

Beurteilung der Steigungs-Messvorrichtung des L3-3 am Beispiel der Elektronenröhre ECC83

Inhalt

1. Aufgabenstellung	2
2. Arbeitsweise der Messeinrichtung	2
3. Anwendung auf die Prüf Röhre (ECC83)	3
4. Messungen und Analysen	4
4.1. Einfluss von Brumm und Rauschen	6
4.2. Einfluss der Kurvenform des Messsignals	6
4.3. Einfluss der Dioden-Schwellspannung im Gleichrichter des Röhrenvoltmeters	7
4.4. Erster Wirkmechanismus	8
4.5. Einfluss der Prüfsignal-Amplitude im nichtlinearen Bereich der Kennlinie	8
4.6. Zweiter Wirkmechanismus	9
5. Beurteilung	10
6. Zusammenfassung	10

1. Aufgabenstellung

Die ECC83 ist eine Doppeltriode für Audio-Anwendungen, die sich durch eine hohe Verstärkung und gute Linearität auszeichnet. Sie wird üblicherweise bei einer Anodenspannung von 100 – 250V, und einem Anodenstrom von 0,5 – 1,2mA betrieben.

Die zu erwartende Steilheit bei 1,2mA liegt zwischen 1,2 – 1,6mA/V.

Die Röhre ist somit ein geeigneter Kandidat um die Genauigkeit des im L3-3 Röhrenprüfgerät implementierten Steilheits-Messgeräts zu überprüfen.

Die Kalibrierung der einzelnen Messbereiche wurde vor jeder Messung geprüft.

Das Test Objekt ist eine fabrikneue Röhre des Herstellers JJ-Tubes/Slowakei.

Für den Test wurde die Steilheit für Anodenströme von 0,1mA bis maximal 5mA in den Messbereichen 0,75mA/V, 1,5mA/V, 3mA/V, und 7.5mA/V bestimmt und mit den Angaben im Datenblatt verglichen.

2. Arbeitsweise der Messeinrichtung

Das Steilheit Messgerät des L1-3/L3-3 arbeitet nach dem Prinzip der Wechselstromprüfung. Die Modulationsfrequenz des Testsignals beträgt 1400 Hz.

Abhängig vom gewählten Messbereich werden dazu folgende Wechselspannungen kapazitiv der Gittervorspannung überlagert, eingespeist.

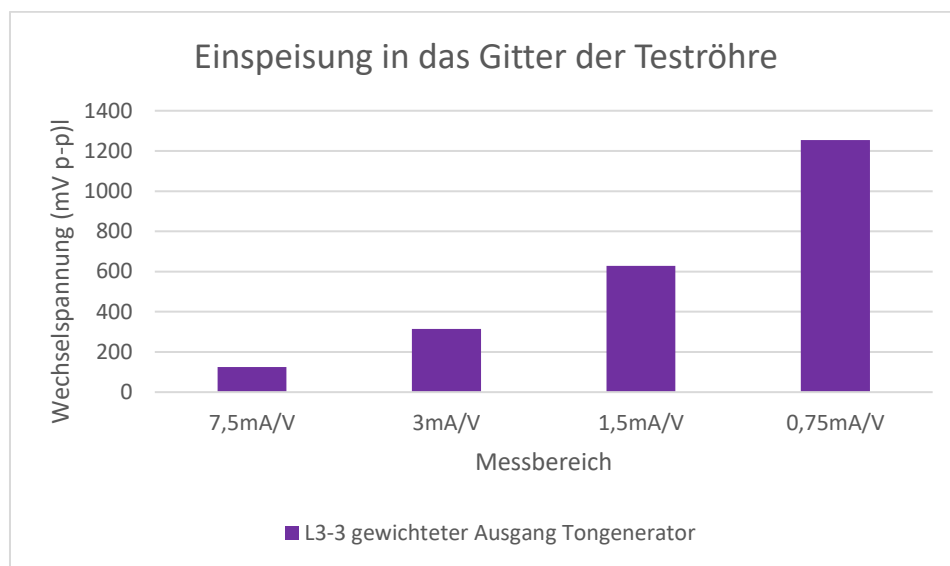


Bild 1

Der dadurch erzeugte Anodenstrom wird bei konstant gehaltener Anodenspannung gemessen und über ein bei 1400Hz hoch selektives Röhrenvoltmeter auf dem Messinstrument zur Anzeige gebracht.

Das Voltmeter hat eine feste Eingangs-Empfindlichkeit. Der Messbereich wird daher über die Amplitude des Prüfsignals bestimmt. Der spezifizierte Messfehler beträgt 2,5% bei 20°C.

2.1. Anwendung auf die Prüf Röhre (ECC83)

In Bild 2 sind die Betriebs-Bereiche für die Arbeitspunkte 0,1mA und 1,2mA graphisch in die I_a/U_g Kennlinie der ECC83 eingezeichnet worden. Die bei den unterschiedlichen Messbereichen Einstellungen überstrichene Sektionen der Kennlinie sind farblich markiert.

Es fällt auf, dass im Arbeitspunkt 0,1mA besonders die Messungen in den Bereichen 1,5mA/V und 0,75mA/V einen stark nicht-linearen Bereich der Kennlinie überdecken.

