

Messen von Röhren - Beheizung mit Gleich- oder Wechselstrom?

Bericht über die Experimente von Helmut Weigl

Vorwort:

Im Zusammenhang mit der Entwicklung meines computergesteuerten Röhrenmessgerätes "RoeTest" stellte sich die Frage, ob für die Messung von Röhrendaten verschiedene Heizquellen erforderlich sind, insbesondere, ob neben einer Gleichstromheizung auch eine Wechselstromheizung nötig, bzw. ob diese entbehrlich wäre (der Aufwand für eine stufenlose, gesteuerte und geregelte Heizwechselstromversorgung wäre enorm).

In verschiedenen Veröffentlichungen und Foren habe ich gelesen, daß beim Messen von Röhren unterschiedliche Heizquellen erforderlich wären. Neben einer Gleichstromheizung würde man für direkt beheizte, für Wechselstromheizung vorgesehene Röhren, auch eine Wechselstromheizung benötigen, da die Messwerte ansonsten nicht mit den Herstellerangaben (Röhrentabellen) übereinstimmen würden.

Konkrete Begründungen dafür habe ich nicht gefunden.

Für welche Röhren benötigt man angeblich zwingend eine Wechselstromheizung?

Röhrenart	Gleichstromheizung möglich?	Begründung
indirekt beheizte Röhren	ja	Heizart ist egal, da Kathode elektrisch von der Heizung isoliert ist
direkt beheizte Röhren Batterieröhren oder Gleichstromheizung	ja	für diese Röhren ist von vorne herein Gleichstromheizung vorgesehen
direkt beheizte Röhren für Wechselstromheizung	nein	Bei Heizung dieser Röhren mit Gleichstrom ergeben sich andere Messwerte. Die Tabellen für Wechselstromheizung gelten nicht mehr

Können direkt beheizte Röhren für Wechselstromheizung auch mit Gleichstrom beheizt werden?

Grundsätzlich ja. Allerdings würden sich andere Messwerte für Anoden- und Schirmgitterströme ergeben. Die gemessenen Werte würden nicht mehr mit den Datenblättern oder Röhrentabellen übereinstimmen. Für diese Fälle müsste man abweichende Tabellen für Gleichstromheizung verwenden (die ich leider nicht gefunden habe), oder experimentell die Werte ermitteln (dafür müsste man von der jeweiligen Röhrentype eine größere Anzahl neuwertiger Röhren besitzen, die ich im Regelfall nicht besitze).

Zu klärende Fragen:

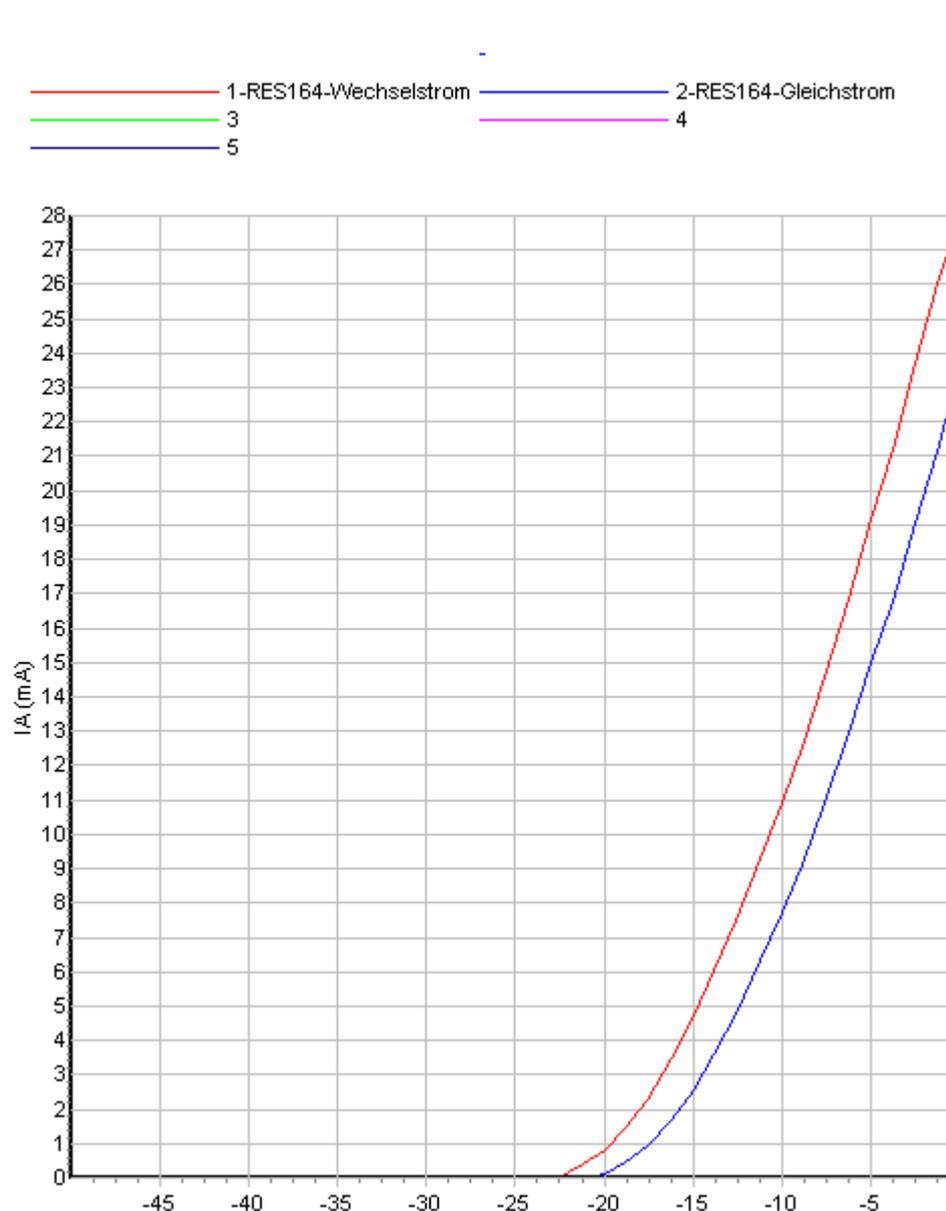
- Wie unterscheiden sich Meßwerte bei Wechsel- und Gleichstromheizung?
- Welche Ursachen könnte es für das unterschiedliche Verhalten geben?
- Gibt es bestimmte Gesetzmäßigkeiten?
- Wäre es auf Grund der Gesetzmäßigkeiten möglich, die mit Gleichstromheizung gemessenen Werte umzurechnen, oder die Meßverhältnisse so zu ändern, daß die Messwerte mit den Tabellen für Wechselstromheizung verglichen werden könnten?
- Kann auf eine Wechselstromheizung verzichtet werden?

