RoeTest - das Computer-Röhren-Messgerät -

professional tube-testing-system (c) Helmut Weigl www.roehrentest.de

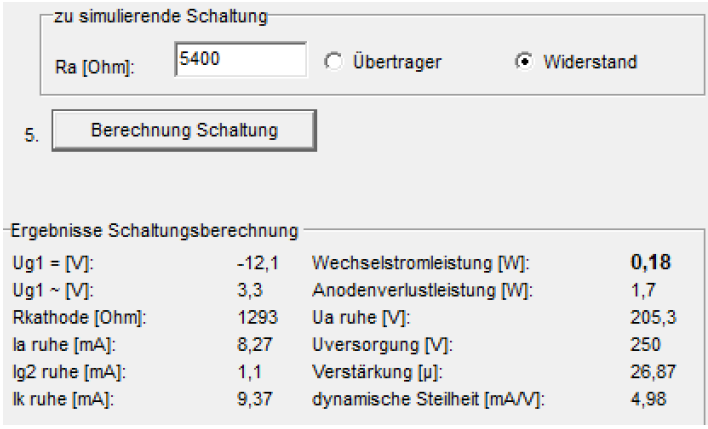
Kennlinien auswerten - Berechnung einer Schaltung

Unabhängig von der Klirrfaktorberechnung steht eine weitere Funktion zur Verfügung. Aus einer Kennlinie, die mit einem Widerstand in der Anodenleitung aufgenommen wurde, können auch die Verhältnisse einer Verstärkerschaltung simuliert werden.

Dabei kann zwischen **Widerstandskopplung** und **Übertragerkopplung** gewählt werden. Auch bei der Übertragerkopplung wird im RoeTest anstelle eines tatsächlichen Übertragers ein Widerstand verwendet.

Hierzu muss ein **Ra** angegeben werden, das dem bei der Kennlinienaufnahme verwendeten Widerstand in der Anodenleitung entspricht.

Damit erhält man folgende Ergebnisse:



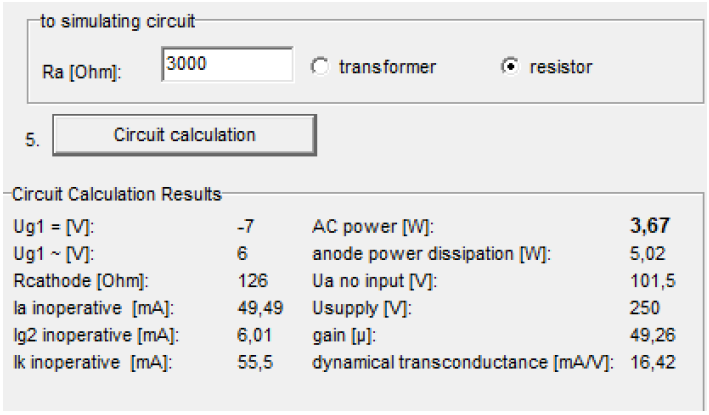
Evaluate Characteristic Curves – Circuit Calculation

Independently of the THD calculation, another function is available. A characteristic curve recorded with a resistor in the anode circuit can also be used to simulate the operating conditions of an amplifier circuit.

The simulation can be performed either with **resistive coupling** or **transformer coupling**. For transformer coupling, RoeTest also uses a resistor instead of an actual transformer.

For this purpose, an **Ra** value must be specified. This value corresponds to the resistor used in the anode circuit during the characteristic-curve measurement.

