

„Das Beste aus 2 Welten“  
Einige Gedanken zur analogen und digitalen Oszilloskopie

Feldhaar 020308

#### Geräte

- analog
- DSO
- DPO
- FFT-Analysator
- Mixed-Signal Oszilloskope

#### Themen

- Bandwidth
- Nyquist
- GSps
- Samplingmodes Random/Equivalent/Real
- Quantisierung
- Pixelisierung
- Rauschen
- Empfindlichkeit @ full Quantisierung
- Instabilität repetitive sampling
- Aliasing / Undersampling
- Refresh Rate of Screen
- Math functions
- Memory depth
- Interval between Sweeps, minimum time (eq. HO)

Ein Oszilloskop ist ein Meßgerät in der Nachrichtentechnik, daß sich aufgrund seiner Universalität für eine große Anzahl von Aufgabengebieten eignet. Die Gründe hierfür sind vielfältig, zum einen ist es als Einsteigermodell sehr preiswert zu haben, andererseits ist eine Suche nach einem Masseproblem in einem sehr schnellen digitalen System ohne Oszilloskop nicht zu lösen. Es ist das Standardgerät des Servicetechnikers wie auch des Entwicklers von Glasfaser-Informationsübertragungssystemen. Die Preise rangieren hier von wenigen hundert Euro bis zu mehreren hunderttausend Euro.

Die erste Form des Oszilloskops, wie wir es heute kennen, stammt aus den 30-er Jahren des letzten Jahrhunderts, mit einer Bildröhre, einem Vertikalverstärker für das Signal und einer horizontalen Ablenkung, die meist im Gerät zeitkontinuierlich generiert wurde. Eine Triggerung war nicht bei allen Geräten Standard.

Während die ersten Oszilloskope allesamt nur über Einkanal-darstellung verfügten, ist es heute schwer, ein Oszilloskop zu finden mit weniger als 2 Kanälen – mitunter sind es auch 4 Kanäle.

Ein weiterer Umbruch findet in der Art des Aufbaues der Oszilloskope statt. Früher galt die Bildröhre als unersetzlich, heute ist die Bildröhre für manche nur noch ein Relikt aus einer vergangenen Zeit – ein Trugschluß, wie weiter unten zu sehen sein wird!

Heute ist die Mehrzahl der Oszilloskope mit Flüssigkristallbildschirmen ausgestattet, sie heißen LCD (monochrom) und TFT (Farbe).

Ein analog aufgebautes „klassisches“ Oszilloskop ist aber ohne eine konventionelle Bildröhre nicht denkbar, da hier die Ablenkung in vertikaler Richtung direkt mit der verstärkten Eingangsspannung funktioniert, welche direkt auf die Ablenkensysteme in der Bildröhre gekoppelt wird. Bildröhren dieser Art wurden in verschiedenen „Geschwindigkeitsklassen“ hergestellt, die normalen Röhren bringen es auf eine Bandbreite von 200 MHz, mit speziellen

Ablenksystemen, die sich Laufzeiteffekte und Wellenwiderstände zu Nutze machen, sind 1 GHz und mehr zu erreichen. Der Preis solcher Röhren hat sie allerdings immer zu einer Nischenanwendung gemacht. Auf dem Gebrauchtmrkt sind Oszilloskope erhältlich, die mit einer Bildröhre etwa 300 bis 500 MHz Bandbreite besitzen – und heute (als Gebrauchtgerät!) sind sie auch bezahlbar.

Schon vor 50 Jahren kamen die ersten Oszilloskope auf den Markt, die mit Hilfe einer analogen Samplingtechnik weit in den Gigahertzbereich messen konnten, frühe Modelle schafften damals 1 GHz, zehn Jahre später war man jenseits der 12 GHz. Wohlgermerkt: Getriggert und abgetastet, ein stehendes Signal mit einer minimalen Anstiegszeit von 25 Picosekunden. Dieser Wert ist auch heute nichttrivial – nur wenige sehr teure Oszilloskope, die heute erhältlich sind, können eine solche Bandbreite triggern und darstellen. Selbst heute ist ein 12 GHz-Oszilloskop eine sehr teure Sache, die sich für den Privatmann überhaupt nicht anbietet. Nur um Mißverständnisse zu vermeiden: Hier ist die *Bandbreite* gemeint, die das Oszilloskop darstellen kann. Sie reicht definitionsgemäß von Null Hertz bis zu der Frequenz, bei welcher die Darstellung nur noch 70,7 % der Höhe bei DC beträgt (-3dB).