Wie unterscheiden sich Meßwerte bei Wechsel- und Gleichstromheizung?

Als ersten Schritt ist erst einmal festzustellen, ob und wie sich die Meßergebnisse bei unterschiedlicher Beheizung unterscheiden. Dabei wird dieselbe Röhre mit unterschiedlicher Beheizung gemessen und die Kennlinien gegenüber gestellt.

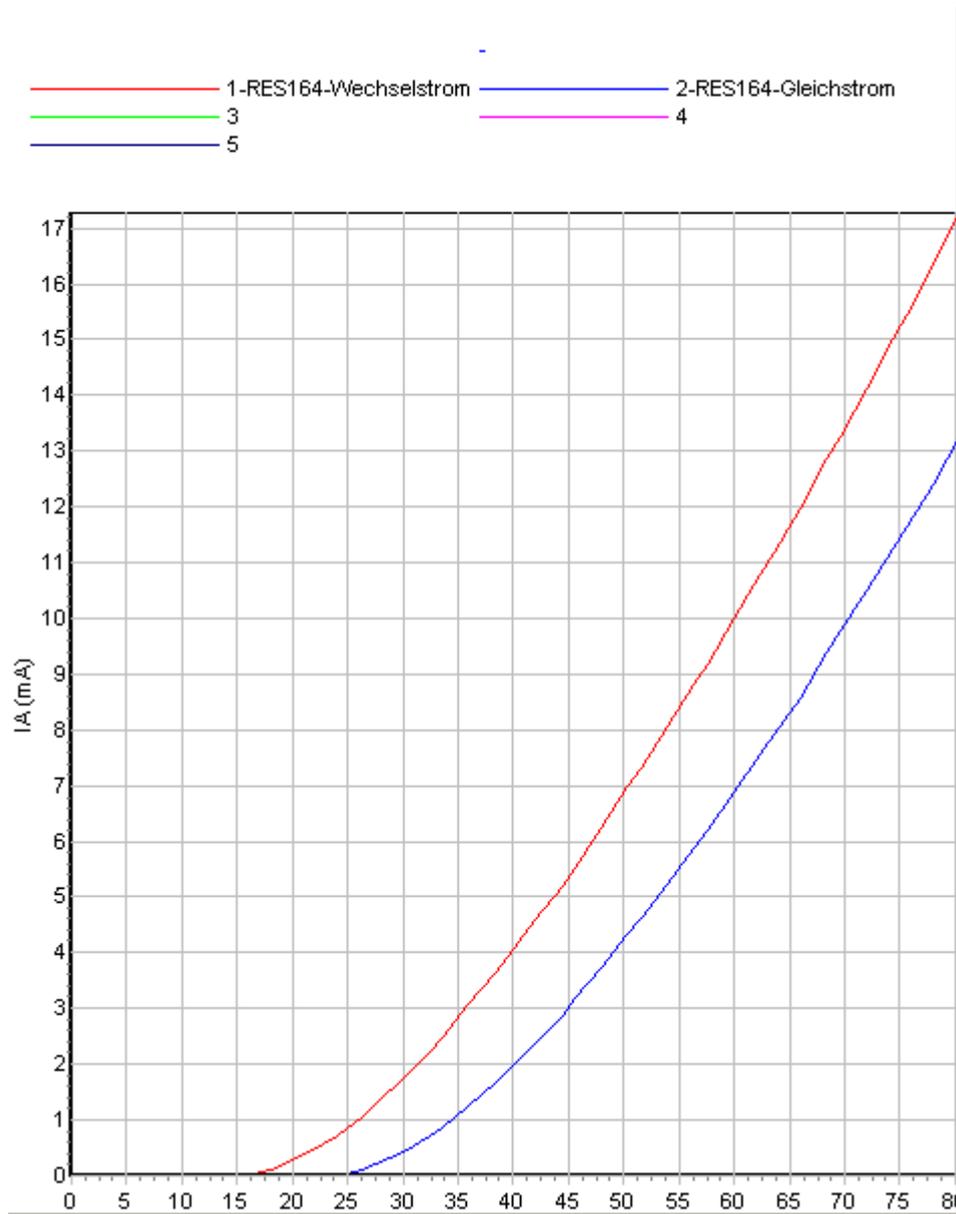
Ich habe testweise 3 verschiedene Röhren gemessen (AL1, RES164 und RES964). Die Ergebnisse waren ähnlich. Im folgenden Stelle ich einige Ergebnisse gegenüber:

