



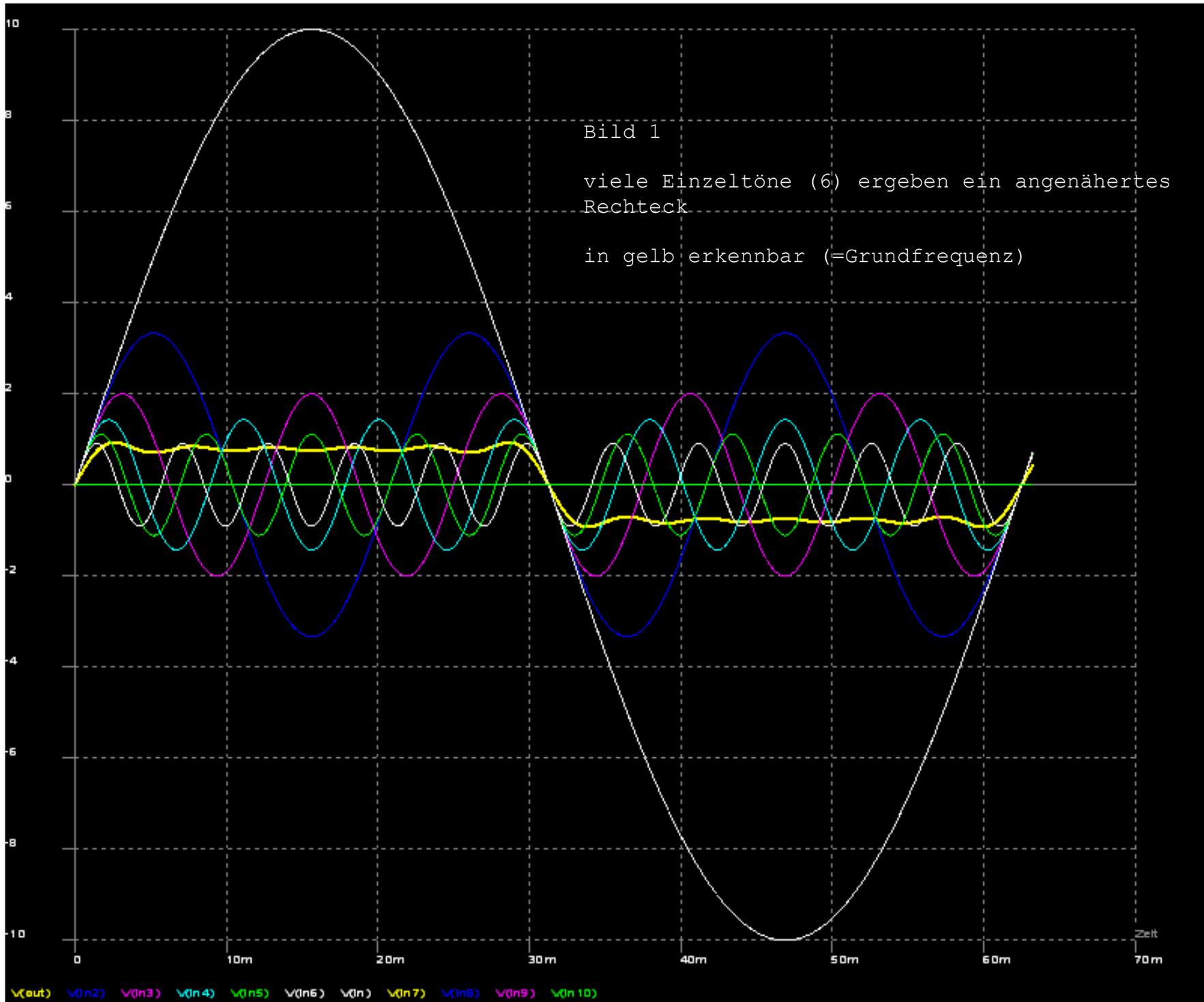
## **Stimmt das Rechteck, stimmt der Klang?!**

