

Kathodenstrahl-Displays

Copyright © by V. Miszalo, last update: 16-10-06

- ↓ [Einleitung](#)
- ↓ [Random Access Cathode Ray Tubes](#)
- ↓ [Zeilen-CRTs](#)
- ↓ [Interlaced Scan und Progressive Scan](#)
- ↓ [Shadow Mask Color CRT](#)
- ↓ [Kennzahlen einer Shadow Mask Color CRT](#)
- ↓ [Wahl der Zeilenzahl bei festem Dot Pitch](#)
- ↓ [Streifen- und Schlitzmasken](#)

Einleitung

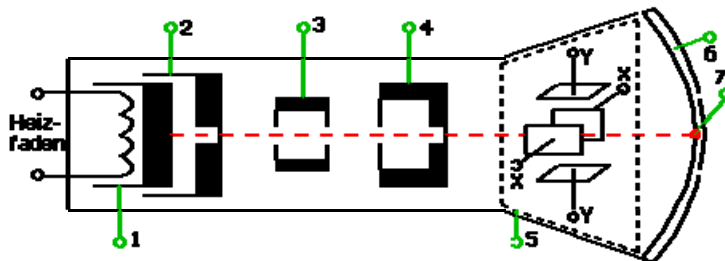
Bis ca. 1962 hatte kein Computer irgendeine graphische Ausgabe. Die Computer stanzen ihre Ausgabe fast redundanzfrei auf Lochstreifen, die nicht ohne weiteres lesbar waren. Zum Druck auf Papier legte man die Lochstreifen in einen separaten Fernschreiber. So konnte man nicht nur Zahlen und Texte sondern auch grobe Rastergraphiken aus Buchstaben und Sonderzeichen erzeugen, das war damals ein beliebter Zeitvertreib. Beim militärischen Radar wurden schon damals Displays eingesetzt. Es handelte sich um Kathodenstrahlröhren ohne Zeilensteuerung, die man vector refresh- oder vector stroke-Geräte nannte. Aus diesen Anfängen entwickelte sich ab 1965 die Vektorgraphik (Pionier: Ivan Sutherland am MIT).

Random Access Cathode Ray Tubes

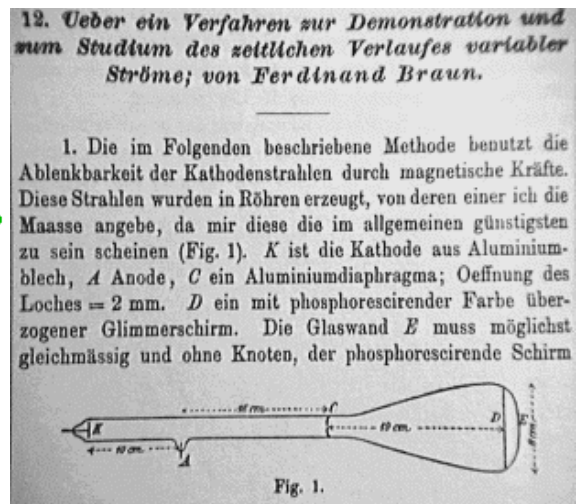
Zusammen mit Röntgen (Würzburg), Becquerel (Paris), Edison (New York), Marconi (Bologna) und Hertz (Karlsruhe) gehört **Ferdinand Braun 1850-1918** zu den Erfindern der Basistechnologien der Elektronik. Nach seinem Physikstudium und Promotion in Berlin war er außerordentlicher Professor in Marburg, Straßburg, Karlsruhe und Tübingen, bevor er 1895 Institutsdirektor (später Universitätsrektor) in Straßburg wurde. Dort entwickelte er die erste Kathodenstrahlröhre (Braun'sche Röhre), die ihn weltberühmt machte (Nobelpreis 1909), den Prototyp der modernen Vektordisplays.

siehe: www.pit.physik.uni-tuebingen.de/braun.html

Braun'sche Röhre (nach www.e-online.de)



