

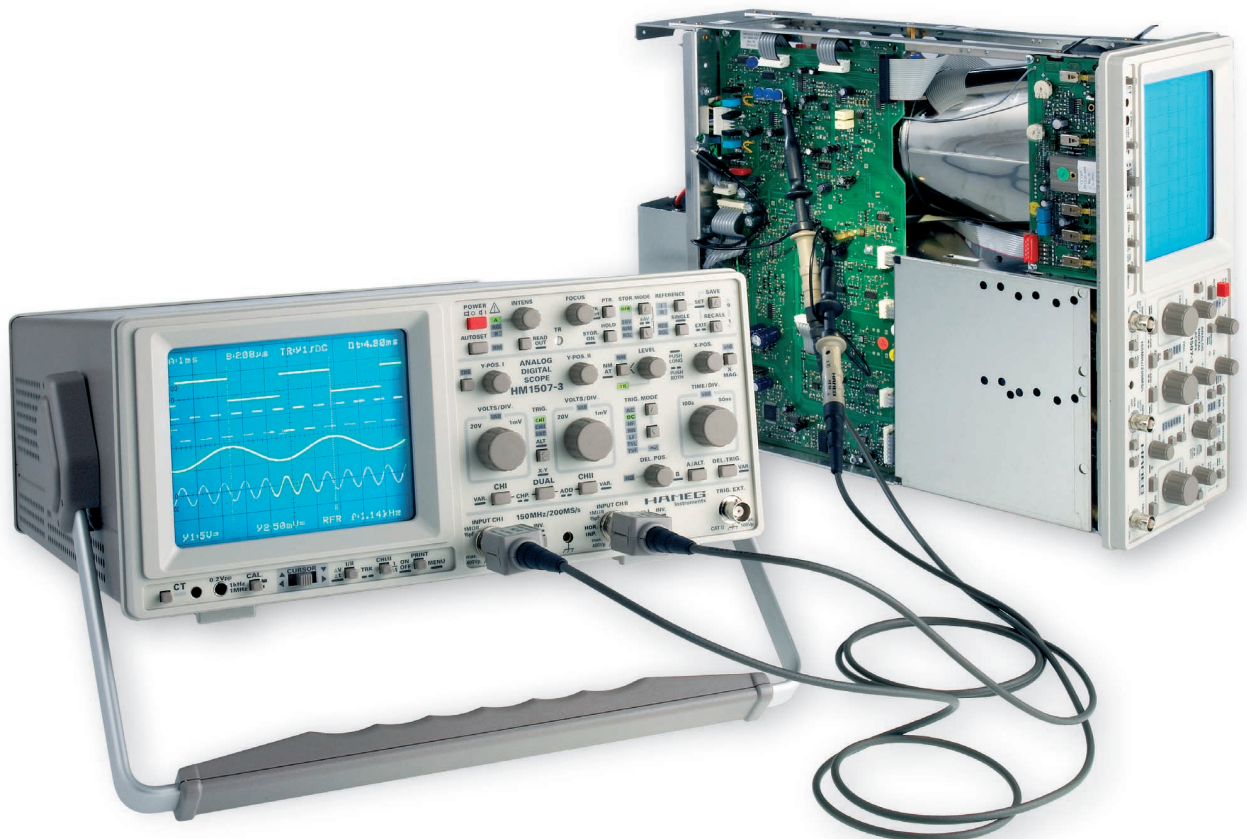
HAMEG Oszilloskope

Oszilloskope sind nicht ersetzbar ...

... nur sie ermöglichen eine ganzheitliche Darstellung des Messsignals.

... nur sie zeigen den zeitlichen Verlauf von Spannungen an.

Die Bedeutung der Signalformdarstellung wird dann klar, wenn man die beiden Alternativen zu Oszilloskopen — Multimeter und Frequenzzähler — betrachtet: Beide bieten zwar eine höhere Messgenauigkeit, doch führt die fehlende Signaldarstellung leicht zu Fehlmessungen.



So kommt es z. B. bei der Spannungsmessung von impulsförmigen Signalen, deren Tastverhältnis nicht exakt 1:1 ist, zu falschen Messergebnissen. Das gilt insbesondere wenn komplexe Signale vorliegen.

Bei Frequenzmessungen gibt es vergleichbare Probleme. Hier werden ideale Sinus-, Dreieck- oder Rechtecksignale vorausgesetzt. Komplexe Signale führen auch hier zu Fehlmessungen.

Ein Beispiel für ein solches Signal ist ein FBAS-Signal. Es enthält 50 Hz Bildsynchronimpulse, 15,625 kHz Zeilensynchronimpulse und den Bildinhalt mit Frequenzen von wenigen Hertz bis ca. 5 MHz.

Wird ein derartiges Signal mit einem Frequenzzähler gemessen, bestimmt die zufällige Wahl des Triggerpunktes, welche Frequenz angezeigt wird. Je nachdem wie der Triggerpunkt gewählt ist, wird die Frequenz der Synchronimpulse oder des Bildinhalts gemessen. Das lässt sich besonders gut mit den Oszilloskopen HM504 und HM507 demonstrieren, denn sie zeigen nicht nur das Signal an, sondern verfügen auch über Frequenzzähler. Die Einstellung des Triggerpunktes erfolgt bei Oszilloskop und Frequenzzähler gleich, nur sieht man den Triggerpunkt beim Zähler nicht.

