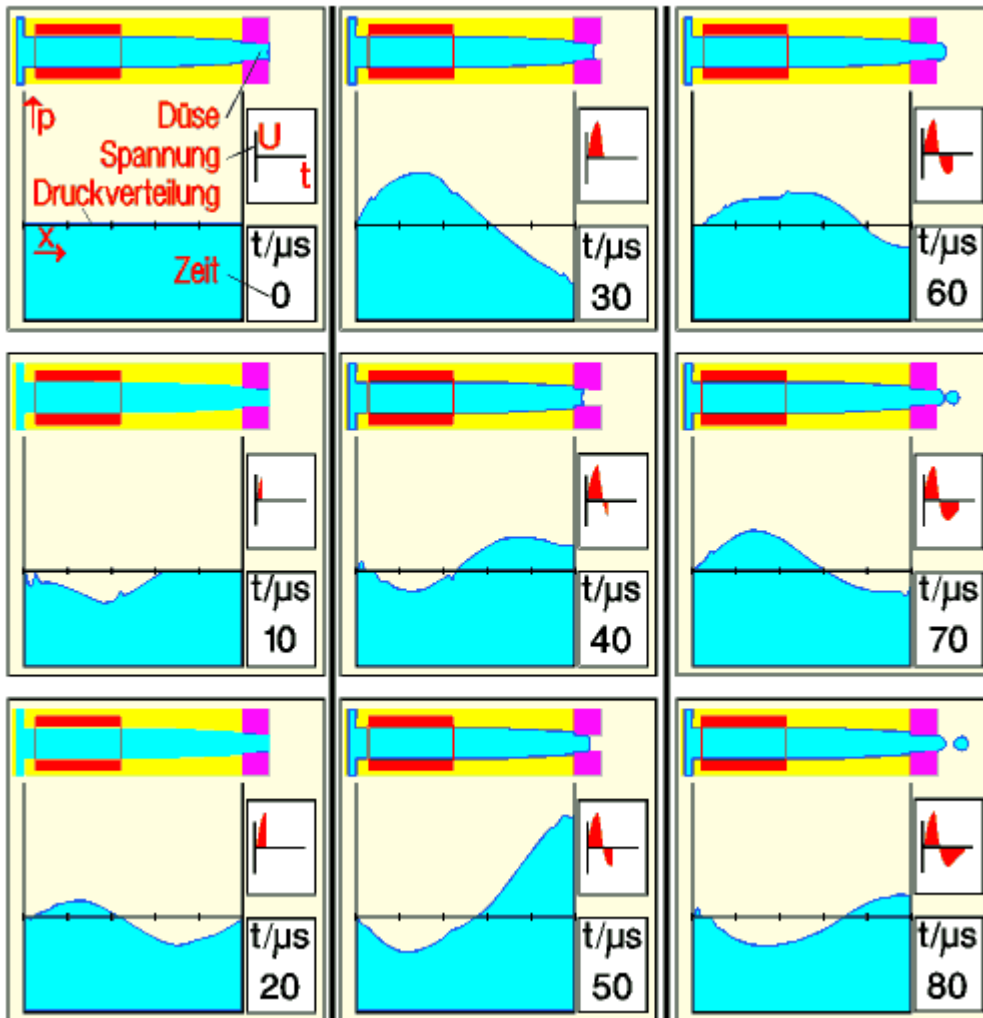


Bild 8: Tropfenerzeugung durch "akustische" Druckwellen

Gleichzeitig wird die nach hinten laufende Druckwelle negativ reflektiert - wird hierdurch zur Überdruckwelle - und überlagert sich mit der Überdruckwelle, die durch die abfallende Flanke des Spannungsimpulses entsteht ($t = 30 \mu\text{s}$). Diese starke Welle stößt nach 50 bis 70 μs einen Tropfen aus. Durch die wiederum negativ reflektierte Druckwelle der abfallenden Impulsflanke entsteht an der Düse nach 60 μs ein Unterdruck, der den Tropfen definiert abtrennt und gleichzeitig das System schnell zur Ruhe kommen lässt. Bis zu zehntausend Tropfen lassen sich so in der Sekunde auf Abruf ausstoßen. Der PT 90 von Siemens nutzte davon gerade 4800 und erreichte bei 240 dpi Auflösung hiermit 200 Zeichen/s.

Nur 9 μJ (Mikrojoule!) beträgt die elektrische Energie des Spannungsimpulses. Das sind weniger als 2% der Energie, die auch ein moderner Nadeldrucker noch benötigt, eine Nadel anzutreiben. In den fliegenden Tropfen gelangt wiederum kaum ein tausendstel der elektrischen Energie. Um diese winzige Energiemenge zu veranschaulichen: Mit der Bewegungsenergie von zehntausend Tropfen könnte man ein 2,0 Gramm schweres Pfennigstück gerade einmal um einen Millimeter anheben. Siemens hat seit 1977 etwa eine Million Tintendrucker mit den drei Piezoröhrchen-Druckwerken aus Tabelle 1 hergestellt.

Type	Jahr	Düsen	Auflösung*
PT 80i	1977	12	96 dpi
PT 88/89S	1984	9	72 dpi
PT 90	1985	32	240 dpi

Tabelle 1: Tintendruckwerke von Siemens mit Piezoröhrchen

* Die hier angegebene Auflösung lässt sich in einem Druckdurchlauf erzielen

Nach anfänglichen Schwierigkeiten mit Düsenverunreinigungen und Instabilitäten bei der piezoelektrischen Energieumwandlung konnte der Aufbau Anfang der achtziger Jahre so verbessert

werden, dass keinerlei Lebensdauerprobleme mehr auftraten. Im übrigen gilt auch für Drop-on-Demand-Tintendrucker das Sprichwort: "Wer rastet, der rostet!"

Piezoscheiben

Anfang 1985 stellte Epson mit dem SQ-2000 den ersten seiner "Piezoplanar-Tintendrucker" vor; der heute aktuelle SQ-870/1170 ist ein Nachfolger mit gleicher Technik (Tabelle 2). Statt der Piezoröhrchen wie bei Siemens werden auf den Epson-Druckköpfen, die aus strukturierten Glasplatten hergestellt werden, kleine Piezoplättchen befestigt (Bild 9). Legt man eine elektrische Spannung an diese Plättchen, so ändert sich ihr Durchmesser minimal. Das reicht jedoch aus, um sich zusammen mit der passiven Glasunterlage im Schichtverbund, ähnlich wie ein Bi-Metallstreifen, zu verbiegen. Hierdurch entstehen im Tintenkanal Druckwellen, die in gleicher Weise wie bei den zuvor beschriebenen Piezoröhrchen-Druckköpfen Tropfen ausstoßen (Bild 10).

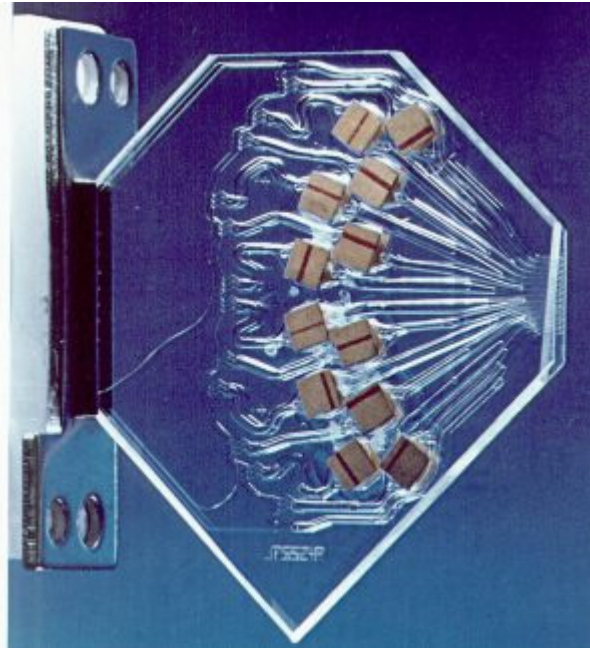


Bild 9: Der aus Glas geätzte Tintendruckkopf des SQ-2550 von Epson mit planaren Piezoaktoren

