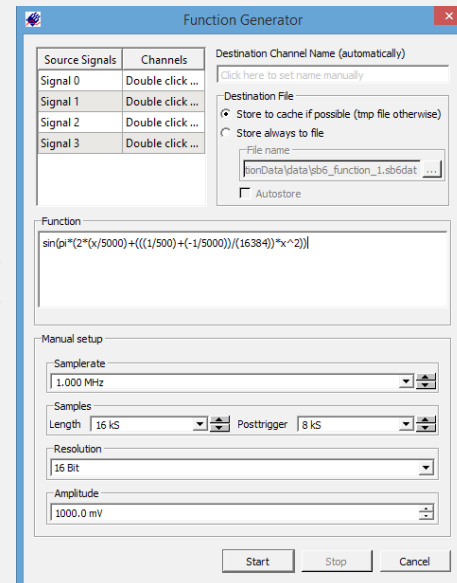


► **Application Note**

## Erzeugen von AWG-Signalen durch Gleichungen in SBench 6

Arbitrary Waveform-Generatoren (AWG) zählen zu den leistungstärksten Signalquellen für Testzwecke. Sie können unterschiedlichste Wellenformen erzeugen, um im Handumdrehen diverse Testereignisse zu realisieren.

Spectrum bietet zwei Baureihen von Arbitrary Waveform-Generatoren. Bei der ersten handelt es sich um die Baureihe M2i.60xx, die Abtastraten von bis zu 125 Megasamples/Sekunde (MS/s) und Signalbandbreiten von bis zu 60 MHz bei einer Amplitudenauflösung von 14 Bit bietet. Bei der zweiten handelt es sich um die neu eingeführte Baureihe M4i.66xx von Arbitrary Waveform-Generatoren, die neue Maßstäbe in puncto Bandbreite, zeitliche Auflösung und Amplitudenauflösung setzen. Die neuen Modelle der Baureihe M4i.66xx bieten einen, zwei und vier Kanäle, wobei über jeden Kanal elektronische Signale mit Abtastraten von bis zu 625 MS/s und 16 Bit vertikaler Auflösung ausgegeben werden können. Diese beiden AWG-Baureihen eignen sich ideal für die Erzeugung niedrig- und hochfrequenter Signale bis zu 200 MHz bei bestmöglicher Präzision und Signaltreue.



SBench 6 Formula Editor

Die ausgeklügelte Software-Anwendung SBench 6 unterstützt alle modularen Digitizern und AWG-Produkte von Spectrum. Für die AWGs bietet die Software SBench 6 einen Editor für die Erzeugung von Wellenformen mithilfe von Gleichungen (Bild 1).

### **Komponenten von Wellenformgleichungen**

Dieser Anwendungshinweis gibt einen Überblick über die Regeln für die Erzeugung von Wellenformen und zeigt einige Beispiele im Detail. Am Anfang steht eine Übersicht über die in SBench 6 zur Verfügung stehenden Elemente zur Erzeugung von Wellenformen.

#### **Konstanten**

Zwei Konstanten sind vordefiniert:

e = eulersche Zahl = 2,7182...

pi = Pi = 3,14159...

Benutzer können ihre eigenen Konstanten mithilfe der Funktion „const“ definieren:  
const Lichtgeschw=299792458;

#### **Kommentare**

Kommentare lassen sich unter Verwendung der Zeichenfolgen /\* und \*/ in die Formel einfügen (Kommentare in einer Form ähnlich der von Kommentaren in der Programmiersprache C).

Leerzeichen, Leerzeilen und Zeilenvorschübe lassen sich in die Struktur der Gleichung einfügen, um die Verständlichkeit zu verbessern.

