

# Verzerrungsmessungen mit dem Roetest

## Anmerkungen

Andreas Gebert – Berlin, Mai 2026

**Einstellungen des Interface:** Anschluss von Cinch-Kabeln mit Adapter auf Mono-Klinkenstecker 6,35 mm. Als Ausgang „Line Output 1/L“ oder „2/R“ auf der Geräterückseite verwenden; als Eingang nur den Mikrofon-Eingang „Input 2“ auf der Frontseite verwenden, weil nur dieser auf HI-Z (= Instrument) umgeschaltet werden kann; Taste „HI-Z“ drücken.

*Input-2-Gain* kann für viele Messungen auf Minimum = linker Anschlag stehen; das ergibt den niedrigsten Rauschhintergrund; für Rauschmessungen ggf. auf 11–12h stellen. Mix-Regler ganz auf DAW; Phantomspannung (+48V) aus.

Über den *Output-Regler* wird die Amplitude des Testsignals geregelt. Steht der Output-Regler höher als 2h, erzeugt das UR22mkII-Interface selbst leichte K2- und K3-Verzerrungen; bei kritischen Messungen ist dies zu berücksichtigen. Ich drehe nur bis maximal 2h auf und verstärke das Signal über einen sehr verzerrungsarm arbeitenden Kopfhörerverstärker. Auf diese Weise sind saubere Spannungen bis 6V erreichbar.

Andere preiswerte Audio-Interfaces wären z.B.: Motu M2, Steinberg/Yamaha UR22C oder das Focusrite Scarlett; habe damit aber nicht selbst gearbeitet.

**Einstellungen der REW-Software:** Momentan verwende ich die REW-Version 5.40 unter Windows 11 (<https://www.roomeqwizard.com>). Als Treiber für das Interface (und andere Interfaces auch) nur ASIO verwenden, nicht Java; ggf. erst installieren. In den *Preferences* werden die benutzten Ein- und Ausgänge ausgewählt; alle Messungen bei 192kHz.

Im *Generator-Fenster* „Lock frequency to RTA FFT“ einschalten, sonst nichts. Sinus-Signal-Pegel zwischen -10 und -20 dBFS; ich messe meist

bei -19dBFS, weil dann gerade noch keine Harmonischen vom Interface erzeugt werden.

Im *RTA-Fenster* wäre eine FFT-Länge von 32k bei 4x Average ein Standard; je nach Anforderung (Rauschen, Auflösung der Peaks etc.) wird variiert. Mode „Spectrum“, „No smoothing“.

Als FFT-Window „Rectangular“ oder „Hann“ verwenden; in der Distortion-Anzeige („Show distortion“) wird von der REW-Software zuweilen angezeigt, welches Fenster gerade ideal ist. Für Verzerrungsmessungen sollte die Frequenzachse auf linear, nicht logarithmisch gestellt werden (Button oben rechts). Die y-Achse wird zumeist auf dBFS (Dezibel Full Scale) eingestellt; dann ist „0“ der Maximalpegel des Interface. Sinus-Signale sollten per Arbeitswiderstand und Output-Regler des Interface so angesteuert werden, dass der Peak bei etwa -10dBFS liegt; für realistische IMD-Messungen sehr viel niedriger, z.B. -30dBFS. In der Distortion-Anzeige können die Harmonischen bis K9 nicht nur in Prozent und dB gemessen werden, sondern auch deren Phasenlage (einschalten in „Distortion Settings“).

Mit der *Measure-Funktion* wird der Frequenzgang eines Signals und seiner Verzerrungen gemessen. Start Freq 10Hz, End Freq 90.000Hz; Sweep-Methode: 512k/2x als Standard, No timing reference. Wird langsamer gemessen, z.B. bei 2M/4x, verbessert sich vor allem der Noise Floor. „Capture noise floor“ einschalten.

In den *Preferences* kann unter *Soundcard* eine Kalibrierung des Frequenzgangs vorgenommen werden. Ich habe mir für jede Stufe (= jede Arbeitswiderstand-Elko-Kombination) eine eigene Kalibrierdatei erstellt; unter dem Reiter „Cal Files“ werden diese verwaltet. Unter dem Reiter „View“ ist übrigens die Einstellung der Sprache versteckt; die Einstellungen der übrigen Reiter sind für Röhrenmessungen weniger wichtig.

