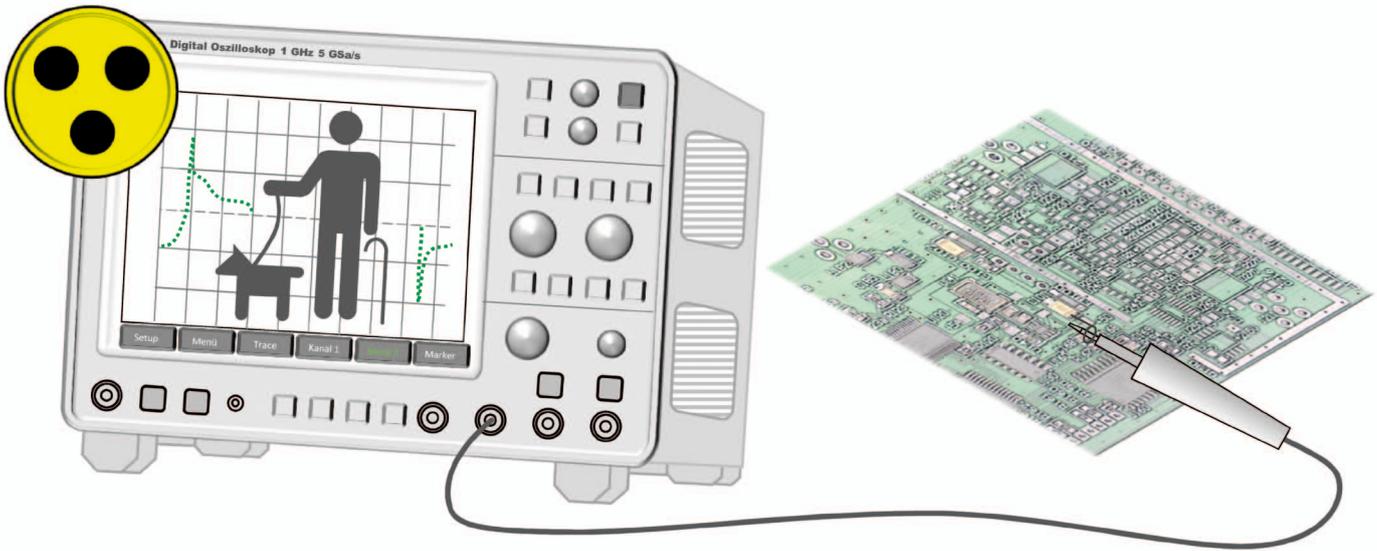


# Die Blindzeit digitaler Oszilloskope



**Oft spricht man von der Achillesferse digitaler Oszilloskope. Gemeint ist damit das Blindzeitverhalten der Geräte. Der Beitrag deckt die Hintergründe zur Blindzeit auf und zeigt, wie das reale Blindzeitverhalten in der Praxis erkannt werden kann.**

Besonders bei Kritikern der digitalen Oszilloskope gilt das Blindzeitverhalten als ein gewichtiges Argument bei bestimmten Aufgabenstellungen auf das alt bewährte analoge Oszilloskop zurückzugreifen.

Ich möchte zunächst kurz aufzeigen – dass das analoge Oszilloskop ebenfalls Blindzeitverhalten aufweist, um anschließend tiefer die Hintergründe der Blindzeit des digitalen Konzepts zu beleuchten.

### Auch das analoge Konzept ist blindzeitbehaftet

Der Zeitverlauf der Horizontalablenkung von Bildröhren analoger Oszilloskope beinhaltet die Phase des Strahlrücklaufs. Wäh-

rend dieses Zeitabschnitts erfolgt eine Dunkelastung des Strahls, in dem nichts gemessen bzw. angezeigt werden kann. Naturgemäß ist dieser Zeitabschnitt sehr kurz. Aber was bedeutet die Aussage „sehr kurz“ in der Praxis? Setzt man die Rücklaufzeit – diese kann rein physikalisch nicht unendlich klein sein – in Bezug zu der vom Benutzer eingestellten Zeit der Horizontalablenkung (Vorlaufzeit), kann mit kleiner werdenden Zeitbasiseinstellung das Verhältnis Vorlauf- zu Rücklaufzeit zunehmend ungünstige Werte annehmen. Treten Ereignisse während der Strahlrücklaufdauer auf, werden diese beim analogen Konzept nicht erfasst.

Angaben zur Strahlrücklaufzeit. Ich habe deshalb die Horizontalablenkung eines analogen Oszilloskops untersucht. Bild 1 zeigt den Verlauf der Sägezahnspannung des Horizontaloszillators eines 100 MHz-Oszilloskops aus den 1980er Jahren eines namhaften Herstellers.

Die Zeitablenkung dieses analogen Oszilloskops wurde zunächst auf 1 ms/Div eingestellt. Wie erwartet, konnte am Ausgang des Horizontaloszillators ein Sägezahn gemessen werden, die fallende Flanke (Strahlrücklauf = Blindzeit) belegt etwa 1/15 der Periodendauer, linker Screenshot.