Erstpublikation von 1897



1. **Kathode = Elektronenquelle**
Hohe Temperatur und eine Spannung von -200 ... -800 Volt liefern den Elektronenstrom.
2. **Wehneltzylinder** steuert die Intensität des Elektronenstrahls (und damit die Helligkeit).
3. **Elektronen-Optik** = Strahlbündelung im elektrischen Feld = Einstellung Strahldicke.
4. **Anode** mit variabler Spannung von +100 ... +200 Volt zur Primärbeschleunigung.
5. **Nachbeschleunigungsanode** (bis 1,5 kV)
6. **Phosphor-Leuchtschicht** mit kurzer (< 100 msec) Nachleuchtdauer
7. **Brennpunkt**
- X. **X-Platten für die horizontale Ablenkung** = Strahlablenkung links - rechts.
- Y. **Y-Platten für die vertikale Ablenkung** = Strahlablenkung oben - unten.

Die Braun'sche Röhre wurde entwickelt als elektronisches Messinstrument (Oszillograph, Oszilloskop).

Erst 50 Jahre später entdeckte man ihre Eignung zur Darstellung hochexakter dünner Linien für

Hochpräzisionszeichnungen = Computer Aided Design = CAD (Vektordisplays).

Man kann (unter Verlust von Präzision) die Kondensatorplatten X und Y durch eine Ablenkspule = Deflection Coil ersetzen.

Jeder Punkt des Bildschirms ist mit beliebiger Genauigkeit direkt von jedem anderen Punkt aus erreichbar.

Wegen dieser Eigenschaft bezeichnet man die Braun'schen Röhren auch als Random Access Cathode Ray Tubes = RA-CRTs.

Die Strahlsteuerung ist einfach und redundanzfrei programmierbar.

Beispielprogramm für ein Schirm füllendes "X" auf einem RA-CRT, dessen 0/0-Punkt links oben und dessen 1000/1000-Punkt rechts unten liegt:

```
Befehl 1: MoveTo( 0, 0 ); // Strahl aus, fahre zu Position 0/ 0
Befehl 2: LineTo( 1000, 1000 ); // Strahl ein, fahre zu Position 1000/1000
Befehl 3: MoveTo( 0, 1000 ); // Strahl aus, fahre zu Position 0/1000
Befehl 4: LineTo( 1000, 0 ); // Strahl ein, fahre zu Position 1000/ 0
Befehl 5: Goto Befehl 1
```

RA-CRTs haben einen gravierenden Nachteil: Sie können keine Flächen homogen hell anfärben. Sie können beliebig präzise Striche ziehen, aber sie sind unfähig zur Flächenfüllung. Man kann (wie bei Kupferstichen) Flächen nur schraffieren. Eine homogene Anfärbung einer Fläche durch enge, flächendeckende Schraffur ist zwar theoretisch möglich, erfordert aber enormen Aufwand. Wegen dieser Unfähigkeit zur Flächendeckung sind Bilder der realen Welt (Fernsehen) mit RA-CRTs unmöglich.

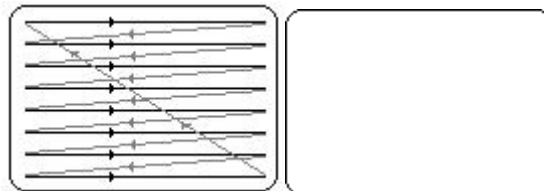
Analogie: Man kann eine Wand nicht mit einem Kugelschreiber homogen streichen sondern nur mit einem (dicken) Pinsel.

Weitere Nachteil: RA-CRTs sind ungeeignet für mehr als eine Farbe. Ausnahme: **Beam Penetration RA-CRTs** haben 2 Phosphorschichten und können durch komplizierte Variation der Anodenspannung zwei übereinander liegende verschiedenfarbige Phosphorschichten selektiv erregen und haben damit immerhin beschränkte Farbfähigkeit.