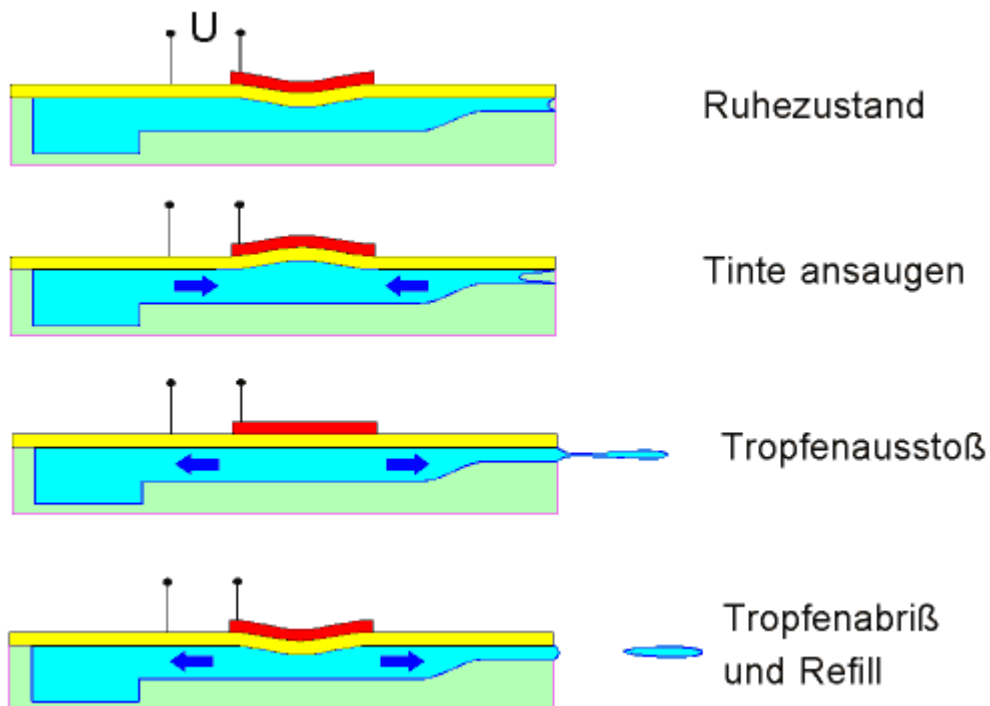


Bild 10: Auf und ab schwingen die Piezoplättchen und stoßen so einzelne Tintentropfen aus (=> [Animation](#))

Type	Düsen	Auflösung ¹
SQ-870/1170	48	360 dpi
Stylus 800 ²	48	360 dpi
EPJ-200	64	300 dpi

Tabelle 2: Tintendruckwerke von Epson

¹ Die hier angegebene Auflösung lässt sich in einem Druckdurchlauf erzielen

² Siehe Beschreibung bei Piezoramellenwandlern

Vornehmlich aus zwei Gründen erreichten die Piezoplanar-Druckköpfe von Epson nicht die hohe maximale Spritzfrequenz der Piezoröhrchensysteme. Zum einen sind die Tintenkanäle recht lang, was die Resonanzfrequenzen der Systeme vermindert und zum anderen hat das kanalformende Glasmaterial schlechtere Dämpfungseigenschaften als das bei den Piezoröhrchenköpfen verarbeitete Gießharz.

Piezoplanar-Tintendruckköpfe gibt es in zwei Varianten als Edge- und als Sideshooter (Bild 11), zwei Begriffe, die auch bei den Bubble-Jet-Köpfen später wieder auftauchen und dort näher erklärt werden. Wegen der kurzen Kanäle der Piezosideshooters erreichen diese Systeme sehr hohe Spritzfrequenzen: Die Prototypen die vor Jahren, unabhängig voneinander, Siemens und Philips mit diesem Prinzip entwickelten, konnten auf Abruf mühelos 20000 (!) Tropfen in der Sekunde verspritzen. Dennoch gab Siemens diese Technik aus Kostengründen und mangelnder Perspektive für hohe Auflösungen und Farbtintendruck wenig später wieder auf.

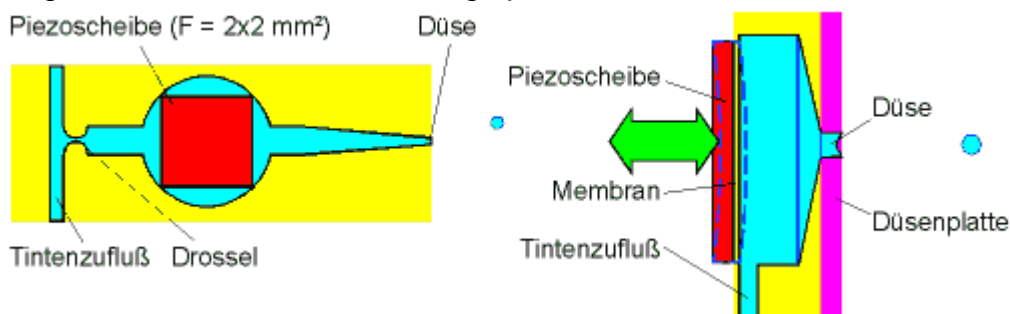


Bild 11: Side- und Edgeshooter, die zwei prinzipiellen Anordnungen aller Tintendrucksysteme

Der EPJ-200, ein weiterer Piezoscheiben-Edgeshooter von Epson nimmt eine Sonderstellung ein, da er sich nach außen wie ein Seitendrucker verhält. Mit der Physik des Tintendrucks hat dies jedoch nichts zu tun: Wie alle anderen Tinten- und Nadeldrucker arbeitet das Druckwerk seriell, d. h. jedes Dokument muss Zeile für Zeile zu Papier gebracht werden. Neben Epson stellt gegenwärtig (mit geringer Marktbedeutung) nur noch Sharp Piezoplanar-(Farb)tintendrucker her.

Piezoramellen

1987 stellte Dataproducts ein weiteres Piezoprinzip für Tintendrucker vor: Den Piezoramellenwandler. Dieses Prinzip machte in den vergangenen Jahren weniger ob seiner Wandleranordnung von sich Reden, als vielmehr wegen der Flüssigwachstinte⁵ (Hot-Melt-Ink), die bis auf den neuen Stylus 800 von Epson alle Piezoramellen-Tintendruckköpfe verspritzen.

Bild 12 zeigt schematisch einen Querschnitt durch eine Düse eines Lamellenwandler-Druckkopfes. Der Piezowandler, eine lange, flache Lamelle, liegt hier hinter einer kleinen Tintenkommer. Angeregt durch Spannungsimpulse ändert sich die Länge der Lamelle geringfügig und erzeugt in der Tintenkommer die notwendigen Druckstöße, um mit ihnen die Tropfen aus der Düse zu treiben. Die Piezoramellenwandler vereinigen in sich die Vorteile von Planar- und Röhrchensystemen: Hohe Spritzfrequenz bei kompakter Bauweise! Heute setzen Dataproducts, Tektronix und Epson auf Tintendruckköpfe mit Piezoramellen.

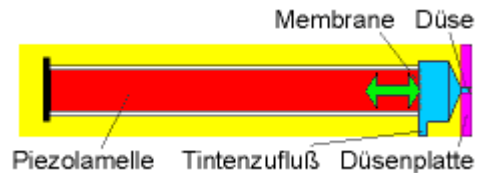


Bild 12: Der Piezolamellenwandler ist ein Sideshooter mit anderem Wandlerprinzip.

Zu Beginn dieses Jahres stellte Epson die Piezo-MACH-Technologie (Multilayer-Actuator-Head) im Stylus 800 vor. Gleichwohl arbeiten auch die Piezo-MACH-Druckköpfe mit Piezolamellen. Epson6 ist es jedoch gelungen, die Piezolamellen einer Düsenreihe in einem Block (Multilayer) herzustellen. So ließen sich der Druckkopf weiter verkleinern, die Wandler, Kanäle und Düsen in einem Abstand von nur 140 µm (180 dpi) plazieren und dabei die Herstellkosten senken. Dennoch bleibt abzuwarten, ob Epson mit dieser Technik die vom Markt geforderten hochauflösenden und vieldüsigen Farbtintendrucker anbieten kann.

Druckwerke mit thermischen Aktoren (Bubble-Jet)

Furore machte 1985 der ThinkJet von Hewlett-Packard, der erste Tintendrucker mit einem Bubble-Jet-Druckwerk. Hatte anfangs noch mancher Piezodruckwerkentwickler geschmunzelt, als ihm die ersten Bubble-Jet-Patente der Konkurrenz auf den Tisch flatterten [1,3,4,17], sollte ihnen jetzt das Lachen vergehen, denn das Bubble-Jet-Verfahren eroberte in wenigen Jahren die Verkaufshitparaden. Warum aber war dieses Verfahren so genial und revolutionär? Nun, wie eigentlich immer in solchen Fällen, lag es vor allem an den Herstellkosten... Mussten die Piezodruckwerke mehr oder wenig mühsam aus vielen Einzelteilen zusammengebaut werden, so werden die Bubble-Jet-Tintendruckköpfe als Chips auf Siliziumwafern (Ausnahme: ThinkJet auf Glas) zu hunderten in Dünnschichttechnik hergestellt [8,9].