1. G1-Kennlinie:



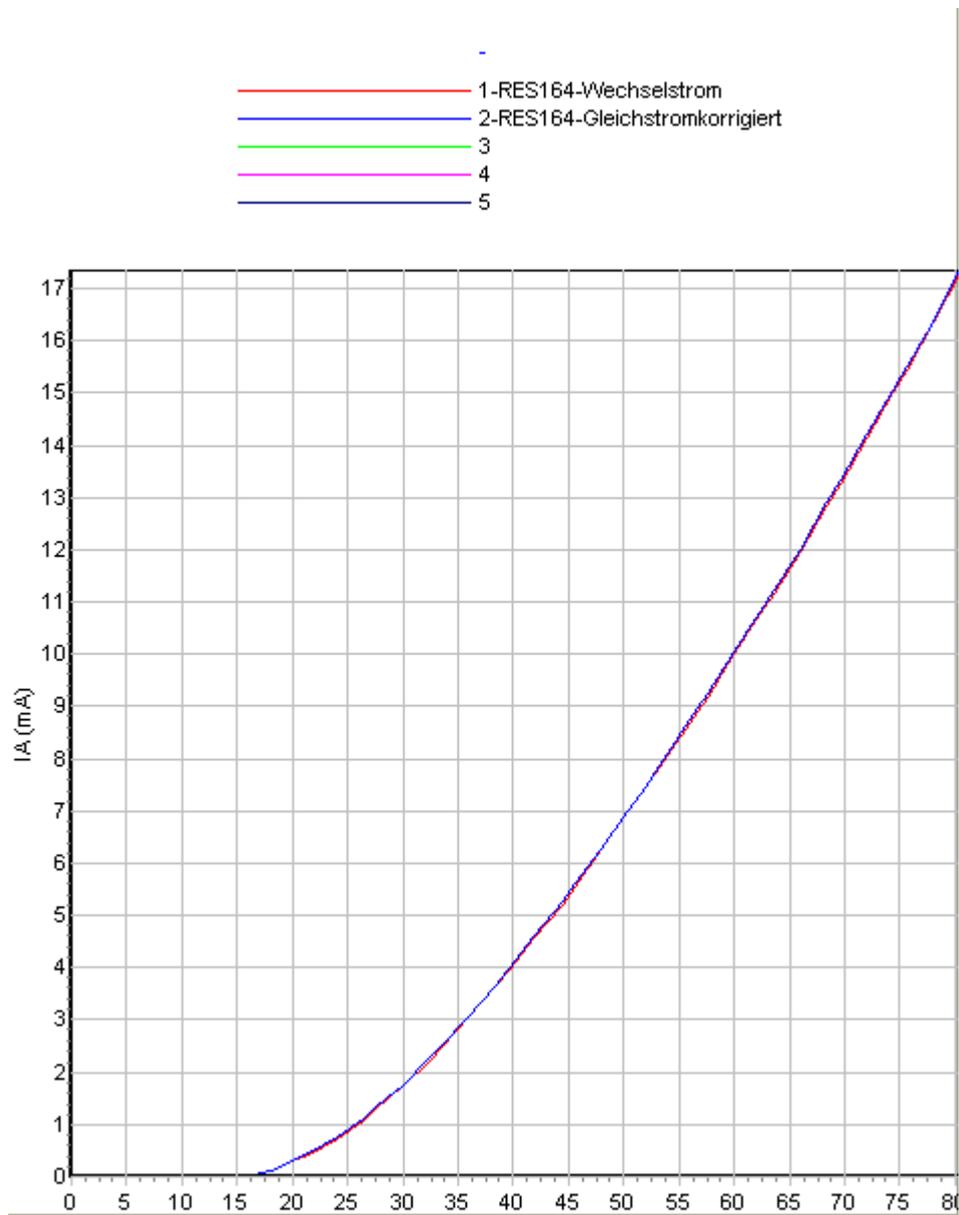
Ergebnis: Bei Gleichstromheizung (blaue Kennlinie) ist der Anodenstrom gegenüber der Wechselstromheizung etwas niedriger. Die Kennlinie ist gleichmäßig nach rechts verschoben.