Zeilen-CRTs

Zum Zweck der Flächenfüllung nimmt man zwei grundlegende Änderungen am Elektronenstrahl vor:

1. Strahlaufweitung: Man verzichtet bewusst auf zeichnerische Präzision und defokussiert den Elektronenstrahl zu einem dicken Pinsel.
Pinseldicke = Bildschirmhöhe dividiert durch Zeilenzahl
2. Schraffur = fester Strahlweg in parallelen Streifen: Man verzichtet bewusst auf die freie Positionierung des Strahls und zwingt ihn auf einen festen Strahlweg in Form einer lückenlosen Schraffur in horizontalen Zeilen. Dieser Strahlweg wird erzwungen durch zwei permanente Steuersignale für die Ablenkspule, nämlich eine Sägezahnspannung für die Horizontalbewegung = HSync und eine Spannung für die Rückholung des Strahl von rechts unten nach links oben = VSync



Vorteil: Flächenfüllung und damit Bilder der realen Welt = TV möglich.

Nachteile:

1. Verlust jeder Präzision durch den notwendigerweise dicken Strahl.
2. Unmöglichkeit von senkrechten und schrägen Linien.
3. Konstant langer Strahlweg erlaubt keine hohe Bildwiederholfrequenz.

Interlaced Scan und Progressive Scan

Wir wissen durch Experimente, dass mindestens 50 Bilder pro Sekunde übertragen werden müssen, wenn man flimmerfreie Bewegtbilder sehen will.

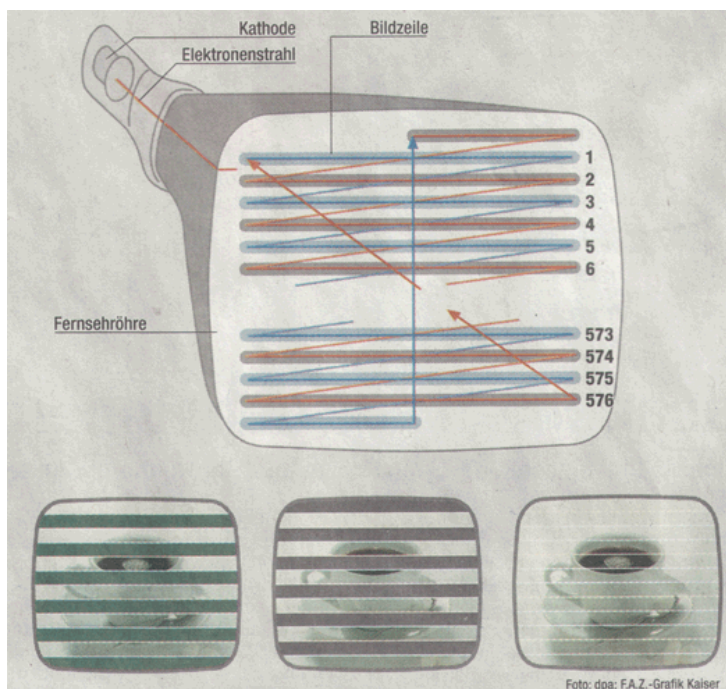
Als nach dem 2. Weltkrieg die Fernsehnormen entstanden, erlaubten die elektronischen Bauteile nicht den Luxus, 50 komplette Bilder pro Sekunde zu übertragen.

Ausweg: Man überträgt 50 mal nur den halben Inhalt so, dass zuerst nur die Zeilen 1, 3, 5, 7 usw. und danach die Zeilen 2, 4, 6 usw. gesendet und empfangen werden.

Fachausdruck: interlaced scan = zwischengeschachtelte Abtastung = Zeilensprungverfahren.

Heute gibt es genügend schnelle Elektronik und der interlaced scan ist im Grunde überflüssig, kann aber wegen der vorhandenen Gerätebasis nicht abgeschafft werden. Man könnte leicht 50 Vollbilder oder mehr übertragen:

Fachausdruck: progressive scan.



Interlaced Scan

Vorteile:

billige Bauteile einsetzbar, wobei der Betrug vom Zuschauer kaum bemerkt wird.