Herstellung

In der Dünnschichttechnik [7] setzt man weitgehend die gleichen Herstellprozesse ein, wie sie zur Produktion von Integrierten Schaltungen erforderlich sind. Die Tintenkanäle, Düsen, Aktoren und elektrischen Verbindungen entstehen, indem man wechselweise auf den Wafern Schichten aufbringt (z. B. durch Sputtern, chemische Abscheidung aus der Gasphase (CVD = Chemical Vapour Deposition) oder aus Lösungen, galvanischen Prozessen oder durch Laminieren) und diese Schichten anschließend strukturiert. Dazu wird zunächst auf die Wafer ein lichtempfindlicher Lack aufgeschleudert und über eine Maske örtlich belichtet. An den belichteten Stellen lässt sich der Lack partiell entfernen. Durch den Lack nicht mehr geschützt, lassen sich dort danach neue Schichten aufbauen oder die darunterliegende(n) Schicht(en) wegätzen.

Auf diese Weise entstehen nach insgesamt weit mehr als hundert solchen Fertigungsschritten auf einem Wafer sehr viele Bubble-Jet-Chips (Bild 13 und 14). Alle Strukturen müssen auf den tausendstel Millimeter in sich und relativ zueinander genau sein. Außerdem führt jede kleinste Verunreinigung bei der Herstellung zum Ausfall, weshalb man Bubble-Jet-Chips in den gleichen Reinräumen und mit den gleichen Maschinen herstellen muss, wie sie in der Halbleiterfertigung üblich sind.

Es liegt auf der Hand, dass sich durch die gleichzeitige Bearbeitung vieler miniaturisierter Chips auf einem Wafer die Herstellkosten trotz hoher Investitions- und Entwicklungskosten⁷ für Reinräume und Maschinen drastisch reduzieren lassen. Nur noch die Chipfläche und die Zahl und Art der Prozesse, hingegen nicht die Düsenzahl und Druckauflösung des Bubble-Jet-Chips, bestimmen seine Kosten. Ein 400 dpi Druckkopf mit 64 Düsen muss deshalb nicht teurer sein als einer mit lediglich 180 dpi und 24 Düsen.

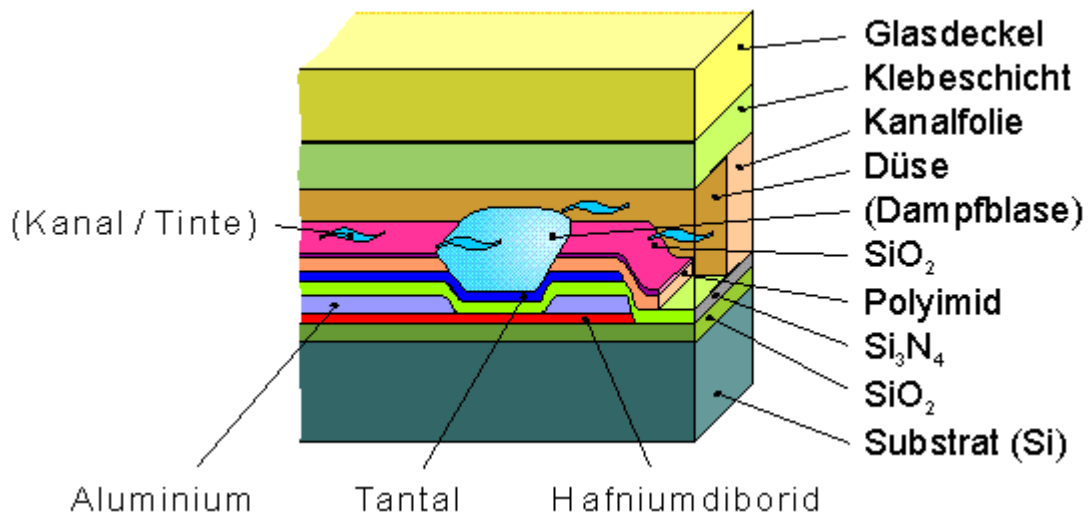


Bild 13: Silizium und Dünnschichttechnik sind die Schlüsselwörter bei der Herstellung der Bubble-Jet-Druckköpfe

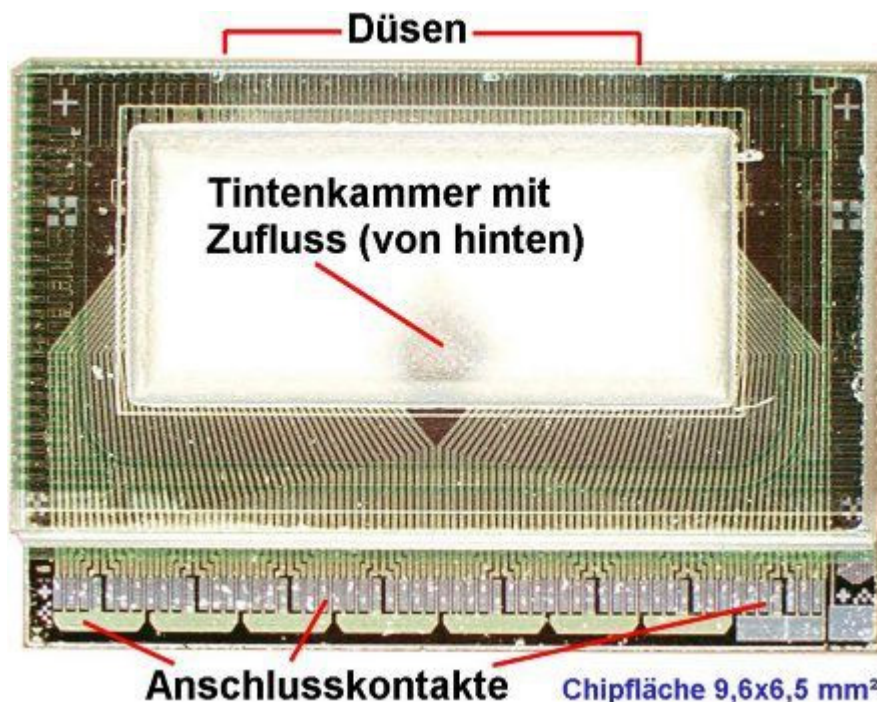


Bild 14: Kaum größer als ein Streichholz-kopf, der 50 düsige Bubble-Jet-Chip im Kodak Diconix 701 von Inkjet Systems

Da Bubble-Jet-Druckköpfe, wie beschrieben, in vielen Schritten auf die gleiche Weise wie Integrierte Schaltungen hergestellt werden, ist es naheliegend, diese gleich mit in den Chip zu integrieren. Canon ging hier mit einer integrierten Transistormatrix in den Druckköpfen des BJ-10e und CLC-10 den ersten Schritt, Xerox folgte 1993 mit einem komplett integrierten Serien-Parallelwandler in ihrem 128ig düsigen Bubble-Jet-Druckkopf⁸ und auch die anderen Hersteller werden sicher bald folgen. Es ist anders auch kaum vorstellbar, wie die 128 Düsen des Xerox-Druckkopfes alle einzeln elektrisch angeschlossen werden sollen.

Funktion

Die Funktion eines Bubble-Jet-Druckkopfes las sich in der (Computer-)presse und -werbung bisher etwa so: "Ein winziges Heizelement in jeder Düse produziert Luftblasen, die sich ausdehnen und eine bestimmte Menge Tinte aus der Düse herausdrücken. Wenn sich anschließend das Heizelement abkühlt und zusammenzieht, wird durch das entstehende Vakuum Tinte angesaugt." Verursacher dieses haarsträubenden Unsinnns war ausgerechnet ein Prospekt des Bubble-Jet-Prinzipfinders Canon, bei dem die genialen japanischen Erfinder das Korrekturlesen versäumt hatten. Natürlich entstehen in der Düse keine Luftblasen und kein Vakuum und das Heizelement kann sich genausowenig zusammenziehen - doch, wer meckert, muss es erst besser erklären...

Die [Bildsequenz 15](#) zeigt schematisch den "wahren" Vorgang in einer Bubble-Jet-Düse. Zunächst wird ein starker Spannungsimpuls von etwa 3 bis 7 Mikrosekunden auf das tatsächlich winzige

Heizelement geschaltet, wodurch es sich sofort auf etwa 500 °C erhitzt. An der Grenzfläche zur Tinte werden dabei immerhin noch über 300 °C erreicht. Die Flächenheizleistung übertrifft die der Sonne um das zwanzigfache, weshalb ein nur wenige Mikrosekunden zu langer Impuls das Heizelement sofort zerstören würde.