2. G2-Spannungskennlinie:

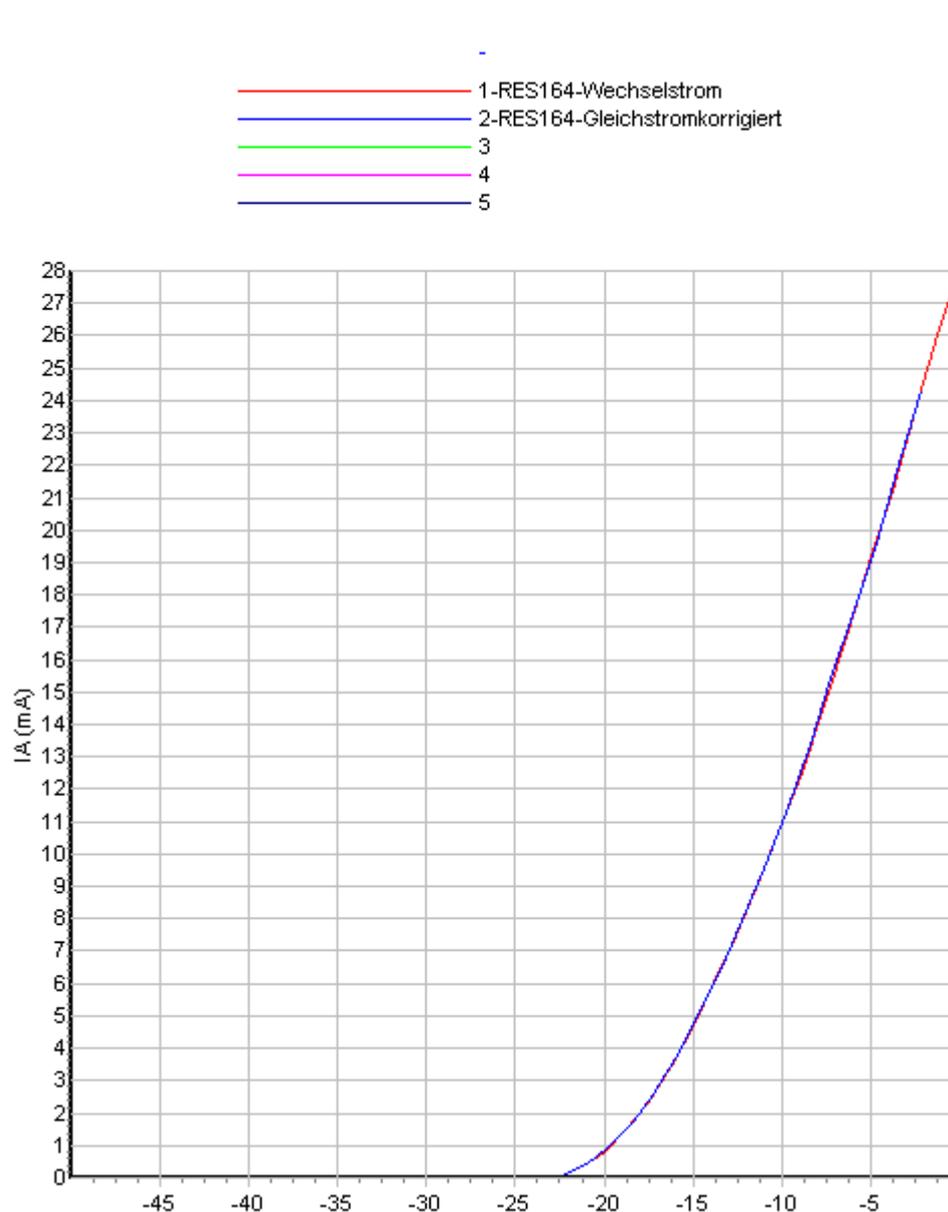


Ergebnis: Wie bereits bei der G1-Kennlinie ist bei der G2-Kennlinie der Anodenstrom bei Gleichspannungsheizung niedriger als bei Wechselstromheizung. Die Kennlinie ist wieder nach rechts verschoben.

Verschiebt man die Kennlinie bei Gleichstromheizung nach links und legt sie über die Kennlinie für Wechselstromheizung, ergibt sich folgendes Bild:



G1-Kennlinie:



Ergebnis: Die gemessenen Kennlinien sind bei Wechsel- und Gleichstromheizung identisch und lediglich bei Gleichstromheizung nach rechts (niedrigere Werte) verschoben.

Dieser Versuch lässt darauf hoffen, eine Umrechnungsmöglichkeit von Gleichstrom nach Wechselstromheizung zu finden.

Welche Ursachen könnte es für das unterschiedliche Verhalten geben?

Heizleistung:

Als Test nehmen wir eine nur-Heizfaden-“Röhre” = Glühlampe. Die Beheizung mit Gleichstrom oder Wechselstrom (selbiger Effektivwert) zeigt keine Unterschiede. Nach Augenmaß leuchtet die Glühbirne genauso hell. Folglich muß der Heizfaden auch dieselbe Temperatur aufweisen.