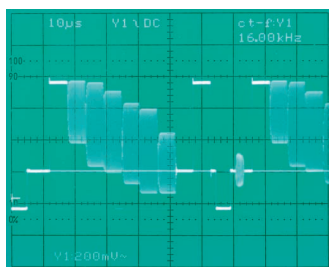


Bild 1: FBAS-Signal (HAMEG Gerät)

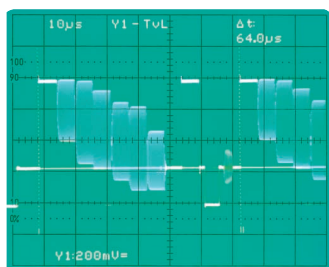


Bild 2: Zeitmessung mit Cursorlinien (HAMEG Gerät)

Bild 1 zeigt ein FBAS-Signal. Wie am linken Rasterrand zu sehen, befindet sich das Triggerpunkt-Symbol auf dem Niveau der Synchronimpulse. Diese Information kann ein Frequenzzähler weder erfassen noch anzeigen, was auch für den im Oszilloskop enthaltenen Frequenzzähler gilt. Das Messergebnis wird mit dem Readout oben rechts angezeigt (16.00 kHz), müsste aber 15.625 kHz (Zeilenfrequenz) betragen. Die Ursache für die Abweichung sind die Vor- und Nachtrabanten der Bildsynchronimpulse sowie der Halbzeilenabstand der Bildsynchronimpulse. Wie in Bild 2 zu sehen, ergibt eine manuell durchgeführte Cursor-Messung einen Zeilenabstand von 64,0µs und damit eine Zeilenfrequenz von 15,625 kHz.

Befindet sich der Triggerpunkt in Höhe des Bild- bzw. Zeileninhalts, sind die Abweichungen noch größer. Je nach Einstellung werden unterschiedliche Messwerte angezeigt. In Bild 3 werden z.B. 1,76 MHz angezeigt,

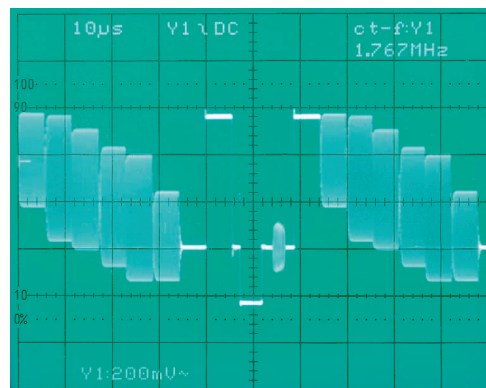


Bild 3: Frequenzzähler zeigt 1,76 MHz an (HAMEG Gerät)

obwohl bei diesem Signal die Frequenz 4,43 MHz dominiert. Ursache ist, dass das 4,43 MHz Farbartsignal – wie zu sehen – nicht konstant vorhanden ist, sondern durch Synchronimpulse und andere Signale unterbrochen wird. Auch hier kann nur die auf der Signalanzeige basierende Cursormessung zum richtigen Ergebnis führen.

Ohne Oszilloskop muss man den Messergebnissen von Multimetern und Frequenzzählern im wahrsten Sinne des Wortes „blind“ vertrauen, was bei komplexen Signalen leicht ins Auge gehen kann. Das betrifft selbst „einfache“ Signale wie ein 50 Hz Netz-Sinussignal, das häufig durch Überlagerungen und durch Phasenanschnittsteuerungen ungewollt zum komplexen Signal mutiert ist.

Die Bedeutung der Signaldarstellung ist also sehr groß und mit ihr die Bedeutung des Oszilloskops.

Was resultiert aus der Bedeutung der Signaldarstellung?

Die Antwort ist einfach: Die Signaldarstellung soll das Messsignal genauso darstellen wie es am Messpunkt vorhanden ist, damit der Informationsgehalt möglichst hoch ist!

Leider ist diese Forderung prinzipiell unerfüllbar, aber die HAMEG Ingenieure bemühen sich, der Erfüllung so nahe wie möglich zu kommen. Dabei gibt es eine Vielzahl von Kriterien, die hier aus Platzgründen nicht alle aufgeführt werden können. Die wichtigsten sind:

Eigenanstiegszeit

Dass bei endlicher Bandbreite auch Messverstärker von HAMEG Oszilloskopen eine Eigenanstiegszeit aufweisen, lässt sich nicht vermeiden. Allerdings kann die Eigenanstiegszeit durch den Kauf eines Oszilloskops mit größerer Bandbreite (= geringerer Anstiegszeit) deutlich reduziert werden, so dass Anstiegszeitmessungen an Messobjekten mit geringer Anstiegszeit genauer werden. Bild 4 zeigt einen derartigen Anwendungsfall.