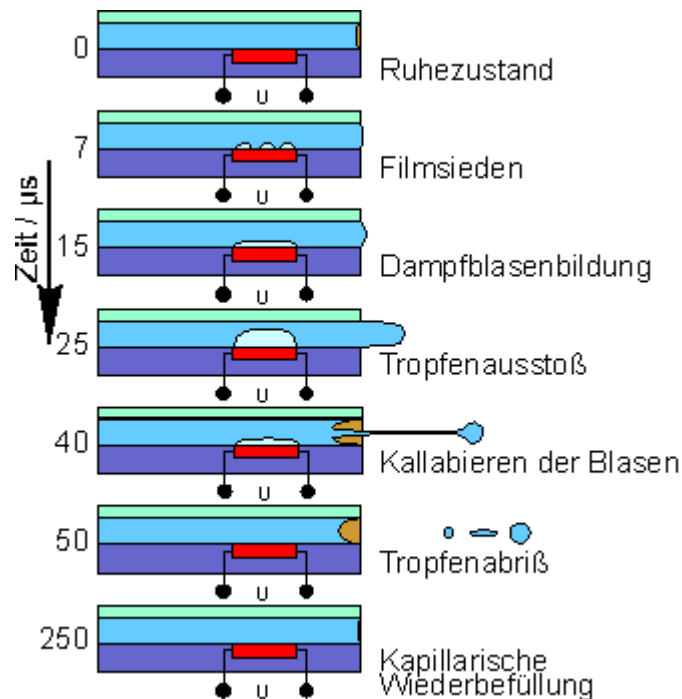


Bild 15: Im Vergleich zu Piezosystemen ist die Volumenänderung durch Dampfblasen ungleich größer und außerdem selbstregelnd (\Rightarrow Animation).

Schlagartig beginnt die Tinte über dem Heizelement in einem feinen Film zu siedeln, woraus sich nach 15 µs eine geschlossene Dampfblase bildet. Dadurch, dass mit der Blasenbildung der Wärmestrom vom Heizelement zur Tinte fast vollständig unterbrochen wird, hat das System selbstregelnde Eigenschaften - ein wichtiger Vorteil der Bubble-Jet-Systeme. Die Dampfblase treibt mit hohem Druck (bis 10 bar) einen Tintentropfen aus der Düse, wobei Fluggeschwindigkeiten von 10 m/s und darüber die Regel sind (Bild 16). Nach maximal 40 µs ist die Blase wieder in sich zusammengefallen (kollabiert), doch dauert es etwa 200 µs, bis neue Tinte durch Kapillarkräfte nachgesaugt worden ist.

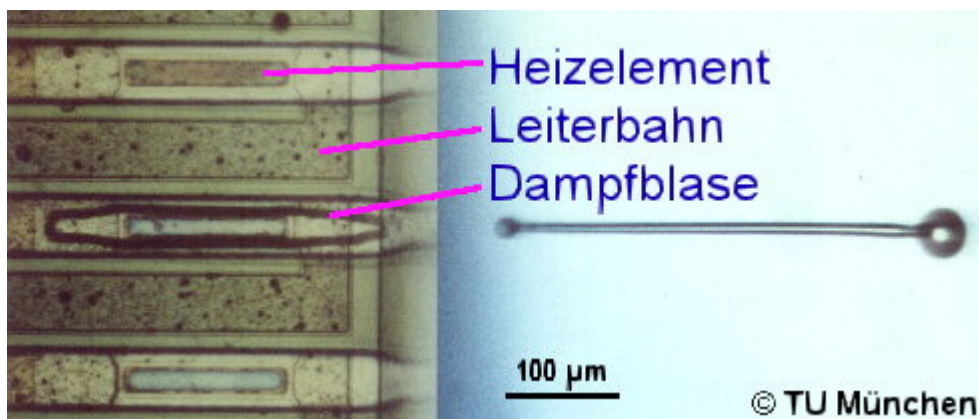


Bild 16: 10 m/s und mehr Fluggeschwindigkeit erreichen die Bubble-Jet-Tropfen in wenigen Mikrosekunden

Edge- und Sideshooter

Bubble-Jet-Druckköpfe gab es von Beginn an in zwei Varianten am Markt. Der Systemerfinder Canon bevorzugt wie wir bei Inkjet Systems den Edgeshooter (Bild 17). Fast zeitgleich entwickelte Hewlett-Packard den Sideshooter [8,9,17], den baugleich derzeit auch Olivetti herstellt. Die nachfolgende Tabelle 3 führt die wichtigsten Bubble-Jet-Druckköpfe dieser vier bislang einzigen Hersteller auf:

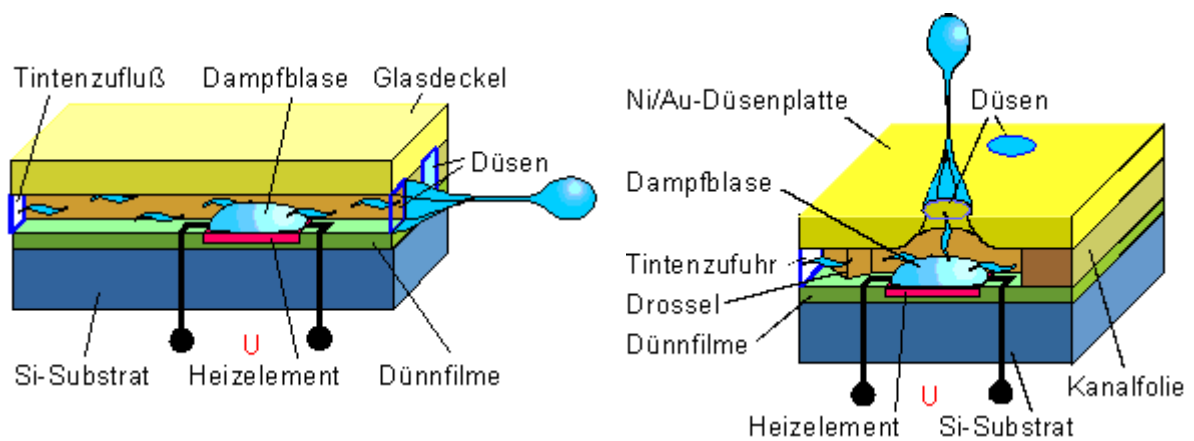


Bild 17: Die zwei bekannten Varianten des Bubble-Jet-Prinzips: Links der Edgeshooter (heute nur noch von Canon hergestellt) und rechts der Sideshooter (hergestellt von Hewlett Packard, Lexmark, Olivetti und Xerox)

Der Edgeshooter spritzt seine Tropfen, wie der Name schon ausdrückt, um die Ecke, also senkrecht zur Entstehungsrichtung der Blasen aus. Beim Sideshooter, bei dem sich über den Heizelementen und Tintenkanälen ein Düsenplatte befindet, bewegen sich Blase und Tropfen gleichgerichtet. Zunächst ist es beim Sideshooter viel einfacher, homogene Benetzungsverhältnisse auf der Druckkopfoberfläche und definierte Düsenlöcher herzustellen als beim Edgeshooter, dessen Düsenränder aus den unterschiedlichsten Materialien bestehen.

Hersteller / Typen ¹	Düsen	Auflösung ²
Edgeshooter		
Canon: BJ-300/330	64	360 dpi
Canon: BJ-10ex/20/200	64	360 dpi
Canon: BJ-800	64	360 dpi
Canon: CLC-10	128	400 dpi
Canon: BJ-A1	256	400 dpi
Inkjet Systems: Diconix 701	50	300 dpi
Xerox: z.B. SpeedJet 300	128	300 dpi
Sideshooter		
Hewlett-Packard: ThinkJet ³	12	96 dpi
HP: DeskJet /plus/500	50	300 dpi
HP: DeskJet 550 C	48	300 dpi
HP: PaintJet 300 XL	50	300 dpi
Olivetti: JP-350	50	300 dpi

Tabelle 3: Bubble-Jet-Tintendruckwerke

¹ Fast alle hier aufgeführten Druckwerke, bzw. Drucker tauchen überdies unter anderer Bezeichnung als Fremdprodukte bei anderen Herstellern auf.

² Die hier angegebene Auflösung lässt sich in einem Druckdurchlauf erzielen

³ Der ThinkJet-Druckkopf wird nur noch in diversen Druckern von Diconix (Kodak) eingesetzt.

Auf der anderen Seite benötigt der Sideshooter mehr Düsenfläche, was insbesondere bei zukünftigen Vieldüsensystemen mit höheren Auflösungen zu Problemen führen kann. Außerdem prallt die Tinte nach dem Kollabieren der Dampfblase mit voller Wucht auf die Oberfläche des Heizelements, weshalb sich dort früher oder später Schäden durch Kavitation zeigen. Dies ist auch die wahrscheinlichste Erklärung dafür, warum das Sideshooter-Prinzip, im Gegensatz zum Edgeshooter-, bisher nur in austauschbaren Tintendruckköpfen mit kürzerer Lebensdauer benutzt wurde.