-> keine Auswirkungen auf Meßergebnisse

Modulation der Temperatur:

Theoretisch schwankt die Temperatur des Heizfadens bei Wechselstromheizung im 2-fachen Takt des Wechselstroms. Die Trägheit des Fadens wirkt jedoch entgegen.

-> Auswirkungen auf Meßergebnisse scheinen unrealistisch

Unterschiedliche Verteilung der Heizspannungen am Faden:

a) Gleichstromheizung

Über den Faden verteilt liegen verschiedene Potentiale an jeder Stelle des Heizfadens (von - Heizung bis + Heizung). Normalerweise bildet der Minuspol der Heizspannung zugleich die Masse=Bezugspunkt. Für jeden Punkt des Fadens gibt es eine separate Kennlinie. Aus den Einzelkennlinien ergibt der Mittelwert eine Gesamtkennlinie für die Röhre (s.Barkhausen).

b) Wechselstromheizung

Die Heizspannung schwankt vom Minimum über Null nach Maximum und zurück mit doppelter Heizfrequenz. Im Mittel ergibt sich wieder dieselbe Gesamtkennlinie.

-> keine Auswirkungen auf Meßergebnisse

Kathodenstrom erhöht Heizstrom:

Der Kathodenstrom fällt gleichermaßen über den Heizdraht ab und erhöht die Temperatur des Heizfadens. Bei Gleichstromheizung ist die Temperaturerhöhung am negativen Fadenende ggü. dem positiven Fadenende größer.

-> Da der Heizstrom im allgemeinen wesentlich größer als der entnommene Kathodenstrom ist (nach Barkhausen soll der Heizstrom mind. 5 fach größer als der Kathodenstrom sein) sind die Temperaturerhöhungen nur minimal

-> Die Temperaturerhöhungen wirken sich nur im Sättigungsgebiet aus. Röhren werden normalerweise nur im Raumladegebiet betrieben. Der Effekt kann deshalb vernachlässigt werden.

Temperaturänderungen durch Elektronenaustritt:

Je nach Bauweise der Röhre wäre es möglich, daß sich die Fadentemperatur vermindert oder erhöht. Nach Barkhausen kann dieser Effekt vernachlässigt werden.

Versuch:

Zur Bestätigung der vorherigen Aussagen wird nachstehender Versuch gemacht. Die Röhrenkennlinie wird sowohl mit Wechselstromheizung, als auch mit Gleichstromheizung aufgenommen. Zur Anwendung kommt allerdings, gegenüber den bisherigen Versuchen, derselbe Schaltungsaufbau. Konkret wird sowohl bei Wechsel- als auch bei Gleichstromheizung eine elektrische Mitte gebildet, und diese an Masse gelegt (im Versuchsaufbau mit Mittelanzapfung an Trafo, bzw. symmetrischer Gleichstromheizung).

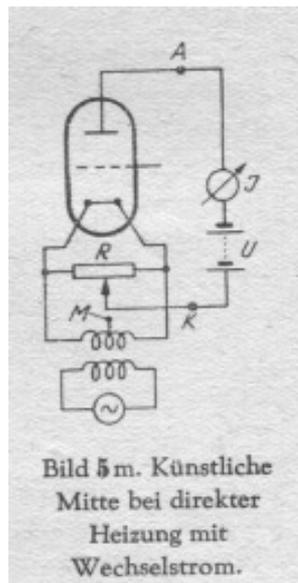
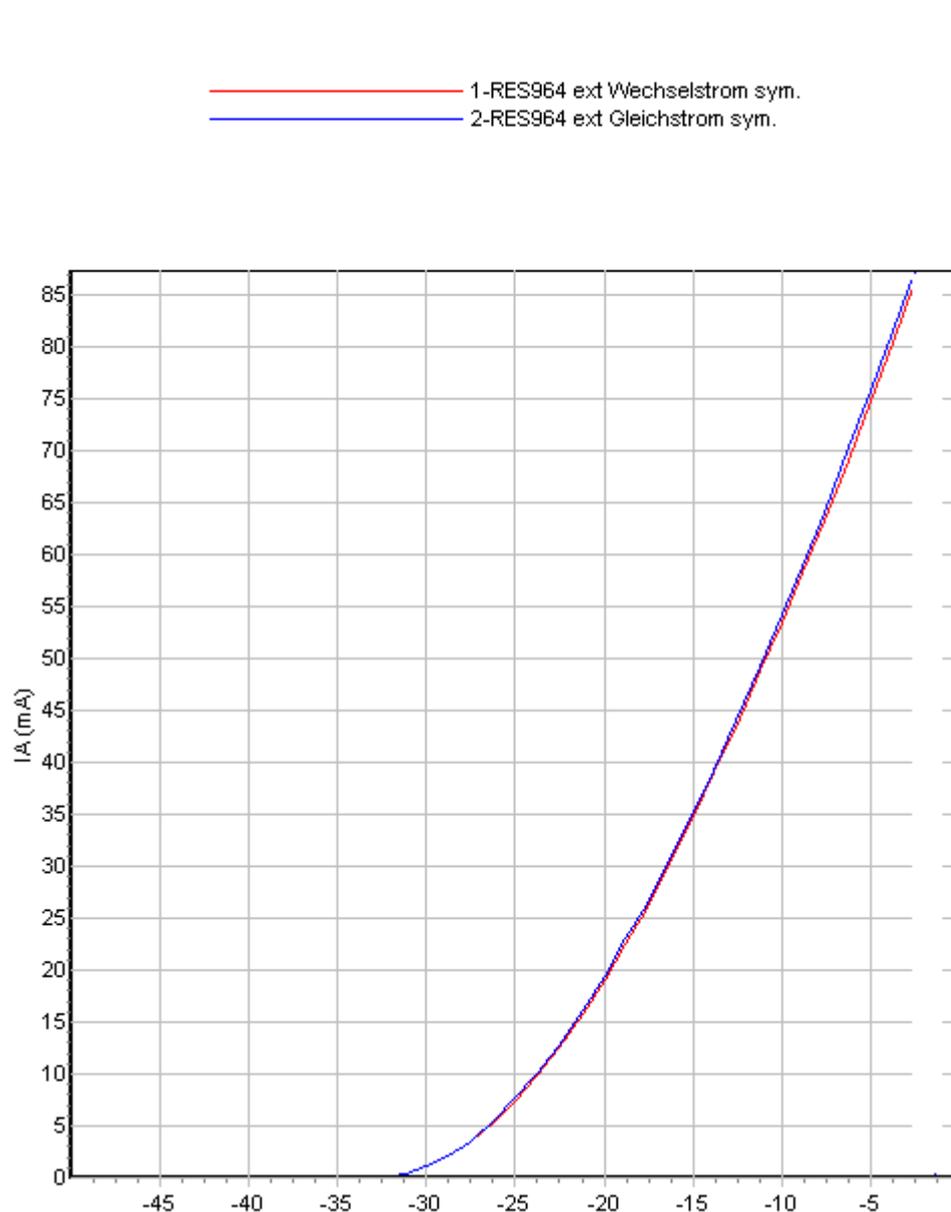