Etwa um das Jahr 1980 herum ermöglichte die aufkommende Digitaltechnik, Oszilloskope mit digitaler Abtastung und digitalem Bildspeicher zu bauen. Diese hatten den Vorteil, auch einmal stattfindende Vorgänge komplett speichern und anzeigen zu können. Dies war mit den herkömmlichen Analogoszilloskopen nicht gut möglich, auch bei Verwendung einer Analogspeicherröhre war das Bild nicht sehr überzeugend.

Einen solchen Modus nennt man *single-shot*. Ein Strahl wird nur einmal ausgelöst, und komplett mitgeschrieben. Analoge Oszilloskope verfügten über einen solchen Modus, dieser wurde zur Fotografie des Schirms benötigt. Normalerweise erscheint der Strahl eines Analogoszilloskops deswegen hell, weil immer neu geschrieben wird – mit einem identischen Signal. Ist es nicht periodisch wiederholend, erhält man einen hellen Bereich auf der Röhre, aber kein scheinbar stehendes, einzelnes Signal.

Für ein Oszilloskop mit digitaler Abtastung und digitaler Anzeige ist jedes Signal ein *single-shot*-Signal, es macht nur viele solcher Aufzeichnungen hintereinander, wenn es normal getriggert wird. Hier ähnelt es dann in der Darstellung dem analogen Oszilloskop – auf die Unterschiede im Einzelnen wird weiter unten eingegangen. Das hier beschriebene Abtasten wird als „Echtzeit-Abtastung“ also „Real-time-sampling“ bezeichnet.

Beim digitalen Speicheroszilloskop ist nicht mehr die Bandbreite ausschlaggebend, mit der das Vertikalsignal auf die Anzeige gegeben wird – sei es Röhre oder Flüssigkristall – sondern die Bandbreite des Signals, bevor es abgetastet wird, sowie auch die Abtastrate. Das Nyquist-Theorem besagt, daß die maximale Frequenz, die noch *eindeutig* dargestellt werden kann gerade so hoch ist wie die halbe Abtastrate. Natürlich kann diese Grenze auch überschritten werden, dann allerdings ändert das abgetastete Signal seine Eigenschaften drastisch: Es wird eine andere Frequenz dargestellt, dies kann sich im Extremfall sogar als einfache Gleichspannung präsentieren. Die Frequenz aus einer sogenannten *Unterabtastung* jenseits des Nyquist-Limits ist stets kleiner als die halbe Abtastrate. Mathematisch betrachtet findet bei der Überabtastung eine Mischung statt, wie sie aus der Hochfrequenztechnik her bekannt ist – dort wird sie in allen gängigen Empfängern eingesetzt. Da das Ergebnis einer Überabtastung nicht die gewünschte Frequenz ist, ist eine Unterabtastung im Oszilloskop zu vermeiden. Eine Unterabtastung kann man auch ganz einfach an heutigen Digitaloszilloskopen beobachten, wenn man beispielsweise ein quarzsynchronisiertes Signal von 10 MHz mit einer Zeitbasisstellung von 1 msec / Div. betrachtet. Die Kurvenform gibt in etwa die Originalform wieder – nur die Frequenz wird nicht korrekt auf die Zeiteinheit abgebildet, sondern ist ein Zufallsprodukt. Es entsteht, weil zu jeden denkbaren Abtastzeitpunkt (einem Teiler von 1 msec) das 10 MHz-Signal sich immer annähernd in demselben Phasenzeitpunkt befindet wie bei der Abtastung vorher – auch wenn seit der letzten Abtastung viele Perioden des Signals verstrichen sind. Kleinste Abweichungen der Frequenzen untereinander werden stark vergrößert zur Anzeige gebracht – ein klassischer Fehler der Signalverformung, der daher auch seinen Namen im englischen Sprachraum verdient: „Aliasing“.