Für alle Bubble-Jet-Systeme gleichermaßen gelten sehr hohe Anforderungen an die Tinten - viel höhere als bei Piezosystemen. Wegen der hohen Temperaturen und des Funktionsprinzips werden bisher nur auf Wasserbasis gemischte Lösemitteltinten eingesetzt.

Andere Tintendruckverfahren

Außer den bisher genannten Tintendruckverfahren konnte sich bis heute kein anderes am Markt behaupten. Dennoch sollen hier noch einige andere Techniken, Tinte aufs Papier zu bringen, gezeigt werden.

Scherwandler

Zumindest in der Presse und auf internationalen Kongressen machen die Scherwandler schon von sich reden [11]. Wie Bild 18 zeigt, besteht bei diesem Prinzip der Druckkopf im Wesentlichen aus einer piezokeramischen Platte, in die viele Tintenkanäle eingesägt wurden. Das Gebilde wird mit einem Deckel nach oben und mit einer Düsenplatte nach vorn abgeschlossen. Die seitlichen Kanalwände werden mit Elektroden versehen. Durch Anlegen einer Spannung quer zur Polarisationsrichtung der Piezokeramik scheren die Wände zur Seite aus. Das verdrängte Volumen wird dann zum Teil als Tropfen ausgestoßen.

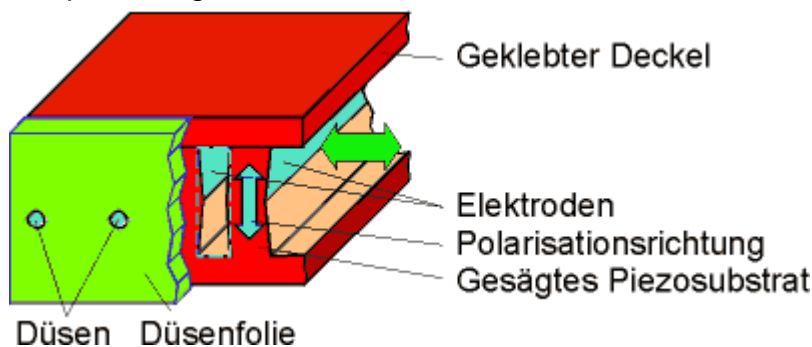


Bild 18: Tintendruckkopf, der mit dem Scherwandlerprinzip arbeitet (Xaar, MIT)

Direkt benachbarte Düsen können nicht gleichzeitig spritzen, da ja jeder Aktor als bewegte Kanalwand gleichzeitig auf zwei Düsen wirkt. Erzeugt ein Spannungspuls Überdruck in einer Düse, so hat das Unterdruck in den zwei benachbarten zur Folge. Ob aus dem Scherwandlerprinzip jemals ein erfolgreiches Produkt hervorgehen wird, scheint fraglich, denn sowohl die Herstellung als auch die beschriebene Betriebsart ist mit vielen Problemen verbunden.

Sonstiges

Neben den beschriebenen Tintendrucksystemen gab es eine Reihe von weiteren Varianten, die primär wegen mangelnder Zuverlässigkeit schnell wieder vom Markt verschwanden. Zu nennen wäre hier u. a. ein elektrostatisches Verfahren von Siemens in den siebziger Jahren und das "Dry-Ink-Verfahren" von Olivetti, bei dem durch Funkenentladung graphithaltige Feststofftinte aufs Papier geschleudert wurde (Bild 19) [12].

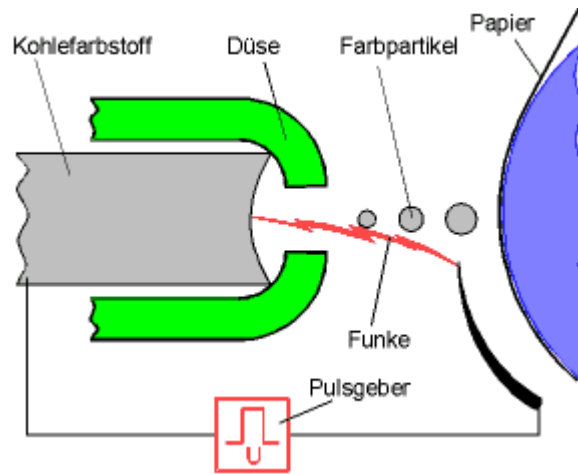


Bild 19: Unzuverlässig: Dry-Ink-Verfahren von Olivetti

Vergleichende Bewertung

Selbst wenn man nur eine einfache Klasseneinteilung der einigermaßen erfolgreichen Tintendruckverfahren vornimmt, lassen sich fünf unterschiedliche Systeme mit piezoelektrischen Wandlern und zwei mit thermischen Wandlern aufzählen. Ihre wesentlichen Kennzeichen sind in [Tabelle 4](#) zusammengefasst:

Verfahren	Spritzfrequenz (1) kHz	Auflösung dpi	Systemlänge (2) mm	Aktorlänge mm	Düsenabstand μm	Spannung V	Energie / Tropfen mJ	Herstekoste
Piezoröhrchen	10	240	30	13	353	120	9	sehr hoch
Piezoplanar Edgeshooter	4	360	40	2,8	282	150	12	hoch
Piezoplanar Sideshooter	20	360	2	1,0	282	80	5	hoch
Piezolamellenwandler	6	300	30	ca. 5	169	25	5	hoch
Piezoscherwandler	5	150	5	5	169	50	?	mittel
Bubble-Jet Edgeshooter	5	400	0,5	0,15	64	30	30	niedrig
Bubble-Jet Sideshooter	4	300	0,5	0,1	169	30	30	niedrig

Tabelle 4: Vergleich der Tintendruckprinzipien (1) teilweise Laborwerte (2) Gesamtlänge aus Düse, Aktor

Die Werte in den Spalten Aktorgröße und Düsenabstand machen deutlich, dass es nur beim Bubble-Jet-Design gelingt, Wandler und Düsen in gleicher Größenordnung herzustellen. [Bild 20](#) veranschaulicht auf andere Weise eindrucksvoll, welche Welten zwischen den Wandlerabmessungen von Piezo- und Bubble-Jet-Prinzipien liegen.

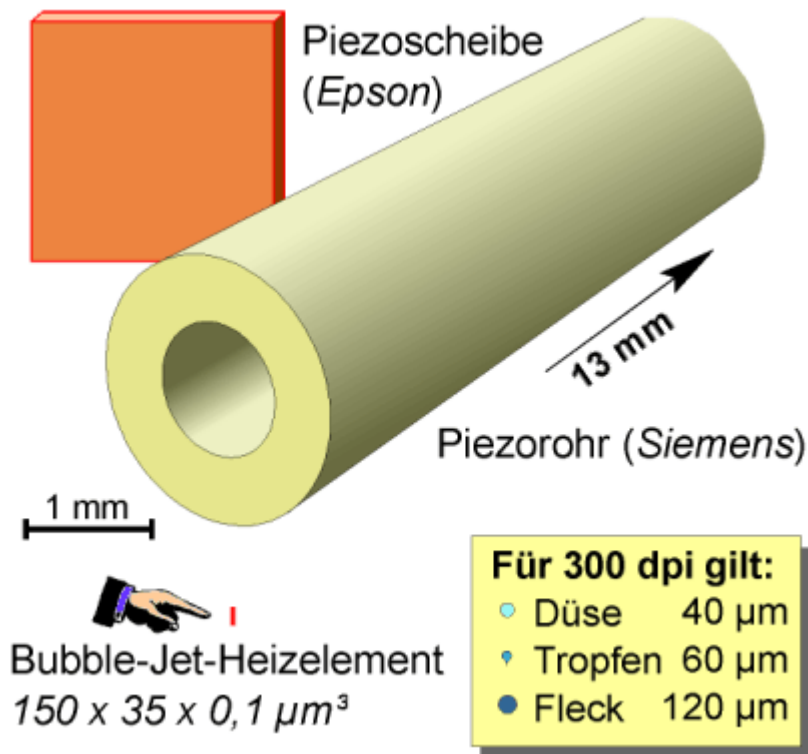


Bild 20: Noch zum Anfassen geeignet, die Piezowandler - mikroskopisch klein dagegen und etwa genauso groß wie die Punkte am Papier - die Bubble-Jet-Heizelemente

Integrierte Reinigungseinrichtungen

Im Grunde weiß es jeder Zweitklässler wie man einen "Tintenschreiber", nämlich seinen Füllfederhalter, pflegt und betriebsbereit hält: Mit der Kappe schützt man ihn vor dem Eintrocknen und mit etwas Löschpapier wird Tinte abgesaugt und die Feder gereinigt. Genau diese Funktionen findet man auch in modernen Tintendruckern. Dort fährt der Druckkopf in Druckpausen zur sogenannten Reinigungs- und Dichtstation (neudeutsch: Homestation) (Bild 21).