Im nun folgenden Schritt wurde die Zeitablenkung des analogen Oszilloskops auf die kür-

In den Datenblättern analoger Oszilloskope findet man keine

Autor:  
Joachim Müller

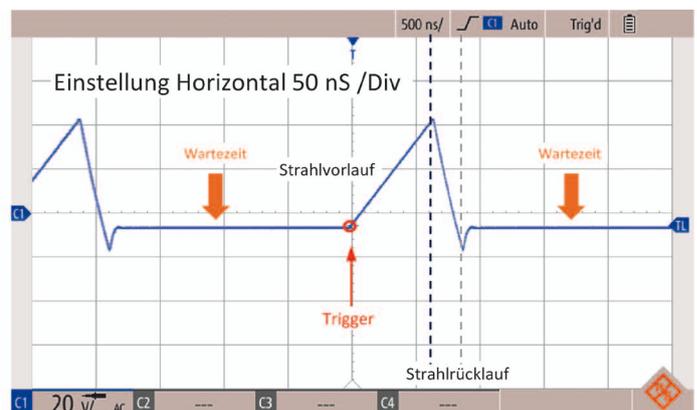
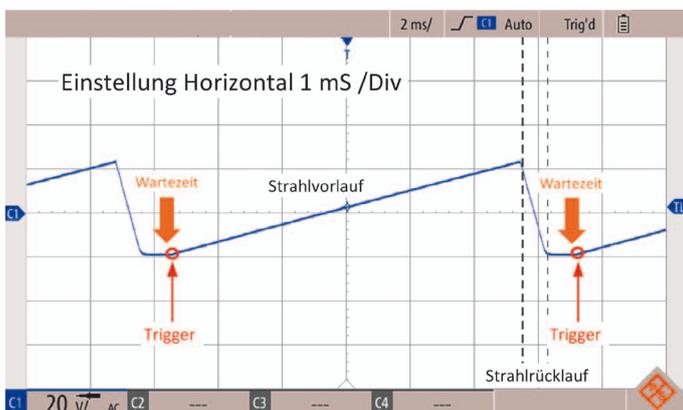
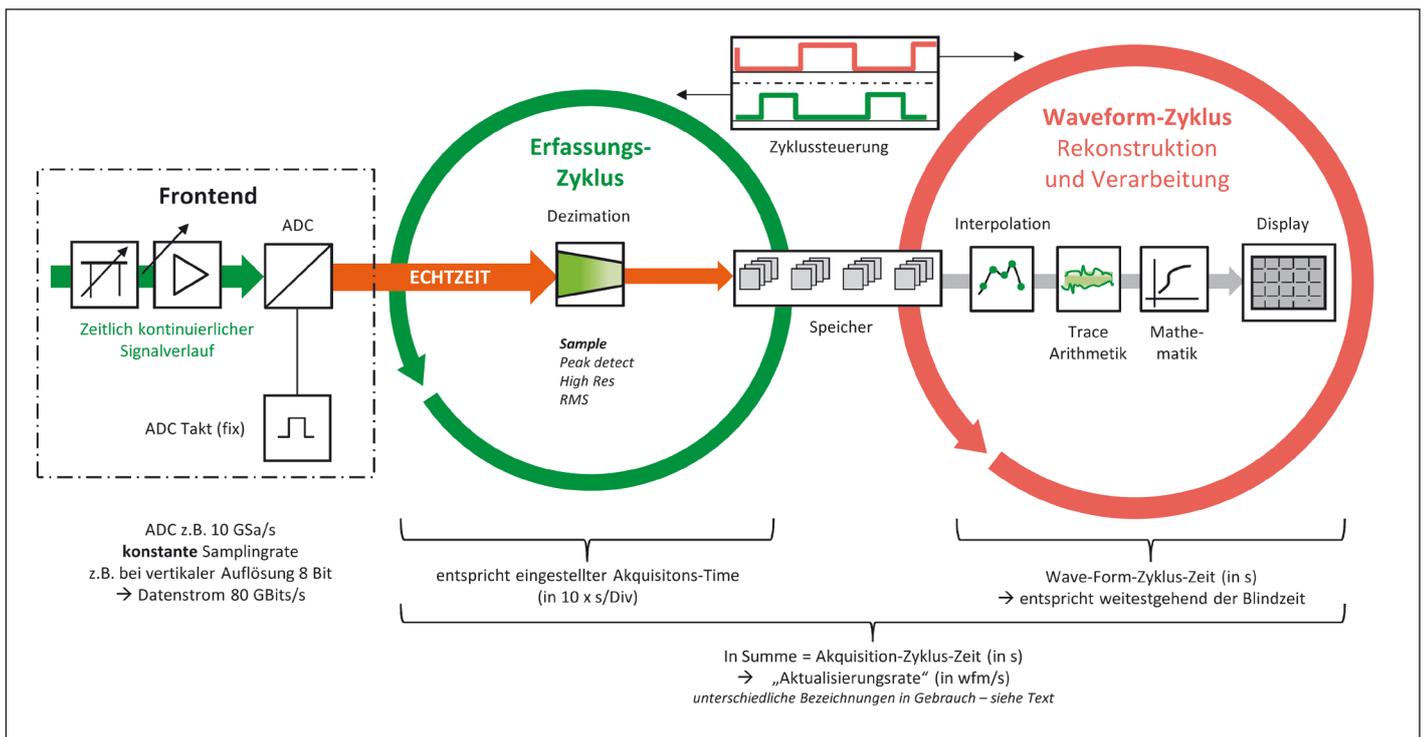