Bild 5 m. Künstliche Mitte bei direkter Heizung mit Wechselstrom.

gemessene Kennlinien:



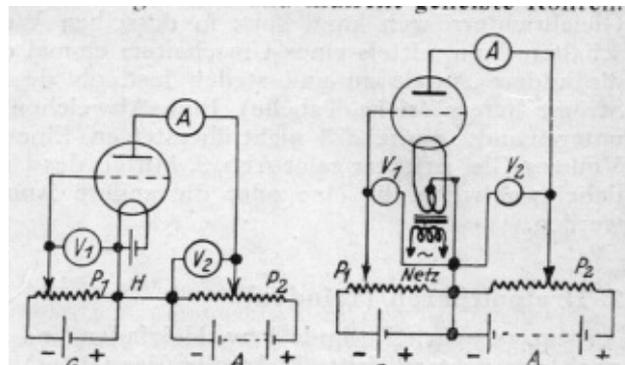
Ergebnis: Die Kennlinien sind identisch. Die gemachten Aussagen bestätigen sich. Daraus ergibt sich, dass es in der Praxis keine Rolle spielt, ob die Röhre mit Wechsel- oder Gleichstrom beheizt wird, sofern der Schaltungsaufbau identisch ist. Falls überhaupt Abweichungen bestehen, wären diese so minimal, daß diese vernachlässigt werden könnten.

Gleichzeitig zeigt dieser Versuch die Ursache für den verschiedenen Kennlinienverlauf der vorherigen Versuche:

Unterschiedliche Beschaltung der Röhren bei Wechsel- und Gleichstromheizung:

Bei Gleichstromheizung ist im Regelfall ein Ende des Heizfadens mit Schaltungsmasse verbunden. Normalerweise wird der Minuspol der Heizung mit Masse verbunden.

Beheizt man Röhren mit Wechselstrom, würde bei identischer Beschaltung ein starkes Netzbrummen auftreten. Aus diesem Grunde wird zwischen den Heizfadenden eine elektrische Mitte gebildet (Trafoanzapfung, Widerstände - sog. Entbrummer -, angezapfter Heizfaden), und diese an Masse gelegt. Zur Veranschaulichung nachstehende Abbildung (links Gleichstromheizung, rechts Wechselstromheizung):



Bei Wechselstromheizung liegt über die gesamte Fadenlänge das gleiche Potential (gleichspannungsmäßig) an. Die Spannung schwankt um 0 Volt (vom Maximum über Null zum Minimum).



bei Wechselstromheizung liegt am gesamten Heizfaden identisches Gleichstrompotential an (die Spannung schwankt um 0 Volt)

Bei Gleichstromheizung ist die Spannung am linken Heizspannungsanschluß 0 Volt, am rechten Heizspannungsanschluß die volle Heizspannung. Bei 4 Volt Heizspannung liegt also im Mittel 2 Volt Spannung am Heizfaden an. Der Nullpunkt ist um die halbe Heizspannung verschoben. Anode und sämtliche Gitter weisen bei Gleichstromheizung eine um die halbe Heizspannung verminderte Spannung ggü. Heizfadenmitte auf!