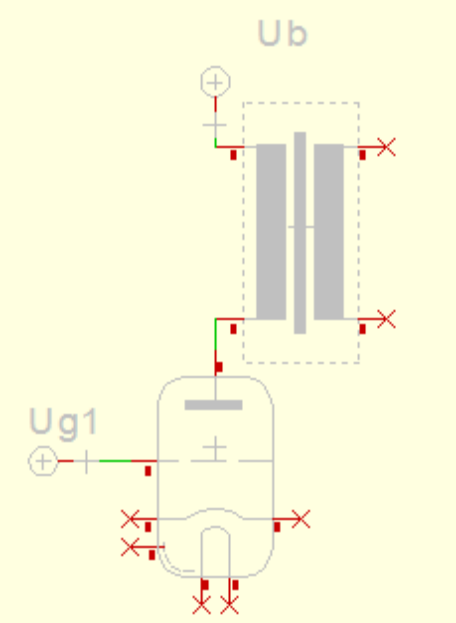
The following results are then obtained:



Beispiel für die Aufnahme einer Arbeitskennlinie und anschließende Verstärkerberechnung

Als Beispiel dient die bekannte **EL84**, die in einer Standardschaltung mit Übertragerkopplung betrieben werden soll. Das Schirmgitter ist in der Darstellung nicht eingezeichnet; es liegt an **+Ub**.

Diese Schaltung soll im Folgenden simuliert werden:



Die **EL84** kann eine Verlustleistung von bis zu **12 W** und eine Anodenspannung von bis zu **300 V** verarbeiten.

Für die Schaltung ist ein Ausgangsübertrager mit einem Übersetzungsverhältnis von etwa **1:26** vorgesehen. Bei einem 8-Ω-Lautsprecher ergibt sich damit aus Sicht der Röhre eine Last von:

8 Ω × 26² = 5.408 Ω,
gerundet also **5.400 Ω**.

Für die Berechnung gehen wir von einem idealen Übertrager mit einem Gleichstromwiderstand von **0 Ω** aus. Im Ruhezustand, also ohne Ansteuerung, entspricht die Anodenspannung damit der Betriebsspannung.

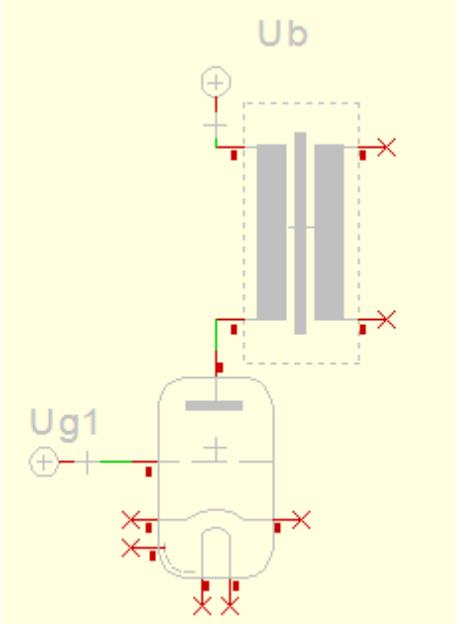
Bei Aussteuerung schwankt die Anodenspannung um diesen Arbeitspunkt und liegt je nach Signalhalbwelle sowohl unterhalb als auch oberhalb der Betriebsspannung.

Da RoeTest mit Gleichspannungen arbeitet, ist die direkte Verwendung eines Übertragers für die Simulation nicht möglich. Stattdessen verwenden wir einen **Leistungswiderstand von 5.400 Ω**:

Example of Recording a Load Line and Subsequent Amplifier Calculation

The well-known **EL84** is used as an example and is to be operated in a standard circuit with transformer coupling. The screen grid is not shown in the diagram; it is connected to **+Ub**.

The following circuit is to be simulated:



The **EL84** can handle a maximum plate dissipation of **12 W** and a maximum plate voltage of **300 V**.