#### **Quellsignale**

sig0(x) Wert des Quellsignals 0

sig1(x) Wert des Quellsignals 1



## ▶ Application Note

sig2(x) Wert des Quellsignals 2

sig3(x) Wert des Quellsignals 3

### Operatoren

+	Addition
-	Subtraktion
*	Multiplikation
/	Division
%	Modulo
^	Potenz
&	bitweises AND
	bitweises OR
<<	bitweise Verschiebung nach links
>>	bitweise Verschiebung nach rechts

### Funktionen

Alle nachstehend aufgeführten Funktionen erfordern ein Argument. Das Standardargument ist x (aktuelles Sample), das von Null bis [Länge – 1] verläuft. Das Argument kann auch mit einem anderen Ausdruck verändert werden. Dadurch lässt sich die Zeitbasis des resultierenden Signals beeinflussen.

Die bitweisen Funktionen AND, OR und SHIFT lassen sich nur für Signale und für andere bitweise Funktionen nutzen; sie lassen sich nicht für Funktionen nutzen.

### Liste der Funktionen

sin(x)	Sinus
cos(x)	Kosinus
tan(x)	Tangens
asin(x)	Arkussinus
acos(x)	Arkuskosinus
atan(x)	Arkustangens
sinh(x)	Hyperbelsinus
cosh(x)	Hyperbelkosinus
tanh(x)	Hyperbeltangens
ln(x)	Natürlicher Logarithmus
abs(x)	Absolutwert

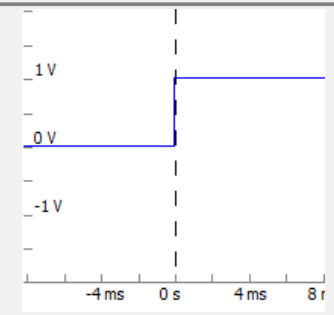
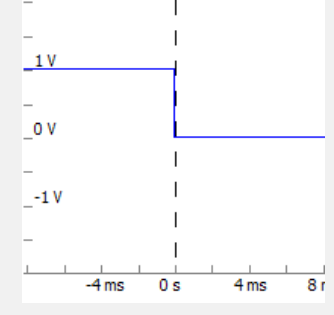
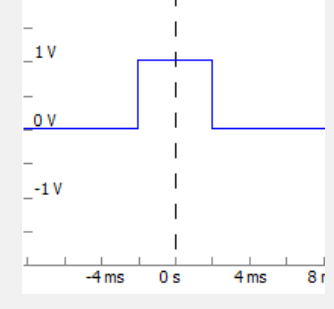
### Konditionale Funktionen

if (x, min, max)	wenn $x \geq \text{min}$ und $x \leq \text{max}$ , dann ist das Ergebnis 1,0, anderenfalls null
sign (x)	-1,0 bei negativem Argument, oder +1,0 bei positivem Argument
tri (x,d)	Dreieck mit d % einer ansteigenden Periode, die andere 100 – d% fallend
rect (x,d)	Rechteck mit d % einer hohen Periode, die andere 100 – d% niedrig

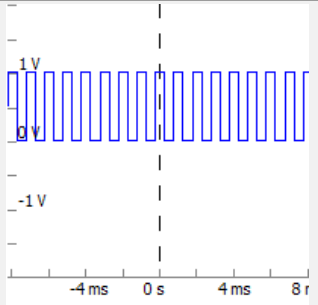
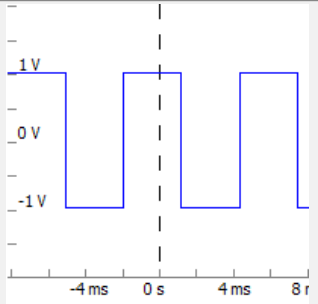
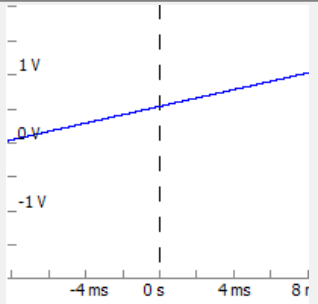
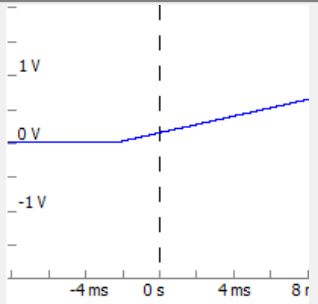
► **Application Note**