Will man bei Messungen mit Gleichstromheizung dieselben Messergebnisse wie bei Wechselstromheizung erhalten, müsste man also entweder

1. die gleichen Potentiale wie bei Wechselstromheizung herstellen (ebenfalls elektrische Mitte bei Gleichstromheizung wie vorhergehender Versuch) oder
2. Die Spannungen an Anode und sämtlichen Gittern um $+ \frac{1}{2}$ Heizspannung ändern.

Versuch zu 2: (RES964, Heizspannung 4 V)

	Wechselstrom- heizung	Gleichstrom- heizung	Gleichstrom- heizung nach 2.
Versuchsaufbau	elektrische Mitte über Trafoanzapf- ung	Minuspol der Heizung an Masse	Minuspol der Heizung an Masse, Elektroden +1/2 Heizsp.
Anodenspannung	250 V	250 V	252 V
Schirmgitterspannung (G2)	250 V	250 V	252 V
Gitterspannung (G1)	-15 V	-15 V	-13 V
gemessener Anodenstrom	34,75	27,25	34,75
gemessener Schirmgitterstrom	6	4,7	6,05

Ergebnis: Die Messergebnisse sind bei Gleich- und Wechselstromheizung gleich, wenn man dieselben Spannungen ggü. 0 zugrunde legt, d.h bei Gleichstromheizung die Spannungen an sämtlichen Gittern und Anode um $+ \frac{1}{2}$ Heizspannung erhöht..

Einschränkung für die Meßmethode:

Die Gitterspannung G1 kann nicht positiv werden. Danach kann bei Gleichstromheizung nach 2. die Gitterspannung nur minimal $-\frac{1}{2}$ Heizspannung betragen (bei 4 Volt Heizspannung beträgt die minimale Gitterspannung - 2 V ((-2) + 2 = 0V Messspannung). Eine Messung/Kennlinienaufnahme bei Gitterspannung 0 ist nicht möglich.

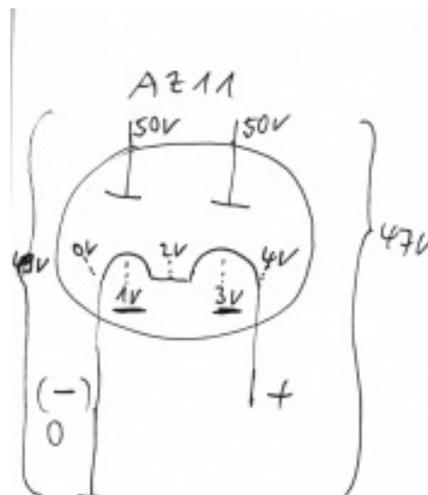
Die Heizspannung muß genau eingehalten werden, da sich sonst die Arbeitspunkte verschieben!

Gleichrichterröhren:

Im Prinzip gelten wieder die gleichen Regeln wie bei anderen Röhrentypen. Eine elektrische Mitte der Heizspannung an Masse gibt es in den üblichen Schaltungen normalerweise nicht. In der Regel ist ein Ende des Heizfadens, bzw. der Heizwicklung des Trafos mit einem Ende der Anodenwicklung des Trafos verbunden. Für Messungen mit Wechselstromheizung ist es egal, welches Heizfadenende mit Masse verbunden wird, oder ob eine elektrische Mitte gebildet wird. Sinnvollerweise wird für Messzwecke wieder eine elektrische Mitte gebildet und damit ein "Brummen" kompensiert.

Bei Gleichspannungsheizung ist die Anodenspannung wieder um $\frac{1}{2}$ Heizspannung zu erhöhen, um gleiche Verhältnisse herzustellen.