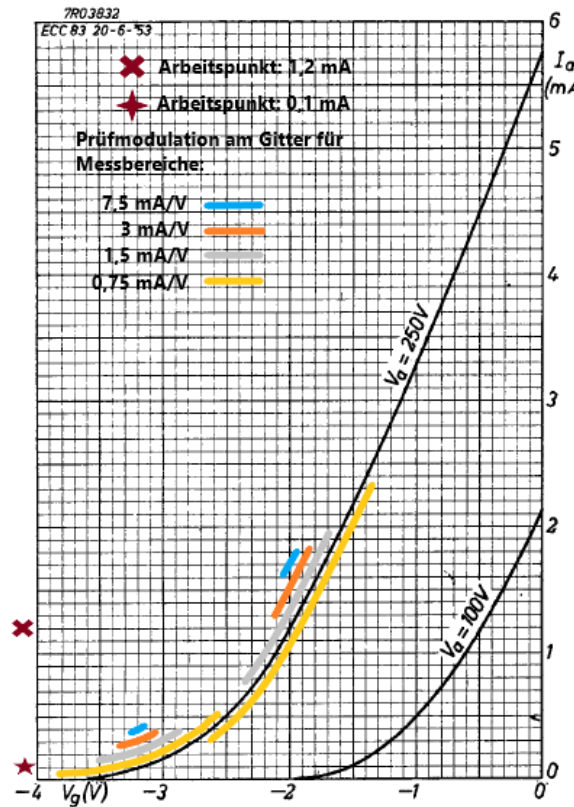


Bild 2

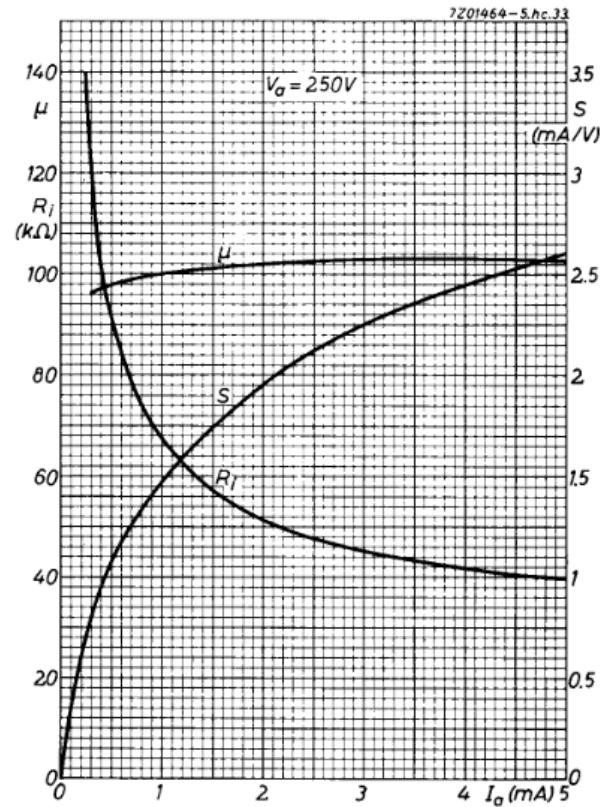


Bild 3

3. Messungen und Analysen

Im Folgenden wurde die Kennlinie der Steilheit im Bereich von 0,1mA bis 5mA Anodenstrom gemessen. Die Anodenspannung ist bei allen Messungen $U_a=250V$.

Die ermittelten Werte wurden zusammen mit der auf die Exemplar-Toleranz skalierten Kurve (grün) des Datenblatts (Phillips, Bild 4) in das unten dargestellte Diagramm übertragen.