Generell ist es zu bevorzugen, weit unterhalb der Aliasing-Schwelle zu bleiben. Dadurch erhöht sich gleichzeitig die Anzahl der Punkte, die ein Signal nach der Abtastung pro Periode repräsentieren, die Darstellung wird mit mehr Punkten genauer. Allerdings erfordert die Darstellung einer Bandbreite von 50 MHz mit 20 Punkten pro Periode dann schon eine Samplingrate von 1 GHz, also 1 Gigasample pro Sekunde (1 GSPS). In der technischen Umsetzung wäre dies schon mit einigem Aufwand verbunden, auf diese Weise könnte man mit viel Details eine *single-shot*-Aufzeichnung durchführen.

Nicht alle digitalen Oszilloskope gehen mit so aufwendiger Digitalisierung zu Werke: Es sind am Markt – besonders aus Asien – Oszilloskope erhältlich mit 60 MHz Bandbreite und 100 MHz Samplingrate. Dies bedeutet, daß in jedem Fall eine inkorrekte Signaldarstellung zu erwarten ist. Entweder wird schon bei Frequenzen unterhalb von 50 MHz die Bandbreite eingeschränkt, oder ab 50 MHz aufwärts wird ein „gemischtes“ Signal dargestellt, welches die Frequenzdifferenz zwischen 100 MHz und dem Eingangssignal besitzt, für 65 MHz am Eingang würde also eine Frequenz von 35 MHz also scheinbares Eingangssignal auf der Anzeige erscheinen.

Neben dem reinen Abtasten mit einer festen Rate, die über der doppelten Nyquist-Frequenz liegt (*real time*) gibt es noch 2 andere Verfahren, um ein analoges Signal abzutasten, bei diesen Verfahren ist das Verhältnis von Bandbreite und Abtastrate nicht ausschlaggebend. Die Verfahren heißen „Äquivalent-Abtastung“ und „Zufalls-Abtastung“ (engl. equivalent time sampling bzw. random sampling).

Beide Verfahren benötigen eine Triggerung, die die komplette Nutzsinalbandbreite abdeckt, und auch einen Signaleingang im Teilerschalter, der bis zur Samplingstufe die Nutzfrequenzbandbreite besitzt. Desgleichen muß der Teilerschalter auch die Tiefpaßcharakteristik zur Bandbreitenbegrenzung bewerkstelligen, da nach der Samplingstufe dies nicht mehr möglich ist.

Die Äquivalent-Abtastung ist wesentlich älter, sie wurde vor 50 Jahren schon eingesetzt. Sie basiert auf einer Triggerschaltung und 2 unabhängigen Sägezahngeneratoren. Der eine Sägezahngenerator ist langsam, und nicht an einen Zeitmaßstab gebunden: Er bildet lediglich die horizontale Basis des Ablensignals, muß also etwa hundert- bis zehntausendmal pro Sekunde durchlaufen, um ein flackerfreies analoges Bild zu erzeugen. Er wird in kleinen Schritten weitergeschaltet, bzw. *inkrementiert*, jeweils einen Schritt nach einer Abtastung.

Bei jeder Triggerung wird der zweite Sägezahngenerator gestartet, der einen sehr schnellen Sägezahn erzeugt. Dieser Sägezahn bildet die Zeitbasiseinstellung ab, kann also bis 20 Picosekunden pro Zeiteinheit schnell sein, ist also in einem Fünftel einer Milliardstel Sekunde ganz durchgelaufen. Daher ist ersichtlich, daß dieser Generator direkt für die Qualität und Linearität der Abbildung ausschlaggebend ist.