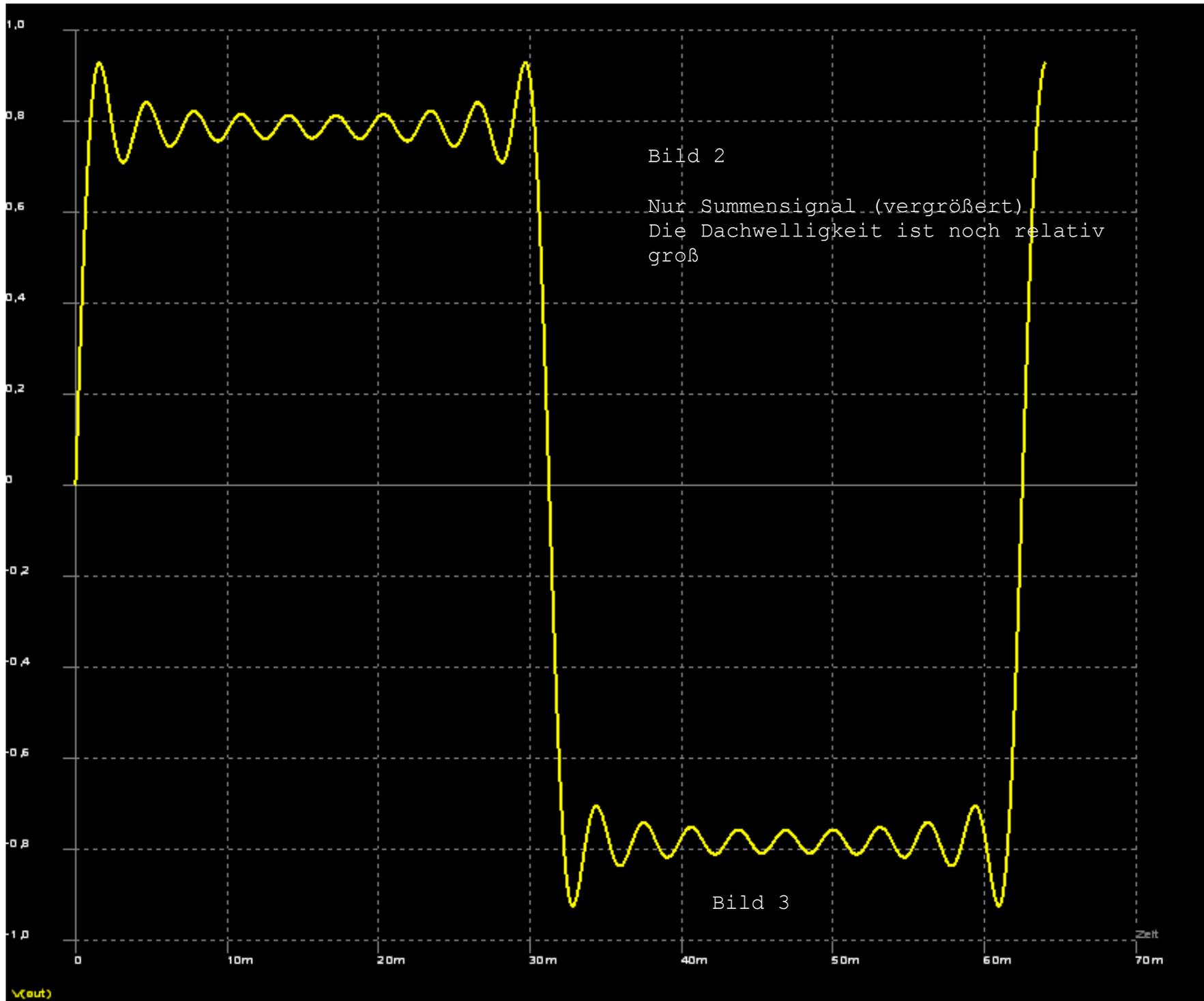
### Ein kleiner Ausflug in die Theorie, aber ohne komplizierte Mathematik