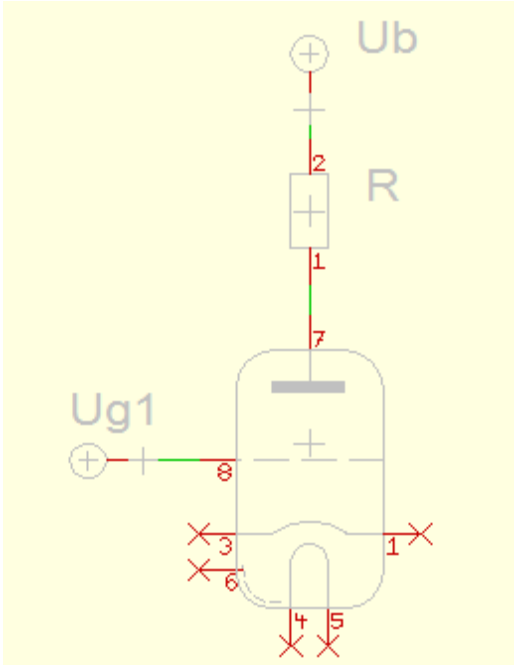
The circuit is designed to use an output transformer with a turns ratio of approximately **1:26**. With an 8 Ω loudspeaker, the load seen by the tube is therefore:

8 Ω × 26² = 5,408 Ω,
or approximately **5,400 Ω**.

For the calculation, we assume an ideal transformer with a DC resistance of **0 Ω**. In the quiescent state, i.e. with no signal applied, the plate voltage therefore corresponds to the supply voltage.

When the tube is driven, the plate voltage varies around this operating point and, depending on the signal half-cycle, is either below or above the supply voltage.

Since RoeTest operates with DC voltages, using an actual transformer for the simulation does not make possible. Instead, we use a **5,400 Ω power resistor**:



Wir schalten einen **Widerstand von 5.400 Ω** in die Anodenleitung. Damit wir das „Schwanken um die Betriebsspannung“ simulieren können, muss die Messspannung höher sein als die später geplante Betriebsspannung – und zwar um den Spannungsabfall, der im Ruhezustand über dem Widerstand entsteht.

Im RoeTest stehen Spannungen bis **600 V** zur Verfügung, sodass dies grundsätzlich kein Problem darstellt.

Für unser Beispiel nehmen wir an, dass wir eine möglichst hohe Leistung erzielen wollen und die Röhre daher bis an ihre Leistungsgrenzen aussteuern.

Wir legen zunächst einen **Ruhestrom von 45 mA** fest. Bei diesem Strom würde über den Lastwiderstand der Messschaltung folgende Spannung abfallen:

5.400 Ω × 0,045 A = 243 V

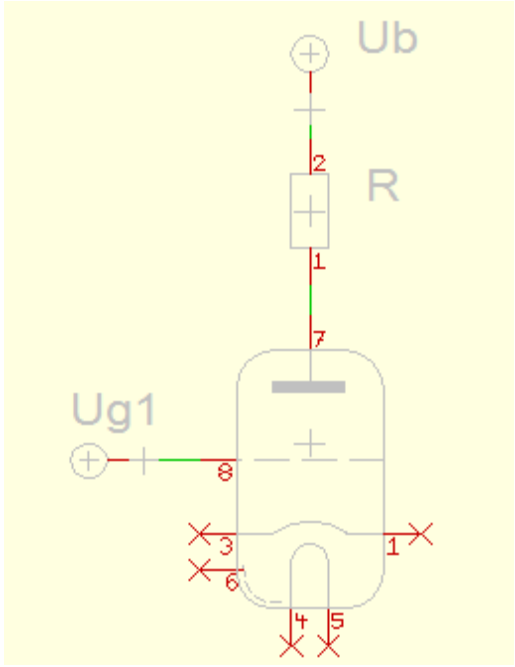
Bei einer geplanten Betriebsspannung der Schaltung von etwa **280 V Anodenspannung** benötigen wir für die Kennlinienaufnahme somit eine Messspannung von ungefähr:

280 V + 243 V = 523 V

Damit sollte sichergestellt werden, dass während der späteren Simulation die gewünschte Anodenspannung zur Verfügung steht, da die Wechselspannung um die Ruhespannung schwankt.