Wenn nun die 2 Momentanspannungen der Generatoren, also die Position auf der Röhre, abgebildet durch den langsamen Generator, und die äquivalente Zeit, abgebildet durch den schnellen Generator, identisch sind, so wird in einer Vergleicherstufe ein Impuls ausgelöst, der abhängig von der jeweiligen Schreibposition und der gewählten Zeitbasisstellung eine gewisse Verzögerung im Verhältnis zum Triggerzeitpunkt hat. Dieser Impuls wird geformt und löst einen einzigen analogen Abtastvorgang aus, der einen einzigen analogen Spannungswert als Ergebnis hat. Dieser Vorgang muß laufend wiederholt werden, um einen Ablenvorgang zu erzeugen, so daß ein stehendes Bild sichtbar ist. Die Wiederholfrequenz ist im Bereich von etwa 100 kHz bis etwa 10 MHz für solche Systeme.

Die Zufalls-Abtastung wurde erst mit der digitalen Bildschirmaufbereitung wirklich sinnvoll. Bei der Zufalls-Abtastung läuft der Zeitstrahl für die Ablenkung unabhängig durch. Die Triggerung muß auch hier wieder mit der vollen Nutzsinalbandbreite arbeiten. Ab Start des Zeitstrahls läuft ein sehr schneller Sägezahn los, der die Zeitäquivalente abbildet, und wird beim Triggerzeitpunkt angehalten und abgetastet. Gleichzeitig wird der Spannungswert abgetastet. So entsteht ein Punkt, der in X- und Y-Richtung bekannte Werte hat. Dieser Punkt wird dann auf dem Bildschirm eingeblendet. Mit der Zufalls-Abtastung wird eine

höhere Abtastrate erreicht als mit der Äquivalent-Abtastung. Die Zufalls-Abtastung bietet sich sehr günstig für digitale Oszilloskope an, da der Bildspeicher ohnehin in ein zweidimensionales Punktraster aufgeteilt ist.

Die Abtastrate ist hierbei nicht mehr vergleichbar mit der Abtastrate in Echtzeit.

Ausschlaggebend für die Präzision der Abbildung der Punkte in horizontaler Richtung ist vor allem die Präzision der Triggerung und ebenso die Präzision der Zeitmeßschaltung mit dem schnellen Sägezahn. Ergibt sich bei einer Abtastrate von 1 MSPS eine zeitliche Unsicherheit von 10 Picosekunden, so ergibt sich bei passender Abbildung auf dem Schirm eine Äquivalentabtastrate von 100 GHz, unabhängig von der dargestellten und abgetasteten Signalbandbreite. Dieser Wert mag sehr hoch erscheinen, doch sollte man sich vor Augen führen, daß bei einer Bandbreite von 100 MHz die Punkte zwar sehr zahlreich sind, aber die Bandbreite trotzdem eingeschränkt ist, also kaum mehr Details sichtbar werden als bei einer analogen Darstellung gleicher Bandbreite. Bei Mehrkanaldarstellung lassen sich lediglich Zeitdifferenzen sehr viel genauer darstellen als bei analoger Oszilloskopie. Im Klartext: Man erhält eine schöne, glatte Kurve – aber auch nicht mehr. Bandbreite kann nicht künstlich erzeugt werden!

Beide Abtastverfahren beruhen auf der Annahme, daß sich wiederholende, also „repetierende“ Signale untersucht werden. Da Instabilitäten der Signale wesentlich gedehnt wiedergegeben werden, ist bei beiden Verfahren ein sehr gut stehendes stationäres Signal zur Messung erforderlich. Einmalig vorkommende Signale oder seltene Aussetzer auf einem sonst repetierenden Signal sind so sehr schwer erkennbar. Beide Verfahren können kein Ersatz für eine *single-shot*-Darstellung sein.

Die Vorteile von Abtastoszilloskop und analoger Bilddarstellung werden in den „Digital-Phosphor-Oszilloskopen“ des Herstellers Tektronix vereint. Hier erfolgt zusätzlich zum digitalen Bildspeicher in X-Y Darstellung eine Aufsummierung in Z-Richtung – also der Häufigkeit, wie oft ein Bildpunkt angesteuert wird. Da die Darstellung auf einem TFT-Schirm der Oberklasse stattfindet, wird die Häufigkeitsinformation als Farbton dargestellt – das kann ein Analogoszilloskop nicht. Das Analogoszilloskop kann nur Helligkeitsunterschiede darstellen.