Im *Hauptfenster* sollte die x-Achse für Frequenzgänge logarithmisch, für RTA-Messungen linear eingestellt werden. Unter dem Frequenzgang wird auch der Phasengang als gepunktete Linie angezeigt mit Skala rechts. Bei Röhren-Messungen muss oft „Unwrap Phase“ im Menü der rechten Maustaste ausgeführt werden, um eine Kurve ohne 360°-Versatz zu bekommen. In der Distortion-Darstellung kann zwischen Absolutwerten (dBFS, SPL, V) und relativen Werten (% , dBr) umgestellt werden. Bei relativen Werten wird die Grundfrequenz (Fundamental) als 100% angesetzt und ganz oben als Gerade wiedergegeben. Bei Absolutwert-Darstellung der Distortion wird eine eventuelle Soundkarten-Kalibrierung nicht berücksichtigt. Verzerrungswerte können in Prozent oder dB abgelesen werden. Mit dem Overlays-Fenster können mehrere Messungen gleichzeitig dargestellt und verglichen werden.

**Wahl des Arbeitswiderstands:** Ziel meiner Versuche war es, die Verzerrungen von Röhren unter Bedingungen zu messen, die denen der Roetest-Gleichspannungsmessungen ähnlich sind. Dabei muss klar sein, dass sich in tatsächlichen Verstärkerschaltungen (von denen es ja für jeden Röhrentyp recht viele verschiedene gibt) möglicherweise ganz andere Messwerte ergeben würden.

Um dicht an den Roetest-Gleichspannungsbedingungen zu bleiben, sollte der Arbeitswiderstand so klein wie möglich sein, gerade ausreichend für ein gutes Signal am Interface. Für kleine Trioden ist das bei mir die Stufe 2 und für Endstufen-Pentoden oft die Stufe 1. Unter solchen Bedingungen verringert sich die tatsächliche Spannung an der Anode um nur einige wenige Prozent; der Anodenstrom wird ebenfalls nur minimal verringert. Wegen der Megaohm-Entladewiderstände an den Elkos erhöht sich der von der Roetest-Software angezeigte Wert des Anodenstroms geringfügig, ist also minimal falsch zu hoch. Die Stufen 3 und 4 werden nur selten nötig, z.B. bei einer ECC86-12V-Triode mit sehr kleinem Signal. Die höchsten Stufen (5+6) können für Rauschmessungen sinnvoll sein, um ein möglichst

großes Signal über dem Hintergrundrauschen zu erzeugen. Die G1-(Gleich-)Spannung ändert sich durch die Messanordnung nicht.

**Messungen mit Multimeter:** Manche Multimeter messen Wechselspannungen nur bis zu einer bestimmten Frequenz korrekt. Oberhalb dieser spezifizierten Frequenz werden möglicherweise falsch niedrige Spannungen angezeigt. So arbeitet mein Fluke 179 nur bis 1000Hz einwandfrei, mein Fluke 87V dagegen bis mindestens 10kHz. Die REW-Software (vor allem der Real-Time-Analyzer) kann auf Spannung in Volt kalibriert werden. Die Anzeige stimmt bei mir exzellent mit dem Multimeter überein. Die Spannungsmessung durch das Interface reicht dabei weit in den Nanovolt-Bereich hinab.

**Bauelemente der Schaltungen:** Die Folienkondensatoren zur Ein- und Auskopplung haben mit 3,9 $\mu$ F eine vergleichsweise hohe Kapazität, höher als man sie vielleicht berechnen würde. Messungen mit Kapazitäten von 0,1–3,9 $\mu$ F haben aber gezeigt, dass sich mit 3,9 $\mu$ F nicht nur der glatteste Frequenzgang erzielen lässt, sondern auch ein besonders glatter Verlauf der Harmonischen. Der 22-Ohm-Vorwiderstand in der Auskopplung dient dem selben Zweck, die Größe wurde empirisch nach Verzerrungsmessungen bestimmt (siehe „K-Wellen“).

Der 100nF-Kondensator am Eingang der Auskopplung ist für die Messergebnisse irrelevant; er dient nur zur Entlastung des Drehschalters. Die sog. Freilaufdiode am Relais der Einkopplung dient ebenfalls nur dazu, Spannungsspitzen bei Abschaltung des Relais gegen Masse abzuleiten.