## Beispiele für die Erzeugung von Wellenformen in SBench 6 mithilfe von Gleichungen

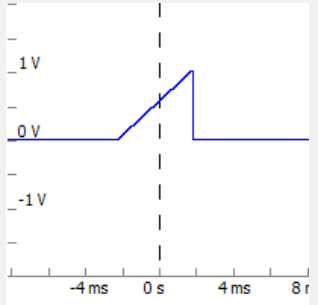
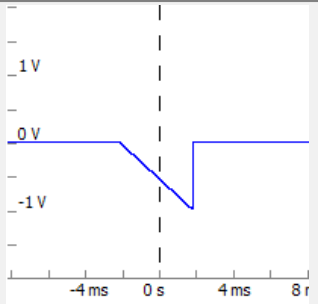
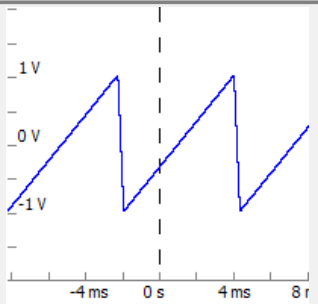
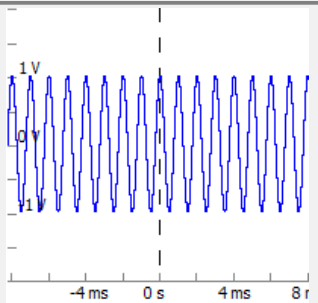
Die nachstehende Tabelle enthält zahlreiche Beispiele für Wellenformen, die mit Gleichungen unter Verwendung der oben aufgeführten Elemente erstellt wurden. Zu beachten ist, dass alle Gleichungen auf der Samplenummer, der durch das Symbol  $x$  repräsentiert wird, basieren. Dies führt zu Gleichungsargumenten, die in Form der Signalperiode ausgedrückt werden, was immer einer ganzzahligen Anzahl an Abtastungen entspricht. Die Zeitachse lässt sich durch Multiplikation des Abtastwerts mit der Abtastperiode bestimmen. Eine Anpassung der Abtastrate des AWG ermöglicht die Erzeugung eines beliebigen Frequenz- oder Zeitintervalls innerhalb der Wellenform-Speicherlänge und der Auflösungsgrenzen der Abtastrate.

Signalform	Allgemeine Gleichung	Beispiel
<b>Positiver Sprung</b>	$I_f(x, X_D, X_{MAX})$ $X_D$ - Position des Sprung in Sample $X_{MAX}$ - Länge des Signals in Sample  <b>Beispiel:</b> $I_f(x, 8192, 16384)$	
<b>Negativer Sprung</b>	$1 - I_f(x, X_0, X_{MAX})$ $X_0$ - Position des Sprungs in Samples $X_{MAX}$ - Länge des Signals in Samples  <b>Beispiel:</b> $1 - I_f(x, 8192, 16384)$	
<b>Positiver Puls</b>	$I_f(x, X_S, X_E)$ $X_S$ - Position der führenden Flanke in Samples $X_E$ - Position der abschließenden Flanke in Samples  <b>Beispiel:</b> $I_f(x, 6192, 10192)$	

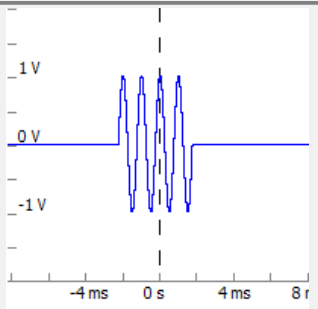
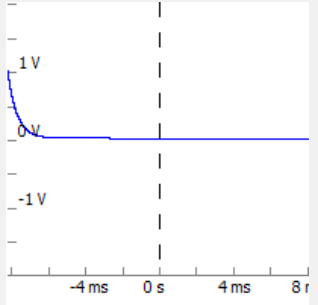
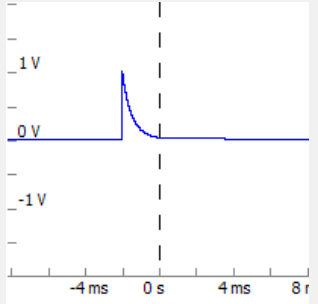
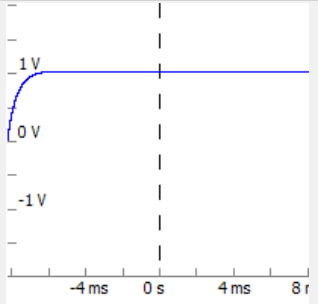
► **Application Note**