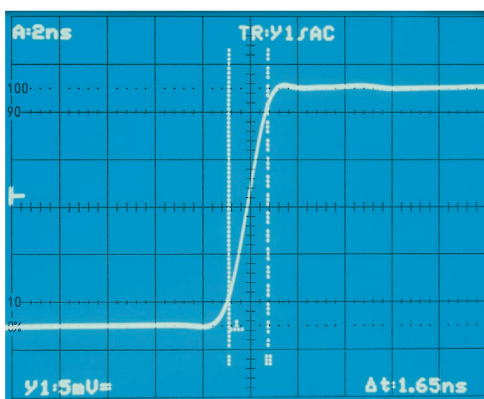


Bild 4: Rechteck mit Eigenanstiegszeit < 1 ns (HAMEG Gerät)

Überschwingen

Ein Beispiel dafür, dass HAMEG Oszilloskope der Forderung nach Signaltreue entsprechen, ist das Rechteckverhalten der Messverstärker. Es wird mit einem Rechtecksignal getestet, das praktisch kein Überschwingen aufweist, obwohl seine Anstiegszeit weniger als 1 ns beträgt.

Wird dieses Rechtecksignal trotzdem mit Überschwingen dargestellt, liegt ein Designfehler des Messverstärkers vor. Bild 5 zeigt die Darstellung eines aus Fernost stammenden Oszilloskops. Mit diesem Gerät hat der

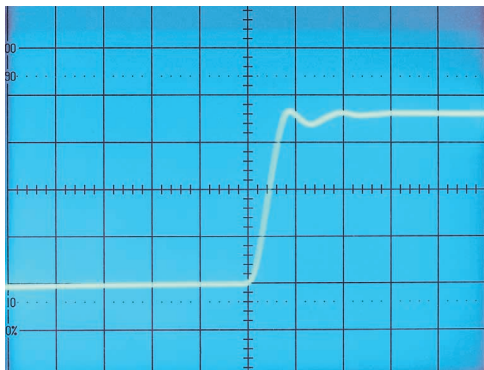


Bild 5: Fremdfabrikat verfälscht Signaldarstellung durch Überschwingen

Anwender keine Möglichkeit, die Qualität eines rechteckförmigen Signals hinsichtlich seines Überschwingens zu überprüfen, denn die Anteile des Signal- und des Oszilloskop-Überschwingens lassen sich bei der Signaldarstellung nicht trennen.

Wie in Bild 6 zu sehen, zeigt ein HAMEG Oszilloskop mit der gleichen Bandbreite das selbe Signal ohne Überschwingen und bietet damit die Basis für eine fundierte Signalbeurteilung: Wird mit dem HAMEG Oszilloskop Überschwingen angezeigt, stammt es nicht vom Oszilloskop.

Jittern

Bild 7 zeigt ein Schirmbildfoto eines Mitbewerbergerätes. Die Breite der Anstiegsflanke zeigt an, dass Jittern vorliegt, obwohl das Signal nicht jittert. Durch das Jittern des Oszilloskops geht die Information über das Jittern der Signalquelle verloren. Die Größe des Jitterns ist aber für viele Anwendungsfälle eine wichtige Information.

Leider ist Jittern unvermeidlich und wird bei Oszilloskopen z.B. durch Rauschen, Triggerkomparatoren und den Zeitbasisgenerator bewirkt. Auch hier kann man nur versuchen, es so gering wie möglich zu halten. Andernfalls sind die vom Signal und die vom Oszilloskop stammenden Anteile nicht auseinander zu halten. Mit Bild 8 wird dokumentiert, dass ein HM2005 das selbe Signal ohne Jittern zeigt.

Rauschen

HAMEG legt großen Wert auf geringes Rauschen der Oszilloskop-Messverstärker. Es genügt schließlich, wenn das Messobjekt rauscht.

Der Einsatz aufwändiger 8 Bit Flash A/D-Wandler in HAMEG Analog-/Digital-Oszilloskopen führt dazu, dass man in den meisten Fällen erst auf das Readout blicken muss, um zu erkennen, ob gerade Digitalbetrieb vorliegt oder nicht. Bei relativ einfachen „Nur-Digital“-Oszilloskopen hat man derartige „Probleme“ nicht, die rauschen – wie Bild 9 zeigt – immer. Bild 10 zeigt die Strahlindiendarstellung eines HAMEG Oszilloskops bei Digitalbetrieb. Rauschen ist fast nicht zu sehen.

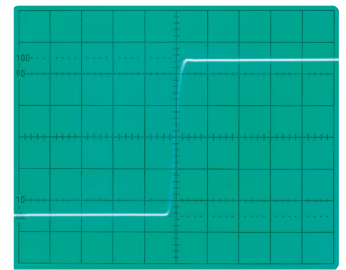


Bild 6: Signaldarstellung mit gutem Messverstärker (HAMEG Gerät)

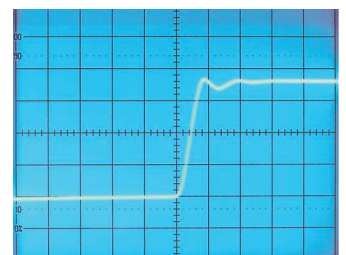


Bild 7: Fremdfabrikat zeigt Anstiegsflanke mit Jitter, ...