Bild 1: Die Horizontalablenkung eines analogen Oszilloskops in der Realität



**Bild 2:** Die stark vereinfachte interne Struktur des digitalen Konzepts mit den beiden wesentlichen Systemzyklen

zest mögliche Zeiteinstellung geschaltet, im Beispiel 50 ns/Div. Der rechte Screenshot zeigt das Ergebnis der Messung am Horizontaloszillator. Aus dem Sägezahn ist eine Dreiecksspannung geworden, steigende und fallende Flanke stehen jetzt annähernd im Verhältnis 3:1 zueinander was eine deutliche Steigerung des Blindzeitanteils gegenüber der vorigen Einstellung zur Folge hat. Weiterhin fällt eine zusätzliche Zeitspanne auf, die in den Screenshots mit „Wartezeit“ (orange) gekennzeichnet ist. Ein kompletter Strahldurchlauf wird durch den Trigger (rot) ausgelöst. Die Triggerwiederholrate des Systems ist ebenfalls endlich, womit sich zusätzlich ein weiterer Zeitannteil ergibt, in dem nicht gemessen werden kann. Das verdeutlicht, dass auch analoge Geräte nicht blindzeitfrei sind und der Anteil mit Verkürzung der horizontalen Zeiteinstellung stetig wächst. Besonders bei betagteren Geräten dürfte die langsamere Triggerwiederholrate einen maßgeblichen Anteil dazu beitragen. Trotzdem kann das analoge Konzept bzgl. Blindzeitverhalten gegenüber der digitalen Verarbei-

tung punkten. Die Wahrscheinlichkeit, kurzzeitige Ereignisse zu erfassen, liegt deutlich höher, allerdings mit einem entscheidenden Makel: Genauso schnell wie das Ereignis auf dem Bildschirm erscheint ist es auch wieder verschwunden. Das ist ein großer Nachteil. Etwas Abhilfe konnten spezielle Speicherbildröhren schaffen.

Eindeutig überlegen ist hier das gegenwärtige moderne digitale Konzept mit dauerhafter Speicherung und seinen vielseitigen Analyse- und Nachbearbeitungsfunktionen.

### Hintergründe zur Blindzeit digitaler Konzepte

Wenden wir uns nun dem ursprünglichen Themenkomplex zu, dem digitalen Oszilloskop. In der Tat liegt die Blindzeit beim digitalen Konzept in Regionen von 99,99...%. Diese Zahl erschreckt zunächst und erfordert Aufklärung. Beim Kauf bzw. der Beurteilung eines modernen Oszilloskops sind zunächst führende Kriterien die Samplingrate und die Bandbreite bzw. die Eigenanstiegszeit. Ein direktes

Kriterium zum Blindzeitverhalten findet man auf den ersten Blick nicht.

Steigen wir etwas tiefer ins digitale Konzept ein und hinterfragen die Ursache der Blindzeit: Die Verarbeitung ist dort von zwei wesentlichen Zyklen geprägt, Bild 2 gibt einen stark vereinfachten Überblick der internen Architektur.

Das Eingangssignal (zu messendes Signal) gelangt über Verstärker und Attenuator zum ADC, dessen Samplingrate (Takt) in modernen Konzepten konstant ist. Auf den ADC folgt eine Dezimation der Datenflut indem die Samples innerhalb eines definierten Rasters der Zeitachse auf ausgewählte Kriterien wie z.B. Minimum/Maximum bewertet werden. Der so ausgedünnte Datenstrom wird in den Speicher geschrieben. Die Dauer dieser Datenerfassungsphase entspricht der vom Benutzer eingestellten Akquisition-Time, z.B. 10 ns/Div = 100 ns. Während des Erfassungszyklus (grün) werden also real Messdaten erfasst und im Speicher abgelegt (Echtzeitpfad). Liegen die Daten im Speicher, sind sie

quasi Vergangenheit, Prozesse die darauf zugreifen werden dem Nichtechtzeitpfad zugeordnet.

Würde unmittelbar anschließend der nächste Erfassungszyklus starten, dann entspräche das einer lückenlosen (blindzeitfreien) Erfassung.

Das ist jedoch nicht der Fall, denn die im Speicher abgelegten Messdaten müssen unmittelbar wieder sichtbar gemacht werden. Dem Erfassungszyklus schließt sich lückenlos die Verarbeitung an (Waveform-Zyklus). Die im Speicher vorhandenen Daten werden ausgelesen und daraus der ursprüngliche Signalverlauf anhand entsprechender mathematischen Funktionen rekonstruiert und verarbeitet. Erst nach abgeschlossener Rekonstruktion kann ein neuer Erfassungszyklus starten und der Speicher erneut beschrieben werden.

Erfassungszyklus und Waveform-Zyklus werden also wechselseitig angestoßen, sie können nicht parallel ablaufen, das kleine Logikdiagramm im oberen Teil von Bild 2 drückt diesen Sachverhalt aus. Die Dauer des Waveform-Zyklus bestimmt im Wesentlichen die Blindzeit.

Gerätekategorie	Zu erwartende maximale Aktualisierungsraten
<b>Unteres Leistungssegment</b> z.B. einfache PC-USB-Lösungen, älterer Gerätebestand	Oft keine Datenblattangaben 10 -1000 wfm/s
<b>Mittleres Leistungssegment</b> z.B. Standardgeräte für Service, Fertigung, Ausbildung, leistungsfähige PC-USB-Lösungen, Handheld	10.000 – 250.000 wfm/s
<b>Oberes Leistungssegment</b> z.B. Laborgeräte für Service und Entwicklung	100.000 – 1.000.000 wfm/s und höher

**Tabelle 1: Die Sichtung verschiedener Datenblätter in den drei wesentlichen Leistungssegmenten führte zu dieser Zuordnung von Aktualisierungsraten**

Die Laufzeit des Waveform-Zyklus wird entscheidend von der Komplexität des Bearbeitungsprozesses beeinflusst, sie ist nicht konstant und hängt unmittelbar von den gewählten Geräteeinstellungen ab. Der Zyklus gestaltet sich kurz, wenn z.B. lediglich eine einfache Kurvendarstellung auf dem Display gewählt wurde und wird erheblich länger, wenn z.B. eine FFT-Funktion aktiviert wurde.