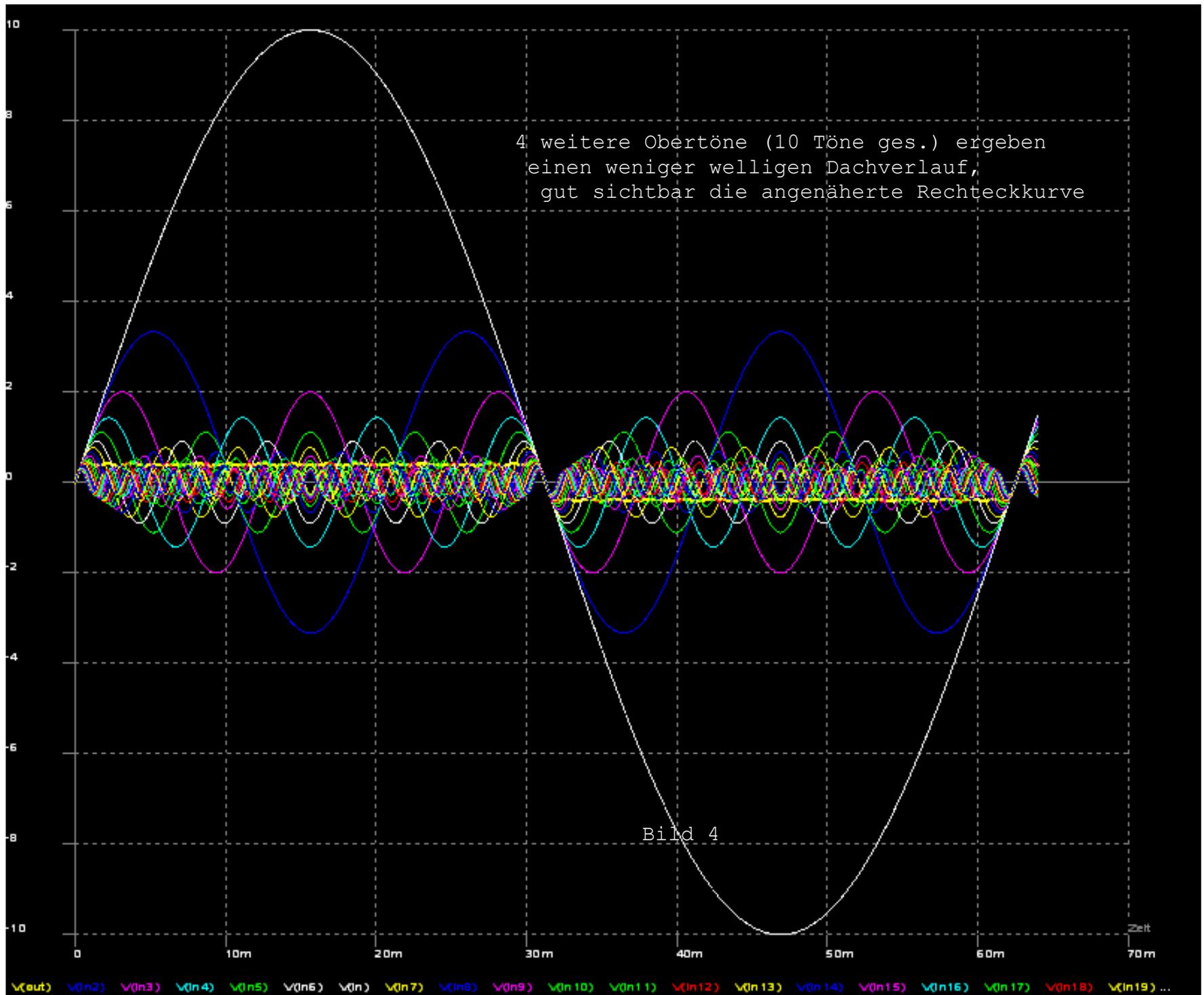
Werden die Phasenfehler, wie auf der Website ausführlich begründet, betrachtet, so fragt sich mancher Musikfreund sicher, wie sind diese Zusammenhänge zu verstehen? Weshalb sind Aussagen wie „stimmt das Rechteck, stimmt der Klang“ so wichtig? Doch sehen Sie selbst, wie die laut Fourier - ein Mathematiker aus Frankreich (1768 - 1830) - Jahrhunderte alte Grundlagen jetzt noch immer richtig sind, und auch für Lautsprecher - gerade für diese - gelten.