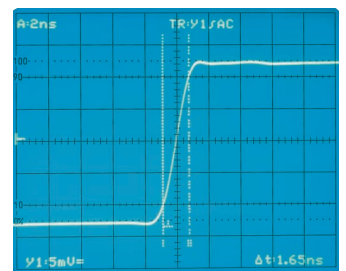


Bild 8: ... obwohl die Anstiegsflanke nicht jittert! (HAMEG Gerät)

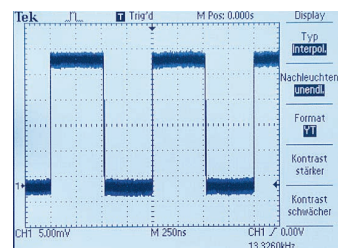


Bild 9: Rauschen eines „Nur-Digital“-Oszilloskop (Fremdfabrikat)

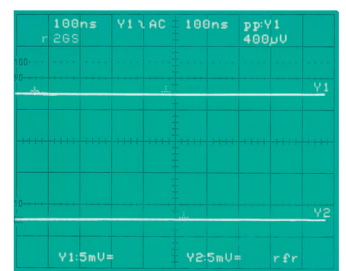


Bild 10: Fast kein Rauschen im Digitalbetrieb (HAMEG Gerät)

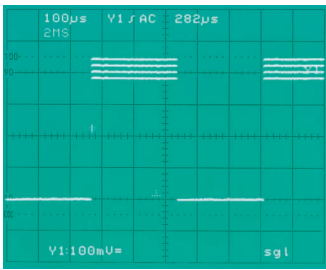


Bild 11: Scheinbar niederfrequente, „springende“ Überlagerung (HAMEG Gerät)

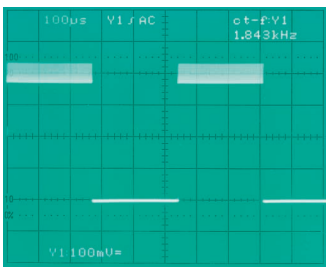


Bild 12: Analogbetrieb offenbart: Die Frequenz der Überlagerung ist hoch (HAMEG Gerät)

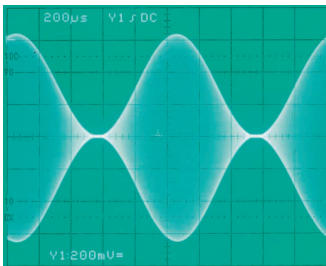


Bild 13: AM mit Modulationsgrad 100% im Analogbetrieb (HAMEG Gerät)

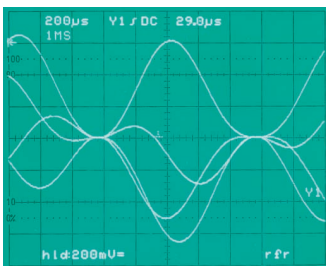


Bild 14: Amplitudenmoduliertes Signal im Digitalbetrieb aufgenommen (HAMEG Gerät)

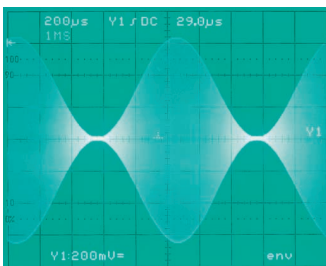


Bild 15: Digitalbetrieb, aber mit Envelope-Erfassung (HAMEG Gerät)

Natürlich kann man Rauschen durch Mittelwertbildung (Average) beseitigen. Allerdings beseitigt man damit auch die Information über das tatsächliche Rauschen der Signalquelle.

Signalerfassungs- und Darstellungshäufigkeit

Ein weiteres Kriterium ist die Häufigkeit, mit der ein Signal erfasst und dargestellt wird. Mit höherer Signalerfassungs- und Darstellungshäufigkeit steigen die Chancen, zusätzliche Informationen zu sehen. Wie viele Signaldarstellungen in der Sekunde möglich sind, hängt von der Signalfrequenz und der Zeitbaseeinstellung des Oszilloskops ab. Im Analogbetrieb können 500.000 bis 2,5 Millionen Signaldarstellungen in der Sekunde erfolgen. Diese Zahl verdeutlicht die Vorteile einer Katodenstrahlröhre. Solche Werte werden weder mit einer Grafikkarte noch mit einem LCD erreicht. Mit geringerer Zahl der Signaldarstellungen pro Sekunde werden Überlagerungen eines Signals im Digitalbetrieb nicht richtig dargestellt (siehe Bild 11). Bild 12 zeigt das selbe Signal im Analogbetrieb und damit die wahren Verhältnisse.

Das nächste Beispiel (Bild 13) zeigt diesen Sachverhalt noch deutlicher: Im Analogbetrieb wird ein amplitudenmoduliertes Signal angezeigt. Der Signaldarstellung lässt sich ohne Mühe entnehmen, dass der Modulationsgrad 100% und die Modulationsfrequenz 1 kHz beträgt. Demgegenüber fällt es im Digitalbetrieb schwer auch nur zu erkennen, dass es sich um ein amplitudenmoduliertes Signal handelt (Bild 14).

Erfolgt die digitale Signalerfassung des AM-Signals im Envelope-Betrieb scheint, wie Bild 15 zeigt, das Problem der Signalerkennbarkeit gelöst. Das gilt aber nur für den Fall, dass sich Modulationsgrad und -frequenz nicht ändern, denn im Envelope-Betrieb wird immer der einmal erfasste Maximalwert angezeigt. Also ist Envelope-Betrieb auch keine Lösung um Modulationsmessungen vorzunehmen.

Die hier beschriebenen Nachteile des Digitalbetriebs treffen auf Mitbewerber zu, deren „Nur-Digital“-Oszilloskope sich nicht auf Analogbetrieb umschalten lassen.