Außerdem ist die Hardwarebestückung bzw. das Konzept des Nichtezeitpfades an dieser Stelle entscheidend. Kommen hier schnelle DSP-Prozessoren zum Einsatz, beschleunigt das den Waveform-Zyklus entschei-

dend, was sich deutlich verkürzend auf das Blindzeitverhalten auswirkt.

### Blindzeitverhalten als Bewertungskriterium

Samplingrate und Bandbreite wurden bereits als Bewertungskriterien für die Leistung von digitalen Oszilloskopen genannt. Welches weitere Kriterium lässt Rückschlüsse auf das Blindzeitverhalten zu? Aufgrund der komplexen Zusammenhänge und dem Einfluss von Geräteeinstellungen und eventuell aktivierten Funktionen lässt sich ein Parameter in der konkreten Form wie z.B. die Samplingrate kaum festlegen.

Mittlerweile findet man häufig in den Datenblättern einen Parameter, der Rückschlüsse auf die Zykluszeit des Bearbeitungszyklus zulässt. Es existieren unterschiedliche Bezeichnungen:

- Aktualisierungsrate
- Maximale Triggerrate
- Waveform capture rate
- Realtime waveform acquisition rate
- Erfassungsrates
- Fast Acq

Insgesamt lassen die Datenblätter bei der Bezeichnung leider sehr viel Interpretationsspielraum. Ein Anhaltspunkt bietet die angegebene Maßeinheit wie z.B. „waveforms/s“ oder wfm/s. Besonders unglücklich erscheint die Bezeichnung „Erfassungsrates“. Das kann zu falschen Interpretationen führen, denn die reale Erfassung findet im Echtzeitpfad statt.

Der angegebene Wert entspricht der maximal erreichbaren Performance. Werden Auswertefunktionen aktiviert, z.B. höhere Rekordlängen eingestellt, mehrere Kanäle zugeschaltet etc., dann reduziert sich der Wert drastisch. Die eng verbundene Abhängigkeit vom realisierten Hardwarekonzept legt den Schluss nahe, dass sich die Obergrenzen an den verschiedenen

Geräteklassen orientieren. Ein Laborgerät wird naturgemäß performanter sein als ein Handheld, Tabelle 1 gibt einen Überblick.

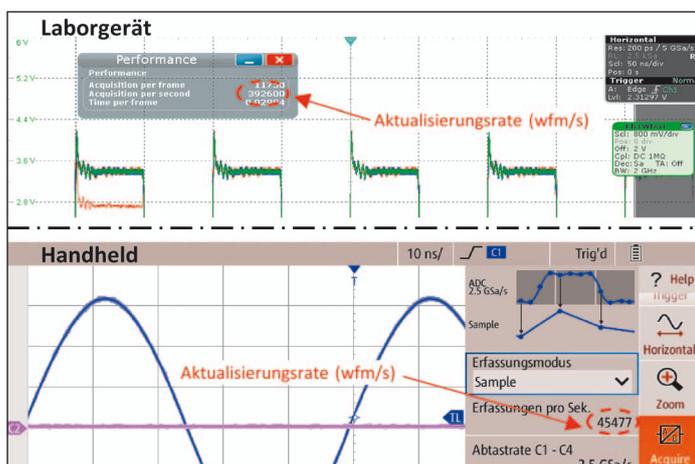
Bei PC-USB-Lösungen ist das realisierte Konzept von entscheidender Bedeutung. Wird der Bearbeitungszyklus exklusiv auf der PC-Hardware bzw. in der installierten Oszilloskopsoftware abgearbeitet, dann trägt die PC-Performance entscheidend zum Blindzeitverhalten bei. Angaben zu Aktualisierungsraten dürften hier kaum aussagekräftig sein. Stellt der PC lediglich die Bedienoberfläche dar, ähnlich dem Remotebetrieb eines Laborgeräts, dann ist die PC-Performance untergeordnet.

Betragte digitale Oszilloskope, also z.B. aus den 1990er Jahren, passen nicht in das dargestellte Schema der Tabelle. In den Datenblättern findet man kaum Angaben zu Aktualisierungsraten. Ihre Performance liegt selbst bei Laborgeräten weit unter der hier angegebenen Klassifizierung, obwohl die Geräte bereits mit Samplingraten im Bereich von mehreren Hundert MSa/s bis 1 GSa/s aufwarten können. Die Weiterentwicklung der schnellen Verarbeitung ist erst in der jüngeren Vergangenheit, durch allgemeine Steigerung der Rechenleistungen der verbauten Chipsätze, vollzogen worden. Diese Tatsache führt speziell beim digitalen Oszilloskop dazu, dass es wenig Sinn macht auf „damals hochwertige“ Geräte am Gebrauchtmärkte (Surplusmarkt) zurückzugreifen. Die gebotene Performance wird heute bereits durchs untere Leistungssegment erreicht oder übertroffen.