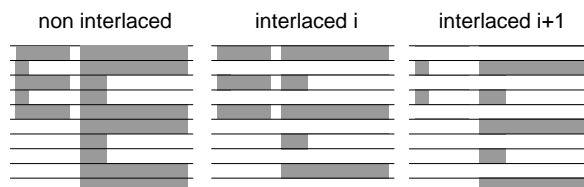
Nachteile:

- 1) Bildqualität sinkt insgesamt.
- 2) Horizontale Bewegungen befinden sich innerhalb von zwei Folgezeilen nicht auf gleicher Position = Lattenzauneffekt

Hauptproblem:

Die Zeile i kann ihre Folgezeile $i+1$ für eine kurze Zeit ersetzen, wenn diese ziemlich identisch ist (Regelfall bei TV). Hochauflösende Texte enthalten aber wichtige einzeilige horizontale Strukturen (z.B. die 3 horizontalen Balken des Buchstabens E). Solche horizontalen, einzeiligen Balken haben bei interlaced nur halben Refresh und flimmern damit unerträglich. Folge: Interlaced Fernsehgeräte sind als Computermonitore ganz ungeeignet.

Interlaced Fonts müssen mindestens doppelt so dick sein wie Computer Fonts. Deshalb kann TV nur maximal 30 Textzeilen darstellen (siehe Videotext). Beispiel E: Das E ist nur bei doppelter Zeilenzahl lesbar.



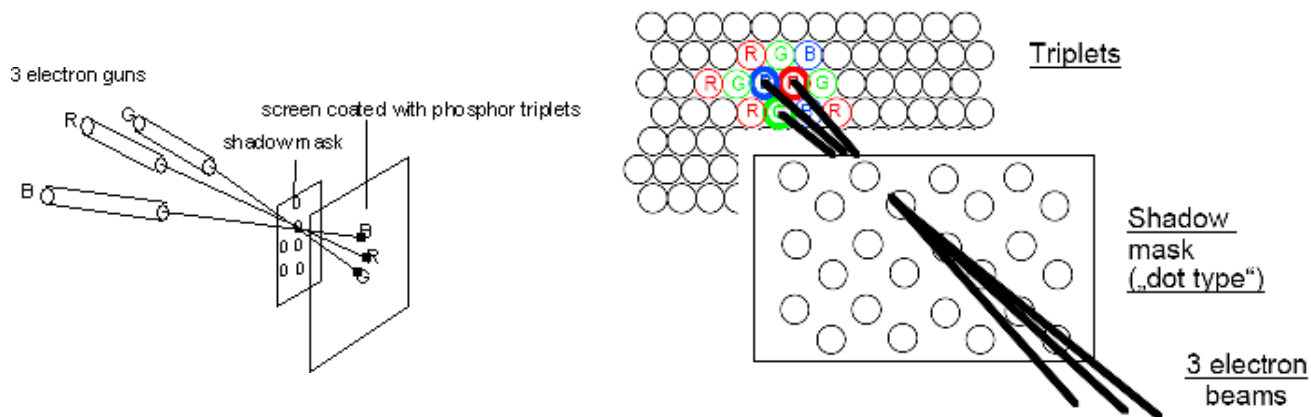
Alle Computermonitore, Flat Panel Displays, Beamer und DVD-Player arbeiten im progressive scan. Sie müssen TV mit eingebauten "De-Interlacern" zu Vollbildern interpolieren.

Das kommende HDTV wird die Bildsignale in zwei Varianten anbieten: Variante 720p = 720 Zeilen progressive scan und Variante 1080i = 1080 Zeilen interlaced scan.

Hochzeitliche TV-fähige Rasterbildgeräte haben Elektronikschaltungen zur (eigentlich nutzlosen) Zeilenvermehrung = "Scaler" an Bord, die die normalen 625 TV Zeilen (davon nur 576 sichtbar) an ihre hohe Zeilenzahl anpassen.

Shadow Mask Color CRT

Von diesem Typ sind die modernen farbfähigen Zeilen-CRTs. Sie besitzen 3 Elektronenkanonen = 3 Kathoden + 3 Wehneltzylinder + 3 Elektronenoptiken + 3 Anoden in Form eines gleichseitigen Dreiecks, eine Lochmaske und eine Frontglas-Phosphor-Beschichtung in Form eines Pflasters aus rot, grün und blau leuchtenden Phosphorpunkten = Triplets. Die Anordnung ist hochpräzise so justiert, dass die Kanone R nur rote Phosphorpunkte sieht, die Kanone G nur grüne und die Kanone B nur blaue. Die Geometrie der drei Kanonen, der Lochmaske und des Phosphorpflasters verlangt außerordentliche Präzision, sonst entstehen Farbfehler = Konvergenzfehler. Dieser Zwang zur Hochpräzision macht die Fertigung kompliziert und teuer.



