

Anwendung erleichtern. Zunächst stellt man zwei Sinuslinien $u(t)$ und $i(t)$ dar, deren Parameter U_p , I_p sowie die Phasenverschiebung ϕ und Frequenz f mit Schieberegler einstellbar sind. Den Leistungsverlauf $p(t)$ erhält man durch einfache Multiplikation der beiden Sinusfunktionen. Berechnet man die Lage des Punktes P mit dem $\cos \phi$ als Wirkleistung, so kann man die Gerade P als Mittelwert der Momentanleistung $p(t)$ zeichnen. Zu beachten ist, dass die Laufvariable wie in der Mathematik üblich als x bezeichnet wird. Die Variation von U_p , I_p und Animation von ϕ zeigen, dass sich die Wirkleistung entsprechend verändert, während die Änderung der Frequenz natürlich keinen Einfluss ausübt. Sehr schön sieht man den Anteil der Pendelleistung mit der doppelten Frequenz (Bild 5).

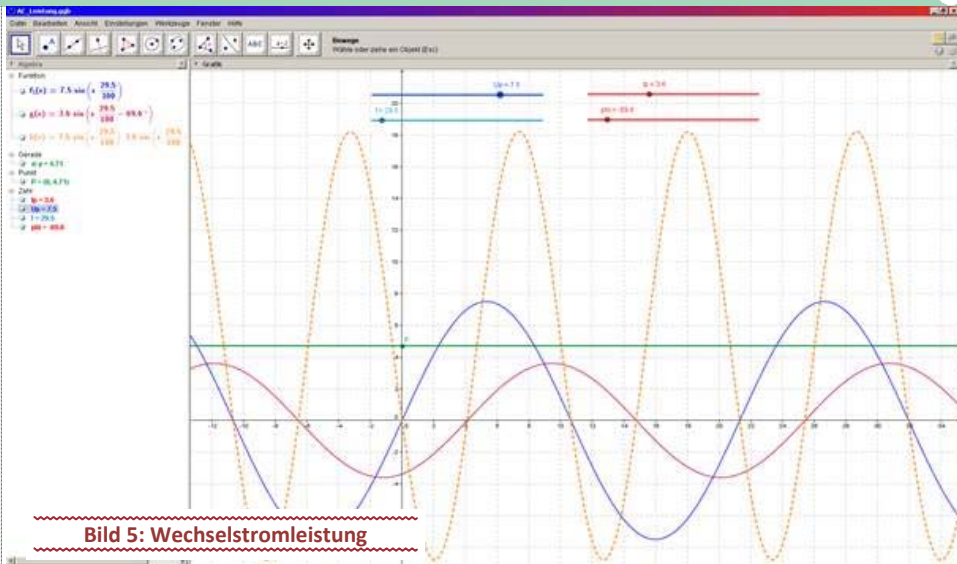


Bild 5: Wechselstromleistung

Eine etwas aufwendigere Anwendung ist die Darstellung der Abtastung bei der Digitalisierung und das Zeigen der Folgen einer Verletzung des Abtasttheorems. Ich muss gestehen, ich war über die positive Aufmerksamkeit meines Publikums bei der ersten Vorführung überrascht, und ich nehme an, dass die Folge der Unterabtastung, das Aliasing, eindrucksvoll klar wurde.

Zunächst zeichnet man eine Sinuslinie als abzutastendes Objekt (blau, Bild 6), weil diese Funktion irgendwie grundlegend in der Elektrotechnik ist. Deren Frequenz ist mit einem Schieberegler einstellbar. Zur Realisierung der Abtastung werden auf die Zeitachse senkrechte, äquidistante Geraden erzeugt. Das ist etwas mühsam, aber die Kopierfunktion hilft. Damit sind die Abtastzeitpunkte gegeben. Schneidet man diese Geraden mit der zu digitalisierenden Sinuslinie, ergeben sich die Abtastwerte als zeitdiskrete Punkte und stellen damit die AD-Wandlung dar. Verbindet man diese Punkte mit Strecken (rot), so kann man qualitativ die Rückumwandlung DA in den Analogbereich zeigen. Ich habe dabei allerdings auf die Quantisierung im Wertebereich verzichtet, weil das nicht Thema der Darstellung ist (ist auch wesentlich mehr Aufwand!).