Signalform	Allgemeine Gleichung	Beispiel
Rechteck Pulsform	$0.5+0.5 \cdot \text{sign}(\sin(2 \cdot \pi \cdot x / X_p))$ $X_p$ - Länge des Signals in Samples	
	<b>Beispiel:</b> $0.5+0.5 \cdot \text{sign}(\sin(2 \cdot \pi \cdot x / 1000))$	
Bipolare Pulsform	$\text{rect}(x / X_p, d)$ $X_p$ - Länge des Signals in Samples $d$ - Tastverhältnis in Prozent (%)	
	<b>Beispiel:</b> $\text{rect}(x / 1000, 50)$	
Rampe	$x \cdot (DV / DX)$ $DV / DX$ - Steigung der Rampe in Volts/Samples	
	<b>Beispiel:</b> $x \cdot (1 / 16384)$	
Verzögerte Rampe	$(x - X_D) \cdot (DV / DX) \cdot \text{if}(x, X_D, X_{MAX})$ $X_D$ - Verzögerung in Samples $DV / DX$ - Steigung der Rampe in Volts/Samples $X_{MAX}$ - Länge des Signals in Samples	
	<b>Beispiel:</b> $(x - 6192) \cdot (1 / 16384) \cdot \text{if}(x, 6192, 16384)$	

► **Application Note**

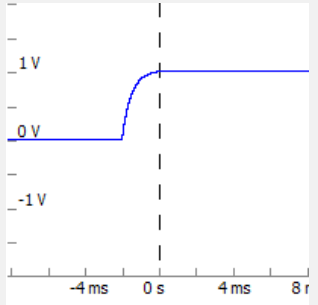
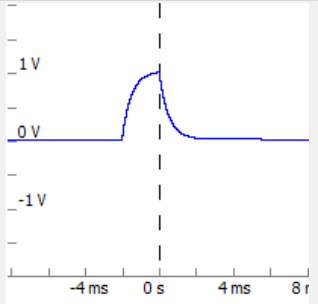
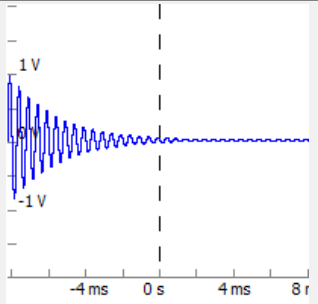
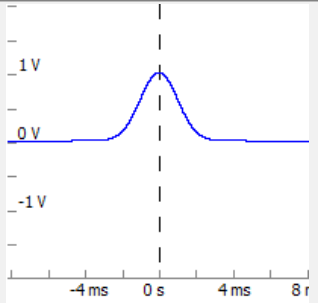
Signalform	Allgemeine Gleichung	Beispiel
<b>Abgeschnittene Rampe (verzögert)</b>	$(x-X_D) * (DV/DX) * \text{if}(x, X_D, X_E)$ $X_D$ – Verzögerung in Samples $DV/DX$ – Steigung der Rampe in Volts/Samples $X_E$ – Position der Endeflanke in Samples  <b>Beispiel:</b> $(x-6000) * (1/4000) * \text{if}(x, 6000, 10000)$	
<b>Negative Rampe (abgeschnitten)</b>	$(x-X_D) * (-1 * DV/DX) * \text{if}(x, X_D, X_E)$ $X_D$ – Verzögerung in Samples $DV/DX$ – Steigung der Rampe in Volts/Samples $X_E$ – Position der Endeflanke in Samples  <b>Beispiel:</b> $(x-6000) * (-1/4000) * \text{if}(x, 6000, 10000)$	
<b>Periodisches Dreieckssignal</b>	$\text{Tri}(x/ X_p, d)$ $X_p$ – Länge des Signals in Samples $d$ – Tastverhältnis in Prozent (%)  <b>Beispiel:</b> $\text{tri}(x/1000, 95)$	
<b>Sinus</b>	$\sin(2 * \pi * x / X_p)$ $X_p$ – Länge des Signals in Samples  <b>Beispiel:</b> $\sin(2 * \pi * x / 1000)$	