Ob diese Annahmen tatsächlich zutreffen, wird die Messung zeigen. Gegebenenfalls müssen wir die Messung mit anderen Messspannungen wiederholen.

Die typischen Grenzwerte der Röhre setzen wir vor der Messung in der Messsoftware – **nicht in der Datenbank** – vorübergehend auf **0**, damit es nicht zu einem Abbruch der Messung kommt:



We connect a **5,400 Ω resistor** in the anode circuit. In order to simulate the voltage variation around the supply voltage, the measurement voltage must be higher than the intended operating voltage by the amount of the voltage drop across the resistor in the quiescent state.

The RoeTest provides voltages of up to **600 V**, so this is not a problem in principle.

For this example, we assume that we want to achieve the highest possible output power and therefore drive the tube close to its power limits.

We initially set a **quiescent current of 45 mA**. At this current, the voltage drop across the load resistor of the measurement circuit would be:

5,400 Ω × 0.045 A = 243 V

With a planned operating voltage of approximately **280 V** at the plate, we therefore need a measurement voltage of approximately:

280 V + 243 V = 523 V

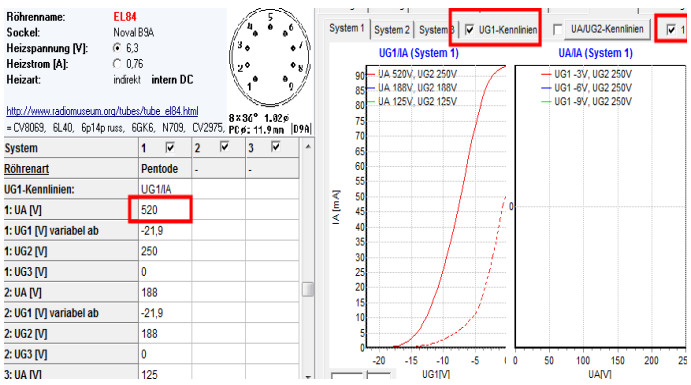
This should ensure that the desired plate voltage is available during the subsequent simulation, since the AC voltage varies around the quiescent operating point.

The measurement will show whether these assumptions are correct. If necessary, we will repeat the measurement using different measurement voltages.

Before starting the measurement, we temporarily set the typical tube limit values to **0** in the measurement software – **not in the database** – to prevent the measurement from being aborted:

System	1	2	3
Röhrenart	Pentode	-	-
typische Werte:			
UA [V]	250,0	0,0	0,0
UG1 [V]	-7,30	0,00	0,00
UG2 [V]	250,0	0,0	0,0
UG3 [V]	0,0	0,0	0,0
IA [mA]	0	0,00	0,00
IG2 [mA]	0	0,00	0,00
S [mA/V]	11,00	0,00	0,00

Der Widerstand (5.400 Ω, 11 W) wird in die Anodenleitung geschaltet und anschließend eine Ug1-Kennlinie aufgenommen. Die Messspannung wird auf 520 V eingestellt.



Als Ergebnis erhalten wir die **Arbeitskennlinie der EL84**. Anschließend wechseln wir in das Fenster **„Kennlinien auswerten“** und dort in den Reiter **„Klirrfaktor“**.

Hier sind folgende Schritte durchzuführen:

