

## Der Laserdrucker

*Mittlerweile erreichen moderne Laserdrucker fast Offset-Druckqualität. Das zugrundeliegende Druckprinzip wurde allerdings bereits in den 1930er Jahren entwickelt.*



**Abb. 1:** Chester F. Carlson mit seinem ersten Kopierer (Foto: Xerox)

Die Vision des papierlosen Büros, die der Beginn des Computerzeitalters in den 1970er-Jahren verhielt, hat sich in unseren Tagen endgültig als Wunschvorstellung erwiesen. Trotz steigenden EDV-Einsatzes wächst die Papierflut ungebremsst. So werden für einen Brief, der in Deutschland auf dem Computer geschrieben wird, durchschnittlich acht Ausdrücke gebraucht, bis die gewünschte Form vorliegt. Mit zu dieser Entwicklung trägt sicher bei, dass Drucker immer leistungsfähiger, einfacher zu bedienen und erschwinglicher werden. War noch der erste Laserdrucker, der Laserwriter von Apple aus dem Jahre 1985, teuer und mit mehr Rechenleistung bestückt als ein Mac, so werden heute Laserdrucker für einige Hundert Euro angeboten. Für die nächsten Jahre erwarten Experten einen rasanten Marktzuwachs für Farblaserdrucker, dann sind dem hochwertigen Farbausdruck auch bei kleinem Geldbeutel keine Grenzen mehr gesetzt.

### Anfänge der Xerographie

Das Prinzip des Laserdruckers geht, zumindest was den reinen Druckvorgang betrifft, bereits auf das Jahr 1937 zurück, als der amerikanische Physiker Chester F. Carlson (1906–1968) nach einem bürotauglichen Verfahren zur Vervielfältigung von Dokumenten suchte, das ohne flüssige Chemikalien auskommen sollte. Carlson arbeitete in der Patentabteilung einer Firma und ärgerte sich, dass es nie genug Kopien der Patentanträge gab. Das war nicht verwunderlich, denn damals waren Fotokopien sehr kostspielig und das Kopieren durch Abschreiben sehr zeitraubend und fehleranfällig. Zum Glück war Carlson ein leidenschaftlicher Bastler und begann, in seiner Küche mit Schwefel zu experimentieren. Nach vielen gescheiterten Versuchen gelang ihm schließlich der Durchbruch: Carlson beschichtete eine Metallplatte mit Schwefel und lud sie durch Abreiben mit einem Baumwolltuch auf. Anschließend beschrieb er eine Glasplatte, legte sie auf die Metallplatte und belichtete das Ganze mit einer starken

Lampe. Die Metallplatte bestreute er dann mit Bärlappsamen und drückte abschließend ein Blatt Wachspapier auf die Platte – fertig war die erste Kopie, denn der Samen blieb nur an den unbelichteten, also beschriebenen, Stellen haften, da dort die Ladung durch die Belichtung nicht neutralisiert worden war. Die Xerographie (von griech. xeros = trocken) war erfunden. Carlson ließ sich seine Erfindung patentieren; aber erst 1950 kam der erste Fotokopierer, das Modell A der Firma Haloid (später in Xerox umbenannt) auf den Markt. Vermutlich handelt es sich bei der Xerographie – neben den unangenehmen Entladungen („eine gewischt bekommen“) in zu trockenen Räumen – um den prominentesten Aspekt der Elektrostatik.