► **Application Note**

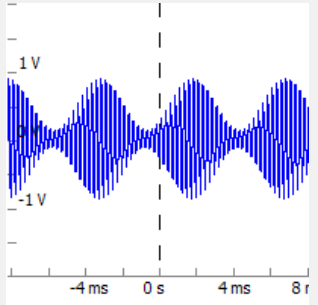
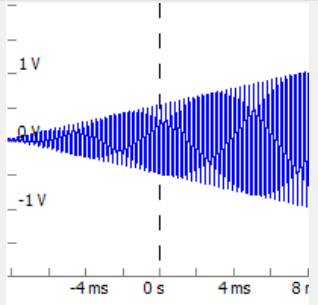
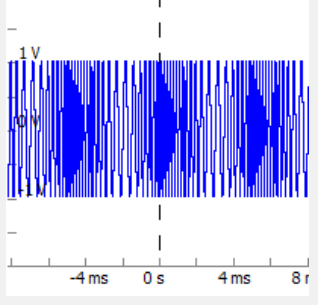
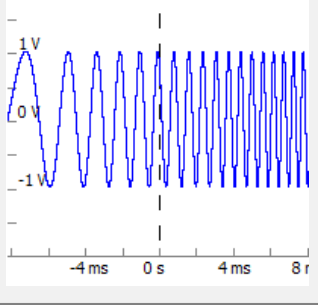
Signalform	Allgemeine Gleichung	Beispiel
<b>Gated Sinus</b>	$\sin(2 \cdot \pi \cdot x / X_p) \cdot \text{if}(x, X_s, X_e)$ $X_p$ - Länge des Signals in Samples $X_s$ - Position des Starts in Samples $X_e$ - Position des Endes in Samples  <b>Beispiel:</b> $\sin(2 \cdot \pi \cdot x / 1000) \cdot \text{if}(x, 6000, 10000)$	
<b>Abnehmende Exponentialfunktion</b>	$e^{-1 \cdot (x/X_t)}$ $X_t$ - Exponentielle Zeitkonstante in Samples  <b>Beispiel:</b> $e^{-1 \cdot (x/500)}$	
<b>Verzögerte Abnehmende Exponentialfunktion</b>	$(e^{-1 \cdot (x - X_D) / X_t}) \cdot \text{if}(x, X_D, X_{MAX})$ $X_D$ - Verzögerung in Samples $X_t$ - Exponentielle Zeitkonstante in Samples $X_{MAX}$ - Länge des Signals in Samples  <b>Beispiel:</b> $(e^{-1 \cdot ((x-6192)/500)}) \cdot \text{if}(x, 6192, 16834)$	
<b>Aufsteigende Exponentialfunktion</b>	$1 - (e^{-1 \cdot (x/X_t)})$ $X_t$ - Exponentielle Zeitkonstante in Samples  <b>Beispiel:</b> $1 - (e^{-1 \cdot (x/500)})$	