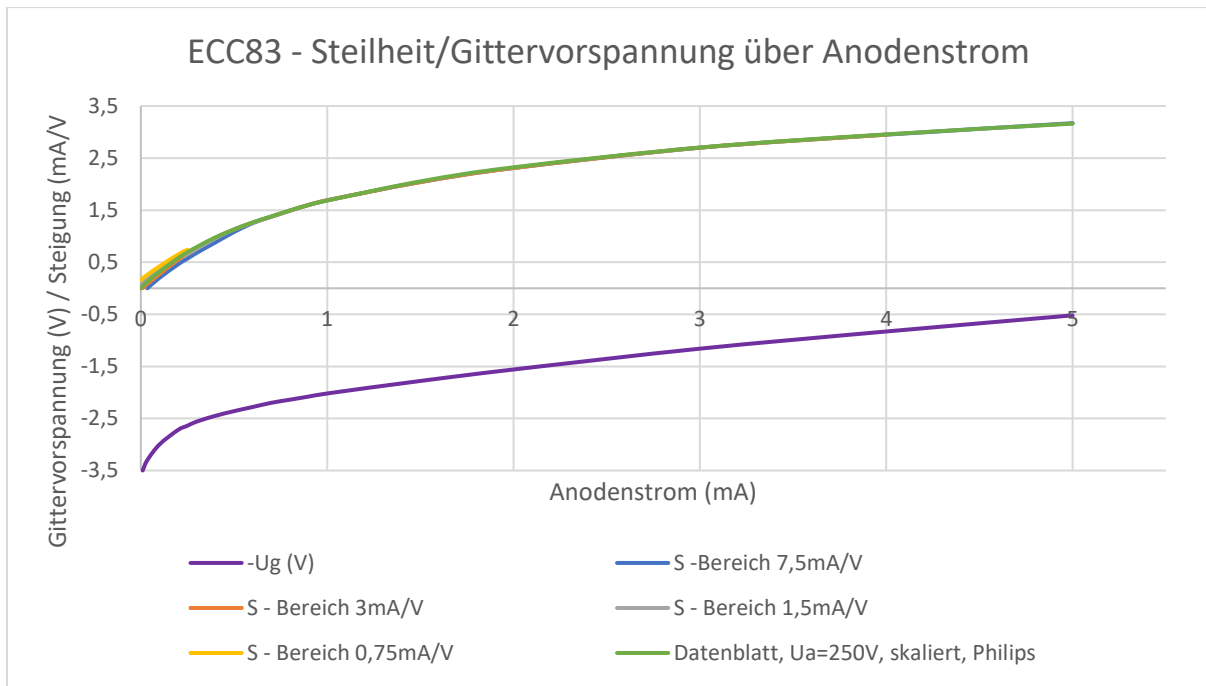


Bild 4

Es zeigt sich Großteils eine hohe Übereinstimmung mit dem Datenblatt, im Bereich unterhalb 0,6 mA Anodenstrom ist eine Streuung zwischen den Messwerten der verschiedenen Messbereiche erkennbar. In Bild 5 ist der betreffende Bereich vergrößert dargestellt:

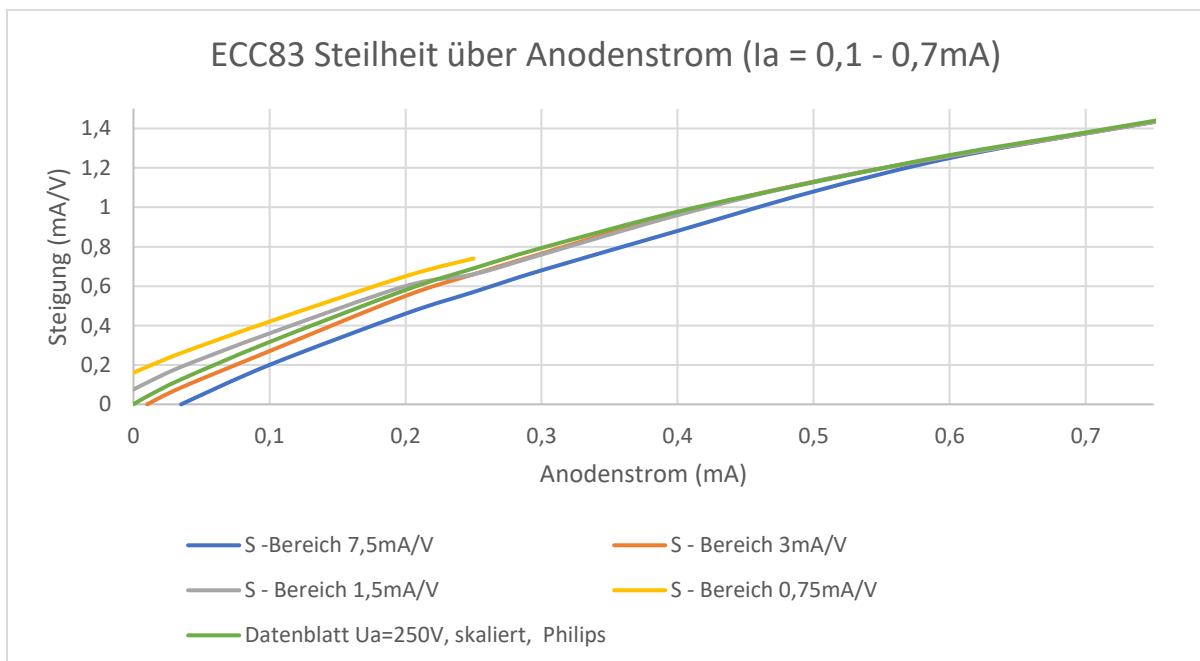


Bild 5

Um die Abweichungen zu quantifizieren wurde die Differenz zur Datenblatt-Kurve gebildet. Die prozentualen Unterschiede sind im folgenden Diagramm erkennbar.