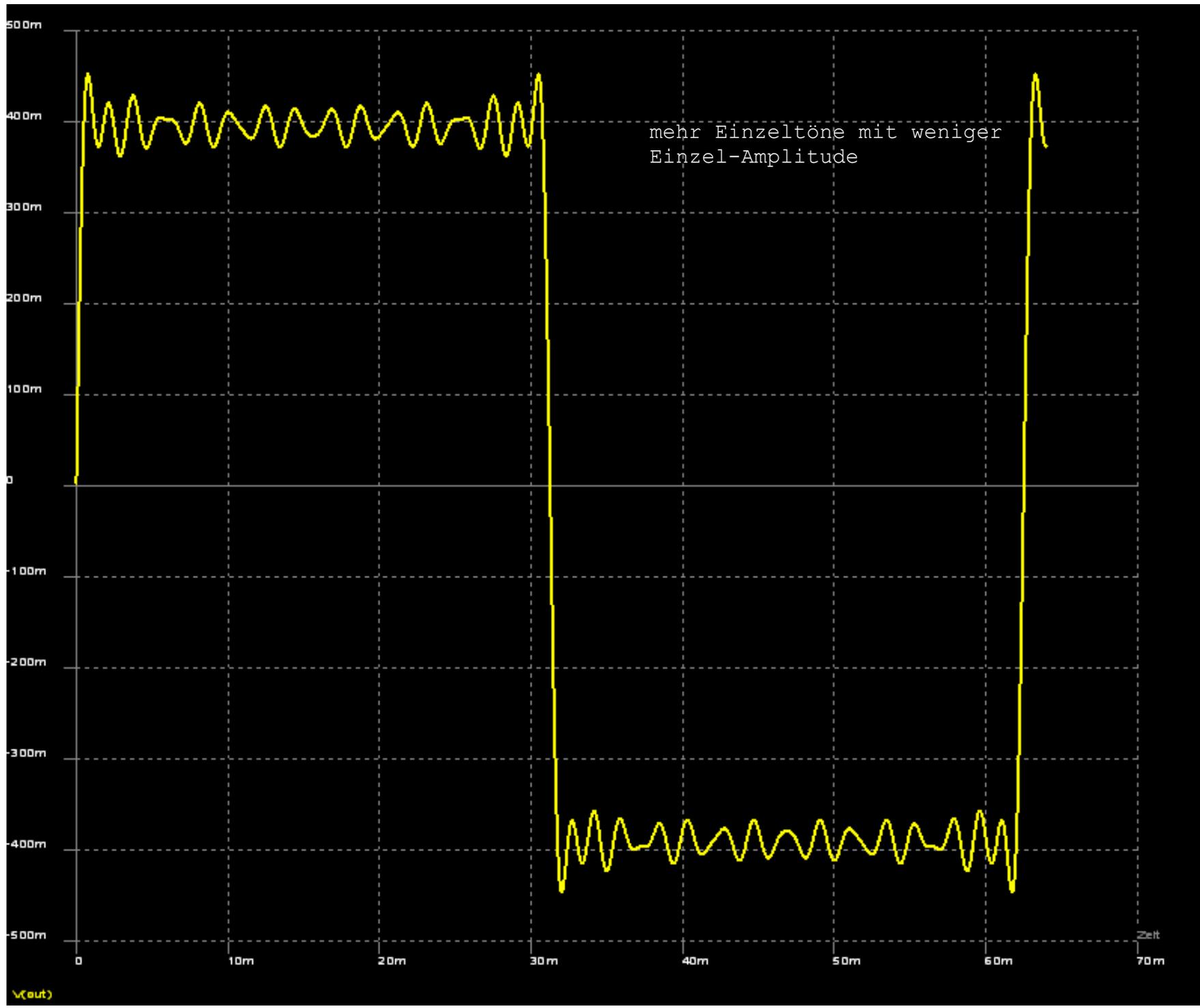
Um die Komplexität dieser Signale grafisch auf eine anschauliche Weise zu zeigen, werden in der Simulation eine Reihe von Einzeltönen auf eine Summenleitung geschaltet. Die in den Beispielen tiefste Einzelfrequenz ist 16 Hz, 10 V. Die nächst höhere demzufolge 48 Hz mit 3,3 V, der nächste Oberton ist 80 Hz, 2 V, 112 Hz, 1,4285714 V usw.