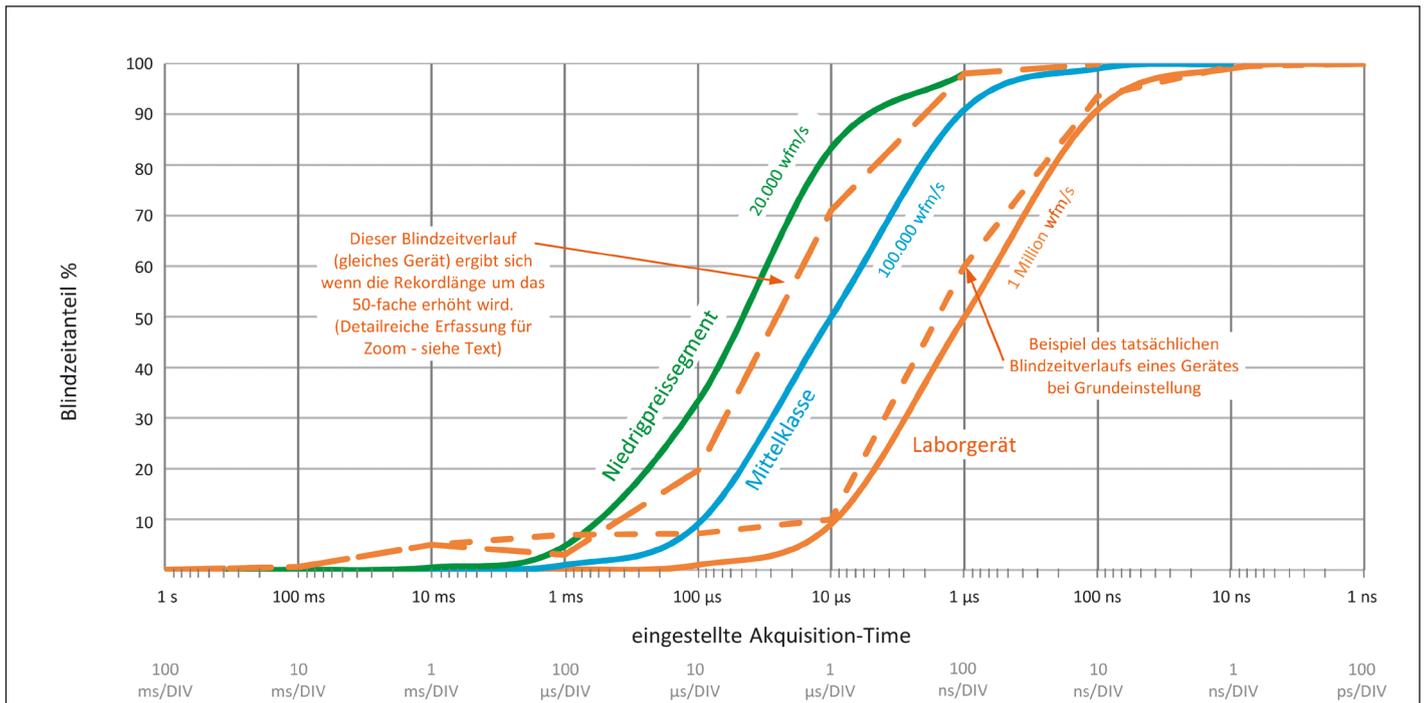
Die Zykluszeit der Verarbeitung bzw. die Angabe der Aktualisierungsrate (wfm/s) führt nicht unmittelbar zum Blindzeitanteil als Prozentangabe. Hierzu ist eine einfache Berechnung anhand der nachfolgend aufgestellten Formeln erforderlich:

$$\text{Blindzeit-Anteil [in \%]} = \frac{\text{Blindzeit}}{(\text{Acquisition_Zykluszeit}) \times 100}$$

$$\text{Blindzeit} = \frac{1}{(\text{Aktualisierungsrate [in wfm/s]})}$$



**Bild 3: Beispiele zur Displayausgabe der Aktualisierungsrate bzw. Performance**



**Bild 4: Die theoretisch erreichbaren Blindzeitanteile aus den Datenblattangaben für maximale Aktualisierungsraten. Es wurden drei Beispielskurven (Volllinien) entsprechend verschiedener Geräteklassen berechnet**

$Akquisition\text{-}Zykluszeit = Akquisition\text{-}Time + Blindzeit$

Mittlerweile geben viele Geräte die aktuelle Aktualisierungsrate aus, zwei Beispiele zeigen Bild 3. Den tatsächlichen Blindzeitanteil in Prozent erhält man allerdings erst durch Umrechnung anhand der angegebenen Formeln.

Außerdem ist die Aktualisierungsrate ohne den Bezug zur eingestellten Akquisition\_Time auf den ersten Blick nicht unbedingt aussagekräftig. Ein einfaches Beispiel: Die Einstellung von 100 ms/Div ergibt eine Akquisition\_Time von 1s. Das Gerät wird hierzu eine Aktualisierungsrate von 1 wfm/s ausgeben. Das ist korrekt, denn mit dieser Einstellung kann gar nicht schneller aktualisiert werden als eine Wavform pro Sekunde. Das zeigt deutlich, der Bezug zur Akquisition\_Time ist für eine richtige Einschätzung der aktuellen Performance und des Blindzeitanteils unbedingt notwendig. Das Diagramm in Bild 4 verdeutlicht die Zusammenhänge.