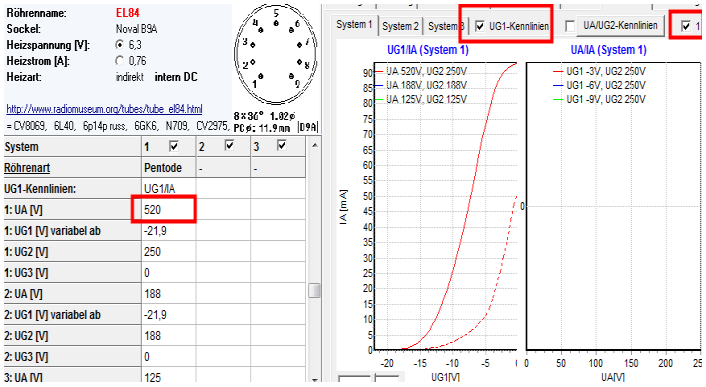
- **„Kennlinie in Grafik einfügen“** anklicken.
- Den Widerstandswert von **5.400 Ω** eintragen und **„Übertrager“** auswählen.
- Mit der Maus den gewünschten Bereich auf der Kennlinie markieren und damit den **Aussteuerbereich** festlegen. Hierbei sollte der möglichst gerade Bereich der Arbeitskennlinie ausgewählt werden.

Man kann jetzt etwas mit den Aussteuerbereichen spielen und neu berechnen. Hier bietet sich auch an, mit einer etwas geringeren Messspannung eine erneute Arbeitskennlinie aufzunehmen, da wir uns an der Leistungsgrenze der Röhre befinden. Wir könnten auch mit anderen Lastwiderständen (für andere Übertrager) spielen. Dazu muss man einfach erneut eine Arbeitskennlinie mit den entsprechenden Widerständen aufnehmen.

Die EL84 ist eine gängige Audioröhre für welche es ja genügend Verstärkerschaltungen gibt. Interessant werden die vorstehenden Berechnungsmöglichkeiten vor allem für Röhren die im Audiobereich bisher nicht genutzt wurden.

System	1	2	3
Röhrenart	Pentode	-	-
typische Werte:			
UA [V]	250,0	0,0	0,0
UG1 [V]	-7,30	0,00	0,00
UG2 [V]	250,0	0,0	0,0
UG3 [V]	0,0	0,0	0,0
IA [mA]	0	0,00	0,00
IG2 [mA]	0	0,00	0,00
S [mA/V]	11,00	0,00	0,00

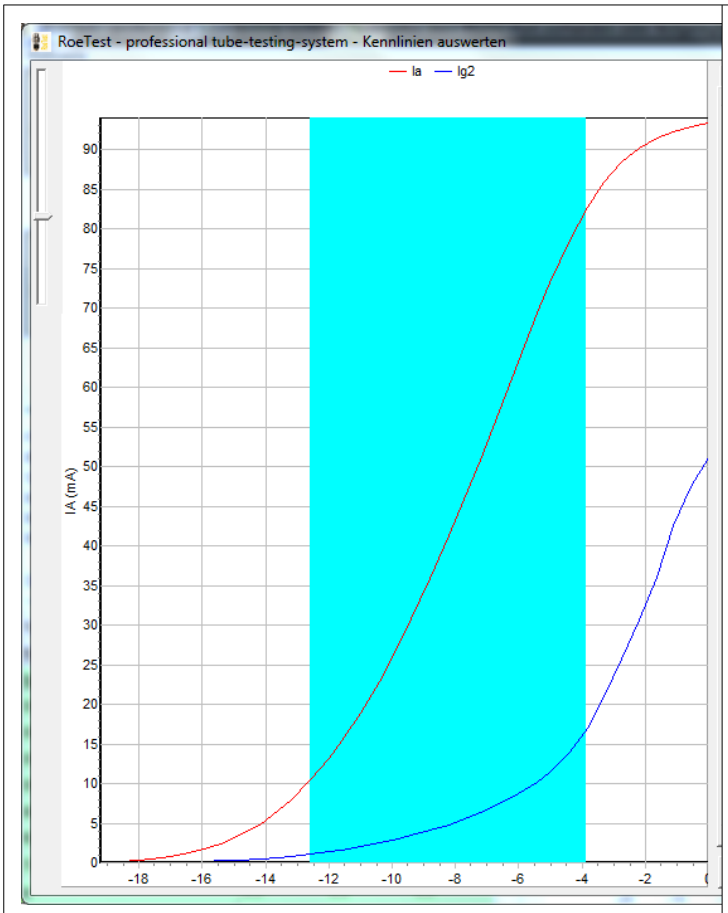
The resistor (5,400 Ω, 11 W) is connected in the anode circuit, and a Ug1 characteristic curve is then recorded. The measurement voltage is set to 520 V.