► **Application Note**

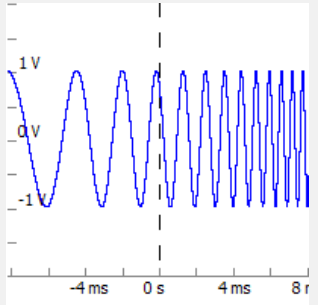
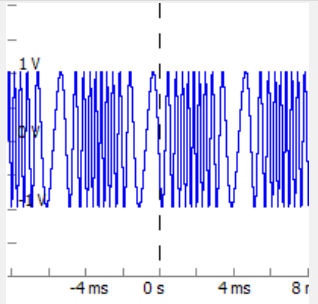
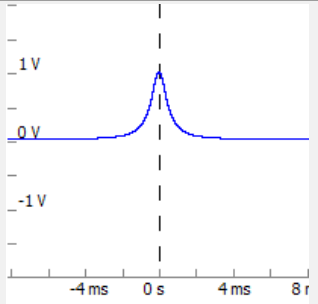
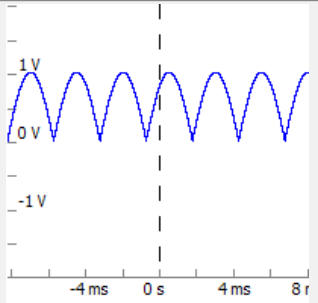
Signalform	Allgemeine Gleichung	Beispiel
<b>Verzögerte Aufsteigende Exponentialfunktion</b>	$(1 - e^{-1 * (x - X_D) / X_T}) * \text{if}(x, X_D, X_{MAX})$ $X_D$ – Verzögerung in Samples $X_T$ – Exponentielle Zeitkonstante in Samples $X_{MAX}$ – Länge des Signals in Samples  <b>Beispiel:</b> $1 - e^{-1 * ((x - 6192) / 500)} * \text{if}(x, 6192, 16384)$	
<b>Exponentielpuls</b>	$(1 - e^{-1 * (x - X_S) / X_T}) * \text{if}(x, X_S, X_P) +$ $(e^{-1 * (x - X_P) / X_T}) * \text{if}(x, X_P, X_{MAX})$ $X_T$ – Exponentielle Zeitkonstante in Samples $X_{MAX}$ – Länge des Signals in Samples $X_S$ – Startzeitpunkt des Pulses in Samples $X_P$ – Endzeitpunkt des Pulses in Samples  <b>Beispiel:</b> $(1 - e^{-1 * ((x - 6192) / 500)}) * \text{if}(x, 6192, 8192) +$ $(e^{-1 * ((x - 8192) / 500)}) * \text{if}(x, 8192, 16384)$	
<b>Exponentiell gedämpfter Sinus</b>	$(e^{-1 * (x / X_T)}) * \sin(2 * \pi * x / X_P)$ $X_T$ – Exponentielle Zeitkonstante in Samples $X_P$ – Länge des Signals in Samples  <b>Beispiel:</b> $e^{-1 * (x / 2500)} * \sin(2 * \pi * x / 500)$	
<b>Gauss-Puls</b>	$e^{(-1/2) * ((x - X_D) ^ 2) / (X_S ^ 2)}$ $X_D$ – Mittlere Verzögerung in Samples $X_S$ – Pulsbreite (sigma)  <b>Beispiel:</b> $e^{(-1/2) * ((x - 8192) ^ 2) / (1000 ^ 2)}$	