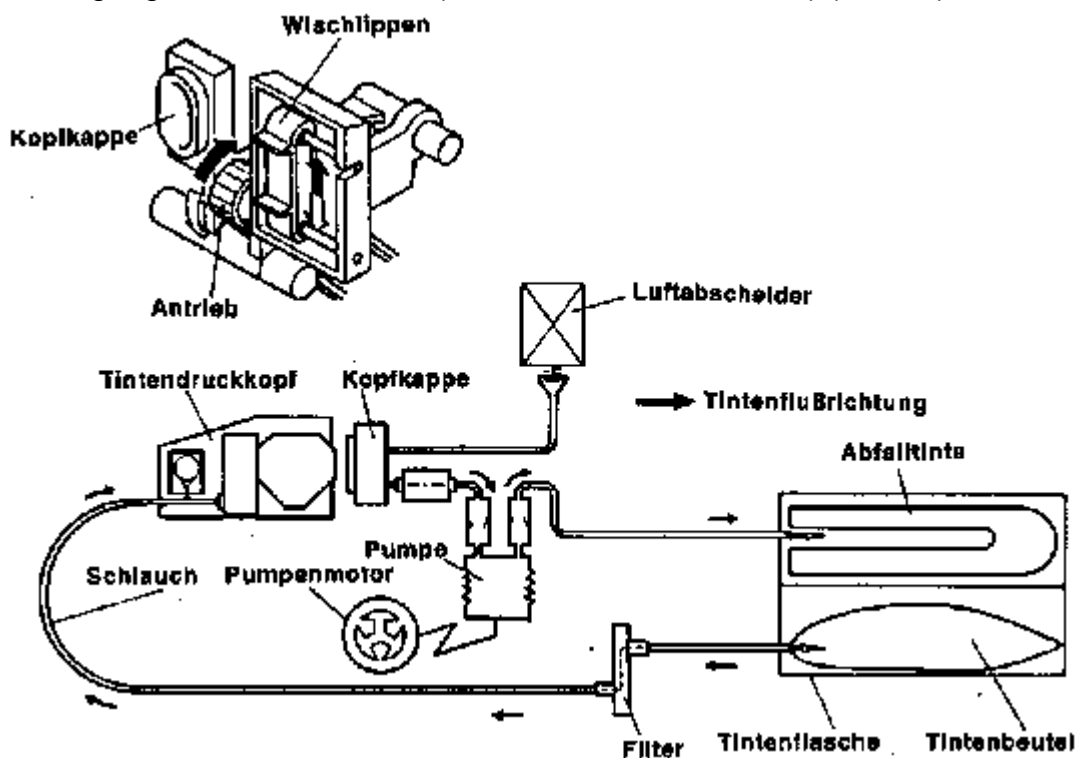


Bild 21: Eine kleine verfahrenstechnische Anlage: Die Reinigungs- und Dichtstation eines modernen Tintendruckers (Quelle Epson).

Hier werden die Düsen von einer Kappe abgedeckt, hinter der sich alsbald ein Mikroklima mit gesättigter Luftfeuchtigkeit bildet, wodurch ein weiteres Eintrocknen der Tinte in den Düsen verhindert wird. Die Dichtkappe ist über einen Schlauch mit einer Pumpe verbunden, die der Bediener (im eventuellen Fehlerfall) über eine Taste am Drucker (Prime, Clean) in Gang setzen kann. Die Pumpe saugt die Luft aus dem Tintendruckkopf und füllt die Düsen wieder vollständig mit Tinte. Neben der Dichtkappe befindet sich eine bewegliche Wischlippe an der Reinigungsstation mit der sich, gleich einem Autoscheibenwischer, Staub, Papierfasern und Tintenreste von der Düsenfläche wischen lassen.

Tinte, Papier und Folien

Die ersten Tintendrucker hatten noch keine besonders ausgeklügelten Reinigungs- und Dichtstationen, weshalb damals nur Tinten eingesetzt werden konnten, die an Luft praktisch nicht trockneten. Die schnelle Wischfestigkeit wurde erreicht, weil die im Wesentlichen aus Glykolen bestehende Tinte schnell in die Fasern des Papiers eindrang (stark penetrierende Tinte, [Bild 22a](#)). Aus diesem Grund musste damals gut saugfähiges oder speziell beschichtetes Papier benutzt werden; auf büroüblichen Papier war die Druckqualität dagegen meist nur mäßig.

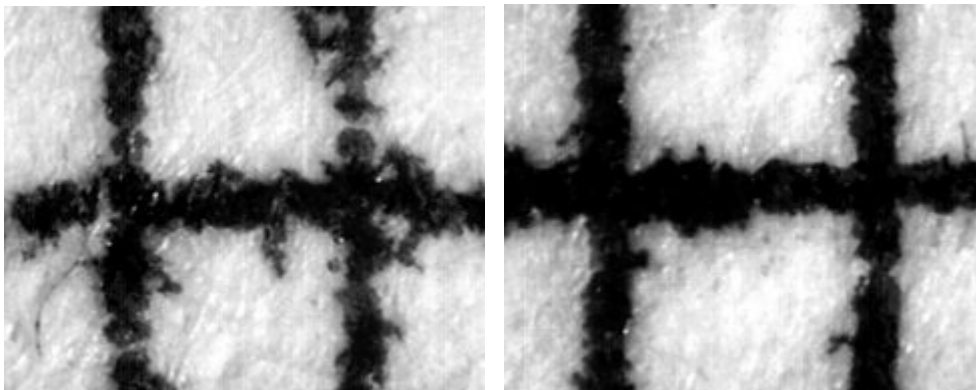


Bild 22a und b: Dasselbe Papier, und doch ein gewaltiger Unterschied in der Druckqualität durch unterschiedlich stark penetrierende Tinten: links schwach und rechts stark penetrierende Tinte.

Heute werden neben dem weiter unten beschriebenen Flüssigwachs vor allem Tinten eingesetzt, deren Hauptbestandteil Wasser ist. Diese Tinten dringen kaum noch in das Papier ein und ergeben scharf begrenzte Punkte ([Bild 22b](#)). Andererseits dauert es jetzt einige Sekunden bis die Tinte am Papier wischfest wird. Deshalb enthalten manche moderne Tintendrucker spezielle Trocknungsvorrichtungen oder Zwischenablagen. All das nützt allein noch nichts für hochwertige Ausdrücke auf Transparentfolien. Hier hilft nur eine saugfähige Beschichtung auf den Spezialfolien, die alle Hersteller für ihre Tintendrucker anbieten.

Es ist den Entwicklern bislang noch nicht gelungen, Pigmente so stabil in eine Trägerflüssigkeit für Tinten zu mischen, dass es zu keinen Ablagerungen und Verstopfungen kommt. Deshalb muss man nach wie vor Farbstoffe wählen, die vollständig löslich sind. Diese Lösemitteltinten sind jedoch leider nicht ganz so wasserfest, licht- und dokumentenecht, wie Pigmenttinten, die man in der kommerziellen Drucktechnik benutzt. Um dennoch zufriedenstellende Ergebnisse zu erzielen, lässt man die Tinten chemisch mit dem Papier reagieren. Da indes aus Gründen des Umweltschutzes und der besseren Archivierbarkeit vornehmlich europäische Hersteller zur Zeit ihre Papiere von saurer auf alkalische Leimung umstellen, hat sich bei manchen Papieren trotz fortschrittlicher Tinten die Druckqualität verschlechtert.

Noch schwieriger wird die Sache beim Farbtintendruck. Solange die Tintentropfen noch wie Perlen auf der Oberfläche des Papiers liegen, neigen sie dazu, wie das Wasser auf einem ungepflegten Autolack, zusammenzulaufen (man nennt das Koaleszenz). Bei einfarbigem Druck fällt das nicht weiter auf, doch wenn verschiedene Farben direkt aneinander angrenzen, beginnen die Farbflächen ineinander zu "bluten" ([Bild 23](#)). Man kann dieses Problem allerdings vermeiden, wenn man nicht "nass in nass" druckt.

fehlt noch

Bild 23: Koaleszens: Das Fachwort für in-einander laufende Farben,

wenn Druckmo-dus, Tinten und Papier nicht aufeinander abgestimmt sind.

Dies gelingt auf einfache Weise indem man saugfähig beschichtetes Papier benutzt. Man kann indes mit gleicher Auswirkung auf die Farbdruckqualität die verschiedenen Farbtinten um ein paar Sekunden zeitversetzt drucken, so dass die zuerst gedruckte Tinte bereits antrocknen kann. Beim Druck von Farbfolien gibt es zu dieser Methode gar keine Alternative. Bei solch aufwendigen Druckmodi, bei denen eine Zeile in mehreren Wagentdurchläufen mit Wartepausen erzeugt wird, sind die Herstellerangaben zur Druckgeschwindigkeit freilich völlig unbrauchbar. Aus zwei Seiten Normtext pro Minute im Datenblatt des Druckeranbieters wird dann schnell eine Viertelstunde pro Farbgrafikseite...