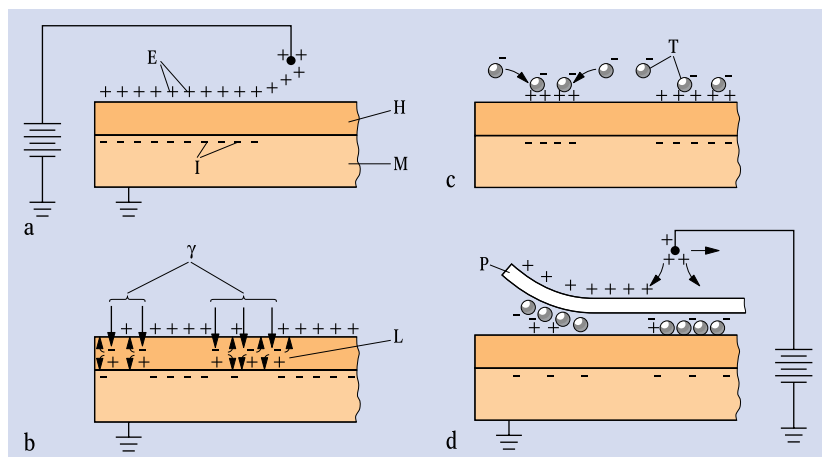
### Vom Kopierer zum Drucker

Dass bis zum ersten Laserdrucker dann noch mal über 35 Jahre vergingen, lag nicht am eigentlichen Druckvorgang, sondern an der Art der Druckvorlage, welche im Wesentlichen der einzige Unterschied zwischen Kopierer und Drucker ist. Bei Ersterem reicht eine Vorlage zum Durchleuchten, bei Letzterem müssen die elektronischen Druckdaten zunächst – eben mithilfe eines Lasers – in optische Daten umgewandelt werden.

Herzstück sowohl des Kopierers als auch des Laserdruckers ist eine metallische, geerdete Trommel (also keine Platte mehr wie noch in den Pioniertagen von Carlson), auf der eine Halbleiterschicht aufgebracht ist, die zur Vorbereitung des Druck-

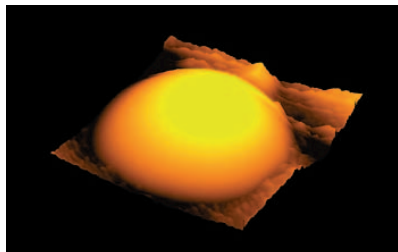
vorgangs zunächst im Dunkeln elektrostatisch gleichmäßig aufgeladen wird. Bei älteren Druckern stammen die geladenen Teilchen aus einer so genannten Koronaentladung eines gleichnamigen Drahtes, der dicht über die Trommel gespannt ist und an den einige Tausend Volt anliegen. Koronaentladungen sind stromschwache Gasentladungen bei Atmosphärendruck und lokal hoher elektrischer Feldstärke, die z. B. an scharfen Kanten, Spitzen oder Drähten auftreten. Als Korona wird die dünne, zusammenhängende Lichthaut bezeichnet, die im Bereich der hohen Feldstärke zu sehen ist. In der Natur lassen sich Koronaentladungen als Elmsfeuer beobachten. Unangenehmer Nebeneffekt des Koronadrahtes ist allerdings der Ozonausstoß. Die hohe Feldstärke in dem Spalt zwischen Draht und Trommel sorgt für eine teilweise Ionisierung der Luft und eine Umwandlung des Luftsauerstoffs in Ozon. Moderne Geräte arbeiten aber inzwischen mit einer Ladewalze anstelle des Drahtes, die einen direkten Kontakt mit der Tonerwalze hat. Ozonbelastungen durch Drucker sollten also der Vergangenheit angehören.

Das Halbleitermaterial (meist Selen oder ein organisches Material; die Details moderner Entwicklungen verraten die Firmen nicht) leitet selbst nicht in Dunkelheit, wird aber durch Licht elektrisch leitend. Auf der Oberseite der Halbleiterschicht liegt nach dem Aufladen eine positive Ladungsschicht, auf der Oberfläche des Metallträgers durch Influenz eine negative



**Abb. 2:** Schritte der Xerographie: Zunächst werden Halbleiterschicht H und Metallsubstrat M aufgeladen (a, E: elektrostatische Aufladung, I: Influenzladung), anschließend belichtet (b, L: durch Photoeffekt erzeugtes Ladungspaar), entwickelt (c, T: Tonerteilchen) und schließlich auf das Papier (P) übertragen. Beim Laserdrucker erfolgt die Belichtung durch einen vom Computer angesteuerten Laser.