Die Kurvenverläufe im Diagramm (Volllinien orange, blau,

grün) zeigen die theoretischen Grenzen jeweils zu einer Datenblattangabe auf. Demnach kann ein Laborgerät mit einer spezifizierten Aktualisierungsrate von 1.000.000 wfm/s, bei einer eingestellten Akquisition-Time von 1  $\mu$ s (100 ns/Div), keinen geringeren Blindzeitanteil als 50 % erreichen. Das Zahlenbeispiel ist leicht nachvollziehbar, eingestellte Akquisition-Time und Verarbeitungszyklus sind dort zeitlich gleich lang. Tatsächlich beträgt der Blindzeitanteil bei der gewählten Geräteeinstellung (100 ns/Div) in der Praxis jedoch 60 %, die kurz strichlierte Kurve (orange) zeigt den aus den Displaywerten berechneten Verlauf.

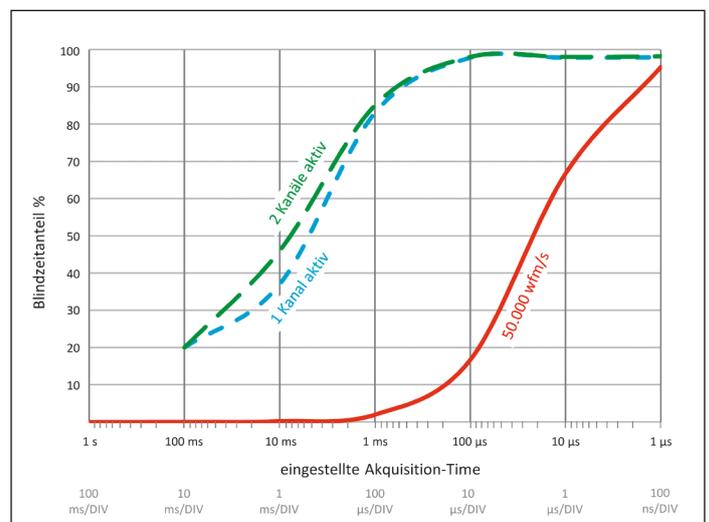
Diese Kurve verläuft relativ dicht am spezifizierten Grenzverlauf. Sie wurde in Gerätegrundstellung aufgenommen, d.h. es sind keine weiteren Verarbeitungsfunktionen aktiv.

Eine weitere Kurve (lang strichliert, orange) zeigt den Verlauf des Blindzeitanteils wenn die Rekordlänge von 1 kSa auf 50 kSa erhöht wird. Das Blindzeitverhalten verändert sich deutlich, denn die Datenflut hat mit der Einstellung zugenommen.

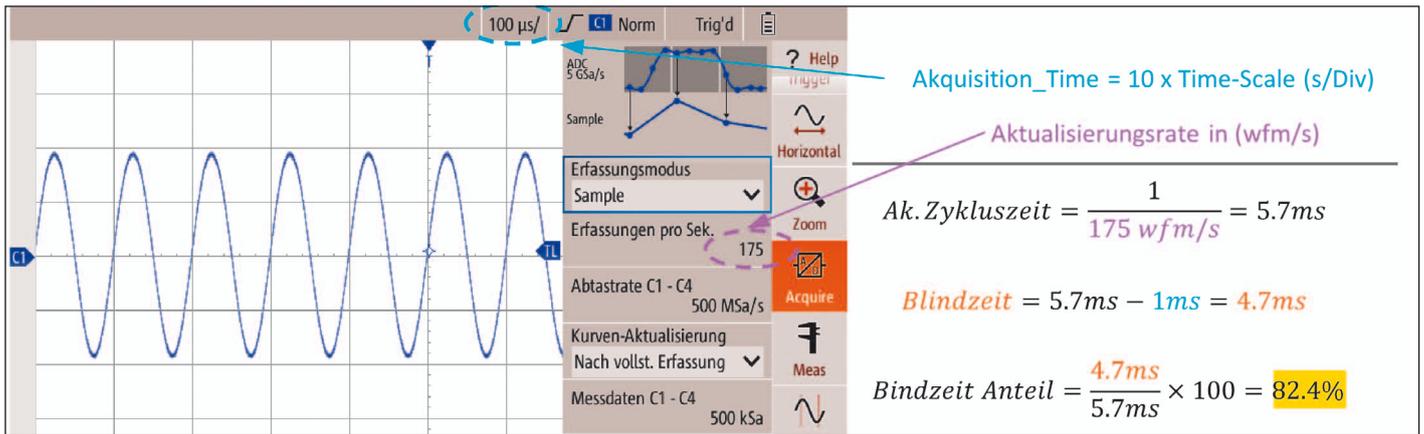
Durch die Steigerung der Rekordlänge und damit letztlich der Auflösung der Zeitachse wird z.B. die Tiefe des Zooms erweitert. Es handelt sich dabei nicht um einen rein grafischen Zoom, die Darstellung beinhaltet reale Datenpunkte zur Auswertung. Das Mehr an Daten fordert Performance, die man mit einer

längeren Verarbeitungszeit und damit Blindzeit erkaufen muss.