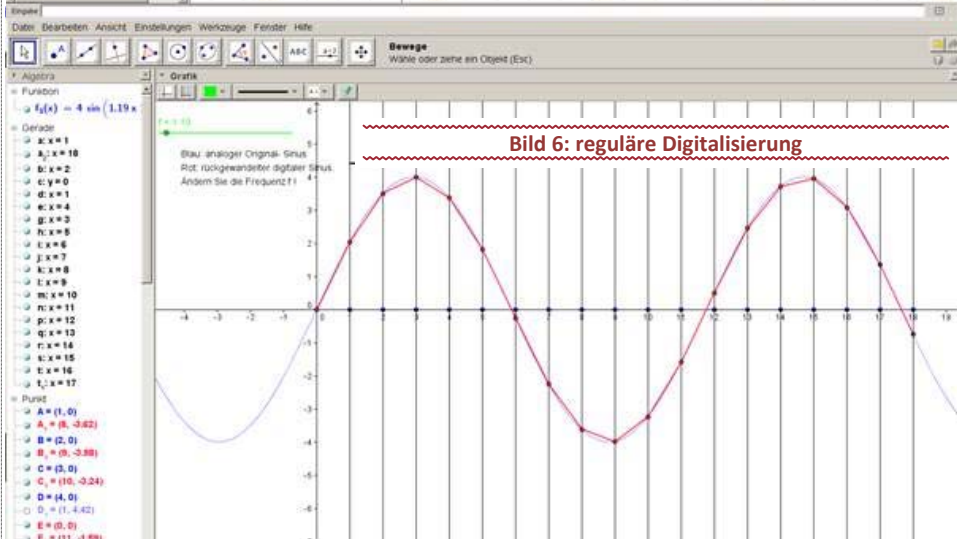


Bild 6: reguläre Digitalisierung

Solange sich hinreichend viele Abtastpunkte in einer Periode der Sinusfunktion befinden, ist die Welt der AD-Konversion in Ordnung. Kommt jedoch die Grundfrequenz in die Nähe der doppelten Abtastperiode, kommt es zu Interferenzen und man sieht sehr deutlich, dass der rekonstruierte Sinus stark verzerrt und nicht mehr das Original ist. Damit lässt sich das Auftreten von Quantisierungsgeräuschen genau so erklären wie der $\sin(x)/x$ -Frequenzgang bei der Rückumwandlung, weil ja die Amplituden plötzlich nicht mehr stimmen.

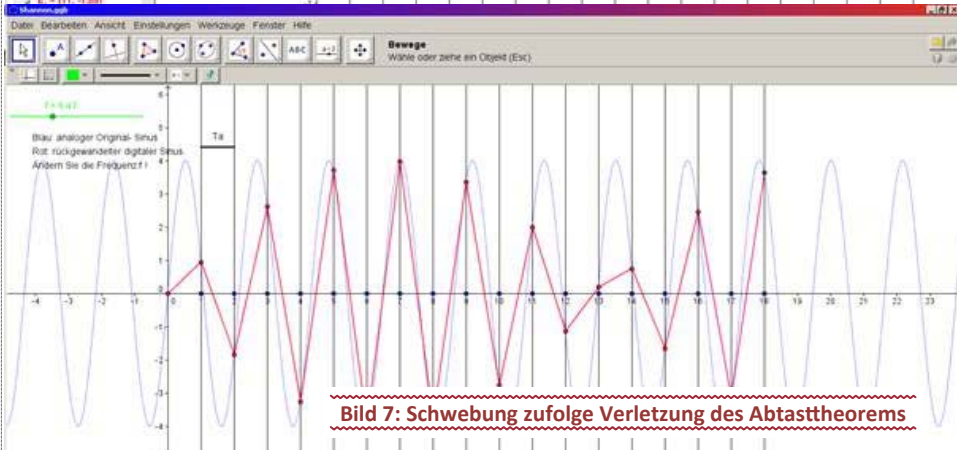


Bild 7: Schwebung zufolge Verletzung des Abtasttheorems

Erhöht man die Frequenz des Sinus weiter, so kommt es zu schönen Schwebungen (Bild 7) in der Folge der Abtastwerte. Bei noch weiterer Erhöhung entstehen im Digitalsignal wirre Muster, die alles andere als einen Sinus darstellen. Durch Ausblenden des Original-Sinus kann man dann zeigen, dass mit den vorhandenen Daten ein armer DA-Konverter verzweifelt, wenn er wieder einen Sinus zu basteln versucht.

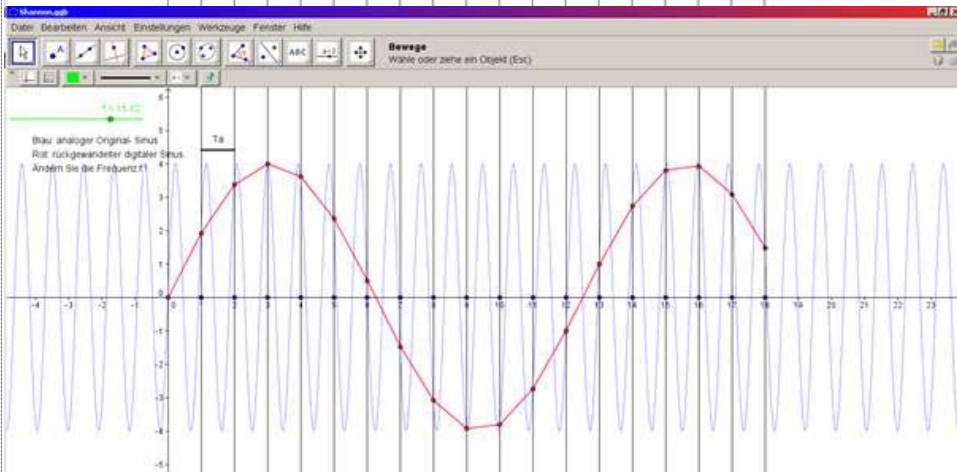


Bild 8: Aliasing, im Digitalsignal entsteht ein völlig fremdes Signal

Irgendwann jedoch ordnen sich die Abtastwerte wieder zu einem scheinbar schönen Sinusbild, aber jetzt ist dessen Grundfrequenz ein Bruchteil der originalen Frequenz (Bild 8). Damit kann man sehr eindrucksvoll das Entstehen der Geisterbilder (Alias) vorführen, die bei digitalen Oszilloskopen bei unpassend eingestellter Zeitablenkung auftreten. Zeigt man den Frequenzwechsel als Animation, so sieht man sehr deutlich den Übergang zwischen brauchbarer Abtastung und der Bildung von Artefakten.

Zu guter Letzt noch eine Demonstration der Steuerungsfunktion des Bipolartransistors, mit Arbeitsgerade, Verlustleistungshyperbel und