Neben den erwünschten Eigenschaften auf Papier oder Folie müssen gute Tinten eine ganze Reihe von zusätzlichen Anforderungen erfüllen [15]:

Verträglichkeit mit den Materialien des Druckwerks

Homogenität: Keine Ablagerungen in den Kanälen und Düsen, keine Entmischung

Reinheit: Keine Partikel oder Verunreinigungen

Lagerfähigkeit zwischen -25 und +70 °C.

definierte Werte für Dichte, Viskosität und Oberflächenspannung im Temperaturbereich von 10 bis 40 °C

kein Bakterien- oder Algenwachstum

ungiftig, nicht krebserregend und nicht brennbar

Zusätzliche Forderungen für Bubble-Jet-Tinten:

definierte Dampfblasenbildung ohne Ablagerungen

kurzzeitige Hitzebeständigkeit bis 350 °C

Flüssigwachstinte

Was hat es nun jedoch mit dieser Flüssigwachstinte auf sich, die fast alle Piezolanamellendrucker verspritzen? Während die anderen Hersteller Tinten mit gelösten Farbstoffen verwenden, füttert man die Piezolanamellen-Druckköpfe mit festen Wachsstiften. Zum Drucken erwärmt eine Heizung im Druckkopf das Wachs auf weit über 100 °C, wodurch es dünnflüssig wird ("Hot-Melt") und sich wie Lösemitteltinte verspritzen lässt.

Da die Tinte unmittelbar nach dem Auftreffen auf dem Papier wieder "gefriert", erzielt man mit Flüssigwachsdruckern auf allen Papieren und Folien eine ausgezeichnete Druckqualität. Die "gefrorenen" Wachstropfen ([Bild 24](#)) führen jedoch zu einer fühlbar rauhen Oberfläche, die als Foliendruck auf dem Overheadprojektor das Licht stark streuen würden. Tektronix, das mit dem Phaser III PXi bereits einen luxuriösen A3-Flüssigwachsdrucker (> DM 30.000) anbietet, denkt aus diesem Grunde darüber nach, die Wachskügelchen hinter dem Druckbereich platt zu walzen.

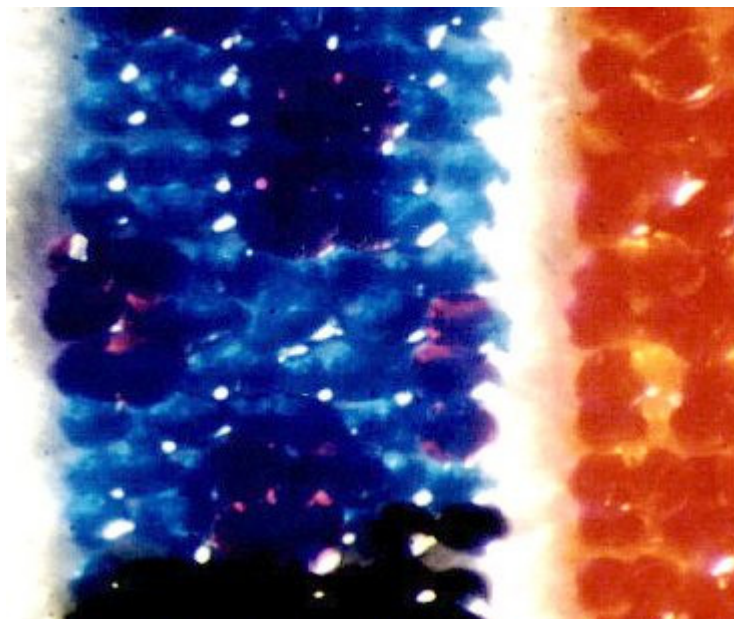


Bild 24: *Wie Perlen auf der Schnur: Die gefrorenen Wachstropfen eines*

Flüssigwachsdruckers (Hot melt inkjet)

Es kostet nicht nur viel Energie, die Tinte heiß zu halten, obendrein dauert es auch lange, bis ein Flüssigwachs-Drucker nach dem Einschalten betriebsbereit wird; ein Grund neben den hohen Anschaffungskosten, weshalb die Flüssigwachsdrucker wohl immer Nischenprodukte bleiben werden.

Warum ist Tintendruck das umweltfreundlichste Verfahren, Papier zu bedrucken?

Als erste werden es die lärmgeplagten Ehefrauen, Ehemänner, Eltern oder Arbeitskollegen festgestellt haben: Der neue Tintendrucker ist kaum noch zu hören! Kein nerviges "Sägen" der Nadeln am Papier und Dauersummen eines Lüfters mehr - was bleibt ist lediglich das Rascheln des Papiers und ein paar mechanische Schaltgeräusche der Getriebe. Nun, wer keinen Lärm macht, kein Ozon und so kaum Wärme produziert, verbraucht zugleich weniger Energie - ein Grund warum schon heute alle modernen netzunabhängigen Kleindrucker mit Tinte arbeiten.

Die Tinte selbst enthält keinerlei umweltbelastende Zusätze und es entstehen ferner beim Verbrennen von bedrucktem Papier keine Dioxine, wie z. B. aus dem Tonerpulver der Laserdrucker und Kopierer. Und selbst das Argument, bei vielen Bubble-Jet-Druckern müsse regelmäßig der ganze Druckkopf ausgetauscht werden, sticht nicht mehr: Besteht doch der Chip zu 98% aus Silizium oder Glas - und das gibt es schließlich eh' schon "wie Sand am Meer". Da andererseits mit dem Gehäuse auch Kunststoffe zu entsorgen sind, müssen sich alle Hersteller, unabhängig von ihrer Tintendrucktechnik, bald darüber Gedanken machen, wie sie die Abermillionen von produzierten Druckköpfen oder Tintenbehälter recyceln können.

Wie geht es weiter?

Diese thematische Frage muss natürlich zunächst der Kunde beantworten; er regelt über sein Kaufverhalten die Schwerpunkte der Neuentwicklungen. Und hier geht der Trend eindeutig zur Farbe [19]! Als Basis bei den Monodruckern hat sich seit Jahren die Auflösung mit 300 dpi und die PCL-Emulation des DeskJet von Hewlett-Packard bewährt. Sie ist quasi der de facto Standard der Tintendrucker, sichert sie doch die weitgehende Kompatibilität zu den Laserdruckern.

300 dpi reichen zwar bei Text und Grafik für einwandfreie Ergebnisse, für den Druck von Halbtönen, Rastern und Bildern in der sprichwörtlichen Fotoqualität genügt das jedoch bei weitem nicht. Diese Qualität lässt sich nur erzielen, wenn man entweder die Auflösung noch wesentlich höher treibt oder eine Möglichkeit findet, die ausgespritzte Farbstoffmenge gezielt zu variieren. Für beides gibt es schon Vorbilder bei anderen Druckverfahren: So arbeitet man auf der einen Seite in der kommerziellen Druckindustrie mit Auflösungen von 2540 dpi (!) und mehr. Auf der anderen Seite gelingt es den Diffusionsdruckern (Dye Diffusion), einer Weiterentwicklung der Thermotransferdrucker, auf beschichtetem Spezialpapier jeden Rasterpunkt in der gewünschten Farbintensität zu drucken [19].

Die Ansprüche an die Druckqualität werden weiterhin steigen und die Option Farbdruck wird künftig eher Standard als Ausnahme sein. Infolgedessen wird die Zahl der Düsen immer mehr zunehmen. Zusammen mit dem durch Überkapazitäten am Druckermarkt verursachten Kostendruck besteht deshalb auch künftig für die Hersteller der Zwang zu weiterer Miniaturisierung und Integration neuer Funktionen.

Heute noch kaum aus den Forschungslabors herausgekommen, sagt man dabei der Mikrosystemtechnik eine große Zukunft voraus [7]. Bei dieser Technik geht es darum, vornehmlich auf Basis des Grundwerkstoffes Silizium Tintendruckköpfe komplett mit Kanälen, Düsen, Aktoren und der ansteuernden Treiberschaltung in nur einem einzigen Chip von wenigen Quadratmillimetern zu integrieren. Der ganze Druckkopfchip wird, in Millionen produziert, dann zum Pfennigartikel. Xerox brachte 1993 das erste Bubble-Jet-Mikrosystem auf den Markt, doch gerade das leider jetzt geschlossene Inkjet Systems in Berlin war bis zuletzt in der Bubble-Jet-Mikrosystemtechnik technologisch ganz vorne dabei.