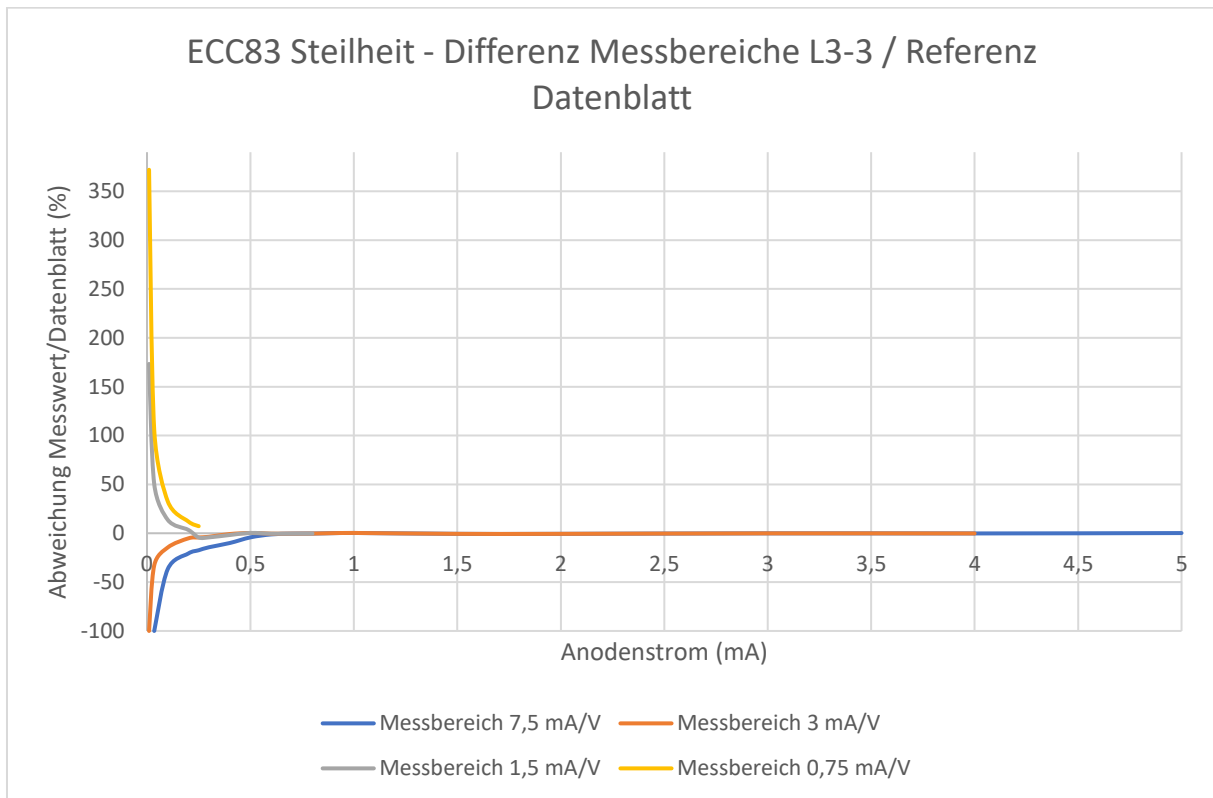


Bild 6

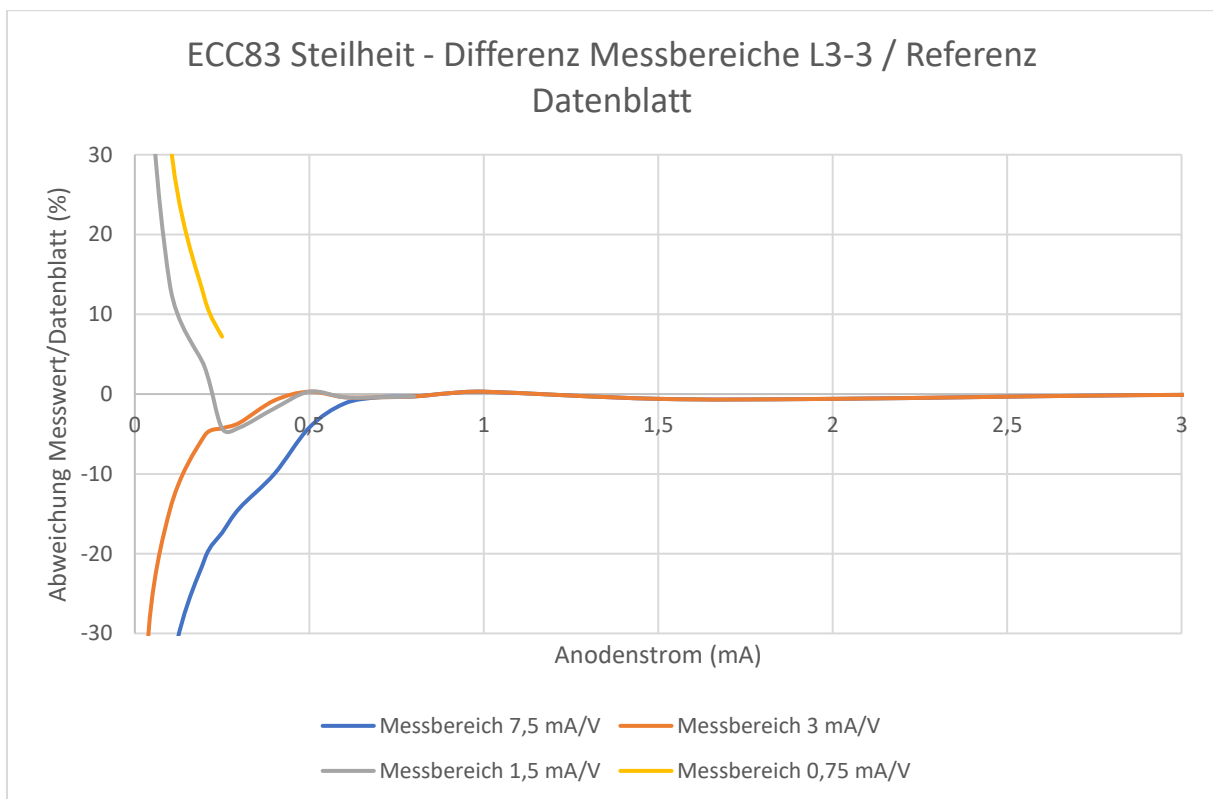


Bild 7 (Detail-Ausschnitt)

Die hier sichtbaren Abweichungen zeigen, dass der Steilheitsmessgerät des L3-3 im Anodenstrom Bereich unterhalb ca. 0,6 mA zunehmend von seiner angegebenen Spezifikation abweicht. Dieser Bereich soll nun näher betrachtet werden.