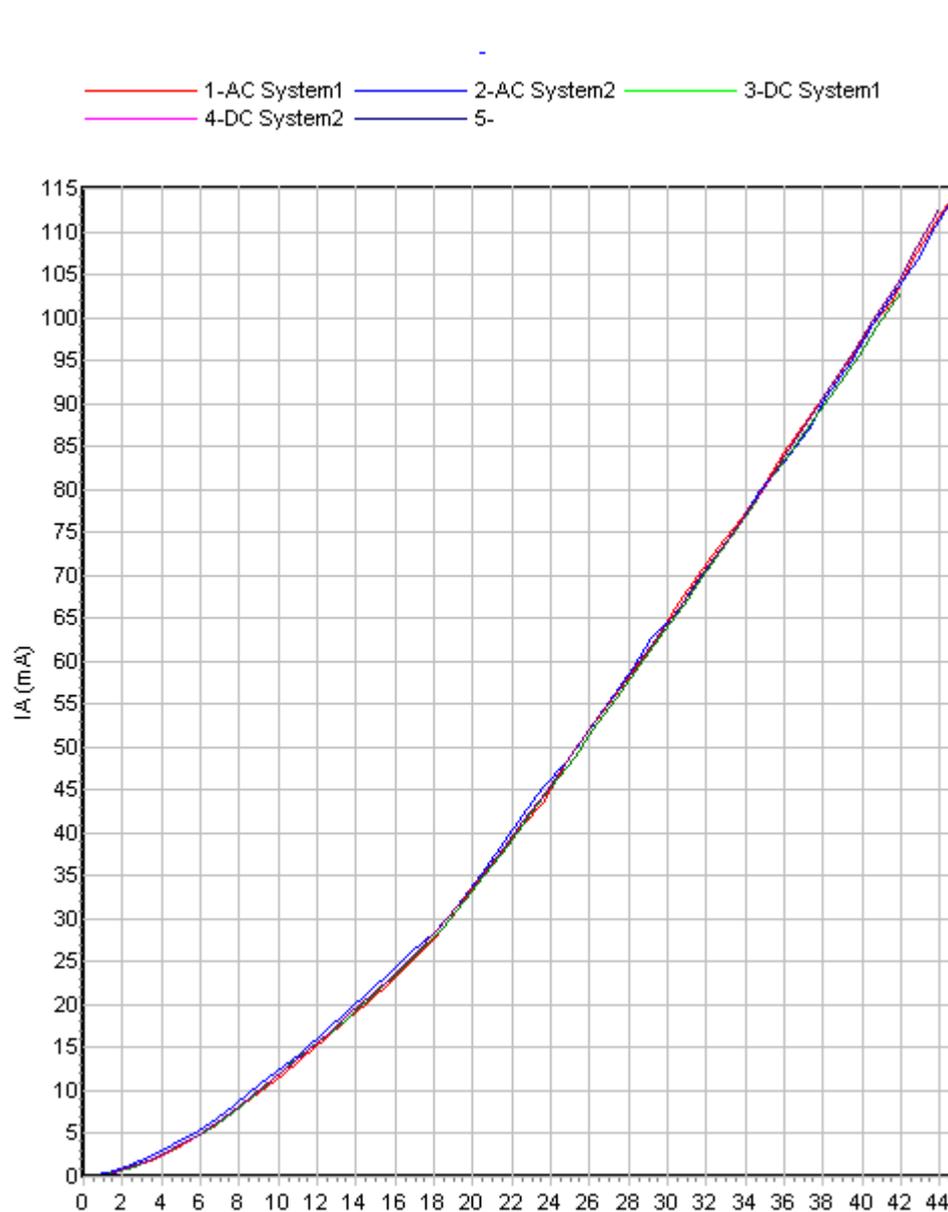
Abweichend gilt bei Gleichrichterröhren mit 2 Systemen (z.B. AZ 11) daß ein System am negativeren Ende des Heizfadens, das andere System am positiveren Ende des Heizfadens liegt. Dadurch werden bei zwei gleichwertigen Röhrensystemen bei Gleichstromheizung - im Gegensatz zur Wechselstromheizung - unterschiedliche Anodenströme gemessen. Es ist auch hier möglich, gleiche Verhältnisse wie bei Wechselstromheizung herzustellen. Allerdings müssen an die beiden Systeme unterschiedliche Anodenspannungen angelegt werden:



Beim linken System weist der Heizfaden im Schnitt ein um 1V höheres Potential ggü. Masse auf. Beim rechten System in o.g. Beispiel ein um 3 V höheres Potential.

Um dieselben Verhältnisse wie bei Wechselstromheizung herzustellen, ist beim linken System die Anodenspannung um 1V (= $\frac{1}{4}$ Heizspannung), beim rechten System um 3 V (= $\frac{3}{4}$ Heizspannung) zu erhöhen.

Nachstehend die mit Wechselstrom- und Gleichstromheizung und Simulation aufgenommenen Kennlinien einer AZ11 (die getestete AZ11 hatte 2 fast gleich gute Systeme): Die Kennlinien sind identisch:



Fazit:

1. Es ist durchaus möglich direkt beheizte Röhren für Wechselstromheizung mit Gleichstromheizung zu betreiben und dieselben Meßwerte wie bei Wechselstromheizung zu erhalten. Die Messwerte sind danach mit den Herstellerangaben oder Röhrentabellen vergleichbar.
2. Die Umrechnung der Meßverhältnisse per Hand - vor allem bei Kennlinienaufnahme - ist aufwändig und fehlerträchtig. Eine EDV gestützte Umrechnung löst dieses Problem.
3. Eine Wechselstromheizung ist bei Schaffung der gleichen Messverhältnisse entbehrlich.

copyright Helmut Weigl, Mantel, Oktober 2006

Literaturhinweise:

Elektronen-Röhren, H. Barkhausen, 1. Band, Allgemeine Grundlagen, Fünfte Ausgabe, 1945

Messen und Prüfen von Röhren und Einzelteilen, Rolf Wigand, 2. erweiterte Auflage, 1934

Handbuch der Radio- und Fernsehreparaturtechnik, Band 1 Radio Service, W. Diefenbach, 1961

Radios von Gestern, Ernst Erb, 3. Auflage 1997

Röhren Taschenbuch Bd. 1, W. Beier, 8. verb. Auflage 1958

Röhren Taschenbuch Bd. 2, W. Beier, 2. verb. Auflage 1958

Alle Messungen wurden vorgenommen mit Helmut's Computer-Röhren- Prüf- Meß- und Regeneriergerät "RoeTest".