Diese Geräte zeichnen sich durch einen hochintegrierten Aufbau im Digitalteil aus, der Hersteller läßt sich hierzu eigenes Silizium fertigen – das kann nur ein sehr großer Hersteller. Es gibt nur 2 weltweit – und die lassen sich das geradezu königlich bezahlen!

Bei allen diesen Verfahren gibt es eine Reihe Kenndaten, an denen sich wesentliche Funktionsmerkmale ableiten und berechnen lassen. Dies sind:

- Bandbreite
- Quantisierung
- Bildschirmauflösung
- Rauschen

Die Bandbreite eines digitalen Abtastoszilloskops ist maximal die halbe *single-shot*-Abtastfrequenz. Es gibt Geräte, die heute 20 GHz und mehr erreichen – zu einem entsprechenden Preis!

Bei preiswerten Geräten findet man sehr häufig die Unterscheidung zwischen Abtastrate und Äquivalent-Abtastrate. Die Äquivalent-Abtastrate (equivalent sampling rate) wird in GSPS (GigaSamples Per Second) angegeben, die Roh-Abtastrate (single-shot) meist in MSPS (MegaSamples Per Second), meist im Bereich 40 bis 500 MSPS. In diesem Umfeld tauchen die meisten Unklarheiten bezüglich der nutzbaren Bandbreite auf: Auch teure und gute Oszilloskope haben manchmal Probleme, die volle Bandbreite mit der vollen Auflösung abzubilden, da hier Rauschen und Wandlerfehler deutlich erkennbar sind. Die Lösung: Manche Geräte bilden nicht mehr mit der vollen Bandbreite und / oder der vollen Quantisierung ab in den unteren Amplitudenbereichen. Dies findet man auch bei sehr teuren Oberklasseoszilloskopen führender Hersteller.

Ein solches Verfahren wäre für ein HAMEG-Oszilloskop nicht einmal denkbar! Ein HAMEG-Oszilloskop wird nicht zur Erzielung einer besseren Empfindlichkeit in der Tiefe der Quantisierung zurückgefahren – niemals!

Ein Beispiel hierfür: Ein digitales Oszilloskop hatte bei 20 mV / Div eine Auflösung von 8 bit, bei 10 mV / Div von 7 bit und bei 5 mV / Div von 6 bit, also ist die kleinste Auflösung mit voller Bitbreite 20 mV / Div, und es gibt noch 2 Stellungen mit mehr Empfindlichkeit – die allerdings nicht genutzt werden kann! Hierzu kein Kommentar im Datenblatt. (Ein weltweit führender Hersteller!)

Die nutzbare Signalbandbreite ist verknüpft mit der maximalen Abtastrate, oder der äquivalenten Abtastrate, die ein Oszilloskop darstellen kann. Aus Asien gibt es eine Reihe von Herstellern, die mit einer Bandbreite von 60 MHz und einer Abtastrate von 100 MSPS glaubhaft machen wollen, daß hier ein regelgerechtes Abtasten des Signals stattfindet. Dies kann nicht sein. Entweder ist die Bandbreite vor der Abtastung begrenzt, oder es gibt eine Signalverfälschung durch Aliasing.

Auch ist die Abtastung mit der vollen Quantisierungsbreite nicht über den gesamten Eingangsspannungsbereich gegeben. Der Punkt, ab dem eine gewollte Verminderung der Abtastbreite erfolgt, ist ein sehr gutes Maß für den gesamten Vertikalzweig eines digitalen Oszilloskops!

Insbesondere ist eine sehr hohe Äquivalent-Abtastrate nur mit einer hohen Qualität der Abbildung zu rechtfertigen – dies ist in der Praxis meist nicht zu halten!