Da die Abweichungen, je nach eingesetztem Messbereich unterschiedliche orientiert sind, muss es mindestens um zwei Wirkmechanismen handeln.

3.1. Einfluss von Brumm und Rauschen

Zunächst wird die Wechselspannung, die am Eingang des selektiven Röhrevoltmeters ansteht untersucht. Generell ist Grundrauschen und eine signifikante überlagerte Brumm-Spannung zu beobachten.

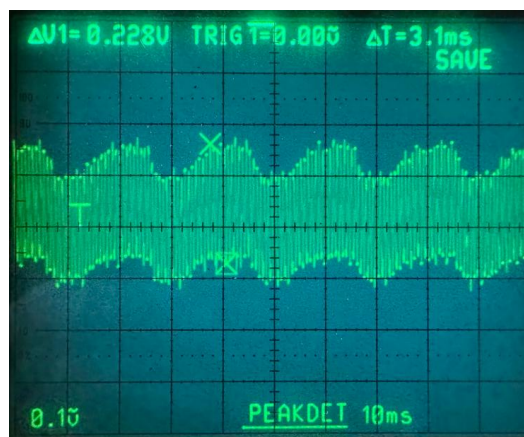


Bild 8

Messtechnisch kann aber nachgewiesen werden, dass beides keinen relevanten Einfluss auf die Anzeige hat. Der Eingangs-Filter erfüllt hier die an ihn gestellte Erwartung.

3.2. Einfluss der Kurvenform des Messsignals

Die Wechselspannung entspricht im Arbeitspunkt von $I_a=1,2\text{mA}$ und einem Messbereich von 3mA/V einer Sinusform mit niedrigem Klirrfaktor, während im Arbeitspunkt von $I_a=0,1\text{mA}$ und im Messbereich $0,75\text{mA/V}$ substantieller Klirrfaktor (45%) zu beobachten ist. Der hohe Klirrfaktor ist darauf zurückzuführen, dass die Messung im stark nichtlinearen Kennlinienbereich in der Gegend des Abschnürpunkts stattfindet. (siehe Bild 2)

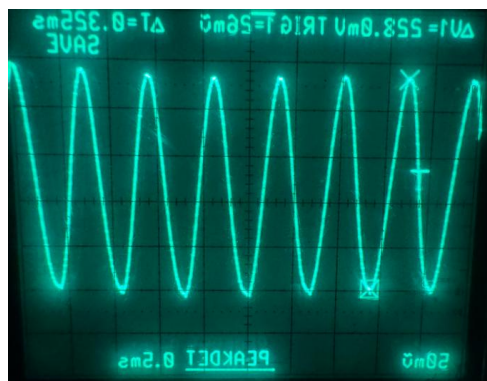


Bild 9



Bild 10

Der Gleichrichter des selektiven Röhrenvoltmeters ist als Spannungsverdoppler aufgebaut. Er wird Ausgangsseitig mit 308,75 kOhm belastet und arbeitet daher als Spitzenwert Gleichrichter. In Bild 11 ist der Einfluss des Klirrfaktors am Wechselspannungs-Eingang auf den Anzeigewert am Instrument dargestellt.

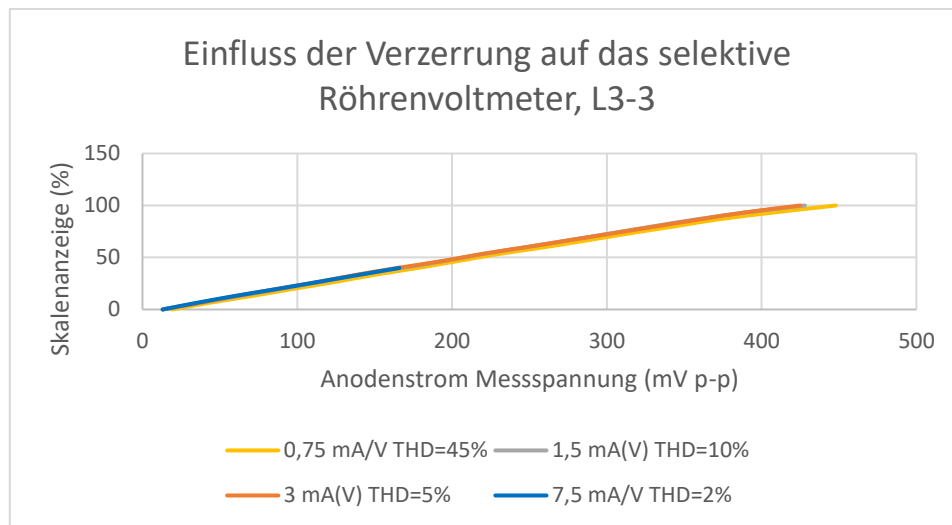


Bild 11

Für Klirrfaktoren bis 10% ergibt sich keine Änderung, darüber vermindert steigender Klirrfaktor die Anzeige. Bei 45% THD ist die Differenz etwa 5% des Anzeigewerts. Das Verhalten erklärt aber keinen stark ansteigenden Wert der Anzeige. Daher kommt der Klirrfaktor im Messsignal nicht als wesentliche Ursache in Betracht.