Schärfe und Strahlhelligkeit

Zur Signaldarstellung gehört natürlich auch eine gute Ablesbarkeit, welche eine gute Schärfe und Strahlhelligkeit voraussetzt. Das ist schon heute bei Strahlröhren mit 2.000 Volt Beschleunigungsspannung der Fall, so wie sie im HM303-6, HM504 und HM507 eingesetzt werden.

Die Oszilloskope HM1004-3, HM2005 und HM1507-3 haben noch bessere Eigenschaften, da sie mit Strahlröhren ausgerüstet sind, die mit 2.000 Volt Beschleunigungs- und 12.000 Volt Nachbeschleunigungsspannung arbeiten. Damit steht eine sehr hohe Strahlhelligkeitsreserve zur Verfügung. Sie ist für Oszilloskope mit zweiter Zeitbasis, zur Darstellung stark gedehnter Signalauschnitte besonders wichtig.

Die zweite Zeitbasis eines HM1507-3 steht auch im Digitalbetrieb zur Verfügung und ermöglicht die 200.000fache X-Dehnung eines 10 MHz Sinussignals (siehe Bild 16), das mit der A-Zeitbasis mit 20 ms/cm und

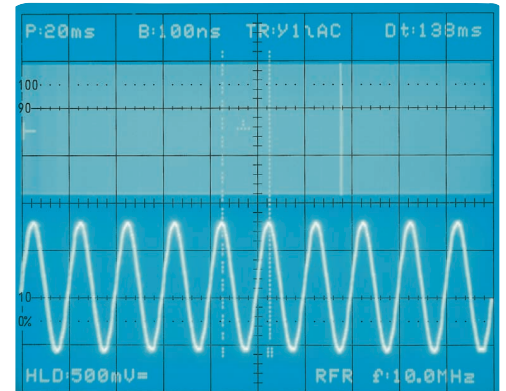


Bild 16: Signal im Helltastsektor 200.000 fach gedehnt

mit der B-Zeitbasis mit 100 ns/cm angezeigt wird. Eine so hohe Dehnung ist nur im Digitalbetrieb sinnvoll durchführbar, da sich dabei – im Gegensatz zum Analogbetrieb – die Strahlhelligkeit mit höherer Dehnung nicht verringert. Mit einem reinen Analog-Oszilloskop wäre unter diesen Bedingungen kaum noch etwas zu sehen.

Auflösung

Die Grenzen der Auflösung sind bei Analog-Oszilloskopen nur durch die Sehschärfe des Betrachters vorgegeben, denn der Elektronenstrahl kann in jede Position des Bild-

schirms abgelenkt werden. Einschränkungen der X- oder Y-Auflösung gibt es folglich nicht.

Demgegenüber ist die Auflösung bei Digital-Oszilloskopen prinzipbedingt begrenzt. Die Y-Auflösung wird durch den 8 Bit Analog/Digital-Wandler bestimmt, der zur Messsignalabtastung benutzt wird. In vertikaler Richtung stehen somit nur 256 Positionen zur Verfügung, 200 Positionen für den vertikalen Gesamt-Messrasterbereich. Das entspricht einer Y-Auflösung von 25 möglichen Signalpositionen pro Raster. Grafik 1 zeigt die Gesamtansicht des 8x10 großen Gesamt-Messrasters und Grafik 2 die Vergrößerung eines Rasters.

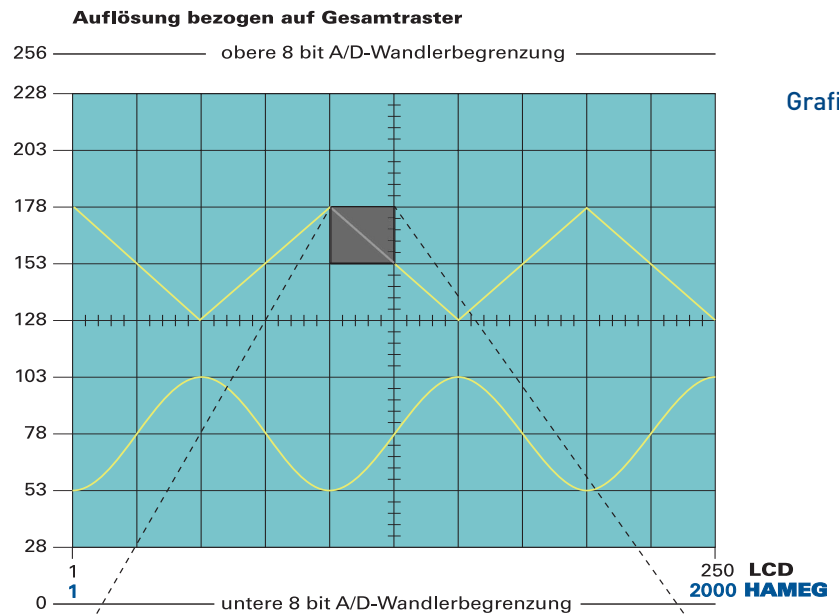
Bei „Nur-Digital“-Oszilloskopen mit LCD ist die X-Auflösung für die Signalanzeige in den meisten Fällen auf 250 Punkte begrenzt. Die Auflösung eines Rasters beträgt dann - wie mit Grafik 2 dargestellt - in X- und Y-Richtung jeweils 25 Abtastpunkte.