Die Entladewiderstände sind mit 1–2 Megaohm so gewählt, dass sie den gemessenen Anodenstrom nur wenig beeinflussen; hier könnten andere Werte erprobt werden. Der 10k-Widerstand gegen Masse am Ausgang der Auskopplung sorgt dafür, dass der Eingang des Interface nicht „offen“ ist und sich Störungen aus der Umgebung einfängt. Das RC-Glied aus Koppelkondensator und Widerständen (10k + 5,1k + Eingangswiderstand des Interface) ist empirisch erprobt und so dimensioniert, dass sich im Bereich von typischen Audio-

signalen (20Hz–20kHz) ein möglichst geringer Abfall im Frequenzgang zu beiden Enden hin ergibt. Mit dem schaltbaren 43k-Widerstand kann das Signal am Interface um ca. 12dB abgesenkt werden; dies kann nötig sein um z.B. absichtlich übersteuerte Pentoden überhaupt messen zu können.

Die kleine *Relaisplatine* zur Einkopplung im Roetest-Gerät ist aus einer Streifen-Experimentierplatine geschnitten. Auf der Unterseite sitzt der 100k-Widerstand zur Anodenkarte hin sowie die Freilaufdiode. Zur Befestigung der Platine habe ich die mittlere Stützschraube der Hauptplatine durch eine längere ersetzt und die Relaisplatine mit Muttern aufgesetzt.

Die *USB-Steckverbindung* im Kühlkörper basiert auf einem fertig konfektionierten USB-C-Adapter. Er wird z.B. bei Ebay unter der Bezeichnung „USB 3.1 Kabel 100 cm Typ C Stecker zu Buchse...“ angeboten. In der Mitte durchtrennt, bietet er genügend Adern für Signal, Masse und die Relaisansteuerung. Wie ich festgestellt habe, wird die Schirmung an der USB-C-Steckverbindung nicht verbunden. Es sollte der Schirm deshalb auf beiden Seiten, also im Roetest-Gerät und in der Einkopplungsbox an (Relais-) Masse gelegt werden.

In der von Helmut Weigl vorgeschlagenen Soundtest-Box sind am Ausgang des Trafos zwei antiparallel geschaltete Dioden eingesetzt, um Spannungsspitzen (sog. Ploppe) abzuschneiden. Für Messzwecke würde mit einfachen Dioden in meiner Schaltung bei zu niedrigen Spannungen gekappt. Ich habe es deshalb mit antiseriell geschalteten Z-Dioden und mit bidirektionalen TVS-Dioden versucht. Die Spitzenspannung wird dann zwar korrekt beschnitten (z.B. bei 5V), die Bauelemente haben aber eine so große „parasitäre“ Kapazität, dass Frequenzen >10kHz stark gedämpft werden. Daher keine Verwendung in der Auskopplungsbox.

**Limitierungen:** Die Bauteile der Ein- und Auskopplung sind durchweg auf 400V oder 450V ausgelegt. Ich empfehle aber dennoch, nur bis maximal 300V Anodenspannung zu messen. Werte darüber habe ich nicht erprobt und beabsichtige ich auch nicht zu verwenden. Als Gehäuse sollten nur Kunststoff-Boxen verwendet werden, weil die notwendige Erdung von Metallkörpern nicht ohne weiteres sichergestellt werden kann.

Bei Röhren mit hohem Ruhestrom, Einstellung auf großen Arbeitswiderstand und gleichzeitig hohen Anodenspannungen kann eine erhebliche Leistung am Arbeitswiderstand anfallen. Ich empfehle deshalb, bei solchen Röhren und unter solchen Bedingungen nur die Stufen 1 und 2 zu verwenden. Es ist ebenfalls empfehlenswert, den Wechsel der Stufe am Drehschalter nur bei kurzzeitig ausgeschaltetem „Soundtest“ durchzuführen. Dann sind die Elkos nicht voll geladen und die Drehschalter-Kontakte ohne Belastung durch hohe Spannungsspitzen.

**Störungen:** Die Messanordnung ist empfindlich gegen Einstrahlungen von außen und auch gegen Störungen aus den beteiligten Geräten selbst. Die Roetest-Lüfter stören Rauschmessungen stark; alle Geräte (PC, Roetest, Bildschirme, Verstärker) sollten an derselben Steckerleiste angeschlossen sein. Werden Multimeter mit langen Messkabeln an den Buchsen der Ein- und Auskopplung angeschlossen, so kann das zu vermehrtem Hintergrundrauschen und zu Störsignalen führen. Zu meinem Erstaunen hängt das Hintergrundrauschen meines Interface auch davon ab, an welcher USB-Buchse es angeschlossen ist, Laptop direkt oder Dockingstation. Eine separate 5V-Stromversorgung des Interface brachte eine zusätzliche Verbesserung und eliminierte einen bis dahin unklaren 8kHz-Peak. In die coaxialen Cinchkabel gibt es nach meinen Erfahrungen keine störenden Einstrahlungen.