3.3. Einfluss der Dioden-Schwellspannung im Gleichrichter des Röhrenvoltmeters

Die Schleusenspannung der im Gleichrichter des Röhrenvoltmeters eingesetzten Dioden bedingen, dass das Messgerät unterhalb eines bestimmten Wechselspannung-Eingangspiegels zunehmend unempfindlicher wird. Dieser Umstand wurde von Marc Michalzik in seinem Reparaturbericht messtechnisch nachgewiesen und quantifiziert (1).

Bild 12 zeigt die graphische Visualisierung der Skalenbereiche, die im jeweiligen Messbereich bei der Messung der ECC83 ausgenutzt wurden.

Der ausgewiesene gelbe Balken repräsentiert den oben beschriebenen Bereich. Die schwarzen und grauen Balken zeigen in Summe den benutzten Skalenbereich im jeweiligen Messbereich. Im grauen Anteil ist der angezeigte Messwert zunehmend von der Dämpfung des Gleichrichters betroffen.

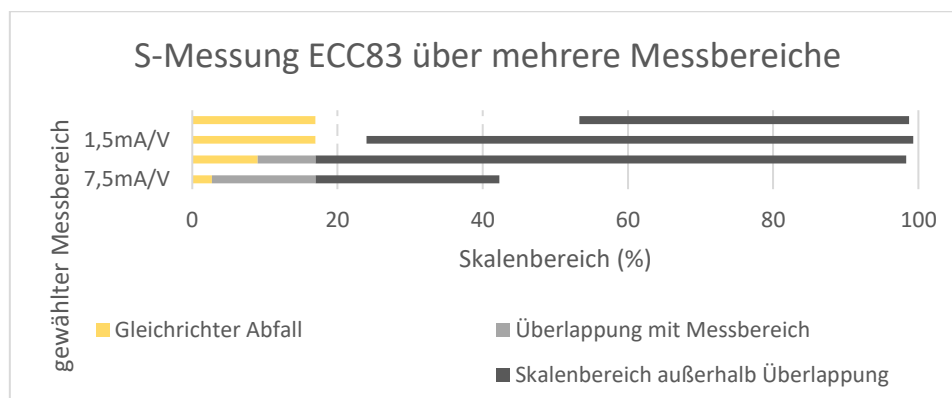


Bild 12

3.4. Erster Wirkmechanismus

Der starke Abfall des Messwerts im Arbeitspunkt von 0,1mA in den messbereichen 3mA/V und 7,5 mA/V kann dadurch plausibel erklärt werden. Somit ist der erste Wirkmechanismus identifiziert.

3.5. Einfluss der Prüfsignal-Amplitude im nichtlinearen Bereich der Kennlinie

Um die Schwankungen und den steilen Anstieg in den Messbereichen 1,5mA/V und 0,75mA/V zu untersuchen, ist es notwendig die Verhältnisse in der Nähe des Abschnürpunktes zu betrachten.

Dazu wird in Excel ein mathematisches Model einer generischen Röhre erstellt und die I_a/U_g Kennlinie konstruiert.

Das I_a/U_g Diagramm besteht aus zwei stückweise glatten Funktionen.

Für Werte oberhalb dem Abschnürpunkt: $I_a \sim U_g^{3/2}$ (entsprechend Barkhausen u.a)

Für Werte unterhalb dem Abschnürpunkt: $I_a = \text{Abschürstrom}$ (also praktisch 0)

Die Steilheit ergibt sich sodann als die 1.Ableitung nach U_g : $S \sim \frac{3}{2} * \sqrt{U_g}$