Marktchancen

Inzwischen pfeifen es die Spatzen von den Dächern: Nadeldruck ist out, Laserdrucker sind vor allem Energieverschwender und nur bei großem Druckbedarf zu vertreten; wer etwas auf sich hält, kauft heutzutage einen Tintendrucker, entweder klein, schnuckelig und portabel oder aber gleich einen Farbtintendrucker. Wenn man den Marktforschern von Dataquest oder BIS glauben darf, werden bald

mehr Tinten- als Nadeldrucker verkauft. Dies gilt um so mehr für Farbdrucker, da bei Farbe alle mit dem Tintendruck konkurrierenden Verfahren prinzipbedingte Schwächen aufweisen oder Drucker und Verbrauchsmaterialien erheblich mehr kosten [19].

Auch wenn zukünftig noch der eine oder andere Tintendrucker mit Piezowandlern in zunehmenden Stückzahlen verkauft wird, werden die Piezodrucker bei weitem nicht mit den Zuwachsraten der Bubble-Jet-Systeme mithalten können. Unterdessen geht bei letzteren der Trend zunehmend zu Druckern, bei denen die Tintendruckköpfe keine Lebensdauerteile sondern Verbrauchsmaterialien sind und in regelmäßigen Abständen komplett ausgetauscht werden. Dies garantiert dem Kunden stets die bestmögliche Druckqualität.

Zusammenfassung

Mit seinen knapp fünfzig Jahren auf dem Buckel ist der Tintendruck eine vergleichsweise junge Drucktechnik. Begonnen hat es mit den Tintenstrahlern (Tabelle 5), heute fristen sie ein Nischendasein. Trotzdem werden sie sich dort auch langfristig behaupten. Den Massenmarkt fürs Büro und Zuhause beherrschen jedoch die Tintendrucker. Zur Zeit verdrängt die Tinte vor allem den Nadeldruck, doch schon bald wird Farbdruck Standard sein und dann werden auch die Laserdrucker um ihre Marktanteile kämpfen müssen.

Der Kunde kann sich freuen, denn größere Märkte beflügeln die Tintendruckentwickler, zumal sich ihnen mit der Mikrosystemtechnik eine einzigartige Spielwiese auftut. Schlussendlich führt das zu sinkenden Preisen und neuen Leistungsmerkmalen, an die man vor kurzem noch nicht einmal zu denken gewagt hätte. Andererseits führt dieser Preiskampf schon jetzt zu einem ruinösen Verdrängungswettbewerb, so dass Inkjet Systems in Berlin und München sicher nicht der letzte Hersteller sein wird, der auf der Strecke bleibt.


	Tintenstrahldruck	Tintendruck
Prinzipien, Synonyme	Continuous-Jet-, Hochdruckverfahren	Drop-on-Demand-, Unterdruck-Verfahren
Varianten		Piezo-Jet und Bubble-Jet
Merkmale	meist nur eine Düse, bis einer Million Tropfen pro Sekunde, elektrostatische Ablenkung	bis zu 256 Düsen, bis 20.000 Einzeltropfen/s
Einsatzgebiete	Markieren und Kodieren, Color-Proof-Drucker	Büro-, Laptop-, Kassendrucker, Faxgeräte, Plotter

Tabelle 2: Klassifizierung von Tintenstrahldruck und Tintendruck

Ach ja, da wäre noch die eingangs gestellte Themafrage! Souverän werden Sie wie Radio Eriwan künftig antworten: "Im Prinzip ja!". Sie wissen freilich, dass dieses Ja einzig für die Hochdrucksysteme gilt. In ihrem PC-Tintendrucker arbeitet dagegen ein Drop-on-Demand-Druckkopf und da strahlen allenfalls Sie selbst angesichts des kaum hörbaren Druckens und der ausgezeichneten Druckqualität.

Literatur

1. Ayata, N.; Shirato, Y.; Takatori, Y.; Seki, M.: Verfahren und Einrichtung zur Erzeugung von Flüssigkeitströpfchen. Deutsches Patent DE 30 12 698, April 1980 (Priorität Japan April 1979)
2. Elmquist, R.: Measuring instrument of the recording type. US Patent 2,566,443 Sept. 49 (Priorität: Schweden Okt. 1948)
3. Endo, I.; Sato, Y.; Saito, S.; Nakagiri, T.: Verfahren und Vorrichtung zur Flüssigkeitsstrahl-Aufzeichnung. Deutsches Patent DE 28 43 064, Okt. 1978 (Priorität Japan Okt. 1977)
4. Hara, T.; Sato, Y.; Takatori, Y.; Shirato, Y.: Liquid Jet recording method with variable thermal viscosity modulation. US Patent 4,251,824, Feb. 1981 (Priorität Japan Nov. 1978)
5. Heinzl, J.; Hertz, C. H.: Inkjet printing. Advances in electronics and electron physics, Academic

- Press, New York, Vol. 65, S.91-171 (1985)
6. Heinzl, J.; Rosenstock, G.: Lautloser Tintendruck für Schreibstationen. Siemens-Zeitung 51 (1977) S.219-221
 7. Heuberger, A.: Mikromechanik. Springer Verlag, Berlin 1991
 8. Hewlett-Packard (Herausgeber): Diverse Beiträge zum Bubble-Jet-Verfahren. Hewlett-Packard Journal, Bd.36, No. 5, 1985
 9. Hewlett-Packard (Herausgeber): Diverse Beiträge zum Bubble-Jet-Verfahren. Hewlett-Packard Journal, August 1988
 10. Kyser, E. L.; Sears, S. B.: Method and apparatus for recording with writing fluids and drop projection means therefor. US Patent 3,946,398, März 1976 (Angemeldet Juni 1970)
 11. Lock, J.: Inkjet-Technik auf andere Art. Die Microjet-Drucktechnologie. Der Polygraph 45 (1992) 5, S.47-48
 12. Proebster, W. E.; Louis, H. P.; Eißfeldt, E.: Datendrucker. Oldenbourg Verlag, München, 1992
 13. Rayleigh, J. W. S. Lord: On the instability of jets. Proceedings of the London Math. Society Vol. 10 (4) 1878
 14. Rosenstock, G.: Erzeugung schnell fliegender Tropfen für Tintendrucker mit Hilfe von Druckwellen. Dissertation Technische Universität München (1982)
 15. Rump, G. C.: Wie Druck gemacht wird. Drucken ohne Anschlag. DOS International. 1991, 3, S. 102-119
 16. Stemme, N. G. E.: Arrangement of writing mechanisms for writing on paper with a colored liquid, US Patent 3,747,120, July 1973 (Priorität: Schweden Jan. 1971)
 17. Vaught, J. L.; Cloutier, F. L.; Donald, D.K.; Meyer, J. D.; Tacklind, C. A.; Taub, H. H.: Verfahren zum Austreiben eines Flüssigkeitströpfchens aus einer Öffnung eines Kapillarkörpers. Deutsches Patent DE 32 28 887 Aug. 1982 (US Priorität Aug. 1981)
 18. Wehl, W.: Akustik und Fluidmechanik in Kanälen und Düsen von Tintenschreibwerken. Dissertation Technische Universität München (1984) ([Download als PDF-Datei](#)  1,1 MB)
 19. Wehl, W.: Farbe macht das Drucken schön. DOS International. 1991, 3, S.120-127
 20. Zoltan, S. I.: Pulsed droplet ejecting system. US Patent 3,683,212, Aug. 1972 (Angemeldet Sept. 1970)

1. Aktor = Elektromechanischer Wandler
2. Die hier angegebene Auflösung lässt sich in einem Druckdurchlauf erzielen.
3. Die hier angegebene Auflösung lässt sich in einem Druckdurchlauf erzielen.
4. Siehe Beschreibung bei Piezoramellenwandlern
5. Siehe Kapitel Tinte, Papier und Folien
6. Unbestätigten Meldungen zufolge soll der Piezodruckkopf des Stylus von Phillips entwickelt und gefertigt werden!
7. Olivetti z. B. wirbt für seine Bubble-Jet-Drucker damit, umgerechnet 80 Millionen Mark in ihre Entwicklung investiert zu haben.
8. Der Druckkopf arbeitet in einem Drucker des japanischen Herstellers TEC und wird u. a. als SpeedJet 300 von Seikosha verkauft.
9. Zum Vergleich: Bei der Größe von 150 35 µm, hätten auf einem Hundertmarkschein etwa zwei Millionen Heizelemente Platz - weit mehr als es Einwohner in Hamburg gibt.
10. Fast alle hier aufgeführten Druckwerke, bzw. Drucker tauchen überdies unter anderer Bezeichnung als Fremdprodukte bei anderen Herstellern auf.
11. Die hier angegebene Auflösung lässt sich in einem Druckdurchlauf erzielen.
12. HP = Hewlett-Packard
13. Der ThinkJet-Druckkopf wird neu nur noch in diversen Druckern von Diconix (Kodak) eingesetzt.