The result is the **load line of the EL84**. We then switch to the **“Evaluate Curves”** window and select the **“THD”** tab.

The following steps are required:

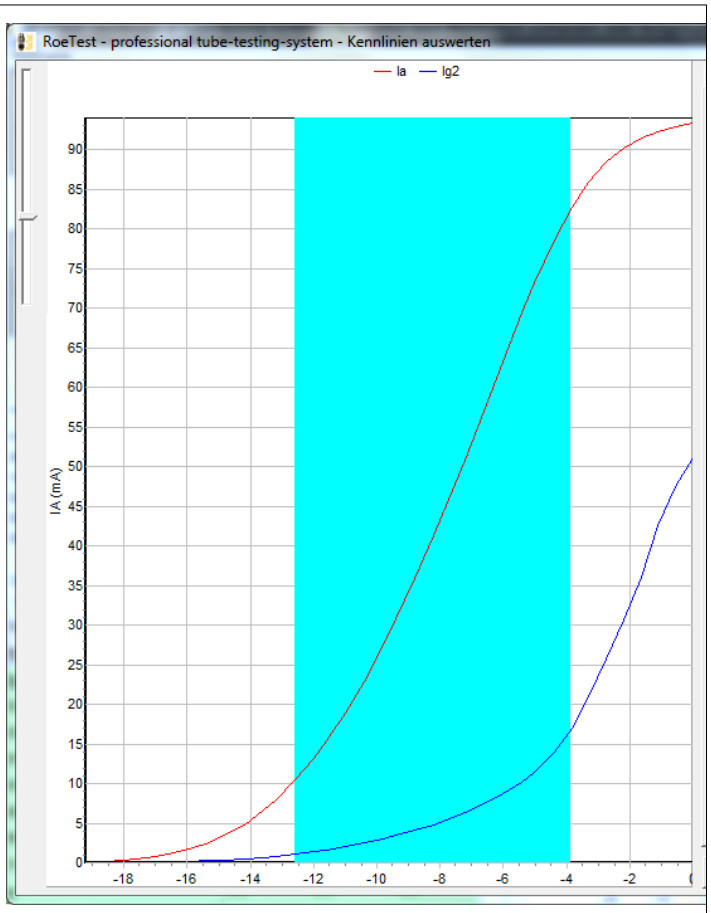
- Click **“Insert characteristic curve into graph”**.
- Enter the resistor value of **5,400 Ω** and select **“Transformer”**.
- Use the mouse to select the desired range on the characteristic curve and thereby define the **drive range**. The section of the load line that is as straight as possible should be selected.



Noch einmal der Hinweis: Die vorstehenden Berechnungen sind als **überschlägige Betrachtungen** zu verstehen. Reale Übertrager und Schaltungen können von den theoretisch angenommenen Verhältnissen abweichen.

Bei der Berechnung der Leistungen wird außerdem ausschließlich die **Grundwelle** betrachtet. Eine möglicherweise vorhandene **Gegenkopplung** wird ebenfalls nicht berücksichtigt.

Messungen in der realen Schaltung bleiben daher weiterhin unverzichtbar. Die Möglichkeiten des RoeTest können jedoch dabei helfen, schneller zu belastbaren Ergebnissen zu kommen.



One final note: The calculations above should be regarded as **approximate calculations**. Real-world transformers and circuits may differ from the theoretical conditions assumed here.

Furthermore, the power calculations consider only the **fundamental frequency component**. Any **negative feedback** that may be present is also not taken into account.

Measurements in the actual circuit therefore remain indispensable. However, the capabilities of RoeTest can help to reach reliable results more quickly.