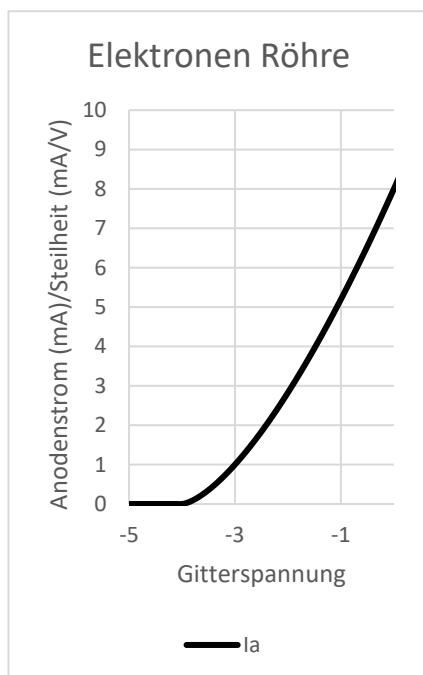


Bild 13

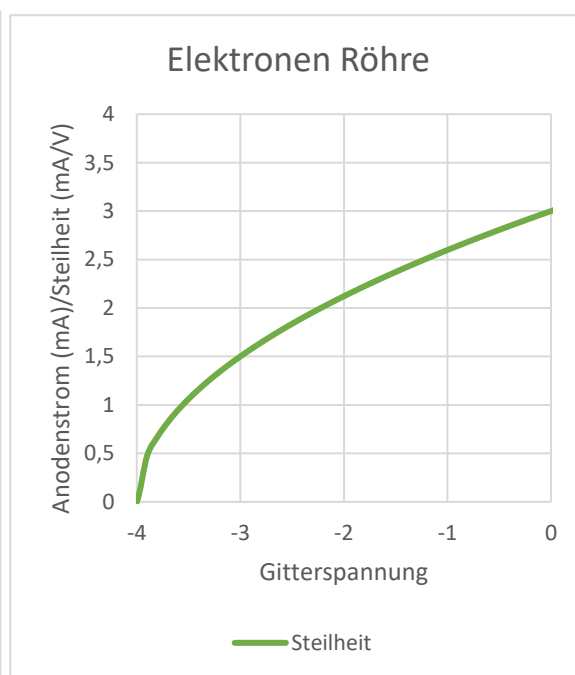


Bild 14

Um die Verhältnisse im L3-3 nun auf die generische Röhre zu übertragen wird die Steilheit für Arbeitspunkte zwischen 0 mA und 3 mA berechnet. Dazu wird eine Wechselstrom Prüfspannung am Gitter simuliert und jeweils der korrespondierende Anodenstrom am oberen und unteren Wert der Gitterspannung ermittelt. Da das L3-3 über eine Spitzenwert Gleichrichtung verfügt ist das zulässig. Der Verlauf der Wechselstromkurve zwischen Minimum und Maximum ist in weiten Grenzen irrelevant in Bezug auf den ermittelten Gleichspannungswert (siehe Bild 10). Die Steilheit im Arbeitspunkt ergibt sich dann zu:

$$S(\text{mess}) = \frac{dI_a}{dU_g} \text{ (mA/V)}.$$

Der Gleichstromwert der Gitterspannung wird nun kontinuierlich so verschoben, dass die Arbeitspunkte $I_a = 3\text{mA}$ bis $I_a = 0\text{mA}$ überstrichen werden.