Also handelt es sich um die ungeradzahligen Obertöne, also die Grundfrequenz mal 3, mal 5, mal 7 usw. Die Spannungen sind demzufolge Grundfrequenz 10 V - dividiert durch 3, 5, 7 usw. Damit sind zunächst 6 virtuelle Tongeneratoren eingestellt. Die gesamte Schwingungsdarstellung zeigt Bild 1. Diese vielen einzelnen Töne haben aber einige Gemeinsamkeiten, welche sehr wichtig sind. Zum Einen starten alle Töne gleichzeitig, alle Töne haben einen gemeinsamen Nulldurchgang, bezogen auf die Grundschwingung (16 Hz). Ferner ist der oben beschriebene Zusammenhang sichtbar, die Obertöne, um welche es sich handelt, haben je die ungeradzahligen Vielfachen der Grundschwingung und sind also um je einen ungeradzahligen Wert kleiner als die Schwingung mit der darunter liegenden Frequenz. Diese genauen Zusammenhänge beschreibt die Fourieranalyse. Werden diese Schwingungen auf einer Summenleitung addiert, oder von einem idealen Wandler abgestrahlt, ergibt sich eine angenäherte Rechteckschwingung. deren Genauigkeit um so besser einem „idealen“ Rechteck entspricht, je mehr Obertöne insgesamt vorhanden sind und einwandfrei im Sinne der Phasen- und Amplitudenbeziehung wie beschrieben entsprechen.









Kommen weitere Obertöne dazu, sieht die Rechteckschwingung noch „mehr nach Rechteck“ aus. Daraus wird deutlich, würden unendlich viele Obertöne (rein theoretisch) dazu kommen, hätte man ein ideales Rechtecksignal. Daraus erkennt man letztendlich, dass das Vorhandensein einer phasenlinearen und amplitudenlinearen Übertragungskette mit möglichst vielen Frequenzen (hohe Bandbreite) eine solche Schwingung ermöglicht. Es wird klar, eine Rechteck-Schwingung ist immer aus einer Vielzahl von Sinustönen zusammengesetzt. Je mehr hohe Frequenzen dazu kommen, je steiler werden die Rechteckflanken. Natürlich kann rein theoretisch ein Rechteck nie einen  $90^\circ$  Flankenanstieg haben, es bleibt immer im strengen Sinn trapezförmig, jedoch nicht immer ohne weiteres mehr erkennbar.

Doch damit nicht genug. Denn wer hört schon „Rechtecke“. Der eigentliche Vorzug ist der Umkehrschluß. Denn wenn man statt der vielen Einzeltöne im dargestellten Verhältnis gleich ein Rechtecksignal generiert, und mit diesem Messungen macht, sieht man am Verlauf der Ausgangskurve, welche normalerweise dann wieder ein einwandfreies Rechtecksignal zeigen sollte, ob es auch entsteht. Wenn es Veränderungen an der resultierenden Rechteckschwingung gibt, sieht man diese und kann mit ziemlicher Sicherheit auf Übertragungsfehler oder Grenzen schlußfolgern.

Darum soll auch ein Lautsprecher mit Rechtecksignalen gemessen, ein Rechteck wiedergeben. Leider – doch diese Thematik ist in der Website dargelegt, sind hier starke Abweichungen zu sehen. Daraus resultiert eben kein richtiges Übertragungsverhalten. Die Gründe sind vielschichtig – hauptsächlich sind Phasenfehler die Ursache.

In fast allen Fällen erreicht ein dynamischer Lautsprecher prinzipbedingt ohne besondere Zusatzmaßnahmen kein ideales Übertragungsverhalten. Wird bewusst auf Rechteckfähigkeit durch eine geeignete Entzerrung hingearbeitet, und letztendlich über einen wichtigen Frequenzbereich eine Rechteckwiedergabe erzielt, kann man aber von einem wesentlich verbesserten (musikalischeren) Gesamtklang ausgehen, wie auf der Site ausführlich dargelegt wird.