Mit 500 Punkten X-Auflösung über 10 Raster ist die Anzeige mit Monitorröhren schon besser (pro Raster 50 Punkte in X- und 25 Punkte in Y-Richtung), erreicht aber immer noch nicht die Auflösung, die HAMEG Oszilloskope im Digitalbetrieb bieten.

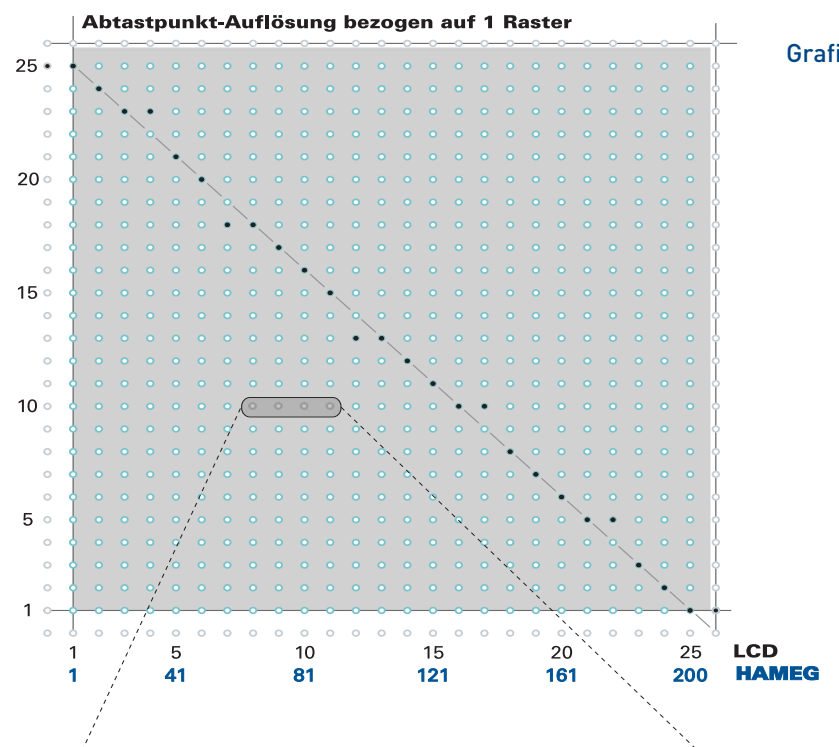
Der Vorteil einer Kathodenstrahlröhre ist, dass sie bei Digitalbetrieb die vollständige Anzeige des gesamten Speicherinhalts von 2.000 Abtastwerten über das Gesamt-Messraster ermöglicht. Die Auflösung pro Raster beträgt somit 200 Punkte in X- und 25 Punkte in Y-Richtung. Wie Grafik 3 zeigt, ist die X-Auflösung gegenüber LC-Anzeigen um den Faktor 8 höher, also muss auch die Abtastrate um diesen Faktor höher sein.

Speicher-, Anzeigeauflösung und Abtastrate

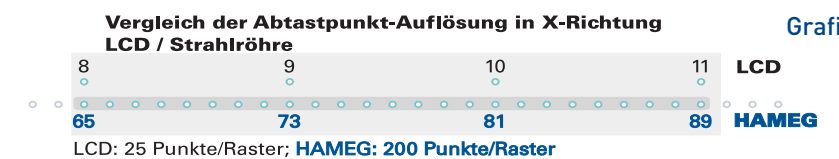
Diese drei Parameter stehen in einem direkten Verhältnis zueinander. Wie unter „Auflösung“ erwähnt, beträgt die Speichertiefe bei HAMEG Analog-/Digital-Oszilloskopen 2.000 Abtastpunkte (pro Kanal), die alle angezeigt werden. Das heißt, dass die Speichertiefe und die Anzeigeauflösung gleich sind. Diese Feststellung ist insofern von Bedeutung, als es auch Mitbewerbergeräte gibt, die eine höhere Zahl von Abtas-



Grafik 1



Grafik 2



Grafik 3

Grafik 1: Gesamt-Messraster

Grafik 2: Ein Messraster mit 25 Y- und 25 X-Abtastpunkten (LCD)

Grafik 3: 8-fach höhere Auflösung = kleinere Abtastlücken

tungen durchführen und speichern, anschließend aber nur jeden 10. Punkt anzeigen. Was sich auf eine Gesamtsignaldarstellung so auswirkt, als sei die Abtastung nur mit einem Zehntel der Abtastrate erfolgt.

Die höhere Auflösung der Anzeige bietet auch den Vorteil, dass die Signalerfassung der HAMEG-Oszilloskope mit einer höheren Abtastrate erfolgen muss. Damit wird die Gefahr von Aliassignal-Darstellungen stark vermindert.

Die Abtastrate, mit der eine Signalerfassung erfolgt, ist beim Digital-Oszilloskop von der gewählten Zeitbasiseinstellung, der Speichertiefe bzw. der Zahl der angezeigten Abtastpunkte (Anzeigtiefe) abhängig. Da die Speichertiefe und die Anzeigtiefe fest vorgegeben sind, ist für den Anwender nur die Zeitbasiseinstellung veränderbar und auch das nur in stark eingeschränktem Maße. Letztlich gibt das Signal die Zeitbasiseinstellung vor, denn zur Signalerkennung ist die Anzeige mindestens einer Signalperiode erforderlich.