► **Application Note**

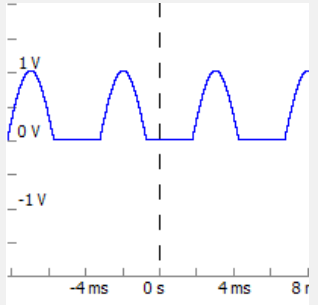
Signalform	Allgemeine Gleichung	Beispiel
<b>Amplitudenmodulation</b>	$0.5 \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot x / X_C) \cdot (1 + K_M \cdot f(x))$ <p> <math>X_C</math> – Länge des Carrier-Signals in Samples  <math>K_M</math> – Modulation-Index 0 bis 1  <math>f(x)</math> – Modulationssignal                 </p> <p><b>Beispiel:</b>  <math>0.5 \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot x / 250) \cdot (1 + (0.75 \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot x / 5000)))</math> </p>	
<b>Sinus Amplitudesweep</b>	$x \cdot (DV/DX) \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot x / X_C)$ <p> <math>DV/DX</math> – Steigung der Rampe in Volt/Samples  <math>X_C</math> – Länge des Carrier-Signals in Samples                 </p> <p><b>Beispiel:</b> <math>x \cdot (1/16384) \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot x / 250)</math></p>	
<b>Frequenzmodulation</b>	$\sin(2 \cdot \pi \cdot x / X_C + (X_M / X_{Dev}) \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot x / X_M))$ <p> <math>X_C</math> – Carrier Länge des Signals in Samples  <math>X_M</math> – Modulation Länge des Signals in Samples  <math>X_{Dev}</math> – Period deviation in samples                 </p> <p><b>Beispiel:</b> <math>\sin(2 \cdot \pi \cdot x / 250 + (5000 / 500) \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot x / 5000))</math></p>	
<b>Linearer Frequenzsweep</b>	$\sin(\pi \cdot (2 \cdot (x / X_S) + (((1 / X_E) - (1 / X_S)) / X_{MAX}) \cdot x^2))$ <p> <math>X_S</math> – Start-Länge des Signals in Samples  <math>X_E</math> – End-Länge des Signals in Samples  <math>X_{MAX}</math> – Länge des Gesamtsignals in Samples                 </p> <p><b>Beispiel:</b>  <math>\sin(\pi \cdot (2 \cdot (x / 5000) + (((1 / 500) - (1 / 5000)) / 16384) \cdot x^2))</math> </p>	



► **Application Note**

Signalform	Allgemeine Gleichung	Beispiel
<b>Logarithmischer Frequenz-sweep</b>	$\sin(2\pi(x_{MAX}/\ln(x_S/x_E)/x_S) \cdot e^{(\ln(x_S/x_E)/x_S) \cdot x} - 1)$ <p> <math>x_S</math> – Start-Länge des Signals in Samples  <math>x_E</math> – Ende-Länge des Signals in Samples  <math>x_{MAX}</math> – Länge des Gesamtsignals in Samples                 </p> <p><b>Beispiel:</b></p> $\sin(2\pi * (16384 / \ln(5000/500) / 5000) * e^{(\ln(5000/500) / 16384) * x} - 1)$	
<b>Phasenmodulation</b>	$\sin(2\pi(x/x_C + K \sin(2\pi(x/x_M)))$ <p> <math>x_C</math> – Länge des Carrier-Signals in Samples  <math>x_M</math> – Länge des Modulations-Signals in Samples  <math>K</math> – Peak phase excursion in Radiant                 </p> <p><b>Beispiel:</b> <math>\sin(2\pi * (x/500) + 7 * \sin(2\pi * (x/5000)))</math></p>	
<b>Lorentzscher Puls</b>	$1 / (1 + ((x - x_D) / x_W)^2)$ <p> <math>x_D</math> – Zeitverzögerung in Samples  <math>x_W</math> – halbe Pulsbreite in Samples                 </p> <p><b>Beispiel:</b> <math>1 / (1 + ((x - 8192) / 500)^2)</math></p>	
<b>Obere Halbwellen des Sinus</b>	$\text{Abs}(\sin(2\pi * x / x_p))$ <p> <math>x_p</math> – des Signals in Samples                 </p> <p><b>Beispiel:</b> <math>\text{Abs}(\sin(2\pi * x / 5000))</math></p>	

► **Application Note**

Signalform	Allgemeine Gleichung	Beispiel
Abgeschnittene Sinus Halbwelle	$0.5 * (\sin(2 * \pi * x / X_p) + \text{Abs}(\sin(2 * \pi * x / X_p)))$ <p><math>X_p</math> – Länge des Signals in Samples</p> <p><b>Beispiel:</b> <math>0.5 * (\sin(2 * \pi * x / 5000) + \text{Abs}(\sin(2 * \pi * x / 5000)))</math></p>	
Sinc	$\sin((x - X_D) / X_p) / ((x - X_D) / X_p)$ <p><math>X_D</math> - Zeitverzögerung in Samples</p> <p><math>X_p</math> – Länge des Signals in Samples</p> <p><b>Beispiel:</b> <math>\sin((x - 8192) / 500) / ((x - 8192) / 500)</math></p>	