Ein weiterer interessanter Aspekt ist die Quantisierung der Abtastung, also die Auflösung in vertikaler Richtung nach der Analog-Digitalwandlerstufe. Als Quasi-Standard hat sich eine Auflösung von 8 Bit durchgesetzt, die mit 28 Werten über und unter dem Schirmbereich eine vertikale Auflösung von 256 Punkten ermöglicht. Auf einer herkömmlichen Bildröhre ergibt sich dadurch üblicherweise ein Punktabstand der Spannungswerte von 0.4 mm, auf einer Röhre ein realistisches Maß bei deutlicher Trennung der einzelnen Niveaus. Die meisten digitalen Oszilloskope verfügen über einen Schirm in VGA-Auflösung, wobei auch nur 200 bzw. 240 Punkte im Rahmen des normalen Rasters abgebildet werden, also 2 Pixel vertikal für einen Abtastwert, insgesamt 240 mögliche Abtastwerte können so angezeigt werden. Bei der digitalen Darstellung ist zusätzlich zu beachten, daß bei jedem einzelnen Pixel mindestens ein halber Pixel an Ungenauigkeit vorhanden ist, zusätzlich einer rechnerischen Verschlechterung durch Wandlerrauschen, was bei kleinen Pegeln und hoher Abtastrate den Quantisierungsfehler geradezu nichtig erscheinen läßt.

Gute Analogoszilloskope erlauben auch Zeitinformation sehr genau von der Röhre abzulesen bzw. zu vergleichen, digitale Oszilloskope mit analoger Röhre besitzen mindestens 1000 Punkte in horizontaler Richtung in der Anzeige (mehr im Speicher zur Signaldehnung!), bis zu 8000 sind es in der Praxis. Hier nimmt sich ein TFT-Schirm mit VGA-Auflösung (640 Punkte) geradezu primitiv aus, und es gibt Hersteller, die einen Viertel-VGA-Schirm (320 Punkte) in Oszilloskope einbauen. Das erinnert doch eher an den Hobby-Umbau eines alten Nintendo Gameboy zu einem digitalen Speicheroszilloskop als an ein „richtiges“ Meßgerät.

Desgleichen sind viele der preiswerteren LCD-Schirme als DSTN ausgeführt, eine Technik die geschmeichelt als „monochrom“ bezeichnet werden könnte. Diese Anzeige ist sehr träge und nicht in der Lage, schnell wechselnde Signale korrekt anzuzeigen. Der Effekt wird schlimmer, wenn das Oszilloskop bei niedrigen Temperaturen betrieben wird. Ein Bildschirmupdate kann so länger als eine Sekunde dauern! Der Ablesewinkel solcher Schirme ist manchmal nur 15° aus der Mitte heraus schon so schlecht, daß ein solches Gerät nie von 2 Personen gleichzeitig benutzt werden kann – in Universitäten und Schulen aber eher der Normalfall. Eine Bildröhre hat einen wesentlich größeren Ablesewinkel, und die Verfärbung eines TFT-Schirms bei Betrachtung von der Seite ist bei der Röhre nicht vorhanden. Durch das Innenraster kann auch bei größeren Ablesewinkeln noch parallaxenfrei abgelesen werden. Daher eignen sich Oszilloskope mit Bildröhre wesentlich besser zur Ausbildung!

Das Eigenrauschen in einem Vertikalverstärker bis zur Wandlerstufe läßt sich nicht beliebig klein gestalten, die Rauschleistung ist direkt der Bandbreite proportional, also die

Rauschspannung der Wurzel der Bandbreite. Darüberhinaus wird das theoretische Mindestmaß an Eigenrauschen noch durch die Anteile der verwendeten Halbleiter und passiven Bauteile angeboben. Auch ein Oszilloskop besitzt – analog zu einem Empfängersystem – eine Rauschzahl.

Sinnvoll messen und Vergleichen kann man ein Oszilloskop nur dann, wenn für den eingestellten Ablenkfaktor des Teilerschalters auch die Signalbandbreite bekannt ist. Manche Hersteller begrenzen für die untersten Bereiche automatisch die Bandbreite, ebenfalls ist bei einigen Geräte eine schaltbare Bandbreitenbegrenzung zuschaltbar – genau aus dem Grund, Rauschen bei Messungen zu vermindern, die nicht die volle Bandbreite benötigen. Der Anteil der künstlich erzeugten Rauschsignale wird stets höher sein als der Anteil des theoretisch vorhandenen thermischen Widerstandsrauschens.