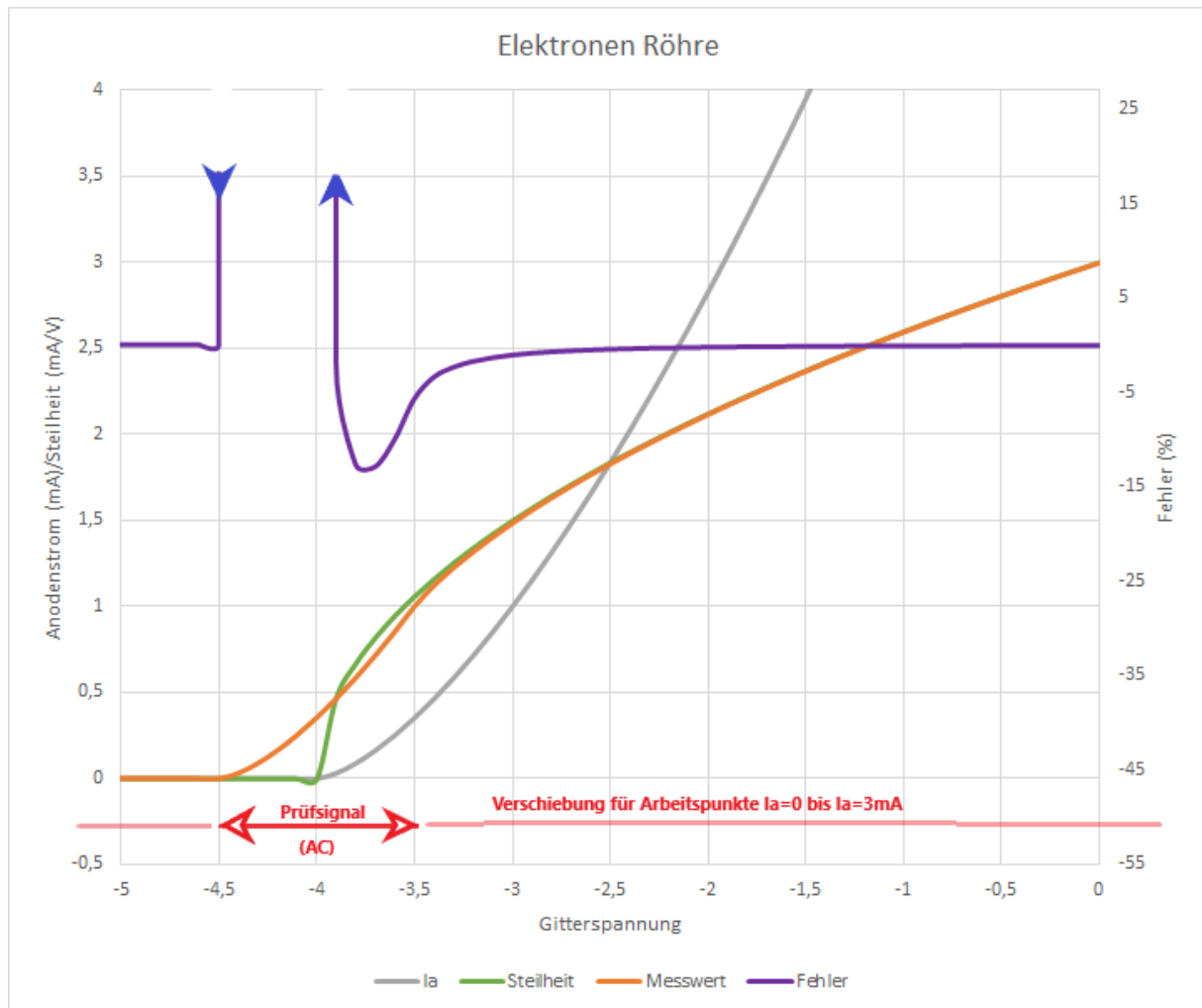


Bild 15

Für die Beispielrechnung wird die Amplitude von $U_{g\sim}$ mit 1V(p-p) gewählt.

In Bild 15 ist zu erkennen, dass die gemessene Steilheit in Bereichen in denen die I_a Kennlinie an Krümmung zunimmt zusehens vom rechnerischen Wert abweicht. Die Steilheit wird zunächst zu gering bewertet. Sobald sich die Wechsellspannungs-Mitte des Prüfsignals dem Abschnürpunkt nähert steigt der Fehler sprunghaft an und die Messung ermittelt eine zu große Steigung. Die Messung weist immer noch positive Steilheitswerte aus, obwohl die Röhre selbst nur noch den Abschnürstrom liefert und die reale Steigung im Bereich von Null ist. Der Fehler ist dann sehr hoch. Bewegt man sich weit genug in den Abschnürbereich der Röhre hinein geht der Messwert ebenfalls gegen Null und der Fehler verschwindet.

Der Bediener des Geräts beobachtet keine Sprünge, der Messwert verhält sich stetig. Er kann den realen Abschnürpunkt der Röhre allerdings nicht erkennen.

3.6. Zweiter Wirkmechanismus

Die Ausprägung des Fehlers hängt direkt mit der Wechselstrom Prüfamplitude der Gitterspannung zusammen. Je kleiner diese ist, je kleiner der daraus resultierende Messfehler. Das erklärt den bei der ECC83 ausgeprägten Anstieg des Messfehlers in den Messbereichen $1,5\text{mA/V}$ und $0,75\text{mA/V}$.

4. Beurteilung

Der in Bild 7 dargestellte Verlauf des Messfehlers ist eine Kombination aus den beiden identifizierten Wirkmechanismen.

Die Wahl des Messbereichs der Steilheits-Vorrichtung muss daher unter Beachtung des Datenblatts der Röhre und des vom Gerät jeweils verwendeten Prüfsignals (Amplitude, Peak to Peak) so gewählt werden, dass der genutzte Bereich der U_a/U_g -Kennlinie hinreichend linear ist.

In der Regel treten diese Einschränkungen bei der Röhrenprüfung nicht in Erscheinung, da die Hersteller die Spezifikation des Parameters „Steilheit“ in einem ausreichend linearen Bereich der Kennlinie definieren. Will der Benutzer aber eine umfängliche Steilheits-Kennlinie aufnehmen stößt das Gerät an seine Grenzen.

Eine mögliche Alternative stellt die manuelle Aufnahme der I_a/U_g Kennlinie dar. Nach einer Polynom-Entwicklung bis zu einer gewählten Fehlergrenze kann sodann mit Hilfe der 1. Ableitung nach der Gitterspannung die Steilheit als Kennlinie gewonnen werden.

5. Zusammenfassung

Abschließend lässt sich sagen, dass der Steilheitsmesser des L1-3/L3-3 über einen hinreichend linearen Bereich der Kennlinie der Test Röhre (ECC83) sehr vertrauenswürdige Ergebnisse liefert. Die Anodenspannung der Test Röhre kann während der Messung als konstant angesehen werden. Einstreuendes Brummen, Klirrfaktor und vorhandenes Rauschen im Testsignal werden effektiv durch das implementierte Wechselspannungs-Messverfahren unterdrückt.

Die genauesten Messungen ergeben sich, wenn die ermittelte Steigung im 2/3 Skalenbereichs des Anzeigeinstruments liegt, da die Kalibrierung auf den Wert „120“ der Skala durchgeführt wird.

Das Gerät hat zwei Einschränkungen, die beim Messen beachtet werden müssen.

1. Unterhalb eines Anzeigebereiches von ca. 17% der Skala (Anzeigewert „20“) schwächen die Dioden im Gleichrichter des Röhrenvoltmeters den angezeigten Wert kontinuierlich ab. Die Anzeige ist für eine genaue Messung nicht mehr verlässlich. Dies gilt für alle Messbereiche.
2. In deutlich nichtlinearen Bereichen der I_a -Kennlinie kommt es wegen den zugrunde liegenden mathematisch-physikalischen Zusammenhängen zu Fehlern. Mit Annäherung an den Abschnürpunkt der Röhre ist der Messwert zunehmend unzuverlässig.