Die Zeilensteuerung HSync und die Bildwechselsteuerung VSync nimmt keine Rücksicht auf das Vorhandensein der Lochmaske. Der Strahlweg ist identisch wie bei den einfarbigen CRTs. Man muss sich vorstellen, dass die Lochmaske eine undurchsichtige aber durchlöchernde dünne Wand darstellt. Auf die Rückseite dieser Wand schreiben alle drei Strahlen je ein vollständiges Bild. Jedes der drei vollständigen Bilder wird jedoch zu zwei Dritteln vernichtet, weil die Wand nur punktwise den Durchblick frei gibt. Aus Sicht jeder Kanone gibt die Wand nur den Blick auf einen Typ von Pflastersteinen frei. Die Lochmaske fokussiert nichts, sie ist eine millionenfache rein passive Blende.

Lochmasken blenden mindestens zwei Drittel der von den drei Kanonen emittierten Energie aus. Sie heizen sich enorm auf, dürfen sich dabei aber mechanisch nicht deformieren.

Die Löcher der Maske sind nur in Bildschirmmitte rund. Am Rand werden sie zunehmend elliptisch und in den Ecken komplex bananenförmig.

Kennzahlen einer Shadow Mask Color CRT

Mechanische Eigenschaften:

a) Bedeutendster Kostenfaktor ist die Diagonale des Schirms gemessen in Zoll (normal zwischen 14 und 22). Faustregel: Jedes Zoll erhöht den Preis um 50 %.

b) mittlerer Lochabstand in der Lochmaske (= Dot Pitch = Pitch Size). Kleiner Dot Pitch bedeutet mechanische Qualität = hohe Dichte an Löchern und damit an Phosphortripeln (normal zwischen 0,14 und 0,28 mm). Schlechter = hoher Dot Pitch limitiert grundsätzlich die Ortsauflösung der CRT. Mit keinem Trick lässt sich dieses Limit anheben.

Kleine CRTs benötigen und haben normalerweise einen niedrigeren Dot Pitch als große CRTs.

Elektrische Eigenschaften:

a) Zentrale elektrische Kennzahl ist die maximal einstellbare Zeilenfrequenz = Horizontalfrequenz = Anzahl der Zeilen / sec = Bildwiederholfrequenz * Zeilenzahl * 1,1 (normal 50 bis 110 kHz, 1,1 = pauschaler Faktor für unsichtbare Bildteile). Sie limitiert sowohl die Orts- wie die Zeitauflösung, welche bei MultiSync-CRTs gegeneinander austauschbar sind. Hohe Zeilenzahl erzwingt niedere Bildwiederholfrequenz = Refresh, hoher Refresh erzwingt niedere Zeilenzahl. Vorsicht vor unseriöser und irreführender Werbung ohne Angabe der Zeilenfrequenz aber mit hohem Refresh und hoher Zeilenzahl, die man nicht gleichzeitig einstellen kann.

b) Bandbreite = Band Width = Zeilenfrequenz * Anzahl der Pixel in einer Zeile (normal 10 bis 120 MHz). Bei niedriger Bandbreite verschmieren Farbwerte zwischen horizontal benachbarten Pixeln.

Beispiel 1: für eine SVGA-Auflösung von 800*600 bei 72 Bildern/sec (Vertikalfrequenz = 72 Hz) muß der Monitor eine Horizontalfrequenz von mindestens $600 * 72 = 42,2$ kHz aufweisen.

Beispiel 2: für eine Auflösung von 1280*1024 bei 76 Bildern/sec (Vertikalfrequenz = 76 Hz) muß der Monitor eine Horizontalfrequenz von mindestens $1024 * 76 = 77,82$ kHz aufweisen.

Beispiel 3: Ein 19-Zoll-Monitor soll 80 Hz Refresh und 1200 Zeilen anzeigen.

mindestens erforderliche Zeilenfrequenz = $80 * 1200 * 1,1 = 105$ KHz.

Zeilenhöhe in mm = $(19 * 25,6) / (\text{Wurzel}2 * 1200) = 0,287$ mm.

maximal erlaubter Dot Pitch = Zeilenhöhe / 2 = 0,143 mm.