Man kann nach dem Wandlersystem das Rauschen mathematisch durch Mittelwertbildung verringern, dies geht jedoch nicht bei *single-shot*-Messungen. Bei der Mittelwertbildung werden allerdings auch kleine veränderliche Nutzsignalanteile mit unterdrückt, so daß dieses Verfahren nur in Ausnahmen sinnvoll ist, außerdem wird die Meßzeit länger.

Zum Thema Meßzeit noch eine weitere Überlegung: Es gibt Digitaloszilloskope, die sehr schnell eine *single-shot*-Aufnahme machen können, allerdings nur mit Hilfe eines speziellen Schaltkreises, und nach der „Aufnahme“ werden die Daten wesentlich langsamer an die digitale Signalverarbeitung übergeben zur Auswertung und Darstellung. Geht man von einem für analoge Oszilloskope üblichen Wert aus, daß nach einem Strahldurchlauf die minimale Holdoff-Zeit etwa 10% der Sweepzeit beträgt, und in den 2 schnellsten Zeitbasisstellungen etwas ansteigt, so lassen sich in der 20 ns/Div-Stellung theoretisch 5 000 000 Messungen in einer Sekunde durchführen, real sind es folglich 4 500 000 Messungen, die auf der Röhre angezeigt werden in einer Sekunde (passendes Triggersignal vorausgesetzt). Dadurch gibt sich bei Jittervorgängen eine sehr gut abgestufte Helligkeitsdarstellung, die bei nachbeschleunigten Bildröhren auch einzelne „Ausreißer“ noch darstellen kann.

Digitale Oszilloskope haben hier z. T. eine erhebliche Schwachstelle. Manche Geräte begnügen sich mit wenigen Hundert Messungen pro Sekunde unter den o. g. Bedingungen. Auf diese Weise wird Jitter nur in den seltensten Fällen erfaßt und abgebildet werden. Bei solch niedrigen Sweepraten nützt auch ein softwarebasiertes Min-Max-Filter gar nichts. Eine Messung an zeitlich varianten Signalen – eigentlich die Domäne der digitalen Oszilloskope – wird so zum reinen Glücksspiel!

Die „Digital-Phosphor“-Oszilloskope wurden entwickelt, um dem Nutzer bei einer sehr hohen Sweeprate auch mit einem digitalen Oszilloskop ein quasianaloges Arbeitsgefühl zu geben: Die Farbinformation auf dem Schirm gibt die Häufigkeit der Ansteuerung der einzelnen Bildpunkte wieder. Diese Geräte sind allerdings extrem teuer.

Bei preiswerteren Digitaloszilloskopen wird im Datenblatt meist die Angabe der theoretisch möglichen Sweeps pro Sekunde fehlen, immer ein Alarmzeichen. Auch renommierte Hersteller bieten hier teilweise keine gute Leistung.

Das ideale Meßgerät für die hier beschriebenen Meßaufgaben ist ein Oszilloskop, in dem die Analogoszilloskopie mit hoher Bandbreite, hervorragender Triggerung und exzellenter Signaldarstellung auf der Röhre betrieben werden kann. Desweiteren ist eine Umschaltung auf Digitalbetrieb möglich, mit allen beschriebenen Vorzügen der digitalen Signalabtastung auch einmaliger Vorgänge, digitaler Be- und Verarbeitung der abgetasteten Signale mit einer Vielzahl von Funktionen wie z. B. Min/Max-Darstellung, mathematische Funktionen und als Krönung des ganzen sozusagen die Faltung in den Frequenzbereich: Eine FFT ermöglicht die Verwendung des Oszilloskops als Spektrumanalysator.

Hinzu kommt noch die komplette Fernsteuerbarkeit des Gerätes, sowie die einfache Dokumentation der Meßergebnisse mittels Schnittstelle und zusätzlich über die eingebaute USB-Buchse, und es gibt zusätzlich noch 4 digitale Eingänge mit wählbarer Triggerschwelle für alle gängigen Logikfamilien.

Betrachtet man diese Möglichkeiten im Hinblick auf die hervorragenden Ableseeigenschaften einer Bildröhre, so hat man für einen vernünftigen Preis ein vielseitiges, modernes und hochwertiges Meßgerät für fast alle in der Praxis anfallenden Aufgaben.