Das Diagramm in Bild 5 zeigt das Blindzeitverhalten eines Handheld-Oszilloskops, die Kurven wurden anhand der am Display ausgegebenen Performancewerte ermittelt (blau und grün). Aus dem Datenblatt erfährt man



**Bild 5: Das Blindzeitverhalten eines Handheld-Oszilloskops. Die maximal erreichbare Performance beträgt bei diesem Gerät 50.000 wfm/s (Datenblattangabe). Sie wird innerhalb des ersten Drittels der einstellbaren Spanne des Akquisition-Time-Bereichs erreicht (blau)**



**Bild 6: Der Rechenweg: Von der angezeigten Aktualisierungsrate zum Blindzeitanteil**

die maximale Aktualisierungsrate (rot) mit 50.000 wfms/s. Der Unterschied zu einem Laborgehärt wird deutlich sichtbar, der Spielraum zur maximalen Performance ist wesentlich geringer, was nicht verwundert, denn der Schaltungsaufwand im Handheld wird geringer ausfallen, auch im Hinblick auf geringeren Energiebedarf, um möglichst lange Akkulaufzeiten zu erreichen.

### Ermittlung der Blindzeit im Praxisbetrieb

Diagramme in dieser Form verleihen einen tieferen Eindruck über das Verhalten eines eingesetzten Geräts. Es erscheint daher sinnvoll, sich die Mühe zu machen, die Eigenschaften

eines vorhandenen Geräts im Vorfeld zu ermitteln, um für spätere Messaufgaben die entsprechenden Entscheidungen, einerseits zur Gerätewahl und andererseits zu den Einstellungen, treffen zu können.

Besonders bei Anwendungen, die kritisch bzgl. Blindzeitverhalten sind, macht sich deren spezifische Kenntnis durchaus bezahlt. Der Aufwand zur Ermittlung der in der Praxis zu erwartenden Blindzeit ist gering, im Vergleich zum eventuell langwierigem Suchen nach (Stör)signalen, die aufgrund ungünstig gewählter Geräteeinstellungen so kaum erkannt werden können.

Bild 6 vermittelt die Vorgehensweise zur Ermittlung des

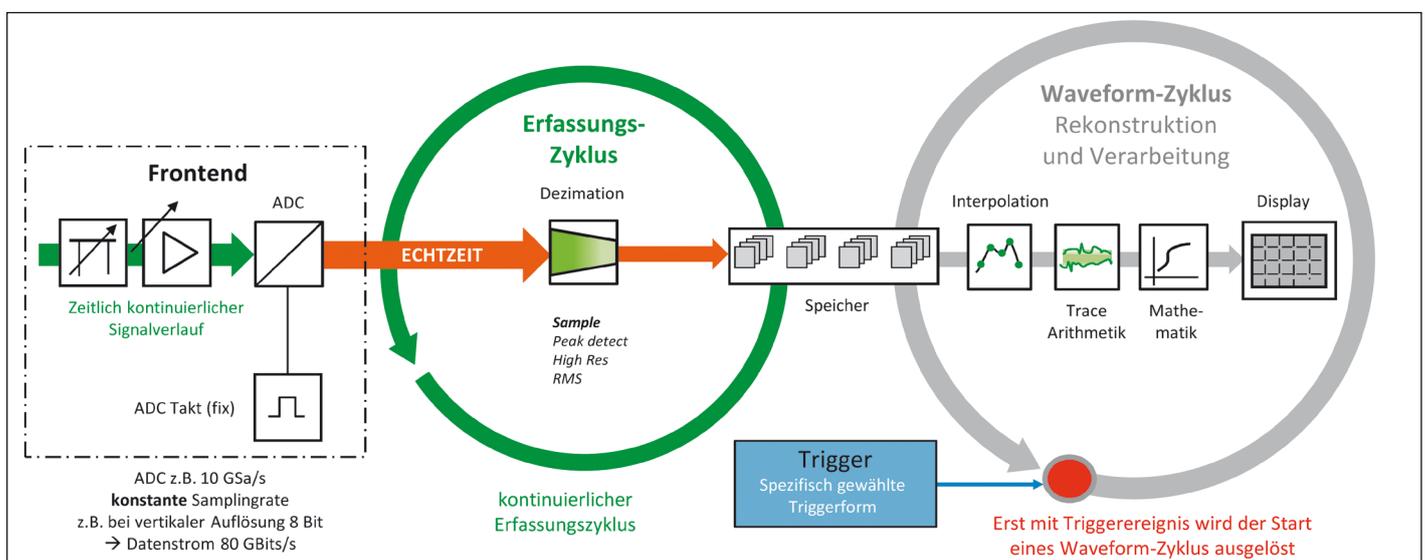
Blindzeitanteils anhand der Displayanzeige zur momentanen Aktualisierungsrate. Für die Untersuchung des Blindzeitverhalten eines Gerätes reicht ein einfacher Signalgenerator.

Wichtige Rahmenbedingung für die korrekt angezeigte Aktualisierungsrate ist, dass am Eingang des Oszilloskops ein Signal anliegt, das einen kontinuierlichen Trigger auslöst bzw. die Triggerbedingung permanent angestoßen wird. Der Triggermodus wird auf „Normal“ eingestellt. Für ein Gerät, das z.B. eine maximale Aktualisierungsrate von 500.000 wfms/s aufweist (Datenblatt), ist ein Signal mit einer Frequenz von mindestens 500 kHz erforderlich. Liegt die

Frequenz zu tief, erhält man u.U. zu geringe Werte der Aktualisierungsrate angezeigt.

Der abgelesene Wert wird entsprechend des aufgezeigten Rechenwegs in Prozentwerte des Blindzeitanteils umgerechnet. Ein im Vorfeld erstelltes Excel-Blatt, in dem die Formeln hinterlegt wurden, erleichtert die Auswertung. Auf diese Weise lassen sich mühelos unter verschiedenen Betriebsbedingungen des Oszilloskops (z.B. aktivierte/deaktivierte Auswertefunktionen) aussagekräftige Kurven zum in der Praxis zu erwartenden Blindzeitverhalten aufnehmen.