Wahl der Zeilenzahl bei festem Dot Pitch

Der Dot Pitch eines Monitors ist unveränderlich, seine Zeilenzahl ist aber normalerweise variierbar zwischen 600 und 1600 Zeilen. Sinnvoll ist jedoch nur eine Zeilenzahl, wo eine Zeile etwa doppelt so hoch ist wie der Dot Pitch. Nur diese Einstellung stellt sicher, dass keine folgender unsinniger Situationen auftreten kann:

a) Es gibt zu viele Zeilen, d.h. eine Zeile ist so flach, dass sie zwischen die Löcher gerät und damit vom Schirm verschwindet.

Diese Situation tritt auf, wenn man einen billigen Monitor mit zu vielen Zeilen überfordert.

b) Es gibt zu viele Löcher, d.h. eine Zeile ist so dick, dass sie zwei oder mehr Lochreihen abdeckt. Das ist Geldverschwendung.

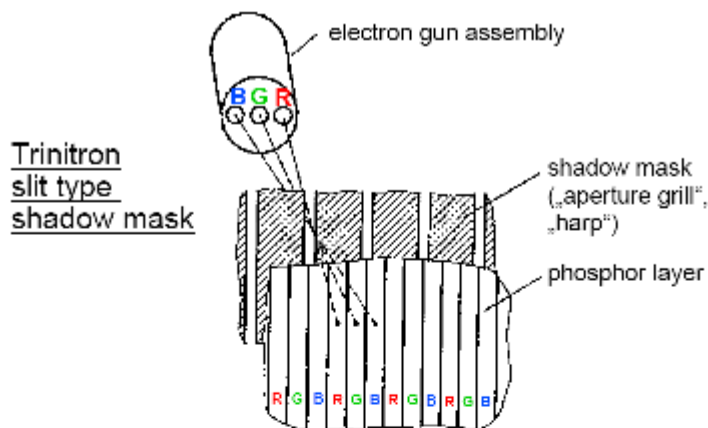
Diese Situation tritt auf, wenn man einen teuren Monitor mit zu wenig Zeilen unterfordert (z.B. durch TV- oder Video-Signale).

Streifen- und Schlitzmasken

Streifenmasken ersetzen das Blech der Lochmaske durch ein Gitter mit vielen senkrechten Drähten (oder Stäben) = aperture grill = harp, die durch zwei horizontale Drähte oder Stäbe in Form und Distanz gehalten werden. Beispiel: Sony Trinitron-Röhren.

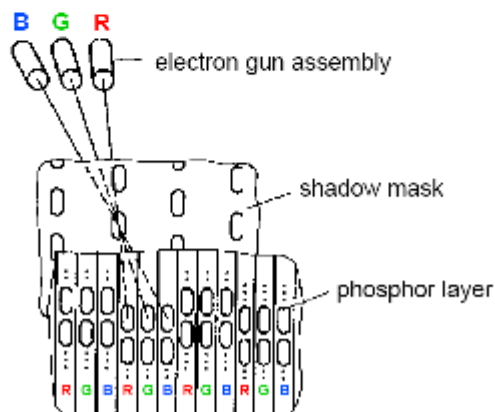
Vorteile: a) Es entsteht mehr Platz für den Durchtritt der 3 Elektronenstrahlen, das Bild wird heller. b) die 3 Elektronenkanonen können in einer Ebene angeordnet werden, was einfacher ist, als die im gleichseitigen Dreieck.

Nachteile: a) Phosphorschicht in senkrechten farbigen Streifen anstatt in feinen Triplets b) die zwei waagerechten Versteifungsdrähte sind als Schatten sichtbar.



Streifenmaske vom Typ Sony Trinitron:
Elektronenkanonen in einer waagrechten Ebene
harfenförmiges Drahtgitter
Phosphor in senkrechten Streifen

Slot type shadow mask



Schlitzmasken sind ein Kompromiss zwischen Loch- und Streifenmasken:
Elektronenkanonen in einer waagrechten Ebene
Hochtemperaturbeständiges Nickelblech mit geätzten Löchern
Phosphor in senkrechten Streifen