Bei einer Speichertiefe von 2.000 Punkten und deren vollständiger Anzeige mit einer Strahlröhre, beträgt die X-Auflösung 200 Punkte pro Raster. Ist die Zeitbasis z.B. auf $10\ \mu\text{s}/\text{cm}$ (pro Raster) eingestellt, heißt das, dass 200 Abtastungen innerhalb von $10\ \mu\text{s}$ erfolgen müssen. Das Abtastintervall beträgt dann $10\ \mu\text{s} : 200 = 50\ \text{ns}$; d.h., das Signal wird in $50\ \text{ns}$ Abständen abgetastet. Somit beträgt die Abtastrate $1/50\ \text{ns} = 20\ \text{MSa/s}$ (20 Millionen Abtastungen (Samples) pro Sekunde). Der eigentliche Abtastvorgang erfolgt innerhalb weniger Pikosekunden. Signaländerungen zwischen 2 Abtastvorgängen werden normalerweise nicht erfasst.

Im Gegensatz dazu, können LC-Anzeigen oft nur 25 Abtastungen pro Raster anzeigen. Liegt wieder $10\ \mu\text{s}/\text{cm}$ als Zeitbasisstellung vor, beträgt das Abtastintervall $10\ \mu\text{s} : 25 = 400\ \text{ns}$. Das was einer Abtastfrequenz von $2,5\ \text{MSa/s}$ entspricht. Eine geringere Anzeigtiefe (Auflösung) bedingt somit eine niedrigere Abtastrate.

Die Auswirkung in der Praxis wird mit dem folgenden Beispiel beschrieben, wobei folgende Fakten zu berücksichtigen sind:

1. Die Periodendauer des Messsignals bestimmt die Zeitbasiseinstellung.
2. Bei der Erfassung sinusförmiger Signale müssen mindestens 10 Abtastungen pro Signalperiode erfolgen, da andernfalls eine Unterscheidung zwischen sinus- und dreieckförmigem Signal nicht möglich ist.

Daraus resultiert, dass die Abtastrate bei der Erfassung eines $5\ \text{MHz}$ Sinussignals $50\ \text{MSa/s}$ (Abtastfrequenz $50\ \text{MHz}$) betragen muss. In den meisten Fällen werden Signale mit relativ niedrigen Wiederholfrequenzen aufgezeichnet, die aber Signalanteile mit viel höheren Frequenzen enthalten.

Ein Beispiel dafür ist ein TV-Videosignal, in dem Signale bis $5\ \text{MHz}$ enthalten sein können, obwohl seine Halbbildfrequenz nur $50\ \text{Hz}$ und seine Zeilenfrequenz nur $15,625\ \text{kHz}$ ($64\ \mu\text{s}$ Periodendauer) beträgt. Um eine vollständige Zeile darzustellen, muss die Zeitbasiseinstellung $10\ \mu\text{s}/\text{cm}$ betragen. Bei einem „Nur-Digital“-Oszilloskop mit LCD, so wie Bild 17 es zeigt beträgt die Abtastfrequenz dann $2,5\ \text{MHz}$. Infolgedessen dürfte

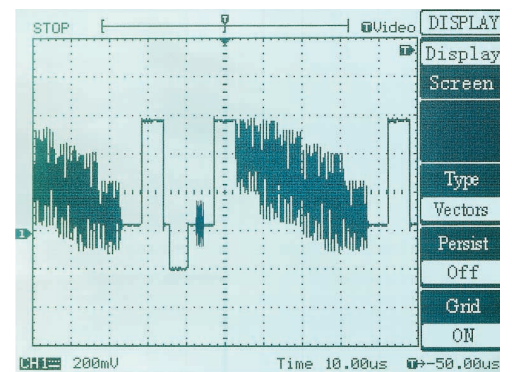


Bild 17: TV-Videosignal mit LCD angezeigt (Vektorgrafik Fremdfabrikat)

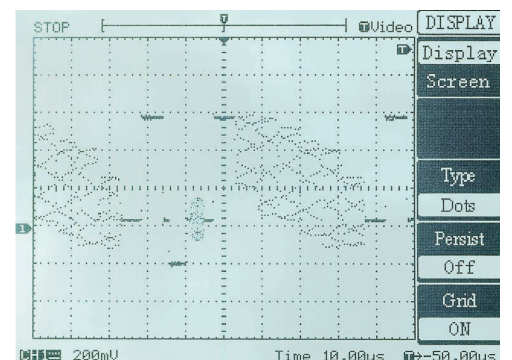


Bild 18: LCD zeigt TV-Videosignal in Punktdarstellung (Fremdfabrikat)

die höchste Signalfrequenz nur 250 kHz betragen. Bild 18 zeigt das selbe Signal in Punktdarstellung.