Verfügt das Gerät über keine direkte Anzeige der Aktualisierungsrate, kann ein eventuell



**Bild 7: Der Waveform-Zyklus wird nur gestartet „wenn er notwendig ist“. Der Erfassungszyklus kann indessen vergleichsweise fast ohne Blindzeit kontinuierlich laufen**

vorhandener Triggerausgang herangezogen werden. Schließt man dort einen Frequenzzähler an, entspricht die angezeigte Taktfrequenz der momentan wirksamen Aktualisierungsrate.

### Die Praxis: Den Makel hoher Blindzeit umgehen

Ein Blindzeitanteil von 99.9% könnte den Eindruck erwecken, dass digitale Oszilloskope für die Erfassung von sporadischen Ereignissen ungeeignet sind. Das kann man so nicht stehen lassen. Wie lässt sich der Makel der hohen Blindzeit des digitalen Konzepts umgehen? Die Antwort gibt Bild 7.

Die Blindzeit entsteht maßgeblich durch den Verarbeitungs- bzw. Waveform-Zyklus, was

bereits mit Bild 2 nachvollzogen werden kann. Klammert man den Verarbeitungsvorgang aus, bleibt der Erfassungszyklus übrig, der nun kontinuierlich Daten in den Speicher schreibt (grün). Das erfolgt in Form eines Ringpuffers, je nach Speicherausstattung entsprechend zeitlich ausgedehnt.

Die Kunst ist es, den Waveform-Zyklus nur zu starten, wenn man ihn benötigt, d.h. ein interessantes Ereignis auftritt. Hier helfen die vielfältigen Triggerfunktionen digitaler Oszilloskope. Im Bild 7 wurde der Anschlusspunkt der Triggereinheit im Signalpfad bewusst nicht eingezeichnet, es existieren unterschiedliche Konzepte. Von Vorteil ist ein digitales Triggerkonzept, das derzeit nur bei Laborgeräten zu finden ist.

Voraussetzung für die beschriebene Vorgehensweise ist, dass die Art bzw. Form des (Stör)signals, nach dem gesucht wird, einigermaßen bekannt ist. Nur so kann eine geeignete Triggerform ausgewählt werden. Der Trigger erkennt also das gesuchte Ereignis und startet erst jetzt den Waveform-Zyklus.

Auf diese Weise können auch sporadische Ereignisse sicher „eingefangen“ und in Ruhe ausgewertet werden, denn es befindet sich ja im Speicher – dauerhaft im Speicher – ein gewichtiger Pluspunkt gegenüber dem herkömmlichen analogen Konzept. Außerdem lässt sich über eine permanent aktivierte „digitale“ Nachleuchtdauer feststellen, ob das Ereignis mehrfach auftritt. Verfügt das Gerät über die Funktionalität Farbtabelle

im Nachleuchtmodus zu aktivieren, lassen sich wiederholte Signalereignisse nach ihrer Häufigkeit selektiv abbilden.

Welche Triggerform mit ihren spezifischen Parametern nun geeignet ist, ob RUNT, GLITCH, WIDTH, SLEW-RATE, WINDOW usw., das hängt von der gesuchten „Unregelmäßigkeit“ im Signalverlauf ab. Diese Trigger-Eigenschaften darzustellen, würde den Rahmen des Beitrags sprengen.

Umfangreiche Praxisdemonstrationen zum Thema Triggerfunktionen und deren Einsatz sowie weitere Informationen zur Blindzeit und vieles mehr sind im Buch „Digitale Oszilloskope - Der Weg zum professionellen Messen“ auf annähernd 400 Seiten in praxisgerechter Weise zu finden. ◀

## Fachbücher für die Praxis



### Digitale Oszilloskope Der Weg zum professionellen Messen

Joachim Müller  
Format 21 x 28 cm, Broschur, 388 Seiten,  
ISBN 978-3-88976-168-2  
beam-Verlag 2017, 47,90 €

Ein Blick in den Inhalt zeigt, in welcher Breite das Thema behandelt wird:

- Verbindung zum Messobjekt über passive und aktive Messköpfe
- Das Vertikalsystem – Frontend und Analog-Digital-Converter
- Das Horizontalsystem – Sampling und Akquisition
- Trigger-System

- Frequenzanalyse-Funktion – FFT
- Praxis-Demonstrationen: Untersuchung von Taktsignalen, Demonstration Aliasing, Einfluss der Tastkopfimpedanz
- Einstellungen der Dezimation, Rekonstruktion, Interpolation
- Die „Sünden“ beim Masseanschluss
- EMV-Messung an einem Schaltnetzteil
- Messung der Kanalleistung

Weitere Themen für die praktischen Anwendungs-Demos sind u.a.: Abgleich passiver Tastköpfe, Demonstration der Blindzeit, Demonstration FFT, Ratgeber Spektrumdarstellung, Dezimation, Interpolation, Samplerate, Ratgeber: Gekonnt triggern. Im Anhang des Werks findet sich eine umfassende Zusammenstellung der verwendeten Formeln und Diagramme.

Unser gesamtes Buchprogramm finden Sie unter  
[www.beam-verlag.de](http://www.beam-verlag.de)  
oder bestellen Sie über [info@beam-verlag.de](mailto:info@beam-verlag.de)