(Abb. 2). Mit einem Laserstrahl wird dann die Halbleiterschicht an den Stellen, an denen *nicht* gedruckt werden und das Papier weiß bleiben soll, belichtet. Belichtung heißt: Die Photonen dringen in den Halbleiter ein und erzeugen Ladungspaare, welche die vorher vorhandenen Ladungen lokal neutrali-



**Abb. 3:** Rasterelektronenmikroskop-Aufnahme eines 20 Mikrometer großen Tonerteilchens beim Einschmelzen ins Papier (Quelle: Analytical Microscope Services)

sieren. Abgelenkt durch einen rotierenden sechs- oder achteckigen Polygonspiegel, streicht der Laser Zeile um Zeile auf der Trommel ab, bis ein nur noch teilweise geladener Träger zurück bleibt, dessen Ladungsmuster genau den Druckdaten (oder beim Kopierer der Vorlage) entspricht. Auf der Trommel befindet sich jetzt also ein elektrostatisches Abbild der Druckseite. Pro DIN-A4-Seite werden bei einer gängigen Auflösung von 600 mal 600 dpi insgesamt etwa 32 Millionen Punkte angesteuert. Da Laserdrucker Seitendrucker sind, also eine komplette Seite in einem Zug auf die Walze bringen, haben sie einen recht hohen Speicherbedarf – für die eben genannte Seite sind bereits 4 Megabyte nötig. Als Lichtquellen kommen Laserdioden mit einer Wellenlänge von 780 Nanometern (im Infraroten) und einer Leistung von einigen Milliwatt zum Einsatz – man findet solche Dioden auch in CD- und DVD-Playern.

Im nächsten Schritt wird auf die Trommel der negativ geladene Toner aufgebracht, eine schwarze Pulvermischung aus allerfeinsten, ca. 100 Mikrometer kleinen Partikeln, zusammengesetzt aus verschiedenen Stoffen: Grundsubstanz ist ein Kügelchen aus 90 Prozent Kunstharz, auf dessen Oberfläche die eigentlichen farbgebenden Substanzen (5 Prozent) sitzen; die übrigen 5 Prozent bestehen aus Hilfsstoffen wie Magnetit (damit der Toner nicht von der Tonerrolle fällt) sowie ladungssteuernde Mittel. Der Toner bleibt nur an den noch aufgeladen-

en, nicht belichteten Stellen der Trommel hängen; in den ungeladenen Bereichen wird er abgestoßen. Auf der Trommel befindet sich also jetzt schon das Druckbild, es muss nur noch aufs Papier. Auch dieser Schritt bedient sich der Elektrostatik: Das Papier wird, wenn es eingezogen wird, zunächst positiv aufgeladen und dann über die Trommel geführt; dabei gehen die negativ geladenen Tonerpartikel auf das Papier über. Damit sie dort auch bleiben (das Bild also fixiert wird), wird das Papier anschließend erhitzt, um die thermoplastischen Tonerteilchen bei 150 bis 190 Grad einzubrennen (Abb. 3). Das erklärt, warum frisch gedruckte (oder kopierte) Blätter immer heiß und aufgeladen sind.

### Offsetdruck für alle?

Um Farbe ins Spiel zu bringen, findet der Druckvorgang mehrmals – mit den vier Grundfarben Cyan, Magenta, Gelb und Schwarz – hintereinander statt, bevor das Blatt Papier endgültig fixiert wird. In diesem Punkt unterscheidet sich der Laserdrucker nicht von anderen Druckern, sei es ein einfacher Tintenstrahler oder eine professionelle Druckmaschine.

Interessante Entwicklungen sind künftig vor allem bei den Tonern zu erwarten. Grundsätzlich gilt: Je kleiner die Tonerpartikel sind, desto schärfer ist der Ausdruck. Materialforscher von Xerox stellten deshalb im vergangenen Jahr ein chemisches Verfahren vor, mit dessen Hilfe die Partikel nicht durch Zermahlen größerer Strukturen, sondern durch die schichtweise Anlagerung von monomeren Molekülen in einer gelartigen Emulsion aus Wasser und einem pigmentierten Latex-Polymer hergestellt werden: sie wachsen nach dem Zwiebel-schalenprinzip, Schicht um Schicht. Angeblich gelang es den Xerox-Forschern dabei, runde beziehungsweise kartoffelförmige Teilchen in einer Größe von drei bis fünf Mikrometern im Durchmesser herzustellen. Diese Tonerpartikel seien so klein, dass einhundert von ihnen für einen Punkt am Ende eines Satzes nötig seien. Irgendwann wird also jeder Privatmensch zuhause in Offset-Qualität drucken können; aber auch diese modernen Geräte werden immer noch auf der Idee eines Bastlers vor 65 Jahren beruhen, der zu faul zum Abschreiben war.

ULRICH KILIAN