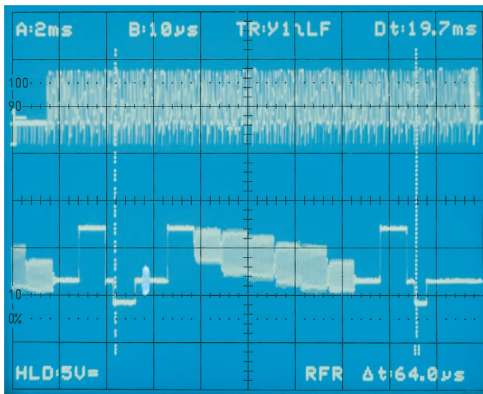


Bild 19: Videosignal mit Strahlröhre angezeigt (HAMEG Gerät)

Beim HAMEG Oszilloskop hat die Auflösung von 200 Abtastpunkten/cm in Verbindung mit 10µs/cm eine Abtastrate von 20 MSa/s zur Folge, mit der immerhin noch 2 MHz mit 10 Punkten pro Signalperiode erfasst werden. Die obere Darstellung (A-Zeitbasis) von Bild 19 zeigt ein Halbbild; die untere Darstellung (B-Zeitbasis) eine Zeile.

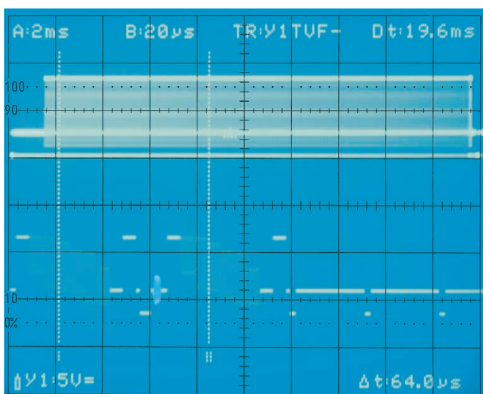


Bild 20: optimale Analogdarstellung eines Videosignals (HAMEG Gerät)

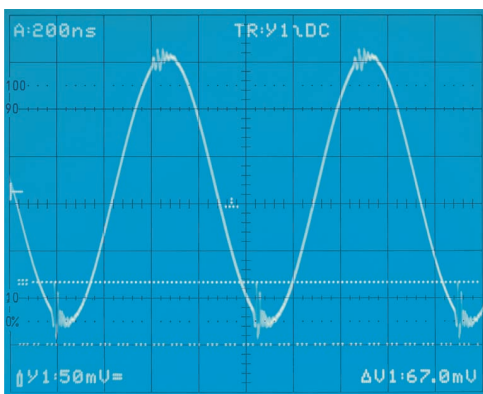


Bild 21: Analogdarstellung überlagerter Störungen (HAMEG Gerät)

Übrigens: Mit dem Umschalten auf Analogbetrieb steht die volle Oszilloskopbandbreite zur Verfügung und damit die optimale Signaldarstellung, natürlich unabhängig von der Zeitbasiseinstellung. Bild 20 beweist es.

Das gilt natürlich nicht nur für Videosignale, sondern auch für andere Signale. Bild 21 zeigt ein mit höherfrequenten Störungen überlagertes Sinussignal, das im Analogbetrieb aufgenommen wurde. Im Bereich des negativen Scheitelwertes beträgt die Amplitude der Störung ca. 67mV_{SS}. Das selbe Signal im Digitalbetrieb aufgenommen, zeigt die Störung mit einer geringeren Amplitude. Im Bereich des positiven Scheitelwertes X sind die Störungen kaum noch wahrnehmbar (Bild 22).

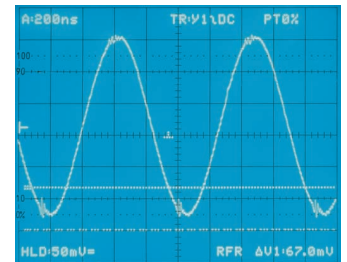


Bild 22: Digitalerfassung führt zu verfälschter Störungsamplitude (HAMEG Gerät)

Zusammenfassung

Die hier angesprochenen Eigenschaften beschreiben nur einen Bruchteil der wichtigsten Qualitätsmerkmale eines Oszilloskops. Gleichzeitig widerlegen sie die Behauptung, dass Analog-Oszilloskope nicht mehr „up to date“ sind.

Natürlich bietet ein Digital-Oszilloskop Vorteile bei der Einzelereigniserfassung, der Aufzeichnung sehr langsam ablaufender Vorgänge und der Signaldokumentation. Die Möglichkeit mit einer 2. Zeitbasis ohne Strahlintensitätsverlust extrem hohe X-Dehnungen zu realisieren sowie die Pre- und Post-Triggerfunktionen des Digital-Oszilloskops sind vielfach unverzichtbare Eigenschaften. Es hat aber auch viele Nachteile bei der Darstellung von sich kontinuierlich wiederholenden Signalen. Diese Nachteile zu beseitigen ist oft unmöglich oder muss sehr teuer bezahlt werden.

Das ist ein Grund warum Analog-Oszilloskope in den meisten Anwendungsfällen die technisch bessere und gleichzeitig ökonomischere Lösung sind. Die Kombination von Analog- und Digital-Oszilloskop – so wie HAMEG sie anbietet – ist nach wie vor das Optimum. Gleichgültig ob ein Analog- oder ein Digital-Oszilloskop für die aktuelle Messaufgabe geeigneter ist: Ein Tastendruck genügt und das Analog-/Digital-Oszilloskop misst mit den Eigenschaften, die gerade benötigt werden.